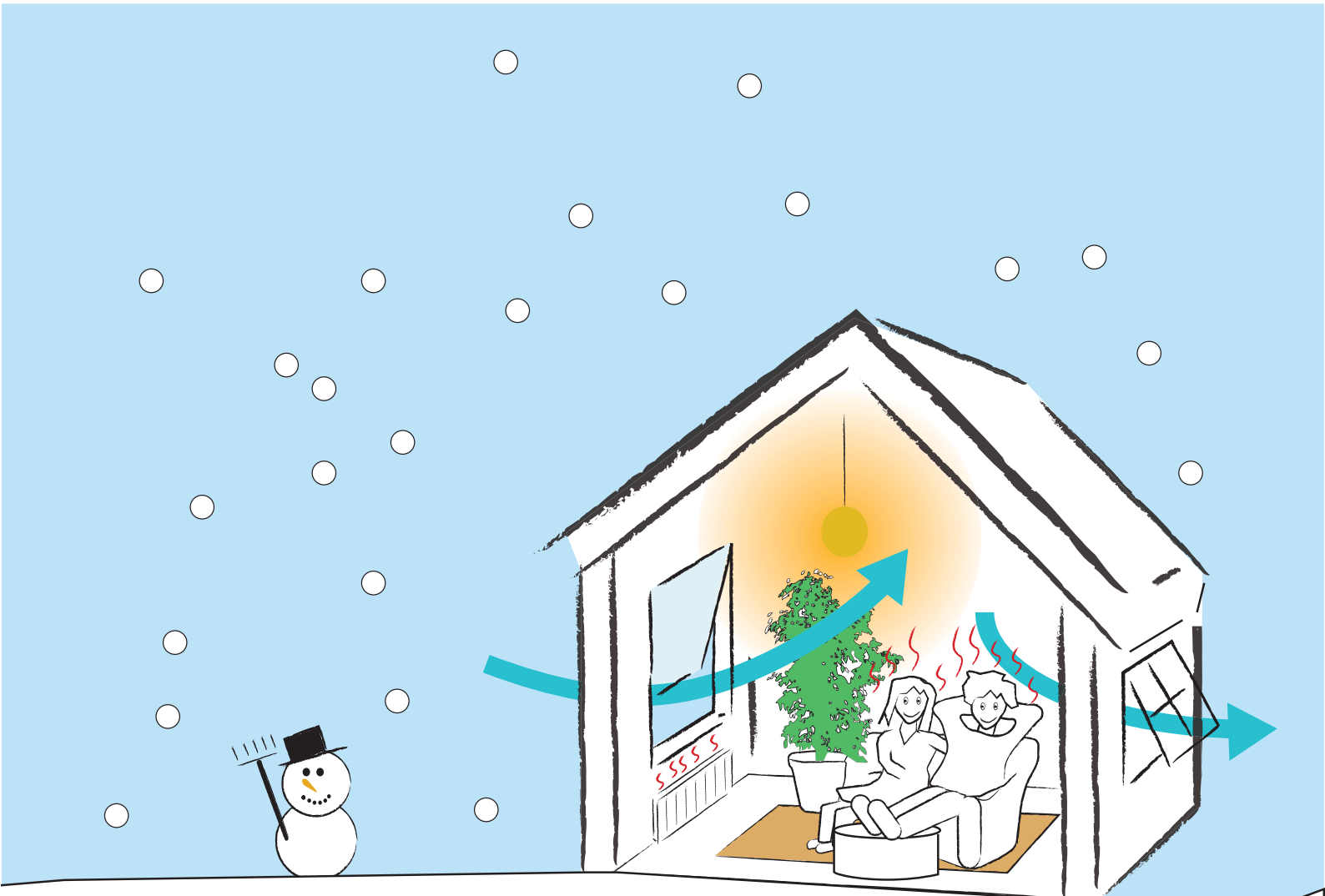
Kit Kristine Madsen og Søren Gedsø

Simplificeret beregning af boligers ydeevne

under hensyntagen til brugernes adfærd



Aalborg Universitet
Det Teknisk- Naturvidenskabelige Fakultet
Byggeri og Anlæg - *Indeklima og Energi*
Sohngårdsholmsvej 57, 9000 Aalborg

Titel:

Simplificeret beregning af boligers ydeevne under hensyntagen til brugernes adfærd

Tema:

Brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i boliger

Projektperiode:
1. september 2010 -
9. juni 2011

Forfattere:
Kit Kristine Madsen
Søren Gedsø

Vejledere:
Tine Steen Larsen
Henrik Brohus

Oplagstal: 5

Sidetal: 398 sider

Bilagsantal og -art:
1 Bilags-CD

Synopsis:

Denne rapport er produktet af et afgangsprojekt, udarbejdet som afslutning på uddannelsen til civilingeniør i Indeklima og Energi ved Aalborg Universitets Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet.
Rapporten består af fire dele. Første del indeholder en dybdegående problemanalyse, der behandler problematikkerne vedrørende implementering af brugernes adfærd i forbindelse med energiberegningerne. Her er allerede modeller gennemgået. Hovedfokus er lagt på hvorledes brugeradfærden påvirker såvel energiforbruget som indeklimaet.
Med udgangspunkt i de i problemanalysen gennemgåede problemområder er det valgt at udvikle et koncept, der implementerer brugeradfærden i såvel energi- som indeklimaberegningerne. Konceptet benævnes SiByB, Simplificeret beregning af Boligers ydeevne under hensyntagen til Brugernes adfærd. Konceptets hovedformål er at kombinere energi- og simplificerede indeklimaberegninger, ligeledes at udføre usikkerhedsanalyser af energiforbruget såvel som indeklimaet i boligen, og slutteligt at inkludere brugernes adfærd. Konceptet opstilles således, at der for energiberegningerne anvendes samme beregningsmetode som i Be10, og indeklimaberegningerne baseres på månedsmiddelværdier.
Tredje del af nærværende rapport indeholder valideringen af SiByB. Her tages udgangspunkt i to cases, begge lavenergiboliger. Her valideres brugernes påvirkning på energiforbruget i en SiByB-simulering. Ligeledes valideres beregningsmetoden af indeklimaberegningerne samt brugernes påvirkning på indeklimaet. I sidste del af rapporten diskuteres og konkluderes der på undersøgelserne i nærværende rapport og dennes resultater. Resultaterne viser at det overornet set er muligt at foretage simplificerede beregninger af boligens ydeevne under hensyntagen til brugernes adfærd, dog er det yderst vigtigt at holde fokus på beregningsmetodernes begrænsningsområder.

Summary

This report is a final thesis report in Master of Science in Indoor Environmental Engineering at the Faculty of Engineering and Science at Aalborg University.

The report consists of three parts. The first part is a profound analyse concerning the implementation of occupant behaviour in building energy consumption. Already developed models, predicting energy consumption, are studied, both with technical and social aspect in mind. Studies investigating the interrelationship between occupants' behaviour and the actual energy consumption are thorough examined together with studies investigating the actual indoor environment in low energy houses.

The problem areas found in the problem analyse form the fundamental basis of a concept. The concept is developed to include these issues in the current methods used by consultative engineers to calculate the energy consumption and indoor environment. The concept is named SiByB, which is short for simplified calculation of the performance of dwellings in consideration of occupants' behaviour. The main purpose of the developed concept is to combine calculations of energy consumption with simplified indoor environmental calculations in consideration of occupants' behaviour. A coupling between the energy calculation method used in the Danish programme Be10 and the 24-hour average method, is utilised to perform these calculations. In order to implement the occupants' behaviour, SiByB utilises Monte Carlo simulations. The most relevant influential occupants' related input parameters are thereby included as stochastic variables in the simulation. Distributions of the occupants' related input parameters are developed on the basis of measurements, experience figures in reference work, code of practice, standards, etc. These distributions are included in the Monte Carlo simulation.

The third part of the present report deals with the validation of the concept, SiByB. Two low energy dwellings form the basis of cases utilised in the validation. In the validation both the calculation method and the implementation of occupant behaviour are evaluated. The validation shows good results concerning the utilisation for average month values of the weather data, but is not recommended to utilise when evaluating the actual indoor environment due to the simplicity. Consequently weather data based on average values for the maximum day is utilised. These results shows some deviations, especially in the calculation of the thermal environment, when comparing measurements from the dwelling with SiByB calculations. The deviations, occurred in the comparison, is considered mainly to be a result of the occupants' behaviour, because the occupants' behaviour is assumed to be identical in both simulations. Furthermore it is important to notice that the calculation of the indoor environment are based on roughly estimates for which reason, the results should be handed with respect and only to be used as a roughly indication of the actual indoor environment in the building.
Overall the validation showed that it is possible to implement indoor environment calculations in the calculations of the energy consumption in consideration of occupants' behaviour.

Forord

Nærværende rapport er produktet af et langt afgangsprojekt på Aalborg Universitets Indeklima og Energi, det Teknisk-, Naturvidenskabelige Fakultet. Rapporten omhandler brugeradfærdens påvirkning på energiforbruget og indeklimaet i boligen samt undersøgelser vedrørende implementering af simplificerede indeklimaberegninger i energiberegninger.

Formål og målgruppe
Formålet med nærværende rapport er at undersøge brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i danske boliger. Med udgangspunkt i problemanalysen opstilles et koncept, der kan assistere med at implementere brugeradfærden samt simplificerede indeklimaberegninger i dagens energiberegninger for boliger.

Rapporten fordrer at læseren besidder faglig viden svarende til ingeniørvidenskabeligt niveau indenfor indeklima og energi.

Opbygning og læsevejledning
Hovedrapporten er inddelt i fire dele med tilhørende bilag:

- Problemanalyse
- Udvikling af koncept (SiByB)
- Validering af koncept (SiByB)
- Konklusion og perspektivering

Hovedrapporten er opdelt således, at problemanalysen danner det teoretiske grundlag for udviklingen af konceptet, SiByB, der efterfølgende valideres. Sidste sektion i hovedrapporten diskuterer og konkluderer på hele projektet. Samtlige beregninger, simuleringer mv. anvendt i rapporten forefindes på den vedlagte Bilags-CD, placeret bagerst i rapporten. Gennem hele hovedrapporten bliver der henvist til bilag, som forefindes bagerst i rapporten. Henvisningerne til bilag benævnes alfabetisk.

En symbolliste er placeret umiddelbart efter indholdsfortegnelsen, hvor overordnede symboler og akronymer, med tilhørende enheder, er gengivet. Akronymer beskrives første gang de forekommer i rapporten, hvorefter der henvises til symbollisten for yderligere oplysninger. Figurer og tabeller nummereres ved brug af kapitel og tabel-/figurnumre. Dette medfører at første figur/tabel i første kapitel benævnes figur/tabel 1.1 mens anden figur i første kapitel benævnes figur/tabel 1.2. Samme princip anvendes ved nummerering af formler, dog indsættes det pågældende formelnummer i paranteser, eks formel (1.1). Formler er udelukkende tildelt et formelnummer i de tilfælde, hvor der senere henvises til den aktuelle formel.

Kildehenvisninger er foretaget med Harvard metoden, hvor efternavn på forfatterne og årstallet for udgivelsen angives i firkantede parameteser, eksempelvis [Hirst, 1978] eller Hirst [1978]. Litteraturlisten er placeret bagerst i rapporten, umiddelbart før bilag.

Særlig tak til
Der skal rettes en særlig tak til forskningschef Søren Ole Aggerholm, Statens Byggeforskningsinsitut for udlevering af regnearksversionen af Be10. Ydermere ønskes det at takke nedenstående virksomheder for venlig deltagelse i spørgeskema undersøgelsen:

Kildemoes & Ellehauge
Rambøll Danmark A/S
Cernergia Energy Consultans
Bascon A/S
Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S

Der rettes tak til Lisa Gedsø for udfærdigelse af omslaget til nærværende projekt samt Lone Gedsø og Lene Kragh Mathiesen for korrekturlæsning.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse(med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Kit Kristine Madsen

Søren Gedsø

Indholdsfortegnelse

Summary **i**

Forord **iii**

Indholdsfortegnelse **v**

Symbolliste **ix**

1 Indledning **1**

Problemanalyse **6**

2 Baggrund for problemanalysen **6**

3 Beregninger af energiforbruget **7**
3.1 Energiressourcer 7
3.2 Europæisk standardisering 7
3.3 Energiberegninger i forhold til dansk lovgivning 9
3.4 Danske energiberegningsprogrammer 10

4 Modellering af boligers energiforbrug **14**
4.1 Top-down modeller 15
4.2 Bottom-up modeller 16
4.3 Sociologiske modeller 23
4.4 Socio-tekniske modeller 25
4.5 Opsummering 29

5 Indeklima i lavenergiboliger **34**
5.1 Opsummering 38

6 Samspil mellem energiforbrug og brugeradfærd **39**
6.1 Beboernes adfærdsmønstre 39
6.2 Brugeradfærdspåvirkelige parametre influerende på energiforbruget 41
6.3 Opsummering 48

7 Interessentanalyse **52**

8 Problemformulering **55**

Udvikling af koncept (SiByB) **58**

9 Beskrivelse af koncept, SiByB **58**

9.1 Baggrund for udvikling af koncept . . . 58
9.2 Grundlæggende opbygning . . . 59
9.3 Brugerrelaterede parametre i SiByB . . . 60

10 Beregningsmetoder anvendt i SiByB 63
10.1 Energiberegninger . . . 63
10.2 Indeklimaberegninger . . . 64
10.3 Sammenkobling af energi- og indeklimaberegninger . . . 67
10.4 Resultatbehandling . . . 68
10.5 Implementering af brugeradfærd . . . 69

11 SiByB brugervejledning 70
11.1 Generel opbygning af SiByB-regneark . . . 70
11.2 Inddata til energiberegning i SiByB . . . 71
11.3 Inddata til indeklimaberegning i SiByB . . . 75
11.4 Simulering i SiByB . . . 80
11.5 Resultatbehandling i SiByB . . . 83
11.6 Beregningsdelen i SiByB . . . 90

Validering af koncept (SiByB) 94

12 Introduktion til validering 94

13 Case: Langøvænget 8 96
13.1 Bygningsbeskrivelse . . . 96
13.2 Indledende betragtninger til en SiByB validering . . . 98
13.3 SiByB simulering . . . 100
13.4 SiByB simulering med korrelerede inputparametre . . . 112
13.5 Undersøgelse af den termiske oplevelse . . . 116

14 Case: Stenagervænget 37 117
14.1 Bygningsbeskrivelse . . . 117
14.2 Indledende betragtninger til validering af SiByB . . . 119
14.3 SiByB simulering . . . 121

15 Sammenfatning af validering 135
15.1 Validering af SiByB . . . 135
15.2 Validering af sammenspillet mellem brugeradfærd, energiforbrug og indeklima 137

Konklusion og perspektivering 142

16 Diskussion 142

17 Konklusion 146

18 Perspektivering 150

Litteraturliste 154

Bilag **164**

A Top-down modeller **164**
A.1 Økonometriske modeller . . . 164
A.2 Tekniske modeller . . . 166

B Bottom-up modeller **169**
B.1 Statistiske modeller . . . 169
B.2 Ingeniørvidenskabelige modeller . . . 174

C Sociologiske modeller **185**
C.1 Familiens livscyklus . . . 185
C.2 Energibesparen . . . 189

D Socio-tekniske modeller **194**
D.1 Integreret adfærdsmodel . . . 194
D.2 Kulturel model . . . 199
D.3 Energikultur model . . . 202
D.4 Systembaseret model . . . 206

E Indeklima i lavenergiboliger **210**

F Samspil mellem energiforbrug og brugeradfærd **211**

G Spørgeskema **212**
G.1 Spørgeskema fra Kildemoes og Ellehauge . . . 212
G.2 Spørgeskema fra Rambøll Danmark A/S . . . 213
G.3 Spørgeskema fra Cenergia Energy Consultans . . . 214
G.4 Spørgeskema fra Bascon A/S . . . 215
G.5 Spørgeskema fra Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S . . . 216

H Energiberegninger i SiByB **217**
H.1 Beregningsmetode . . . 217

I Indeklimaberegninger i SiByB **226**
I.1 Termisk indeklima . . . 226
I.2 Atmosfærisk indeklima . . . 231

J Inputparametre i SiByB **235**

K Fordelinger af brugerrelaterede inputparametre **237**
K.1 Fordelingstyper . . . 237
K.2 Fordelinger af de brugerrelaterede parametre . . . 239

L Sammenligning af Be10 og regnearksversion **251**
L.1 Beskrivelse af parcelhuset . . . 251
L.2 Resultater fra Be10 . . . 253
L.3 Resultater fra regnearksversion . . . 254
L.4 Sammenligning . . . 254

M Komfortinddeks **255**
M.1 Evaluering af det termiske indeklima . . . 256
M.2 Evaluering af det atmosfæriske indeklima . . . 257

N Monte Carlo analyse **259**
N.1 Baggrund . . . 259
N.2 Samplingsmetoder . . . 262
N.3 Sensitivitetsanalyse . . . 266

O Makroer **277**
O.1 Hent samples . . . 277
O.2 Termisk oplevelse; aktuel indtastning . . . 278
O.3 Simulering kun indeklima med termisk oplevelse . . . 282
O.4 Simulering kun energi . . . 291
O.5 Simulering SiByB uden termisk oplevelse . . . 294
O.6 Simulering SiByB med termisk oplevelse . . . 304

P Nødvendig antal simuleringer **320**

Q Case: Langøvænget 8 **323**
Q.1 Opbygning af SiByB-beregning indeklimadel . . . 323
Q.2 Opbygning af BSim-model . . . 325
Q.3 Målinger . . . 332
Q.4 Sammenligning af Be10 beregning og regnearksversion . . . 332
Q.5 Sammenligning af vejrdata . . . 333
Q.6 Sammenligning af sensitivitetsanalyser . . . 335
Q.7 Korrelation af de brugerrelaterede inputparametre . . . 349

R Case: Stenagervænget 37 **354**
R.1 Opbygning af SiByB-simulering indeklimadel . . . 354
R.2 Opbygning af BSim-model . . . 356
R.3 Målinger . . . 363
R.4 Sammenligning af Be10 beregning og regnearksversion . . . 367
R.5 Sammenligning af vejrdata . . . 369
R.6 Sammenligning af sensitivitetsanalyser . . . 371

Symbolliste

Akronymer

BR	Bygningsreglementet
CEN	European Commitee for Standardization
DS	Dansk Standard
$EPBD$	Energy Performance of Buildings Directive
FLC	Familiens livscyklus
MCA	Monte Carlo Analyse
PD	Percentage Dissatisfied
$PEAR$	Pearsons korrelationskoefficient
$PHPP$	Passive House Planning Package
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
$P(R)RC$	Partial(rankerings)korrelationskoefficient
$S(R)RC$	Standardiseret (rankerings)regressionskoefficent
SBi	Statens Byggeforskningsinstitut
$SiByB$	Simplificeret beregning af boligers ydeevne under hensyntagen til brugernes adfærd
$SPEA$	Spearmans korrelationskoefficent
SA	Sensitivitetsanalyse
UA	Usikkerhedsanalyse

Græske symboler

β	Bygningens relative brugstid	[−]
δ	Variationskoefficient	[%]
η	Virkningsgrad	[−]
φ	Relativ luftfugtighed	[%]
μ	Middelværdi	[−]

Φ	Varmetilskud / -tab	$[W/m^2]$
Ψ	Linjetab	$[W/mK]$
σ	Standardafvigelse	$[-]$
ρ	Densitet	$[kg/m^3]$
ν_{ar}	Lufthastighed	$[m/s]$

Symboler

A	Areal	$[m^2]$
A_{DU}	du Bouis areal	$[m^2]$
b	Temperaturfaktor	$[-]$
c	Koncentration	$[ppm]$
c_p	Specifik varmefylde	$[J/kgK]$
c_{olf}	Forureningsbelastning på baggrund af luftgener	$[olf]$
E	Bygningers elbehov	$[kWh/m^2\ pr.\ år]$
EL-VF	Varmeflade i ventilationsanlæg	$[-]$
F_β	Vinkelforhold	$[-]$
F_c	Solafskærmningsfaktor	$[-]$
F_f	Glasandel	$[-]$
F_s	Skyggefaktor	$[-]$
F_w	Korrektionsfaktor for indfaldsvinkel	$[-]$
f_{cl}	Forhold mellem overfladeareal af beklædt og nøgen krop	$[-]$
g	Solvarmetransmittans	$[-]$
H	Specifik varmetab	$[W/°C]$
h	Højde	$[m]$
h_c	Konvektive varmetabskoefficient	$[W/m^2K]$
H_{kap}	Bygningens varmekapacitet	$[W/m^2K]$
I_{cl}	Beklædningsisolans	$[clo]$
L	Længde	$[m]$
M	Aktivitetsniveau	$[met]$
M_L	Vanddampmængde	$[g/h]$

O_{bygn}	Forureningsbelastning fra bygningen	$[olf/m^2]$
O_{pers}	Forureningsbelastning fra personer	$[olf/pers]$
P	Tryk	$[Pa]$
p_b	Barometerstanden	$[Pa]$
$pers$	Antal personer	$[stk]$
q	Luftstrøm	$[l/sm^2]$
SEL	Specifikt elforbrug til luft transport	$[kJ/m^3]$
t	Temperatur	$[K]$
T_b	Bygningens brugstid	$[h/uge]$
U	Transmissionskoefficient	$[W/m^2K]$
u	Udåndingsluft pr. person	$[l/min]$
V	Volumen	$[m^3]$
V_W	Varmtvandsforbrug	$[m^3]/[l/m^2\ pr.\ år]$
W	Ydre mekanisk arbejde	$[W/m^2]$
x	Absolutte vanddampindhold	$[g/kg]$

Kapitel **1**

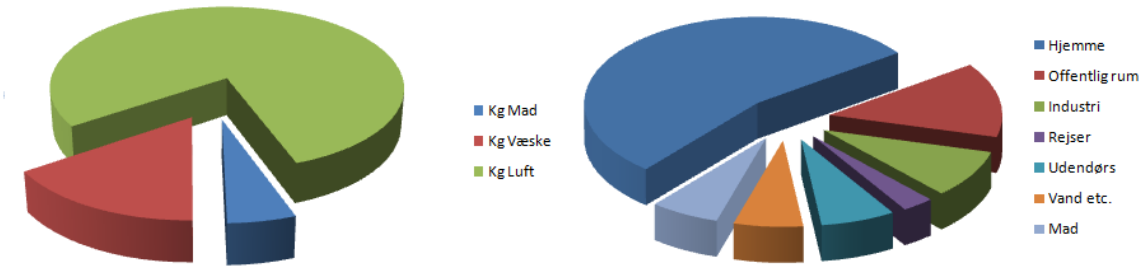
Indledning

Gennem årene har hovedformålet med boliger været at beskytte mennesket mod det ydre klimas påvirkninger. Historisk set har boligen været en essentiel faktor for mennesket i forhold til overlevelse og bosættelse over hele verden. Boligen har, på samme måde som mennesket, gennemgået en betydelig udvikling fra de tidlige huler til primitive huse, og senere fra simple huse til højtudviklede højhuse og skyskrabere. Den centrale udvikling i de vestlige lande er sket som følge af det store økonomiske opsving i velstanden i efterkrigstiden, hvor især USA og Skandinavien oplevede en øget velstand og en optimering af levevilkårene. [Kuhn, 1999] Denne udvikling ses stadig i dag, hvor antallet af boliger er stigende på samme måde som det gennemsnitlige beboelses areal, hvorimod antallet af beboere pr. husstand er faldende, denne udvikling fremgår af tabel 1.1.

År	**1955**	**1975**	**1995**	**2008**
Antal boliger	1,39 mio.	1,8 mio.	2,42 mio.	2,71m
Antal beboere pr. bolig	3,13	2,69	2,21	2,15
Gennemsnitlig bolig areal			$104m^2$	111 m^2

Tabel 1.1 – *Udviklingen for boliger i Danmark [Danmarks Statistik, 1957][Danmarks Statistik, 1976][Danmarks Statistik, 1996][Danmarks Statistik, 2009]*

Som det fremgår af tabel 1.1, er udviklingen af boliger stadig til stede. Yderligere har der de sidste årtier været en stor stigning i form af husholdningsapparater såsom fryser, køleskab, opvaskemaskine osv. samt elektrisk udstyr som telefoner, computer, iPod osv. [Klima- og Energiministeriet, 2010] I takt med at menneskets viden og velstand er blevet større, og mennesket opholder sig indendører det meste af tiden, har kravene til indeklimaet på samme vis vokset sig større. Figur 1.1 illustrerer, hvorfor det i dag bliver mere og mere aktuelt at betragte indeklimaet og kvaliteten af dette. Dette skyldes, at mennesket i gennemsnit indtager 5 gange så meget luft, som væske og tilbringer størstedelen af dets tid i hjemmet.



(a) Indtag af luft gennem en dag

(b) Udsættelse af luft gennem en normal levetid

Figur 1.1 *– Luftens påvirkning af mennesket, efter [Brohus, 2010a]*

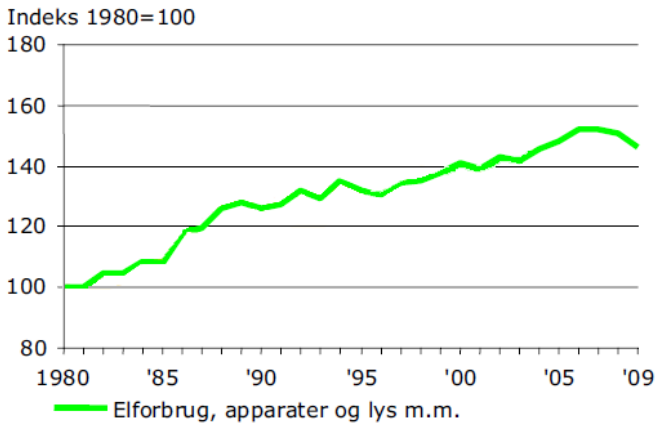
På samme måde som den øgede fokus på luftkvaliteten i boliger er levestandarden i dag på et sted, hvor komforten for brugeren er en stigende faktor i forbindelse med projekteringen af boligbyggeri. Dette kan bl.a. ses i udviklingen af huse med eget badeværelse samt centralvarme som vist i tabel 1.2.

År	**1955**	**1975**	**1995**	**2008**
Eget bad	39%	71%	94%	93%
Centralvarme	34%	84%	97%	96%

Tabel 1.2 *– Udvikling af boliger i Danmark [Danmarks Statistik, 1957][Danmarks Statistik, 1976][Danmarks Statistik, 1996][Danmarks Statistik, 2009]*

Ud fra tabel 1.2 er det tydeligt, at komfortniveauet har udviklet sig gennem årene, særligt da centralvarmen blev installeret i halvtredserne. [Kuhn, 1999] Denne væsentlige forbedring i velstand og livsstil har medført stor stigning i boligers energiforbrug. I Energihandlingsplanen, Energi-2000, fra 1990 udarbejdet af den daværende regering skønnes det, at energiforbruget vil stige med faktor 17 fra 1900 til 2000. [Energiministeriet, 1990] Tre faktorer, nemlig husholdning, industri samt vækst i servicesektoren forklarer det meste af denne stigning, hvor husholdning i dag er ansvarlig for cirka 30% af det totale energiforbrug i Europa. I Danmark udgør dette tal ligeledes 30%. [European Commission, 2010]

Figur 1.2 viser elforbruget til husholdningsapparater samt lys i Danmark. Af figur 1.2 ses det, at elforbruget har været stigende fra firserne og op gennem halvfemserne, hvorimod elforbruget de seneste år har været nogenlunde stagnerende.



Figur 1.2 – *Elforbrug til til husstandsbrug, efter [Klima- og Energiministeriet, 2010]*

Stigningen i energiforbruget må ses som en konsekvens af de forbedrede levestandarder som anført ovenfor. Schipper [1995] vurderer, at stigningen i beboelsesareal samt installeringen af centralvarme har medført fordoblingen i energiforbrug i husholdninger fra tresserne til halvfemserne. Derudover diskuterer Gram-Hanssen [2005a], at energiforbruget pr. person falder i takt med, at antallet af personer i boligen stiger.

Den store stigning i det totale energiforbrug har længe optaget forskere og politikere grundet den globale opvarmning samt manglen på brugbare energikilder. Ved konferencen *"Climate Change - Global Risks, Challenges & Decisions"* i København, marts 2009 blev den nyeste viden indenfor globale risici samt udfordringer, som følge af de globale klimaforandringer, præsenteret. Efter konferencen blev resultaterne summeret i en synteserapport af de mest fremtrædende forskere. Følgende citat er fra denne synteserapport:

> *"Der er i dag overvældende videnskabelig evidens for, at en fortsat ukontrolleret emission af drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter udgør en betydelig trussel for det moderne samfunds trivsel og fortsatte udvikling. ... Det er nødvendigt, at omdefinere menneskets forhold til Jorden, og at styre de menneskelige aktiviteter, der påvirker klimaet, af hensyn til samfundets trivsel."*[Richardson et al., 2009]

På baggrund af ovenstående citat er det indlysende, at emissionen af drivhusgasser, i forhold til det høje energiforbrug, truer udviklingen af samfundet. Dette betyder altså, at den førnævnte udvikling af velstand er truet af det stadigt stigende energiforbrug. Paradoksalt er dette faktisk en konsekvens af den stigende velstand. Ifølge Gjerris et al. [2009] er der to meninger om, hvordan dette problem kan forstås og løses. Første måde er at se problemet som en tilfældig og samtidig uheldig sideeffekt ved en ellers harmonisk og bæredygtig kultur, hvor løsningen indebærer stadig stigende teknologisk effektivisering. Billedlig talt betyder dette, at bygningsmassen er nødt til at være bæredygtig for at kunne bevare energiforbruget på et minimum. Politikere har muligheden for at hjælpe denne bæredygtige udvikling ved at indføre regulativer. I Danmark bestemmer bygningsreglementet (BR) energirammen, der skal være overholdt ifølge dansk lovgivning. I 1961 blev det første bygningsreglement introduceret. Med BR61 [Boligministeriet, 1961] var det første gang med specifikke bestemmelser vedrørende varmeisoleringen i boliger. I BR77 [Boligministeriet, 1977] og BR82 [Byggestyr-

relsen, 1982] blev disse bestemmelser strammet. I 1985 med BR85 blev energirammen introduceret, der blev beregnet ud fra boligens nettoareal. [Byggestyrelsen, 1985] Generelt set er energirammen blevet strammet gennem årene. Tabel 1.3 viser udviklingen af bygningsreglementet, hvor et hus på henholdsvis $100m^2$ og $220m^2$ betragtes. Det skal bemærkes, at energirammen fra BR85 samt BR98 kun dækker varmebehovet til rumopvarmning og ventilation, hvorimod energirammen for BR08, BR10 samt 2015 yderligere dækker energibehovet til køling og varmt brugsvand.

	Energiramme	
	100 m^2 bolig	220 m^2 bolig
BR85 [Byggestyrelsen, 1985]	90 kWh/m^2 pr. år	80 kWh/m^2 pr. år
BR98 [Bolig- og Byministeriet, 1998]	70 kWh/m^2 pr. år	70 kWh/m^2 pr. år
BR08 [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2008]	92 kWh/m^2 pr. år	80 kWh/m^2 pr. år
BR10 [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010]	68,5 kWh/m^2 pr. år	60 kWh/m^2 pr. år
2015 [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010]	46 kWh/m^2 pr. år	40 kWh/m^2 pr. år

Tabel 1.3 *– Udviklingen af energirammen for boliger i Danmark for en 100 m^2 henholdsvis 200 m^2 bolig*

Udviklingen i bygningsreglementet, som fremgår af tabel 1.3, åbner op for optimering af energiforbruget i boliger, og i 2015 vil energirammen endnu engang blive strammet med 50% set i forhold til BR08. [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010] Allerede i dag er der stort fokus på lavenergiboliger, forskellige eksempler på dette ses ved f.eks. Komforthusene (Vejle), *Bolig for livet* (Aarhus), *Bolig+* (Aalborg, ikke bygget endnu), EnergiParcel (Aarhus) osv. Disse boliger har et meget lavt energiforbrug, og nogle af dem producerer selv energi, faktisk mere end de bruger. [Velfac, 2010]

Anden mening udtrykt af Gjerris et al. [2009] om, hvorledes problemerne vedrørende global opvarmning skal forstås og løses, i forhold til at reducere energiforbruget i boliger, er som følger: Effekten af den globale opvarmning er systematisk for en kultur (vestlig kultur), der grundlæggende eksisterer i modstrid til dets eget naturgrundlag. Overføres dette til problemet med stigende energiforbrug i boliger: Brugernes komfortmæssige forventninger og energiforbrugende adfærd i bygninger medfører et stort og stadigt stigende energiforbrug som ikke er bæredygtigt.

Flere studier har undersøgt brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i boliger, og alle påberåber, at brugerne og deres adfærd har stor indflydelse på energiforbruget. Danske erfaringer, i forbindelse med brugeradfærd i lavenergibygninger, viser en stor forskel mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug. Andre erfaringer viser ligeledes stor forskel mellem det planlagte og opnåede indeklima. På samme måde har interviews og erfaringer vist, at standardværdierne for indeklima, såvel termisk som atmosfærisk, ikke altid stemmer overens med brugernes ønsker og opfattelse.r[Andersen, 2010b][Larsen og Brunsgaard, 2010][Brunsgaard et al., 2010]

Problemanalyse

Kapitel 2

Baggrund for problemanalysen

På baggrund af det stadigt stigende fokus på knapheden af tilgængelige energiressourcer [IPCC, 2007][BP-International, 2010] og øgede fokus på den stadig stigende forurening [Richardson et al., 2009][Hitz og Smith, 2004] er det nødvendigt at energieffektivisere boliger. Erfaringer har dog vist, at teoretiske beregninger ikke altid stemmer overens med det faktiske energiforbrug, hvorfor det er hensigtsmæssigt at undersøge energiberegningerne for boliger nærmere for at optimere disse. Både forskere og medier har været opmærksomme på denne uoverensstemmelse og har forsøgt at finde baggrunden til dette. [Andersen, 2010a][Andersen, 2010b][Larsen og Brunsgaard, 2010][Feist et al., 2005][Abildgaard, 2010] Denne problematik leder op til følgende problemstillinger:

- Hvad er grunden til uoverensstemmelsen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug, og er der en sammenhæng mellem energiforbruget og brugernes adfærd?
- I forbindelse med projektering af lavenergiboliger er detaljerede energiberegninger essentielle, men hvor detaljeret skal indeklimaberegningerne være, for at energibesparelserne ikke sker på grundlag af brugernes komfortniveau?
- Er de respektive energiberegningsprogrammer i stand til at tage højde for termisk komfort samt luftkvaliteten i boligen, eller er de kun anvendelige til at beregne energiforbruget i forhold til myndighedsgodkendelse?

Problemanalysen omhandler en redegørelse af problemstillingernes opståen og en dokumentation for eksistensen af disse. Problemanalysen indeholder et dybdegående studie af allerede eksisterende modeller til beregning af energiforbruget. Den beskriver ligeledes problemstillingernes interesseparter samt principielle løsningsmuligheder. På baggrund af problemanalysen vil problemformuleringen blive udarbejdet.

Kapitel 3

Beregninger af energiforbruget

Nærværende kapitel redegør for problematikkerne i forbindelse med beregninger af energiforbruget i boliger. Her præsenteres, hvorledes energiberegninger foretages i henhold til nuværende lovgivning, samt hvorledes adfærden fra brugerne påvirker energiforbruget og indeklimaet. Ydermere præsenteres de beregningsprogrammer, der som oftest anvendes i forbindelse med energiberegninger, og eventuelle problemområder vil blive belyst.

3.1 Energiressourcer

Hovedformålet med al energiomsætning er at levere energi til bygninger, der kan være med til at forbedre livskvaliteten samt produktiviteten. [Hall og Lobina, 2004] På baggrund af dette er det essentielt ikke kun at fokusere på energibesparelse, men også at kigge nærmere på verdens energiressourcer, der har været genstand for øget fokus gennem de sidste år. Som beskrevet i indledningen er kravene til energiforbruget i bygninger blevet skærpet adskillige gange i bygningsreglementet, og igen i 2015 vil disse krav blive skrappere. En af grundene til dette er udover den globale opvarmning, at der uden disse stramninger vil være en reel risiko for at være uforberedt på begrænsningerne samt afbrydelser i forbindelse med fremtidens energiforsyning. Ifølge BP-International [2010] vil olie og gas ressourcerne, som vi kender dem i dag, kunne dække dagens energibehov i 40 år til 60 år. Netop derfor er det vigtig at få implementeret vedvarende energikilder i energiomsætningen i højere grad, end det ses i dag. De fossile brændstoffer kan delvist erstattes af de vedvarende energikilder. Hvor eksempelvis solens stråler vil kunne hjælpe med at opvarme boligen, vil vindenergi kunne forsyne boligen med den nødvendige elektricitet.

På baggrund af manglen på energiressourcer og den globale opvarmning vil det i fremtiden i endnu højere grad være nødvendigt med mere præcise beregninger af boligernes energiforbrug. Derfor vil der i det følgende blive set nærmere på energiberegningerne i forhold til den nuværende lovgivning.

3.2 Europæisk standardisering

Kravene i BR10 er opstillet med udgangspunkt i EU-direktivet om bygningers energimæssige ydeevne, kaldet EPBD-direktivet (Energy Performance of Buildings Directive). EPBD-direktivet er en del af EU's rammeværktøj til at nedsætte den globale opvarmning ved at

reducere energiforbruget og øge energieffektiviteten i bygninger. [Schild et al., 2010] Ydermere er baggrunden for indførslen af EPBD-direktivet frygten for at der kommer mangler på energiressourcer, der kan medføre en ny energikrise. Europa-parlamentet og -rådet [2010] afløser det gamle direktiv fra 2002, Europa-parlamentet og -rådet [2002]. Hovedformålet med EPBD-direktivet er at fremme bygningers energieffektivitet i den Europæiske Union, under hensyntagen til udeklimaet, indeklimaet, omkostningseffektivitet og lokale forhold. Direktivet indeholder krav vedrørende: [Europa-parlamentet og -rådet, 2010]

- En overordnet ramme for en metode til beregning af bygningers samlede energimæssige ydeevne
- Anvendelse af mindstekrav til nye bygningers energimæssige ydeevne
- Anvendelse af mindstekrav til den energimæssige ydeevne for:
  - Eksisterende bygninger, bygningsenheder og bygningselementer, der skal gennemgå omfattende renoveringsarbejde
  - Bygningselementer som former en betydelig del af klimaskærmen, og har væsentlig indflydelse på klimaskærmes energimæssige ydeevne, når denne skal renoveres eller udskiftes
  - Tekniske bygningssystemer hver gang de bliver installeret, udskiftet eller opgraderet
- Nationale planer for forøgelse af næsten "*nulenergibygninger*"
- Energicertificering for bygninger og bygningsenheder
- Regelmæssigt eftersyn af varme og AC-systemer i bygninger
- Uafhængige kontrolsystemer for certificering af den energimæssige ydeevne og inspektionsraporter

Direktivet foreskriver eksempelvis, at indeklimaet, herunder det planlagte indeklima, skal inkluderes i beregningen af bygningens energimæssige ydeevne. Ligeledes er et af kravene i direktivet, at efter 31. december 2020 skal alle nye bygninger være næsten "*nulenergibygninger*", men begrebet "*nulenergibygninger*"præciseres ikke yderligere. Direktivet specificerer ikke hvor strenge kravene skal være, og specificerer heller ikke hvilke tiltag, som skal tages i forbindelse med overholdelse af kravene. Dette er op til det enkelte medlemsland selv at afgøre. EPBD-direktivet kommer dog med betragtninger på hvorledes direktivet kan implementeres og overholdes af de enkelte medlemslande. Eksempler på nogle af betragtningerne er: [Europa-parlamentet og -rådet, 2010]

- Forbedringer af bygningers energimæssige ydeevne skal ske under hensyntagen til udeklima, indeklima, omkostningseffektivitet samt lokale forhold
- Finansielle muligheder burde foreligge for at behjælpe med at overholde direktivet
- Medlemslande burde gøre det muligt og tilskynde arkitekter, ingeniører og andre planlæggere at energieffektivisere bygninger

- En tilstrækkelig mængde installatører og bygningsarbejder burde, gennem træning, efteruddannelse og lignende, have de fornødne kompetencer for at installere og integrere energieffektive tiltag i bygninger
- Bygninger, som anvendes af offentlige myndigheder og offentlige tilgængelige bygninger bør gøres til forbillede med hensyn til miljø og energimæssige hensyn.

På baggrund af EPBD direktivet har CEN (European Commitee for Standardization) udformet en række EPBD standarder, der anvendes til energiberegninger i bygninger. Det overordnede formål med standarderne er, at skabe et sammenligneligt grundlag på tværs af landende i den Europæiske Union. På baggrund af disse standarder er det meningen, at de enkelte medlemslande skal udarbejde nationale standarder, som kan anvendes til energiberegninger i forhold til overholdelse af de enkelte landes energikrav.

3.3 Energiberegninger i forhold til dansk lovgivning

I Danmark skal bygninger overholde lovkravene givet i bygningsreglementet, som præciseret i indledningen. I juni 2010 blev det nye bygningsreglement, BR10 introduceret, der giver følgende krav til opførelsen af bygninger: [Erhvervs- og Byggestyrrelsen, 2010]

"Bygninger skal opføres, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold." [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010]

På baggrund af citatet er det åbenlyst, at bygningens energiforbrug hænger uløseligt sammen med dennes indeklima. Dvs. selvom energirammen i BR10 er reduceret med 25% i forhold til energirammen i BR08, skal bygningens indeklima stadig være af tilfredsstillende og sundhedsmæssig karakter. Til trods for dette skal der ved opførelse af bygninger kun afleveres dokumentation for overholdelse af energirammen for at få byggetilladelse. [Aggerholm og Grau, 2007] For at overholde energirammen samt kravet til indeklimaet har Dansk Standard udgivet en række normer, som kan bruges til retningslinjer ved opførelse af bygninger. Energiberegningerne er baseret på nedenstående normer:

- DS 418: Beregning af bygningers varmetab [Dansk Standard, 2002]
- DS 439: Norm for vandinstallationer [Dansk Standard, 2009]
- DS 447: Norm for mekaniske ventilationsanlæg [Dansk Standard, 2005]
- DS 452: Termisk isolering af tekniske installationer [Dansk Standard, 1999]
- DS 469: Norm for varmeanlæg med vand varmebærende medium [Standard, 1995]

DS 418 omhandler bygningens klimaskærm, mens de resterende normer omhandler bygningens individuelle tekniske installationer. DS 418 specificerer parametre som dimensionerende inde-, ude- og jordtemperaturer samt beregning af det totale varmetab, transmissionstab,

ventilationstab, transmissionskoefficienter og kuldebroer. DS 439, DS 447, DS 452 og DS 469 omhandler retningslinjer for design af vandinstallationer, ventilationsinstallationer etc.

På samme måde er der udgivet normer, der angiver retningslinjer for overholdelse af indeklimaet. Det skal dog nævnes, at indeklimaet ikke skal dokumenteres i forhold til byggetilladelsen, men at retningslinjerne kan bruges i forhold til projektering af det ønskede indeklima bestemt af bygherren. Nedenstående viser de udgivne normer i relation til indeklimaet:

- DS 474: Norm for specifikation af termisk indeklima [Dansk Standard, 1995]
- DS/EN 15242: Ventilation i bygninger - Beregningsmetoder til bestemmelse af luftvolumenstrømme i bygninger, inklusiv infiltration [European Committee for Standardization, 2007a]
- DS/EN 15251: Inputparametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik [European Committee for Standardization, 2007b]

DS 474 er en norm for det termiske indeklima, der indeholder retningslinjer for komfort i forhold til parametre som temperaturforhold, luftbevægelser og fugtforhold. [Dansk Standard, 1995] I forhold til indeklimaet er formålet med DS/EN 15242 at evaluere kvaliteten af luften i boligen i relation til det atmosfæriske indeklima. [European Committee for Standardization, 2007a] DS/EN 15251 specificerer, hvorledes designkriterierne for indeklimaet bør op stilles ud fra bygningstype, antallet af brugere samt klimaet. Formålet er at give retningslinjer i forhold til opretholdelse af et tilfredsstillende indeklima. Normen indeholder fire kategorier, I, II, III og IV, svarende til kvaliteten af det ønskede indeklima i bygningen, hvor kategori I svarer til højt forventningsniveau, kategori II normalt forventningsniveau, kategori III er acceptabelt forventningsniveau, og kategori IV svarer til værdier udenfor acceptabelt niveau. [European Committee for Standardization, 2007b]

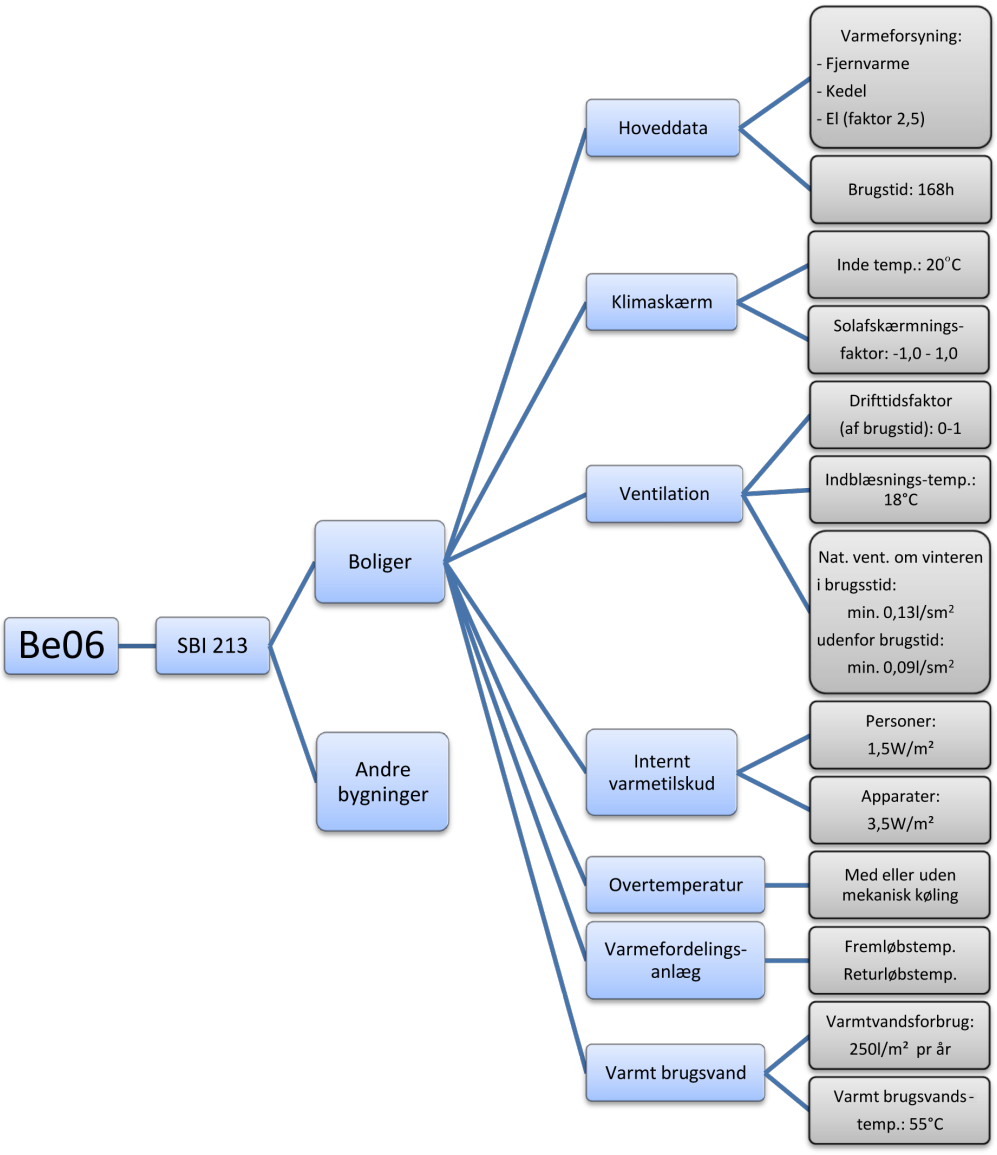
For at forstå de problematikker, der opstår i forbindelse med brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i boliger, er det nødvendigt at undersøge hvordan energiforbruget i praksis beregnes. Ligeledes er det nødvendigt at betragte brugernes adfærd i forbindelse med sammenspillet mellem energiforbruget og indeklimaet, hvilket understreges i kapitel 4.

3.4 Danske energiberegningsprogrammer

3.4.1 Be10

I Danmark foretages beregninger af energiforbruget ofte på baggrund af programmet Be10, der er baseret på SBi anvisning 213 [Aggerholm og Grau, 2007]. Be10 er udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, og beregner et specifikt energiforbrug baseret på den gældende lovgivning, som beskrevet tidligere. Formålet med Be10 er at opnå myndighedsgodkendelse i forhold til den i bygningsreglementet anviste energiramme. Det er derfor ønskværdigt at undersøge, hvorvidt Be10 kan anvendes til at beregne det faktiske energiforbrug samt evaluere indeklimaet, eller om det blot er anvendeligt i forbindelse med myndighedsgodkendelse af energiforbruget.

Beregningerne i Be10 bygger på forskellige antagelser omkring værdier for brugerelaterede inputparametre. Figur 3.1 viser en skematisk opbygning af Be10, hvori forskellige antagelser, anvendt i Be10 beregninger, er anført. [Aggerholm og Grau, 2007] Antagelserne, der er vist på figuren, henviser til eventuelle problemområder, der kan opstå vedrørende anvendelse af Be10 til forudsigelse af det faktiske energiforbrug. På baggrund af denne figur vil problemområderne blive gennemgået dog uden at indgå i en yderligere diskussion om, hvorledes disse parametre influerer på energiforbruget. Det skal bemærkes, at elforbrug til husholdningen ikke er inkluderet i Be10 beregninger.



Figur 3.1 – *Skematisk visning af Be10*

Hoveddata

I energiberegningerne i Be10 ganges elforbruget med en primær energifaktor på 2,5. Denne konverteringsfaktor skyldes bl.a. brændselssammensætning, import og eksport samt det

faktum at produktionen af elektricitet udleder mere CO_2 end ved andre energiressourcer. [Marsh et al., 2008] I forbindelse med boliger antages det, at disse er i brug alle døgnets timer syv dage om ugen, og de har derfor en brugstid på 168 timer/uge.

Klimaskærm
I Be10 antages alle rum til værende opvarmet til $20°C$ i alle årets måneder. Som det fremgår på figur 3.1, regnes der med en solafskærmningsfaktor på -1 til 1[1]. Solafskærmningen antages i Be10 at være i brug, når der er direkte sol på vinduet uafhængigt af, om der er et opvarmnings- eller kølebehov [Aggerholm og Grau, 2007]. I forbindelse med solafskærmning tages der hensyn til skygger på vinduet, både fra lige omkring vinduet og fra omgivelserne. Skyggerne fastlægges via en reference, der henviser til et aktuelt defineret skyggeforhold. Her tages der hensyn til omkringliggende bygninger samt beplantning. Skygger kan have såvel positiv som negativ indvirkning på boligen. Eksempelvis vil få skygger sikre høj andel af passiv solvarme, men dette medfører samtidig risiko for overophedning. I Be10 er der ikke høje krav til nøjagtigheden af de definerede skygger, hvorfor det er let at manipulere med disse.

Ventilation
Såfremt bygningen er mekanisk ventileret med varmeflade, regnes der med en indblæsningstemperatur på $18°C$.

Internt varmetilskud
Ses der på det interne varmetilskud, regnes der med et varmetilskud fra personer på 1,5 W pr. m^2. I boliger antages dog et varmetilskud på mindst 90 W fra personer pr. boligenhed og maksimalt 360 W fra personer pr. boligenhed, svarende til mindst en person og maksimalt fire personer pr. boligenhed. I forbindelse med apparatur regnes der med et gennemsnitlig varmetilskud inklusiv belysning på 3,5 W pr m^2. På sammen måde er der fastsat maksimum- og minimumværdier for dette; 210 W fra apparatur pr. boligenhed og maksimalt 840 W fra apparatur pr. boligenhed, svarende til mindst en person og maksimalt fire personer pr. boligenhed. [Aggerholm og Grau, 2007]

Overtemperatur
Det antages, at der i rum med mekanisk køling vil være en maksimal temperatur på $25°C$. Ud fra dette vil der med mekanisk ventilation ikke umiddelbart opstå problemer med overtemperatur, idet denne antages at sætte ind i kritiske perioder. Spørgsmålet er så, hvorvidt boligen, i de tilfælde hvor der ikke er installeret køling, vil kunne nedkøles udelukkende ved hjælp af naturlig ventilation. Derudover luftes der ekstra ud eller anvendes forøget mekanisk ventilation i perioder, hvor rumtemperaturen overstiger $23°C$, ligeledes aktiveres potentiel nattekølig, når rumtemperaturen i perioder overstiger $24°C$. [Aggerholm og Grau, 2007]

Varmefordelingsanlæg
I Be10 angives den projekterede fremløbs- og returtemperatur. Derfor kan der i energiberegningerne ikke tages hensyn til eventuelle ændringer i disse grundet beboernes adfærdsmønstre.

Varmt brugsvand
Be10 antager, at der er et årligt varmtvandsforbrug på 250 l/m^2. Problemerne med at dette er angivet som en standardværdi er, at tilstedeværelsen af eksempelvis en teenager med

[1]Solafskærmningsfaktoren, der indtastes i energiberegningen, har følgende egenskab: fc=0 fuld solafskærmning og fs=1 ingen solafskærmning. Hvor et negativ fortegn betyder at solafskærmningen ikke medtages om vinteren.

al sandsynlighed vil medføre en stigning i varmtvandsforbruget. Ydermere vil perioder med hjemmegående beboere medføre en sådan stigning. Ligeledes er fremløbstemperaturen for det varme brugsvand statisk, hvorfor ændringer grundet beboernes eventuelle forskellige ønsker af vandtemperaturen ikke vil vise sig.

På baggrund af de gennemgåede antagelser vedrørende brugerrelaterede inputparamtere samt overtemperatursberegningen vurderes det at Be10, udelukkende er anvendeligt til myndighedsgodkendelse, og ikke giver et billede af det faktiske energiforbrug samt indeklima i boliger.

3.4.2 BSim

Det hygrotermiske bygningssimuleringsprogram BSim er, ligesom Be10, udviklet af SBi. BSim er et mere komplekst beregningsprogram set i forhold til Be10, hvor der ikke er angivet direkte standardværdier. Formålet med BSim er at beregne og analysere såvel energiforbruget som indeklimaet i den pågældende bygning på timebasis. Problemet er, at BSim ofte ikke anvendes i designprocessen, da en simulering i BSim ofte er mere tidskrævende og omkostningstung end Be10 som følge af detaljeringsgraden. En af de klare fordele ved at tilknytte en BSim simulering til energiberegninger vil være, at der samtidig bliver foretaget en klimateknisk undersøgelse. BSim analyserer energiforbruget ud fra bl.a. varmebalancen, og energiforbruget bliver opdelt i følgende kategorier:

- Opvarmning
- Køling
- Udstyr
- Belysning
- Ventilation

I BSim regnes der, for såvel energiforbrug som indeklima, med specifikke tidsskemaer, hvilket gør det lettere, at angive hvornår varmeanlæg, ventilationsanlæg og køleanlæg er i drift. På samme måde er det muligt at definere antal personer i boligen, og hvornår de opholder sig i boligen. Som eksempel kan nævnes situationen, hvor en af beboerne eksempelvis er hjemmegående. Her vil der kunne defineres en lavere personlast i de perioder, hvor de resterende beboere er på arbejde. Dermed vil der have været taget højde for et større energiforbrug i forhold til en situation hvor alle beboere er ude af hjemmet i hverdagene. Ligeledes kan der defineres et dagsprofil, der vil kunne tage højde for lavere belastninger om sommeren. Som følge af den detaljerede definition af såvel tidsskemaer samt dagsprofiler er det lettere at præcisere og kontrollere elforbruget til udstyr og lignende i BSim frem for Be10. Ses der på indeklimaet i boligen, er BSim i stand til at analysere såvel det termiske som det atmosfæriske indeklima. Her tænkes bl.a. på operativ temperatur i boligen samt eksempelvis CO_2-koncentrationen.

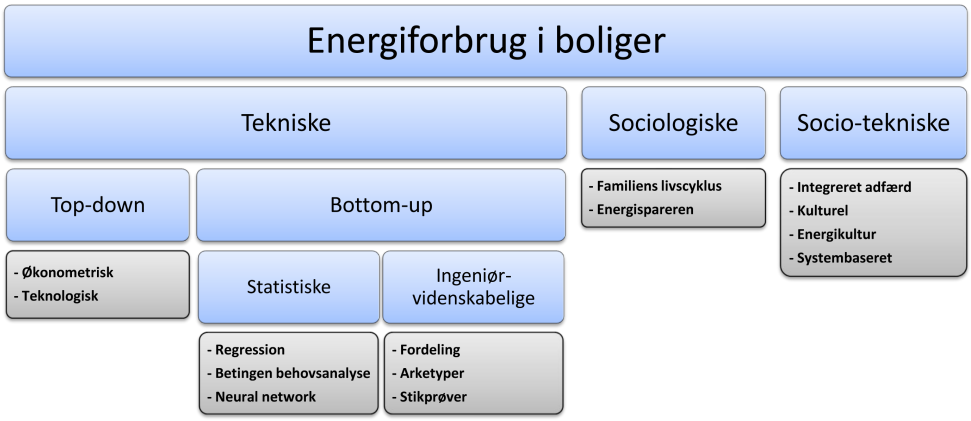
Idet BSim som tidligere nævnt er et mere komplekst program, vil de forskellige parametre ikke blive gennemgået yderligere, idet BSim ofte vil være for detaljeret til anvendelse i forbindelse med projektering af boliger, da mange af de ønskede parametre ikke altid er fastsat på dette tidspunkt, samt det store tidsforbrug til en BSim beregning.

Kapitel 4

Modellering af boligers energiforbrug

Nærværende kapitel behandler tre kategorier af modeller til beregning af energiforbruget i boliger: tekniske, sociologiske og socio-tekniske modeller. De tre kategorier vil blive præsenteret og forklaret, hvorefter de forskellige modeller vil blive gennemgået.

For at danne et overblik over eksisterende metoder til beregning af energiforbruget i boliger i henhold til brugeradfærd, ønskes det at undersøge af allerede publicerede forskningsresultater. Forskningsundersøgelserne indeholder studier indenfor området: *Brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i boliger*. Der vil blive set på tekniske modeller såvel som sociologiske modeller udviklet til at forudsige samspillet mellem brugernes adfærd og energiforbruget i boliger. Gennemgangen af modellerne til beregning af energiforbruget i boliger vil tage udgangspunkt i figur 4.1. Af figuren fremgår det, at modellerne til forudsigelse af energiforbruget i boliger er inddelt i tre kategorier tekniske, socio-tekniske samt sociologiske modeller. Ved hver kategori, er der angivet hvilke modeller, der vil blive gennemgået.



Figur 4.1 – *Inddeling af modellerne til forudsigelse af energiforbruget i boliger*

De tekniske modeller er udelukkende baseret på forskning indenfor det ingeniør- og naturvidenskabelige fagområde. Som det fremgår af figur 4.1 vil de tekniske modeller blive inddelt i yderligere to kategorier, der beskriver den anvendte teknik, nemlig top-down samt bottom-up. Dette refererer til den hierarkiske placering af inputdataene i modellen. Top down modeller anvender beregninger af det totale energiforbrug i boliger samt andre relevante variable til

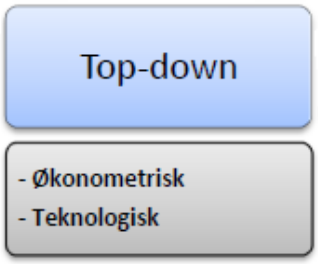
at forklare energiforbruget på af basis hele boligsektoren. Her bestemmes effekten af energiforbruget i forhold til igangværende langtidsholdbare ændringer indenfor boligsektoren. Top-down modeller tæller i denne sammenhæng økonometriske samt teknologiske modeller. I modsætning til dette beregner bottom-up modellerne energiforbruget af individuelle eller grupper af boliger og ekstrapolerer disse resultater til værdier, der kan være repræsentativt for et gældende område eller land. Altså omfatter bottom-up metoden de modeller, der anvender inputdata fra hierarkiske niveauer frem for at betragte boligsektoren som helhed. Bottom-up modeller omfatter såvel statistiske som ingeniørvidenskabelige modeller, der inkluderer regression, behovsanalyse samt neuralt netværk henholdsvis fordelinger, arketyper samt stikprøver. [Swan og Ugursal, 2009]

De sociologiske modeller er baseret på forskning inden for det sociologiske og psykologiske fagområde. Disse undersøger sammenhængen mellem det faktiske energiforbrug og sociologiske samt psykologiske parametre. De sociologiske modeller omfatter familiens livscyklus samt modellen kaldet Energisparen, der definerer personlige karakteristika for energibesparende adfærd, også socio-tekniske modeller blive gennemgået. Disse kombinerer de tekniske modeller med de sociologiske modeller. Disse omfatter fire modeller: integreret adfærdsmodel, kulturel, systembaseret samt energikultur model. Modellerne undersøger alle sammenhængen mellem det faktiske energiforbrug og parametre med teknisk samt sociologisk relation.

I de efterfølgende afsnit, forefindes en overordnet beskrivelse af de nævnte modeller. For nærmere beskrivelse henvises til bilag A , B, C og D.

4.1 Top-down modeller

Dette afsnit beskriver de tekniske modeller, der af Swan og Ugursal [2009] er kategoriseret som top-down modeller. Afsnittet indeholder en generel beskrivelse af metoderne anvendt i top-down modeller, som anvist på figur 4.2.



Figur 4.2 – *Top-down modeller*

Swan og Ugursal [2009] definerer top-down modellerne således:

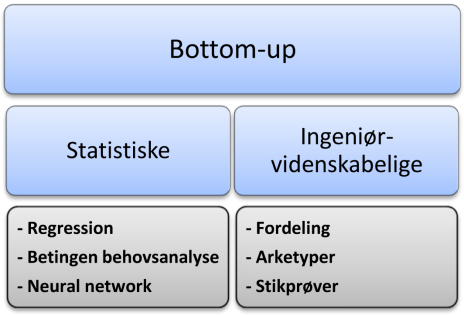
"*Top-down modeller anvender beregninger af det totale energiforbrug for boliger og andre relevante variable til at forklare energiforbruget på baggrund af karakteristikker af hele boligsektoren.*"[Swan og Ugursal, 2009]

Top-down modeller kræver kun overordnede data vedrørende det faktiske energiforbrug i boligsektoren. Top-down modeller behandler boligsektoren som et samlet forbrugssted. Derfra regresserer eller tilføjer top-down modellerne faktorer, der vil være influerende på energiforbruget. For at benytte top-down modeller er det nødvendigt at have tilstrækkelig med tilgængeligt historisk data. Top-down modellerne er opdelt i statistiske og teknologiske metoder. [Swan og Ugursal, 2009]

Top-down modeller fastlægger energiforbruget på baggrund af langvarige ændringer og forandringer i boligsektoren. Dette medfører, at metoderne er oplagt til at bestemme fremtidige forsyningsbehov for større områder og regioner. I top-down modellerne ses der altså ikke på de individuelle slutforbrug. Fordelen ved disse modeller er, at de er mere simple at anvende end eksempelvis bottom-up modellerne. Idet top-down modellerne ikke bestemmer energiforbruget af de individuelle slutforbrug elimineres muligheden for at identificere nøgleområder til forbedringer i forbindelse med at sænke energiforbruget. [Swan og Ugursal, 2009] Dette anses som en klar svaghed, hvorfor disse modeller ikke er gennemgået yderligere i denne del af rapporten, idet de ikke vil bidrage nævneværdigt til analysen af brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget. I bilag A, er de økonometriske samt teknologiske modeller beskrevet.

4.2 Bottom-up modeller

Dette afsnit præsenterer de tekniske modeller kategoriseret som værende bottom-up modeller. [Swan og Ugursal, 2009] Afsnittet indeholder en beskrivelse af det generelle metodebrug i bottom-up modellerne, herunder beskrivelse af de statistiske metoder og ingeniørvidenskabelige metoder, se figur 4.3.



Figur 4.3 *– Bottom-up modeller*

Swan og Ugursal [2009] definerer bottom-up modeller således:

"*Bottom-up fremgangsmåden ekstrapolerer det estimerede energiforbrug for et repræsentativt sæt af individuelle huse til regionalt og nationalt niveau og består af to forskellige metodologier: den statistiske metode og den ingeniørvidenskabelige metode*"[Swan og Ugursal, 2009]

Hovedparten af bottom-up modeller er afhængige af datasæt, hvorudfra energiberegningerne og energiforudsigelserne er mulige. Der er mange forskellige metoder til anskaffelse af data til modellen, det være sig spørgeskemaer, energimålinger i husstanden, tekniske specifikationer

omkring husstanden, osv. Datavariationen kan ligeledes være påvirket af detaljeringsgrad, mængde, tidsinterval, osv. Dette medfører, at dataene såvel som modellen skal tilpasses hinanden, således at formålet med energiberegningerne og energiforudsigelserne overholdes.

For at kunne anvende bottom-up modeller er det nødvendigt med en tilstrækkelig høj detaljeringsgrad på datagrundlaget. Dette medfører, i følge Swan og Ugursal [2009], at der påkræves et stort arbejde for at indsamle data. Ydermere bliver modellerne ofte meget komplekse, hvilket kan være en ulempe for brugerne. Swan og Ugursal [2009] pointerer derimod, at den høje detaljeringsgrad er bottom-up modellernes styrke. Bottom-up modellerne har altså mulighed for at bestemme husstandens enkelte slutforbrug af installationerne og apparaterne, heraf kan husstandens energiforbrug evalueres, og derved identificere energieffektiviseringsmuligheder i husstanden. I det efterfølgende gennemgås de statistiske og ingeniørvidenskabelige modeller.

4.2.1 Statistiske modeller

Ifølge Swan og Ugursal [2009] beregner de statistiske modeller energiforbruget på baggrund af historisk information samt regressionsanalyser. Når forholdet mellem energiforbruget og slutforbruget er etableret, kan de statistiske modeller anvendes til estimering af energiforbruget i boliger. Den enorme mængde information vedrørende forbrugernes energiregninger gemt i de store energiforsyninger verden over repræsenterer brugbar data i forhold til beregninger af energiforbruget. Derfor har forskere anvendt en variation af forskellige statistiske teknikker for at kunne udnytte denne mænge data for at opstille energiforbruget, som en funktion baseret på boligens karakteristikker. Her ses på de individuelle slutforbrug, hvilket er en klar fordel i modsætning til top-down modeller der ikke beregner de individuelle slutforbrug. De statistiske teknikker formår at tage højde for brugeradfærden, hvilket er en klar fordel i forbindelse med energiberegninger i boliger, da brugeradfærden er af stor betydning i denne sammenhæng.

Swan og Ugursal [2009] inddeler de statistiske modeller i tre teknikker: Regression, betinget behovsanalyse samt neuralt netværk. I det følgende vil disse tre teknikker blive nærmere gennemgået.

Regression

Regressionsmodellerne anvender udelukkende regressionsanalyse til at beregne energiforbruget i boligsektoren. Regressionsmodeller regresserer energiforbruget for boliger til de parametre eller kombinationer af parametre, der forventes at have indflydelse på energiforbruget. De parametre der forventes at have minimal indflydelse på energiforbruget udelades for at simplificere modellen. Den generelle funktion som anvendes i regressionsmodellerne er vist i formel 4.1 og består af variable og forklarende parametre. De variable repræsenterer korrelationskoefficienterne, og de forklarende parametre repræsenterer de forskellige forbrug. [Swan og Ugursal, 2009]

$$E = f(x_1, ..., x_n, \alpha_1, ..., \alpha_i) \tag{4.1}$$

Hvor:

E	Energiforbruget i boligen
x	Variable, korrelationskoefficienter
α	Forklarende parametre, eksempelvis energiforbrug for udstyr

Ved at have de fornødne datagrundlag, er det altså muligt at finde en relation mellem de enkelte forbrug og det totale energiforbrug ved hjælp af regressionsanalyser. Den opstillede model kan derefter anvendes til at beregne energiforbruget for nybyggeri. Cramer et al. [1984] har anvendt regressionsanalyser til at forudsige elforbruget i Davis, California, USA. Modellen, udviklet af Cramer et al. [1984], har en korrelationskoefficient, R^2, på 0,594 og forklarer mellem 55% og 60% af variationen for elforbruget om sommeren. En uddybende beskrivelse af modellen findes i bilag B.1.1.

Betinget behovsanalyse

Betinget behovsanalyse udfører regression på baggrund af tilstedeværelsen af husholdningsapparater, der bidrager til slutforbruget. I realiteten er betinget behovsanalyse en del af regressionsmodellerne. Ved at regressere det totale energiforbrug fra boligen til listen af udstyr og apparater vil den fastlagte koefficient repræsentere forbrugsniveauet samt forbrugsgraden. Den primære styrke ved betinget behovsanalyse er, at de nødvendige inputparametre, som oftest er let tilgængelige. Eksempelvis kan det være nok med et simpelt spørgeskema vedrørende brugernes forbrugsmønstre i henhold til apparatur og udstyr, samt data vedrørende forbruget fra energiforsyningerne. Dog bør det nævnes, at betinget behovsanalyse kræver data fra hundrede eller tusinde husstande for at kunne give et pålideligt resultat. Teknikken udnytter forskelle i ejerskabstyper til at bestemme hver komponent af det totale energiforbrug. [Swan og Ugursal, 2009]

Teoretisk set består betinget behovsanalyse af en generel ligning, der er foreslået af Parti og Parti [1980]. Den generelle ligning er som følger:

$$E = \sum_{i=0}^{N} \bar{E}\left[A_i\right] + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} b_{ij}\left[(V_j - \bar{V_{ij}})A_i\right] \tag{4.2}$$

Hvor:

$\bar{E}$	Det beregnede gennemsnitsforbrug gennem det i'te apparat
N	Antallet af apparater betragtet i modellen
A_j	Blind variabel, der antager en værdi afhængende af de boliger der ejer det i'te apparat. I andre tilfælde er den lig nul
b_{ij}	Koefficient af de j'te udefrakommende variable, i den i'te betinget behovsfunktion
V_j	Vektor af udefrakommende variable j=1,...,M
$\bar{V_{ij}}$	Gennemsnitsværdien af M udefrakommende variable i boligen, der anvender udstyr af typen i

Ved at anvende denne procedure, fås et overslag af det gennemsnitlige energiforbrug i de boliger, der ejer det aktuelle apparatur. [Parti og Parti, 1980] En uddybende gennemgang af modellen udviklet af Parti og Parti [1980] er gennemgået i bilag B.1.2.

Neuralt netværk

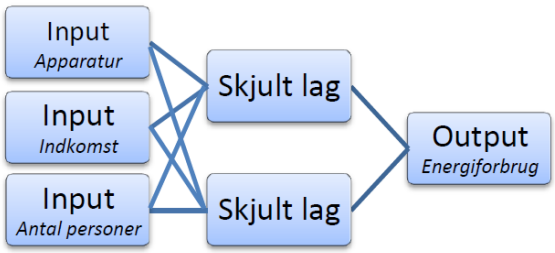
Dette afsnit præsenterer den generelle teknik og opbygning i forbindelse med neuralt netværk. Neuralt netværk anvender en simplificeret matematisk model baseret på den tæt forbundne struktur af biologisk neuralt netværk. Teknikken tillader, at alle slutforbrug påvirker hinanden gennem en serie af parallelle neuroner.

Neuralt netværk består af to typer, det værende sig feedforward netværk samt feedback netværk. I et feedforward netværk er neuronerne generelt grupperet i lag, denne type af neuralt netværk er samtidig den mest simple og mest anvendte. [Tso og Yau, 2007] Signaler går altid fra input lag og videre til output. I et feedback netværk kan output neuronerne give svar tilbage til tidligere neuroner, og dermed kan netværket selv rette eventuelle fejl. Dermed kan signalerne i denne type netværk gå såvel forlæns som baglæns.

Ved anvendelse af neuralt netværk i forbindelse med forudsigelse af energiforbruget i boliger består teknikken af tre skidt, som er følgende:

1. Netværksopbygning
2. Lærings/trænings proces
3. Test/diagnostisk tjek

Altså skal der som det første bestemmes hvor mange input, skjulte lag samt outputlag det aktuelle netværk består af. I figur 4.4 er vist en simplificeret model af et 3:2:1 neuralt netværk. Forbindelsen mellem input og output er fundet i det skjulte lag.



Figur 4.4 – *Simplificeret model af neuralt netværk, frit efter [Mihalakakou et al., 2002]*

Af figuren fremgår det, at der i dette tilfælde eksisterer tre inputlag, to skjulte lag samt et enkelt output lag. Forbindelsen mellem input og output er fundet ved det skjulte lag. Når der anvendes neuralt netværk ved forudsigelse af energiforbruget, vil der kun være et enkelt output lag, det værende sig energiforbruget. Antallet af input og skjulte lag kan derimod være varierende alt efter omfanget af modellen. Inputparametrene i forbindelse med energiberegninger er som oftest bygningskarakteristika, forbrugsfaktorer og beboelsesareal ligeledes kan sociologiske og økonomiske faktorer inkluderes i form af eksempelvis indkomst, arbejdsvilkår m.v., dette er bl.a. illustreret på figur 4.4 Antallet af skjulte lag bestemmes ved at beregne den generaliserede fejl for hver netværk. Andet skridt i etableringen af neuralt netværk er valget af metode til lærings og træningsprocessen. Tredje skridt i det neurale netværk er så outputtet. Her vurderes outputtets præcision og rigtighed inden det endeligt kan anvendes. I de tilfælde hvor outputtet ikke

stemmer overens med det ønskede vil der i feedback netværk blive kørt endnu en beregning. [Tso og Yau, 2007]

Mihalakakou et al. [2002] har anvendt neuralt netværk i forbindelse med beregninger af energiforbruget i boliger, hvor de konkluderede at neuralt netværk med succes kan anvendes til at beregne energiforbruget i boliger, dog i kortere tidsperioder end de foregående modeller, I bilag B.1.3 er modellen, udviklet af Mihalakakou et al. [2002], gennemgået.

4.2.2 Ingeniørvidenskabelige metoder

Ifølge Swan og Ugursal [2009] beregner de ingeniørvidenskabelige modeller energiforbruget af de forskellige slutforbrug ved hjælp af energimærker, karakteristika af boligen og husholdningens karakteristika, varmetransmissionsteori og termodynamiske relationer. Variationen i de ingeniørvidenskabelige modellers detaljeringsgrad er altså stor. Dette medfører, at det er muligt at udvikle simple modeller til eksempelvis udregning af boligens varmeforbrug ved hjælp af graddøgnsmetoden, eller mere komplekse modeller, der kan beregne slutforbruget for enkelte installationer ved hjælp af termodynamiske relationer og lignende. Swan og Ugursal [2009] pointerer også, at de ingeniørvidenskabelige modeller har den største fleksibilitet, da de kan beregne energiforbruget på alle niveauer og samtidig inkludere vedvarende energikilder til husstandens energiforbrug. Ligeledes kan hovedparten af de ingeniørvidenskabelig modeller fuldt ud beregne en hel sektors energiforbrug uden brug af historiske data. Dette medfører også at modellerne kan modellere den nyeste teknologi.

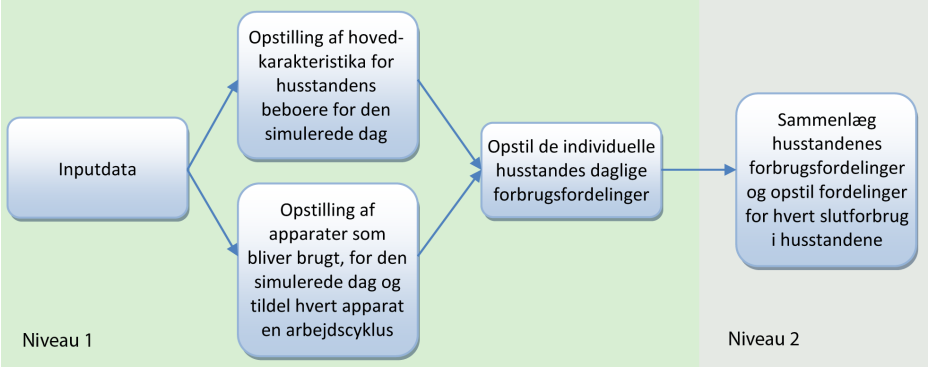
I de ingeniørvidenskabelige modeller er det nødvendigt at forudsætte brugernes adfærd, dette er dog en stor ulempe, da brugernes adfærd har stor påvirkning på boligens energiforbrug. Swan og Ugursal [2009] inddeler de ingeniørvidenskabelige modeller i tre teknikker: fordelinger, arketyper og stikprøver. I det efterfølgende vil hver af de tre teknikker blive gennemgået.

Fordelingsmodeller

Metoden som Swan og Ugursal [2009] kategoriserer fordelingsmetoder, anvender opstillede fordelinger af brugen af boligens apparater og installationer samt energimærkninger til at beregne slutforbruget for hvert enkelt apparat og installation. Metodens beregninger medfører altså at slutforbruget for hvert enkelt apparat og installation bliver synliggjort, men medfører også at metoden ikke tager højde for eventuelle påvirkninger apparaterne og installationerne imellem. Ved brug af fordelingsmetoden fremkommer energiforbruget altså ved:

"*Produktet af apparaternes ejerskab, apparaternes brug, apparaternes energimærkning og den inverse af apparaters effektivitet...*"[Swan og Ugursal, 2009]

Capasso et al. [1994] har anvendt fordelingsmetoden til at udvikle fordelinger af elforbruget for forskellige slutforbrug for den italienske boligsektor. Figur 4.5 viser den praktiske fremgangsmåde i opbygningen af slutforbrugsfordelingerne. Niveau 1 refererer til opstillingen af fordelinger for den enkelte husstand, mens niveau 2 refererer til opstillingen af de individuelle slutforbrugsfordelinger, herunder sammenlægning af forskellige husstandsfordelinger.



Figur 4.5 – *Fremgangsmåde i opbygningen af slutforbrugsfordelinger, efter [Capasso et al., 1994].*

Capasso et al. [1994] konkluderer, at metoden var en god approksimation til det faktiske forbrug gennem en almindelig arbejdsdag. Modellen er dog kun anvendt på én vintermåned, hvorfor det ikke er muligt at anvende modellen på andre måneder, da modellen udelukkende er baseret på data fra en vintermåned. En uddybende gennemgang af modellen findes i bilag B.2.1.

Arketypemodeller

Arketypemetoden klassificerer bygningsmassen ved hjælp af overordnede bygningsrelaterede faktorer såsom hustype, husstørrelse og alder på huset. Ud fra sammenhængen af de bygningsrelaterede faktorer er det muligt at opstille forskellige arketyper, hvilket vil være udgangspunktet for energiberegningerne. Arketypemetoden fordrer altså, at en tilstrækkelig stor mængde boliger er til rådighed i analyseringen af arketyperne. Arketypens karakteristika anvendes som inputdata i energiberegningerne, hvorved de enkeltes boligers energiforbrug kan beregnes. Arketypemetoden kan anvendes på regionalt som nationalt niveau, ved at skalere arketypernes energiforbrug op på baggrund af en analyse undersøgende fordeling/antallet af regionens eller nationens arketyper. [Swan og Ugursal, 2009]

Forskere har anvendt metoden til at udvikle forskellige arketyper i forskellige regioner og lande. [Parekh, 2005][Huang og Broderick, 2000][Shimoda et al., 2004] Parekh [2005] har anvendt arketypemetoden, hvor arketyperne bliver inddelt efter boligens geometriske opbygning, boligens termiske karakteristika samt boligens operative karakteristika. Formålet med udviklingen af de forskellige arketyper er, at udvikle en simpel og hurtig model til at beregne og evaluere boligers energiforbrug i Canada. I udviklingen af arketyper har Parekh [2005] identificeret fem trin:

1. trin	Kvalitativ gennemgang af spørgeskemaer
2. trin	Oprettelse af korrelation mellem boligens geometriske og termiske karakteristika
3. trin	Indsamling af diverse grupperinger af data repræsenterende termiske og energieffektive data
4. trin	Verificering af nøgleparametre

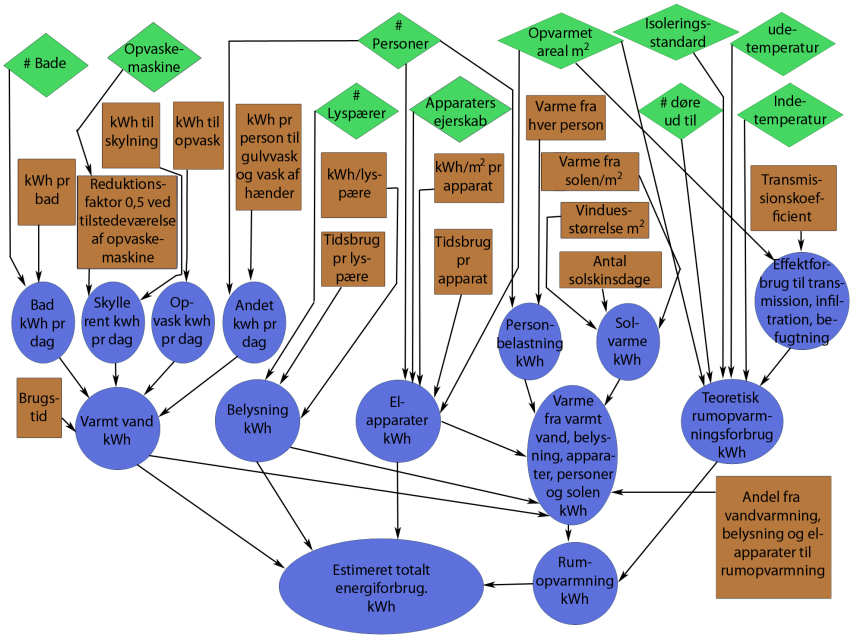
5. trin	Udførelse af simuleringer til bestemmelse af sensitiviteten for forskellige arketyper baseret på gulvareal, beliggenhed og byggeårsklassificering

På baggrund af denne analyse er "The EnerGuide for Houses program", EGH, udviklet. Programmet er vidt anvendt i Canada, hvor over 180.000 boliger er evalueret ved at anvende arketypemetodeprogrammet EGH. Evaluering af programmet har dog vist, at det er nødvendigt, at inputdataene fra de boliger, der skal undersøges, skal være tilstrækkelig præcise. Parekh [2005] understreger derfor at feltmålinger af de tre komponenter; boligens geometriske opbygning, termiske karakteristika og operative karakteristika er nødvendige. I bilag B.2.2 er modellem gennemgået yderligere.

Stikprøvemodeller

Swan og Ugursal [2009] benævner denne metode stikprøvemetoden, da den refererer til anvendelsen af stikprøver fra boliger som inputdata i modellen. Stikprøvemetoden har en høj detaljeringsgrad, hvilket medfører at metoden indeholder stor variation af den bygningsmasse, som indgår i modellen. Metoden kan anvendes på regionalt og nationalt niveau, ved at anvende repræsentative datamængder, samt passende vægtningsparametre. Forskellen mellem arketypemetoden og stikprøvemetoden er, at arketypemetoden begrænser bygningsmassen i arketyper, mens den høje detaljeringsgrad i stikprøvemetoden medfører, at den kan give et mere realistisk billede af variationen i bygningsmassen. Den høje detaljeringsgrad medfører dog, at modellen er meget datatung, hvilket begrænser brugen af modellen.

Larsen og Nesbakken [2004] har udviklet en model, ERÅD-modellen, til at beregne boligers elforbrug relateret til forskellige slutforbrug i boligen. Modellen bygger på stikprøvemetoden og er illustreret i figur 4.6.



Figur 4.6 – *ERÅD-modellens opbygning, efter [Larsen og Nesbakken, 2004]*

Af figur 4.6 fremgår det tydeligt, at ERÅD-modellen er en kompleks model, med mange forskellige inputparametre og relationer. De grønne parallelogrammer indikerer inputparametrene, som er givet af modellen, de brune rektangler indikerer inputparametre, som skal vurderes af brugeren, mens de blå cirkler indikerer resultater, som vil fremgå ved den enkelte simulering. Modellen udmærker sig være at kunne modellere forskellige brugeadfærd i forhold til boligers samlede elforbrug. Den store detaljeringsgrad medfører at stikprøvemetoden er meget datatung for at kunne være repræsentativ. Modellen er gennemgået i bilag B.2.3, hvor styrker og svagheder ved modellen ligeledes er fremhævet yderligere.

4.3 Sociologiske modeller

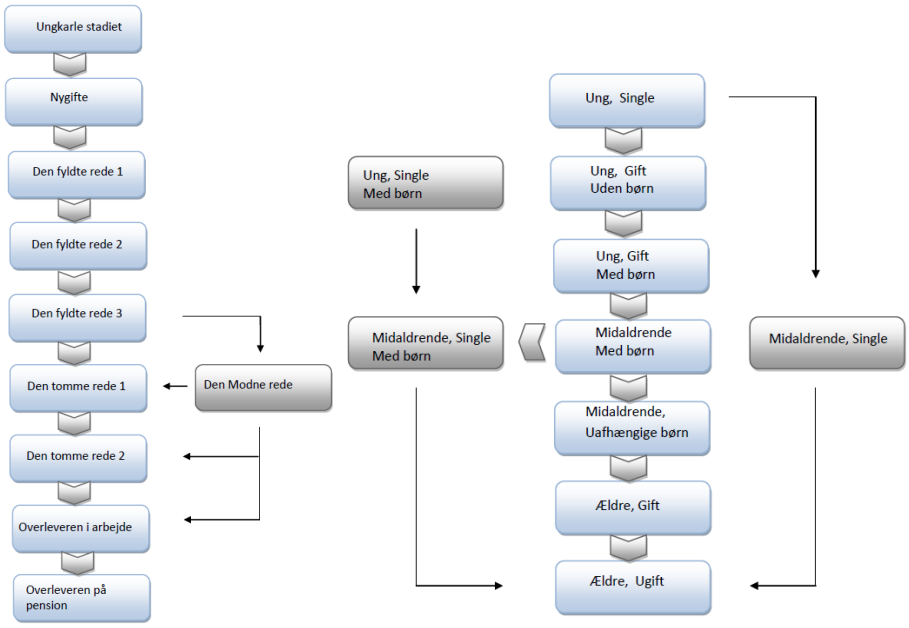
Afsnittet beskriver de modeller, der er udviklet til at forudsige energiforbruget i boliger i forhold til sociologiske parametre, hvor der også er inkluderet bl.a. psykologiske perspektiver. Som anvist på figur 4.7, beskrives der to sociologiske modeller.

Figur 4.7 – *Sociologiske modeller*

4.3.1 Familiens livscyklus

Modellen præsenteret i dette afsnit bygger på teorien om, at stadiet af familiens livscyklus kan være behjælpelig i forhold til forudsigelse af energiforbruget i boligen. Modellen, der tages udgangspunkt i, er udviklet af Fritzsche [1981]. Denne model er en videreudvikling af to tidligere studier af Wells og Gubar [1966] henholdsvis Murphy og Staples [1979]. Fritzsche [1981] undersøger energiforbruget ud fra stadiet af familiens livscyklus under hensyntagen til indkomst samt antallet af familiemedlemmer i arbejde. Formålet med modellen er at undersøge hvorledes familiens livscyklus kan anvendes som indikator til forudsigelse af energiforbruget i boliger. I bilag C.1 forefindes en mere udførlig redegørelse af de respektive stadier.

I modellen anvendes to familie livscyklus modeller, (FLC). Figur 4.8 sammenligner disse to modeller.



(a) FLC-model, efter Wells og Gubar [1966]

(b) FLC-model, efter Murphy og Staples [1979]

Figur 4.8 – *Sammenligning af de to FLC modeller*

Der undersøges i modellen to metoder i forhold til familiens livscyklus. Den første ser på det totale energiforbrug ud fra familiens livscyklus. Denne model kaldes H_1 og bygger på ideen om, at der vil være et stigende energiforbrug i de tidlige stadier i takt med, at familien udvides, hvorefter energiforbruget igen vil falde, når børnene flytter hjemmefra. Den anden metode ser på energiforbruget i forhold til energiressourcer med udgangspunkt i familiens livscyklus, idet energiforbrug i boliger omfatter et bredt antal af energikilder. Denne metode kaldes H_2. En dybdegående gennemgang af modellen findes i bilag C.1. Til modellen skal det dog nævnes at modellen er meget overordnet, da der i findes mange familielivscykluser, der ikke kan kategoriseres som beskrevet i denne model.

4.3.2 Energisparen

Den sociologiske metode, hvor energiforbruget analyseres ud fra personkarakteristikker, vil tage udgangspunkt i en model udviklet af Barr et al. [2005]. Denne model undersøger den konceptuelle forskel mellem energibesparende adfærd i hjemmet i forhold til indkøbsorienteret og vanemæssig adfærd i relation til energiforbruget. Ud fra denne undersøgelse er "Energisparen" og dennes karakteristika defineret. På baggrund af modellen definerer Barr et al. [2005] fire energibesparerprofiler:

Engagerede miljøaktivister
I denne profile er chancen for, at der anvendes energieffektive husholdnings apparater samt lavenergipærer er størst. Ligeledes er det oftest disse, der engagerer sig i miljømæssige opgaver

såsom at kompostere, genbruge vand og andre grønne aktiviteter.
Traditionelle miljøaktivister
Profilen minder meget om forrige profil 1 i forhold til den vanemæssige adfærd. Den store forskel mellem profil 1 og 2 er i forbindelse med genbrug og kompostering.
Sporadiske miljøaktivister og *Neutrale*
Disse fokuserer sjældent på energieffektive produkter og deltager kun i energibesparende adfærd, når det kræver minimal indsats eller ingen reduktion i komfort.

På baggrund af en analyse af profilernes demografiske, sociale og miljømæssige værdier definerer Barr et al. [2005] den typiske "Energibesparer"som følger: Prosocial og økonomisk i livssyn med biometriske værdier. Ligeledes er "Energisparen"miljømæssigt involveret og moralsk motiveret. "Energisparen"tror på virkningen af sine handlinger og behandler miljømæssige problemstillinger i forhold til pris, og så er "Energisparen"villig til at ofre egen komfort for at spare energi. For yderligere forklaring af modellen henvises til bilag C.2.

4.4 Socio-tekniske modeller

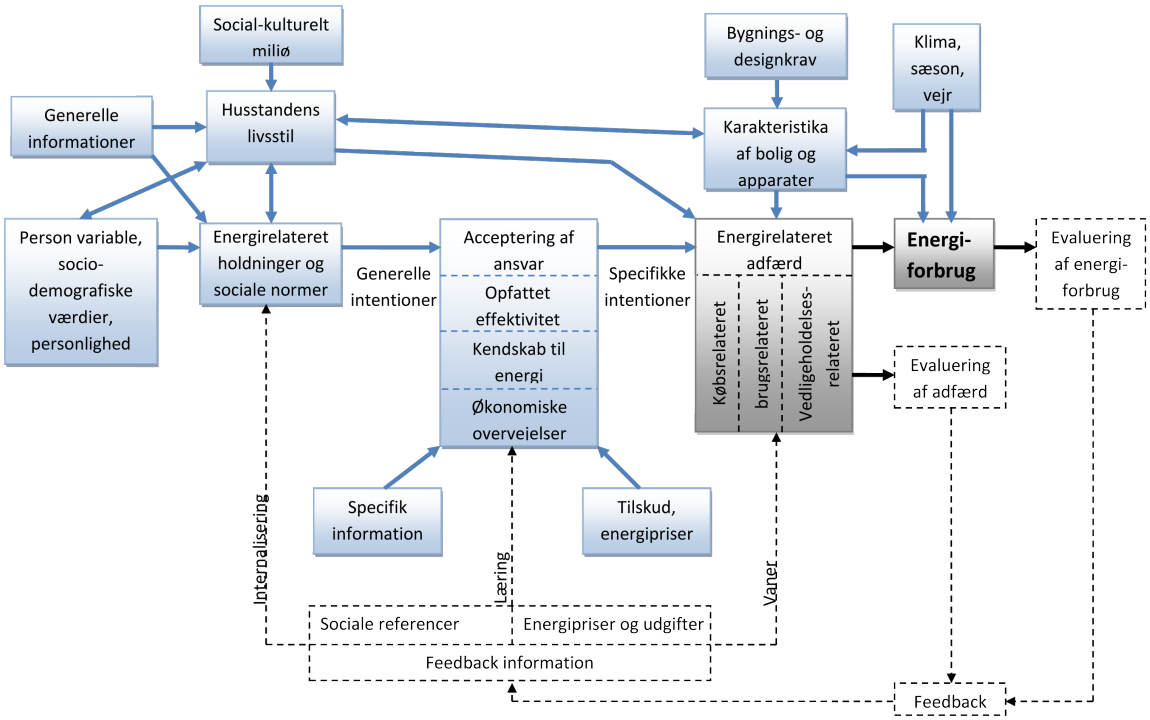
Afsnittet indeholder modeller udviklet til at forudsige energiforbruget, hvor såvel sociologiske som tekniske parametre bliver taget i betragtning. I afsnittet beskrives fire modeller, herunder en overordnet forklaring af konceptet. De beskrevne modeller er vist i figur 4.9.

Figur 4.9 – *Socio-tekniske modeller*

4.4.1 Integreret adfærdsmodel

van Raaij og Verhallen [1983a] har udviklet en socio-teknisk model til forudsigelse af energiforbruget i boliger. Hovedformålet med modellen er at samle og strukturere de afgørende faktorer i bestemmelsen af boligens energiforbrug. I modellen lægges vægt på konkrete faktorer, der har påvirkning på boligens energiforbrug, hvor den mere generelle tekniske videnskabelige teori er udeladt. Modellen sammenholder personlige, miljømæssige og brugeradfærdsmæssige faktorer i forudsigelsen af energiforbruget. van Raaij og Verhallen [1983a] beskriver grundstenene i modellen til at være brugernes adfærd og energiforbruget, derudover har de implementeret en feedbackfunktion i modellen. Feedbackfunktionen har til formål at evaluere energiforbruget og brugernes adfærd, således det er muligt at ændre beboernes ener-

girelaterede sociale normer og holdninger samt beboernes energirelaterede adfærd. Modellen udviklet af van Raaij og Verhallen [1983a] er illustreret på figur 4.10.

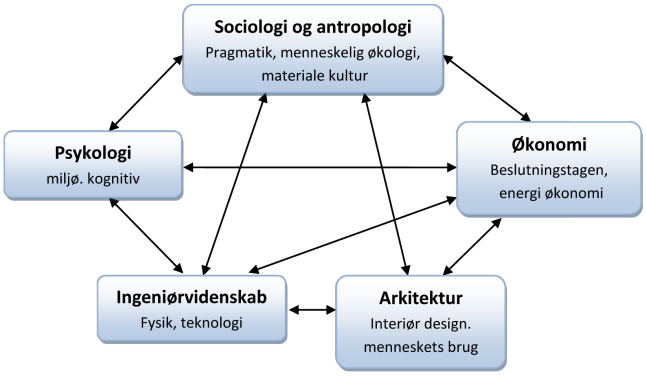


Figur 4.10 – *Adfærdsmodel til forudsigelse af energiforbruget, efter [van Raaij og Verhallen, 1983a]*

Modellen er på figur 4.10 opdelt således, at de vigtigste faktorer, i følge van Raaij og Verhallen [1983a], er markeret med grå, mens feedbackfunktionen er markeret med stiplede linjer. Modellen fremstår, som en meget kompleks model, da der i modellen er mange faktorer, der skal tages hensyn til, herunder mange påvirkninger mellem enkelte faktorer. Dette giver håndgribelig viden i forhold til hvilke konkrete parametre, der har påvirkning på energiforbruget. van Raaij og Verhallen [1983a] henviser ikke til konkrete eksempler på anvendelse af modellen, hvorfor modellen fremstår som ren teoretisk. Det har ikke været muligt at finde konkrete eksempler på brugen af metoden i andre videnskabelige artikler til trods for, at den indeholder mange gode elementer. I bilag D.1 findes en uddybende gennemgang af modellen.

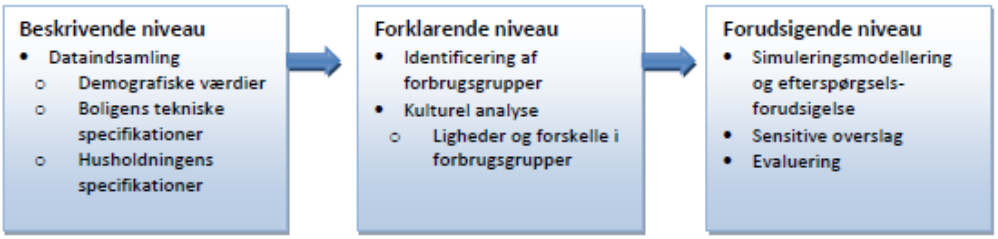
4.4.2 Kulturel model

Lutzenhiser [1992] har udviklet en integreret model til bestemmelse af energiforbruget i bygninger. Modellen tager udgangspunkt i kulturelbegrebet til at beskrive energiforbruget, som er bestemt af det tværvidenskabelige arbejde. Modellen har tre anvendelsesniveauer, det beskrivende, det forklarende og det forudsigende niveau i analysen af energiforbruget. I beskrivelsen af indholdet i modellen pointerer Lutzenhiser [1992] vigtigheden af at inkorporere et tværvidenskabeligt arbejde i modellen. Han forklarer, at det tværvidenskabelige arbejde er nødvendigt grundet usikkerheden i forudsigelsen af energiforbruget i den enkelte bolig. Figur 4.11 illustrerer indholdet og sammenhængen af dette tværvidenskabelige arbejde.



Figur 4.11 *– Tværvidenskabeligt indhold, efter [Lutzenhiser, 1992]*

Modellen fokuserer på grupper af kulturer og teknologiens betydning for forbrugeren og ikke på enkelte individer. Den kulturelle model har tre anvendelsesniveauer, det beskrivende, det forklarende og det forudsigende niveau i analysen af energiforbruget. Disse niveauer repræsenterer ligeledes stadierne i modellens praktiske anvendelse. Figur 4.12 illustrerer de tre niveauer.



Figur 4.12 *– De tre niveauer i den kulturelle model, frit efter [Lutzenhiser, 1992]*

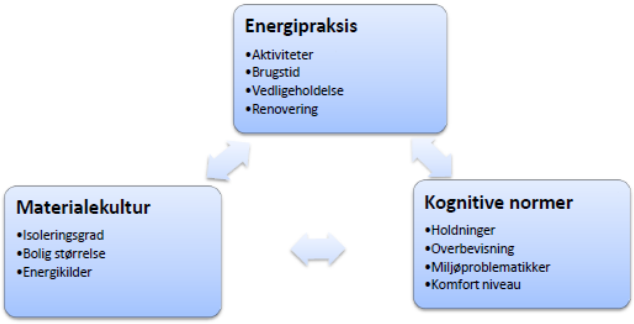
Lutzenhiser [1992] har egentlig foretaget en teoretisk skitsering af, hvordan han mener analysen af forudsigelsen af energiforbruget bør være. Modellen giver ligeledes nogle grundlæggende og overordnede ideer til hvilke fagområder, der skal indarbejdes i modellen. Modellen giver dog ikke nogle konkrete eksempler på, hvordan disse fagområder kan indarbejdes, men pointerer, at den indsamlede datamængde skal rumme værdier, som betragter alle aspekter i fagområderne. For yderligere forklaring af det tværvidenskabelige indhold og de tre niveauer henvises til bilag D.2.

4.4.3 Energikultur model

Modellen præsenteret i dette afsnit er udviklet af Stephenson et al. [2010] og bygger på samspillet mellem forskellige energikulturer. I modellen sammenholdes de forskellige måder at forstå begrebet "adfærd", set fra ingeniørmæssigt perspektiv, økonomisk perspektiv osv. i forhold til bygningers energiforbrug. Målet for energikulturmodellen er at forsøge at sam-

menholde de forskellige faktorer, der påvirker energiforbruget i boliger og hjælpe med at identificere mulighederne i at energieffektivisere brugernes adfærd. Modellen tager udgangspunkt i 3 kategorier, kognitive normer, materialekultur og energipraksis, hvor Stephenson et al. [2010] forklarer hvilke faktorer, der har påvirkning på energiforbruget samt samspillet mellem disse faktorer. Modellen er en videreudvikling af den kulturelle model udviklet af Lutzenhiser [1992] beskrevet i forrige afsnit.

Konceptet i energikultur modellen er, at tre overordnede kategorier anvendes til at forstå beboernes energiadfærd i boliger. De tre kategorier er kognitive normer, materialekultur og energipraksis, se figur 4.13.



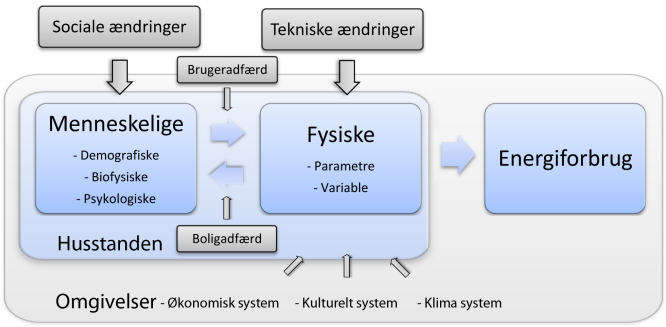
Figur 4.13 *– Grundlæggende opbygning, efter [Stephenson et al., 2010]*

Stephenson et al. [2010] har lavet en udredning af, hvorledes forskere, politikere, rådgivere og andre interessenter kan anvende energikulturmodellen til at forstå adfærden i bygninger. Basis for modellen er indholdet i og samspillet mellem materialekulturen, de kognitive normer og energipraksis. På samme måde forudsættes at lignende interaktive kategorier kan observeres i en given bolig. Hermed kan boligens adfærd karakteriseres ved hjælp af forskellige energikulturer identificeret af modellen samt fastslå, hvilke interventioner, der kan energieffektivisere de givne energikulturer. En stor del af identificeringen af energikulturerne går på forståelse af adfærdenes indgroede vaner. Til forskel fra de andre præsenterede socio-tekniske modeller er energikultur modellen udviklet af forskere indenfor forskellige videnskabelige fagområder. Det tværvidenskabelige arbejde har medført, at der ikke er et fagområde, som er dominerende i modellen. Modellens mange funktioner medfører, at det er en meget kompleks model, og stor viden indefor alle felter er nødvendig for at kunne anvende modellen korrekt. Dette sætter store krav til aktørerne sam samarbejdet i mellem de forskellige aktører. For yderligere udybning af modellen henvises til bilag D.3.

4.4.4 Systembaseret model

Den socio-tekniske model præsenteret i dette afsnit er udviklet af Hitchcock [1993]. Den præsenterede model er baseret på forskellige systemer og samspillet mellem disse systemer. For at integrere de tekniske såvel som de sociologiske perspektiver opdeler Hitchcock [1993] husstanden i to delsystemer, det menneskelige og fysiske system. I modellen er det netop

sammenhængen mellem disse to delsystemer, der er nøglen til at få de tekniske og sociale perspektiver integreret. Modellen er vist i figur 4.14.



Figur 4.14 – *Systembaseret model, efter [Hitchcock, 1993]*

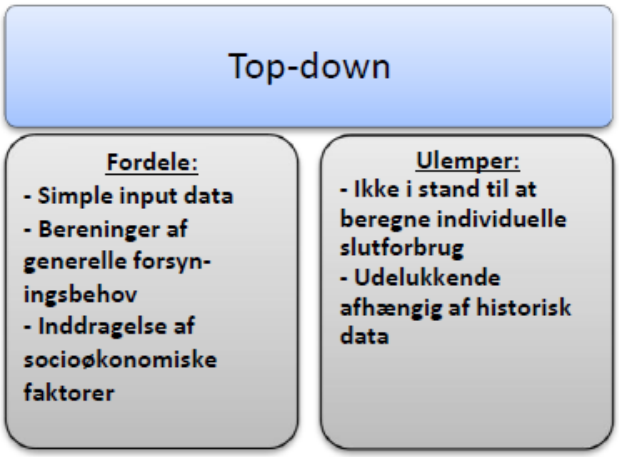
Husstandssystemet kan blive påvirket at tekniske som sociologiske ændringer, hvor de tekniske ændringer påvirker det fysiske delsystem, og de sociologiske ændringer påvirker det menneskelige delsystem. Herunder har de tekniske og sociologiske ændringer også indirekte påvirkning på andre delsystemer i modellen. Energiforbruget, som vist på figuren, er en del af omgivelserne, der ligeledes er en vigtig del af samspillet mellem de forskellige systemer. Hitchcock [1993] udvider modellen for at vise, hvilke elementer der indgår i delsystemerne, det menneskelige, det fysiske samt omgivelsessystemet. I modellen fremhæver Hitchcock [1993] samspillet mellem det menneskelige og fysiske delsystem som et vigtigt element i bestemmelsen af energiforbruget. Hitchcock [1993] benævner de to elementer som brugeradfærden og boligadfærden.

Modellen udviklet af Hitchcock [1993] indeholder både tekniske perspektiver og sociologiske perspektiver. De tekniske perspektiver giver en forståelse af de fysiske processer, og hvordan energien anvendes, mens de sociologiske perspektiver giver en forståelse af, hvordan beboerne forholder sig til de fysiske systemer. Modellen bliver dog hurtigt meget kompleks, når såvel teknisk som sociologisk teori skal benyttes til at forudsige små som store ændringer i energiforbruget. Der er i undersøgelsen ingen egentlige eksempler på, hvorvidt modellen er anvendt i forbindelse med konkrete boliger og beboere, hvorfor modellen fremstår som ren teoretisk. Det har ligeledes ikke været muligt at finde konkrete eksempler på anvendelse af metoden i andre videnskabelige artikler. For yderligere forklaring af modellen henvises til bilag D.4.

4.5 Opsummering

For at overskueliggøre modellerne gennemgået i dette kapitel, vil fordele og ulemper ved de respektive modeller blive gennemgået i dette afsnit. Ved hver kategori vil stærke og svage sider ved modellerne blive listet. Sidst i opsummeringen vil de elementer, der tages med videre fra de gennemgåede modeller blive listet.

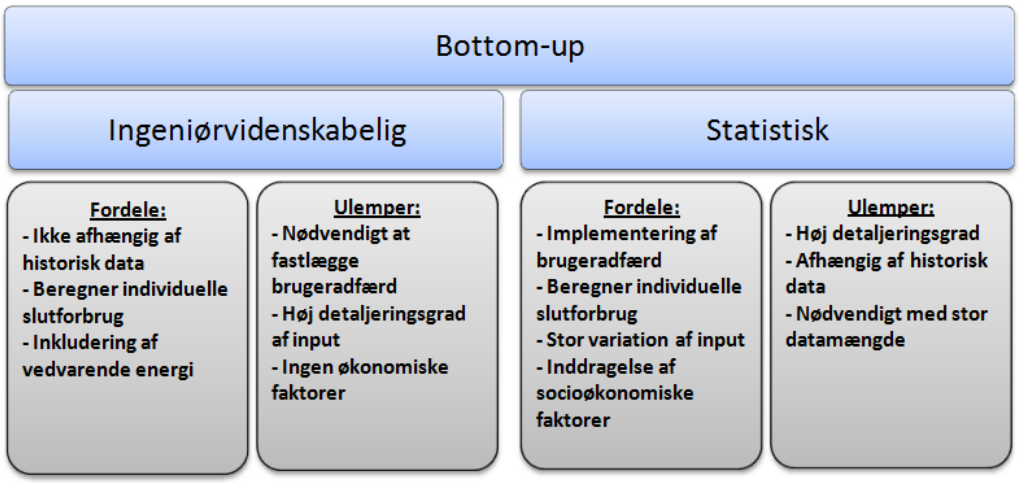
Top-down modeller
De generelle fordele og ulemper ved top-down modellerne, der indeholder såvel statistiske som teknologiske metoder, er vist i figur 4.15. Den største ulempe ved disse modeller vurderes i denne sammenhæng at være det faktum at top-down modeller ikke er i stand til at beregne individuelle slutforbrug. Denne begrænsning eliminerer muligheden for at identificerer specifikke områder til forbedringer i de enkelte boliger, der vil kunne føre til reducering af energiforbruget. Dermed vil disse modeller ikke være anvendelige i processen med at forudsige de enkelte slutforbrug i boliger. Det til trods for at top-down modeller kun kræver simple inputdata og samtidig er i stand til at inddrage socioøkonomiske faktorer, ligeledes er det muligt, omend en smule svært, at implementere brugeradfærd i top-down modellerne.



Figur 4.15 – *Fordele og ulemper ved top-down modeller*

Bottom-up modeller
Bottom-up modellerne er, på samme måde som top-down modellerne, alle i stand til at inddrage brugeradfærden i beregningerne. Dog bør det her nævnes, at dette kan anses som en fordel såvel som en ulempe. I forbindelse med de ingeniørvidenskabelige modeller kræves der specifikke fastlagte brugeradfærdsparametre for at disse kan bidrage med et præcist estimat af energiforbruget, hvilket må anses som en ulempe. De statistiske modeller derimod er i stand til at inddrage brugeradfærden uden krav til en specifik detaljeringsgrad, hvorfor dette anses som værende en af styrkerne ved de statistiske modeller. Figur 4.16 viser fordele og ulemper ved bottom-up modellerne.

De statistiske modeller er gode til at klarlægge relationer mellem forskellige parametre, hvilket må anses som en fordel ved denne type. Det bør nævnes at fordelen samtidig er en af modellens ulemper, idet modellerne ikke er i stand til at forklare disse relationer. Ligeledes er denne type bottom-up modeller i stand til at inddrage socioøkonomiske faktorer. Af figur 4.16 fremgår det ligeledes at de statistiske modeller er afhængige historisk data i forhold til beregning af energiforbruget. Dette pålægger et stort forarbejde for brugerne af modellen, før beregningerne kan foretages. Ligeledes er det nødvendigt at holde modellen up to date med det data, hvis modellen anvendes over en længere årrække.



Figur 4.16 – *Fordele og ulemper ved bottom-up modeller*

Betragtes de ingeniørvidenskabelige modeller, er deres store fleksibilitet at regne for en af de største fordele. Denne type modeller er således i stand til at beregne energiforbruget på flere niveauer og er samtidig i stand til at inkludere vedvarende energikilder. Som et eksempel på dette ses fordelingsmetoden, hvor energiforbruget regnes på såvel regionalt som nationalt niveau. Som et eksempel på komplekse modeller, ses arketypemetoden der er i stand til at tage hensyn til sæsonvariationerne samt de respektive klimazoner. Dette medfører dog en høj detaljeringsgrad, der besværliggør anvendelsen af metoden. Sammenlignet med de resterende tekniske modeller, har de ingeniørvidenskabelige modeller fordelen i at være uafhængig af historisk data. Dette medfører, at det store dataindsamlingsarbejde undgås, men nødvendiggør dog førnævnte høje detaljeringsgrad i inputdataene.

Sociologiske modeller

De sociologiske modeller, er som kategorien indikerer, i stand til at inddrage sociologiske aspekter. Fordele og ulemper ved disse modeller er illustreret på figur 4.17. Ydermere er denne type modeller i stand til at definere specifikke personkarakteristika. Desværre er den type af modeller ikke i stand til at beregne et decideret energiforbrugsoutput, hvilket anses som en stor ulempe. De sociologiske modeller kan derimod assistere med at give et grundlæggende billede af forskellige brugeradfærdsmæssige aspekter og dettes indflydelse, eksempelvis som det ses med familiens livscyklus. De sociologiske modeller vil derfor, i større omfang end de tekniske modeller, kunne anvendes i forbindelse med programmer, der forsøger at reducere familiers/enkelt personers daglige energiforbrug. Det skal dog bemærkes, at de sociologiske modeller er meget overordnede modeller, idet brugernes adfærd er yderst kompleks.

Figur 4.17 – *figurer/opsummering/opsum-socio.png*

Socio-tekniske modeller

De socio-tekniske modeller, er som kategorien indikerer, i stand til at inddrage tværvidenskabeligt arbejde i forudsigelsen af energiforbruget. Dette er således en af de primære fordele ved denne type modeller, som listet på figur 4.18. Som det fremgår af figur 4.18 bærer de soci-tekniske modeller præg af at være meget komplekse, hvilket kan være en fordel grundet detaljeringsgraden og samtidig en ulempe grundet omkostningstunge beregningsgange. De socio-tekniske modeller er opbygget af generelle systemer eller af specifikke parametre Som følge af modellernes opbygning henvender de sig ofte til specifikke interessenter, hvorfor det er vigtig at være opmærksom på modellernes anvendelsesområde. Den integrerede adfærdsmodel er opbygget af specifikke parametre, der kan justeres i forbindelse med energibesparelse og anvendelsesområdet for denne model er energibesparelser for boliger. Den kulturelle, systembaseret samt energikultur modellen består alle af overordnede systemer, der beskriver hvorledes forskellige fagområder kan og bør samarbejde. Generelt set har der ikke været konkrete eksempler på anvendelse af de socio-tekniske modeller, hvorfor modellerne fremstår som ren teoretiske.

Figur 4.18 – *Fordele og ulemper ved socio-tekniske modeller*

I det videre arbejde med at implementere brugeradfærden i beregningerne af energiforbruget, vil det være en fordel at inddrage aspekter fremhævet i de tre forskellige modeller; tekniske, sociologiske og socio-tekniske. De tekniske modellers fordel i dette projekt er deres klare beregningsmetoder. Alle modellerne kan anvendes til at beregne et endeligt energiforbrug, mens de sociologiske og socio-tekniske modeller ikke beskriver en egentlig beregningsmetode, men opstiller samspillet i mellem forskellige parametre og teorier af sociologiske og teknisk karakter. De sociologiske modeller vil dog med fordel kunne anvendes til at definere typer af adfærd i forhold til beregning af energiforbruget. Definitionen af forskellige adfærdsmønstre vil kunne anvendes til at udvikle forskellige brugerprofiler i energiberegningen, hvorved brugeradfærden vil blive en integreret del af energiberegningsprocessen. Ligeledes opstiller de socio-tekniske modeller teorier om hvorledes samspillet mellem sociologiske og tekniske aspekter kan foregå. Teorierne kan være med til at underbygge betydningen af undersøgte parametres indflydelse på energiforbruget. Generelt set vurderes det at samspillet mellem de sociologiske og tekniske aspekter senere vil kunne assistere energiberegningerne under hensynstagen til brugeradfærden.

Kapitel 5

Indeklima i lavenergiboliger

Nærværende kapitel fokuserer på indeklimaet i danske boliger. Der tages udgangspunkt i et beboermæssigt perspektiv, hvor undersøgelser vedrørende lavenergibyggeri vil blive gennemgået. I de enkelte afsnit præsenteres undersøgelserne kort, hvorefter resultaterne beskrives. Undersøgelserne bliver sammenlignet, hvor overensstemmende og modstridende resultater fremhæves.

Set i lyset af det øgede fokus på at sænke energiforbruget i boliger må konsekvensen for indeklimaet undersøges nærmere. Indeklimaet og energiforbruget i boliger hænger uløseligt sammen. I takt med større forventninger til boligernes komfort, bliver udfordringerne til rådgivende ingeniører og arkitekter stadig større, hvorfor mange løsningsmetoder anvender mekanisk styrede systemer for at efterleve komfortkravene. Anvendelse af mekanisk styrede systemer bidrager til et forøget energiforbrug, hvilket set i forhold til dagens energikrav ikke er hensigtsmæssigt. For at efterkomme de stramme energikrav såvel som komfortkravene til den enkelte bygning er metoder som passive teknologier anvendelige. Dette inkluderer naturlig ventilation, solafskærmning, solvarme, udnyttelse af bygningen termiske masse, osv. [Chappells og Shove, 2005] Flere projekter, der forsøger at implementere lavenergihuse og passive teknologier i byggeprocessen, oplever efterfølgende at brugerne ikke er tilfredse med indeklimaet.

Isaksson og Karlsson [2005] har undersøgt beboernes oplevelse af at flytte ind i et lavenergiboligbyggeri i Lindås Park, Sverige. Her blev 20 rækkehuse undersøgt, hvoraf den ene var en test-bolig. For at inkorporere beboernes aktiviteter var test-boligen udstyret med termiske mannequiner, hvor varmetab fra mannequinerne svarende til det specifikke aktivitetsniveau, blev målt. Temperaturmålinger blev foretaget i alle 20 rækkehuse, mens relativ luftfugtighed og lokal lufthastighed var målt i test-boligen. Undersøgelserne viste, at beboerne generelt har været tilfredse med indeklimaet i boligen, dog har der været nogle komplikationer. I enkelte huse var der problemer med træk, dels grundet høje indblæsningshastigheder, dels grundet en funktionsfejl i varmeveksleren, som medførte en lav indblæsningstemperatur. Rumopvarmningen var dimensioneret således, at den skulle have assistance fra andre systemer for at kunne opvarme boligen. Problematikkerne blev dog formindsket efter, beboerne havde boet i boligerne i et års tid, hvorefter de havde lært at tilpasse sig boligen, eksempelvis ved at undgå at lukke døren til badeværelset, når tørretumbleren var i brug for at fordele varmen i boligen bedre. Undersøgelsen viste, at beboerne foreslog tre ting til forbedring af boligernes komfortniveau; mere stabil indetemperatur, anvendelse af timer til ventilationssystemet og anvendelse af gulvvarme.

Karlsson og Moshfegh [2006] har undersøgt de samme boliger i forbindelse med simulering af indeklimaet ved ni forskellige casestudier. Det første casestudie blev anvendt som referencestudie. Indeklimaet blev undersøgt ved at ændre forskellige faktorer, eksempelvis vindueåbning, temperatursetpunkt og transmissionskoefficienter. For at evaluere simuleringerne blev de sammenlignet med faktiske målinger. Sammenligningerne viste stor overensstemmelse, dog opstod enkelte uoverensstemmelser, som blev begrundet med fejl i boligens tekniske installationer og problemer med måleudstyret. Simuleringerne blev foretaget i to rum, en stue og et værelse. Simuleringerne af casestudierne påviste, at ændring af setpunktstemperaturen samt lukkede vinduer havde størst indvirkning på indeklimaet. Såfremt boligen simuleres udelukkende med lukkede vinduer, øgedes det gennemsnitlige PPD-indeks i stuen med 177% og 90% i værelset sammenlignet med referencestudiet, se tabel 5.1. Det skal nævnes, at boligen ikke havde et kølesystem installeret, hvorfor de lukkede vinduer medførte overophedning om sommmeren. Simuleringen med en setpunktstemperatur på $18°C$ medførte en forøgelse på det gennemsnitlige PPD-indeks med 84% i stuen, mens forøgelsen var på 123% i stuen. Det høje PPD indeks skyldtes specielt lave temperaturer om vinteren. Simuleringen med setpunktstemperaturen på $23°C$ viste laveste PPD-indekser i alle studierne. Den gode komfort i boligen, ved en setpunktstemperatur på $23°C$ medførte dog, at energiforbruget til varmeforbruget steg med 45% i forhold til referencestudiet, mens energiforbruget ved $18°C$ blev reduceret med 38%. De væsentligste simuleringer fremgår af tabel 5.1.

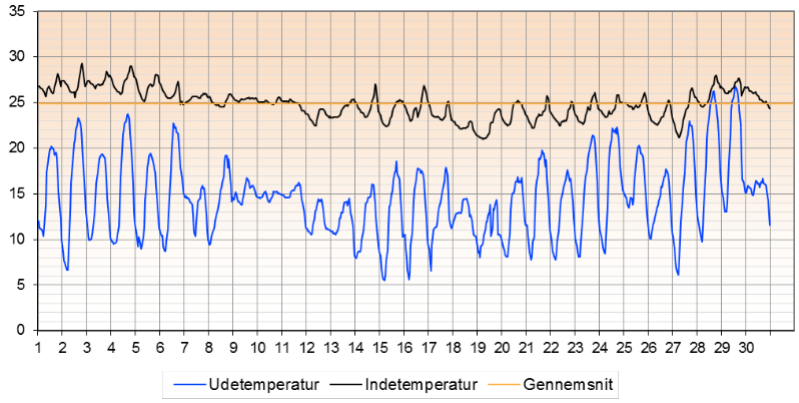
Casestudie	Beskrivelse	PPD stue		PPD værelse	
		gns.	maks.	gns.	maks.
1. Referencestudie		9,2	41,0	10,0	28,4
2. Lukkede vinduer	Som studie 1, bare med lukkede vinduer	25,5	99,2	19,0	92,4
4a. Ændret temperatursetpunkt	Setpunktstemperatur på $18°C$	16,9	49,5	20,5	52,1
4b. Ændret temperatursetpunkt	Setpunktstemperatur på $23°C$	6,4	41,0	6,4	28,2
4c. Ændret temperatursetpunkt	Setpunktstemperatur på $25°C$	7,4	47,1	8,7	36,0
9. Økonomiseret varmebelastning	Lavere varmebelastning om natten	10,5	58,7	11,6	66,6

Tabel 5.1 *– Beskrivelse af de væsentligste casestudier samt tilhørende PPD-indekser, efter [Karlsson og Moshfegh, 2006]*

Undersøgelsen viste altså, at naturlig ventilation i boliger er evident i forhold til overophedning om sommeren. Ligeledes viste undersøgelsen, at komfortniveauet er stærkt afhængig af setpunkstemperaturen, dog medfører en øget setpunktstemperatur en forøgelse af energiforbruget.

Larsen og Brunsgaard [2010] har evalueret indeklimaet i forbindelse med Komforthusene i Vejle. Undersøgelsen har gennemgået målingerne i fire af de otte målte boliger. Målingerne for det termiske og det atmosfæriske indeklima inkluderer; temperatur, relativ luftfugtighed og

CO_2-koncentration. Det pointeres dog i undersøgelserne, at målingerne ikke var færdiggjorte, hvorfor de måtte betragtes som foreløbige. De giver dog et godt indblik i hvilke problematikker, der skal studeres ved implementering af passivhusbegrebet i den danske boligsektor i forhold til komfortniveauet. Undersøgelserne påviste specielt problemer med det termiske indeklima, hvor der opstod overophedning om sommeren og lave temperaturer om vinteren. Figur 5.1 viser inde- og udetemperaturen for juni måned 2010 for et alrum af boligerne i Vejle. Det fremgår at indetemperaturer tæt på $30°C$ opleves.



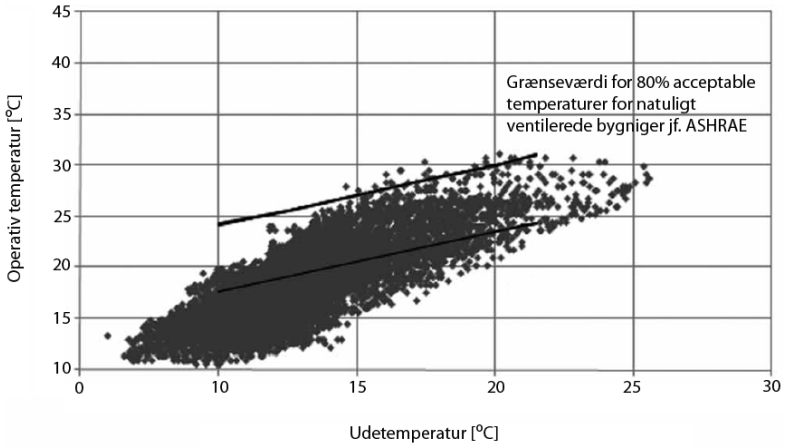
Figur 5.1 – *Inde-, ude- og gennemsnitstemperatur for indetemperaturen for juni 2010 i et alrum, efter [Larsen og Brunsgaard, 2010]*

Undersøgelsen pointerede at størrelsen på boligernes varmetab om vinteren og det mulige varmetilskud var tæt på hinanden, hvorved små afvigelser kunne medføre store konsekvenser for det termiske indeklima. Larsen og Brunsgaard [2010] understregede, at en integreret solafskærmning og naturlig ventilation af boligerne var en af løsningsmulighederne for at forhindre overophedning om sommeren, mens individuel rumtemperaturregulering nedsættede risikoen for lave temperaturer om vinteren. Derudover blev mulighederne for udarbejdelse af en manual til boligerne for at vejlede beboerne i den korrekte brug af de tekniske installationer foreslået.

I samme boliger har Larsen [2011] foretaget en uddybende undersøgelse af indeklimaet med henblik på mulige forbedringer. Undersøgelsen har taget udgangspunkt i et af Komforthusene, der har oplevet store problemer med overophedning. En af grundene til problemerne med overophedning kunne, jævnfør Larsen [2011], være, at boligers indeklima sjældent dokumenteres i Danmark, men at der derimod benyttes resultater fra overtemperatursberegningen fra Be10. Derfor blev der undersøgt to andre metoder til evaluering af det termiske indeklima, nemlig en dynamisk simulering i BSim samt en simpel døgnmiddelberegning på baggrund af Heiselberg og Aggerholm [2002], hvor begge modeller koncentrerede sig omkring den sydvendte stue. I BSim modellen fremgik det, at der på årsbasis ville være temperaturer over $26°C$ i 2800 timer. Døgnmiddelberegningen gennemgik fire tilfælde, hvor der blev varieret mellem, at huset var i brug og ikke var i brug. Derudover blev der regnet der med to ventilationsmængder, den første som angivet i Be10 beregningen, og den anden som øget brug af naturlig ventilation. Alle fire tilfælde gav overtemperaturer, hvor døgnmiddeltemperaturen varierede fra $29,8°C - 35,4°C$, og døgnmakstemperaturen varierede fra $33,1°C - 38,6°C$. Dermed påviste begge beregningsmetoder problemer med overophedning i det aktuelle hus. En af fordelene ved BSim simuleringen var bl.a., muligheden for at inkludere brugeradfærden

ved brug af dagsprofiler, der kunne indikere, hvorvidt brugere var tilstede eller ej. Dog vil en sådan simulering ofte være for tidskrævende, og derved for omkostningstung, og vil derfor ikke blive foretaget i forbindelse med enfamileboliger. En døgnmiddelberegning derimod er en simpel beregningsmetode, der anvender store andele af de inddata, der i forvejen er indtastet i Be10, hvilket anses for en klar fordel, idet en sådan beregning ikke vil være tidskrævende, men ofte vil kunne foretages på et par timer. Selv ved denne simple metode fremgik det det, at der vil opstå store problemer med overtemperaturer i den sydvendte stue. Dermed var det altså ikke nødvendigt med omkostningstunge simuleringer for at påvise denne problematik.

Williamson et al. [2010] har undersøgt indeklimaet i fem australske boliger beliggende i forskellige klimazoner. Alle boligerne var naturligt ventileret og havde ikke installeret kølesystemer. Det skal gøres klart, at udeklimaet fraviger det danske, men undersøgelserne giver stadig et indblik i problematikkerne vedrørende lavenergihuse, samt beboernes oplevelse af indeklimaet. I bilag E er klimaet for de forskellige klimazoner gennemgået. Undersøgelserne af indeklimaet i de fem huse var entydige, i tørre perioder var luftfugtigheden i boligerne lav, og det termiske komfortniveau var problematisk i forhold til overophedning ved høje udetemperaturer og lave indetemperaturer ved lave udetemperaturer, hvilket svarer til problematikkerne fremhævet af Larsen og Brunsgaard [2010]. Figur 5.2 viser den operative temperatur i en stue, hvor specielt lave operative temperaturer opleves i huset.



Figur 5.2 – *Indendørs operative temperaturer for hus nr. 2 i stue, efter [Williamson et al., 2010]*

Det termiske komfortniveau var i enkelte huse udenfor de accepterede komfortgrænser i mere end 50% af tiden, i forhold til det gældende reglement i Australien, i de 12 måneder som målingerne stod på. Det bemærkelsesværdige i undersøgelserne var, at ingen af beboerne klagede over det dårlige termiske indeklima, hverken ved lave eller høje indetemperaturer. Undersøgelserne viste altså, at beboerne kunne tilpasse sig indeklimaet efter det ydre klima og accepterede det varierende indeklima. [Williamson et al., 2010]

5.1 Opsummering

Det vurderes at indeklimaet i nye lavenergiboliger ikke altid lever op til brugernes ønsker, ej heller til de i normerne opstillede krav og anbefalinger, men at beboerne i flere tilfælde tilpasser sig boligernes indeklima. Det kan dog diskuteres, hvorvidt det kan forventes, at beboerne skal være i stand til at tilpasse sig hver enkelt bolig, eller om det er nødvendigt at oplære beboerne i driften af bygningens tekniske installationer. Problemerne med indeklimaet skyldes eksempelvis overtemperaturer i boligen. Dette scenarie indtræffer som oftest om sommeren, og skyldes ofte store sydvendte vinduespartier i boligen samt, at beboerne ikke har den fornødne viden omkring brugen og betydningen af solafskærmning. Om vinteren ses der flere problemer med at holde temperaturen oppe på et acceptabelt niveau pga. manglende effekt på varmeanlægget og beboernes anvendelse af naturlig ventilation. Ligeledes har undersøgelserne af indeklimaet vist, at de individuelle krav til indeklimaet har stor indflydelse på den oplevede komfort i boligen. Evalueringerne af Komforthusene i Vejle har ydermer påvist vigtigheden af indeklimaberegninger af kritiske rum, hvormed det må pointeres, at rummenes placering i boligen skal overvejes nærmere. Gennem studiet af indeklimaet i lavenergiboliger er det pointeret at når størrelsen på boligernes varmetab om vinteren og det mulige varmetilskud er tæt på hinanden, vil små afvigelser kunne medføre store konsekvenser for det termiske indeklima. Det er ydermere belyst, at selv simple beregninger af temperaturen i boliger vil være fyldestgørende i forhold til at undgå overophedning og derved sikre det termiske indeklima.

Kapitel 6

Samspil mellem energiforbrug og brugeradfærd

Dette kapitel præsenterer undersøgelser, der bygger på problemstillingen omhandlende brugeradfærdens og klimaskærmens indflydelse på energiforbruget. Adskillige forskere har undersøgt og evalueret problemstillingen omhandlende brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget. Deres arbejde er offentliggjort i videnskabelige artikler, tidsskrifter og på konferencer såvel som i anvisninger og Ph.D. afhandlinger. Ved hjælp af diverse casestudier har dette afsnit til formål at skabe et overblik over brugernes adfærdsmønstre.

I det efterfølgende gives eksempler på undersøgelser, som har undersøgt forskellige parametre og deres indvirkning på energiforbruget. Kapitlet har fokus på undersøgelser, som tager brugeradfærdsparametre i betragtning, men enkelte eksempler tager også bygningstekniske parametre i betragtning. Dette afsnit indeholder en kort redegørelse af alle undersøgelserne samt deres resultater, hvor overensstemmende og modstridende resultater vil blive fremhævet. Bilag F indeholder uddybende beskrivelser af undersøgelserne og deres resultater.

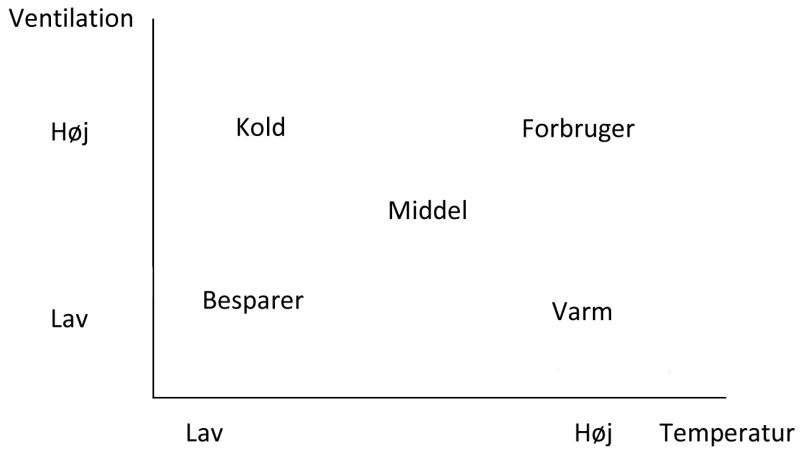
6.1 Beboernes adfærdsmønstre

van Raaij og Verhallen [1983b] har undersøgt, hvorvidt der eksisterede specifikke adfærdsmønstre i forhold til temperatur og ventilation i 145 hollandske boliger. Ligeledes blev det undersøgt, hvorvidt disse mønstre ledte til forskelle i energiforbruget i boligen. Ved evalueringen af dataene fremkom 17 typer af adfærd, og ud fra en komponentanalyse fremkom det, at der var seks komponenter, der forklarede 58% af variationen af energiforbruget. De seks komponenter var:

1. *Indeklima i soveværelse mens brugerne sover*; brug af radiatoren og naturlig ventilation om natten
2. *Termostatiske indstillinger i boligen udenfor brugstiden*
3. *Termostatiske indstillinger i boligen indenfor brugstiden (Bortset fra om sommeren)*
4. *Anvendelse af gardiner i forbindelse med solafskærmning*; længde af gardiner, nedrulning af gardiner om natten og som solafskærmning
5. *Udluftning*; brug af naturlig og mekanisk ventilation til udluftning af stuer og værelser

6. *Anvendelsen af soveværelse*; forventet søvntimeantal, udluftning af soveværelse

På baggrund af dette blev der udført en klyngeanalyse, hvorfra fem adfærdsmønstre viste sig på baggrund af temperatur og ventilation af boligen. De fem adfærdsmønstre samt indflydelsen af temperatur og ventilation ses på figur 6.1.



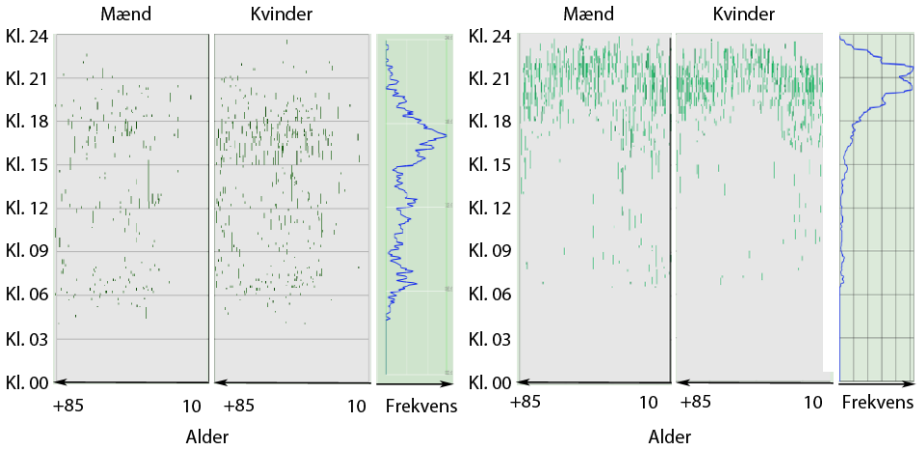
Figur 6.1 – *De fem adfærdsmønstre baseret på temperatur og ventilation, efter [van Raaij og Verhallen, 1983b]*

Energiforbruget i disse fem grupper varierede i nogen grad. Eksempelvis var den gennemsnitlige forskel mellem *Besparer* og *Forbruger* på 31%. *Besparer* segmentet holdte lave temperaturer samt en lav ventilationsrate i hjemmet. Disse havde høj uddannelse, mindre familiestørrelser, og ofte arbejdede hustruen udenfor hjemmet. *Forbruger* segmentet fastholdte en høj temperatur samt ventilationsrate i hjemmet. Disse var som oftest karakteriseret ved lav uddannelse og var oftere hjemme. Det *Kolde* segment havde lav temperatur men høj ventilationsrate. Det *Varme* segment havde høj temperatur samt lav ventilationsrate, og de lagde mere vægt på komfort end de andre typer af adfærd.

Karlsson og Ellegård [2009] har været inde at berøre dette, ved at visualisere beboernes energiforbrugende aktiviteter i boligen. Visualiseringen skete på baggrund af 600 numeriske koder med fem detaljeringsgrader grupperet i syv hovedaktivitetskategorier;

- Tage sig af andre
- Rekreation
- Madlavning
- Arbejde/Uddannelse
- Tage sig af sig selv
- Transport
- Husarbejde

Karlsson og Ellegård [2009] har foretaget to visualiseringer, en der sammenlignede aktiviteterne mellem en ung person og en ældre, samt sammenlignede aktiviteterne madlavning og brug af fjernsyn som funktion af tidspunkt og alder. Visualiseringerne understregede kompleksiteten i inddragelse af brugeradfærden i energiberegninger, hvilke viste store forskelle på brugerne og deres energiforbrugende aktiviteter.



(a) Madlavning **(b)** Se fjernsyn

Figur 6.2 *– Energiforbrugende aktiviteter, efter [Karlsson og Ellegård, 2009]*

Figur 6.2 illustrerer visualiseringen af madlavningen og brugen af fjernsyn. Visualiseringen viste, at størstedelen af kvinder stod for madlavningen, mens meget få børn var involveret. Tendensen til at se fjernsyn var mere ensartet fordelt end madlavningen, dog så børn og ældre mere fjernsyn. For at kunne foretage en detaljeret energiberegning, hvor brugernes adfærd var taget i betragtning, var det altså nødvendigt med en tilstrækkelig mængde data. Karlsson og Ellegård [2009] pointerede dog, at usikkerheden i sådanne visualiseringer skulle tages in mente.

6.2 Brugeradfærdspåvirkelige parametre influerende på energiforbruget

Hoes et al. [2009] har undersøgt i hvilke sammenhænge det vil være nyttigt at inkludere detaljeret brugeradfærd i simuleringsfasen. På baggrund af dette har de undersøgt, hvorledes respektive bygningsdesign influerede på forskelle i brugeradfærden. Der undersøges tre parametre, det værende sig energirelaterede parametre, belastningsparametre samt komfortparametre. De respektive parametre er anvist i tabel 6.1, hvor det ligeledes fremgår, hvilken type adfærd det undersøges i forhold til. Simpel brugeradfærd relaterede til brug af simple brugerprofiler, mens avanceret brugeradfærd tog hensyn til samspillet mellem beboerne og dets omgivelser.

Energirelateret	
Energibehov til varme	AB
Energibehov til køling	AB
Primært energiforbrug	AB
Belastningsrelateret	
Maksimal varmebehov	SB
Maksimal kølebehov	SB
Komfortrelateret	
PMV	AB
Maksimal rumtemperatur	SB
Minimum rumtemperatur	SB

Tabel 6.1 *– Parametre relateret til energiforbruget på baggrund af brugeradfærd, SB: Simplet brugeradfærd AB: avanceret brugeradfærd, efter [Hoes et al., 2009]*

På baggrund af en følsomhedsanalyse har Hoes et al. [2009] fundet frem til, at energibehovet til såvel varme som køling var det mest følsomme, og derfor vil kræve en avanceret model for at kunne forudsige energiforbruget til dette præcist. Ligeledes var PMV indekset yderst følsomt. På baggrund af casestudiet konkluderede Hoes et al. [2009], at brugeradfærden var et vigtigt aspekt at have for øje i forbindelse med opførelsen af nye bygninger.

Andersen [2009] har undersøgt brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget med hensyn til kontrol af indeklimaet i hans Ph.D. afhandling. For at undersøge brugerens indflydelse på energiforbruget blev der foretaget en simulering af et enkelt rum, der var beskæftiget af en enkelt person. En overordnet beskrivelse af simuleringssetuppet findes i bilag F. I afhandlingen var det tydeligt, at adfærdsmønstrene havde langt større indvirkning på variationen i energiforbruget, end det valgte indeklima havde. Variationen i energiforbruget grundet adfærdsmønstrene var 324%, hvor variationen i energiforbruget grundet indeklimaet var 117%. Ved inddragelse af både adfærdsmønstret og indeklimaet kunne energiforbruget påvirkes med op til 330%. På baggrund af simuleringerne var det ligeledes tydeligt, at varmeforbruget var den mest indflydelsesrige parameter i såvel variationen som i andelen af det totale energiforbrug, hvilket også fremgik i Hoes et al. [2009]. Tabel 6.2 viser resultaterne af simuleringerne.

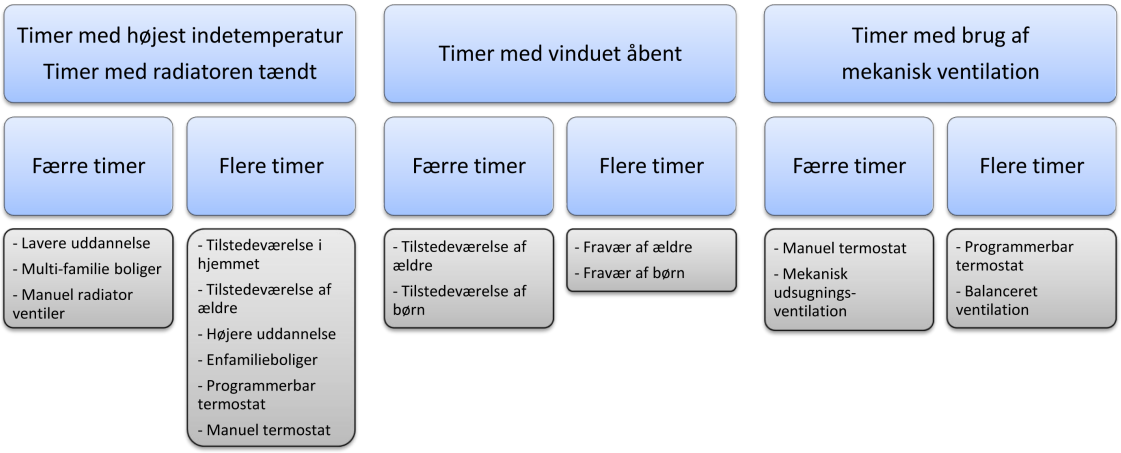
Energiforbrug $[kWh/år]$	1A	1B	1C	2A	2B	2C
Varme	2532	2372	2346	923	768	720
Ventilator	380,1	423,6	431,0	1,4	0,3	0,1
Cirkulationspumpe	13	13	13	3	2	2
Belysning	174	172	171	187	189	189
Primært energiforbrug til varme, ventilation og belysning	3948	3891	3882	1400	1246	1198

Tabel 6.2 *– Simuleringsresultater af energiforbruget, efter Andersen [2009]*

Ligeledes har Andersen et al. [2009] undersøgt hvilke parametre, der havde indflydelse på brugeradfærden i danske boliger. Her blev fire kontrolmekanismer analyseret, det værende sig adfærd vedrørende vinduer (åbent/lukket), varme (tændt/slukket), belysning (tændt/-slukket) samt solafskærmning (i brug/ej i brug). Baggrunden for undersøgelsen er beskrevet i bilag F. Resultaterne af undersøgelsen viste i forbindelse med adfærden vedrørende udluftning, at det var, udetemperaturen, der havde størst indflydelse. I forhold til brug af varme var dette ligeledes yderst påvirket af udetemperaturen, hvorimod omkostningerne ved varmeforbruget ikke påvirkede beboernes adfærd. Med hensyn til solafskærmning samt belysning var dette relateret til såvel solstrålingen, udetemperatur samt alder og køn af beboerne.

Brohus et al. [2010] har ligeledes undersøgt hvilke parametre, der havde stor indflydelse på boligers energiforbrug. Artiklen har taget udgangspunkt i en teoretisk og empirisk undersøgelse af 8 næsten identiske boliger, hvor 13 forskellige parametre blev screenet i relation til deres indflydelse på energiforbruget. I undersøgelsen måles, simuleres og beregnes energiforbruget for de 8 boliger, hvor de fandt, at der kunne opstå store forskelle i de beregnede og målte energiforbrug. Ud fra en kvantitativ følsomhedsanalyse blev det fundet, at de mest sensitive parametre var relateret til brugernes adfærd henholdsvis indetemperaturens indstillingsværdi, brugernes varmebelastning samt naturlig ventilation og infiltration. På samme måde har Brohus et al. [2009] opsat 100 forskellige parametre, der kan have indflydelse på energiforbruget i bygninger, hvor de ved hjælp af en usikkerheds- og følsomhedsanalyse af 57 parametre fandt frem til de 10 mest indflydelsesrige parametre. Ud fra en sammenligning af førnævnte analyse samt en kvantitativ følsomhedsanalyse blev det fundet, at de 3 mest indflydelsesrige parametre, også i dette tilfælde, var relateret til brugernes adfærd henholdsvis den ønskede indetemperatur, naturlig ventilation i brugstiden af vinterperioden samt varmtvandsforbruget. Undersøgelserne af Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010] har samme konklusion i forhold til indetemperaturens indflydelse på det totale energiforbrug som Andersen [2009] og Hoes et al. [2009]. Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010] udmærker sig dog med at naturlig ventilation også er en dominerende parameter i begge undersøgelser.

Guerra-Santin og Itard [2010] har undersøgt demografiske og tekniske parametre i boliger i forhold til anvendelse af varmeanlæg og ventilationssystem. Dataene anvendt i undersøgelsen stammede fra spørgeskemaer, fra beboere i to distrikter i Holland. Boligerne, der var brugt i undersøgelsen, blev beskrevet som værende repræsentative for hollandske boliger. I undersøgelsen fandtes klare sammenhænge mellem brugernes adfærd, den tekniske opbygning af varmeanlægget/ventilationssystemet, og hvordan boligens tekniske installationer blev anvendt. I undersøgelsen fandt de små korrelationer mellem energiforbruget og ventilationssystemet. Denne lille korrelation blev begrundet med, at ventilationssystemet knapt blev brugt i husholdningerne, hvorfor relationerne ikke blev så klare. Den primære parameter i undersøgelsen, der blev påvirket af brugernes adfærd, var temperaturindstillingen svarende til foregående undersøgelser. Figur 6.3 viste resultaterne af spørgeskemaundersøgelsen. I figuren var ældre personer over 65 år og børn under 12 år.



Figur 6.3 – *Sammenhængen mellem type af temperaturregulering, brug af varmeanlægget og husstands karakteristikker, efter [Guerra-Santin og Itard, 2010]*

Resultaterne viste, at de afgørende faktorer var, hvorvidt ældre eller børn var til stede i boligen. Guerra-Santin og Itard [2010] fandt altså, at alder i vis udstrækning havde indflydelse på indetemperaturen. Ligeledes viste resultaterne i figur 6.3, at opbygningen af bygningens tekniske installationer påvirkede brugernes adfærd i form af, anvendelsen af varmeanlægget og ventilationssystemet.

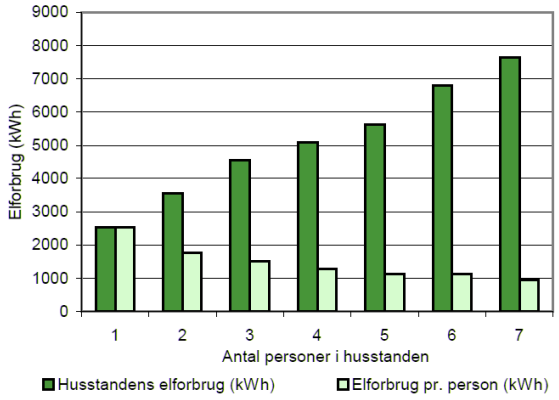
Larsen og Brunsgaard [2010] har undersøgt energiforbruget i fire danske passivhuse beliggende i Vejle. De undersøgte boliger var alle certificerede passivhuse, hvor udformning, størrelse, osv. af husene var meget forskellige. Teoretisk overholdte boligerne passivhuskravet vedrørende et maksimalt primært energiforbrug på 120 kWh/m^2 pr år. Målingerne viste, at energiforbruget varierede med en faktor 3 husene imellem, hvor kun to af husene overholdt kriteriet omkring det primære energiforbrug. Den ene bolig havde en overskridelse på 21 kWh/m^2 pr år svarende til 17,5%, hvilket tilskrives installationen af en elradiator grundet problemer med lave temperaturer i et af værelserne. Den anden bolig, som overskred energikriteriet, havde øget det primære energiforbrug med 107% i forhold til passivhuskriteriet. Den markante overskridelse begrundes med boligens forøgede luftskifte og en stigning i indetemperaturen om vinteren i forhold energiberegningerne. Undersøgelsen viste altså, at boligens luftskifte og specielt boligens indetemperatur havde en markant indvirkning på boligens totale energiforbrug, hvilket også var påvist af Guerra-Santin og Itard [2010], Brohus et al. [2010], Brohus et al. [2009], Andersen [2009] og Hoes et al. [2009].

Verhallen og van Raaij [1981] har undersøgt 145 hollandske rækkehuse, hvor indflydelsen fra boligernes karakteristika på energiforbruget blev undersøgt. De fandt, at boligens karakteristika forklarede 24% af variationen af energiforbruget, hvor isoleringsgraden, var den mest indflydelsesrige parameter. Undersøgelsen var baseret på målinger fra 1976-1977, hvor isoleringstykkelsen i nutidens boliger er blevet betragtelig forøget. Dette medfører, at en forøgelse i isoleringsgraden i boliger i 1976 har langt større betydning for energiforbruget end en forøgelse af isoleringsgraden anno 2011. Udover isoleringsgraden, havde naboens energiforbrug og boligens tilbygninger såsom garage, udhæng stor indflydelse på energiforbruget. Undersøgelsen viste, at de tre parametrene havde en positiv indvirkning på energiforbruget, eksempelvis medførte en øget isoleringsgrad et reduceret energiforbrug. Undersøgelsen

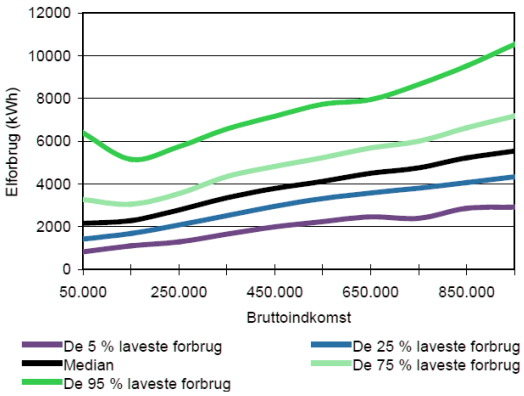
konkluderede, at såfremt der skete ændringer i boligens karakteristika, ville beboerne ændre deres adfærd i enten en energibesparende eller en energiforbrugende retning.

Cramer et al. [1985] har undersøgt, hvilke faktorer, der har indflydelse på elforbruget i enfamiliehuse om sommeren. Undersøgelsen stammede fra Lodi, som var en middelklasse landsby i Californien, USA og er foretaget på baggrund af data fra spørgeskemaundersøgelse, faktureringsdata samt information fra lokale forsyningsværker. Det skal bemærkes, at klimaet om sommeren i Lodi er meget varmt, ofte over $38°C$ og meget tørt. I undersøgelsen blev sociale, demografiske og holdningsmæssige parameters indflydelse på energiforbruget studeret, hvor der anvendtes regressionskoefficienter til at fastslå sammenhængen. De kom frem til to parametre, der havde stor indflydelse på elforbruget om sommeren; husstandens indkomst og husstandens størrelse. Vedrørende undersøgelsen af husstandsindkomsten og husstandens størrelse skal nævnes, at husstandsindkomsten havde stor indflydelse på elforbruget til mekanisk køling. Dette skal selvfølgelig tages i betragtning, når der sammenlignes med danske boliger. Den store indflydelse på elforbruget grundet husstandsindkomsten begrundes med muligheden for besiddelse af flere apparater samt større huse, hvilket var associeret med et større forbrug. Ligeledes begrundes indflydelsen på elforbruget grundet husstandens størrelse, at forbruget af apparater var større, da der var flere personer til at bruge dem.

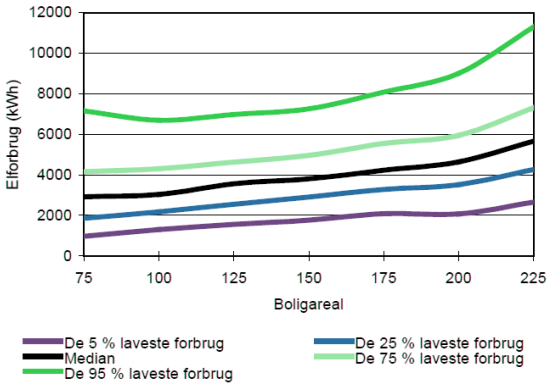
Mens Cramer et al. [1985] undersøgelse blev foretaget i starten af firserne, hvor små elapparater som mobiltelefoner, mp3-afspillere osv. ikke var udviklet, blev der foretaget tre undersøgelser baseret på datamateriale af 50.000 danske husstande; Gram-Hanssen et al. [2004] Gram-Hanssen [2005a] Gram-Hanssen [2005b]. Datamaterialet omhandlede elforbruget i 2005 for Aarhus. Undersøgelserne fandt, ligesom Cramer et al. [1985], at de to mest indflydende parametre på elforbruget var: husstandsstørrelsen og husstandsindkomsten. Ud fra husstandens størrelse blev det fundet, at elforbruget steg jævnt med antallet af personer. Undersøgelserne viste dog, at det var mere energibesparende at bo flere sammen, idet elforbruget pr. person faldt med et øget antal personer i boligen. Sammenhængen mellem energiforbruget og antal personer i boligen er vist på figur 6.4a. Ved undersøgelse af husstandsindkomstens indflydelse på elforbruget findes, at elforbruget steg jævnt med indkomsten både i lejligheder og parcelhuse, samme effekt som husstandsstørrelsen havde på elforbruget. Figur 6.4b viser sammenhængen mellem indkomsten og elforbruget for parcelhuse. Undersøgelsen så ligeledes på boligarealets og beboernes alders indflydelse på elforbruget, illustreret på figur 6.4c og figur 6.4d. Der findes ikke en entydig sammenhæng mellem alderens indflydelse på elforbruget, hvilket stemmer overens med, hvad Cramer et al. [1985] fandt frem til. Det skal dog nævnes, at Gram-Hanssen [2005a] fandt, at teenagere bruger omtrent 30-40% mere el end voksne. Det interessante ved undersøgelsen var sammenhængen mellem husstandens indkomst og elforbruget samt boligarealet og elforbruget, hvilket viser den store spredning som sammenligningerne medførte. Der var altså ikke en entydig sammenhæng mellem elforbruget og de forskellige parametre. Dermed var det vigtigt at inddrage disse usikkerheder, når beregninger af energiforbruget blev foretaget ved inddragelse af brugeradfærden



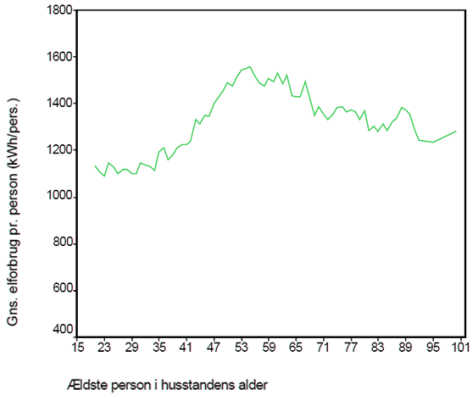
(a) Antal personer versus elforbrug



(b) Indkomst versus elforbrug i parcelhuse



(c) Boligareal versus elforbrug i parcelhuse



(d) Alder versus elforbrug

Figur 6.4 – *Energiforbrugende aktiviteter, efter [Gram-Hanssen, 2005a]*

Ritchie et al. [1981] har undersøget, i hvilken grad energiforbrug i hjemmet kan forklares på baggrund af fire variable.

- Klimatekniske variable
- Demografiske karakteristika af familien
- Udstyr og transport
- Holdning fra familiens overhoved

Undersøgelsen blev foretaget på baggrund af spørgeskemaer vedrørende selvrapporteret adfærd af 2366 husstande i Canada, 1981. Resultaterne viste, at graddage samt boligarealet havde stor indflydelse på energiforbruget. Ses der på familien og dennes opbygning viste resultaterne, at størrelsen på familien havde den forventede indflydelse. Des større familien var, des større energiforbrug. Indkomsten i husstanden havde ligeledes stor indflydelse på energiforbruget, idet en høj indkomst her var ensbetydende med, at begge forældre var på arbejdsmarkedet. Dette medførte lavere temperaturer i boligen. Det bemærkelsesværdige i undersøgelsen var, at en forøgelse i indkomsten medførte et lavere energiforbrug, hvilket er det modsatte påvist af Cramer et al. [1985], Gram-Hanssen et al. [2004], Gram-Hanssen [2005a] og Gram-Hanssen [2005b], men samme som van Raaij og Verhallen [1983b]. Uoverensstemmelserne skyldes med al sandsynlighed undersøgelsernes alder samt geografiske tilhørsforhold.

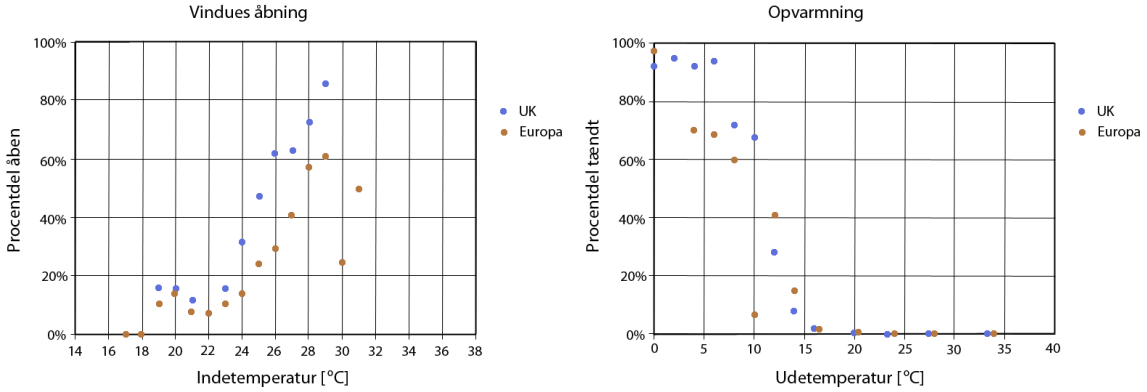
Gill et al. [2011] har evalueret vandforbruget og det totale energiforbrug i 25 engelske ensartede lavenergiboliger. Undersøgelsen var baseret på målinger fra september 2008 til november 2009. Fire boliger, beboet hele måleperioden, blev yderlige undersøgt. Målingerne i boligerne blev foretaget for elforbruget, vandforbruget, varmeforbruget og det totale energiforbrug med datalogger hvert 10. minut. Målingerne af boligernes forbrug blev ikke forevist beboerne, hvorfor de ikke blev påvirket af dette. I de fire boliger blev indetemperaturen og luftfugtigheden målt hver halve time i vinter- og sommer perioden. Undersøgelsen viste stor variation af det totale energiforbrug for de fire boliger imellem. Figur 6.3 viser målingsresultaterne af undersøgelserne af de fire boliger.

	Hus 1	Hus 2	Hus 3	Hus 4
Totalt energiforbrug [kWh/m^2 *pr år*]	105,5	144,9	95,5	86,8
Rumopvarmning [kWh/m^2 *pr år*]	86,4	103,5	78,3	63,9
Varmtvandsforbrug [kWh/m^2 *pr år*]	19,1	41,4	17,2	22,9

Tabel 6.3 *– Simuleringssetup, efter [Andersen, 2009]*

Den store variationen i energiforbruget blev tilskrevet brugernes adfærd, da rumopvarmning og varmtvandsforbruget var stærkt påvirket af brugernes adfærd. I undersøgelsen af de fire boliger fandt Gill et al. [2011] en sammenhæng mellem antallet af beboere og vand- og elforbruget. De fandt, at forbruget pr. person på el og vand var omvendt proportional med antallet af beboere, hvilket stemmer overens med undersøgelsen foretaget af Gram-Hanssen [2005a], hvor samme sammenhæng blev fundet på elforbruget. Undersøgelsen fandt ligeledes sammenhængen mellem programmerbare termostater og høj indetemperaturer svarende til [Guerra-Santin og Itard, 2010]. Det skal dog bemærkes, at undersøgelsen udelukkende baseres på målinger fra fire boliger, hvorfor det er svært at drage endelige konklusioner ud fra målingerne.

Nicol og Humphreys [2004] har undersøgt beboernes aktiviteter i boligen i forhold til ude- og indetemperaturen. De undersøgte aktiviteterne for Storbritannien og Europa, hvor data fra Sverige, Frankrig, Portugal og Grækenland indgik. Aktiviteterne, som blev undersøgt, var vinduesåbning, brug af persienner/gardiner, brug af belysning, brug af opvarmning, brug af ventilatorer og brug af airconditioning. Undersøgelsen viste, at de mest markante sammenhænge var mellem vinduesåbning og indetemperaturen samt opvarmning og udetemperaturen. Figur 6.5 illustrerer sammenhængen.



(a) Vinduesåbning versus indetemperaturen

(b) Opvarmning versus udetemperatur

Figur 6.5 – *Eksempler på sammenhængende parametre, efter [Nicol og Humphreys, 2004]*

Ud fra figurerne fremgår det at de fundne dataværdier for Europa og Storbritannien varierede, hvilket understreger vigtigheden at forskellighederne i brugernes adfærd i forhold til forskellige regioner og lande. Relationerne mellem aktiviteterne, hvor de to markante er illustreret i figur 6.5, underbygger ligeledes argumentet omkring at beregne fordelinger af boligernes energiforbrug frem for specifikke energiforbrug. Undersøgelsen viste altså, at det var muligt at beskrive brugernes adfærd ud fra tendenslinjer, hvor aktiviteter i hjemmet relateres til enten ude- eller indetemperaturen.

6.3 Opsummering

På baggrund af foregående redegørelse vedrørende brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget er det tydeligt, at brugernes adfærd har langt større indvirkning på energiforbruget end komforten i boligen. Det er altså essentielt at inkludere adfærden, når energiforbruget for boliger skal beregnes.

Figur 6.7 og 6.6 opsummerer undersøgelsernes resultater gennemgået i foregående afsnit. Resultaterne er delt op i brugeradfærdsparametre, figur 6.7, og byggetekniske parametre, figur 6.6. Yderligere er figur 6.7 opdelt i parametre påvirkende energiforbruget til rumopvarmningen, varmtvandsforbruget og elforbruget, hvor de blå firkanter påvirker de grå firkanter, som igen påvirker energiforbruget. De deciderede energiforbrugende parametre er altså parametrene, som er at finde i de grå firkanter, mens de mere personrelaterede parametre er beskrevet i de blå firkanter. Nedenstående tabel forklarer indeksene i figurerne. Indeksene skal forstås således, at eksempelvis tilstedeværelsen af ældre, som har et højt signifikansniveau, medfører en meget stor stigning på setpunktstemperaturen, som igen medfører en meget stor stigning i det totale energiforbruget.

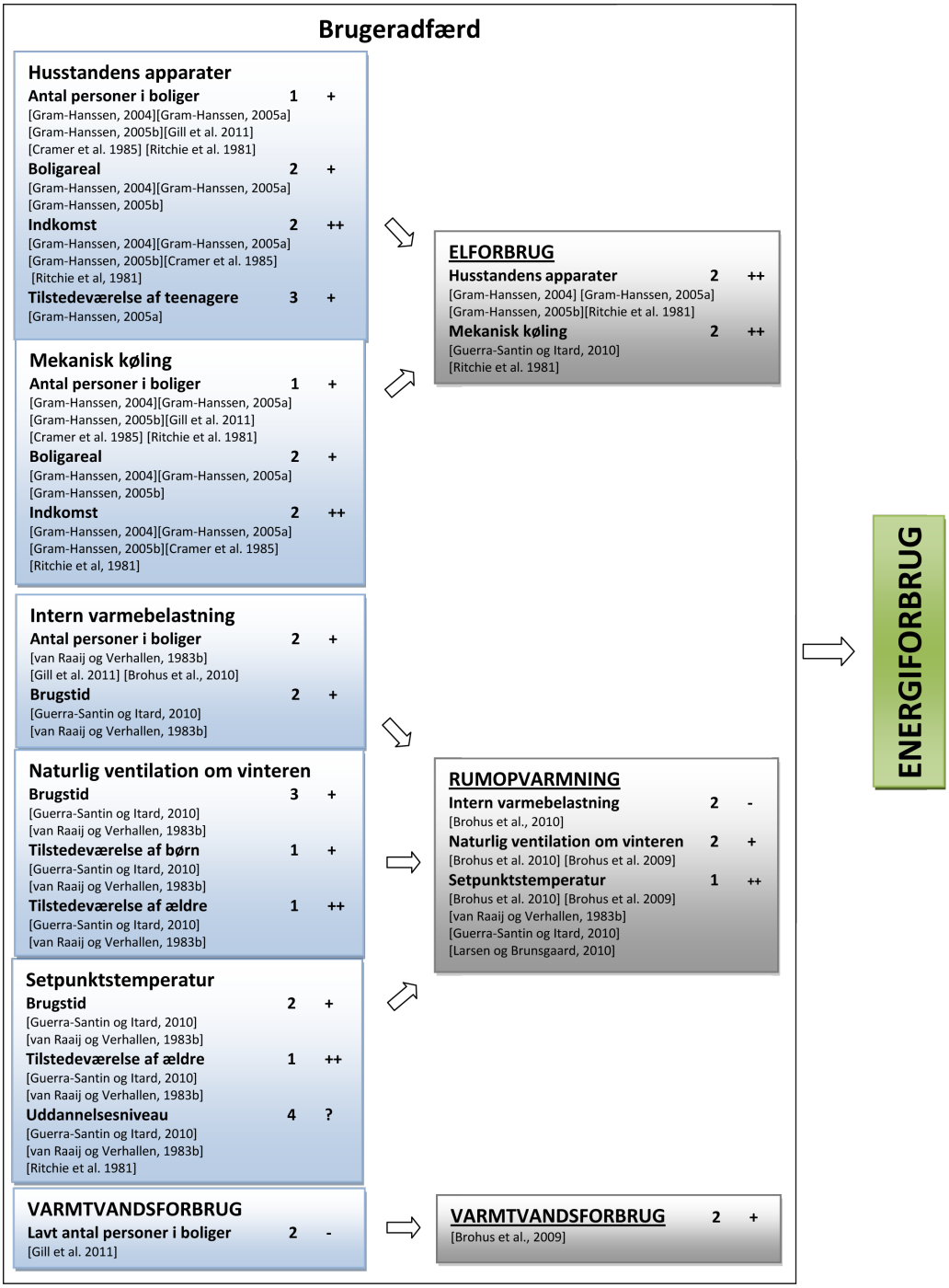
- -	Medfører et stort fald	1	Højt signifikansniveau
-	Medfører et fald	2	Moderat signifikansniveau
+ +	Medfører en stor stigning	3	Lavt signifikansniveau
+	Medfører en stigning	4	Ikke signifikant
?	Ingen entydig sammenhæng		

Det skal nævnes, at brugeradfærdsparametrene angivet med et "?"kan have en positiv, såvel som negativ indflydelse på energiforbruget i følge undersøgelserne. Brugeradfærdsparametre, der er vurderet som værende ikke signifikante, vil til alle tider være karakteriseret ved "?", da det med så lavt signifikansniveau ikke er muligt at vurdere, hvorvidt parameteren vil medføre en stigning eller et fald i energiforbruget. Eksempelvis uddannelsesniveauet hvor Guerra-Santin og Itard [2010] mener, at et lavt uddannelsesniveau medfører et lavt energiforbrug, mens van Raaij og Verhallen [1983b] og Ritchie et al. [1981] mener at det medfører en forøgelse i energiforbruget. van Raaij og Verhallen [1983b] og Ritchie et al. [1981] begrunder forøgelsen med større brugstid af boligen som følge af hjemmegående husmødre, mens Guerra-Santin og Itard [2010] forbinder en højere uddannelse med en højere indkomst, hvorved muligheden for at besidde flere energiforbrugende apparater medfører et øget energiforbrug.

Signifikansniveauet er valgt ud fra et ræsonnement af tre faktorer: årstallet for undersøgelsen, boligernes geografiske placering og antallet af undersøgte boliger. Parametrene i figur 6.6 og 6.7 er listet i alfabetisk orden uden hensynstagen til signifikansniveauet.

Figur 6.6 – *Opsummering af undersøgelsernes resultater af byggetekniske parametre*

Undersøgelser af bygningstekniske parametres indflydelse på energiforbruget viser, jævnfør figur 6.6, at udetemperaturen har størst indflydelse på det totale energiforbrug. Ydermere er det påvist, at programmerbare termostater medfører et øget varmeforbrug, da gennemsnitstemperaturen i boligen bliver forøget i forhold til individuel regulerbare varmeflader.



Figur 6.7 – *Opsummering af undersøgelsernes resultater af brugerrelaterede parametre*

Af figur 6.7 fremgår det, at tilstedeværelsen af ældre og boligens brugstid har størst indflydelse på energiforbruget til rumopvarmningen, mens ældre har størst indflydelse på setpunktstemperaturen. Ydermere er det setpunktstemperaturen, der har den største indflydelse på andelen af boligers energiforbrug. Det skal bemærkes til varmtvandsforbruget, at mange af

undersøgelserne, som er medtaget i denne gennemgang, ikke undersøger lavenergiboliger, men boliger bygget i forhold til gældende energirammer gennem de sidste årtier. Dette medfører, at varmtvandsforbruget vil have en større indflydelse på det totale energiforbrug end vist i figuren. I forhold til boligers totale energiforbrug er det ligeledes nødvendigt at overveje brugeradfærdsparametre såsom husstandens indkomst og beboernes køn, da disse ligeledes har indflydelse på boligernes totale energiforbrug, illustreret på figur 6.7.

De mest indflydelsesrige brugeradfærdsparametre på elforbruget er antal personer i husstanden og husstandens indkomst. Des flere personer, som bor i boligen, des større er elforbruget, da der er flere personer til at anvende husstandens apparater. Jo større husstandens indkomst er, jo større er elforbruget, da husstanden dermed har mulighed for at besidde flere elforbrugende apparater. Derudover er det tydeligt, at alder ikke har en stor indflydelse på elforbruget, dog med undtagelse af teenagere, som bruger mere el end gennemsnittet. Derudover har undersøgelser vist, at opbygningen af husstanden og de tekniske installationer har indflydelse på indetemperaturen, men ikke i så stor udstrækning som de brugeradfærdspåvirkelige parametre.

Udover at figur 6.6 og 6.7 viser, hvilke indflydelsesrige parametre, som skal tages i betragtning, når brugeradfærden skal implementeres i energiberegninger, illustrerer figurerne også den store kompleksitet ved sådanne beregninger. For at kunne inddrage brugernes adfærd er det derfor nødvendigt med en klar afgrænsning, da implementering af alle brugeradfærdsparametre vil medføre en uoverkommelig beregningsprocedure. Ved implementering af brugernes adfærd er det ligeledes nødvendigt at inddrage usikkerheds- og følsomhedsanalyser i energiberegningerne for den enkelte bolig for at kunne evaluere parametrenes indflydelse på boligens energiforbrug.

Kapitel 7

Interessentanalyse

Kapitlet omhandler, hvilke interessenter problemstillingen henvender sig til, hvorunder der redegøres for, hvilke interesser de respektive interessenter har i problemstillingen. Kapitlet er opdelt således, at beskrivelsen af de mest fremtrædende interessenter er beskrevet under sit eget afsnit, mens mindre fremstående vil blive beskrevet under ét.

Beboerne
Det vigtigste for beboere er, når de skal vælge deres bolig, at deres ønsker og forventninger til den specifikke bolig bliver opfyldt. Forventningerne til boligen fra beboerne kan være mange og forskelligartede. Disse forventninger kunne være vedrørende arkitekturen, økonomien, komforten, brugervenligheden, innovationen osv. Den faktor, der ofte sætter grænsen for beboernes ønsker omkring valg af bolig, er økonomien vedrørende boligkøbet. Økonomien er dog ikke kun influerende på huskøbet, men kan påvirke såvel energiforbruget som eventuelle renoveringer på boligen. En faktor, der uden undtagelse forventes opfyldt i dagens boliger, er opretholdelse af komforten i boligen uafhængig af sæsonen. Som specificeret i indledningen og i kapitel 6 stemmer det projekterede indeklima og energiforbrug ikke altid overens med det faktiske, hvor det ofte viser sig, at beboernes adfærd har meget at sige vedrørende det faktiske energi- og komfortniveau. Beboerne har altså en stor interesse i, at deres bolig kan leve op til deres krav, ikke kun fordi de har lagt mange penge i boligen, men også fordi deres hverdag tager udgangspunkt i boligen. Ifølge ny undersøgelse, foretaget af ejemdomsmæglerkæden Home [2010], har energiforbruget i boligen stor indflydelse på boligkøbet i dag, og det forventes, at denne tendens vil stige i fremtiden. Et lavere energiforbrug i boligen vil give mere luft i den daglige økonomi. Et andet aspekt i denne undersøgelse er, at for hver gang boligejere kan spare 440 kr. på månedsbasis på eksempelvis varmeregningen, vil de kunne købe for 100.000 kr mere hus, uden at sidde dyrere i det. [Home, 2010]

Rådgivende ingeniører og arkitekter
Ingeniørers og arkitekters fornemmeste opgave er at efterkomme bygherrens ønsker vedrørende den specifikke bolig herunder at sikre, at boligen overholder den gældende lovgivning. Gennem de sidste par år har der været øget fokus på energieffektivisering af boliger som forklaret i indledningen, hvor en del ingeniører og arkitekter har været med i forskellige udviklingsprojekter. Disse udviklingsprojekter anvendes til at eksperimentere med metoder til at energieffektivisere boliger, hvor der i kapitel 6 er beskrevet hvilke problemer, der fremkommer i sådanne projekter. Erfaringerne fra udviklingsprojekterne tages således til efterretning og anvendes i nye byggerier. Eksempelvis forsøger vinderteamet bag *Bolig+* konkurrencen, Team+ at tage højde for brugernes adfærd ved at forinstallere lyssystemer, tørreskabe osv. [Marszal, 2010] Ingeniørerne og arkitekterne har altså en interesse i at ajourføre sig med den

nyeste udvikling for at sikre det bedst mulige produkt til bygherren. Dog vil økonomi også have indflydelse, idet det ofte er dyrt for arbejdsgiveren at sende ingeniører og arkitekter på efteruddannelse.

Entreprenører og håndværkere
For at bygherrens ønsker til boligen kan indfries, er det vigtigt, at det håndværksmæssige arbejde er i orden. Håndværkernes arbejde på boligen har stor indflydelse på såvel boligens energiforbrug som boligens indeklima. Det er derfor vigtigt at sikre et godt samarbejde mellem entreprenøren/håndværkerne og ingeniørerne/arkitekterne forat efterkomme bygherrens krav herunder inddragelse af integreret design. [Heiselberg, 2007] Håndværkernes interesse ligger altså i efteruddannelse for at efterkomme stramningerne i lovkravene, mens de forbliver konkurrencedygtige hvad angår prisen for deres arbejde. Specielt sidstnævnte har haft stor indflydelse på markedet indenfor dansk lavenergibyggeri, hvor tysk arbejdskraft har været nødvendig. [With, 2009] Det kan dog være svært at lave ændringer, idet der hele tiden fokuseres på økonomi. Netop derfor er det vigtigt, at det bliver mere synliggjort overfor eksempelvis håndværkere, hvorfor det er vigtig med energieffektivt byggeri f.eks. i forbindelse med tæthedskrav.

Producenter
For at producenterne kan overleve, er det vigtigt at producenternes produkter følger tendensen på markedet, det være sig de specifikke lovkrav samt brugernes ønsker. Ofte er Danmark for lille et marked til at få producenterne til at udvikle nye koncepter, hvorfor det er vigtigt at lovkravene i Danmark harmonere med flere lande. For at efterkomme brugernes ønsker specielt i lavenergiboliger, er energieffektiviseringen og prisen på produkterne en vigtig del af produktudviklingen. I forbindelse med opførelsen af Komforthusene i Vejle, måtte der kigges mod Tyskland for at imødegå kravene til vinduernes U-værdi. [Isover a Brand of Saint-Gobain, 2009] I dag er der dog kommet nye danske vinduer på markedet, der også kan matche kravene til passivhusvinduer.

Staten og kommunerne
Grundet den øgede opmærksomhed på knapheden af ressourcer samt den globale opvarmning er energieffektivisering en nødvendighed for at kunne reducere energiforbruget. For at kunne opnå en sådan reduktion er en øget opmærksomhed nødvendig fra statens side, eksempelvis deltog tidligere videnskabsminister Helge Sander i indvielsen af Københavns Universitets nye grønne bygning "Green Lighthouse"[Nielsen, 2009], ligeledes foretog den tidligere klima- og energiminister Connie Hedegaard den officielle indvielse af de ti passivhuse i Vejle [Isover a Brand of Saint-Gobain, 2009]. På samme måde har kommunerne været ude at øge opmærksomheden omkring lavenergibyggeri, eksempelvis udbød Skanderborg fire byggegrunde til halv pris, hvis energiforbruget i det byggede hus var på 25% af energirammen i BR08. [Sønderskov, 2010] Ved at øge opmærksomheden omkring lavenergiboliger samt gøre det mere attraktivt at bygge lavenergiboliger, kommer den enkelte kommune og ikke mindst staten til at fremstå som "den bedste i klassen". Men opmærksomhed gør det ikke alene, derfor er det nødvendigt med et økonomisk incitament for at fremme energibesparende byggeri. For at fremme dette har regeringen iværksat en række initiativer, der skal fremme energibesparelser i bygninger. Det drejer sig om følgende: [Energistyrelsen, 2010]

- 30 mio. kr. til at fremme varmepumper i områder udenfor kollektiv forsyning.
- 10 mio. kr. om året i 3 år til kampagner vedrørende energibesparelser i bygninger.
- 10 mio. kr. om året til drift af et videncenter for energibesparelser i bygninger.

Mindre fremstående interessenter
Ud over ovennævnte er der mindre fremstående interessenter såsom fjernvarmeværker og elværker, der leverer energi til boligerne, bankerne som er afhængige af beboerne, diverse fagforeninger, organisationer og magasiner som holder andre interessenter opdateret med den nyeste viden. Eksempelvis kunne bankerne indføre lave *"energi-lån"*, for at fremme processen med opførelse af lavenergibyggeri.

Kapitel 8

Problemformulering

På baggrund af problemanalysen vurderes det, at den primære årsag til uoverensstemmelsen mellem det faktiske og det beregnede energiforbrug skyldes at brugernes adfærd, i dagens beregningspraksis, ikke inddrages i forbindelse med beregninger af energiforbruget. Eksempelvis har undersøgelser vist at brugernes adfærd er skyld i variationer op til 330% i energiforbruget, hvor størstedelen begrundes med beboernes adfærdsmønster, hvorimod det valgte indeklima er en mindre vigtig del i variationen. Dette skal selvfølgelig tages i betragtning, når det specifikke energiforbrug for boliger skal forudsiges. Derfor vurderes det, at inddragelse af brugeradfærden vil kunne bidrage til at præcisere beregningerne af boligers energiforbrug.

I kapitel 5 er indeklimaet i boliger undersøgt nærmere, og det er her påvist, at såfremt disse ikke inddrages allerede i projekteringen af boligen, vil dette besværliggøre opretholdelsen af komfortniveauet i boligen. På baggrund af undersøgelser vedrørende detaljeringsgraden af indeklimaberegningerne, vurderes det, at selv simple beregninger af eksempelvis CO_2-koncentration, temperatur samt relativ luftfugtighed i forbindelse med beregninger af boligers energiforbrug vil kunne afhjælpe indeklimamæssige problemer i nybyggeri.

I forbindelse med den aktuelle beregningspraksis, må det konstateres, at programmet Be10 udelukkende er anvendeligt i forbindelse med myndighedsgodkendelse. Altså kan en beregning i Be10 ikke give en indikation på hvorvidt indeklimaet er tilfredsstillende i boligen. Et af problemerne i Be10 er, at det er svært at inkludere de variable parametre på baggrund af brugeren allerede i projekteringsfasen. Programmet BSim vil deriomod ofte være for detaljeret til anvendelse i en projekteringsfase på et boligbyggeri, idet mange af de ønskede parametre ikke altid er fastsat på dette tidspunkt.

På baggrund af problematikkerne belyst i problemanalysen, er projektets problemformulering udarbejdet.

Problemformuleringen opstilles i delspørgsmål, som følger:

- Hvordan kan energiberegningsmetoderne i forhold til standarderne i dag suppleres, således de bliver mere præcise i forhold til forudsigelse energiforbruget?
  - Er inputparametrene realistiske eller skal andre metoder til, for at kunne inddrage brugeradfærden mere hensynsmæssigt?
- Hvordan kan simplificerede indklimaberegninger inkluderes i energiberegningerne?
  - Kan indeklimaberegningerne optimeres, således komforten opnår de individuelle brugeres ønsker og behov?

Problemafgrænsning
Denne rapport ønskes, jævnfør kapitel 7, adresseret til rådgivende ingeniører, og vil udelukkende fokusere på boliger. Dette projekt foretager beregninger på baggrund af dansk lovgivning, og resultaterne er derfor kun anvendelige i forbindelse med danske boliger. Der fokuseres på den nyeste lovgivning, hvorfor BR10 samt Be10 danner grundlag for de overordnede beregninsprincipper. Ved evalueringen af energiberegningerne afgrænses der fra at se nærmere på elforbruget til husholdningen. Rapportens hovedfokus i forbindelse med indeklimaberegninger vil være indeklimaet i lavenergiboliger, da disse boliger anses for at sætte standarderne for fremtidens boliger. I forbindelse med evaluering af indeklimaet i danske boliger, ses der udelukkende på det termiske samt atmosfæriske indeklima, hvorfor der afgrænses fra det akustiske indeklima, ydermere ses der ej heller nærmere på dagslyset i boligerne. I evaluering af boligens samlede ydeevne i forhold til energiforbruget og indeklimaet afgrænses der for at foretage en samlet vurdering af ydeevnen.

Udvikling af koncept (SiByB)

Kapitel 9

Beskrivelse af koncept, SiByB

Nærværende kapitel beskriver baggrunden for at udvikle et koncept, der beskæftiger sig med evalueringen af indeklimaet i relation til energiforbrug på baggrund af brugeradfærd. Ydermere beskriver kapitlet konceptets grundlæggende opbygning, samt de brugerrelaterede inputparametre anvendt i koceptet.

9.1 Baggrund for udvikling af koncept

I denne del af rapporten fokuseres på udviklingen af et koncept, der behandler boligers ydeevne under hensyntagen til brugernes adfærd, hvori energi- og indeklimaberegninger kombineres. Konceptet benævnes SiByB, Simplificeret beregning af Boligers ydeevne under hensyntagen til Brugernes adfærd. På baggrund af problemformuleringen har konceptet tre hovedformål:

- At kombinere simplificerede indeklima- og energiberegninger
- At udføre en usikkerhedsanalyse af energiforbruget såvel som indeklimaet i boligen
- At inkludere brugenes adfærd i usikkerhedsanalyserne

Hovedformålene er fastlagt på baggrund af problematikkerne belyst i problemanalysen, der indikerede, at energiberegninger i dag som oftest sker uden hensynstagen til hverken indeklimaet i boligen eller brugernes adfærd. Konceptet er tiltænkt alle boligtyper, men i nærværende rapport er hovedfokus lagt på lavenergiboliger, jævnfør problemafgænsningen. Idet SiByB ønskes adresseret til rådgivende ingeniører, er der udsendt spørgeskemaer til en række rådgivende ingeniørfirmaer. Af disse fremgår det tydeligt at holdningerne til at integrere brugeradfærden i boligers energiberegninger er forskellige, grundet den store kompleksitet af dette. Ligeledes ses usikkerheden og det krævende tidsforbrug til beregningerne som en afgørende faktor. Hovedparten mener dog, at det er en nødvendighed, da brugeradfærden har stor indflydelse på det endelige energiforbrug. Det fremgår ligeledes at ønsket om at kunne foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegningerne er højt. Fælles for alle besvarelser er ønsket vedrørende anvendelse af simple indeklimaberegninger til evaluering af risikoen for overtemperatur samt CO_2-koncentrationen. Samtlige besvarelser forefindes i bilag G.

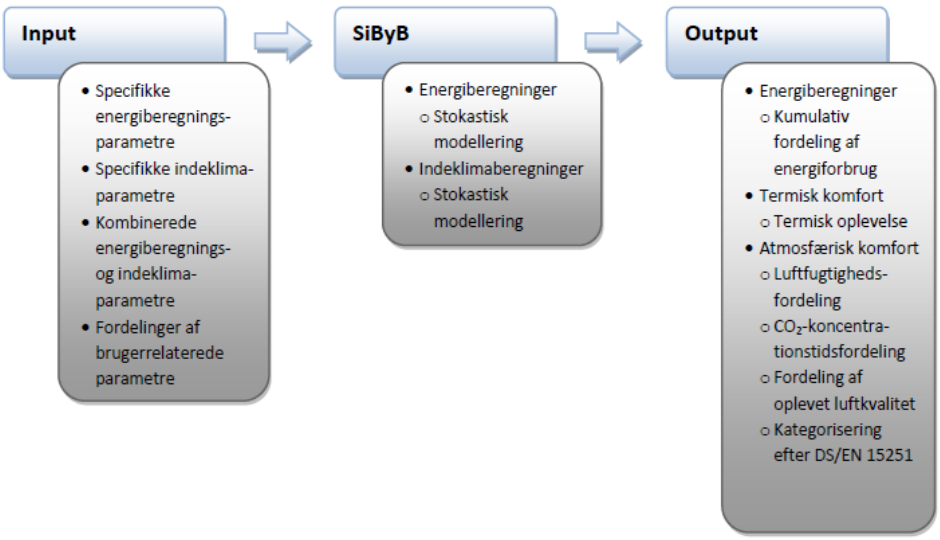
Hensigten med udviklingen af dette koncept er at skabe en mulighed for at supplere energiberegningsmetoden med burgernes adfærd, således at denne i fremtiden blive mere præcis.

Ligeledes er det hensigten, at inkluderingen af overslagsmæssige indeklimaberegninger for at sætte fokus på komfortniveauet i den enkelte bolig. Beregningsgangen i konceptet skal være så lettilgængelig som muligt, dvs. at energi- og indeklimaberegningerne skal foretages på samme tid.

På basis af problemformuleringen ønskes det derfor, at udvikle et koncept, der kan effektivisere beregningerne af energiforbruget, således at de bliver mere præcise. Det ønskes at inkludere indeklimaet i disse beregninger ved hjælp af hurtige overslagsberegninger. Ligeledes ønskes det at inkludere brugernes adfærd i beregningerne. Målet er, at være i stand til at eftervise hvorvidt brugeradfærden har væsentlig indflydelse på energiforbruget samt indeklimaet.

9.2 Grundlæggende opbygning

Konceptets grundlæggende opbygning er vist på figur 9.1 og består af tre elementer: input, modellering og output.



Figur 9.1 – *Konceptets grundlæggende opbygning*

Input
Inputelementet i SiByB består af de inputparametre, som har en påvirkning på energiforbruget og indeklimaet i boligen. I inputelementet er det ligeledes fastlagt hvilke parametre, der defineres som værende brugerafhængige, hvorved fordelinger af inputparametrene er opstillet. De brugerrelaterede parametre som benyttes i SiByB beskrives i afsnit 9.3.

Modellering
Modelleringselementet udgør konceptets simulerings/beregningsdel. SiByB består af en energiberegningsdel henholdsvis indeklimaberegningsdel. Energiforbruget beregnes ved brug af regnearksversionen af det danske energiberegningsprogram Be10, og indeklimaet beregnes af den opstillede indeklimadel i SiByB. SiByB er vedlagt på Bilags-CD'en, *SiByB.xlsm*. De specifikke beregningsalgoritmer for energiberegningerne gennemgås i bilag H, og beregningsgangene

i indeklimaberegningerne gennemgås i bilag I. Simlab anvendes til opstilling af fordelingsfunktioner af de brugerlerateredе parametre, jævnfør afsnit 9.3.

Output
Sidste element i konceptet er output. Outputelementer består af parametre, der kan anvendes til at evaluere energiforbruget samt indeklimaet i boligen, eksempelvis en usikkerhedsanalyse foretaget på energiforbruget, PMV-indeks for rumluftstemperaturen, tidsafhængig luftfugtighedsfordeling m.v. På baggrund af outputelementet er det derved muligt, at evaluere boligens indeklima i forhold til kategori I-IV, DS/EN 15251 [European Committee for Standardization, 2007b].

For at anvende SiByB er det nødvendigt at definere hvilke zoner, der skal undersøges. I SiByB defineres denne zoneinddeling som værende boligens rumopdeling, hvor der udelukkende beregnes på to af boligens rum. For at kunne udføre indeklimaberegningerne er det derfor nødvendigt at klarlægge, hvilke rum i boligen, som anses for kritiske i forhold til det oplevede indeklima. I SiByB er to kritiske rum implementeret: *Rum Sommer* og *Rum Vinter*. I *Rum Sommer* undersøges det termiske og atmosfæriske indeklima, hvor det termiske indeklima omhandler overtemperaturer i sommerperioden, mens det atmosfæriske indeklima omhandler CO_2-koncentrationen, den relative luftfugtighed og den oplevede luftkvalitet. Her er det antaget at det termiske og atmosfæriske indeklima er kritisk i det sammen rum, hvilket er en antagelse i konceptet. I de tilfælde, hvor disse ikke er sammenfaldende er det nødvendigt at foretage to beregninger. For *Rum Vinter* beregnes udelukkende den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget i henhold til DS418.

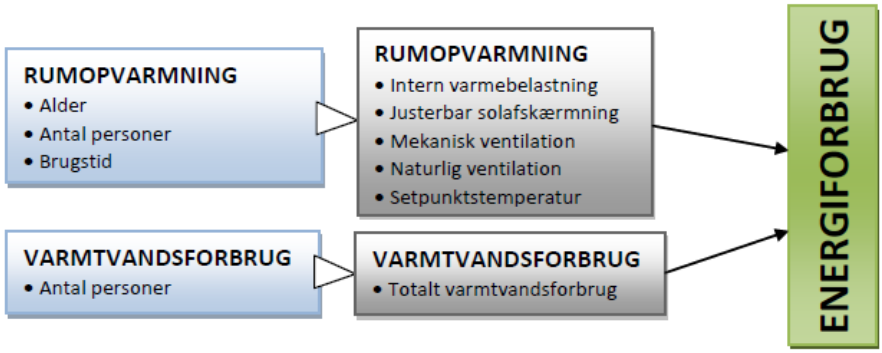
I SiByB anvendes tilsvarende inputparametre indtastet i Be10, hvor enkelte parametre i indeklimaberegningen yderligere skal tilføres. De ekstra inputparametre henvender sig til de kritiske rum, og er som følger:

Gulvareal	A_{gulv}	Længde af kuldebroer	L
Loftsareal	A_{loft}	Linjetab	ψ
Vægareal	$A_{væg}$	Den maksimale effekt fra køleanlægget	$\Phi_{køl}$
Højde af rummet	$h_{kritisk}$	Den maksimale effekt fra varmeanlægget	$\Phi_{anlæg}$

De resterende parametre for de kritiske rum, eksempelvis vinduesoplysninger, er koblet direkte til energiberegningsdelen af SiByB, se Bilags-CD, *SiByB.xlsm*. Alle inputparametrene til SiByB er listet i bilag J

9.3 Brugerrelaterede parametre i SiByB

Et af hovedformålene med SiByB er, som tidligere nævnt, at inkludere brugernes adfærd i energi- og indeklimaberegningerne. I SiByB gøres dette ved at anvende fordelinger af de brugerrelaterede parametre, hvorefter en usikkerhedsanalyse samt en sensitivitetsanalyse danner grundlaget for evalueringen af, i hvilken grad brugernes adfærd påvirker boligens energiforbrug samt det oplevede indeklima. De brugerrelaterede parametre, som vil blive inkluderet i SiByB, er vist på figur 9.2. Parametrene er listet alfabetisk. Det bemærkes, at det udelukkende er de tekniske parametre i de grå firkanter, der direkte medtages i SiByB.



Figur 9.2 – *Parametre i forhold til opbygning af koncept*

Ud fra en vurdering af parametrenes signifikansniveau samt indflydelsen af de respektive parametre jævnfør figur 6.7 samt 6.6, der opsummerer resultaterne af undersøgelserne vedrørerende samspillet mellem energiforbruget og brugeradfærd, er parametrene i figur 9.2 udvalgt. Figuren er opbygget på samme måde som figur 6.7 og 6.6, hvor de blå firkanter har direkte påvirkning parametrene i de grå firkanter, som igen har direkte indflydelse på energiforbruget. Parametrene i de grå firkanter repræsenterer altså de energiforbrugende parametre. Følgende brugerrelaterede parametre vil således blive evalueret ud fra fordelinger:

- Antal personer
- Intern varmebelastning
- Solafskærmning
- Totalt varmtvandsforbrug
- Luftmængde fra den naturlige ventilation
- Setpunktstemperatur for rumopvarmning
- Luftmængde fra den mekaniske ventilation

Eneste parameter, som udelukkende influerer energiforbruget, er det totale varmtvandsforbrug, de resterende parametre har således indflydelse på såvel energiforbruget i boligen som indeklimaet. Den interne varmebelastning omfatter apparatur samt belysning, idet den interne varmebelastning fra personer beregnes på baggrund af antal personer samt et gennemsnitlig aktivitetsniveau. Usikkerhedsanalysen af energiforbruget og indeklimaet kan derved sammenholdes til evaluering af brugernes indflydelse.

De brugerrelaterede parametre i SiByB implementeres ved fordelingsfunktioner. Fordelingerne er alle opstillet på baggrund af målinger, erfaringstal, gældende lovkrav, litteratur samt teoretiske overvejelse. Bilag K gennemgår fordelingerne af de respektive paramtre. Tabel 9.1 viser hvilke parametre, der er opstillet fordelinger for samt de karakteristiske faktorer for fordelingerne. Det bemærkes at fordelingsfunktionen for den naturlige ventilation er afhængig af hvorvidt boligen også er mekanisk ventileret, samt årstiden. Oversigten viser, at normalfordelingen er den mest anvendte fordelingsfunktion, hvor lognormalfordelingen og betafordelingen kun er anvendt på én parameter hver.

Parameter	**Fordeling**	**Forventet interval**	**Forventnings-værdi**	**Variations-koefficient**
Antal personer	$X \sim N\left(2,15; 0,4^2\right)$	$0,75 - 3,5$	$2,15$	16%
Varmetilskud fra apparater	$X \sim N\left(2,20; 0,7^2\right)$	$0 - 0,45$	2,2	32%
Solafskærmning	$X \sim Be\left(5; 1,7\right)$	$0 - 1$	0,85	21%
Mekanisk ventilation	$X \sim N\left(0,30; 0,03^2\right)$	$0,2 - 0,4$	0,3	10%
Naturlig ventilation om sommeren i brugstid med mekanisk ventilation	$X \sim N\left(0,60; 0,018^2\right)$	$0 - 1,2$	0,6	30%
Naturlig ventilation om vinteren i brugstid med mekanisk ventilation	$X \sim LN\left(0,14; 0,35^2\right)$	$0,05 - 0,3$	0,13	25%
Naturlig ventilation om sommeren i brugstid uden mekanisk ventilation	$X \sim N\left(1,21; 0,36^2\right)$	$0 - 2,5$	1,21	30%
Naturlig ventilation om vinteren i brugstid uden mekanisk ventilation	$X \sim N\left(0,30; 0,075^2\right)$	$0,05 - 0,55$	0,3	25%
Setpunktstemperatur for rumopvarmning	$X \sim N\left(21,23; 1,32^2\right)$	$17 - 25$	21,23	6%
Varmtvandsforbrug	$X \sim N\left(290; 36,25^2\right)$	$175 - 400$	290	12,5%

Tabel 9.1 *– Oversigt over fordelingsfunktioner for de brugerrelaterede parametre*

Kapitel **10**

Beregningsmetoder anvendt i SiByB

Nærværende kapitel beskriver energiberegnings- og indeklimaberegningsmetoderne samt sammenkoblingen mellem disse beregninger for konceptet SiByB. Ydermere vil anvendelsesområdet for de respektive metoder blive gennemgået.

10.1 Energiberegninger

Be10 kategoriseres jævnfør problemanalysen som en ingeniørvidenskabelig energiberegningsmetode, da Be10 er i stand til at beregne forskellige slutforbrug i boligen, eksempelvis til varmt brugsvand og ventilatorer uden brug af historisk data. SiByB ønskes adresseret til danske rådgivende ingeniører, hvorfor Be10-beregningsprincippet anvendes, ud fra betragtningen af at Be10 er det mest anvendte energiberegningsprogram i Danmark, da dette program anvendes til myndighedsgodkendelse i nybyggeri.

SiByB forsøger at eftervise brugernes adfærd ved udelukkende at fokusere på fordelinger af de enkelte brugerrelaterede parametre, jævnfør afsnit 9.3:

- Antal personer
- Intern varmebelastning
- Solafskærmning
- Totalt varmtvandsforbrug
- Luftmængde fra den naturlige ventilation
- Setpunktstemperatur for rumopvarmning
- Luftmængde fra den mekaniske ventilation

Beregningsalgoritmer, som inkluderer de brugerrelaterede parametre, der anvendes i energiberegningen i SiByB, er beskrevet i bilag H. For at synliggøre algoritmerne som ligger bag energiberegningerne, er alle energiberegninger foretaget med regnearksversionen af Be10, se Bilags-CD, *Parcelhus_ala_regneark.xlsx*. Den i SiByB anvendte regnearksversion tilsvarer Be10 version 5,10,12,5. For at sikre at regnearksversionen stemmer overens med Be10, er der foretaget en energiberegning på en bolig i regnearksversionen såvel som Be10. Beregningen er foretaget på parcelhuset beskrevet i Aggerholm og Grau [2007]. Afvigelserne for beregningerne er på 0.4 $[kWh/m^2]$ pr. år svarende til $0,5\%$, og skyldes umiddelbart afrundingsfejl. i Be10. Dette er nærmere beskrevet i Bilag L. Beregningerne kan findes på Bilags-CD, *Par-*

celhus_ ala_ regneark.xlsx. Algoritmerne er hovedsageligt fundet ud fra regnearksversionen, Aggerholm og Grau [2007] samt Hesselholt og Rasmussen [2008].

10.1.1 Vejrdata

Vejrdatasættet i energiberegningerne anvendes til at beregne energibehovet på månedsbasis, hvorfor det anvendte vejrdatasæt er baseret på månedsmiddelværdier. Værdierne for vejrdatasættet er vist i tabel 10.1. Det skal understreges, at jordtemperaturen angivet i tabellen er jordtemperaturen ved jordslanger for varmepumper.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt	Nov.	Dec
Udetemperatur	-0,5	-0,8	1,7	5,6	11,3	15,0	16,4	16,2	12,5	9,1	4,8	1,5
Vindhastighed	5,0	4,3	4,8	4,6	4,1	3,8	3,9	3,5	4,4	4,5	4,5	4,9
Jordtemperatur	-1,5	-2,0	-0,5	3,0	8,0	12,0	16,0	17,0	10,0	4,0	1,0	-0,5

Tabel 10.1 – *Vejrdata for energiberegningerne i SiByB*

Derudover anvendes solindfaldet i energiberegningerne. I regnearksversionen bruges solindfaldet på vandrette, 45° og 90° hældninger. Disse forefindes på Bilags-CD'en, *Parcelhus_ ala_ regneark.xlsx*, under fanen "*Vejr*".

10.1.2 Anvendelsesområde for energiberegningerne

Anvendelsesområdet for energiberegningerne i SiByB er tilsvarende anvendelsesområdet for Be10. Be10 anvendes til at dokumentere, at en given bygning som minimum overholder energirammen i henhold til gældende bygningsreglement, jævnfør problemanalysen. [Aggerholm og Grau, 2007] Energiberegningerne i SiByB kan således ikke anvendes til at forudsige det faktiske energiforbrug, men kan udelukkende anvendes til at dokumentere den pågældende bygnings energibehov i forhold til bygningsreglementet samt gældende normer og standarder, disse er nærmere beskrevet i afsnit 3.3. I SiByB inkluderes brugernes adfærd for at undersøge adfærdens påvirkning på energiforbruget.

10.2 Indeklimaberegninger

Et af hovedformålene med SiByB er at supplere energiberegninger med indeklimaberegninger for at synliggøre sammenhængen mellem disse. Yderligere er det ønsket at fremme betydningen samt prioriteringen af indeklimaet.

I SiByB foretages beregningerne i forhold til de dimensionerende værdier i DS418 eller som månedsmiddelberegninger. Dette medfører, at beregningerne af indeklimaet udelukkende skal ses som overslagsberegninger, da usikkerheden i beregningsgangen er for stor til at give præcis information vedrørende det faktiske indeklima. Derudover skal det bemærkes, at beregningerne giver et gennemsnitligt billede af den enkelte måneds indeklima, hvorfor beregningerne midler indeklimaet for den pågældende måned. SiByB resultaterne giver derved ikke et præcist billede af det oplevede indeklima i boligerne.

Indeklimaberegningerne i SiByB er inddelt i termisk indeklima henholdsvis atmosfærisk indeklima. Hvor der ved de termiske beregninger er undersøgt, hvorvidt der opstår overtemperaturer for *Rum Sommer*, det er ydermere undersøgt, hvorvidt varmeanlægget er i stand til at tilføre den nødvendige effekt i *Rum Vinter*. I de atmosfæriske beregninger er den oplevede luftkvalitet, CO_2-koncentrationen samt den relative luftfugtighed udelukkende beregnet for *Rum Sommer*.

10.2.1 Beregningsmetode

Beregningerne af indeklimaet er inddelt i to kategorier, termisk samt atmosfærisk, idet der i konceptet ses bort fra akustisk indeklima samt dagslys jævnfør problemafgrænsningen, kapitel 8. Til at evaluere kvaliteten af det termiske indeklima beregnes rumluftstemperaturen i de kritiske rum, og følgende beregningsmetoder benyttes:

- Varmetabsberegning i henhold til DS418 [Dansk Standard, 2002]
- Døgnmiddelmetoden [Valbjørn et al., 2000]

Beregningsgangene af det termiske indeklima i SiByB er nærmere gennemgået i bilag I.1
Døgnmiddelberegningen, der er en omskrivning af varmebalancen, anvendes til at evaluere, hvorvidt der opstår overophedning i *Rum Sommer*, og varmetabsberegningen foretages for at sikre, at den nødvendige tilførte effekt er tilgængelig om vinteren til at opvarme *Rum Vinter*. Derudover foretages der beregninger af PMV-indeks (Predicted Mean Vote) samt PPD (Predicted Percent of Dissatisfied) efter ISO-7730 [Dansk Standard, 2006] for at evaluere temperaturniveauet. For at gøre evalueringen af det termiske indeklima let tilgængelige for brugeren af konceptet, angives kvaliteten af det termiske indeklima på baggrund af PMV-indeks beskrevet i bilag M. Det bør bemærkes at samtlige beregninger er overslagsberegninger, der udelukkende kan anvendes som grov indikator for det faktiske indeklima.

Til evaluering af det atmosfæriske indeklima foretages der beregninger af luftkvaliteten, CO_2-koncentration samt den relative luftfugtighed. Følgende metoder anvendes for at evaluere det atmosfæriske indeklima:

- Massebalancen [Hyldgård et al., 1997]
- Vanddampbalancen [Hyldgård et al., 1997]

Beregningsgangene af det atmosfæriske indeklima i SiByB er nærmere gennemgået i bilag I.2.
I forbindelse med opstilling af vanddampbalancen, ses der bort fra fordampningen fra køkken og badeværelse, idet der ifølge dansk lovgivning skal monteres lokal udsugning i disse rum. Beregningerne for det atmosfæriske indeklima sker for hele året for *Rum Sommer*. For at gøre evalueringen af det atmosfæriske indeklimaet let tilgængelige for brugeren af konceptet, angives kvaliteten af det atmosfæriske indeklima på baggrund kategori I-IV jf. DS/EN 15251. Der vil ikke blive foretaget en samlet vurdering af det atmosfæriske indeklima, men for hver af de beregnede parametre respektivt. Alle beregningsmetoderne, der ligger til grund for beregningerne af det atmosfæriske indeklima er nærmere beskrevet i bilag I.2.

10.2.2 Vejrdata

I indeklimaberegningerne anvendes et vejrdatasæt til at beregne indeklimaet i henholdsvis det kritiske rum om sommeren og vinteren. Vejrdataene henvendt til kritiske *Rum Vinter* tager udgangspunkt i de dimensionsgivende værdier vedrørende ude-, inde- og jordtemperaturer fra DS418 [Dansk Standard, 2002], mens barometerstanden og den relative fugtighed er antagede værdier. Vejrdataene anvendt for *Rum Vinter* er vist i tabel 10.2. Det skal bemærkes, at der ikke anvendes solstråling i beregningerne for det kritiske rum om vinteren.

Udetemperatur	-12°C
Indetemperatur	20 °C
Jordtemperatur	10°C
Barometerstand	1013,25 $mbar$
Relativ luftfugtighed	75%

Tabel 10.2 – *Vejrdata for Rum Vinter*

Vejrdataene anvendt for det kritiske rum om sommeren anvendes for at foretage månedsmiddelberegninger for det atmosfæriske og termiske indeklima. Værdierne anvendt i disse beregninger er derfor hovedsageligt baseret på DRY, dog er jordtemperaturen taget direkte fra DS418 [Dansk Standard, 2002]. Udetemperaturene er fundet på baggrund af 15 års datasættet, fra perioden 1959 til 1973. [Heiselberg og Aggerholm, 2002] [Andersen et al., 1982] Vejrdataene er oplistet i tabel 10.3.

	Middeltemperatur for		Typisk temp.	Jordtemp.	Barometerstand	Relativ
	maksimumdøgn	middeldøgn	variation over døgnet			luftfugtighed
	°C	°C	°C	°C	$mbar$	%
Januar	3,9	-1	5	10	1012	89,11
Februar	4,2	-0,5	6	10	1023	84,91
Marts	6,3	1,9	7,5	10	1018	81,43
April	11,2	5,9	9	10	1017	80,81
Maj	15,9	10,9	11,5	10	1016	73,28
Juni	20	15,2	12	10	1009	77,82
Juli	21	16,1	12	10	1010	79,54
August	20,5	15,9	11	10	1013	76,03
September	16,9	12,9	9	10	1012	87,11
Oktober	13,7	8,9	7	10	1047	83,59
November	10	4,5	5	10	1000	91,13
December	6	0,8	5	10	1042	85,87

Tabel 10.3 – *Vejrdata for det kritiske rum om sommeren for middel- og maksdøgn*

Solstrålingen er fundet ved hjælp af DRY. I beregningerne anvendes tre hældninger for vinduerne, som er: 0°, 45° og 90°. De faktiske solstrålingsværdier er taget fra SBi-anvisning 202 [Heiselberg og Aggerholm, 2002]. Værdierne for solstrålingen kan findes på Bilags-CD'en, *SiByB.xlsm*, under fanen "*Vejrdata*".

10.2.3 Anvendelsesområder for indeklimaberegningerne

Metoderne anvendt i indeklimaberegningerne er alle overslagsberegninger, hvilket giver gennemsnitlige resultater. Det skal derfor understreges, at inputværdierne vedrørende vejrdata er månedsmiddelværdier. Dette medfører, at beregningerne af indeklimaet udelukkende giver et groft estimat af det atmosfæriske og termiske indeklima på månedsbasis. Indeklimaberegningerne giver således ikke et billede af det faktiske indeklima, hvilket også skyldes at brugerne opfatter indeklimaet i øjeblikket og ikke som en middelværdi for en hel måned. I SiByB inkluderes brugernes adfærd for at undersøge adfærdens påvirkning på indeklimaet. Simuleringerne af indeklimaet kan altså anvendes til at undersøge brugeradfærdens indflydelse på indeklimaet samt undersøge robustheden af bygningens indeklima overfor varierende brugeradfærd.

10.3 Sammenkobling af energi- og indeklimaberegninger

Et af formålene med SiByB er at foretage kombinerede energi- og indeklimaberegninger, derfor er det også vigtig at de inputværdier, der anvendes i de respektive beregninger er ens. Det er dog nødvendigt at tilpasse inputværdierne til det aktuelle anvendelsesområde. Derfor skal der skelnes mellem inputværdier for de kritiske rum og inputværdier for hele boligen. I det følgende gennemgås de inputparametre, der anvendes både i energi- og indeklimaberegningerne.

Parametre, der anvendes i begge beregninger omhandler bygningens klimaskærm, ventilationsparametre, brugeradfærdsrelaterede parametre osv. Parametre, som vedrører de bygningstekniskeparametre er listet i punktform:

- Transmissionskoefficienter for tag, væg og gulv
- Bygningens varmekapacitet
- Vinduesoplysninger

Alle oplysninger vedrørende vinduerne har ens værdier i både energi- og indeklimaberegningerne. Parametrene vedrørende vinduesoplysningerne ses nedenstående:

- Areal
- Orientering
- Hældning
- Solafskærmningsfaktor
- Transmissionskoefficient
- Solvarmetransmittans
- Glasandel
- Skyggefaktor

For at sikre en vis kontinuitet i beregningerne anvendes de skyggefaktorer, som beregnes i energiberegningsdelen ud fra de givne inputparametre. De installationstekniske parametre er listet nedenstående:

- Luftmængde fra mekanisk ventilation
- Infiltration
- Elvarmeflade på ventilationsanlæg
- Setpunktstemperatur for udluftning
- Setpunktstemperatur for opvarmning
- Luftmængde fra naturlig ventilation
- Varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad
- Setpunktstemperatur for køling

Konceptet anvender forceret naturlig ventilation i energiberegningerne, beskrevet i bilag H.1.2, hvilket ligeledes er anvendt i indeklimaberegningerne. Eneste forskel er, at den faktiske luftmængde anvendes i beregningerne af det atmosfæriske indeklima. Ydermere anvendes varmtilskuddene fra personer og apparater, i begge beregningskerner.

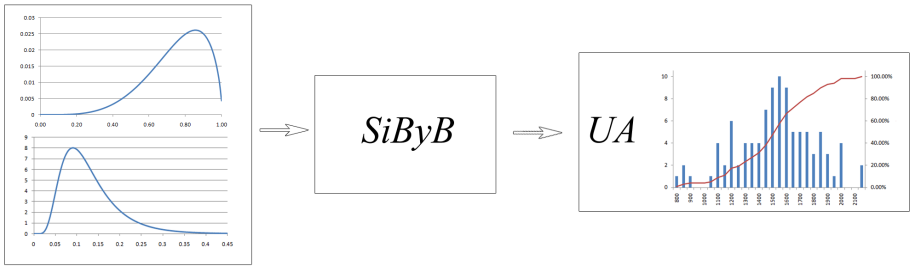
Udover ovenstående parametre anvendes de brugerrelaterede parametre både i energi- og indeklimaberegningerne. Følgende parametre viser de brugerrelaterede parametre, som anvendes i begge beregninger. Luftmængden fra den naturlige ventilation inkludere infiltration.

- Luftmængde fra mekanisk ventilation
- Intern varmebelastning
- Solafskærmning
- Luftmængde fra naturlig ventilation
- Setpunktstemperatur for rumopvarmning

10.4 Resultatbehandling

SiByB anvender Monte Carlo analyse (MCA) til at bestemme den samlede usikkerhed for modellens resultat samt for at bestemme de forskellige inputparametres indflydelse på modellens samlede resultat. Hvorefter en samlet evaluering af resultaterne kan finde sted, for at evaluere usikkerheden i modellen. [Helton, 1993]

Til evaluering af resultaterne i SiByB er det muligt, at anvende en usikkerhedsanalyse. Usikkerhedsanalysen anvendes til at kvantificere modellens samlede usikkerhed. Den overordnede fremgangsmåde i forbindelse med Monte Carlo analyser er illustreret på figur 10.1. I bilag N er Monte Carlo analyse nærmere beskrevet.



Figur 10.1 *– Overordnet fremgangsmåde ved en MCA, efter [Brohus, 2010b]*

10.4.1 Usikkerhedsanalyse

I SiByB anvendes usikkerhedsanalyser til at behandle samtlige resultater fra energiberegningerne, ligeledes benyttes usikkerhedsanalyser til at behandle resultaterne af den nødvendige effekt fra varmeanlægget for *Rum Vinter*. Som tidligere beskrevet er formålet med en usikkerhedsanalyse at kvantificere en models samlede usikkerhed. I usikkerhedsanalysen anvendes den centrale grænseværdisætning, hvilken siger, at det kumulative resultat ved anvendelse af mange variable, uafhængigt af deres individuelle sandsynlighedsfordelinger vil være karakteriseret ved en normalfordeling. Usikkerhedsanalysen baseres derfor på middelværdien, formel 10.1, og standardafvigelsen, formel 10.2. [Macdonald, 2002]

$$\overline{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{m} (Z_i)}{m} \tag{10.1}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{m-1}\left(\sum_{i=1}^{m} \left(Z_i - \overline{Z}\right)^2\right)} \tag{10.2}$$

Hvor:

Z	Den simulerede værdi
$\overline{Z}$	Middelværdi af de simulerede værdier
m	Antal simuleringer

Ud fra de fundne værdier er det muligt at opstille en fordeling for resultaterne, hvor det er muligt at bestemme modellens samlede usikkerhed som følge af variationen i modellens inputparametre.

10.5 Implementering af brugeradfærd

Brugeradfærden implementeres som tidligere nævnt ved brug af fordelinger for hver af de brugerrelaterede inputparametre. Idet der i forbindelse med en SiByB er nødvendigt at udvælge specifikke inputværdier fra de enkelte værdier kan der anvendes forskellige samplingsmetoder. Der findes flere forskellige samplingsmetoder, men den generelle forudsætning for at anvende metoderne er at sikre, at de udvalgte værdier dækker hele inputparameterens variationsområde ved brug af færrest mulige samples.

I SiByB anvendes samplingsmetoden latin hypercube. Latin hypercube er en videreudvikling af den lagdelte randomiserede samplingsmetode. Begge metoder er nærmere beskrevet i bilag N.2. Fordelen ved at anvende latin hypercube er, at der opnås en bedre dækning af hele variationsområdet for de forskellige inputparametre, uafhængigt af hvilke parametre som viser sig indflydelsesrige sammenlignet med den randomiserede og den lagdelte randomiserede samplingsmetode. Dette er specielt gældende, når outputtet er domineret af et lavt antal inputparametre. Yderligere giver latin hypercube et bedre estimat af det endelige resultats middelværdi samt en lavere varians. Variansen kan dog være en smule forvrænget, men denne forvrængning har vist sig som værende lille, og er dermed uden større betydning. [Saltelli et al., 2004a]

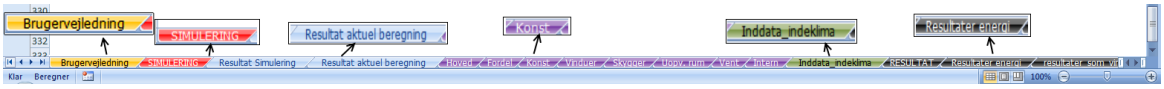
Kapitel **11**

SiByB brugervejledning

Kapitlet indeholder en generel brugervejledning til opsætningen af en SiByB simulering, hvor SiByB-regnearket vil blive gennemgået. Brugervejledningen tager udgangspunkt i screenshots fra SiByB-regnearket, samt hvorledes inputdata sammenkobles i energi- og indeklimasimuleringen. Gennemgangen er baseret på et 180m^2 parcelhus beskrevet i Aggerholm og Grau [2007], se bilag L.

11.1 Generel opbygning af SiByB-regneark

Alle simuleringer af energiforbruget og indeklimaet foregår i SiByB-regnearket, der forefindes på Bilags-CD'en, *SiByB.xlsm*. Regnearket består af seks dele; en inddatadel til indeklimaberegningerne, en inddatadel til energiberegningerne, en simuleringsdel, en resultatdel samt låste faner. De respektive dele af regnearket er inddelt i forskellige farver. Figur 11.1 illustrerer de forskellige faner, hvor hver farve repræsenterer hver sin del af SiByB. En kort beskrivelse af hver del er givet i det følgende:



Figur 11.1 – *Eksempel på de respektive faner i regnearket, hvor hver farve repræsentere hver sin del i regnearket.*

1. Brugervejledning anvendes som hjælpefil og er markeret med gul. Brugervejledning fremkommer ved at dobbeltklikke på pdf'em placeret i arket
2. **Inddatadel til energiberegningen** anvendes til at indsætte alle de værdier, der anvendes i energiberegningen. Delen består af otte faner og er markeret med lilla.
3. **Inddatadel til indeklimaberegning** anvendes til at indsætte alle værdierne for de respektive inputparametre, der anvendes i indeklimaberegningerne. Denne fane er markeret med grøn.
4. **Simuleringsdelen** består af én regnearksfane med farven rød. Simuleringsdelen anvendes til at starte simuleringen af SiByB samt til at angive start/slutnummer og antallet af simuleringer. Derudover fremgår alle inputværdier af de brugerrelaterede inputparametre for den valgte simulering.

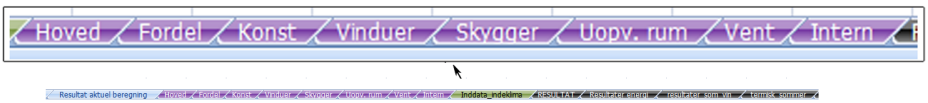
5. **Resultatdelen** illustrerer alle de resultater, der fremkommer ved en SiByB simulering. Simuleringsresultaterne fremstilles grafisk. Ligeledes vises resultaterne for den specifikke SiByB beregning, som er indtastet i regnearket. Resultatdelen består af to blå faner.

6. **De låste faner** består af 21 faner, der anvendes til de mellemliggende beregninger og én fane, der indeholder den samplefilen. 15 af disse faner er skjult, mens de resterende fremgår på fanelinien, da disse anvendes i makroerne og derved ikke kan skjules. Det er derfor vigtigt IKKE at skjule fanerne, da en softwarefejl derved vil opstå når makroen kører. De skjulte faner er alle farvet grå for at indikere, at disse skal være skjulte.

I det følgende vil de fem sidste deles opbygning og funktion blive beskrevet i detaljer. I forbindelse med en SiByB simulering er det vigtigt at være opmærksom på at indsætte input i energiberegningsdelen før indeklimadelen. Da indeklimadelen benytter direkte input fra energiberegningsdelen.

11.2 Inddata til energiberegning i SiByB

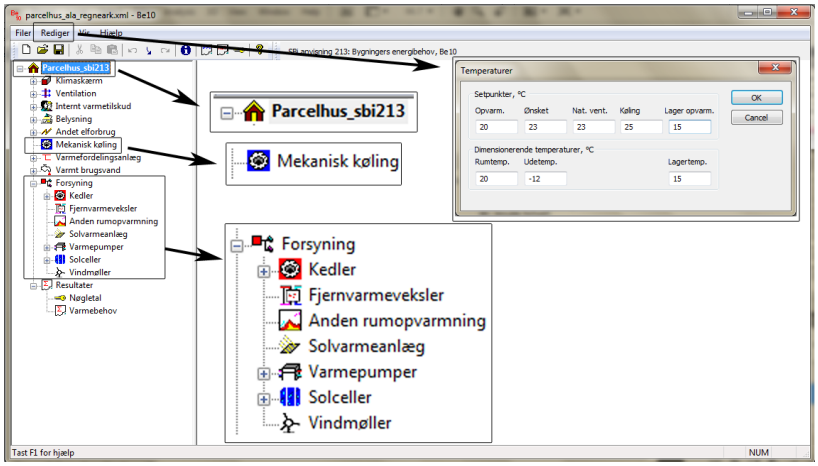
Inputparametre til energiberegningerne i SiByB er de samme, som anvendes i Be10 programmet. Der henvises til Aggerholm og Grau [2007] for redegørelse af de enkelte inputparametre, samt hvordan værdierne for inputparametrene fastlægges. Figur 11.2 viser hvilke faner, der anvendes til inputdata til energiberegningerne i SiByB.



Figur 11.2 – *Faner der anvendes til inputdata til energiberegningen i SiByB*

I det følgende vil de enkelte faner, vist på figur 11.2, blive gennemgået.

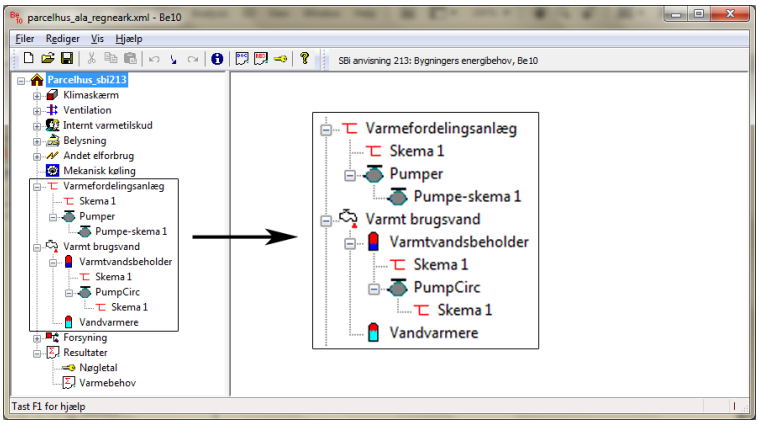
"Hoved"
Regnearksfanen "Hoved"indeholder inputdata, der beskriver de overordnede parametre for bygningen sammen med alle de tekniske oplysninger vedrørende de forsyningstekniske installationer i bygningen og det mekaniske køleanlæg. Derudover gives oplysninger omkring setpunktstemperaturer. Oplysningerne omkring de forsyningstekniske installationer omhandler beskrivelse af; kedel, fjernvarmeveksler, supplerende direkte opvarmning, solvarmeanlæg, varmepumper, solceller og vindmøller. Figur 11.3 viser et skærmprint af Be10 programmet, hvor inddataene i fanen "Hoved"svarer til de fremhævede områder i Be10. Bemærk at den brugerrelaterede parameter vedrørende setpunktstemperaturen automatisk indsættes i regnearket, hvorfor denne celle er låst, og der derved ikke skal indsættes nogle værdier af brugeren.



Figur 11.3 – *Fanen "Hoved"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

"Fordel"

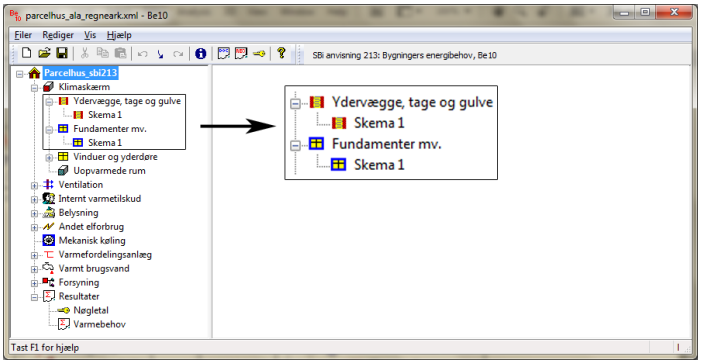
Fanen "Fordel"indeholder inputparametre, der beskriver varmefordelingsanlægget og installationer omkring det varme brugsvand. Det fremhævede område i figur 11.4 illustrerer hvilke Be10 parametre fanen indeholder. Det skal bemærkes, at den brugerrelaterede parameter omkring varmtvandsforbruget indsættes automatisk i denne fane, hvorfor cellen er låst. Ud over varmtvandsforbruget indtastes værdier vedrørende pumper, varmtvandsbeholdere, vandvarmere, rør osv.



Figur 11.4 – *Fanen "Fordel"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

"Konst"

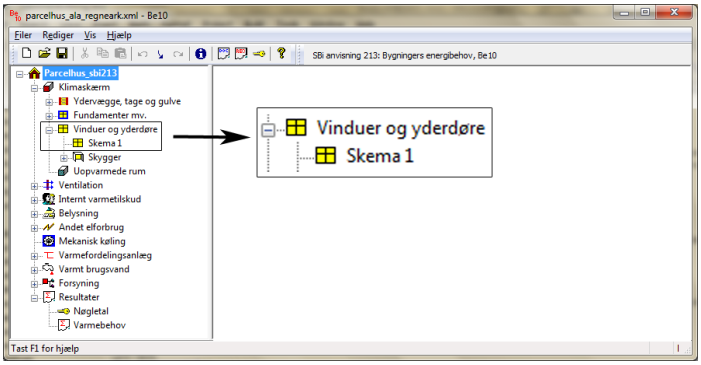
Denne fane indeholder oplysninger omkring bygningens konstruktioner. Dette anvendes til beregning af bygningens transmissionstab, inklusiv transmissionstabet fra kuldebroer. Figur 11.5 viser områderne i Be10, som svarer til fanen "Konst"i SiByB.



Figur 11.5 – *Fanen "Konst"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

"Vinduer"

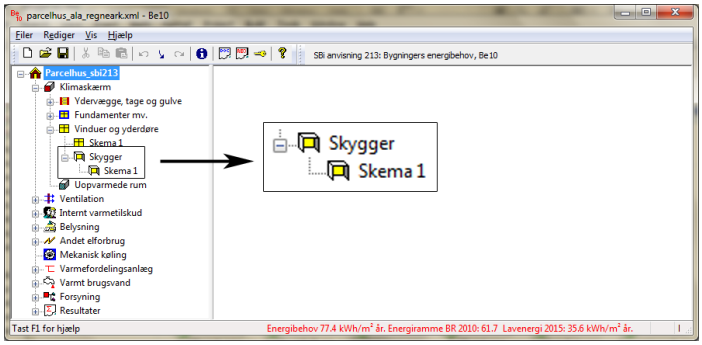
Fanen "Vinduer"indeholder samme inputparametre som arket "Vinduer og yderdøre"i Be10. Dette er fremhævet i figur 11.6. Inputparametrene i fanen omhandler alle oplysninger vedrørende vinduer og døre inklusiv den brugerrelaterede parameter vedrørende solafskærmning, hvilken indsættes automatisk i regnearket, hvorfor cellen er låst.



Figur 11.6 – *Fanen "Vinduer"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

"Skygger"

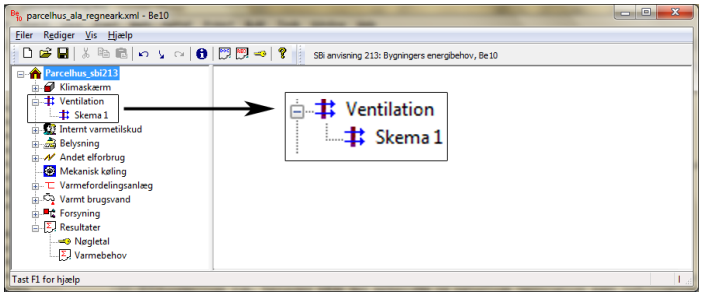
I denne fane defineres skyggerne, som påvirker solindfaldet fra de respektive vinduer og døre. Skyggerne defineres i forhold til forhindringer i det omkringliggende landskab samt vinduets placering i vindueshullet. Figur 11.7 viser placeringen af arket "Skygger"i Be10.



Figur 11.7 – *Fanen "Skygger"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

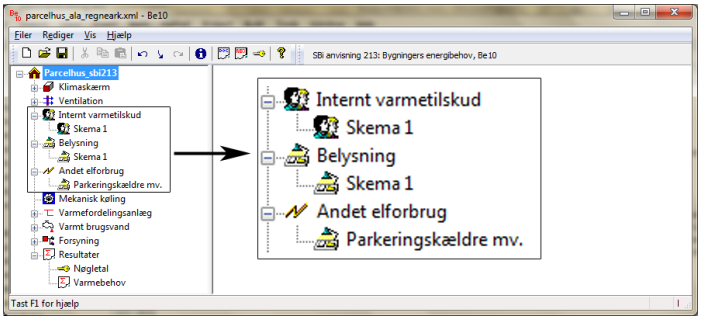
"Uopv. rum"
Uopvarmede rum er ikke implementeret i SiByB-regnearket.

"Vent"
Ventilationsfanen omhandler inputparametre til beskrivelse af ventilationsanlægget samt de tilførte luftmængder til de forskellige rum, herunder både den mekaniske og naturlige ventilation samt infiltration. Alle luftmængder er i SiByB brugerafhængige og indtastes derfor automatisk i cellerne, hvorfor disse er låste. Figur 11.8 viser inputområdet i Be10 svarende til "Vent-fanen.



Figur 11.8 – *Fanen "Vent"i regnearket indeholder inputdata svarende til de fremhævede områder i Be10*

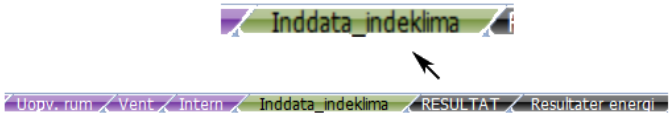
"Intern"
Fanen indeholder oplysninger vedrørende det interne varmetilskud samt oplysninger, der anvendes til at beregne energiforbruget til belysning. Inputparametre vedrørende beregning af energiforbruget til belysning er dog ikke interessant i SiByB, da konceptet bygger på boliger. Det interne varmetilskud, fra personer og apparater er begge brugerrelaterede og indsættes derfor automatisk. Figur 11.9 viser det område i Be10, der svarer til fanen "Intern"i SiByB-regnearket.



Figur 11.9 – *Fanen "Intern"i regnearket indeholder inputdata svarende de fremhævede områder i Be10*

11.3 Inddata til indeklimaberegning i SiByB

Fanen til inputdataene til indeklimaberegningerne i SiByB er vist i figur 11.10.



Figur 11.10 – *Fanen til inputdata til indeklimaberegningerne*

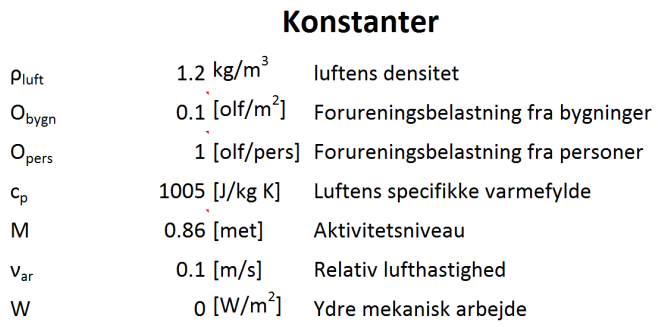
Cellerne til de respektive inputparametre i denne fane har forskellig farve i relation til parametrens art, og hvordan disse indsættes i fanen. Der opereres med i alt tre forskellige farver samt rullemenuer. Det skal pointeres, at opsætningen af inddatadelen til indeklimaberegningerne fordrer at inddatadelen til energiberegningen indtastes først. Dette skyldes, at mange af inputparametrene til indeklimaberegningerne overføres direkte fra energiberegningsdelen. Celler, der indeholder værdier, der overføres direkte, er låste, mens cellerne, hvor brugerne selv skal indtaste værdier, står som ulåste. Rullemenuerne henviser direkte til input fra energiberegnings-delen, hvor brugerne af SiByB selv skal vælge de enkelte elementer, som er tilknyttet den aktuelle parameter. Beskrivelsen af inputcellerne er vist på figur 11.11.

	Brugerrelateret parameter (Låste celler)
	Låste celler (Overføres fra energifaner)
	Input (Udfyldes af bruger)
	Vælges af bruger (Overføres fra energifaner)

Figur 11.11 – *Beskrivelse af inputceller*

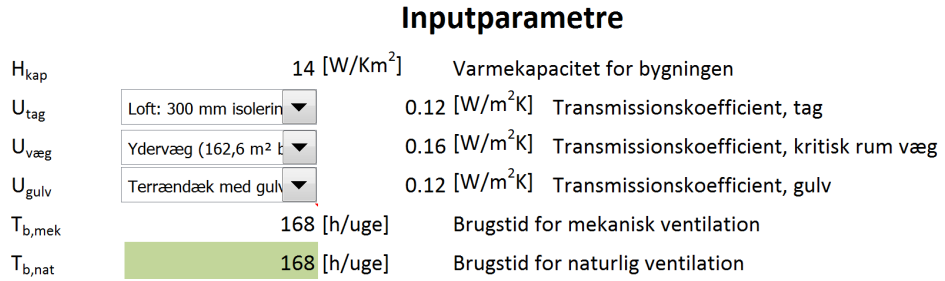
Celler med hvid og lilla farve er alle låste celler, hvor inputværdierne direkte overføres fra energi-fanerne. De lilla celler angiver ydermere, at parameteren er brugerrelateret. Det skal stærkt understreges, at der IKKE skal indtastes værdier i de hvide og lilla celler. Disse er udelukkende vist for at informere brugeren af SiByB om den aktuelle værdi for den bestemte

parameter. En overskrivning af værdierne i de hvide celler, medfører derfor ikke nødvendigvis, at værdierne vil blive medtaget i beregningerne. Brugeren af SiByB regnearket skal selv indsætte værdier i de grønne celler og selv vælge elementerne i rullemenuerne. I indeklimaberegningerne anvendes ligeledes enkelte konstanter, som er fastsat i regnearket, disse er vist i figur 11.12



Figur 11.12 – *Parametre, der er fastsat på forhånd og anvendes som konstanter i indeklimaberegningerne*

Luftens densitet, ρ_{luft}, anvendes i beregningerne af det termiske samt atmosfæriske indeklima. Forureningsbelastningen fra bygninger, O_{pers}, samt personer, O_{bygn}, anvendes udelukkende i beregning af den oplevede luftkvalitet, alle fastsat på baggrund af Hyldgård et al. [1997]. Luftens specifikke varmefylde, c_p, anvendes i de termiske beregninger, og er bestemt ved Henrik Brohus [2011]. Aktivitetsniveauet, M, den relative lufthastighed, ν_{ar} og det ydre mekaniske arbejde, W, anvendes alle i PMV-beregningerne, hvor M er middelaktivitetsniveauet beregnet på baggrund af Aggerholm og Grau [2007]. Den relative lufthastighed er fundet fra Maagaard og Lautrup [2008], mens det ydre mekaniske arbejde, W, antages som værende 0. De røde trekanter i cellernes højre hjørne er kommentarer, indsat for at vejlede brugerne af SiByB. Ud fra figur 11.12 ses det yderligere, at der anvendes engelsk decimalkomma. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 11.4.1. Figur 11.13 viser inputparametre til indeklimaberegningerne.



Figur 11.13 – *Inputparametre til indeklimaberegningerne*

Det skal bemærkes, at værdierne, som indsættes for inputparametrene vist i figur 11.13, er generelle værdier, der som udgangspunkt anvendes for *Rum Sommer* såvel som *Rum Vinter*. Figuren viser ligeledes, at brugstiden for den mekaniske og naturlige ventilation er opdelt. Denne opdeling gør det muligt at implementere brugernes adfærd i forhold til den naturlige

ventilation. Denne parametre vurderes at være yderst afhængig af beboernes tilstedeværelse. Figur 11.14 viser de inputparametre, som udelukkende anvendes for *Rum Sommer*.

Inputparametre *Rum Sommer*

A_{gulv}	35	[m²]	Gulvareal, kritisk rum	Rumbeskrivelse	Stue
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord ?		
A_{tag}	38	[m²]	Tagareal		
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?		
$A_{væg}$	75	[m²]	Samlet areal ud til, kritisk rum		
V	84	[m³]	Volumen		
L	14	[m]	Længde af kuldebroer		
Ψ	0.16	[W/m K]	Linjetab		
$\Phi_{køl}$	0	[W]	Maksimal effekt fra køleanlæg		
Φ_{inst}	2	[W/m²]	Varmetilskud fra apparater		
$t_{i,opv}$	21	[°C]	Setpunktstemperatur for rumopvarmningen		
$t_{i,ønsket}$	23	[°C]	Setpunktstemperatur, for ekstra udluftning		
$t_{i,køl}$	25	[°C]	Setpunktempratur for køling		
pers	2	[stk]	Antal personer i kritisk rum		

Ventialtionsoplysninger		q_m	$q_{i,n}$	q_n	$q_{n,n}$	$q_{n,s}$	$q_{m,n}$	$q_{m,s}$
Hele huset	[l/s*m²]	0.26	0.15	0.16	0.2	0.56	0.26	0.26

Vinduesoplysninger	Areal	A_{vindue}	Orientering	Hældning	F_c	g_{vin}	F_f	U_{vindue}	$F_{s,jan}$	$F_{s,feb}$	$F_{s,mar}$	$F_{s,apr}$	$F_{s,maj}$	$F_{s,jun}$	$F_{s,jul}$	$F_{s,aug}$	$F_{s,sep}$	$F_{s,okt}$	$F_{s,nov}$	$F_{s,dec}$
Glasparti, stue, 1,8x	3.8	[m²]	Ø	90	0.68	0.63	0.79	1.43	0.40	0.46	0.48	0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.47	0.44	0.41
Glasparti, stue, 3,6x	7.6	[m²]	SØ	90	0.68	0.63	0.74	1.46	0.49	0.51	0.45	0.39	0.34	0.35	0.36	0.36	0.43	0.47	0.52	0.49
Glasparti, stue, 3,6x	7.6	[m²]	SV	90	0.68	0.63	0.74	1.46	0.49	0.51	0.45	0.39	0.34	0.35	0.36	0.36	0.43	0.47	0.52	0.49
Glasparti, stue, 1,8x	3.8	[m²]	V	90	0.68	0.63	0.79	1.43	0.40	0.46	0.48	0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.47	0.44	0.41
	0	[m²]	0	0	0	0	0	0	0.98	0.98	0.98	0.95	0.91	0.90	0.91	0.96	0.98	0.98	0.98	0.99
	0	[m²]	0	0	0	0	0	0	0.98	0.98	0.98	0.95	0.91	0.90	0.91	0.96	0.98	0.98	0.98	0.99
	0	[m²]	0	0	0	0	0	0	0.98	0.98	0.98	0.95	0.91	0.90	0.91	0.96	0.98	0.98	0.98	0.99

Figur 11.14 – *Inputparametre til indeklimaberegningerne for de kritiske rum om sommeren*

Brugeren skal selv indtaste en del rumspecifikke parametre, ligeledes skal brugeren give oplysning om hvorvidt, der er transmissionstab gennem loftet og gulvet i rummet. Skyggefaktorene F_s er skyggefaktoren beregnet af energiberegningsdelen. Figur 11.15 viser inputparametrene til *Rum Vinter*.

Inputparametre *Rum Vinter*

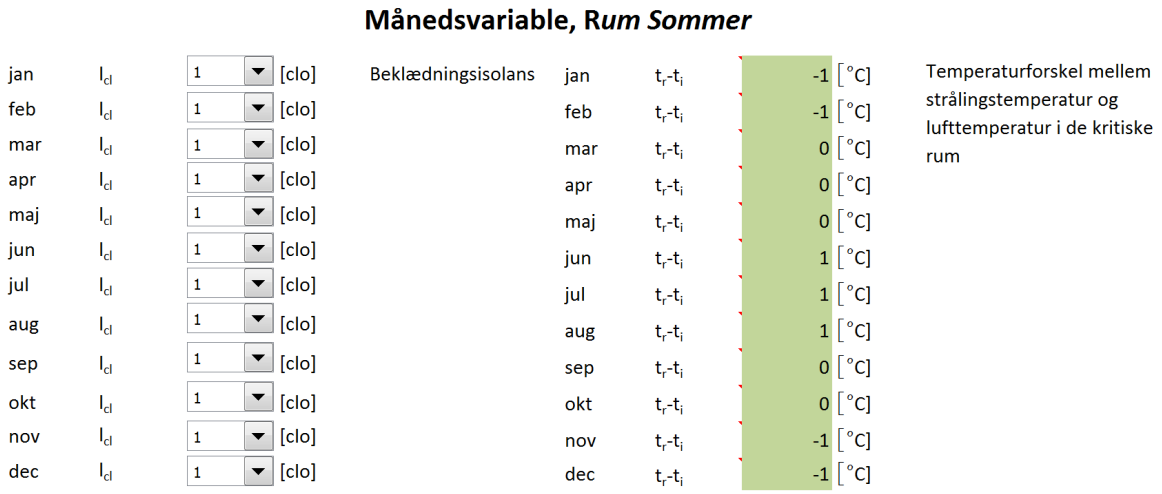
A_{gulv}	35	[m^2]	Gulvareal, kritisk rum	Rumbeskrivelse
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord	Stue
A_{tag}	35	[m^2]	Tagareal	
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?	
$A_{væg}$	75	[m^2]	Samlet areal ud til, kritisk rum	
V	84	[m^3]	Volumen	
L	14	[m]	Længde af kuldebroer	
Ψ	0.16	[W/m K]	Linjetab	
$\Phi_{anlæg}$	1500	[W]	Maksimal effekt fra varmeanlæg	
pers	2	[stk]	Antal personer i kritisk rum	

Vinduesoplysninger	q_m	$q_{i,n}$	q_n	EL-VF	$\eta_{vgv,vinter}$	t_{ind}
Hele huset	0.26	0.15	0.16	n	0.7	18

Vinduesoplysninger	Areal	A_{vindue}	U_{vindue}
Glasparti, stue, 1,8x2	3.8	[m^2]	1.43
Glasparti, stue, 3,6x2	7.6	[m^2]	1.46
Glasparti, stue, 3,6x2	7.6	[m^2]	1.46
Glasparti, stue, 1,8x2	3.8	[m^2]	1.43
	0	[m^2]	0
	0	[m^2]	0
	0	[m^2]	0

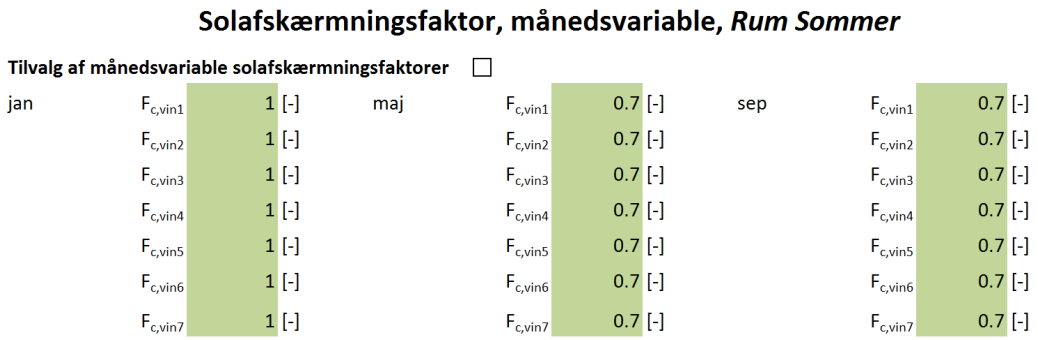
Figur 11.15 – *Inputparametre til indeklimaberegninger for Rum Vinter*

Af figur 11.14 og figur 11.15 ses det, at samme rum er valgt for *Rum Sommer* henholdsvis *Rum Vinter*, dette er dog ikke nødvendigvis gældende. Det er op til brugeren af SiByB at vurdere hvilke rum, som skal vurderes som kritiske. Det er dog antaget at det kritiske rum for termisk henholdsvis atmosfærisk indeklima er *Rum Sommer*. Figur 11.16 viser to parametre, der anvendes i PMV-beregningen for *Rum Sommer*; beklædningsisolansen og temperaturforskellen mellem strålingstemperaturen og rumluftstemperaturen. De værdier som er vist på figuren er defaultværdierne i SiByB-regnearket. Beklædningsisolansen kan vælges mellem $0,5 clo$ og $1,0 clo$, mens brugerne selv skal skønne en temperaturforskel mellem strålingstemperaturen og rumluftstemperaturen. I defaultværdierne er det antaget, at strålingstemperaturen er 1 grad lavere om vinteren, 1 grad højere om sommeren, og har samme temperatur som rumluftstemperaturen forår og efterår.



Figur 11.16 – *Månedsvariable inputværdier til PMV-beregningerne. De viste værdier er defaultværdier.*

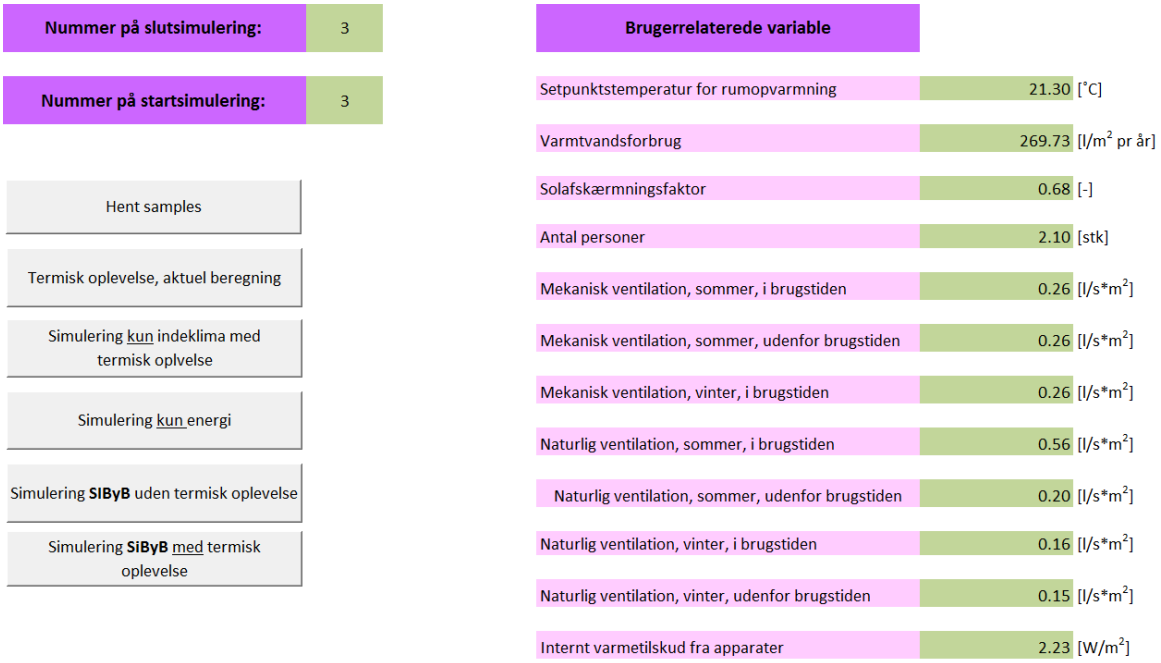
I energiberegningerne anvendes en årlig solafskærmningsfaktor, hvorved denne overføres til indeklimaberegningerne for det pågældende vindue. I SiByB regnearket er det gjort muligt at anvende månedsvariable solafskærmningsfaktorer. De månedsvariable solafskærmningsfaktorer sker som et tilvalg i regnearket, hvor brugeren skal sætte et flueben i cellen for at markere brugen af disse parametre. Figur 11.17 viser området for indtastning af solafskærmningsfaktorerne for tre måneder.



Figur 11.17 – *Månedsvariable solafskærmningsfaktorer for tre måneder*

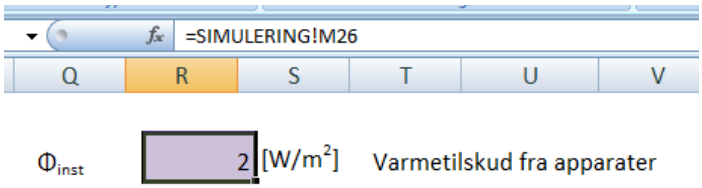
11.4 Simulering i SiByB

Simuleringsarket består af tre hoveddele. Én del hvor start- og slutsimuleringsnummeret indsættes, én del viser værdierne til de brugerrelaterede variable tilsvarende det aktuelle samplenummer, indtastet som startsimulering. Den sidste del af simuleringsarket viser knapperne til de enkelte typer af simuleringer i SiByB, disse er nærmere beskrevet i afsnit 11.4.1- 11.4.6. Figur 11.18 viser fanen til simuleringsarket. Det skal bemærkes under denne fane, at antallet af simuleringer skal være lig samplestørrelsen for at foretage usikkerheds- og sensitivitetsanalyser i Simlab.



Figur 11.18 – *Fanen til simuleringsarket*

Værdierne for de brugerrelaterede variable er sammenkædet med startsimuleringsnummeret, således at inputværdierne ændrer sig i takt med startsimuleringsnummeret. For at anvende de brugerrelaterede værdier i SiByB-simuleringen, er inputdatafanerne oprettet med direkte henvisning til den pågældende parameter i simuleringsarket. Alle disse celler er angivet som låste celler, og derfor er det ikke nødvendigt for brugeren at overveje dette nærmere. Figur 11.19 viser et eksempel på en sådan reference fra "inddata_indeklima"fanen.



Figur 11.19 – *Reference mellem inddatafanen "inddata_indeklima"og "SIMULERING"for den brugerrelaterede parameter varmtilskud fra apparater.*

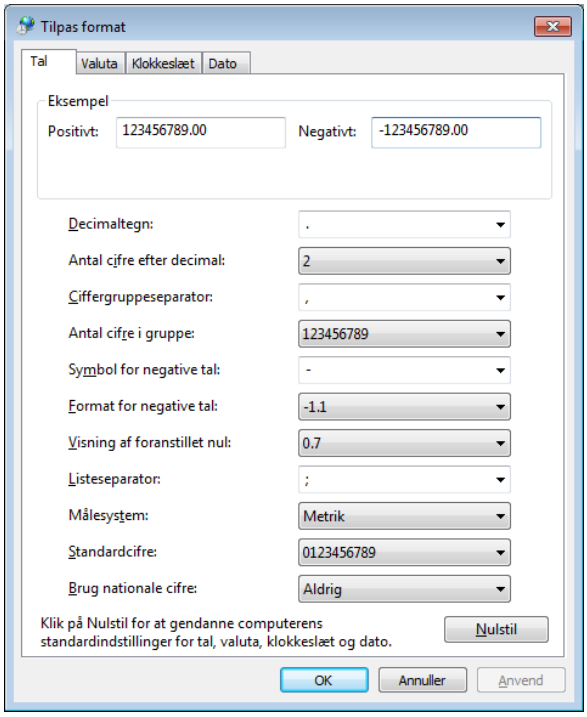
Den sidste del af simuleringsarket består af seks forskellige simuleringsknapper som vist på figur 11.18. Følgende vil de enkelte simuleringsknapper og deres respektive formål blive gennemgået. Makroerne til de enkelte simuleringer forefindes i bilag O. Sidst i dette afsnit er en undersøgelse af det nødvendige antal simuleringer foretaget, for at sikre variationsområdet for inputværdierne er dækket.

11.4.1 "Hent samples"

Makroen, "Hent samples", anvendes til at hente samplefilen fra SimLab ind i SiByB-regnearket under fanen "samples", således Monte Carlo analysen kan foretages. Makroen fremgår af bilag O.1. Makroen henter samplefilen fra følgende sti:

$$C:\backslash\ SiByB$$

Det er derfor nødvendigt at have oprettet mappen "SiByB"under C-drevet. Den fil, der hentes ind af makroen, er "samples.sam". Det skal derfor understreges, at navnet på samplefilen skal have navnet "samples.sam", ellers virker makroen ikke, formatet kan ses i bilag O. Opsætningen af regnearket er lavet på baggrund af samplefiler fra programmet Simlab, ligeledes er opsætningen lavet således, at Simlab anvendes til behandling af usikkerheds- og sensitivitetsanalyser. Opsætningen af Windows for at anvende SiByB skal derfor tilsvare Simlab, hvorfor det er nødvendig med opsætningen vist på figur 11.20. Her skal pointeres at decimaltegnet skal været et "punktum", og ciffergruppeseparatoren skal være et "komma", ligeledes er det nødvendigt at have antal cifre i gruppe som vist på figuren. Ændringerne foretages i computerens kontrolpanel.



Figur 11.20 – *Opsætning af tegnsætning i SiByB i Windows*

11.4.2 "Termisk oplevelse; aktuel indtastning"

For at beregne PMV-indekset for det termiske indeklima i *Rum Sommer* for den aktuelle indtastning er det nødvendigt at benytte denne makro. Makroen beregner PMV-indekset for de aktuelle inputværdier, som er indtastet i regnearket. I de tilfælde hvor det udelukkende ønskes at undersøge det termiske indeklima for *Rum Sommer* for den aktuelle indtastning, er det derfor kun nødvendigt at køre denne simulering. Makroen fremgår af bilag O.2.

11.4.3 "Simulering kun indeklima med termisk oplevelse"

Denne makro simulerer indeklimaet for *Rum Sommer* samt den nødvendige tilførte effekt til varmeanlægget i *Rum Vinter*, inklusiv PMV-indeks for *Rum Sommer*, hvor inputværdierne fra samplefilen benyttes. Denne simulering fordrer altså, at samplefilen er hentet ind i SiByB-regnearket. Makroen fremgår af bilag O.3.

11.4.4 "Simulering kun energi"

Denne makro simulerer udelukkende energiforbruget, hvor inputværdierne fra samplefilen benyttes. Denne simulering fordrer ligeledes, at samplefilen er hentet ind i SiByB-regnearket. Makroen fremgår af bilag O.4.

11.4.5 "Simulering SiByB uden termisk oplevelse"

Makroen simulerer såvel indeklimaet som energiforbruget for den aktuelle bygning, hvor inputværdierne fra samplefilen benyttes. Derudover gemmer den en resultatfil for energiforbruget og for indeklimaet, hvilke kan benyttes i Simlab til at foretage en usikkerheds- og sensitivitetsanalyse. Makroen gemmer overordnede resultater af vedørende energiforbruget og indeklimaet, disse gemmes som en tekst-fil under samme sti, hvorfra samplefilen hentes, dvs. *C:\ SiByB*. Disse resultatfiler kan anvendes til analyser i Simlab. Det skal pointeres, at antallet af simuleringer i resultatfilen skal svare til størrelsen af samplefilen, for at Simlab kan foretage analyserne. Brugeren af SiByB-regnearket skal være opmærksom på, at PMV-indekset ikke bliver beregnet ved denne simulering. Makroen fremgår af bilag O.5.

11.4.6 "Simulering SiByB med termisk oplevelse"

Denne simulering svarer til ovenstående simulering, med den ændring at PMV-indekset også bliver beregnet. Brugeren af SiByB-regnearket skal være opmærksom på, at simulering inklusiv PMV-indekset kan forøge simuleringstiden betragteligt. Makroen fremgår af bilag O.6.

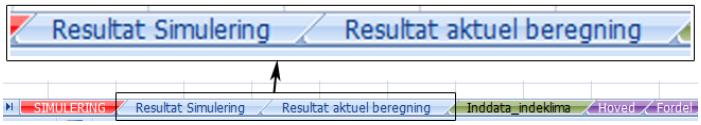
11.4.7 Antal simuleringer i SiByB

For at sikre at hele variationsområdet for inputparametrene inkluderes, er det nødvendigt at foretage et vist antal simuleringer. En undersøgelse af sammenhængen mellem antallet af

simuleringer og det normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensinterval har vist, at der kun opnås marginale forbedringer over 500 simuleringer. Undersøgelsen er nærmere beskrevet i bilag P. Det anbefales derfor, at der foretages 500 simuleringer i SiByB regnearket for at sikre, at hele variationsområdet dækkes. Det skal dog pointeres, at der med fordel kan startes med at foretage 10 simuleringer for at sikre at simuleringen fungerer. I den henseende skal det nævnes, at 500 simuleringer uden termisk oplevelser på en almindelig bærbar PC anno 2011 tager ca. 5 minutter og for 500 simuleringer med termisk oplevelser tager dette ca. 40 minutter.

11.5 Resultatbehandling i SiByB

De faner, der anvendes til behandling af resultaterne i SiByB, er fremhævet i figur 11.21. Denne del af SiByB indeholder to individuelle faner. Første ark "Resultat Simulering"behandler resultaterne af de 500 simuleringer, og arket "Resultat aktuel beregning"behandler resultaterne af den aktuelle beregning valgt i fanen "Simulering", se afsnit 11.4. I fanen "Resultat Simulering"er resultaterne af simuleringerne vist grafisk, men det er muligt for brugerne at finde rådataene til graferne under fanerne "resultater_som_vin"og "Resultater energi", således brugerne selv kan foretage forskellige analyser. Det skal igen pointeres, at resultaterne i SiByB er baseret på månedsmiddelberegninger, hvorfor resultaterne skal anvendes som overslagsberegninger. Det anbefales derfor ikke at anvende resultaterne fra SiByB til at vurdere det faktiske indeklima i boligen.



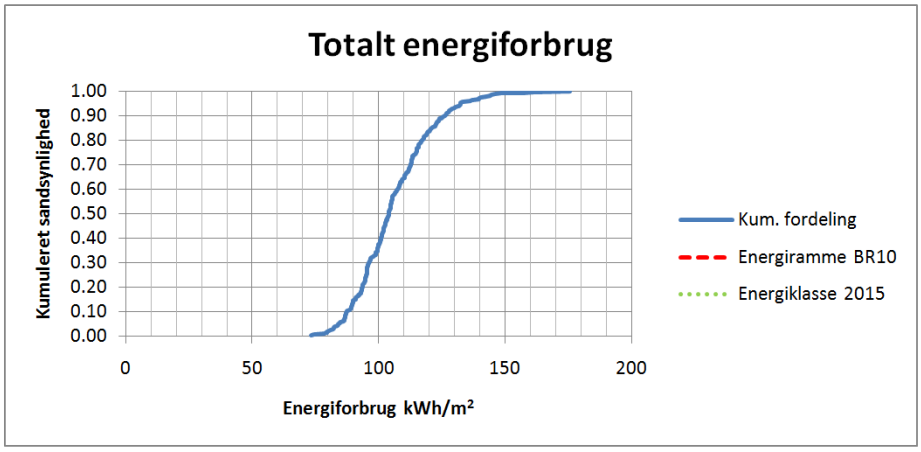
Figur 11.21 – *Fanerne hvor resultaterne vises*

Følgende gennemgås fanerne i forbindelse med resultatbehandling i SiByB individuelt.

"Resultat Simulering"
I denne fane er samtlige resultater opstillet grafisk, ydermere er middelværdien, spredningen henholdsvis 5% og 95 % fraktil angivet. Der behandles resultater for såvel energiforbrug som indeklima. De behandlede resultater i henhold til energiberegningen er følgende:

- Totalt energiforbrug
- Energiforbrug til rumopvarmning
- Samlet elbehov
- Energiforbrug til varmt brugsvand
- Overtemperaturer jævnfør Be10
- Energiforbrug til køling

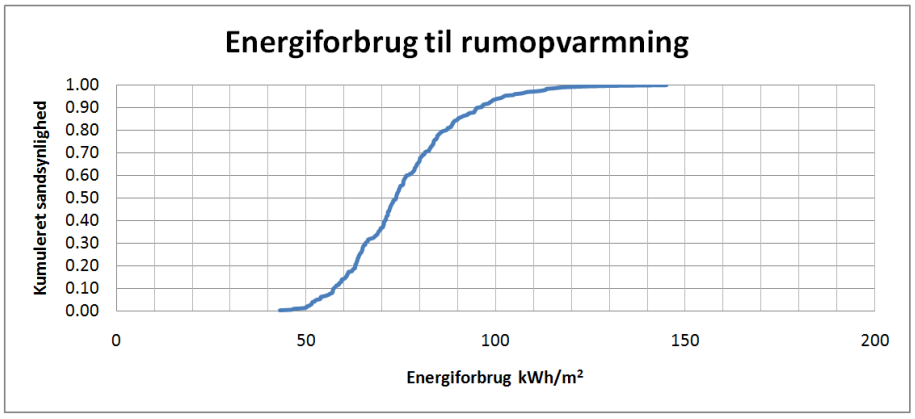
Det skal bemærkes at alle resultater vedrørende energiforbruget evalueres ved kumulerede sansynligheder.



Middel	106.0 [kWh/m^2 pr år]	Overholder ikke energirammen BR10
5 % fraktil	84.8 [kWh/m^2 pr år]	Overholder ikke energirammen BR10
95 % fraktil	132.2 [kWh/m^2 pr år]	Overholder ikke energirammen BR10
Spredning	15.4 [kWh/m^2 pr år]	

Figur 11.22 – *Resultatbehandling af det totale energiforbrug*

Figur 11.22 viser resultatbehandlingen af det totale energiforbrug. Det totale energiforbrug evalueres ved en kumuleret sandsynlighed. Ydermere er energirammen indtegnet med rød og energiklasse 2015 er indtegnet med grøn. Under grafen er middelværdien, spredningen samt henholdsvis 5% og 95% fraktilen angivet, ligeledes er det angivet, hvorvidt disse værdier overholder energirammen henholdsvis energiklasse 2015.

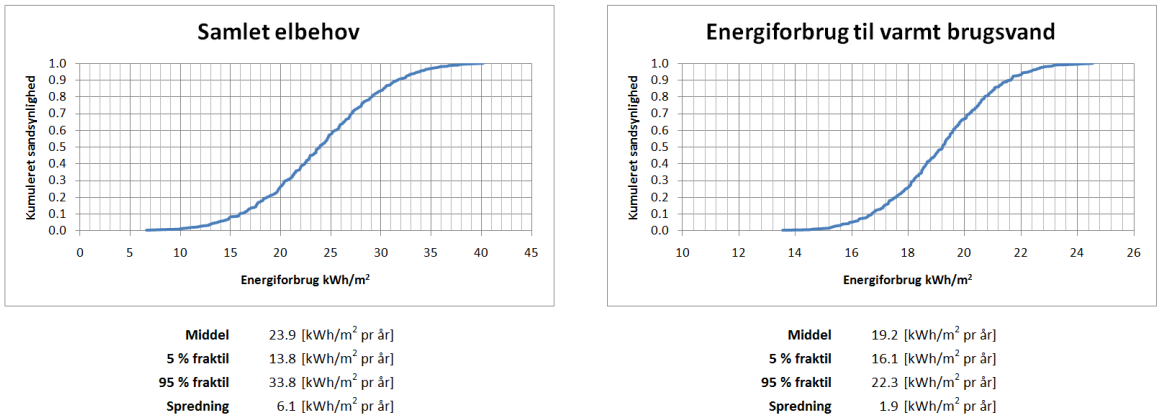


Middel	75.4 [kWh/m^2 pr år]
5 % fraktil	53.6 [kWh/m^2 pr år]
95 % fraktil	102.2 [kWh/m^2 pr år]
Spredning	15.4 [kWh/m^2 pr år]

Figur 11.23 – *Resultatbehandling af det totale energiforbrug*

Energiforbruget til rumopvarmning evalueres ligeledes via en kumuleret sandsynlighed, som anvist i 11.23. På samme måde som ved det totale energiforbrug er middelværdien, henholdsvis 5% og 95% fraktilen samt spredningen angivet under grafen.

Det samlede elbehov, energiforbrug til varmt brugsvand, energiforbruget til køling samt straffen på grund af overtemperaturer evalueres alle af en kumuleret sandsynlighed, hvor middelværdien, henholdsvis 5% og 95% fraktilen samt spredningen er angivet under grafen. Figur 11.24 viser eksempler på dette.



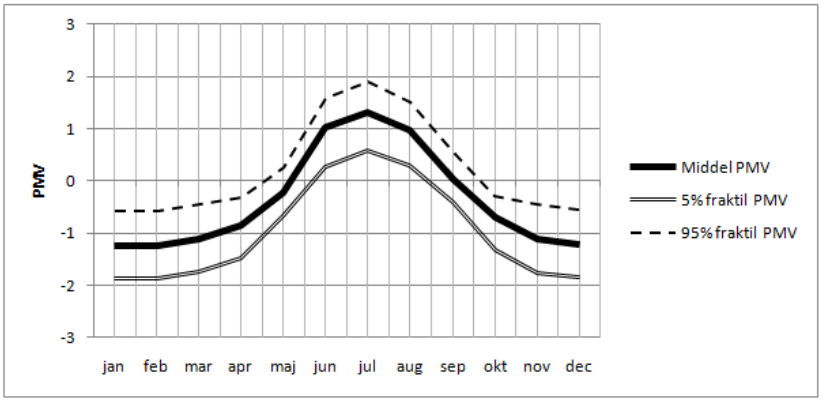
Figur 11.24 – *Resultatbehandling af det samlede elbehov samt energiforbruget til varmt brugsvand*

I forbindelse med resultatbehandlingen af indeklimaet i *Rum Sommer* sker evalueringen for alle måneder for PMV-indeks, CO_2-koncentration samt den relative luftfugtighed.

Figur 11.25 viser resultaterne for PMV-indekset, der anvendes til evaluering af det termiske indeklima. Hvert punkt på 7-punktskalaen har sin egen farvekode, som følger:

2,5	$\leq$	**Hedt**		
1,5	$\leq$	**Varmt**	$<$	2,5
0,5	$\leq$	**Let varmt**	$<$	1,5
-0,5	$<$	**Neutralt**	$<$	0,5
-1,5	$<$	**Let køligt**	$\leq$	-0,5
-2,5	$<$	**Køligt**	$\leq$	-1,5
		Koldt	$\leq$	2,5

Resultaterne for den termiske oplevelse illustreres både grafisk samt i tabelform, hvor resultaterne i tabelformen henholder sig til intervallerne givet i den foregående tabel.



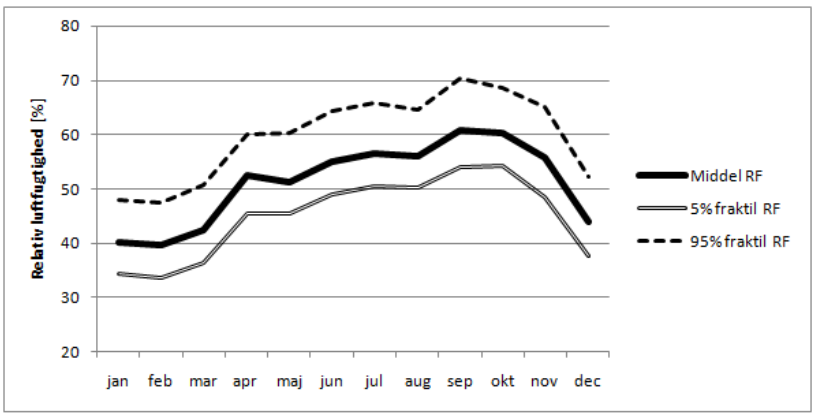
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Middel	Let kølig	Let kølig	Let kølig	Let kølig	Neutral	Let varm	Let varm	Let varm	Neutral	Let kølig	Let kølig	Let kølig
5% fraktil	Køligt	Køligt	Køligt	Let kølig	Let kølig	Neutral	Let varm	Neutral	Neutral	Let kølig	Køligt	Køligt
95% fraktil	Let kølig	Let kølig	Neutral	Neutral	Neutral	Varmt	Varmt	Varmt	Let varm	Neutral	Neutral	Let kølig

Figur 11.25 – *Resultatbehandling af PMV*

Ved evaluering af det atmosfæriske indeklima anvendes der kategori I-IV i henhold til DS/EN 15251, der også er blevet tildelt hver sin farvekode:

Kategori I **Kategori II** **Kategori III** **Kategori IV**

Den relative luftfugtighed evalueres som tidligere nævnt for hver måned respektivt. Under grafen er middelværdien samt henholdsvis 5% og 95% fraktilen for hver måned angivet respektivt, repræsenteret ved kategori I-IV, se figur 11.26.



	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Middel	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. III	Kat. III	Kat. II	Kat. I
5% fraktil	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I
95% faktil	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. IV	Kat. III	Kat. III	Kat. II

Figur 11.26 – *Evaluering relativ luftfugtighed, grafisk og i tabelform. Kategorierne er i henhold til DS/EN 15251*

Tabel 11.1 viser at de faktiske værdier givet i DS/EN 15251 [European Committee for Standardization, 2007b] for de forskellige kategorier.

Kategori	Nedre grænseværdi [%]	Øvre grænseværdi [%]
I	50	30
II	60	25
III	70	20
IV	>70	<20

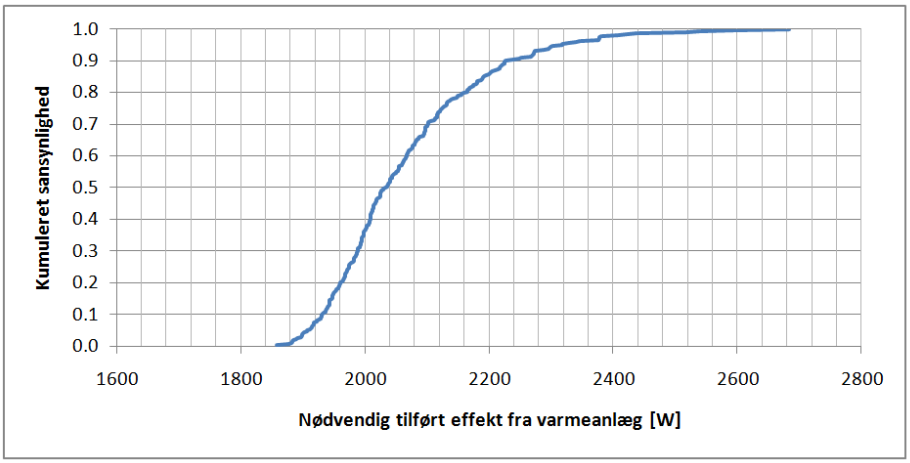
Tabel 11.1 – *Designværdier fra DS/EN 15251 i forhold til den relative luftfugtighed [European Committee for Standardization, 2007b]*

CO_2-koncentrationen samt den oplevede luftkvalitet evalueres, på samme måde som den relative luftfugtighed, se figur 11.26, for her måned respektivt, ligesom der kategoriseres efter DS/EN 15251 [European Committee for Standardization, 2007b]. Tabel 11.2 viser kategoriindelingen for DS/EN 15251 for CO_2-koncentration samt den oplevede luftkvalitet.

Kategori	CO_2-koncentrationen over udendørsniveau [ppm]	Oplevet luftkvalitet i PD [%]
I	350	15
II	500	20
III	800	30
IV	>800	<30

Tabel 11.2 – *Designværdier fra DS/EN 15251 i forhold til CO_2-koncentrationen og den oplevede luftkvalitet [European Committee for Standardization, 2007b]*

Rum Vinter evalueres på baggrund af en kumuleret sandsynlighed for den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget samt ventilationsanlæggets varmeflade. Dette er illustreret for varmeanlægget i figur 11.27.

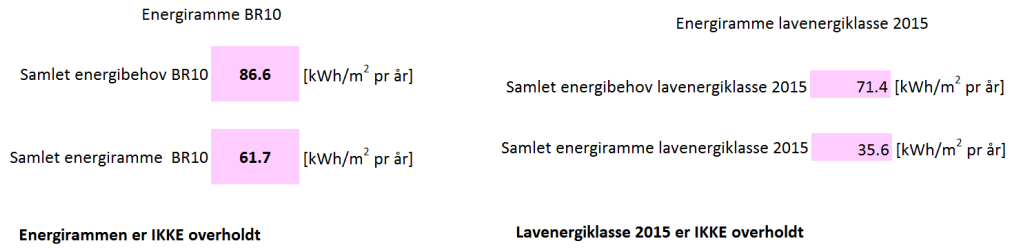


Middel	2066.0 [W]
5 % fraktil	1911.6 [W]
95 % fraktil	2317.4 [W]
Spredning	131.2 [W]

Figur 11.27 – *Resultatbehandling af den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget i Rum Vinter*

"Resultat aktuel beregning"

Resultaterne for den aktuelle beregning er som den anden fane for resultatbehandling opdelt i energiforbrug og indeklima, hvor indeklimaet ligeledes behandles for *Rum Sommer* henholdsvis *Rum Vinter*. Figur 11.28 viser det totale energiforbrug for den aktuelle beregning i henhold til energirammen henholdsvis lavenergiklasse 2015.



Figur 11.28 – *Totalt energiforbrug for energirammen henholdsvis lavenergiklasse 2015*

Nøgletallene fra energiberegningen, som de også kendes fra Be10, er vist i figur 11.29. Denne del af SiByB indeholder de væsentligste hovedresultater fra energiberegningen. For yderligere forklaring af hver parameter henvises til [Aggerholm og Grau, 2007].

Bidrag til energibehovet:			Udvalgte elbehov:		
Varme	76.1	[kWh/m² pr år]	Opvarmning af rum	0.0	[kWh/m² pr år]
El til bygningsdrift	4.2	[kWh/m² pr år]	Opvarmning af varmt brugsvand	0.0	[kWh/m² pr år]
Overtemperatur i rum	0.0	[kWh/m² pr år]	Varmepumpe	0.0	[kWh/m² pr år]
			Ventilatorer	2.5	[kWh/m² pr år]
Netto behov:			Pumper	1.5	[kWh/m² pr år]
Rumopvarmning	55.6	[kWh/m² pr år]	Køling	0.0	[kWh/m² pr år]
Varmt brugsvand	19.6	[kWh/m² pr år]			
Køling	0.0	[kWh/m² pr år]	Ydelse fra særlige kilder:		
			Solvarme	0.0	[kWh/m² pr år]
			Varmepumpe	0.0	[kWh/m² pr år]
			Solceller	0.0	[kWh/m² pr år]
			Vindmølle	0.0	[kWh/m² pr år]
			Samlet el	27.2	[kWh/m² pr år]

Varmetab fra installationer:		
Rumopvarmning	0.0	[kWh/m² pr år]
Varmt brugsvand	4.2	[kWh/m² pr år]

Transmissionstab for klimaskærmen ekskl. vinduer og døre: 4.6 W/m2

Samlet varmetab:					
Transmissionstab	4.5	kW	25.0	W/m²	
Ventilationstab uden varmegenvinding *	3.3	kW	18.6	W/m²	* Ventilation om vinteren
I alt	7.9	kW	43.6	W/m²	
Ventilationstab med varmegenvinding *	2.0	kW	11.0	W/m²	* Ventilation om vinteren
I alt	6.5	kW	36.1	W/m²	

Figur 11.29 – *Nøgletal for energiberegningen*

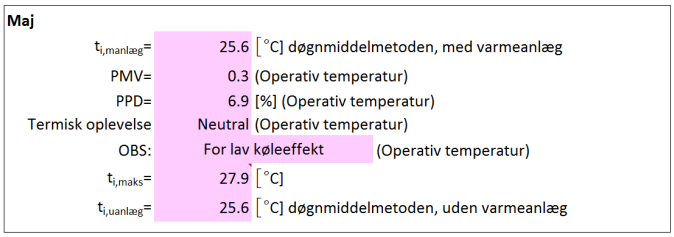
Indeklimaet evalueres for henholdsvis termisk og atmosfærisk indeklima. Figur 11.30 viser resultaterne for de atmosfæriske parametre, det værende sig CO_2-koncentration, den oplevede luftkvalitet samt den relative luftfugtighed for *Rum Sommer*. Som det også er tilfældet i fanen "Resultat Simulering"er indeklimaet evalueret for hver måned respektivt for *Rum Sommer*. Dette er illustreret i figur 11.30 og 11.31. Figur 11.31 viser evalueringen af det termiske indeklima for den aktuelle beregning ved hjælp af rumluftstemperatur, PMV-indeks m.v. for maj.

CO_2 koncentration		
Maj		
c_{co2}=	642	[ppm] over udendørskoncentration
DS/EN 15251:	Kat. III	
PD=	19	[%]

Oplevet luftkvalitet		
Maj		
c_{olf} =	0.9	decipol
PD=	14	[%]
DS/EN 15251:	Kat I	

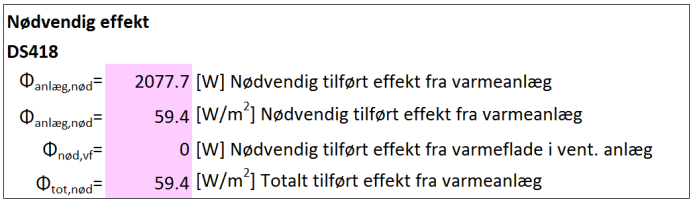
Luftfugtighed		
Maj		
ϕ_{inde}=	57.4	[%]
DS/EN 15251:	Kat. II	

Figur 11.30 – *Resultater for det atmosfæriske indeklima*



Figur 11.31 – *Resultater for det termiske indeklima*

Figur 11.32 viser resultaterne for *Rum Vinter*.



Figur 11.32 – *Resultater for den dimensionsgivende beregning*

11.6 Beregningsdelen i SiByB

For at overskueliggøre gennemgangen af beregningskernen i SiByB, der består af 21 faner, gennemgås disse i de følgende tabeller. Tabel 11.5, 11.3 og 11.4 gennemgår beregningsdelen af SiByB. Tabel 11.3 og 11.4 lister de skjulte ark, der i SiByB som tidligere nævnt er markeret med grå. Tabel 11.5 gennemgår de beregningsark, der af hensyn til makroer mv. ikke er skjulte, disse er markeret med sort.

Ark	Beregningskerne	Beskrivelse
Vejrdata	Indeklima	Opstiller vejrdata for indeklima beregningen på baggrund af døgnmiddelværdier. Alle værdier er fundet ved opslag i Heiselberg og Aggerholm [2002]
Termisk_vin	Indeklima	Beregner den nødvendige effekt fra varmenalæg for *Rum Vinter*, svarende til én dimensionsgivende beregning på baggrund af Dansk Standard [2002].
Rullelister	Indeklima	Benyttes udelukkende til opslag.
Sol_V	Energiforbrug	Beregner solindfaldet gennem vinduer.

Tabel 11.3 – *Skjulte beregningsark i SiByB*

Ark	Beregningskerne	Beskrivelse
Skyg_V	Energiforbrug	Beregner skyggerne for hvert vindue for alle måneder respektivt.
V_opv	Energiforbrug	Beregner ventilations- og gulvvarmen. Beregner reguleringen af varmegenvindingen samt varmefladen i ventilationsanlægget. Derudover beregner elforbruget til ventilatorer om natten samt det dimensionerende ventilationstab for boligen.
Belys	Energiforbrug	Beregner belysningen, det værende sig middel illuminansen udendørs i Lux.
Vakøbal	Energiforbrug	Beregner varme- kølebalancen for boligen. I forbindelse med beregningen af varmebehovet tages der hensyn til solafskærmningen, tab fra rør og varmt brugsvand samt ventilationsluftens forvarmning. Udover beregningen af varmebehovet foretager denne fane også en automatisk køleberegning ved overtemperaturer.
Fordel_tab	Energiforbrug	Beregner varmetabene fra varmesystemer; det varme brugsvand, pumper, solvarme samt varmepumper.
Forsyn_tab	Energiforbrug	Beregner driften samt tabet fra forsyningssystemet i den aktuelle bolig.
Vejr	Energiforbrug	Vejrdata med videre for energiberegningsdelen.
Skygfak	Energiforbrug	Beregner de respektive skyggefaktorer for horisontvinkel, udhæng, skygge på sydsiden, skygger på nordsiden, vindueshullets dybde samt for solafskærmningen. Der beregnes skyggefaktorer for alle årets måneder.
Dakgr	Energiforbrug	Beregner dækningsgraderne for varmeforsyningen. Rumluftstemperaturen er i disse beregninger forudsat til $20°C$
Res_inde	Indeklima	Lister resultaterne fra simuleringen af indeklimaet.

Tabel 11.4 *– Skjulte beregningsark i SiByB*

Ark	Beregningskerne	Beskrivelse
Resultat	Energiforbrug	Viser resultaterne af energiberegningen. I denne fane vises nøgletal samt de respektive energibehov til henholdsvis varme, el, køling osv. Fanen svarer til resultatdelen i Be10.
Resultat, energi	Energiforbrug	Dette ark lister og beregner resultaterne fra simuleringsdelen af SiByB. Denne fane benyttes som mellemled til resultatbehandlingsdelen.
Resultater_som_vin	Indeklima	Her vises resultaterne fra indeklimaberegningerne. Denne fane benyttes som mellemled til resultatbehandlingsdelen.
Termisk_sommer	Indeklima	Beregner det termiske indeklima for *Rum Sommer* svarende til rumluftstemperaturen for hver måned respektivt.
Samples	Simulering	Samples fil fra SimLab, klar til at anvende i simuleringen.
PMV	Indeklima	Beregner PMV indekset vha. simuleringsknappen PMV-beregning; aktuel indtastning"under fanen "Simulering"
Atmosfærisk_som	Indeklima	Beregner det atmosfæriske indeklima for *Rum Sommer* svarende til CO_2-koncentrationen, den oplevede luftkvalitet samt relativ luftfugtighed for hver måned respektivt.

Tabel 11.5 *– Beregningsark i SiByB, der vises grundet implementering i makroer*

Validering af koncept (SiByB)

Kapitel 12

Introduktion til validering

Denne del af rapporten har til formål at validere kvaliteten af konceptet SiByB, og resultaterne herfra. Valideringen af konceptet tager udgangspunkt i to udvalgte boliger, hvor der foreligger indeklima- og energimålinger fra beboede perioder. Herved haves et sammenligningsgrundlag, der tager hensyn til brugernes adfærd. De valgte boliger er Langøvænget 8, Tilst, der er en del af projektet EnergiParcel. Det andet hus er Stenagervænget 37, Skibet, Vejle, der udgør et af de ti passivhuse ved Komforthusene.

Valideringen af SiByB består af tre dele:

1. Validering af brugernes påvirkning på energiforbruget i en SiByB simulering
2. Validering af indeklimaberegningsmetoden samt brugernes påvirkning på indeklimaet
3. Sammenligning af indflydelsesrige parametre på energiforbruget og indeklimaet med undersøgelserne gennemgået i kapitel 5 og 6

Valideringen af SiByB sker på baggrund af en sammenligning mellem resultater fra SiByB simuleringen, resultater fra en BSim model samt målinger fra de respektive huse. Simuleringen i SiByB er foretaget med de brugerrelaterede parametre, repræsenteret ved de i kapitel 9 beskrevne fordelinger. Der afsluttes med en opsummering, hvor resultaterne fra valideringen sammenlignes med resultaterne af undersøgelserne gennemgået i problemanalysen.

Det bemærkes at denne validering udelukkende er en del af den endelige vurdering af konceptet SiByB og konceptets evne til at implementere brugeradfærden. For evalueringen af SiByB simuleringen for Langøvænget 8 henholdsvis Stenagervænget 37 evalueres det termiske indeklima for månedsmiddeltemperaturen for henholdsvis middel og maksdøgnet. Hvor middeldøgnet er defineret som: månedsmiddeltemperaturen for middeldøgn for hver måned i de 15 år, der ligger til grund for TRY, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for middeldøgnet. Månedsmiddelstemperaturen for maksdøgnet for udetemperaturen er defineret som månedsmiddeltemperaturen for maksimumdøgn for hver måned i de 15 år, der ligger til grund for TRY, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for maksdøgnet.

For at validere brugeradfærdens påvirkning på energiforbruget og indeklimaet anvendes sensitivitetsanalyser til at analysere, hvilken indflydelse de forskellige inputparametre har på modellens output. Derfor er der for SiByB valgt at validere konceptet og dets beregningsgange ved brug af sådanne analyser. For sensitivitetsanalyser gælder at variationen af outputtet

sammenholdes med de forskellige inputværdier for at kunne evaluere inputparametrenes indflydelse på modellens output enten kvalitativt eller kvantitativ. I SiByB anvendes globale sensitivitetsanalyser, der behandler den samlede usikkerhed af modellens resultat i forhold til variationen af samtlige inputparametre. Ved globale analyser er formålet altså, at afveje usikkerheden i outputparametrene i forhold til usikkerheden i hver enkel inputparameter. Saltelli et al. [2004a] Saltelli et al. [2004b] anbefaler desuden at anvende global sensitivitetsanalyse, når modellen er ikke-lineær, og variationen i inputparametrene er beskrevet ved forskellige fordelingsfunktioner, som det er gældende ved de brugerrelaterede parametre i SiByB.

I SiByB anvendes forskellige sensitivitetsanalyser for at analysere inputparametrenes indflydelse på outputtet samt for at sammenligne de forskellige analysemetoder. Der anvendes seks forskellige kvantitative metoder. De kvantitative metoder omhandler Pearsons korrelationskoefficient (PEAR), Spearmans korrelationskoefficient (SPEA), standardiserede regressionskoefficienter (SRC/SRRC) og partialkoefficienter (PRC/PRRC). De forskellige analysemetoder er nærmere beskrevet i bilag N.3.

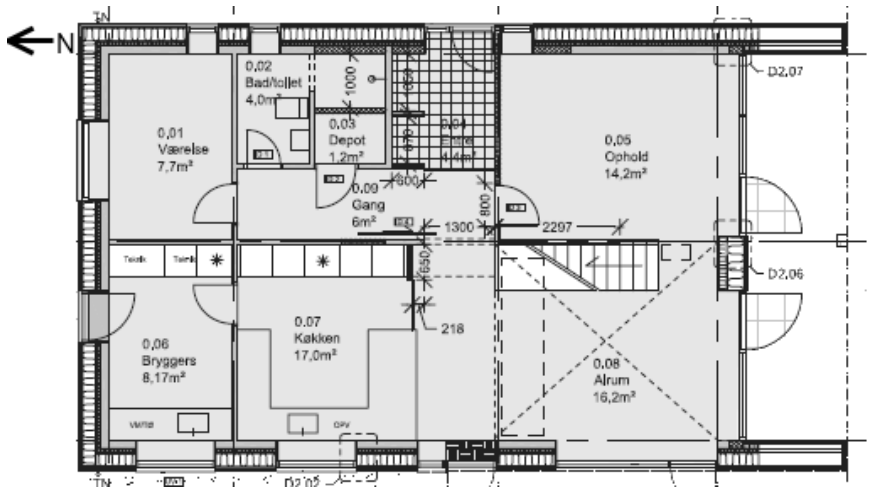
Kapitel **13**

Case: Langøvænget 8

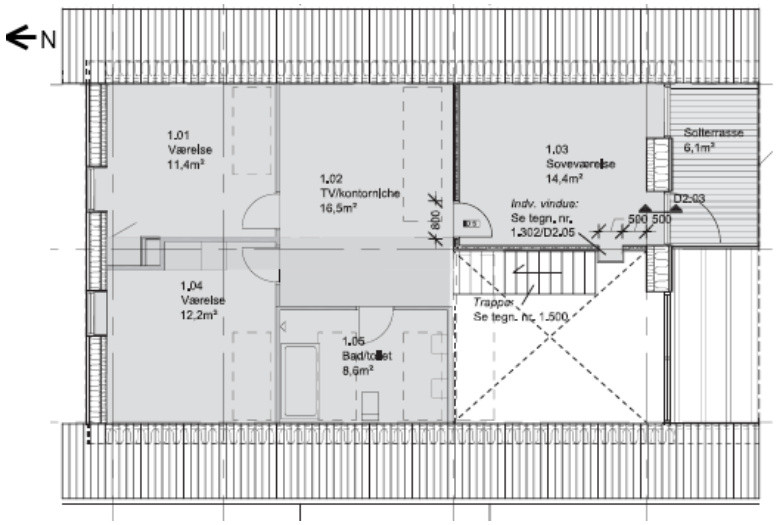
Nærværende kapitel gennemgår resultaterne af en SiByB simulering for Langøvænget 8, Tilst ved Aarhus. For at validere kvaliteten af simuleringen sammenlignes der med målinger samt en til formålet opstillet BSim model. Kapitlet starter med en kort beskrivelse af boligen. For yderligere forklaring henvises til bilag Q.

13.1 Bygningsbeskrivelse

Langøvænget 8, indgår som prototypehus for projektet "Energiparcel - ny energi til dit hus", der er sponseret af Realea A/S. Dette projekt er tiltænkt som et demonstrationsprojekt for den danske befolkning. Formålet med netop Langøvænget 8 har været at se hvor meget energiforbruget egentlig kan sænkes i et eksisterende hus ved brug af de mest moderne teknologier tilgængelig på markedet. Derfor har projektet ikke været økonomisk rentabelt, men udelukkende haft til formål at demonstrere markedets muligheder. I forbindelse med valideringen af SiByB, er der taget udgangspunkt i Langøvænget 8 efter renoveringen. Boligen er fordelt på to etager, med opholdsarealer i stueplan og værelser på 1. sal. Plantegning for stueetagen og 1. sal er vist i figur 13.1 og 13.2. Det samlede boligareal er på $176m^2$.



Figur 13.1 – *Plantegning af stueetage, efter [Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010]*



Figur 13.2 – *Plantegning af 1. sal, efter [Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010]*

Figur 13.3 viser huset udefra, og figur 13.4 viser et billede af alrummet på Langøvænget 8.

(a) Langøvænget 8, facade mod syd

(b) Langøvænget 8, facade mod vest

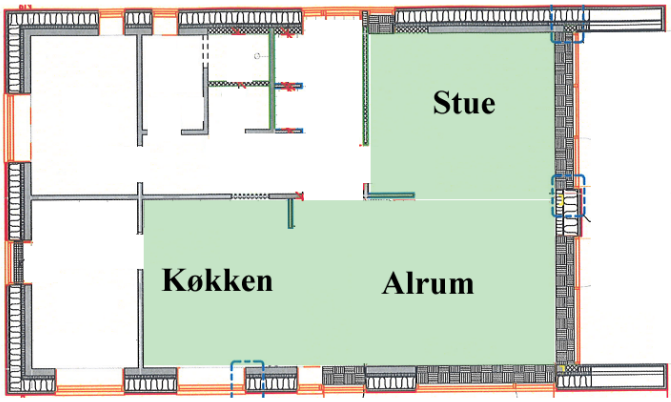
Figur 13.3 – *Langøvænget 8 set udefra [Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010]*

Figur 13.4 – *Alrummet på Langøvænget 8 [Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010]*

Efter renoveringen er der indsat et mekanisk behovsstyret ventilationsanlæg med varmegenvinding, ydermere er boligen koblet på lavtemperatur fjernvarmesystem. Det mekaniske ventilationsanlæg reguleres automatisk efter CO_2-koncentrationen, som en middelværdi for hele huset og efter den relative luftfugtighed i badeværelset. Boligen ventileres om sommeren ved naturlig ventilation ved hjælp af de automatiske ovenlys vinduer i boligen. Yderligere er der monteret solceller på husets tag til at producere el, til de nyinstallerede anlæg. Af komfort hensyn er der installeret gulvvarme i badeværelset i stueplanen.

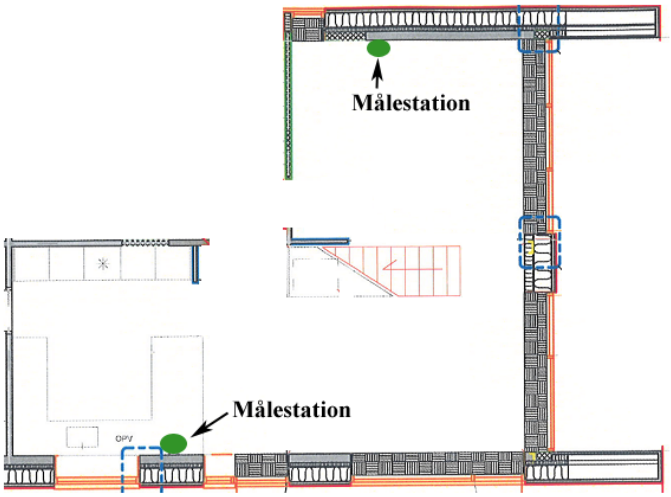
13.2 Indledende betragtninger til en SiByB validering

Resultatbehandlingen af Langøvænget 8 har til formål at validere programmet SiByB og beregningsgangen heri. Her valideres såvel beregningsgangen som implementeringen af brugeradfærden, og dennes betydning for konceptet. Der gøres opmærksom på, at samtlige indeklimaresultater er baseret månedsmiddelværdier, og derfor udelukkende kan anvendes som overslagsberegninger for det faktiske indeklima i boligen. Resultaterne af indeklimaberegningerne vil derfor være midlede indeklimabetragtninger for huset. Der er udelukkende anvendt målinger for køkkenalrummet samt stuen, der i forbindelse med valideringen er vurderet som værende *Rum Sommer* såvel som *Rum Vinter*. Dette skyldes at klimaskærmen til rummet består af et stort areal vinduer, hvilket medfører et stort varmetab om vinteren og stort varmetilskud fra solen om sommeren. Arealet, der i SiByB anvendes for de kritiske rum, er illustreret på figur 13.5. Det bemærkes, at der er loft til kip i alrummet, hvilket har betydning for den naturlige ventilation om sommeren. Inputparametrene til indeklimaberegningerne i SiByB-regnearket er udspecificeret i bilag Q.1 og forefindes på Bilags-CD'en, *L8_ maks.xlsm* og *L8_ middel.xlsm*.



Figur 13.5 – *Plantegning over stueetagen. Det grønne areal illustrerer arealet der anvendes som Rum Sommer og Rum Vinter i SiByB.*

I valideringen af SiByB sammenlignes resultaterne, som tidligere nævnt, med en BSim model samt målinger foretaget på Langøvænget 8. Sammenligningen mellem SiByB, BSim og målingerne sker ved månedsmiddelværdier. Således vil de time- og dagsværdier, der er tilgængelige for BSim-modellen samt målingerne ikke blive anvendt umiddelbart. En nærmere beskrivelse af den tilhørende BSim model henholdsvis målingerne findes i bilag Q.2 og Q.3. BSim modellen kan ligeledes findes på Bilags-CD'en, *Langøvænget8.dis*. For at kunne sammenligne indeklimaresultaterne fra SiByB simuleringerne er det nødvendigt, at kende placeringen af målestationerne i rummet. Placeringen er vist på figur 13.6. Heraf fremgår det at disse punktmålinger udelukkende er repræsentative for det aktuelle målepunkt og derved ikke giver et præcist billede af det faktiske indeklima i hele rummet.



Figur 13.6 – *Placering af målestationer i rummet*

Resultatbehandlingen sker for energiforbruget og indeklimaet respektivt. For energiforbruget findes udelukkende målinger for energibehovet til varmeforbruget til opvarmning. Til inde-

klimaet anvendes målinger for temperaturen i rummet, CO_2-koncentration og den relative luftfugtighed.

I bilag Q.4 er en sammenligning foretaget mellem en energiberegning af Langøvænget 8 i Be10 og i regnearksversionen, for at klarlægge eventuelle forskelligheder. Sammenligningen viser en forskel på 2,5% på det totale energiforbrug, hvor hovedforskellen ligger i overtemperaturstraffen[2]. Be10 beregningen påviser ingen straf som følge af overtemperatur, mens regnearksversionen viser en betydelig straf i overtemperaturberegningen. Ud over overtemperatur beregningen ses der enkelte forskelle grundet unøjagtigheder i forbindelse med afrunding af decimaltal. Disse giver dog ikke anledning til større uoverensstemmelse.

I bilag Q.5 er der foretaget en sammenligning af vejrdataene fra en vejrstation placeret i Ødum tæt på Langøvænget 8 samt vejrdataene anvendt i SiByB. Sammenligningen har til formål, at vurdere hvorvidt det giver mening at sammenligne resultater fra SiByB med målingerne på baggrund af de eventuelle forskelle i vejrdata. Sammenligningen viser god overensstemmelse mellem udetemperaturen i opvarmningssæsonen samt mellem den relative luftfugtighed, hvorfor det vurderes at SiByB simuleringen kan foretages med vejrdatasættene fra DRY og TRY.

Til sidst skal det bemærkes at SiByB simuleringen er foretaget med en samplestørrelse på 500, jævnfør bilag P.

13.3 SiByB simulering

Afsnittet gennemgår resultaterne af SiByB simuleringerne for Langøvænget 8 samt de tilhørende sensitivitetsanalyser. For indeklimaet gennemgås to simuleringer baseret på månedsmiddelværdier for vejrdata for middeldøgn[3] og maksdøgn[4]. SiByB simuleringerne forefindes på Bilags-CD'en, *L8_ maks.xlsm* og *L8_ middel.xlsm*.

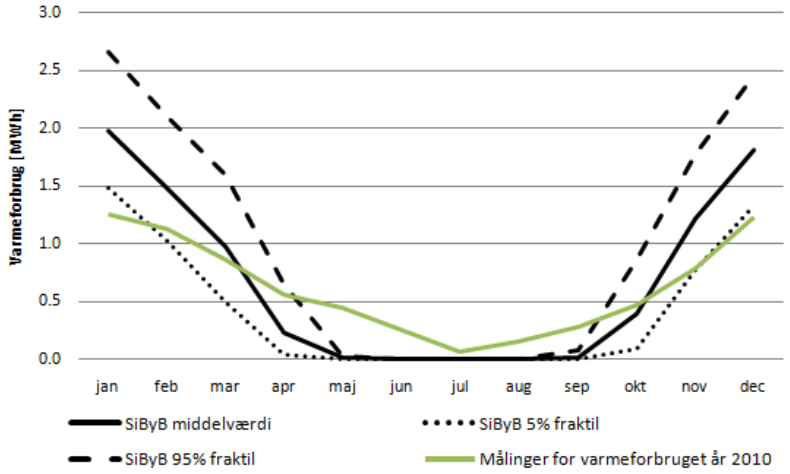
13.3.1 Energiforbrug

Varmeforbruget til opvarmning på månedsbasis for SiByB simuleringen og for målingerne for år 2010 er vist i figur 13.7, hvor 5% og 95% fraktilen for SiByB simuleringen ligeledes er vist.

[2]Overtemeratursstraffen ses som det ækvivalente elbehov til at fjerne overtemperaturerne med et standard mekanisk køleanlæg jævnfør Aggerholm og Grau [2007]

[3]Månedmiddeltemperaturen for middeldøgnet er fundet på baggrund af de målinger, der ligger til grund for TRY, hvor i alt 15 års målinger foreligger. Temperaturen er fundet ved at finde månedsmiddeltemperaturen for middeldøgn for hver måned i de 15 år, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for middeldøgnet.

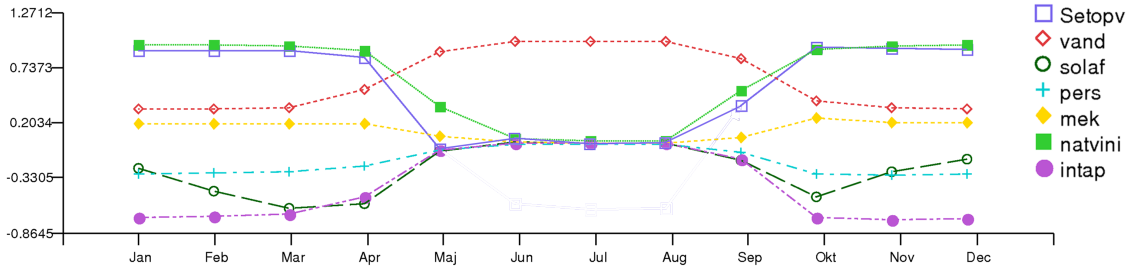
[4]Månedsmiddelstemperaturen for maksdøgnet for udetemperaturen er fundet på baggrund af de målinger, der ligger til grund for TRY, hvor i alt 15 års målinger foreligger. Temperaturen er fundet ved at finde månedsmiddeltemperaturen for maksimumdøgn for hver måned i de 15 år, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for maksdøgnet.



Figur 13.7 – *Sammenligning af varmeforbruget for Langøvænget 8*

Figur 13.7 viser at SiByB simuleringen har en klar grænse for hvornår opvarmningssæsonen starter og slutter. Derimod viser målingerne for år 2010 et højere varmeforbrug til opvarmning i månederne maj-august, mens varmeforbruget er lavere for målingerne i månederne november-februar. Umiddelbart kan denne tendens tyde på, at setpunktstemperaturen for rumopvarmningen i SiByB simuleringen er højere end temperaturen målt i opvarmningssæsonen i 2010. Dette er dog ikke gældende, da middelværdien for setpunktstemperaturen for rumopvarmningen i SiByB simuleringen er sat til $21,23°C$, mens middeltemperaturen i januar - marts og november-december for målingerne er målt til $22,1°C$. Årsagen til forskellene i varmeforbruget udenfor opvarmningssæsonen er at beboerne i Langøvænget har gulvvarmen tændt i badeværelset hele året af komfortmæssige årsager. Dette påpeger endnu engang brugeradfærdens indlfydelse på energiforbruget i boliger, da denne tendens ikke er medtaget i en SiByB simulering. En sammenligning af energiberegningen i Be10 og energiberegningen i regnearksversionen til Be10, se bilag Q.4, viste at varmeforbruget beregnet i regnearksversionen var 11% mindre end varmeforbruget beregnet i Be10 på årsbasis, hvorfor det bemærkes, at de specifikke varmeforbrug vist i figur 13.7 ikke direkte kan sammenlignes med varmeforbruget i Be10. Forskellen medfører dog ikke at tendensen fundet i figur 13.7 ikke er gældende, og denne forskel har dermed ikke nogen større indflydelse på valideringen af SiByB simuleringen for Stenagervænget 37.

For at identificere de vigtige parametre i beregningen af varmeforbruget til rumopvarmning er der foretaget en sensitivitetsanalyse af SiByB simuleringen. Sensitivitetsanalysen er foretaget på baggrund af det totale energibehov til varmeforbruget, hvorfor energibehovet til varmtvandsforbruget er inkluderet. I bilag Q.6 er der foretaget en sammenligning af seks sensitivitetsanalyser. PRCC tilskriver solafskærkningen og varmetilskuddet i opvarmningssæsonen større betydning end SRC, SRRC, PEAR og SPEA samtidig giver den en mere sandsynlig vægtning af varmtvandsforbruget og luftmængden fra den mekaniske ventilation i opvarmningssæsonen sammenlignet med PCC. PRCC anvendes derfor til at foretage sensitivitetsanalysen i det efterfølgene. Figur 13.8 viser sensitivitetsanalysen af varmeforbruget.



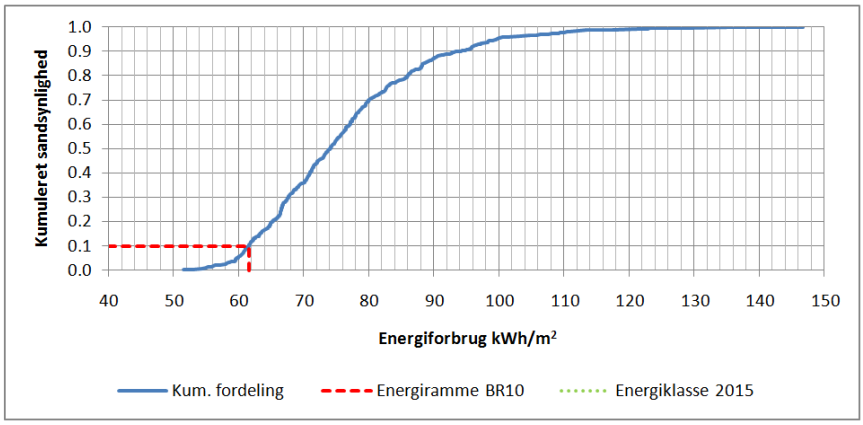
Figur 13.8 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af partialrankerinskorrelationskoefficienter, PRCC, for Langøvænget 8.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen viser at varmtvandsforbruget udenfor opvarmningssæsonen (maj-august) er den vigtigste parameter i denne periode. Målingerne viser at husets totale vandforbrug i år 2010 ligger på $128m^3 \sim 708l/år \ \ pr. \ \ m^2 - etageareal$, hvilket ca. er faktor 2,5 større end middelværdien for varmtvandsforbruget anvendt i SiByB simuleringen, aom er fastlagt til $290l/år \ \ pr. \ \ m^2 - etageareal$. Forskellen er tæt på erfaringsværdien fra Bøhm et al. [2009], hvilken finder at varmtvandsforbruget udgør omtrent en tredjedel af det totale vandforbrug. Udenfor opvarmningssæsonen skal beboerne altså være opmærksom på, at varmtvandsforbrug har den største indflydelse på det totale varmeforbrug.

I opvarmningssæsonen (september-april) er de mest indflydelsesrige parametre setpunktstemperaturen for rumopvarmningen og luftmængden fra den naturlige ventilation. Som tidligere vist er det ikke setpunktstemperaturen for rumopvarmningen, der medfører forskellen i varmeforbruget i opvarmningssæsonen, hvilke kunne tyde på at den naturlige ventilation om vinteren har del i forøgelsen. En blowerdoor test foretaget på huset viser at infiltrationen er $0,098l/s \ \ pr. \ \ m^2$, hvor middelværdien for den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration i SiByB er fastlagt til $0,14l/s \ \ pr. \ \ m^2$. Forskellen kan medvirke til forøgelsen af varmeforbruget i opvarmningssæsonen vist i figur 13.7. Ligeledes skal det pointeres, at sensitivitetsanalysen påviser at solafskærmning[5] og varmetilskuddet fra personer og apparater har forholdsvis stor indflydelse på varmeforbruget. For beboerne betyder dette at jo varmere de ønsker at have det i boligen og jo mere naturlig ventilation de anvender, jo højere varmeforbrug har de i boligen. Resultatet af sensitivitetsanalysen viser samme resultat som Brohus et al. [2009], Brohus et al. [2010], Guerra-Santin og Itard [2010], Larsen og Brunsgaard [2010] og van Raaij og Verhallen [1983b], der konkluderer, at setpunktstemperaturen for rumopvarmningen har stor indflydelse på energibehovet til rumopvarmning. Ligeledes har Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010] fundet at den naturlige ventilation om vinteren har stor indflydelse på energibehovet til rumopvarmning om vinteren.

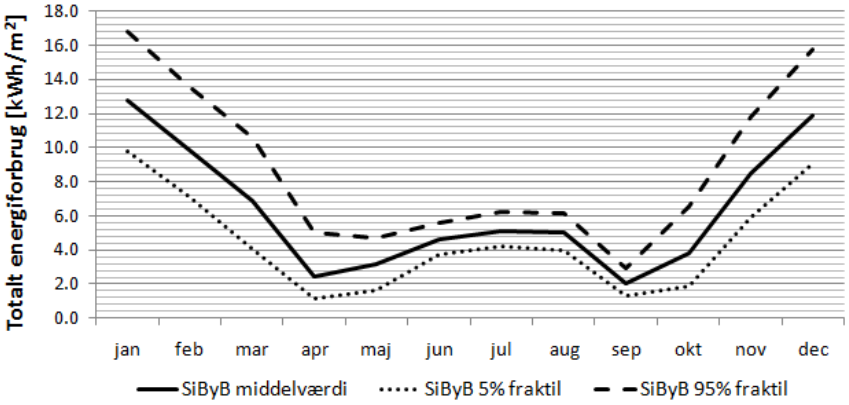
[5]Solafskærmningsfaktoren, der indtastes i energiberegningen har følgende egenskab: f_c=0 fuld solafskærmning og f_s=1 ingen solafskærmning. Derfor vil en forøgelse af solafskærmningsfaktoren medføre en formindskelse af solafskærmningen, hvilket skal bemærkes i figur 13.10.

Simuleringen af det totale energiforbrug på årsbasis og månedsbasis i SiByB er illustreret i figur 13.9. En beregning foretaget med inputværdierne til myndighedsgodkendelse, i henhold til DS 418 og BR10, viser, at det totale energibehov er $50{,}7 kWh/m^2$ *pr. år*, hvilket ligger under 5% fraktilen for det totale energibehov for SiByB simuleringen, se figur 13.9a. Energirammen for Langøvænget 8 er ligeledes indtegnet i figur 13.9a. Ydermere viser figur 13.9b det totale energiforbug på månedsbasis.



Middel	76.1 [kWh/m² pr år]	Overholder ikke energirammen BR10
5 % fraktil	59.9 [kWh/m² pr år]	Overholder energirammen BR10
95 % fraktil	99.7 [kWh/m² pr år]	Overholder ikke energirammen BR10
Spredning	13.4 [kWh/m² pr år]	

(a) Kumuleret sandsynlighed for det totale energibehov på årsbasis



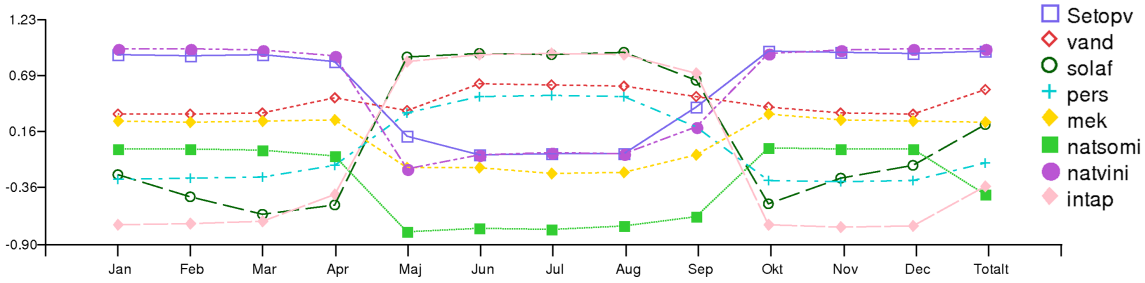
(b) Energibehov fordelt ud over året

Figur 13.9 *– Det totale energibehov for Langøvænget 8 for en SiByB simulering*

Figur 13.9 viser en klar tendens til at brugernes adfærd, ud fra forudsætningerne i kapitel 9, medfører et forøget totalt energibehov. SiByB simuleringen viser, at det maksimale energibehov er 3 gange så stort som det minimale energibehov. Denne forskel stemmer overens med simuleringerne foretaget af Andersen [2009], som finder forskelle på op mod 330% i det totale energibehov. Det skal dog nævnes, at simuleringerne foretaget af Andersen [2009] medregner energibehovet til belysning, hvilket ikke medregnes i SiByB. Variationen til energibehovet til

belysning er dog ikke af nævneværdig betydning. Figur 13.9b viser, at hovedparten af energibehovet ligger i perioden november til februar, hvorved hovedparten af det totale energibehov går til rumopvarmning. Dette understreges af, at variationen af det totale energiforbrug over året har samme tendens som variationen energibehovet til rumopvarmning, se figur 13.7 og 13.9b. Figur 13.9b viser dog en forøgelse af energibehovet om sommeren, hvilket ses som en konsekvens af overtemperaturstraffen, givet af energiberegningen.

For at identificere de indflydelsesrige brugerrelaterede parametre i SiByB simuleringen, foretages en sensitivitetsanalyse. I bilag Q.6 er der foretaget en sammenligning af forskellige sensitivitetsanalyser. Sammenligningen viser at PRCC giver de mest fornuftige resultater, idet der gives en mere sandsynlig vægtning af solafskærmningen samt setpunktstemperaturen, hvorfor sensitivitetsanalysen baseres på den partielle rankeringskorrelationskoefficient, PRCC. Figur 13.10 viser sensitivitetsanalysen for det totale energibehov henholdsvis det månedlige energibehov for Langøvænget 8.



Figur 13.10 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energibehov for Langøvænget 8.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Analysen af det totale energibehov viser, at setpunktstemperaturen og luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren, er de to mest indflydelsesrige parametre. Samme parametre blev ligeledes fundet som de mest indflydelsesrige i sensitivitetsanalysen af energibehovet til rumopvarmning. Undersøgelser foretaget af Brohus et al. [2009], Brohus et al. [2010], Guerra-Santin og Itard [2010], Larsen og Brunsgaard [2010] og van Raaij og Verhallen [1983b] finder samme indflydelse på energibehovet af setpunktstemperaturen. Undersøgelser foretaget af Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010] finder samme indflydelse på energibehovet af den naturlige ventilation. Det fremgår klart af figur 13.10, at disse parametre udelukkende påvirker energibehovet i opvarmningssæsonen, mens parametre såsom solafskærmning, internt varmetilskud, varmtvandsforbrug og naturlig ventilation om sommeren har stor indflydelse på energibehovet udenfor opvarmningssæsonen. Ses der på påvirkningen af disse parametre på det totale energibehov, er det varmtvandsforbruget, der har den største indflydelse jævnfør figur 13.10. Det skal dog bemærkes, at parametre som det interne varmetilskud og solafskærmningen har forholdsvis stor indflydelse på energibehovet over hele året, af både positiv og negativ karakter. I opvarmningssæsonen medvirker en øget solafskærmning til et øget energibehov til rumopvarmning, mens en øget solafskærmning om sommeren medvirker

til en formindskelse af overtemperaturstraffen fra energiberegningen. På samme måde medvirker et øget internt varmetilskud til en formindskelse af energibehovet til rumopvarmning i opvarmningssæsonen, mens en forøgelse af det interne varmetilskud udenfor opvarmningssæsonen vil medføre en forøgelse af temperaturstraffen givet af energiberegningen. Dette faktum kan have stor indflydelse på sensitivitetsanalysen af det totale energibehov beregnet over hele året.

Undersøgelser foretaget af påvirkningen af den mekaniske ventilation, solafskærmningen, varmtvandsforbruget og den interne varmebelastning på det totale energiforbrug, viser samme tendens som SiByB simuleringen. [van Raaij og Verhallen, 1983b] [Larsen og Brunsgaard, 2010] [Larsen og Brunsgaard, 2010] [Andersen et al., 2009] [Brohus et al., 2010] Disse fire parametre har alle en tydelig påvirkning på det totale energiforbrug, dog ikke lige så markant som setpunktstemperaturen for rumopvarmningen og den naturlige ventilation om vinteren. Analysen i figur 13.10 viser dog ikke en speciel indflydelse fra luftmængden fra den mekaniske ventilation, hvilket ikke helt stemmer overens med resultaterne fundet i Guerra-Santin og Itard [2010]. Det skal dog bemærkes at undersøgelsen foretaget af Guerra-Santin og Itard [2010] inkluderer hele det mekaniske ventilationssystem, herunder SFP-faktor, tryktab og lignende, hvorfor analyserne ikke er direkte sammenlignelige.

En sammenligning af sensitivitetsanalyserne for det totale energibehov, energibehovet til varmt brugsvand, til rumopvarmning samt det beregnede elbehov og overtemperaturstraffen givet i energiberegningen er foretaget i bilag Q.6.3. Sammenligningen viser hvilke parametre, der har stor indflydelse på de respektive energibehovsområder, samt hvilket parametre der har såvel positiv som negativ indflydelse på energiforbruget. Det er fundet, at de mest afgørende parametre er setpunktstemperaturen og luftmængden fra den naturlige ventilation, mens parametre som solafskærmningen og det interne varmetilskud har såvel positiv som negativ indflydelse på energiforbruget.

13.3.2 Indeklima

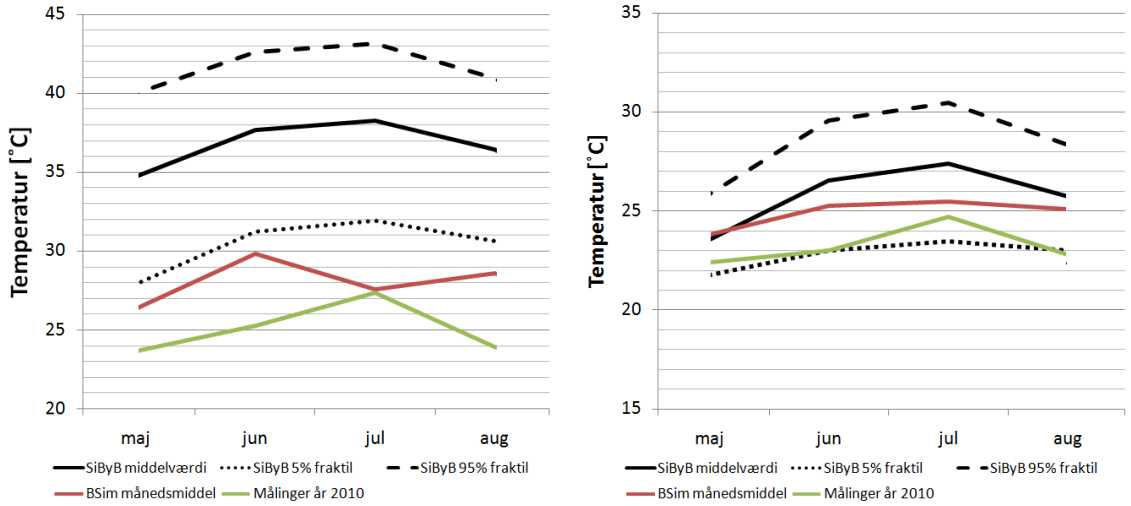
Validering af indeklimaberegningerne i SiByB simuleringen baseres på målinger foretaget for temperaturen, CO_2-koncentrationen og den relative luftfugtighed samt en BSim model. Målinger og BSim modellen er præsenteret i bilag Q.2 og bilag Q.3.

Rum Sommer

For *Rum Sommer* er der foretaget to simuleringer, én for middeldøgnet og én for maksimumsdøgnet. Dette er gjort for at sammenligne effekten fra vejrdataene på resultaterne, samt undersøge hvilke simuleringer, der giver de mest sandsynlige resultater.

De to temperaturprofiler, beregnet på baggrund SiByB simuleringerne i månederne april - september er vist på figur 13.11. Hvor figur 13.11a viser sammenligningen for månedsmiddelværdierne for maksimumdøgn, mens figur 13.11b viser sammenligningen af temperaturprofilen for månedsmiddelværdierne for middeldøgnet. Det skal bemærkes, at beregningerne af indeklimaet er overslagsberegninger, hvorfor resultaterne udelukkende er anvendelig, som en grov indikation på det faktiske indeklima i boligen. Værdierne angivet i figurerne er månedsmiddelværdier rumluftstemperaturen for SiByB og BSim, mens målingerne af tem-

peraturerne er foretaget med Eltek målere som bliver påvirket af varmeoverførsel ved stråling og konvektion[6].



(a) Temperaturprofil for maksimumdøgn

(b) Temperaturprofil for middeldøgn

Figur 13.11 – *Sammenligning af temperaturprofiler for rumluftstempraturen for Langøvænget 8 for middeldøgn*

Sammenligningerne af temperaturprofilerne viser, at SiByB simuleringen for månedsmiddelværdierne for middeldøgnet stemmer bedre overens med BSim simuleringen samt målingerne end SiByB simuleringen for månedsmiddelværdierne for maksimumdøgnet. Figurerne viser en klar tendens til, at temperaturprofilerne for SiByB simuleringerne ligger højere end både BSim resultaterne og målingerne for huset. Den store afvigelse mellem SiByB simuleringen og BSim samt målinger for maksimumsdøgnet skyldes, at SiByB ikke tager hensyn for ændret brugeradfærd i varme perioder. Eksempelvis vil brugerne have en større tendens til at anvende naturlig ventilation i forbindelse med høje temperature end ved lavere temperature. Dermed vil en implelemtering af denne ændrede brugeradfærd i fordelingerne af den naturlige ventilation kunne assistere SiByB med at præcissere beregningerne. Figur 13.11b viser dog, at temperaturprofilen for målinger ligger mellem 5% fraktil og 95% fraktilen for SiByB simuleringen for middeldøgn, hvor største temperaturforskel mellem middelværdien for SiByB simuleringen og målinger er $4°C$ i juni. Den termiske oplevelse for de to SiByB simuleringer er vist i figur 13.12.

[6]Faktummet at både strålingstemperaturen og rumluftstemperaturen påvirker den målte temperatur medfører, at målingerne reelt set giver en højere temperatur en den faktiske rumluftstemperatur, beregnet af SiByB og BSim

	Maj	Jun	Jul	Aug
Middel	Hedt	Hedt	Hedt	Hedt
5% fraktil	Let varm	Varmt	Hedt	Varmt
95% fraktil	Hedt	Hedt	Hedt	Hedt

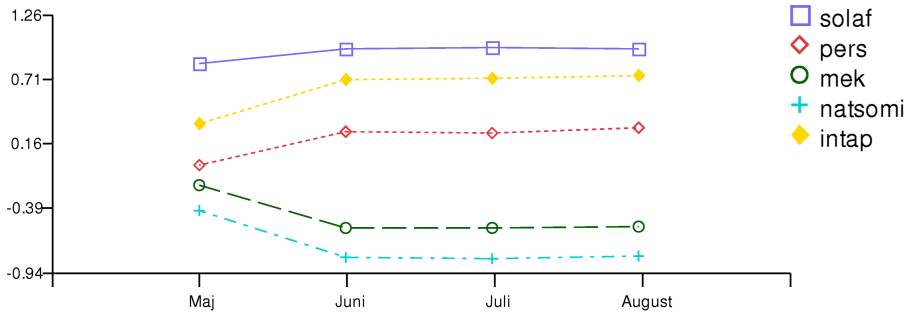
(a) Termisk oplevelse for maksimumdøgn

	Maj	Jun	Jul	Aug
Middel	Neutral	Let varm	Let varm	Neutral
5% fraktil	Let kølig	Neutral	Neutral	Neutral
95% fraktil	Neutral	Varmt	Varmt	Let varm

(b) Termisk oplevelse for middeldøgn

Figur 13.12 – *Termisk oplevelse af SiByB simuleringerne i Rum Sommer for Langøvænget 8*

Sensitivitetsanalyser er foretaget på simuleringen for såvel middel- som maksimumsdøgnet for at identificere de mest indflydelsesrige parametre. Disse analyser giver ens resultater for begge simuleringer, se bilag Q.6. Figur 13.13 viser sensitivitetsanalysen for sommermånederne maj-august for SiByB simuleringen, hvor månedsmiddelværdierne for middeldøgn er anvendt. Bilag Q.6 gennemgår sammenligningen af seks sensitivitetsanalyser. Grundet indflydelsen fra det interne varmetilskud samt luftmængden fra den mekaniske og specielt den naturlige ventilation vælges at anvende PRCC.



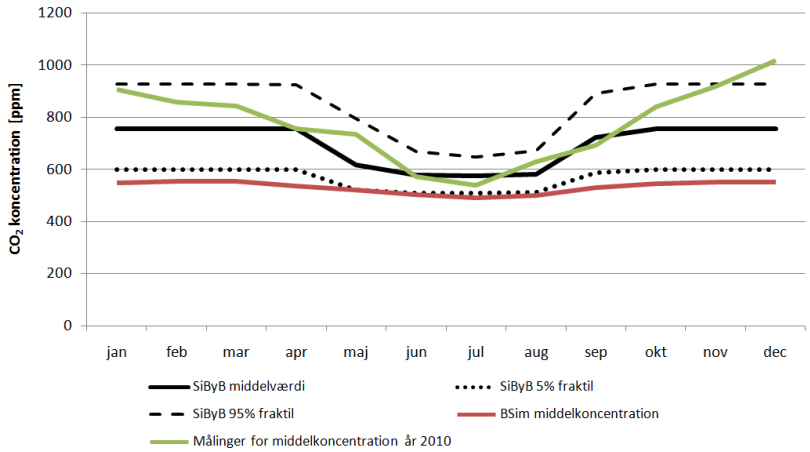
Figur 13.13 – *Sensitivitetsanalysen af rumluftstemperaturen for sommermånederne maj-august for middeldøgnet for Langøvænget 8.* ***Signaturforklaring****; solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen giver et klart billede af, at luftmængden fra den naturlige ventilation og solafskærmningen har størst indflydelse på det termiske indeklima i sommermånederne af de brugerrelaterede parametre. Faktummet, at luftmængden fra den naturlige ventilation og solafskærmning er indflydelsesrige parametre medfører, at disse parametre er afgørende for projekteringen af et godt termisk indeklima i lavenergiboliger. Derudover kan brugerbestemt luftmængde fra den naturlige ventilation og brugerbestemt solafskærmning medføre, at brugerne selv kan være den afgørende faktor for det termiske indeklima. Dette medfører dog at mulighederne for variabel solafskærmning og udluftning er til stede for brugerne. Jævnfør undersøgelserne i kapitel 5 begrundes det dårlige termiske indeklima, med placeringen af store glasfacader mod syd uden nævneværdig solafskærmning, hvilket stemmer overens med sensitivitetsanalysen vist i figur 13.13. En anden af begrundelsene er den manglende mulighed for udluftning om sommeren, eksempelvis når beboerne sover eller ikke er til stede

i hjemmet, hvilket ligeledes stemmer overens med sensitivitetsanalysen vist i figur 13.13. Analysen viser, at luftmængden fra den mekaniske ventilation samt det interne varmetilskud fra apparater også påvirker det termiske indeklima i nogen grad. Den mindre indflydelse fra luftmængden fra den mekaniske ventilation end set i forhold til den naturlige ventilation, kan skyldes det faktum, at varmegenvindingen først bypasses ved en rumluftstemperatur på $23°C$. I undersøgelserne gennemgået i kapitel 5, er de mest indflydelsesrige parametre udelukkende gennemgået, hvorfor der ikke er nogen referencer til den mekaniske ventilation eller den interne varmebelastning. Denne kendsgerning medfører, at det ikke er muligt at konkludere en sammenhæng mellem disse undersøgelser og SiByB simuleringerne, udover tendensen til, at luftmængden fra den mekaniske ventilation og den interne varmebelastning ikke har samme indflydelse på det termiske indeklima sammenlignet med luftmængden fra den naturlige ventilation og solafskærmningen.

I beregningerne af det termiske indeklima øges luftmængden fra den naturlige ventilation, når rumluftstemperaturen inde i boligen overskrider "setpunktstemperaturen for ekstra udluftning". Denne forøgelse af luftmængden har dermed også indflydelse på det atmosfæriske indeklima udenfor opvarmningssæsonen. I valideringen af det atmosfæriske indeklima for SiByB simuleringerne, for henholdsvis månedsmiddeludetemperaturen for middeldøgn og maksimumdøgn, har dette speciel stor betydning i månederne april-maj og september-oktober. I det følgende anvendes resultaterne for SiByB simuleringen, der er baseret på månedsmiddel temperaturene for middeldøgn, da denne simulering giver det mest sandsynlige resultat jævnfør det termiske indeklima, se figur 13.11. Det atmosfæriske indeklima for SiByB simuleringen baseret på månedsmiddeludetemperaturen for maksimumdøgnet kan findes på Bilags-CD'en, *L8_ maks.xlsm*.

CO_2-koncentrationen over året sammenlignet med BSim simuleringen og målingerne for år 2010 er vist i figur 13.14. Det skal igen bemærkes, at beregningerne af indeklimaet er overslagsberegninger, hvorfor resultaterne udelukkende giver en grov indikation på hvorledes indeklimaet i boligen er. Det er valgt ikke at vise målingerne fra stuen i figur 13.14, men udelukkende fra køkkenalrummet, da CO_2-koncentration i stuen højst afviger 4,7% fra CO_2-koncentrationen i køkkenalrummet.



Figur 13.14 – *Sammenligning af CO_2-koncentration i Langøvænget 8, for middeldøgn*

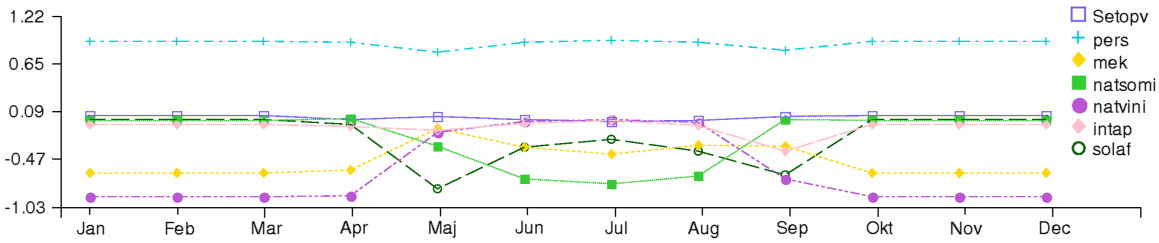
Tilsvarende resultater af SiByB simuleringen i henhold til kategorierne i DS/EN 15251 er vist i figur 13.15.

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Middel	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II
5 % fraktil	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I
95 % fraktil	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. III

Figur 13.15 – *Kategorisering af SiByB resultaterne i henhold til DS/EN 15251*

Sammenligningen viser stor overensstemmelse mellem målingerne for middelkoncentrationen i køkkenalrummet og SiByB simuleringen, hvor målingerne ligger indenfor 5% og 95% fraktilen for SiByB simuleringen med undtagelse af december. Forskellene fra målingerne i forhold til BSim og SiByB om vinteren kan skyldes anderledes brugeradfærd i forhold til den naturlige ventilation. Ydermere kan dette skyldes, at middelværdien af den naturlige ventilation i SiByB, som tidligere nævnt, er fastlagt til $0,14 l/s \ pr. \ m^2$, hvorimod en blowerdoor test foretaget på huset viste at infiltrationen er $0,098 l/s \ pr. \ m^2$. Faldet i CO_2-koncentrationen om sommeren skyldes den forøgede luftmængde fra den naturlige ventilation. CO_2-koncentrationen i tidsperioden omkring slutningen af foråret og starten af efteråret, er derfor meget influeret af rumluftstemperaturen i boligen, da denne har indflydelse på hvorvidt luftmængden fra den naturlige ventilation forbliver på et minimum eller forøges grundet høje temperaturer. Det skal derfor understreges, at brugeren af SiByB ved anvendelse af resultaterne skal være klar over sammenhængen mellem beregningen af det termiske og atmosfæriske indeklima, samt det faktum at beregningerne udelukkende er overslagsberegninger for indeklimaet.

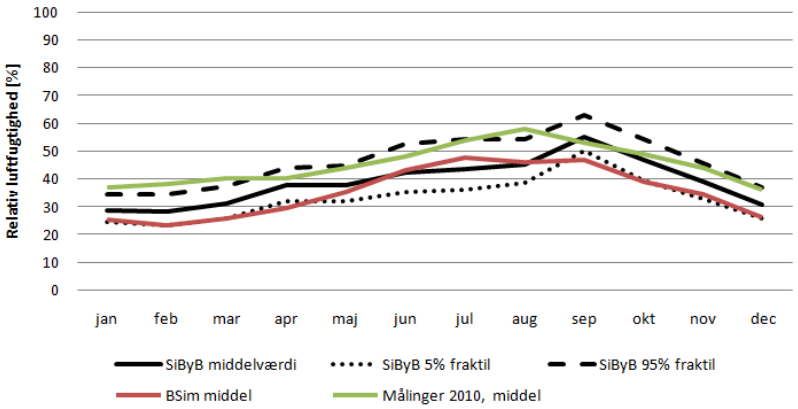
En sensitivitetsanalyse er foretaget for at identificere de mest indflydelsesrige parametre for CO_2-koncentrationsberegningen i SiByB. I bilag Q.6 er der foretaget en sammenligning af sensitivitetsanalyserne. Grundet vægtningen af den naturlige ventilation udenfor opvarmningssæsonen baseres sensitivitetsanalysen på den partielle rankeringskorrelationskoefficient, PRCC. Figur 13.16 viser sensitivitetsanalysen for CO_2-koncentrationen for Langøvænget 8.



Figur 13.16 – *Sensitivitetsanalysen af CO_2-koncentrationen for middeldøgnet for Langøvænget 8.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater, solaf: Solafskærmningsfaktor*

Sensitivitetsanalysen giver et klart billede af, at antallet af personer og luftmængden fra både den naturlige og mekaniske ventilation som forventet, er de mest indflydelsesrige parametre i CO_2-koncentrationsberegningen. I sommermånederne juni-august giver solafskærmningen ligeledes et lille udslag, hvilket skyldes solafskærmningens store påvirkning på rumluftstemperaturen, som er den styrende faktor for størrelsen af luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren. Analysen illustreret i figur 13.8 viser dog lidt underlige resultater i maj og september, da det interne varmetilskud fra apparater giver udslag, mens solafskærmningen viser sig som en afgørende faktor i beregningerne. Disse resultater tyder på problemer i sensitivitetsanalysen i overgangsperioden for forår/efterforår, når opvarmningssæsonen starter og slutter. Det skal bemærkes i denne analyse, at en forøgelse af luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren nedsætter CO_2-koncentrationen, mens samme forøgelse vil medføre en kraftig forøgelse i varmeforbruget og ikke mindst det totale energibehov, se figur 13.10 og 13.8. Ligeledes medfører en stigning i antallet af personer i vinterperioden en forøgelse af CO_2-koncentrationen, mens samme stigning er med til at nedbringe varmeforbruget om vinteren. De brugerrelaterede parametre kan altså have en dobbelt effekt i den henseende, at en ændring i parameteren kan have en positiv effekt på én faktor, men én negativ effekt på en anden.

I den følgende analyse af den relative luftfugtighed anvendes, ligesom forrige analyse af CO_2-koncentrationen, SiByB simuleringen for månedsmiddeludetemperaturen for middeldøgnet. Den relative luftfugtighed over året sammenlignet med BSim simuleringen og målingerne for år 2010 er vist i figur 13.17. Det skal igen bemærkes, at beregningerne af indeklimaet er overslagsberegninger, hvorfor resultaterne udelukkende indikerer, hvorledes indeklimaet i boligen er. Det er valgt ikke at vise målinger fra stuen i figur 13.17, men udelukkende fra køkkenalrummet, da den relative luftfugtighed i stuen højst afviger 8,3% fra den relative luftfugtighed i køkkenalrummet.



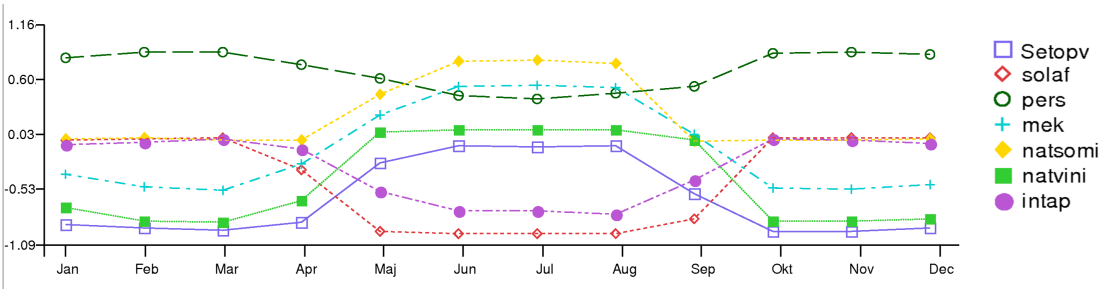
Figur 13.17 – *Sammenligning af den relative luftfugtighed i Langøvænget 8 for middeldøgn*

Tilsvarende kategorisering af SiByB simuleringen i henhold til DS/EN 15251 er vist i figur 13.18.

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Middel	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I
5% fraktil	Kat. III	Kat. III	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. II
95% faktil	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. III	Kat. II	Kat. I	Kat. I

Figur 13.18 – *Kategorisering af den relative luftfugtighed af SiByB simuleringen i henhold til DS/EN 15251*

Figuren viser stor overensstemmelse mellem målingerne og SiByB resultaterne. 95% fraktilen for SiByB har tendens til at følge målingerne, mens 5% fraktilen for SiByB følger middelværdien fra BSim. I figuren skal det påpeges, at det udelukkende er månedsmiddelværdier, der er anvendt, hvorfor de store udsving, som den relative luftfugtighed har, ikke viser sig. Figur 13.19 viser en sensitivitetsanalyse, der har til formål at fastlægge de mest indflydelsesrige parametre for den relative luftfugtighed. I bilag Q.6 er der foretaget en sammenligning af sensitivitetsanalyserne. Idet den partielle rankeringskorrelationskoefficient, PRCC, har tendens til, at tilskrive en mere jævn fordeling af parametrene indflydelse, hvor de resterende analyser udelukkende vægter to parametre som indflydelsesrige



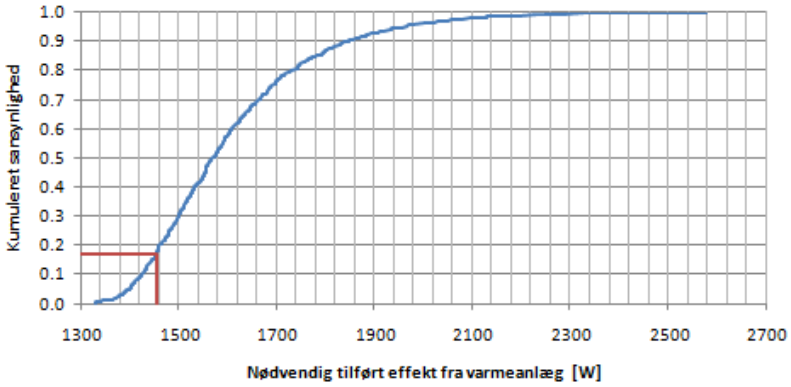
Figur 13.19 – *Sensitivitetsanalysen af den relative luftfugtighed for middeldøgn for Langøvænget 8.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Analysen viser igen en klar opdeling af indflydelsesrige parametre om sommeren henholdsvis vinteren. I vinterhalvåret har de tre parametre; antal personer, luftmængde fra den naturlige ventilation og setpunktstemperaturen størst indflydelse på den relative luftfugtighed i boligen, mens billedet er mere tvetydigt i sommerhalvåret. Luftmængden fra den mekaniske og naturlige ventilation om vinteren, har modsat effekt på den relative luftfugtighed i forhold til luftmængden fra ventilationssystemerne om sommeren. Dette skyldes selvfølgelig ændringen af den udendørs luftfugtighed over året. Det bemærkelsesværdige i analysen er solafskærmningens og det interne varmetilskuds indflydelse på den relative luftfugtighed om sommeren. Indflydelsen fra disse parametre er forholdsvis komplekse, da begge parametre også påvirker rumluftstemperaturen, se figur 13.13, og dermed luftmængden fra den naturlige ventilation. Eksempelvis vil en forøgelse af solafskærmningen medføre en lavere rumluftstemperatur, og dermed en højere relativ luftfugtighed om sommeren, mens en lavere rumluftstemperatur vil medføre en lavere luftmængde fra den naturlige ventilation, og dermed en lavere relativ luft-

fugtighed i boligen. Samme tendens viser sig for antallet af personer om sommeren, grundet parameterens påvirkning på rumluftstemperaturen, se figur 13.13

Rum Vinter

For *Rum Vinter* analyseres udelukkende beregningen af den nødvendige maksimumydelse fra varmeanlægget, når de brugerelaterede inputparameter for luftmængderne for den naturlige og mekaniske ventilation anvendes. De resterende brugerelaterede inputparametre har værdier i henhold til DS418. Figur 13.20 viser fordelingen af den nødvendige maksimumydelse simuleret i SiByB.



Nødvendig tilført effekt fra varmeanlæg	
Middel	1611 [W]
5 % fraktil	1400 [W]
95 % fraktil	1965 [W]
Spredning	182 [W]

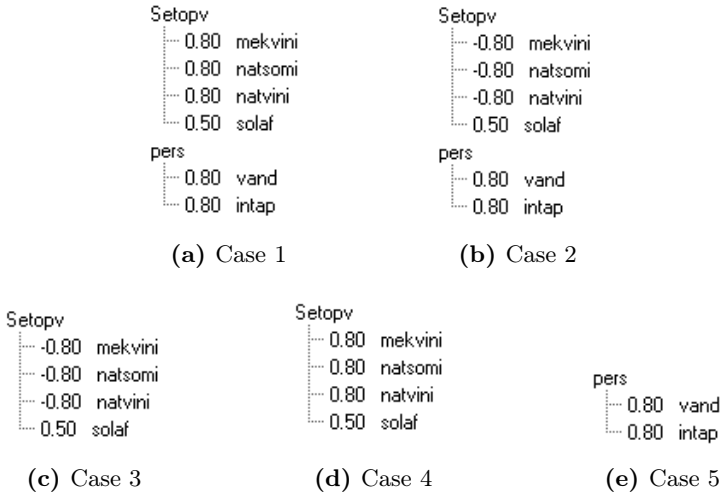
Figur 13.20 – *Den nødvendige maksimumydelse fra varmeanlægget for Langøvænget 8. Hvor den røde markering viser den nødvendige effekt i henhold til BR10.*

Simuleringen viser en forøgelse af ydelsen fra varmeanlægget med ca. 100% fra mindste til største ydelseskrav. Ydermere fremgår det af figur 13.20, jævnfør markeringen i forhold til BR10, at brugeradfærden påvirker den nødvendige effekt fra varmeanlægget ca. 100%. Denne betragtning påpeger endnu en gang vigtigheden af, at implementere brugeradfærden i energi- og indeklimaberegningerne.

13.4 SiByB simulering med korrelerede inputparametre

For at sammenligne indflydelsen af korrelationen mellem enkelte brugerrelaterede inputparametre på det totale energibehov, den relative luftfugtighed, rumluftstemperaturen og CO_2-koncentrationen er der foretaget fem SiByB simuleringer, hvor de brugerrelaterede parametre er indbyrdes korreleret. Der er i alt opstillet 5 cases med forskellige korreleringer af de brugerrelaterede inputparametre. Korrelationerne er foretaget på baggrund af undersø-

gelser af van Raaij og Verhallen [1983b], Gram-Hanssen [2003] og Gram-Hanssen [2005a]. Se bilag Q.7 for uddybende beskrivelse af korrelationerne. De fem cases er opstillet beskrevet i det følgende og vist i figur 13.21:



(a) Case 1 **(b)** Case 2 **(c)** Case 3 **(d)** Case 4 **(e)** Case 5

Figur 13.21 – *Cases for korrelerede parametre.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Antal personer, mekvini: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Case 1:
Korrelation mellem højt luftskifte og høj setpunktstemperatur, samtidig er et lavt luftskifte korreleret med lav setpunktstemperatur. Yderemere er et højt antal personer korreleret med et højt internt varmetilskud fra apparatur og et højt varmtvandsforbrug. I denne case korreleres også solafskærmningen med setpunktstemperaturen.

Case 2:
Korrelation mellem højt luftskifte og lav setpunktstemperatur samtidig er et lavt luftskifte korreleret med høj setpunktstemperatur. Antallet af personer, varmtvandsforbruget og det interne varmetilskud er korreleret på samme måde som i case 1. I denne case korreleres også solafskærmningen med setpunktstemperaturen.

Case 3:
Korrelation mellem højt luftskifte og lav setpunktstemperatur samtidig er et lavt luftskifte korreleret med høj setpunktstemperatur. I denne case korreleres også solafskærmningen med setpunktstemperaturen.

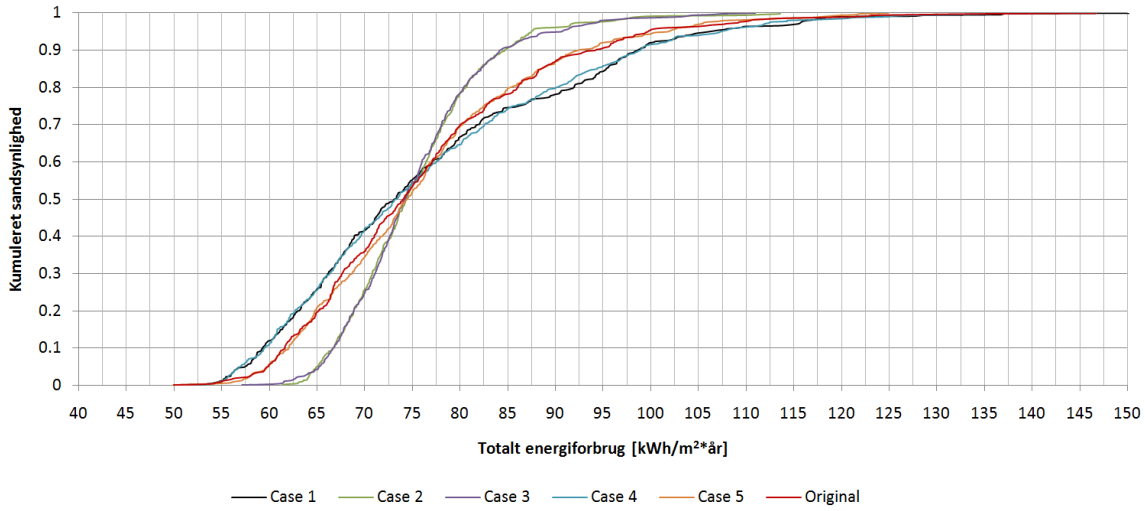
Case 4:
Korrelation mellem højt luftskifte og høj setpunktstemperatur, samtidig er et lavt luftskifte

korreleret med lav setpunktstemperatur. I denne case korreleres også solafskærmningen med setpunktstemperaturen.

Case 5:
Et højt antal personer er korreleret med et højt internt varmetilskud fra apparatur og et højt varmtvandsforbrug.

Idet der udelukkende fremgår nævneværdiger ændringer ved sammenligningen af det totale energiforbrug og den relative luftfugtighed, gennemgås disse i det følgende. For sammenligning af simuleringerne for rumluftstemperaturen og CO_2-koncentrationen, se bilag Q.7. Alle simuleringer er foretaget med månedsmiddelværdier for middeldøgnet.

Figur 13.22 viser fordelingerne af det totale energiforbrug for de fem cases samt den originale simulering. Tabel 13.1 viser de tilhørende middelværdier, spredninger, variationskoefficienter samt 5% og 95% fraktiler.



Figur 13.22 *– Fordelinger af det totale energiforbrug, hvor case 1-5 indeholder korrelerede brugerrelaterede inputparametre*

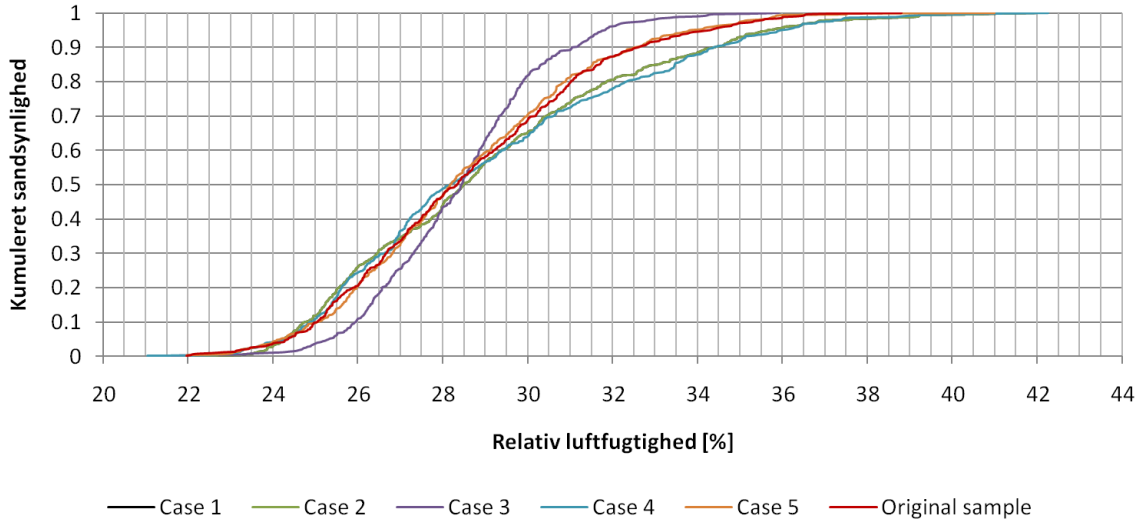
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Original
Middelværdi	76,1	76,7	75,3	75,3	76,7	76,1
Spredning	13,4	16,1	7,7	7,8	15,8	12,7
Variations-koefficient	17,6%	21,0%	10,2%	10,3%	20,62%	16,7%
5% fraktil	59,9	57,4	65,0	65,3	57,0	59,9
95% fraktil	99,7	106,1	87,5	90,6	107,3	101.8

Tabel 13.1 *– Sammenligning af nøgletal for de forskellige simuleringer. Energiforbrugene er givet i $[kWh/m^2$ pr. år$]$ med undtagelse af variationskoefficienten*

.

Sammenligningen viser, at det hovedsageligt er spredningen, der ændrer sig, mens der ikke sker nogen nævneværdig ændringer med middelværdierne. Ved en SiByB simulering ved brug af korrelerede brugerrelaterede inputparametre, er det essentielt at brugeren af SiByB er opmærksom på, at en korrelering af parametre vil få indflydelse på fordelingen af det totale energiforbrug. Brugeren skal ligeledes være opmæksom på, at ændringen af denne fordeling er afhængig af hvorledes de enkelte parametre korreleres samt hvilken korrelationskoefficient, der anvendes. For at benytte korrelerede inputparametre er det derfor nødvendigt, at have et tilstrækkeligt datagrundlag for korreleringen.

Figur 13.23 viser fordelingerne af den relative luftfugtighed for januar måned for de fem cases samt den originale simulering. På samme vis viser tabel 13.2 de tilhørende middelværdier, spredninger samt 5% og 95% fraktiler.



Figur 13.23 – *Fordelinger af den relative luftfugtighed, hvor case 1-5 indeholder korrellerede brugerrellaterede inputparametre. Simuleringerne er baseret på middeldøgn*

	Case 1	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4**	**Case 5**	**Original**
Middelværdi	28,6	29,0	28,4	28,4	29,0	28,6
Spredning	3,0	3,6	2,1	2,0	3,7	3,0
Variations-koefficient	10,6%	12,6%	7,39%	7,15%	12,86%	10,34%
5% fraktil	24,4	24,3	25,1	25,3	24,3	24,2
95% fraktil	34,3	35,7	32,1	31,8	36,0	33,8

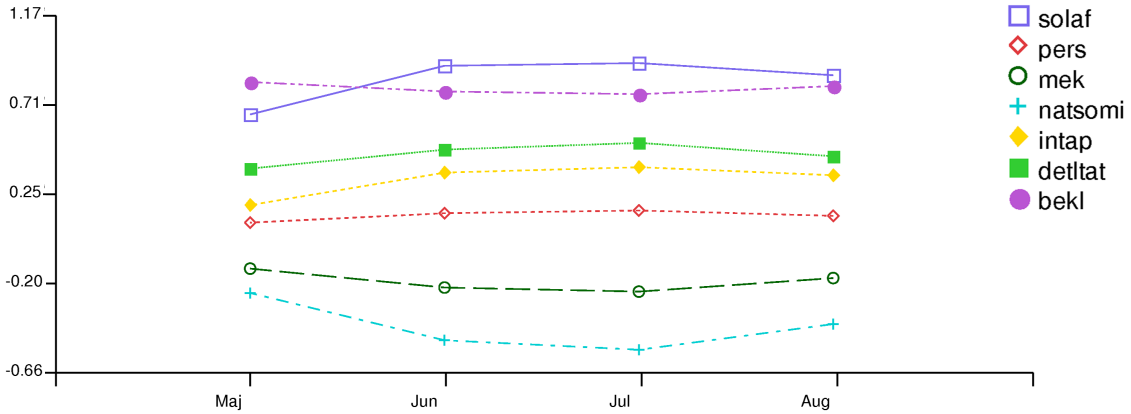
Tabel 13.2 – *Sammenligning af nøgletal for de forskellige simuleringer. Værdierne er givet i [%] med undtagelse af variationskoefficienten*

Sammenligningen af den relative luftfugtighed viser i nogen grad samme tendens som forrige sammenligning af det totale energiforbrug. Brugeren skal endnu en gang være opmæksom på, at der kan ske ændringer i fordelingen af den relative luftfugtighed, når de brugerrelaterede

inputparametre korreleres. Bemærk dog at ændringerne påvirkes af hvordan parametrene korreleres, samt hvilken korrelationskoefficient der anvendes.

13.5 Undersøgelse af den termiske oplevelse

Idet det termiske indeklima for brugerne af SiByB vil blive evalueret ved den termiske oplevelse, udtrykt ved PMV-indeks, ønskes det for Langøvænget 8 at undersøge sensitiviten af udvalgte inputparametre. Derfor er der foretaget en sensitivitetsanalyse med den partielle rankeringskorrelationskoefficient, PRCC. Analysen er vist i figur 13.24.



Figur 13.24 – *Sensitivitetsanalyse af den termiske oplevelse.* ***Signaturforklaring****; solaf: Solafskærmningsfaktor, pers: Varmetilskud fra personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater, detltat: Temperaturforskel mellem strålingstemperatur og lufttemperatur, bekl: Beklædningsisolansen*

Sensitivitetsanalysen viser at de to mest inflydelsesrige parametre er beklædningsisolansen samt solafskærmningen. I SiByB er beklædningsisolansen sat som fast parameter med to valgmuligheder, 1,0 clo eller 0,5 clo. Denne analyse viser altså vigtigheden af at undersøge netop beklædningsisolansen nærmere. Som forventet er solafskærmnignen også af stor betydningen grundet de store glasfacader. Ydermere ses det at den naturlige samt mekaniske ventilation er de eneste parametre der kan assistere med at nedbringe den termiske oplevelse fra varmt eller hedt til mere normale forhold. Analysen viser således at brugerne selv har stor mulighed for at tilpasse sig det termiske indeklima.

I forbindelse med beregningen af den termiske oplevelse i SiByB er temperaturforskellen mellem strålingstemperaturen og lufttemperaturen indsat som månedsvariable der indtastes af brugeren. I forbindelse med SiByB simuleringen for Langøvænget 8 er denne temperaturforskel sat til -1 i månederne november til februar, 1 i juni, juli og august og til 0 i de resterende måneder. Sensitivitetsanalysen af PMV-beregningen, tydeliggør vigtigheden af at denne parameter undersøges til bunds af brugeren, og illustrerer samtidig hvorfor denne ikke er sat som en fast variabel i SiByB.

Kapitel 14

Case: Stenagervænget 37

Nærværende kapitel gennemgår resultaterne af en SiByB simulering på Stenagervænget 37, Vejle. For at validere kvaliteten af simuleringen sammenlignes der med målinger samt en til formålet opstillet BSim model. Kapitlet starter med en kort beskrivelse af boligen. For yderligere forklaring henvises til Bilag R.

14.1 Bygningsbeskrivelse

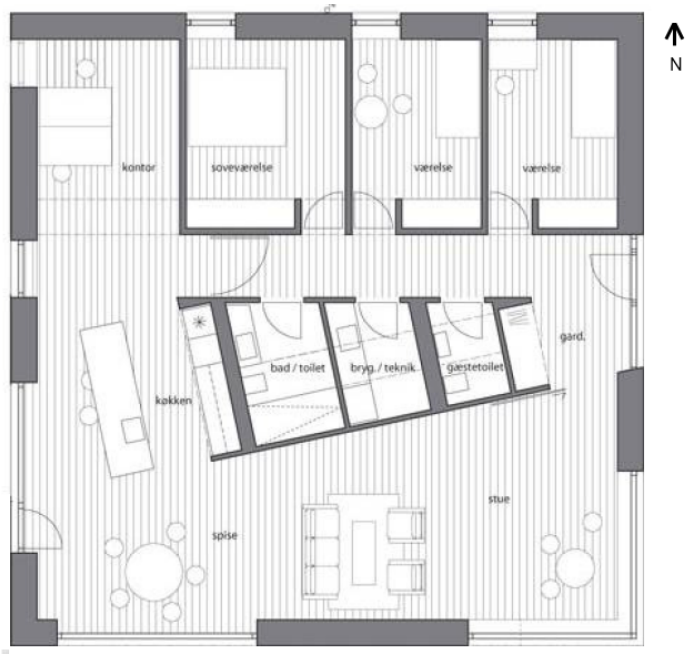
Stenagervænget 37, er en del af Komforthusene opført i Skibet, Vejle. Huset er kvadratisk, og i midten er der placeret en betonkerne, der rummer badeværelse og toilet samt teknikrum. Huset består udover betonkernen af 3 værelser samt et stort køkkenalrum, der også rummer stuen samt boligens kontor. Boligen er opført som en familiebolig, og det er derfor interessant at se hvorledes SiByB simuleringen evaluerer indeklimaet og energiforbruget under hensyntagen til brugernes adfærd. Figur 14.1 og 14.2 illustrerer boligen, ligesom der i figur 14.3 plantegningen af boligen.

(a) Køkkenet på Stenagervænget 37, efter [Larsen, 2010]

(b) Stuen på Stenagervænget 37, hvor betonkernen ses til venstre, efter [Larsen, 2010]

Figur 14.1 *– Stenagervænget 37 set indefra [Larsen, 2010]*

Figur 14.2 – *Huset set fra Syd-Vest [Larsen, 2010]*



Figur 14.3 – *Plantegning af huset [Larsen, 2011]*

Boligen opvarmes gennem det mekaniske ventilationsanlæg, hvor der af komfortmæssige hensyn er installeret gulvvarme i badeværelserne. Det mekaniske ventilationsanlæg er behovsstyret, og reguleres efter rumluftstemperaturen samt den relative luftfugtighed. Ved hvert indblæsningsarmatur er der installeret eftervarmeflade for at sikre den individuelle rumtemperaturregulering. Gulvvarmen bliver opvarmet ved hjælp af en jordvarmepumpe. Grundet manglende opvarmningskapacitet i ventilationsanlægget bliver et varmeanlæg ligeledes koblet til denne varmepumpe. Det varme brugsvand opvarmes af en luft til vand varmepumpe. [Isover a Brand of Saint-Gobain, 2009]

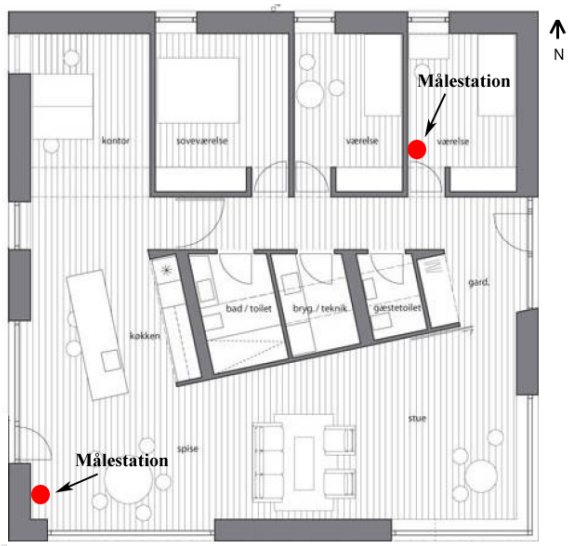
14.2 Indledende betragtninger til validering af SiByB

Resultatbehandlingen af Stenagervænget 37 har til formål at validere konceptet SiByB i henhold til kapitel 12. Der gøres opmærksom på, at samtlige indeklimaberegninger i SiByB er baseret på månedsmiddelværdier, og derfor udelukkende kan anvendes som overslagsberegninger for det faktiske indeklima i boligen. Brugeren kan altså ikke anvende simuleringen til at eftervise det faktiske indeklima ej heller anvende simuleringen til at vurdere hvorvidt indeklimaet i boligen er tilfredsstillende. Simuleringen giver udelukkende en svag indikation af hvorlede indeklimaet er midlet over måneden. Arealet, der i SiByB anvendes til *Rum Sommer* og *Rum Vinter*, er vist på figur 14.4.

Figur 14.4 – *Visualisering af de kritiske rum*

I valideringen af SiByB sammenlignes resultaterne af SiByB simuleringen med en BSim model samt målinger foretaget på boligen. Bilag R.1-R.3 gennemgår inputdata til SiByB beregningen, opbygningen af BSim modellen, ydermere gives der en kort præsentation af målingerne. Sammenligningen mellem SiByB, BSim og målingerne sker ved månedsmiddelværdier. Således vil de time- og dagsværdier, der er tilgængelige for BSim-modellen samt målingerne ikke blive anvendt umiddelbart.

Målepunkterne for *Rum Sommer* henholdsvis *Rum Vinter*, er vist på figur 14.5. Heraf fremgår det, at disse punktmålinger udelukkende er repræsentative for det aktuelle målepunkt og dermed ikke giver et repræsentativt billede af det faktiske indeklima i hele rummet.



Figur 14.5 – *Målepunkter på Stenagervænget 37*

Resultatbehandlingen sker for energiforbruget og indeklimaet respektivt. Valideringen af energiforbruget omfatter en sammenligning mellem SiByB målinger for energiforbruget til rumopvarmning. Yderligere ses der nærmere på det totale energiforbrug, her er der dog ikke resultater tilgængelige til en sammenligning, men der foretages en sensitivitetsanalyse for at identificere de mest indflydelsesrige faktorer.

I bilag R.4 er en sammenligning foretaget mellem en energiberegning af Stenagvænget 37 i Be10 og i regnearksversionen, for at klarlægge eventuelle forskelligheder. Sammenligningen viser en forskel på 0,7% på det totale energiforbrug, forskellen skyldes unøjagtigheder i forbindelse med afrunding af decimaltal. Disse giver dog ikke anledning til større uoverensstemmelse.

I bilag R.5 er der foretaget en sammenligning af vejrdataene for en vejrstation placeret i området ved Komforthusene samt vejrdataene anvendt i SiByB. Sammenligningen viser godt overenstemmelse mellem udettemperaturen samt den relative luftfugtighed, hvorfor det vurderes at SiByB simuleringen kan foretages med vejrdatasættene fra DRY og TRY. Der bemærkes at SiByB simuleringen er foretaget med en samplestørrelse på 500, jævnfør bilag P.

Slutteligt påpeges det at der i forbindelse med målingerne for Stenagervænget 37 ikke har været brugbart måledata tilgængeligt for et samlet år, da boligen var ubeboet i april og maj 2010. Herudover har der vist sig problemer med CO_2-målingerne fra juni til december 2010, da disse målinger ligger utrolig højt. Ved nærmere undersøgelse af december 2010 er det tydeligt at der d. 4. december opsættes nyt måleudstyr. På baggrund af den justering der sker, er det fundet at der ved at korrigere måledataene hver måned, vil kunne fås nogenlunde brugbart data. Dog skal det påpeges at valideringen af CO_2-koncentrationen skal anvendes med omhu, se bilag R.3.

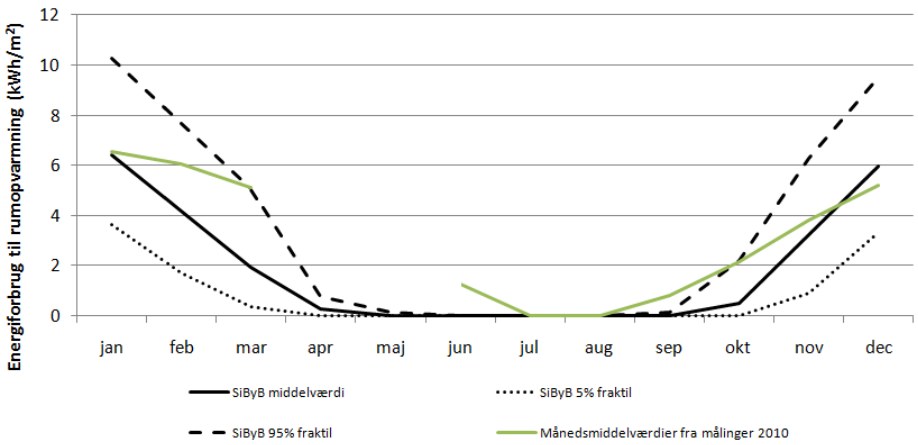
14.3 SiByB simulering

Dette afsnit gennemgår resultaterne fra SiByB simuleringe til Stenagervænget 37 samt de tilhørende sensitivitetsanalyser. For indeklimaet gennemgås to simuleringer baseret på månedsmiddelværdier for vejrdata for middeldøgn[7] og maksdøgn[8]. SiByB simuleringerne forefindes på Bilags-CD'en, *S37_ middel.xlsm* og *S37_ maks.xlsm*.

14.3.1 Energiforbrug

Valideringen af energiberegningsdelen i SiByB foretages udelukkende på baggrund af energiforbruget til opvarmning, da der kun er tilstrækkeligt med måledata tilgængeligt for denne parameter, dog foretages en sensitivitetsanalyse på det totale energiforbrug for at identificere de mest indflydelsesrige parametre.

Energiforbruget til rumopvarmning på månedsbasis er vist i figur 14.6. Her er middelværdien samt 5% og 95% fraktilen for SiByB simuleringen sammenlignet med målinger for energiforbruget til rumopvarmningen for år 2010[9]. Afbrydelsen af målingerne skyldes, at boligen ikke var beboet i månederne april og maj.



Figur 14.6 – *Sammenligning af energiforbruget til rumopvarmning for Stenagervænget 37*

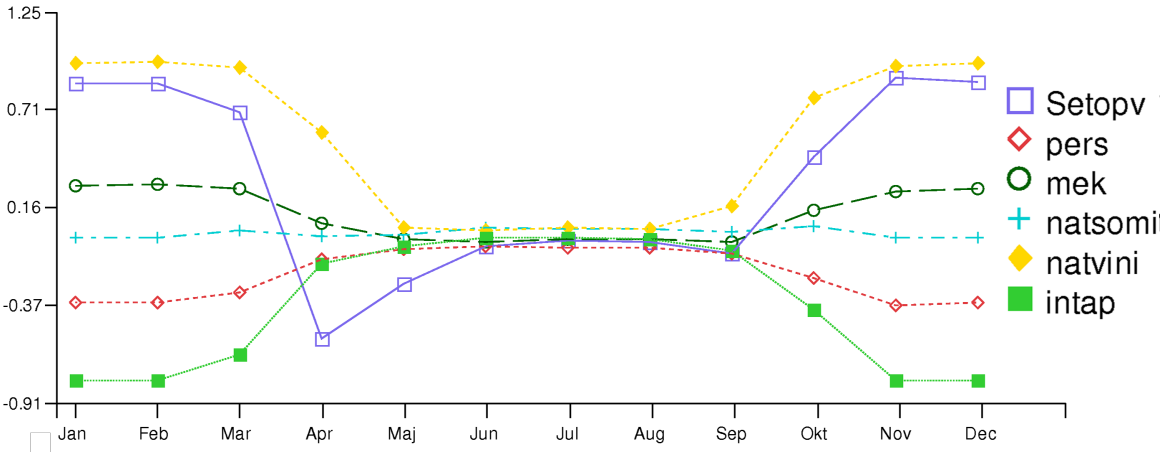
[7]Månedmiddeltemperaturen for middeldøgnet er fundet på baggrund af de målinger, der ligger til grund for TRY, hvor i alt 15 års målinger foreligger. Temperaturen er fundet ved at finde månedsmiddeltemperaturen for middeldøgn for hver måned i de 15 år, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for middeldøgnet.

[8]Månedsmiddelstemperaturen for maksdøgnet for udetemperaturen er fundet på baggrund af de målinger, der ligger til grund for TRY, hvor i alt 15 års målinger foreligger. Temperaturen er fundet ved at finde månedsmiddeltemperaturen for maksimumdøgn for hver måned i de 15 år, hvorefter et gennemsnit af hver enkel måned giver temperaturen, der anvendes som månedsmiddeltemperatur for maksdøgnet.

[9]I Stenagervænget 37 var der i 2010 installeret elradiatorer i boligen, grundet for lav opvarmningskapacitet i det mekaniske ventilationsanlæg. Samtidig med at elradiatorerne installeres, viser målingerne for det totale elforbrug en kraftig stigning i forbruget, hvilket tilskrives elforbruget til rumopvarmningen. Dette ekstra forbrug til rumopvarmning per måned er fundet i bilag R.3.1 og giver følgende tillæg; januar = 435kWh, februar = 370kWh, november = 170kWh og december = 500kWh. Disse tillæg er lagt ind i figur 14.6

Figur 14.6 viser, at SiByB simuleringen definerer opvarmningssæsonen gældende fra januar-april og igen fra september-december. Hvorved der, ifølge SiByB simuleringen, ikke er noget energiforbrug til rumopvarmningen i månederne maj-august. Målingerne derimod viser, at det udelukkende er i juli og august, at der ikke er noget energiforbrug til rumopvarmningen. Umiddelbart kan denne tendens tyde på, at det målte temperaturniveau ligger over setpunktstemperaturniveauet for rumopvarmningen i SiByB simuleringen. Dette stemmer da også overens, da middelværdien for setpunktstemperaturen for rumopvarmningen i SiByB simuleringen er sat til $21,23°C$, mens middeltemperaturen for målingerne i opvarmningssæsonen er målt til $22,0°C$. Hovedparten af forskellen mellem det beregnede og målte energiforbrug tilskrives brugernes adfærd i forhold til opvarmning af boligen. Som det fremgår af beskrivelsen af boligen og dens installationer, er der installeret gulvvarme på badeværelserne, hvilket beboerne har slået til af komfortmæssige hensyn i alle månederne med undtagelse af juli og august. Brugernes opfattelse af komfort indebærer i dette tilfælde at gulvvarmen i badeværelserne er tændt næsten hele året rundt, hvilket medfører et forøget energibehov til rumopvarmning gennem størstedelen af året.

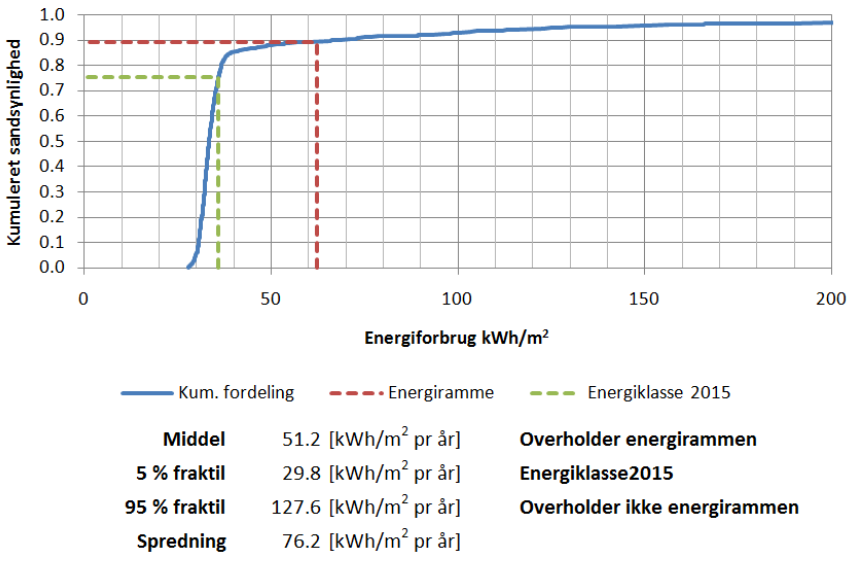
For at identificere de vigtigste parametre i energiforbruget til rumopvarmningen foretages en sensitivitetsanalyse af SiByB simuleringen. I bilag R.6 er de respektive sensitivitetsanalyser sammenlignet. Denne sammenligning illustrerer, at den mest sandsynlige sensivitivetesanalyse er foretaget ved at anvende den partielle rankeringskorrelationskoefficient, PRCC. Det vurderes at PRCC giver en mere sandsynlig vægtning af setpunktstemperaturen for rumopvarmningen end PCC. Ydermere giver PRCC en mere sandsynlig vægtning af antallet af personer og det interne varmetilskud end de resterende analyser, hvilke ikke vægter dem nævneværdigt. For yderligere forklaring, henvises til bilag R.6.



Figur 14.7 – *Sensitivitetsanalyse af energiforbruget til rumopvarmning for Stenagevænget ved brug af partialrankerinskorrelationskoefficienter, PRCC.* ***Signaturforklaringen****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, pers: antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen viser, at den naturlige ventilation om vinteren[10] sammen med setpunktstemperaturen for rumopvarmningen er de vigtigste parametre. Dette stemmer godt overens med undersøgelserne af Brohus et al. [2010], Brohus et al. [2009], Guerra-Santin og Itard [2010], Larsen og Brunsgaard [2010] og van Raaij og Verhallen [1983b], der viser, at boligens temperatur har en markant indvirkning på boligens totale energiforbrug. Ligeledes finder Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010] at luftmængden fra den naturlige ventilation har markant indflydelse på det totale energiforbrug. Ydermere tilskrives den interne belastning fra apparatur[11], jævnfør figur 14.7 væsentlig betydning. Dette stemmer godt overens med forventningen om, at en øget interne varmebelastning fra apparatur vil have en moderat betydning for rumopvarmningen i forhold til at sænke energiforbruget. Dette er tidligere undersøgt af [Brohus et al., 2010], der finder at de mest sensitive parametre, er relateret til brugernes adfærd i forhold til henholdsvis setpunktstemperaturen, brugernes varmebelastning samt naturlig ventilation og infiltration.

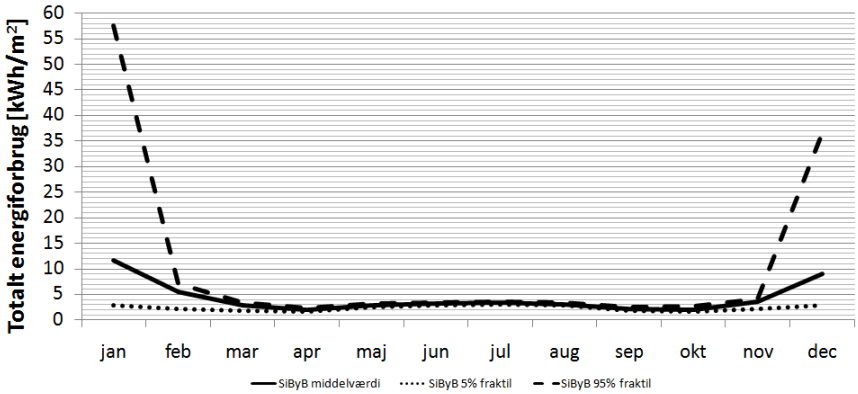
Simuleringen af det totale energiforbrug på årsbasis og månedsbasis i SiByB er illustreret i figur 14.8 og 14.9. En beregning foretaget med inputværdierne til myndighedsgodkendelse, i henhold til DS 418 og BR10, viser, at det totale energibehov er $27,4 kWh/m^2 pr.år$, hvilket ligger under 5% fraktilen for det totale energibehov for SiByB simuleringen, se figur 14.8. Fordelingen af det totale energiforbrug for Stenagervænget 37 er vist i figur 14.8 og figur 14.9 viser energiforbruget på månedsbasis.



Figur 14.8 – *Kumuleret sandsynlighed for det totale energibehov på årsbasis*

[10] I luftmængden fra den naturlige ventilatio om vinteren indgår ligeledes infiltrationen

[11] Varmetilskuddet fra personer bliver ikke direkte indsat i energiberegningerne, men beregnes ud fra antallet af personer.

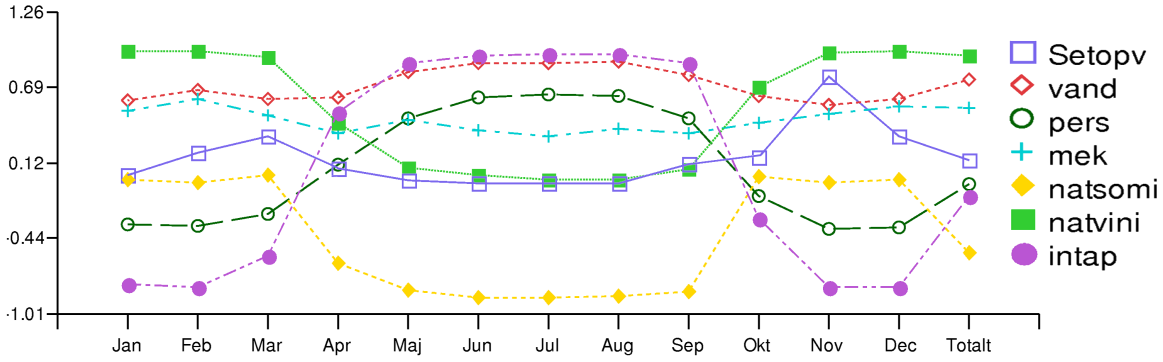


Figur 14.9 *– Det totale energiforbrug for Stenagervænget 37 for en SiByB simulering*

Figur 14.9 viser, at der i opvarmningssæsonen specielt januar og december, er et ekstremt højt energiforbrug for 95% fraktilen, dette kan skyldes at varmepumpen i stenagervænget 37 har en vis kapacitet, og i de tilfælde hvor denne ikke længere har tilstrækkelig effekt, vil boligen blive opvarmet med el.

Opvarmning med el, giver hurtigt et ekstremt højt energiforbrug idet energiforbrug fra el multipliceres med en primær energifaktor på 2,5, hvilket også forklarer knækket på kurven i figur 14.8 samt de ekstreme forbrug i januar og februar i figur 14.9. Se bilag R.3.1 for yderliger oplysninger. Andersen [2009] finder at brugernes adfærd kan medføre en variation på energiforbruget på op mod ca. 330%, hvor SiByB simuleringen viser en variation på faktor 7 fra mindste til største energiforbrug. Som nævnt tidligere skyldes den store variation i energiforbruget, at boligen på enkelte tidspunkter opvarmes med el. Udenfor opvarmningssæsonen, dvs. månederne maj til august, opserveres ikke stor variation mellem middelværdien, 5% og 95% fraktilen, hvilket skyldes rumopvarmningens store andel af det totale energiforbrug. Dog viser en forøgelse af energiforbruget sig om sommeren, grundet overtemperaturstraffen fra energiberegingen. En antagelse, foretaget i energiberegningerne, henholder sig til brugernes tilstedeværelse i boligen, hvilket har stor betydning for energiforbruget jævnfør Guerra-Santin og Itard [2010] og van Raaij og Verhallen [1983b]. I SiByB antages en brugstid på 168h/uge, hvilket giver et forvrænget billede af virkeligheden. Brugernes tilstedeværelse i boligen er stærk påvirket af hvilke personer, der bor i boligen. Har de arbejde? Hvor lang er deres arbejdesuge? Har de børn? Har de fritidsinteresser? Rejser de meget? osv. Det faktum, at brugstiden ikke bliver anset som en brugerrelateret inputparameter, må således anses som en klar svaghed for simuleringen af brugernes adfærd. Således vil en implementering af beboernes faktiske ophold i boligen have en positiv indvirkning på implementeringen af brugeradfærden.

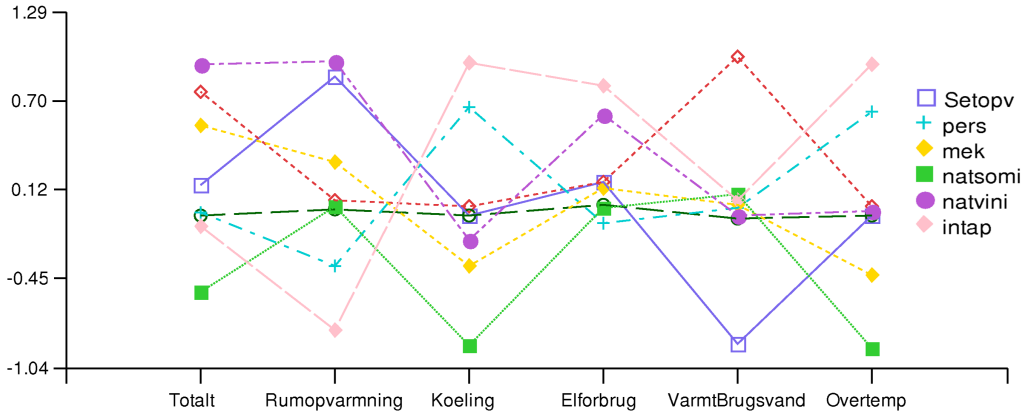
For at identificere de mest indflydelsesrige parametre på det totale energiforbrug foretages en sensitivitetsanalyse. I bilag R.6 er sensitivitetsanalyserne sammenlignet. Sammenligningen viser, at PRCC vægter indflydelsen fra setpunktstemperaturen som værende nul, mens dette ikke er tilfældet med de resterende analyser. Ligeledes tilskriver PRCC specielt varmtvandsforbruget og luftmængden fra den mekaniske ventilation større betydning, mens de resterende parametre ikke tilskrives nævneværdig indflydelse. PRCC anses derfor at foretage den mest sandsynlige sensitivitetsanalyse, hvorfor denne gennemgås i det følgende.



Figur 14.10 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug for energiberegningen i SiByB for Stenagervænget 37.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen af det totale energiforbrug viser, med undtagelse af setpunktstemperaturen samt vandforbruget de samme resultater i opvarmningssæsonen som ved energiforbruget til rumopvarmningen.

Det synes besynderligt, at setpunktstemperaturen ikke tildeles nogen betydning for det totale energiforbrug i opvarmningssæsonen. Derfor er der foretaget en yderligere sensitivitetsanalyse af de respektive energiforbrugs bidrag til det totale energiforbrug, se figur 14.11



Figur 14.11 – *Sensitivitetsanalyse for nøgleområderne i energiberegningen ved brug af PRCC.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Denne figur påviser, at setpunktstemperaturen for rumopvarmningen har stor negativ betydning for energiforbruget til varmt brugsvand og stor positiv betydning for energiforbruget til rumopvarmning. Dermed udligner dette sig i de måneder hvor der er et behov for rumopvarmning. Analysen af setpunktstemperaturens indflydelse på energiforbruget til det varme brugsvand anses dog ikke for værende korrekt, hvorfor setpunktstemperaturens indflydelse på det totale energiforbrug umiddelbart burde være større end det fremkommer på figur 14.10. Fokuseres der på de andre brugerrelaterede parametre, ses det, at det om sommeren er den naturlige ventilation, den interne varmebelastning samt forbruget af varmt brugsvand, der har størst betydning for det totale energiforbrug.

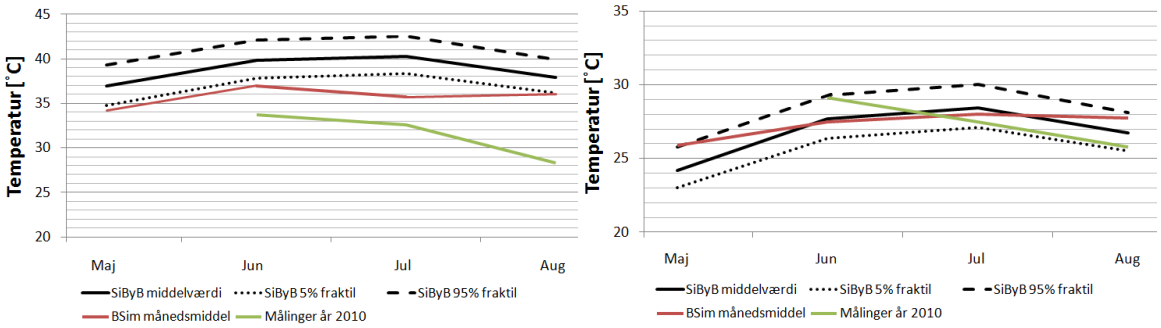
Ved analysen af det totale energiforbrug beregnet på årsbasis fremstår luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren og om vinteren som de vigtigste parametre, hvilket stemmer overens med resultaterne i Brohus et al. [2009] og Brohus et al. [2010]. Setpunktstemperaturen har dog en langt mindre indflydelse end forventet, hvilket skyldes sensitivitetsanalyse af parameterens indflydelse på energiforbruget til det varme brugsvand.

14.3.2 Indeklima

Resultatbehandlingen af indeklimaet på Stenagervænget 37 omfatter såvel termisk som atmosfærisk indeklima. Der ses nærmere på overtemperaturer i den sydvendte stue samt køkkenalrummet. Dette rum er defineret som *Rum Sommer*. I *Rum Vinter*, det nordvendte soveværelse, undersøges den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget.

Rum Sommer

Resultatet af rumluftstemperaturen for såvel målinger, BSim resultater samt SiByB simuleringen er illustreret i figur 14.12. Rumluftstemperaturen er udelukkende vist udenfor opvarmningssæsonen i SiByB i månederne maj til august. Beregningerne af rumluftstemperaturen er udelukkende overslagsberegninger, hvor der vises resultater for månedsmiddelværdierne for henholdsvis middel og maksimumsdøgn. Overslagsberegningerne kan udelukkende anvendes som indikator for rumluftstemperaturen, og er dermed ikke direkte sammenlignelig med de faktisk forhold i boligen. Beregning af det termiske indeklima i boligen medfører altså, at temperaturene vist på figurene vil være lavere end dem brugerne vil opleve, når er til stede i boligen.



(a) Rumluftstemperatur for maksimumsdøgn

(b) Rumluftstemperatur for middeldøgn

Figur 14.12 *– Sammenligning af temperaturprofiler for Stenagervænget 37*

Figur 14.12 viser, at resultaterne for middeldøgnet stemmer bedre overens med såvel BSim resultaterne som målingerne end det er tilfældet for maksimumsdøgnet. Af figur 14.12b ses det, at rumluftstemperaturen jævnfør målingerne på Stenagervænget ligger omkring de $25-28°C$ fra juni-august. Resultaterne fra SiByB simuleringen ligger ligeledes i dette interval. Forskellen mellem temperaturerne for sammenligningen af maksdøgnet kan, i store træk, tilskrives brugernes adfærd. I simuleringerne af det termiske indeklima for maksdøgnet og middeldøgnet antages det, at brugernes adfærd er ens i forhold til de brugerrelaterede parametre. Dette er dog en kraftig simplificering, da brugernes adfærd umiddelbart afhænger af den individuelle opfattelse af den termiske komfort, samt det faktiske komfortniveau i boligen. Eksempelvis vil anvendelsen af udluftning af boligen ved en rumluftstemperatur på $25°C$ være afhængig af hvilken beboer, der opholder sig i boligen, mens det må antages at udluftningen er på det maksimale ved en rumluftstemperatur på $40°C$ for alle beboere, der befinder sig i boligen. Simuleringerne i SiByB viser derfor en meget højere rumluftstemperatur end målingerne.

Sammenlignes den termiske oplevelse for middeldøgnet med maksimumsdøgnet, jævnfør figur 14.13b, er det tydeligt at den termiske oplevelse for middeldøgnet er bedre end for maksimumsdøgnet. Dette skyldes at der for maksimumsdøgnet, til trods for den i forvejen lille beklædningsisolans, opnås den termiske oplevelse "Hedt"i månederne maj-september. Problemet med beregningen af den termiske oplevelse er, at SiByB antager en konstant værdi af beklædningsisolansen. SiByB tager derfor ikke hensyn til brugernes mulighed for at tilpasse sig det termiske indeklima ved hjælp af en varierende beklædningsisolans, hvilket ses som en klar begrænsning af programmet. I afsnit 13.5 er der foretaget en sensitivitetsanalyse på en PMV-beregning, hvor det blev fundet at beklædningsisolansen var en af de to mest indflydelsesrige parametre i beregningen. Dette stemmer overens med undersøgelserne af Brunsgaard et al. [2011], som viser at beboere om sommeren tilpasser sig det termiske indeklima ved brug af naturlig ventilation og varierende beklædningsisolans.

	Maj	Jun	Jul	Aug
Middel	Let kølig	Neutral	Neutral	Neutral
5% fraktil	Let kølig	Neutral	Neutral	Neutral
95% fraktil	Neutral	Neutral	Let varm	Neutral

(a) Termisk oplevelse for middeldøgnet

	Maj	Jun	Jul	Aug
Middel	Hedt	Hedt	Hedt	Hedt
5% fraktil	Hedt	Hedt	Hedt	Hedt
95% fraktil	Hedt	Hedt	Hedt	Hedt

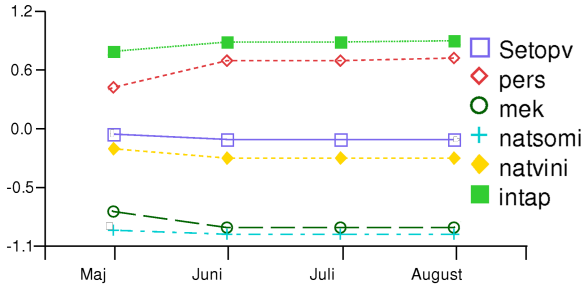
(b) Termisk oplevelse for maksimumsdøgnet

Figur 14.13 – *Resultater for den termiske oplevelse i Rum sommer for Stenagervænget 37*

Umiddelbart viser resultaterne af sammenligningen mellem SiByB, BSim samt målingerne i figur 14.12 at SiByB vil være i stand til at simulere rumluftstemperaturen på tilfredsstillende vis. Ses der på den procentvise afvigelse samlet over månederne april-september har BSim resultaterne en afvigelse på 3,7% og SiByB har en gennemsnitlig afvigelse på 6,2% over tilsvarende periode for middeldøgnet. Brugerne af SiByB skal dog være opmærksom på at resultaterne for temperaturberegningerne vil være lavere end temperaturerne brugerne vil opleve, når de opholder sig i hjemmet. Simuleringerne kan derfor ikke direkte anvendes til at vurdere det termiske indeklima i boligen.

Idet resultaterne af SiByB simuleringen i høj grad afhænger af de brugerrelaterede parametre, ønskes det at foretage en sensitivitets analyse for rumluftstemperaturen. Denne sensitivitetsanalyse har til formål at klarlægge hvilke aspekter af brugeradfærden, der kræver et særligt fokus fra de rådgivende ingeniør i forbindelse med evalueringen af rumluftstemperaturen i det kritiske *Rum Sommer*. Der er foretaget sensitivitetsanalyser for både middeldøgnet og maksimumsdøgnet, begge analyser viser jævnfør bilag R.6 de samme resultater, hvorfor der i nærværende afsnit udelukkende gennemgås sensitivitetsanalysen for middeldøgnet.

Sensitivitetsanalyserne er sammenlignet i bilag R.6. Sammenlignerne viser at analysemetoderne baseret på PCC og PRCC vægter indflydelsen fra luftmængden fra den mekaniske ventilation og antallet af personer højere end de resterende analysemetoder, som ikke viser nogen nævneværdig indflydelse fra disse parametre. Dertil vægter PCC indflydelsen fra antallet af personer og det interne varmetilskud ens, mens PRCC har en væsentligt forskel mellem disse to parametre. På baggrund af disse betragtninger anvendes sensitivitetsanalysen baseret på PCC, til at analysere rumluftstemperatursimuleringen. Resultatet af sensitivitetsanalysen fremgår af figur 14.14.



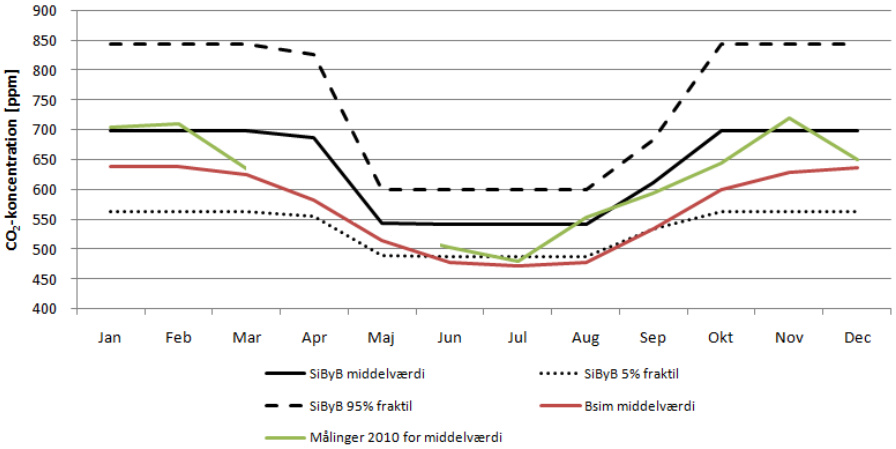
Figur 14.14 – *Sensitivitetsanalysen af rumluftstemperaturen for sommermånederne for middeldøgnet i Stenagervænget 37.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, vand: Varmtvandsforbrug, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen af det termiske indeklima viser tydeligt, at den naturlige ventilation sammen med den interne varmebelastning fra apparatur er de mest indflydelsesrige brugerrelaterede parametre. I kapitel 5 er undersøgelser vedrørende Komforthusene gennemgået, her blev betydningen af den naturlige ventilation endnu en gang fremhævet som en af de vigtigste parametre for at undgå overophedning. Ligeledes blev behovet for integreret solafskærmning fremhævet, men idet der anvendes fastlagte solafskærmningsfaktoren i denne SiByB simulering er solafskærmningen og dennes betydning for indeklimaet ikke undersøgt nærmere for nærværende validering. Derudover viser sensitivitetsanalysen også, at den mekaniske ventilation kan være med til at opretholde et tilfredsstillende termisk indeklima, idet denne parameter kan øge luftskiftet i boligen.

Til at validere det atmosfæriske indeklima vælges det at benytte månedsmiddelværdierne for middeldøgnet. Dette skyldes, at middeldøgnet vil give de mest sandsynlige resultater, jævnfør den termiske oplevelser illustreret i figur 14.12. Ydermere skyldes dette, at der i situationer med så høje temperaturer, som det er tilfældet ved maksimumsdøgnet, regnes med forøget ventilation. Den forøgede luftmængde i SiByB skyldes en antagelse om, at brugerne øger udluftningen ved en bestemt setpunktstemperatur. Antagelsen er valgt på baggrund af beregningsmetoden anvendt i energiberegningsdelen, se bilag H.1.2.

CO_2-koncentrationen for middeldøgnet over året fra SiByB simuleringen er i figur 14.15 sammenlignet med resultaterne fra BSim samt målinger fra 2010[12]. Figuren viser således resultaterne for stuen samt køkkenalrummet. Tilsvarende kategorisering i henhold til DS/EN 15251 på baggrund af SiByB simuleringen er vist i figur 14.16. Som tidligere nævnt baseres beregningerne af CO_2-koncentrationen på månedsmiddelsværdier for middeldøgnet, hvorfor indeklimaberegningerne kun giver en svag indikation af hvordan brugerne oplever indeklimaet. Resultaterne fra simuleringerne giver altså en mindre CO_2-koncentration end beboerne oplever den, når de er tilstede i boligen og kan dermed ikke direkte anvendes til at vurdere indeklimaet i boligen, når brugerne er hjemme.

[12]Der er korrigeret for fejl i måledataene, ved anvendelse af en baggrundskoncentration på 370ppm, se bilag R.3



Figur 14.15 – *Resultater for CO_2-koncentrationen i Rum Sommer i Stenagervænget 37 baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgnet*

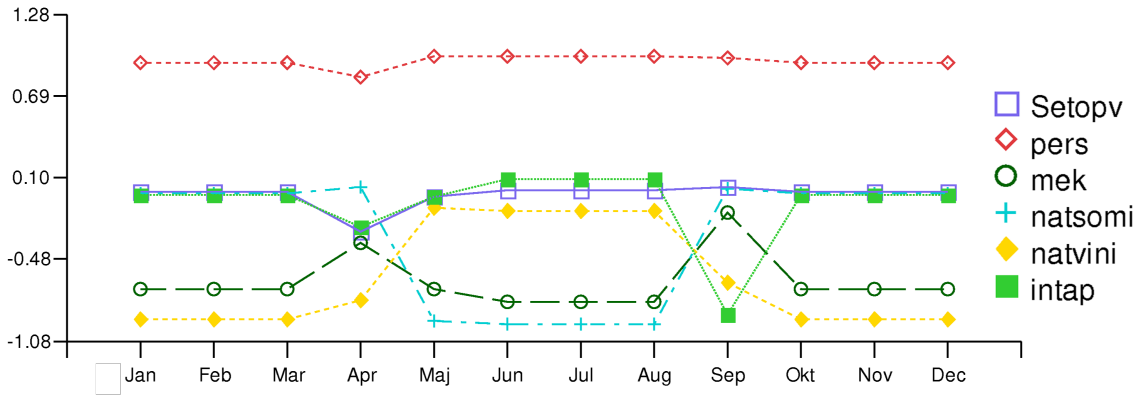
CO_2-koncentration

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Middel	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I
5 % fraktil	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. II
95 % fraktil	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I

Figur 14.16 – *Kategorisering af indeklimaet på baggrund af CO_2-koncentrationen for SiByB beregningerne i Rum Sommer i Stenagervænget 37 baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgnet*

Sammenligningen viser, at resultaterne fra SiByB stemmer godt overens med resultaterne fra BSim modellen. Ligeledes fremgår det, at resultaterne fra målingerne ligger mellem 5% og 95% fraktil for SiByB simuleringen. Den lille forskel mellem målingerne og simuleringerne tilskrives hovedsageligt brugernes adfærd. CO_2-koncentrationen i boligen er stærkt afhængig af hvor mange beboere, der er i boligen, samt hvilke beboere det er. Er det ældre personer? Er det en børnefamilie? Er det en enlig? Jo flere personer, der bor i boligen, og jo større aktivitetsniveauet er, jo større er maksimumkoncentrationen i boligen, og jo større er variationen af CO_2-koncentrationen over døgnet. For at kunne give et præcist billede af hvordan brugerne oplever det atmosfæriske indeklima i henhold til CO_2-koncentrationen, er det nødvendigt at foretage mere præcise beregninger af CO_2-koncentrationen eksempelvis ved timebaserede simleringer.

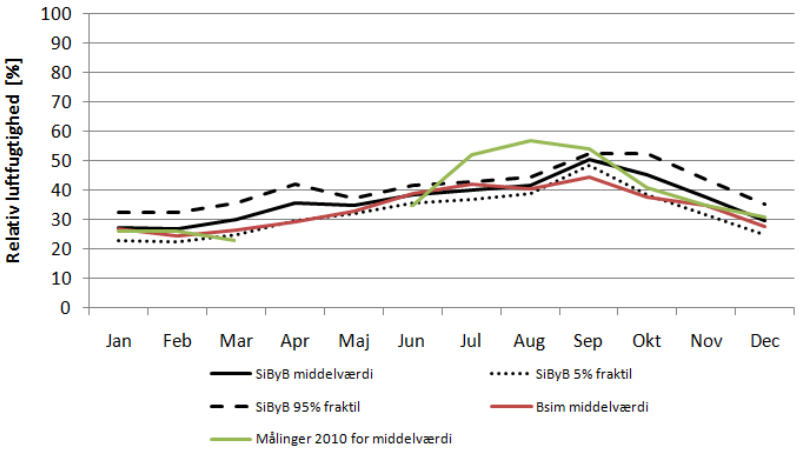
I bilag R.6 er der foretaget en sammenligning mellem seks forskellige sensitivitetsanalyser. Sammenligningerne viser en generel overestemmelse, hvor PCC og PRCC adskiller sig ved at vægte den naturlige ventilation om sommeren samt den mekaniske ventilation højere. PCC og PRCC har ikke stor uoverensstemmelser, dog giver PCC en mere lige vægtning af både den mekaniske og naturlige ventilation, hvorfor denne anvendes i det efterfølgende. Figur 14.17 viser sensitivitetsanalysen for CO_2-koncentrationen for Stenagervænget 37.



Figur 14.17 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for Stenagervænget 37 baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgn.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen af CO_2-koncentrationen viser som forventet, at antallet af personer samt luftmængden fra naturlig og mekanisk ventilation er de mest indflydelsesrige brugerrelaterede parametre. I månederne april og september ses problemer med sensitivitetsanalysen, da det mekaniske ventilation pludselig ikke har betydning i de respektive måneder samtidig med at den interne varmebelastning giver et pludseligt udslag. Disse analyser anses umiddelbart ikke som værende korrekte, da luftmængden fra den mekaniske ventilation er med til at reducere CO_2-koncentrationen i boligen og forventes at have et konstant niveau over hele året. Ydermere forventes det interne varmetilskud ikke at have indflydelse på CO_2-koncentrationen. Ud over disse måneder, giver analysen fornuftige resultater.

Analysen af den relative luftfugtighed fra en SiByB simulering sker på samme måde som for CO_2-koncentrationen, der er baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgnet. Sammenligningen mellem SiByB simuleringen, BSim og målinger fra 2010 er illustreret i figur 14.18. Variationen af den relative luftfugtighed over døgnet og over måneden bliver midlet ud i SiByB på grund af beregningsmetoden, hvor simuleringen kun viser en variation mellem 27% og 51%. Simuleringerne af den relative luftfugtighed viser altså ikke de meget lave luftfugtigheder, som kan forekomme om vinteren og den meget høje luftfugtighed, der kan forekomme specielt i slutningen af sommeren og starten af efteråret. Beregningerne giver altså udelukkende en svag indikation af den relative luftfugtighed i boligen. Tilsvarende kategorisering jævnfør DS/EN 15251 [European Committee for Standardization, 2007b] på baggrund af SiByB resultaterne er vist i figur 14.19.



Figur 14.18 – *Resultater for den relative luftfugtighed i Rum Sommer for SiByB baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgn for Stenagervænget 37*

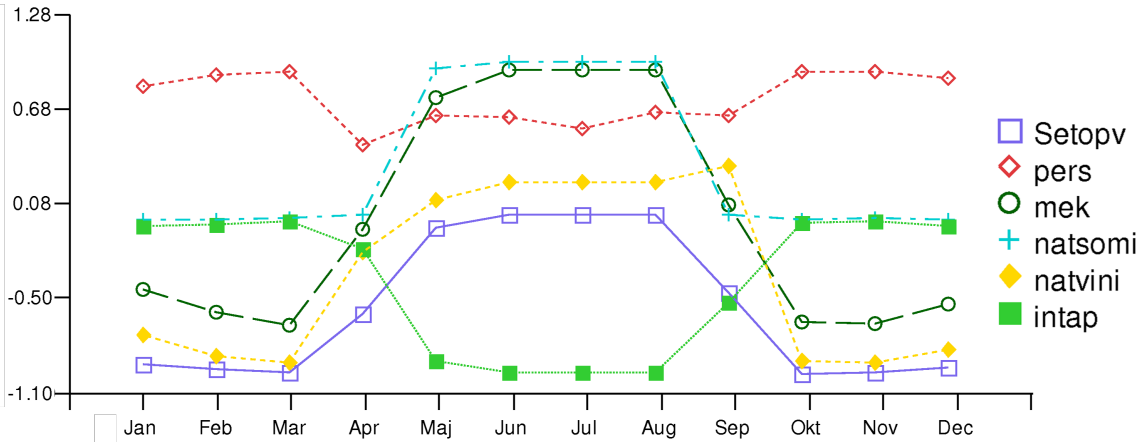
Relativ luftfugtighed

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Middel	Kat. II	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. II
5% fraktil	Kat. III	Kat. III	Kat. III	Kat. II	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. III
95% faktil	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. I	Kat. II	Kat. II	Kat. I	Kat. I

Figur 14.19 – *Kategorisering af indeklimaet på baggrund af den relavtive luftfugtighed i Rum Sommer for Stenagervænget 37 for SiByB baseret på månedsmiddelværdier for middeldøgn*

Resultaterne viser, at målingerne i seks måneder ligger inde for 5% og 95% fraktilen fra SiByB simuleringen. I de seks resterende måneder afviger målingerne i gennemsnit med 15% fra SiByB simuleringen. Brugernes adfærd vedrørerende brugen af den naturlige ventilation har dog stor påvirkning på den relative luftfugtighed og hvordan variationen gennem døgnet forløber. Brugernes opfattelse af atmosfærisk komfort kan have stor påvirkning på brugen af den naturlige ventilation. En opfattelse af at minimum 10 minutters udluftning om dagen er nødvendig for at opretholde den atmosfæriske komfort, kan have stor betydning for variationen af den relative luftfugtighed over døgnet. Denne variation kommer ikke til udtryk i en SiByB simulering grundet anvendelsen af månedsmiddelsværdierne. Brugerne af SiByB kan altså kun meget overordnet vurdere det atmosfæriske indeklima ud fra den relative luftfugtighed. Kategoriseringen af den relative luftfugtighed i figur 14.19 har til formål hurtigt at give et overblik over kvaliteten af det atmosfæriske indeklima.

For at identificere de mest indflydelsesrige parametre for den relative luftfugtighed er der foretaget en sensitivitetsanalyse. Bilag R.6 gennemgår sammenligningen af analysemetoderne PEAR, SPEA, SRC og SRRC, PCC og PRCC. Sammenligningen viser igen stor overenstemmelse mellem metoderne, dog giver PCC og PRCC en større vægtning til luftmængden fra den mekaniske ventilation gennem hele året. Derudover giver PCC en mere mere jævn vægtning af luftmængden fra en mekaniske og den naturlige ventilation. På baggrund af disse betragtninger anvendes PCC analysemetoden i det følgende. Sensitivitetsanalysen af den relative luftfugtighed er illustreret af figur 14.20.

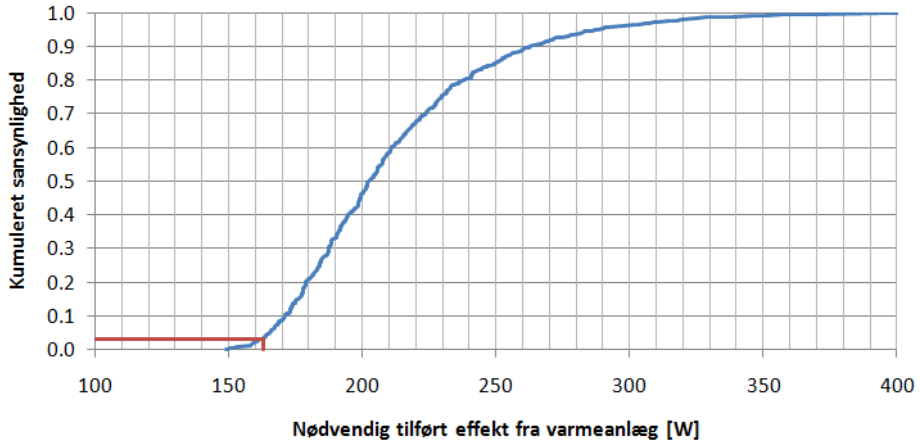


Figur 14.20 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed for Stenagervænget 37 baseret på månedsmiddelsværdier for middeldøgn. PCC analysemetoden er anvendt.* ***Signaturforklaring****; Setopv: Setpunktstemperatur for rumopvarmningen, pers: Antal personer, mek: Luftmængde fra den mekaniske ventilation, natsomi: Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration, natvini: Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration, intap: Varmetilskud fra apparater*

Sensitivitetsanalysen af den relative luftfugtighed viser tydeligt, at indflydelsen fra de brugerrelaterede parametre er sæsonafhængige. Udenfor opvarmningssæsonen er de mest indflydelsesrige parametre antallet af personer og setpunktstemperaturen for rumopvarmningen. Luftmængden fra den naturlige ventilation er ydermere en af de mest indflydelsesrige parametre set gennem hele året. Udenfor opvarmningssæsonen har den interne varmebelastning fra apparatur samt den mekaniske ventilation stor betydning, hvor det disse parametre har modsat effekt sammenlignet med runluftstemperaturen jævnfør figur 14.14.

Rum Vinter

For at evaluere hvorvidt varmeanlægget, i dette tilfælde ventilationsanlægget, er i stand til at tilføre den nødvendige effekt i forbindelse med opvarmning om vinteren, evalueres den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget, illustreret på figur 14.21. Det bemærkes at den tilførte effekt fra varmeanlægget i det aktuelle hus er på $105W$, se bilag R.



Middel	211.7 [W]
5 % fraktil	165.6 [W]
95 % fraktil	287.9 [W]
Spredning	39.7 [W]

Figur 14.21 – *Den blå linje viser den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget for Rum Vinter simuleret i SiByB for Stenagervænget 15. Den røde linje viser den nødvendige effekt, hvis luftmængden fra den naturlige og mekaniske ventilation fra minimumskravene i BR10 anvendes*

Af figur 14.21 fremgår det, at den tilførte effekt på de 105 W på intet tidspunkt vil være tilstrækkelig til at opvarme boligen.

i beregningen med minimumskravene for luftmængderne for den naturlige og mekaniske ventilation i BR10, den blå linje på figur 14.21, viser den tilførte effekt på 105W sig også som værende for lille. Dette stemmer overens med de målinger og erfaringer der ifølge Larsen et al. [2011] har vist sig for projektet. Dermed ville den dimensionsgivende beregning foretaget i SiByB kunne have assisteret med at forhindre problemerne med hensyn til utilstrækkelig opvarmning. Figuren viser også hvor stor effekt brugernes adfærd med hensyn til luftmængden fra den mekaniske og naturlige ventilation har, hvor forskellen mellem mindste og største nødvendige ydelse er en faktor 2,5. For *Rum Vinter* kan det således vurderes, at en SiByB beregning vil give en indikation på opvarmningsproblemerne. Ligeledes vil en inddragelse af brugernes adfærd i denne beregning, vise hvor stor påvirkning brugerne har på den nødvendige tilførte effekt samt hjælpe med valget maksimumydelsen for varmeanlægget som skal installeres.

Kapitel **15**

Sammenfatning af validering

Dette kapitel har til formål at sammenfatte resultaterne fra foregående validering. Kapitlet er opdelt i to dele, første del henholder sig til den generelle validering af SiByB og beregningsmetoderne anvendt i konceptet. Anden del omhandler evalueringen af samspillet mellem brugeradfærden og energiforbruget samt indeklimaet. Der tages udgangspunkt i SiByB simuleringerne for Langøvænget 8 henholdsvis Stenagervænget 37, samt tilhørende BSim modeller af de kritiske rum og målinger.

15.1 Validering af SiByB

Målinger for energiforbruget til rumopvarmningen var tilgængelig for begge boliger. Sammenligningerne viser, at SiByB simuleringerne beregner et opvarmningsbehov for månederne september til april, mens målingerne viser et opvarmningsbehov over hele året, med undtagelse af enkelte måneder over sommeren. Forskellen i sommermånederne er op til 2 kWh/m^2 *pr. måned*. Den store forskel mellem målingerne og SiByB resultaterne skyldes i høj grad brugernes adfærd og deres opfattelse af termisk komfort. Den dominerende faktor, i forhold til det ekstra rumopvarmningsbehov påvist i målingerne sammenlignet med SiByB, skyldes brugernes anvendelse af komfortopvarmning, der viser sig ved brugen af gulvvarme på badeværelse. Dette er specielt tydeligt for Stenagervænget 37. En simulering af energiforbruget til rumopvarmning med hensyntagen til brugernes adfærd, udføres altså med en stor usikkerhed, da rumopvarmningen er stærkt afhængig af brugernes opfattelse og holdning til termisk komfort.

Simuleringen af det totale energiforbrug viser at forskellen mellem mindste og største værdi ligger på en faktor 3 for Langøvænget 8, mens den for Stenagervænget 37 ligger på en faktor 7 grundet elforbruget til rumopvarmning. Specielt fordelingen af det totale energiforbrug for Langøvænget 8 stemmer overens med simuleringerne foretaget af Andersen [2009], som finder en variation på en faktor 3,3 mellem største om mindste energiforbrug, når der tages hensyn til brugernes adfærd. En simulering af det totale energiforbrug, hvor der tages hensyn til brugernes adfærd, foretages dog med store usikkerheder, da den enkelte brugers opfattelse af komfort samt adfærden vedrørende anvendelse af de energiforbrugende apparater og installationer, er stærkt varierende fra person til person. En sådan simulering kan derfor udelukkende foretages på et generelt niveau, der ikke giver en præcis forudsigelse af brugeradfærdens indflydelse på det totale energiforbrug. Hertil skal det ligeledes understreges, at sammenligningerne udelukkende er baseret på undersøgelser vedrørende to enfamilie lavenergihuse. Der kan derfor ikke konkluderes på brugeradfærdens indflydelse på energifor-

bruget i andre boligtyper end disse, hvilket vil være essentielt at kunne, såfremt konceptet skal anvendes i projekteringsøjemed.

For energiberegningsdelen har valideringen konstateret problemer med overtemperaturberegningen. Eksempelvis er der for Langøvænget 8 påvist en overtemperatursstraf på $4,1\ kWh/m^2$ i juli, hvorimod der ikke er påvist nogen straf i Be10 beregningen, jævnfør bilag Q.4. Dog vurderes det, at såfremt disse uoverensstemmelser mellem SiByB energiberegningsdelen og programmet Be10 bliver tilrettet, vil denne del af SiByB fungere tilfredsstillende.

For indeklimaet foreligger der målinger for rumtemperaturen, CO_2-koncentrationen og den relative luftfugtighed. Der er foretaget en sammenligning mellem vejrdataene anvendt i SiByB og vejrdata for år 2010 i områderne hvor boligerne er placeret, denne sammenligning er foretaget for månedsmiddelværdierne for middeldøgn og maksimumdøgn. Her er det påvist at temperaturforskellen maks er 2,5°C for middeldøgnet og 3,5°C for maksimumdøgnet, mens den relative luftfugtighed maks havde en forskel på 7,2%. Sammenligningen har til formål at eftervise vejrdataenes indflydelse på simuleringerne. Sammenligning af det termiske indeklima viste god overensstemmelse for middeldøgnet mellem SiByB målingerne og BSim, mens der var forholdsvis stor afvigelse for maksimumdøgnet. Forskel mellem temperaturerne for sammenligningen af maksdøgnet kan, i store træk, tilskrives burgernes adfærd. I simuleringerne af det termiske indeklima for maksdøgnet og middeldøgnet antages at brugernes adfærd er ens i forhold til de brugerrelaterede parametre. Dette er dog en kraftig simplificering, da brugernes adfærd umiddelbart afhænger af den individuelle opfattelse af den termiske komfort, samt det faktiske komfortniveau i boligen. Umiddelbart betyder dette, at udluftningen i boligen kører på det maksimale ved beregning af temperaturen for maksimumdøgnet for alle brugere, mens udluftningen er mere varierende ved beregning af temperaturen for middeldøgnet. Dette stemmer overens med resultaterne fundet af Brunsgaard et al. [2011], som finder at brugerne tilpasser sig indeklimaet. Dette faktum, at brugernes adfærd ændrer sig i forhold til det termiske indeklima, er ikke taget i betragtning i SiByB, hvilket medfører store temperaturforskelle mellem simuleringerne og det faktiske termiske indeklima. For det termiske indeklima baseret på middeldøgnet vurderes det dog, at SiByB med god tilnærmelse kan anvendes som indikator for det termiske indeklima på baggrund af rumluftstemperaturen for middeldøgnet. Dog er det ikke muligt, at vurdere, det af brugerne, oplevede termiske indeklima baseret på beregningerne af middeldøgnet. Beregningerne af det termiske indeklima om sommeren vil derfor beregne lavere rumluftstemperaturer i SiByB end det faktiske termiske indeklima, da middeldøgnstemperaturen ligger under temperaturen som brugerne oplever, når de er tilstede i boligen. SiByB simuleringerne baseret på middeldøgn, vil altså vise et for positivt billede af det faktiske indeklima i boligen, hvorfor simuleringer baseret på timeværdier vil være nødvendige.

For beregningerne af det atmosfæriske indeklima for middeldøgn gælder samme begrænsninger som for det termiske indeklima. SiByB simuleringerne af det atmosfæriske indeklima viser altså et for positivt billede af det reelle indeklima i forhold til indeklimaet som brugerne opfatter det. Det anbefales derfor ikke, at vurdere det faktiske indeklima ud fra beregningerne i SiByB. Simuleringerne kan dog give en svag indikation af hvordan indeklimaet i boligen er. Sammenligningen mellem målingerne og SiByB resultaterne viser god overensstemmelse, hvor målingerne generelt set ligger mellem 5% fraktilen og 95% fraktilen for SiByB simuleringerne. Der var dog en forholdsvis stor afvigelse mellem målingerne for den relative luftfugtighed for Stenagervænget 37 og SiByB samt BSim. Afvigelserne, som sammenligningerne viser, kan generelt tilskrives brugernes adfærd, hvor specielt antallet af

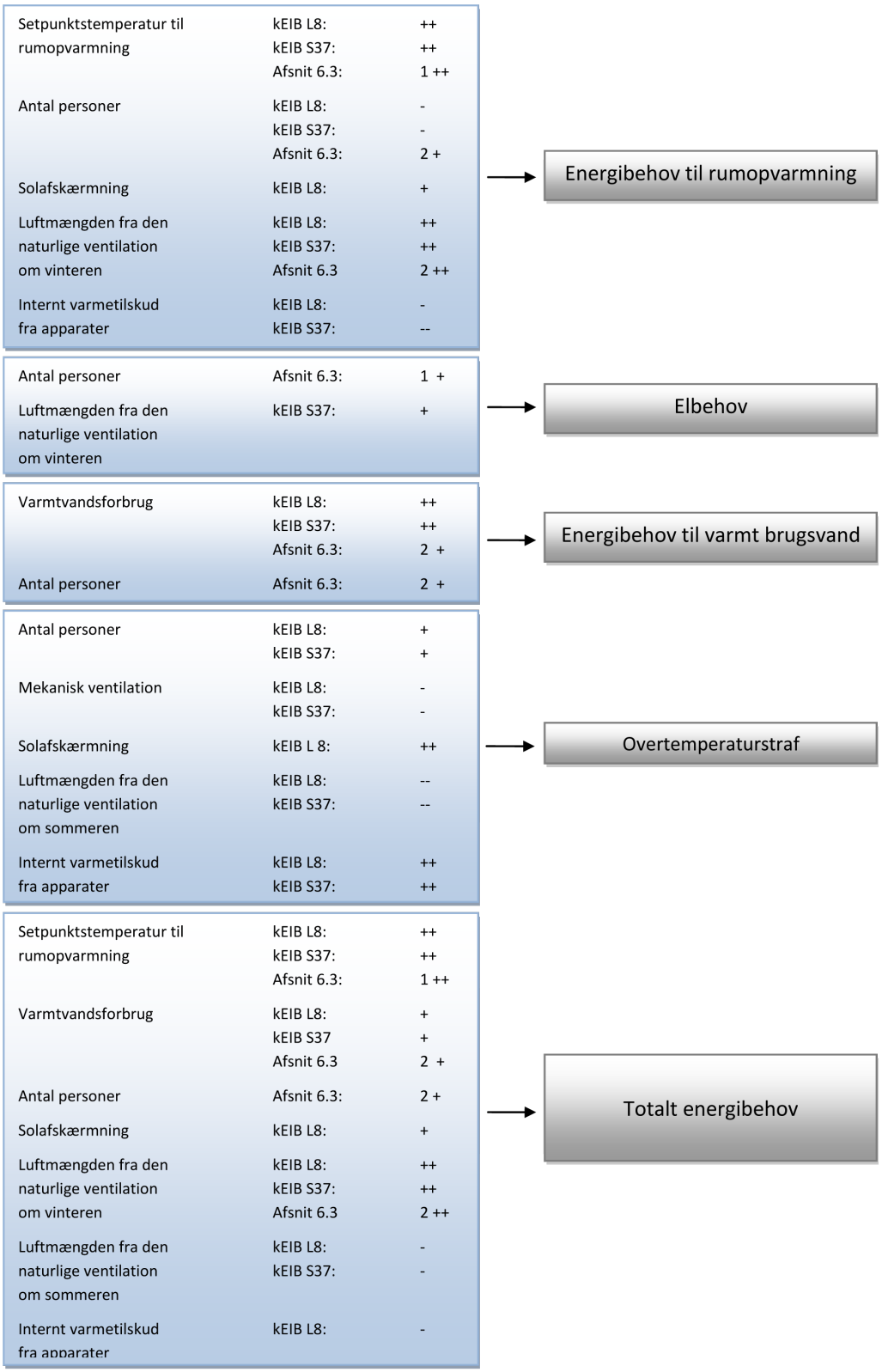
personer i boligen og adfærden vedrørende udluftning, har stor betydning for det faktiske atmosfæriske indeklima. Inddragelsen af brugernes adfærd i sådanne beregninger kan derfor kun foretages på et overordnet niveau, der ikke går i detaljer med forudsigelser af specifikke brugers påvirkning på indeklimaet.

15.2 Validering af sammenspillet mellem brugeradfærd, energiforbrug og indeklima

Figur 15.1 og 15.2 illustrerer sammenhængen mellem resultaterne fra hvert hus med udgangspunkt i sensitivitetsanalyserne samt undersøgelserne vedrørende samspillet mellem energiforbruget og brugeradfærden jævnfør afsnit 6.3. Sammenfatningen af resultaterne er opdelt i brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget henholdsvis indeklimaet. Det bemærkes at Langøvænget 8 benævnes L8, og Stenagervænget 37 benævnes S37 i figurerne. Figurerne er opbygget således at de blå firkanter lister signifikansniveauet samt indflydelsen af de respektive brugerrelaterede parametre, og de grå kasser illustrere hvilken del af det totale energibehov henholdsvis hvilken indeklimaparameter der påvirkes.

Nedenstående signaturforklaring forklarer de i figur 15.1 og 15.2 anvendte signaturer. Signaturerne + og - skal forstås som ændringen der sker, hvis de enkelte parameterværdier forøges. Eksempelvis vil en forøgelse af setpunktstemperaturen for rumopvarmningen medføre en stor stigning i det totale energiforbruget jævnfør sensitivitetsanalyserne på det totale energiforbrug gennemgået i kapitel 13 og 14.

- -	Medfører et stort fald	1	Højt signifikansniveau
-	Medfører et fald	2	Moderat signifikansniveau
+ +	Medfører en stor stigning	3	Lavt signifikansniveau
+	Medfører en stigning	4	Ikke signifikant

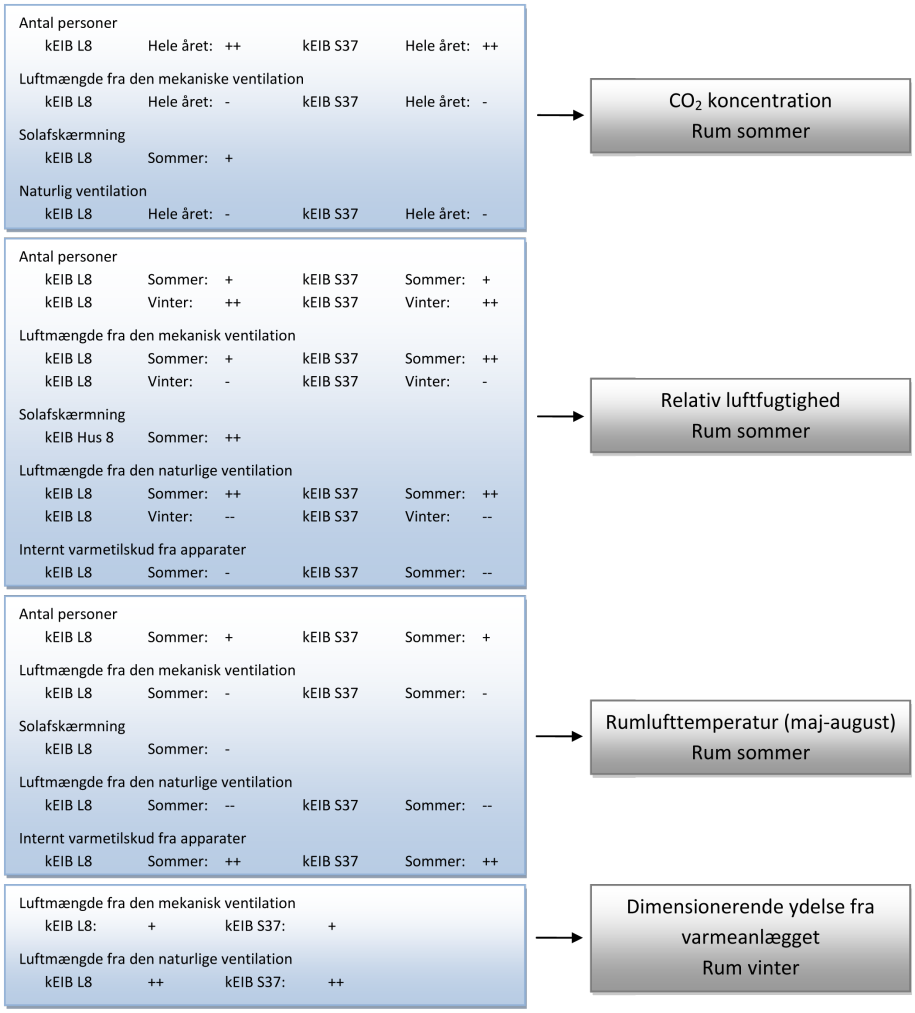


Figur 15.1 – *Opsummering af de brugerrelaterede parametres indflydelse på det kummulerede energibehov på årsbasis. Langøvænget 8 er benævnt L8, og Stenagervænget 37 er benævnt S37*

Analysen af det totale energibehov viser, at setpunktstemperaturen og luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren, er de to mest indflydelsesrige parametre. Samme parametre blev ligeledes fundet som de mest indflydelsesrige i sensitivitetsanalysen af energibehovet til rumopvarmning. Undersøgelser foretaget af Brohus et al. [2010], Brohus et al. [2009], Guerra-Santin og Itard [2010], Larsen og Brunsgaard [2010] og van Raaij og Verhallen [1983b] finder samme indflydelse på energibehovet af setpunktstemperaturen og undersøgelser foretaget af Brohus et al. [2010] og Brohus et al. [2009] finder samme indflydelse på energibehovet af den naturlige ventilation. Disse parametre har dog kun indflydelse i opvarmningssæsonen, hvorimod parametre såsom solafskærmningen, internt varmetilskud, varmtvandsforbruget og den naturlige ventilation om sommeren har indflydelse på energibehovet udenfor opvarmningssæsonen. Det skal dog bemærkes, at parametre som det interne varmetilskud og solafskærmningen har forholdsvis stor indflydelse på energibehovet gennem hele året, af både positiv og negativ karakter. I opvarmningssæsonen medvirker en øget solafskærmning til et øget energibehov til rumopvarmning, mens en øget solafskærmning om sommeren medvirker til en formindskelse af overtemperaturstraffen fra energiberegningen. Dette faktum kan have stor indflydelse på sensitivitetsanalysen af det totale energibehov beregnet over hele året. Undersøgelser foretaget af påvirkningen af den mekaniske ventilation, [Guerra-Santin og Itard, 2010], [van Raaij og Verhallen, 1983b] og [Larsen og Brunsgaard, 2010], solafskærmningen, [Larsen og Brunsgaard, 2010] og [Andersen et al., 2009], varmvandsforbruget, [Brohus et al., 2010] og den interne varmebelastning på det totale energiforbrug, viser samme tendens som SiByB simuleringen. Disse fire parametre har alle en tydelig påvirkning på det totale energiforbrug, dog ikke lige så markant som setpunktstemperaturen for rumopvarmningen og den naturlige ventilation om vinteren.

Figur 15.2 opsamler resultaterne vedrørende de brugerrelaterede parametres indflydelse på indeklimaet. I forhold til det termiske indeklima, der i en SiByB simulering er karakteriseret ved rumluftstemperaturen, viser undersøgelserne af Stenagervænget 37 og Langøvænget 8 det interne varmetilskud fra såvel personer som apparatur samlet set har den største indflydelse på det termiske indeklima om sommeren. Et stort internt varmtilskud vil medføre et større behov for ventilation, såvel mekanisk som naturlig. Dermed vil det udelukkende være ventilationen og solafskærmningen der kan holde temperaturen på et acceptabelt niveau. Det atmosfæriske indeklima er i forbindelse med valideringen af SiByB evalueret på baggrund af CO_2-koncentrationen samt den relative luftfugtighed. Resultaterne af undersøgelserne vedrørende CO_2-koncentrationen viser som forventet at den mest indflydelsesrige parameter såvel sommer som vinter er antallet af personer i boligen, hvor det endnu engang er ventilationen, såvel mekanisk som naturlig der uafhængigt af sæsonen kan assistere med at fastholde CO_2-koncentrationen på det ønskede niveau. For Langøvænget 8 bemærkes det at solafskærmningen har lille betydning for CO_2-koncentrationen om sommeren, dette skyldes solafskærmningens store påvirkning på rumluftstemperaturen, som er den styrende faktor for størrelsen af luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren. De sensitive parametre i henhold til den relative luftfugtighed, er på samme måde som CO_2-koncentrationen, yderst sæsonafhængig. Altså varierer indflydelsen fra de respektive brugerrelaterede parametre afhængigt at sæsonen. Om vinteren har undersøgelserne af Stenagervænget og Langøvænget vist at antallet af personer er den mest indflydelsesrige parameter, idet en stigning i det interne varmetilskud fra personer vil øge den relative luftfugtighed, her vil en øgning af luftmængden fra naturlig og mekanisk ventilation, samt setpunktstemperaturen således kunne sænke fugtigheden. For sommerhalvåret gælder det at antallet af personer samt luftmængden fra ventilation, grundet den høje luftfugtighed udenfor, hæver den relative luftfugtighed. For

valideringen af det kritiske rum om vinteren blev indflydelsen fra ventilation på den dimensionerende nødvendige effekt fra varmeanlægget undersøgt. Her blev det fundet at luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren har stor betydning for den nødvendige tilførte effekt, men varmegenvinding installeret i det mekaniske ventilationssystem medførte en reducering af indflydelsen.



Figur 15.2 – *Opsummering af de brugerrelaterede parametres indflydelse på indeklimaet. Langøvænget 8 er benævnt L8, og Stenagervænget 37 er benævnt S37*

Konklusion og perspektivering

Kapitel 16

Diskussion

Nærværende rapport er skrevet med udgangspunkt i problematikkerne omkring Brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget i boliger. Det er valgt at fokusere på uoverensstemmelserne mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug grundet brugernes adfærd og deres indflydelse på energiforbruget. Ydermere er der rapporten igennem set nærmere på mulighederne for at implementere indeklimaet i forbindelse med energiberegningerne. Diskussionen tager udgangspunkt i det udviklede koncept, SiByB, der beregner boligers ydeevne, hvor simplificerede indeklimaberegninger er kombineret med energiberegningsmetoden anvendt i Be10 under påvirkning af brugernes adfærd. Kapitlet er opdelt i fire afsnit, hvor det første afsnit diskuterer energiberegninsmetoden anvendt i SiByB. Anden del omhandler en diskussion af indeklimaberegningsmetoderne i SiByB, mens tredje del diskuterer implementeringen af brugeradfærden. Sluttelig diskuteres konceptet, SiByB samlet.

Energiberegninger
Konceptet, udviklet i rapporten, anvender energiberegninger baseret på energiberegningsmetoden anvendt i Be10, da SiByB ønskes adresseret til danske rådgivende ingeniører. Formålet med Be10 programmet er, at foretage energiberegninger i henhold til energibestemmelserne i BR10, hvorfor Be10 programmet ikke beregner det faktiske energiforbrug i den givne bolig, men beregner energiforbruget ud fra forudsætningerne givet i BR10. Til trods for dette anvender koncoptet SiByB metoden til at forudsige brugernes påvirkning på energiforbruget, ud fra betragtningen af at Be10 er det mest anvendte energiberegningsprogram i Danmark. Hvilket skyldes at dette program anvendes til myndighedsgodkendelse af nybyggeri. Andre energiberegningsmetoder kunne have været anvendt, dog med det resultat at metoden ikke anvendes i samme grad af danske ingeniører. Ydermere er det svært for brugeren af Be10 at få indsigt i beregningsgangen, hvorfor beregningsprincipper og antagelser kan være svære at gennemskue. I nærværende rapport er der i forbindelse med udviklingen af konceptet SiByB forsøgt at åbne op for disse begrænsninger. Det er derfor valgt at anvende regnearksversionen af Be10, idet det herved muligt at se beregningsgangene. Det har dog vist sig yderst kompliceret at gennemskue samtlige beregningsgange.

Konceptet SiByB er udviklet med det formål at integrere brugeradfærd og indeklimaberegninger i energiberegninger foretaget i henhold til gældende bygningsreglement. Til at foretage energiberegninger er der i SiByB således anvendt en regnearksversion af programmet Be10. Ud over de problematikker der i forvejen er kendt ved beregninger i Be10, viser regnearksversionen sig som værende mangelfuld. Kølingsberegningen virker ikke optimalt i programmet, og dermed opstår der problemer i forbindelse med beregninger af overtemperaturen og den dertilhørende straf. Herudover er der konstateret problemer i forbindelse med installering af

mere end én varmepumpe. I dette tilfælde giver regnearksversionen store forskelle i resultaterne sammenlignet med Be10. Der er konstateret forskelle mellem regnearksversionen og Be10 i forbindelse med afrundingsfejl. Det er dog svært at konstatere hvilken version, der giver fejlagtige og hvilken der giver de rigtige resultater. Dette skyldes at det, som tidligere nævnt ikke er muligt at følge beregningsgangen i Be10, dog pointeres det af afrundingsfejlen ikke giver nogen nævneværdi fejl.

Indeklimaberegninger
Formålet med konceptet har været af integrere simplificeret indeklimaberegninger i energiberegningerne. SiByB skal i den henseende ses som et første udkast i udviklingen af et sådan koncept. I den forbindelse er indeklimaberegningerne foretaget med månedsmiddelsværdier for maks- og middeldøgn. Resultaterne af beregningerne er derfor middelværdier, der er jævnet ud over den pågældende måned. Derfor vil ekstrem tilfældene ikke fremgå af simuleringerne, hvorved udsving som følge af brugeradfærden vil være svære at præcisere. Dette ses som en klar begrænsning af beregningerne, og det er derfor yderst vigtigt, at brugerne af SiByB er opmærksom på, hvorledes konceptet anvendes. Konceptet skal altså ikke ses som et dimensionsgivende værktøj, der opstiller et reelt billede af indeklimaet i boligen. Konceptet kan således udelukkende anvendes som indikator for såvel energiforbruget som indeklimaet under hensyntagen til brugeradfærden. Hertil kan relevansen af månedsmidlede indeklimaresultater diskuteres, da sådanne værdier giver et alt for positivt billede af indeklimaet i boligerne. Komfort kan ikke udtrykkes som et gennemsnit, men opfattes i øjeblikket, hvorved anvendelsen af indeklimaresultaterne fra SiByB er yderst begrænset. Under alle omstændigheder skal de benyttes med forsigtighed og med fokus på resultaternes anvendelsesområde. Simuleringerne med månedsmiddelværdier for middeldøgn viser god overensstemmelse med målingerne, mens store forskelle viser sig i forbindelse med sammenligningen af simuleringerne foretaget med månedsmiddelsværdierne for maksdøgn og målingerne i boligerne.

I SiByB evalueres indeklimaet og energiforbruget individuelt. Det kan diskuteres hvorvidt en samlet vurdering af bygningens ydeevne kan implementeres i konceptet, for at kunne evaluere boligens ydeevne på baggrund af en samlet parameter. Et eksempel på en sådan metode kan være Eco-factor metoden, der kan anvendes til foretage en samtidig vurdering af energiforbruget og indeklimaet. I denne metode evalueres indeklimaet og energiforbruget som en samlet score, hvorved de respektive indeklimaparametre, såsom rumluftstemperatur, CO_2-koncentration og relativ luftfugtighed ikke evalueres som enkeltstående tilfælde. Dog gives der forslag til parametre der kan justeres for at optimere eksempelvis indeklimaet. [Bjørn og Brohus, 2003] En sådan metode vil således med fordel kunne implementeres i SiByB, såfremt det er ønsket at se en samlet evaluering af indeklimaet. Dog kan der også opstå tilfælde hvor ønsket er, at se kvaliteten af indeklimaet for hver enkelt parameter. I et sådant tilfælde vil det ikke være fordelagtigt at vurdere indeklimaet samlet. Vurderingen af indeklimaet i SiByB foregår ved, at vurdere hver parameter for sig. Spørgsmålet er, hvorvidt det giver mening af foretage en samlet vurdering af indeklimaet og i så fald hvilken metode, der skal anvendes.

Brugeradfærd
Brugernes adfærd er implementeret i SiByB ved hjælp af fordelingsfunktioner for relevante brugerrelaterede inputparametre. I opsætningen af fordelingerne er det udelukkende setpunktstemperaturen for rumopvarmningen, der er opstillet på baggrund af målinger foretaget i enfamilieboliger. De resterende parametre er opsat ud fra opstillede scenarier, værdier givet i bygningsreglementet eller erfaringsværdier fra diverse opslagsværker. Det kan derfor disku-

teres hvorvidt de opstillede fordelinger giver et reelt billede af brugernes generelle adfærd. Ligeledes kan det diskuteres, hvor mange og i hvilke boligtyper målinger skal foretages, for at opstille fordelinger, der giver et repræsentativt billede af brugernes adfærd.
For at kunne anvende målinger til at opstille fordelinger af de brugerrelaterede parametre er det nødvendigt med målinger, der repræsenterer hele bygningsmassen. Således skal etageboliger, parcelhuse, rækkehuse, lavenergiboliger m.v. alle undersøges nærmere. Uden sådanne målinger vil resultaterne ikke være repræsentative, og de vil derfor ikke være anvendelige til at beskrive det generelle brugeradfærd.

Resultaterne fra undersøgelserne gennemgået i problemanalysen har vist sig at stemme godt overens med resultaterne af sensitivitetsanalyserne af resultaterne i SiByB. Det kan dog diskuteres hvorvidt implementeringen er brugeradfærden i SiByB er optimal. I SiByB er brugeradfærden implementeret i energi- og indeklimaberegningerne ved brug af generelle fordelinger af syv parametre, det værende sig:

- Antal personer
- Intern varmebelastning
- Solafskærmning
- Totalt varmtvandsforbrug
- Luftmængde fra den naturlige ventilation
- Setpunktstemperatur for rumopvarmning
- Luftmængde fra den mekaniske ventilation

Ses der på undersøgelserne af tidligere udviklede modeller, se kapitel 4, samt undersøgelserne fra kapitel 5 og 6 er det tydeligt at implementeringen af brugernes adfærd vil kunne optimeres betydeligt. Eksempelvis er der ikke inkluderet sociale aspekter i brugeradfærden, derfor kunne fordelingerne med fordel udvides således, at følgende parametre også er implementeret:

- Boligareal
- Indkomst
- Alder
- Uddannelsesniveau

En stor begrænsning i forbindelse med nærværende projekt er simplificeringen af brugernes adfærd. En blandt flere løsninsmetoder er udvikling af deciderede brugerprofiler, eksempelvis aldersafhængig, familiesammensætning osv. Ydermere må det ses som en stor begrænsning, at brugeradfærden er ens for såvel middel som maksdøgn. Dette ses som en kraftig simplificering, da brugernes adfærd umiddelbart afhænger af den individuelle opfattelse af den termiske komfort, samt det faktiske komfortniveau i boligen. Eksempelvis vil anvendelsen af udluftning af boligen ved en rumluftstemperatur på $25°C$ være afhængig af hvilken beboer, der opholder sig i boligen, mens det må antages at udluftningen er på det maksimale ved en rumluftstemperatur på eksempelvis $35°C$ for alle beboere, der befinder sig i boligen. Dette medfører at den termiske komfort vil blive udtrykt værre end det måske er tilfældet, idet beboeren allerede vil have øget udluftningen. Derfor kan det diskuteres, hvorvidt det er fordelagtigt at implementere brugeradfærden ved generelle fordelinger, eller om deciderede brugerprofiler vil være at fortrække. Fastlæggelse af deciderede brugeprofiler vil være yderst vanskeligt, dog kan en forbedring i forhold til SiByB være at parametre såsom boligtype og sociologiske parametre gøres valgbare. Ydermere kan brugeradfærden med fordel gøres afhængig af de aktuelle vejrforhold.

Konceptet SiByB
På baggrund af konceptets anvendelsesmuligheder kan det diskuteres, hvorvidt målgruppen af interessenter vil kunne udvides således, det ikke kun er adresseret til rådgivende ingeniører. Et af problemområderne i forbindelse med udvidelse af interessentområdet, vil være, at det er vigtigt, at de enkelte interrestenter har den fornødne tekniske forståelse af de anvendte beregningsmetoder, og de tilhørende begrænsningsområder. Såfremt dette ikke er tilfældet, vil der være stor risiko for at konceptet og dets anvendelsesområde vil blive misbrugt, ligesom det er erfaret med Be10.

Valideringen er foretaget med udgangspunkt i to enfamilielavenergiboliger, og udgør derfor kun en lille del af den endelige validering. Derfor kan validiteten af simuleringerne på andre bygningstyper ikke konkluderes. Førend det er muligt at foretage en endelig validering af SiByB og resultaterne, er det derfor nødvendigt at foretage simuleringer på andre boligtyper, og derefter på samme måde som for Langøvænget 8 og Stenagervænget 37, foretage en sammenligning med målinger. Spørgsmålet er, om SiByB kan anvendes på alle boligtyper eller om det er begrænset til lavenergiboliger. En stor del af problematikkerne i forbindelse med nye lavenergiboliger, er hvorvidt brugerne kan tilpasse sig hver enkelt bolig eller om det er nødvendigt at oplære beboerne i driften af de tekniske installationer. På baggrund af de gennemgåede undersøgelser og resultaterne fra SiByB viser det sig, at dette må være en kombination af begge dele. For at brugerne kan få det optimale udbytte af at bo i lavenergiboliger, er det nødvendigt med viden omkring installationer og forventninger til brugernes adfærd.

I forbindelse med valideringen af SiByB er det derfor vigtigt at huske på, at resultaterne ikke er et reelt billede af virkeligheden, grundet de i SiByB anvendte beregningsmetoder samt den grove simplificering af brugernes adfærd. Resultaterne fra målingerne samt BSim giver heller ikke et fyldestgørende billede af det faktiske indeklima. Dette fremhæver endnu en gang vigtigheden af at have anvendelsesområderne for øje i forbindelse med sammenligning af resultater. Idet målingerne for såvel Langøvænget som Stenagervænget er foretaget som punktmålinger, viser resultaterne udelukkende indeklimaet i det aktuelle punkt. SiByB derimod, beregner indeklimaet som en middelværdi for hele rummet. Udover at beregningsgangene i SiByB er forbundet med en del antagelser, er implementeringen af brugeradfærden ligeledes forbundet med antagelser. Derfor skal brugerne af SiByB være opmærksomme på hvilke antagelser, der er gjort, og hvilke betydning disse har for simuleringen af indeklimaet og energiforbruget. I SiByB er resultaterne af henholdsvis energiforbruget, det termiske og det atmosfæriske indeklima evalueret individuelt. Det kan diskuteres hvorvidt det vil være mere hensigtsmæssigt, at foretage en samtidig evaluering af energiforbrug og indeklima. En samtidig evaluering af energiforbrug og indeklima vil kunne hjælpe til at begge aspekter tilgodeses.

Kapitel **17**

Konklusion

I det følgende konkluderes der på resultaterne af nærværende rapport på baggrund af udviklingen af et koncept, der omhandler beregning af boligers ydeevne, hvor brugernes adfærd er implementeret. Konceptet er benævnt SiByB, Simplificeret beregning af Boligers ydeevne under hensyntagen til Brugernes adfærd, hvor simplificerede indeklimaberegninger er kombineret med energiberegningsmetoden anvendt i Be10 samt brugernes adfærd. Konklusionen danner grundlag for den efterfølgende perspektivering, hvor anbefalinger vedrørende fremtidig forskning præsenteres. I problemformuleringen for nærværende projekt er der opstillet følgende punkter, der er søgt besvaret igennem projektet.

- *Hvordan kan energiberegningsmetoderne i forhold til standarderne i dag suppleres, således de bliver mere præcise i forhold til forudsigelse energiforbruget?*
  - *Er inputparametrene realistiske eller skal andre metoder til, for at kunne inddrage brugeradfærden mere hensynsmæssigt?*
- *Hvordan kan simplificerede indklimaberegninger inkluderes i energiberegningerne?*
  - *Kan indeklimaberegningerne optimeres, således komforten opnår de individuelle brugeres ønsker og behov?*

I det følgende vil punkterne i ovenstående problemformulering blive besvaret.

Energiberegningsmetoden
Ifølge dansk lovgivning skal der ved opførelse af nye bygninger, herunder boliger, foreligge en energirammeberegning, der bekræfter at boligen overholder energirammen for det aktuelle bygningsreglement. Som følge af det stadig stigende fokus på manglen af energiressourcer samt den øgede fokus på den stadig stigende forurening, er kravene til bygningernes energiforbrug over årene blevet skærpet. I dag er kravet til energirammen for en 100 m^2 bolig $68,5\ kWh/m^2$, hvor det til sammenligning for 25 år siden var på 90 kWh/m^2. Disse stramninger har bidraget til at øge nye bygningers følsomhed overfor brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget. Som følge af denne problematik har dette projekt forsøgt at supplere energiberegningsmetoden fra Be10, således at resultaterne i fremtiden kan give et mere realistisk billede af energiforbruget. Med udgangspunkt i denne betragtning er brugeradfærden i relation til energiforbruget blevet undersøgt nærmere. Dette projekt forsøger at udvikle et koncept, SiByB, der skal supplere energiberegningerne, således de tager højde for brugernes adfærd i boliger på baggrund af de gennemgåede undersøgelser. Energiberegningsmetoden i SiByB er baseret på energiberegningsmetoden til Be10, hvor regnearksversionen til Be10

version 5,10,12,5, er anvendt. Enkelte uoverensstemmelser er fundet i sammenligningen mellem energiberegningerne i Be10 og regnearksversionen til Be10, hvor der er påvist afvigelser på op til 2,5% i forhold til det totale energiforbug. Ydermere er der påvist overtemperature i regnearksversisonen, som ikke fremgår af Be10 beregningen.

Konceptet bygger på en Monte Carlo simulering, hvor SiByB forsøger at eftervise brugernes adfærd ved, at opstille fordelinger af de mest indflydelsesrige brugerrelaterede parametre fundet på baggrund af problemanalysen. En efterfølgende usikkerhedsanalyse ligger til grund for vurderingen af de brugerrelateredes parametres indflydelse på energiforbruget. De brugerrelaterede inputparametre implementeret i konceptet er oplistet i det efterfølgende.

- Antal personer
- Intern varmebelastning
- Solafskærmning
- Totalt varmtvandsforbrug
- Luftmængde fra den naturlige ventilation
- Setpunktstemperatur for rumopvarmning
- Luftmængde fra den mekaniske ventilation

Enkelte demografiske parametre er jævnfør kapitel 4 indflydelsesrige, men er ikke inkluderet i konceptet, grundet den valgte energiberegningsmetode. I opsætningen af fordelingsfunktionerne er det kun setpunktstemperaturen for rumopvarmningen, der er opstillet på baggrund af målinger foretaget i diverse boliger. De resterende fordelingsfunktioner er opsat ud fra opstillede scenarier, værdier givet i bygningsreglementet eller erfaringsværdier fra diverse opslagsværker. Målingerne for setpunktstemperaturen for rumopvarmningen viser en middelværdi på $21,2°C$, mens standardværdien i Be10 er på $20°C$. Middelværdierne for fordelingsfunktionerne for varmtvandsforbruget samt det interne varmetilskud viser ligeledes forskelligheder, hvilket påpeger at standardværdierne, der anvendes i Be10 beregninger, ikke er repræsentative for brugernes adfærd. Simulering af energiforbruget under hensyntagen til brugeradfærden i to lavenergiboliger, Langøvænget 8 og Stenagervænget 37, har vist, at energiforbruget er kraftig afhængig af brugernes adfærd. Eksempelvis varierede energiforbruget med 300% i Langøvænget 8, hvilket bekræfter studierne af Andersen [2009]. Derfor vurderes det, at brugeradfærden med fordel kan implementeres ved brug af fordelingsfunktioner for de mest indflydelsesrige inputparametre. Brugernes adfærd er dog påvirket af de enkelte brugeres opfattelse af komfort samt det faktiske komfortniveau i boligen. Ligeledes er brugernes individuelle adfærd i forhold til anvendelse af boligens installationer og energiforbrugende apparater forskellig fra person til person, hvilket også har stor betydning for det totale energiforbrug. Det anbefales derfor udelukkende at vurdere brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget på et overordnet niveau, da der foretages en kraftig simplificering af brugernes adfærd. Til dette faktum skal det ligeledes understreges, at undersøgelserne af validiteten for SiByB simuleringerne udelukkende er baseret på énfamilie lavenergiboliger, hvorfor indflydelsen fra brugernes adfærd i andre boligtyper ikke indgår i den samlede vurdering. Hovedtrækkene vurderes dog ligeledes at gælde for de resterende boligtyper.

Alt i alt kan det på baggrund af nærværende projekt konkluderes, at implementeringen af brugernes adfærd i forbindelse med beregning af boligers energiforbrug, som et minimum skal implementeres ved hjælp af fordelingsfunktioner over de mest indflydelsesrige brugerrelaterede inputparametre. Dog skal der gøres opmærksom på, at implementeringen af brugeradfærd ikke nødvendigvis giver et faktisk billede af energiforbruget, men at anvendelsen af disse beregninger udelukkende skal ses som en grov indikator for hvorledes brugeradfærden påvirker energiforbruget. Overordnet skyldes dette simplificeringen af brugernes adfærd, som tidligere

beskrevet, men også anvendelsen af Be10's beregningsalgoritme, der ikke er anvendelig til forudsigelse af det faktiske energiforbrug, men udelukkende kan anvendes til at dokumentere den pågældende bygnings energibehov i forhold til bygningsreglementet.

Visionen for projektet har været at opstille et koncept, der implementerer brugeradfærden i energiberegningsmetoden. SiByB ses som det første trin i forhold til implementring af brugeradfærden, hvor simplificeringen klart anses som en af de største fordele.

Inkludering af indeklimaparametre
I nærværende projekt er det i forbindelse med det udviklede koncept forsøgt at integrere simplificerede indeklimaberegninger som en del af energiberegningerne. Indeklimaberegningerne er foretaget således, at størstedelen af inputparametrene kan anvendes til energiberegningerne såvel som indeklimaberegningerne. Indeklimaberegningerne foretages for to af boligens rum, der benævnes kritisk *Rum Sommer* henholdvis *Rum Vinter*. I *Rum Sommer* foretages beregninger for CO_2-koncentrationen, den relative luftfugtighed, den oplevede luftkvalitet og overophedning om sommeren, hvor det antages at det termiske og atmosfæriske indeklima er kritisk i samme rum. Beregninger for den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget, i henhold til værdier fra DS418, foretages for *Rum Vinter*.

Indeklimaberegningerne for *Rum Sommer* er foretaget ved brug af månedsmiddelværdier for henholdsvis middel- og maksdøgnet. Formålet med disse beregninger har været at give et hurtigt overslag over indeklimaet i boligerne. Dette skyldes, at der jævnfør problemanalysen er påpeget problemer med det faktiske indeklima i nyopførte boliger. Målinger har påvist problemer med specielt det termiske indeklima, hvor høje temperaturer har medført et lavt komfortniveau i boligerne. Anvendelsen af månedsmiddelværdierne for middel- og maksdøgn, medfører at resultaterne viser det midlede indeklima over et helt døgn. Det skal derfor understreges, at beregningerne for det termiske og atmosfæriske indeklima i SiByB vil ligge under niveauet for det faktiske indeklima som brugerne oplever, når de er tilstede i boligen. SiByB simuleringerne vil altså vise et for positivt billede af det faktiske indeklima, specielt beregningerne baseret på middeldøgn. Simuleringer baseret på timeværdier er nødvendige for at vurdere hvorvidt det faktiske indeklima opnår de individuelle brugeres ønsker og behov. SiByB er dog en hurtig og simpel metode til at give en svag indikation af indeklimaet i boligen.

Ved indeklimaberegningerne er de brugerrelaterede parametre, beskrevet i forrige afsnit, ligeledes anvendt. En Monte Carlo analyse ligger igen til grund for vurderingen af brugeradfærdens indflydelse på indeklimaet. For at simplificere beregningsgangen i SiByB er samme fordelingsfunktioner, som ved energiberegningerne, for de brugerrelaterede inputparametre anvendt, dette medfører dog, at antagelser vedrørende brugernes adfærd er de samme for simuleringerne baseret på middel- og maksdøgn. Sammenligningen for det termiske indeklima viser god overensstemmelse for middeldøgnet mellem SiByB målingerne og BSim, mens der er forholdsvis store afvigelser for maksimumdøgnet. Forskellen mellem temperaturerne for sammenligningen af maksdøgnet kan, i store træk, tilskrives burgernes adfærd. Den førnævnte simplificering af brugernes adfærd er en klar svaghed, da brugernes adfærd umiddelbart afhænger af den individuelle opfattelse af den termiske komfort, samt det faktiske komfortniveau i boligen. Eksempelvis betyder dette, at udluftningen i boligen kører på det maksimale ved beregning af temperaturen for maksimumdøgnet for alle brugere, mens udluftningen er mere varierende ved beregning af temperaturen for middeldøgnet. Dette apsekt er ikke taget i betragtning i forbindelse med en SiByB simulering. Samme forholdsregler skal tages ved brugeradfærdens indflydelse på det atmosfæriske indeklima. SiByB simuleringerne af

det atmosfæriske indeklima viser altså et for positivt billede af det reelle indeklima i forhold til indeklimaet, som det opfattes af brugerne. Det anbefales derfor udelukkende at foretage overordnede vurderinger af brugeradfærdens indflydelse på indeklimaet ud fra resultaterne i SiByB.

Simuleringerne i SiByB er foretaget for to boliger - et renoveret parcelhus fra 70'erne, Langøvænget 8 og et passivhus, Stenagervænget 37. Begge huse er énfamilie lavenergiboliger, hvorfor ovenstående udelukkende er baseret på denne boligtype. Hovedtrækkene i konklusionerne vurderes som værende de samme for andre boligtyper, da de opstillede fordelingsfunktioner for de brugerrelaterede inputparametre er opstillet uafhængigt af boligtyperne.

På baggrund af overensstemmelse mellem målinger for Langøvænget 8 og Stenagervænget 37 og SiByB simuleringerne for middeldøgnet konkluderes det, at konceptets indeklimadel kan anvendes til at foretaget en grov vurdering og indikation på indeklimaet i danske boliger. Dog kan beregningerne ikke vurdere det oplevede indeklima, hvilket skyldes at beregningerne midler over et døgn, og brugerne oplever indeklimaet i øjeblikket. Derudover konkluderes det på baggrund af valideringen af konceptet med udgangspunkt i sensitivitetsanalyser, at de største usikkerheder i forbindelse med indeklimaberegningerne skyldes brugernes adfærd. Adfærd er utrolig individuelt, og det er derfor yderst vanskeligt at opstille en generaliseret model, der kan tage højde for hver enkel persons adfærd.

Visonen for nærværende projekt har været at integrere simplificerede indeklimaberegninger samt brugernes adfærd med energiberegninger. Årsagen til anvendelse af simple indeklimaberegninger er visonen om at finde et brugbart alternativ til BSim, idet dette program er yderst detaljeret og derved også omkostningstungt. Den foreløbige validering af konceptet har vist, at det er muligt at foretage sådanne simuleringer med god tilnærmelse i forhold til målinger. Beregningerne for middeldøgn vurderes på baggrund af valideringen, at være anvendelig på nuværende tidspunkt, men det anbefales ikke at basere vurderingen af indeklimaet på middeldøgnet. En videreudvikling af SiByB baseret på maksdøgnet, vil dog optimere konceptet i forhold til evaluering af indeklimaet. Derfor vil det, førend konceptet kan anvendes til fulde, være nødvendigt at videreudvikle beregningerne for maksdøgnet således at brugeradfærden tilpasses det faktiske komfortniveau i boligen.

Kapitel **18**

Perspektivering

På baggrund af konklusionen vurderes dett, at konceptet indeholder udviklingsmuligheder i beregningen af boligers ydeevne under hensyntage til brugernes adfærd. Perspektiveringen har derfor til formål, at rette fokus mod fremtidigt arbejde i forbindelse med implementeringen brugeradfærds indlfydelse på energiforbruget.

Modeller til forudsigelse af energiforbruget
I undersøgelsen, af modellerne udviklet til at forudsige energiforbruget i bygninger, er specifikke tekniske og sociologiske modeller samt kombinerede socio-tekniske modeller gennemgået. I rapporten er det konkluderet, at de fleste sociologiske og socio-tekniske metoder og modeller udelukkende er baseret på teoretiske overvejelser og derfor ikke er afprøvet på konkrete projekter. Et fremtidigt arbejde kan ligge i, at afprøve sådanne modeller på egentlige projekter for at teste validiteten af de enkelte modeller for derved at kunne overføre dem til dagnes beregningspraksis.

Et yderligere fremtidigt arbejde kan ligge i, at implementere de sociologiske og psykologiske aspekter i integreret bygningsdesign. Integreret bygningsdesign er i dag opbygget omkring samarbejdet mellem arkitekter, ingeniører, entreprenører, bygherren osv. Implementering af de sociologiske og psykologiske aspekter i det integrerede bygningsdesign, vil kunne assistere aktørerne i at integrere brugerne og deres adfærd i bygningsdesignet, således at selve projekterings- og udførelsesarbejdet af bygningen får et mere holistisk perspektiv.

Fremtidige forbedringer og udvidelser til SiByB
Energiberegningerne i SiByB tager udgangspunkt i energiberegningsmetoden anvendt i Be10. For at gøre det mere relevant for rådgivende ingeniører at anvende SiByB foreslås det, at et fremtidigt arbejde ligger i at integrere Be10 programmet i beregningsgangen i SiByB. Som beskrevet i rapporten anvender SiByB regnearksversionen til Be10, hvorfor opsætningen af SiByB er foretaget således, at principperne og beregningsgangen mellem indeklima- og energiberegningen direkte kan overføres til en beregningsgang, hvor selve Be10 programmet benyttes. I den henseende skal det bemærkes, at regnearksversionen er tilsvarende Be10 version 5,10,12,5, hvorfor en nyere version af Be10 kan medføre komblikationer i dette arbejde. Ligeledes kan et nyt bygnignsreglementet, i år 2015, medføre ændringer i energiberegningsgangen, således komblikationer vil opstå.

Indeklimaberegningerne i SiByB foretages uden hensyntagen til det enkelte ventilationsprincip anvendt i boligen. For at forbedre indeklimaberegningerne kan ventilationseffektiviteten samt temperatureffektiviteten med fordel integreres. Denne integrering vil medføre, at det valgte ventilationsprincip vil få indflydelse på det beregnede indeklima.

I SiByB inkluderes brugernes adfærd ved at implementere opstillede fordelingsfunktioner for relevante brugerrelaterede parametre. Eneste fordeling i SiByB af de brugerrelaterede parametre, der er mulig at opstille på baggrund af målinger, er setpunktstemperaturen for rumopvarmningen. Et stort fremtidigt arbejde kan altså ligge i, at foretage sådanne målinger, der kan anvendes til datagrundlag for opstillingen af fordelingerne af de brugerrelaterede parametre til SiByB. Overvejelser omkring hvilke boligtyper, der skal måles på, kan ligeledes være med til at forbedre SiByB. Såfremt det tilstrækkelige datagrundlag foreligger, kan et eventuelt fremtidigt arbejde i forbindelse med udvidelsen af SiByB ligge i, at konstruere brugerprofiler til forbedring af simuleringen af brugeradfærdens påvirkning på energiforbruget og indeklimaet. Sådanne brugerprofiler kan assistere ingeniørerne i, at vejlede bygherren omkring adfærden af forskellige brugerprofiler, og hvilken betydning denne har for boligens totale energiforbrug samt indeklima.

SiByB opererer udelukkende med boliger. For at kunne inkludere alle bygningstyper i SiByB er det nødvendigt at kortlægge hvilke brugerrelaterede parametre, der har stor indflydelse på energiforbruget og indeklimaet i den resterende bygningsmasse. Herunder er det nødvendigt, at undersøge om de mest indflydelsesrige parametre er forskellige for de enkelte bygningstyper imellem. Det vurderes dog, at parametrene i det store og hele stemmer overens med parametrene fundet i denne rapport. Dog skal parametre såsom brugstiden og belysning undersøges nærmere. Ud over at kortlægge de mest indflydelsesrige parametre er det nødvendigt, at have et tilstrækkeligt datagrundlag for at opstille fordelinger for de enkelt brugerrelaterede parametre. Kvaliteten og størrelsen af datagrundlaget er afgørende for, hvor sandsynlig SiByB simulerer brugerens indflydelse på energiforbruget og indeklimaet. Et stort arbejde foreligger altså i, at indhente og foretage de nødvendige målinger.

SiByB vurderer energiforbruget og indeklimaet hver for sig i henhold til BR10 og DS/EN 15251. For at give en samlet vurdering af bygningen og dens ydeevne, kan der med fordel integreres en metode i SiByB til at vurdere bygningens indeklima og energiforbrug i en samlet vurderingsfaktor. Overvejelser i forbindelse med en sådan metode bør fokusere på hvorledes vægtningen af henholdsvis indeklimaet og energiforbruget skal foretages samt hvorledes det kumulerede indeklima skal vurderes, herunder vægtning af peakværdier og vægtning af det termiske og atmosfæriske indeklima.

Som beskrevet i rapporten anvendes overslagsberegninger for indeklimaet, hvor månedsmiddelværdier for middeldøgn samt maksdøgn anvendes. Konklusionen på anvendelsen af middeldøgnsmetoden er, at selvom der er et godt fit mellem målingerne og resultaterne fra SiByB simuleringerne, er det ikke ensbetydende med, at resultaterne er brugbare i forhold til en faktisk evaluering af indeklimaet. Anvendelsen af middeldøgnsmetoden betød, at indeklimaet blev midlet over døgnet, hvorfor resultaterne ikke viste det reelle billede af indeklimaet, som brugerne vil opleve det, når de er tilstede i boligen. Det anbefales derfor, at videreudvikle metoden til beregning af indeklimaet med fokus på maksdøgnet, da det er i disse tilfælde problematikkerne med hensyn til indeklimaet vil opstå. Derfor anbefales det at fokusere på overvejelser omkring hvilke vejrdata, der skal anvendes, samt hvorledes brugernes adfærd vil være i henhold til den anvendte metode.

Litteraturliste

Litteraturliste

Abildgaard, A., 2010. Fejl i mange lavenergihuse. Nordjyske Stiftidende, Erhverv sektionen 29. Aug.

Aggerholm, S., Grau, K., 2007. SBI 213: Bygningers energibehov, beregningsvejledning. Statens Byggeforskningsinstitut.

Andersen, B., Eidorff, S., Hallgreen, L., Lund, H., Pedersen, E., Rosenørn, S., Valbjørn, O., 1982. Vejrdata for VVS og energi: Dansk referenceår TRY. ISBN 87-563-0418-8. Statens Byggeforskningsinstitut.

Andersen, R., 2009. Occupant Behaviour with Regard to Control of the Indoor Environment. Ph.D. thesis, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, International Center for Indoor Environment and Energy.

Andersen, R., Toftum, J., Andersen, K., Olesen, B., 2009. Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. Energy and Buildings (41), s. 11–16.

Andersen, U., 2010a. Lavenergihuse plages af overophedning og kolde rum. `http://ing.dk/artikel/111357-lavenergihuse-plages-af-overophedning-og-kolde-rum`, ingeniøren 27. Aug.

Andersen, U., 2010b. Velfacs aktivhus bruger dobbelt så meget energi som forventet. `http://ing.dk/artikel/112626-velfacs-aktivhus-bruger-dobbelt-saa-meget-energi-som-forventet`, ingeniøren 6. Okt.

Aydinalp, M., Ugursal, V., Fung, A., 2002. Modeling of the Appliance, Lighting, and Space-cooling Energy Consumtions in the Residential Sector using Neural Networks. Applied Energy Vol. 71, s. 87–110.

Ayyub, B. M., McCuen, R. H., 2003. Probobility, Statistics and Reliability for Engineers and Scientists, second edition. ISBN: 1-58488-286-7. Chapman & Hall/CRC.

Barr, S., Gilg, A., Ford, N., 2005. The Household Energy Gap: Examining the Divide Between Habitual- and Purchase-related Conservation Behaviours. Energy Policy Vol. 33, s. 1425–1444.

Bendtsen, A., Sørensen, M., 2005. Usikkerhed i bygningssimulering - er det muligt at forudsige bygningers ydeevne? Master's thesis, Aalborg Universitet, master thesis.

Bøhm, B., Schrøder, F., Bergsøe, N. C., 2009. Varmbrugsvand måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger SBI2009:10. ISBN: 978-87-563-1372-8. Statens Byggeforskningsinstitut 2003.

Bjørn, E., Brohus, H., 2003. A Design Oriented Indexing System for Energy ude and Indoor Climate. Proceedings of Healthy Buildings, 7th International Conference, Singapore.

Bolig- og Byministeriet, 1998. Bygningsreglementet for småhuse. Bolig- og Byministeriet.

Boligministeriet, 1961. Bygningsreglement for købstæderne og landet. Boligministeriet.

Boligministeriet, 1977. Bygningsreglementet 1977. Boligministeriet.

BP-International, 2010. Today's Energy Challenge. `http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9032936&contentId=7060393`.

Brohus, H., 2010a. Personlig kommunikation, associated Professor at Aalborg University department of Architectural Engineering.

Brohus, H., 2010b. Slides, stochastic Modelling, 8. semester, kursuggang 3.

Brohus, H., Heiselberg, P., Hesselholt, A., Rasmussen, H., 2009. Application of Partial Safety Factors in Building Energy Performance Assessment. Proceedings of building simulation - University of Stratchclyde - Conference, Glasgow, 27.-30. Juli.

Brohus, H., Heiselberg, P., Simonsen, A., Sørensen, K., 2010. Influence of Occupants' Behaviour on the Energy Consumption of Domestic Buildings. Proceedings of Clima 2010 Rehva World Congress, 9.-12. maj.

Brunsgaard, C., Heiselberg, P., Knudstrup, M.-A., Larsen, T. S., 2011. Evaluation of the indoor environment in the Comfort Houses-qualitative and qantitative approaches. " `http://vbn.aau.dk/da/publications/evaluation-of-the-indoor-environment-in-the-comfort\-houses--qualitative-and-quantitative-approaches(e09d1071-6001-4622-8c1a-18587da67ffa).html`.

Brunsgaard, C., Heiselberg, P., Larsen, T., Knudstrup, M., 2010. Kvantitativ og kvalitativ evaluering af indeklimaet i komfort husene. Passivhus Norden konference, oktober.

Buhl, B. L., Christiansen, J., Konradsen, L., Pejtersen, B. H., Rasmussen, K. O. J., Andersen, P. V., Bagh, L. K., 2008. Vand og afløb ståbi. ISBN: 978-87-571-2660-0. Nyt Teknisk Forlag.

Byggestyrelsen, 1985. Bygningsreglementet for småhuse. Byggestyrelsen.

Byggestyrrelsen, 1982. Bygningsreglementet 1982. Byggestyrrelsen.

Capasso, A., Grattieri, W., Lamedica, R., Prudenzi, A., 1994. A Bottom-up Approach to Residential Load Modeling. IEEE Transactions on Power Systems Vol. 9 (Nr. 2), s. 957–964.

Center for energibesparelser, 2010. Produkter. " `http://www.goenergi.dk/forbruger/produkter`.

Chappells, H., Shove, E., 2005. Debating the Future of Comfort: Environmental Sustainability, Energy Consumtion and the Indoor Environment. Building Research & Information Vol. 33 (Nr. 1), s. 32–40.

Christiansen, E., Kanstrup, A., Grønhøj, A., Larsen, A., 2009. Elforbrug på e-mail & sms: Rapport om 22 husholdningers erfaringer efter et års feedback. Tech. Rep. e-learning Lab Publication Series No. 17, issn: 1901-2705, Center for User-Driven Innovation, Learning & Design, Aalborg University.

Cramer, J., Hackett, B., Graig, P., Vine, E., Levine, M., Dietz, T., Kowalczyk, D., 1984. Structual-Behavioural Determinants of Residential Energy Use: Summer Electricity Use in Davis. Energy Vol. 9 (Nr. 3), s. 207–216.

Cramer, J., Miller, N., Craig, P., Hackett, B., Dietz, T., Vine, E., Levine, M., Kowalczyk, D., 1985. Social and Engineering Determinants and their Equity Implications in Residential Electricity Use. Energy Vol. 10 (Nr. 12), s. 1283–1291.

Danmarks Statistik, 1957. Statistisk Årbog 1957. Det Statistiske Departement.

Danmarks Statistik, 1976. Statistisk Årbog 1976. isbn: 87-501-0354-7. Danmarks Statistik.

Danmarks Statistik, 1996. Statistisk Årbog 1996. isbn: 87-501-0959-6. Danmarks Statistik.

Danmarks Statistik, 2009. Statistisk Årbog 2009. isbn: 978-87-501-1754-4. Danmarks Statistik.

Dansk Standard, 1995. DS474: Norm for specifikation af termisk indeklima. isbn: 978-87-571-1676-2. Nyt Teknisk Forlag.

Dansk Standard, 1999. DS452: Termisk isolering af tekniske installationer. isbn: 978-87-571-2357-9. Nyt Teknisk Forlag.

Dansk Standard, 2002. DS418: Beregning af bygningers varmetab. isbn: 978-87-571-2458-3. Nyt Teknisk Forlag.

Dansk Standard, 2005. DS447: Norm for mekaniske ventilationsanlæg. isbn: 978-87-571-0674-9. Nyt Teknisk Forlag.

Dansk Standard, 2006. DS/ENISO 7730: Ergonomi inden for termisk miljø - Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregning af PMV- og PPD- indekser og lokale komfortkriterier. Dansk Standard.

Dansk Standard, 2009. DS439: Norm for Vandinstallationer. isbn: 978-87-571-2374-6. Nyt Teknisk Forlag.

Energiministeriet, 1990. Energi-2000: Handlingsplan for en bæredygtig udvikling. isbn: 50-38-3779. Energiministeriet.

Energistyrelsen, 2010. Indsats i bygninger. `http://www.ens.dk/da-DK/ForbrugOgBesparelser/IndsatsIBygninger/Sider/Forside.aspx`, d. 11. november 2010.

Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2008. Bygningsreglementet 2008. Erhvervs- og Byggestyrelsen.

Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010. Bygningsreglementet 2010. isbn-13 9251847. Erhvervs- og Byggestyrelsen.

Erhvervs- og Byggestyrrelsen, 2010. Bekendtgørelse om offentliggørelse af Bygningsreglement 2010. `http://www.ebst.dk/file/104440/bygningsreglement.pdf`.

Europa-parlamentet og -rådet, 2002. Europa-parlamentets- og -rådets direktiv 2002/91/ef af 16. december 2002 om bygningers energimæssige ydeevne. De Europæiske Fællesskabers tidende 4.1.2003.

Europa-parlamentet og -rådet, 2010. Directive 2010/31/eu of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union 18.6.2010.

European Commission, 2010. EU Energy and Transport in Figures - Statistical Pocketbook. isbn: 1725-1095. European Commission.

European Commission - IPSC, 2008. Simlab 2.2 Reference manual. " `http://simlab.jrc.ec.europa.eu/docs/index.htm`.

European Committee for Standardization, 1998. CR 1752, Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment. isbn: 0-580-32196-7. European Committee for Standardization.

European Committee for Standardization, 2007a. DS/EN 15242, Ventilation i bygninger - Beregningsmetoder til bestemmelse af luftvolumenstrømme i bygninger, inklusive infiltration. European Committee for Standardization.

European Committee for Standardization, 2007b. DS/EN 15251, Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik. European Committee for Standardization.

Fanger, P., 1972. Thermal Comfort - Analysis and Applications in Indoor Environmental Engineering. ISBN: 0-07-019915-9. MCGraw-Hill Book Company.

Feist, W., Peper, S., Kah, O., von M. Oesen, 2005. CEPHEUS - PEP Project Information No. 1 - Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results. Tech. rep., Passiv House Institute.

Fritzsche, D., 1981. An Analysis of Energy Consumption Patterns by Stage of Family Life Cycle. Journal of Marketing Research Vol. 18 (Nr. 2), s. 227–232.

Gill, Z., Tierney, M., Pegg, I., Allan, N., 2011. Measured Energy and Water Performance of an Aspirin Low Energy/Carbon Affordable Housing Site in the UK. Energy and Buildings Vol. 43 (Nr. 1), s. 117–125.

Gjerris, M., Gamborg, C., Olesen, J., Wolf, J., 2009. Earth on Fire Climate Change from a Philosophical and Ethical perspective. `http://www.forskningsbase.life.ku.dk/fbspretrieve/13574336/79544_earth_on_fire_4k.pdf`.

Gram-Hanssen, K., 2003. By og Byg Resultater 029, Boligers energiforbrug - sociale og tekniske forklaringer på forskelle. ISBN: 87-563-1170-2. Statens Byggeforskningsinstitut 2003.

Gram-Hanssen, K., 2005a. SBI 12: Husholdningernes elforbrug - hvem bruger hvor meget og til hvad? isbn 87-563-1235-0. Danish Building Research Institute.

Gram-Hanssen, K., 2005b. Teenage Consumption of Information and Communication Technology. Proceedings of the 2005 European Council for an Energy Efficient Economy.

Gram-Hanssen, K., Kofod, C., Petersen, K. N., 2004. Different Everyday Lives - Different Patterns of Electricity. Proceedings of the 2004 American Council for an Energy Efficient Economy, Summerstudy in Buildings.

Guerra-Santin, O., Itard, L., 2010. Occupants' Behaviour: Determinants and Effects on Residential Heating Consumption. Building Research & Research Vol. 38 (Nr.3), s. 318–338.

Hall, D., Lobina, E., 2004. Private and Public Interests in Water and Energy. Natural Resources Forum 28 (pp. 286-277).

Hamby, D., 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. Environmental Monitoring and Assessment Vol. 32 (Nr. 1), s. 135–154.

Hansen, H., Kjerulf-Jensen, P., Stampe, O. B., 2006. Varme- og klimateknik, Grundbog. ISbN: 87-982652-8-8. Danvak.

Heiselberg, P., 2007. Integrated Building Design. issn: 1901-7286, DCE Lecture Notes No. 017, aalborg University, Department of Civil Engineering.

Heiselberg, P., Aggerholm, S., 2002. SBI 202: Naturlig ventilation i erhvervsbygninger. Statens Byggeforskningsinstitut.

Helton, J., Iman, R., 1982. Sensitivity Analysis of a Model for the Environmental Movement of Radionuclide. Healt and Physics 42, s. 565–584.

Helton, J. C., 1993. Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal. Reliability Engineering and System Safety 42, s. 327–367.

Henrik Brohus, 2011. Personlig kommunikation ved lektor Henrik Brohus.

Hesselholt, A. T., Rasmussen, H. E. S., 2008. Bygningers energimæssige ydeevne. Master's thesis, Aalborg Universitet, master thesis.

Hirst, E., 1978. A Model of Residential Energy Use. SIMULATION Vol. 30, s. 69–74.

Hitchcock, G., 1993. An Integrated Framework for Energy Use and Behaviour in the Domestic Sector. Energy and Buildings (Vol. 20), s. 151–157.

Hitz, S., Smith, J., 2004. Estimating Global Impacts from Climate Change. Global Environmental Change Vol.14 (Issue 3), s. 201Ű218.

Hoes, P., Loomans, J., de Vries, B., Bourgeois, D., 2009. User behavior ind whole building simulation. Energy and Buildings Vol. 41, s. 295–302.

Home, 2010. Danskerne: Energirigtige huse hitter og giver gevinst. `http://home.dk/bolignyt/flere-artikler/august-2010/danskerne-energirigtige-huse-hitter\-Ű-og-giver-gevinst`, d. 11 november.

Huang, Y., Broderick, J., 2000. A Bottom-up Engineering Estimate of the Aggregate Heating and Cooling Loads of the Entire US Building Stock. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-46303.

Hyldgård, C. E., Funch, E., Steen-Thøde, M., 1997. Grundlæggende Klimateknik og Bygningsfysik. ISSN: 1395-8232 U9714. Aalborg Universitet.

Iman, R., Conover, W., 1979. The Use of the Rank Transform in Regression. Technometric 21 (4), s. 499–509.

IPCC, 2007. The Intergovernmental Panel on Climate Change - Climate Change 2007, Mitigation of Climate Change.
http://www.ipcc-wg3.de/publications/assessment-reports/ar4/.files-ar4/Chapter04.pdf.

Isaksson, C., Karlsson, F., 2005. Indoor Climate in Low-energy Houses - an Interdisciplinary Investigation. Building and Environment (Vol. 41), s. 1678–1690.

Isover a Brand of Saint-Gobain, 2009. Komfort Husene - erfaringer, viden og inspiration. Saint-Gobain Isover A/S.

Jaccard, M., Baille, A., 1996. An $C0_2$ Emission Reduction Costs in the Residential Sector: Behavioral Parameters in a Bottom-up Simulation Model. Energy Journal Vol. 17 (Nr. 4), s. 107–135.

Karlsson, F., Moshfegh, B., 2006. Energy Demand and Indoor Climate in a Low Energy Building - Changed Control Strategies and Boundaray Conditions. Energy and Buildings Vol. 38, s. 315–326.

Karlsson, J., Roos, A., 2000. Modelling the angular behaviour of the total solar energy transmittance of windows. Solar Energy 69 (Nr. 4), s. 321–329.

Karlsson, K., Ellegård, K., 2009. Visualizing Patterns of Energy Use in Household - The activity Approach. EGEE 2009 Summer study - act! innovate! deliver! reducing energy demand sustainably.

Klima- og Energiministeriet, 2010. Energistatistik 2009. isbn: 978-87-7844-872-9. Energistyrelsen.

Kristensen, L., Jensen, O. M., 2010. Erfaringsopfølgning på lavenergibyggeri klasse 1 og 2 - med "Fremtidens Parcelhuse"som eksempel. Tech. rep., SBI, Energitjenesten, Det Grønne Hus.

Kristiansen, F., Saxhof, B., Thomsen, K. E., Schultz, J., Jørgensen, M., Dedenroth, P., Jørgensen, L. K., 2000. Lavenergirækkehuse IEA - Task 13 - Målinger og beregninger. ISBN: 87-7877-045-9. DTU - Institut for Bygninger og Energi.

Kuhn, S., 1999. Livsstilens betydning for energiforbruget. Ph.D. thesis, Sociologisk Institut, Københavns Universitet, isbn: 87-7296-170-8.

Labandeira, X., Labeaga, J., Rodn'guez, M., 2006. A Residential Energy Demand System for Spain. Energy Journal Vol. 27 (Nr. 2), s. 87–111.

Lafrance, G., Perron, D., 1994. Evolution of Residential Electricity Demand by End-use in Quebec 1979-1989: A Conditional Demand Analysis. Energy Studies Review Vol. 6 (Nr. 2), s. 164–173.

Larsen, B. L., Nesbakken, R., 2004. Household Electricity End-use Consumption: Results from Econometric and Engineering Models. Energy Economics Vol. 26, s. 179–200.

Larsen, T., Brunsgaard, C., 2010. Komforthusene - udvikling af passivhus konceptet i en dansk kontekst. Passivhus Norden konference, oktober.

Larsen, T., Bruunsgaard, C., Jensen, R., 2011. Demonstration af energiforbrug og indeklima i 10 danske passivhuse. "
http://vbn.aau.dk/da/projects/demonstration-af-energiforbrug-og-indeklima-i-10-\
danske-passivhuse(10c960c0-db35-4bcc-a141-34f77dac9aae).html.

Larsen, T. S., 2010. Personlig kommunikation, associated Professor at Aalborg University department of Architectural Engineering.

Larsen, T. S., 2011. Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri - med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri. Aalborg Universitet.

Lomas, K. J., Eppel, H., 1992. Sensitivity Analysis Techniques for Building Thermal Simulation Programs. Energy and Buildings 19, s. 21–44.

Lutzenhiser, L., 1992. A Cultural Model of Household Energy Consumption. Energy Vol. 17 (Nr. 1), s. 47–60.

Maagaard, S. E., Lautrup, R., 2008. Langtidsevaluering af termisk komfort - komfortindikatorer og menneskelig adaptivitet. Master's thesis, Aalborg Universitet, master thesis.

Macdonald, I. A., 2002. Quantifying the Effects of Uncertainty in Building Simulation. Ph.D. thesis, Department of Mechanical Engineering - University of Strathclyde.

Marsh, R., Larsen, V., Hacker, J., 2008. Bygninger Energi Klima. Mod et nyt paradigme. isbn: 978-87-563-1347-6. Statens Byggeforskninginstitut.

Marszal, A., 2010. Bolig+ - er det fremtiden byggeri. Nyt fra forskningsfronten på AAU - Danvak arrangement, aalborg Universitet.

Mihalakakou, G., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., 2002. On the Energy Consumption in Residential Buildings. Energy and Buildings Vol. 34, s. 727–736.

Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010. 3-2-1 Energiparcel - himlen, haven og hele huset med... Projektmateriale februar 2010.

Morgan, M. G., Henrion, M., 1992. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis - 6. Edition. Cambridge University Press, iSBN: 0521365422.

Morris, M., 1991. Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. Technometries 33 (2), s. 161–174.

Murphy, P., Staples, W., 1979. A Modernized Family Life Cycle. Journal of Consumer Research Vol. 6, s. 12–22.

Nesbakken, R., 1998. Residential Energy Consumption for Space Heating in Norwegian Households - A Discrete-Continuous Choice Approach. Discussion Papers No. 231.

Nesbakken, R., 1999. Price Sensitivity of Residential Energy Consumption in Norway. Energy Economics Vol. 21, s. 493–515.

Nicol, J., Humphreys, M., 2004. A Stochastic Approach to Thermal Comfort - Occupant Behaviour and Energy Use in Buildings. ASHRAE Transactions Vol. 101 (Nr. 2), s .554–586.

Nielsen, S., 2009. Universitets "gren lighthouse- en demo til cop15. HVAC-Magasinet Vol. 45 (Nr. 12).

Ozturk, H. K., Canyurt, O. E., Hepbasli, A., Utlu, Z., 2004. Residential-Commercial Energy Input Estimation Based on Genetic Algorithm (ga) Approaches: an Application of Turkey. Energy and Buildings Vol. 36 (Nr. 2), s. 175–183.

Parekh, A., 2005. Development of Archetypes of Building Characteristics Libraries for Simplified Energy Use Evaluation of Houses. Ninth International IBPSA Conference, Montréal, Canada 15.-18. Aug.

Parti, M., Parti, C., 1980. The Total and Appliance-specific Conditional Demand for Electricity in the Household Sector. The Bell Journal of Economics Vol. 11 (Nr. 1), s. 309–321.

Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., Stewart, R., 1990. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance. Solar Energy 44 (Nr. 5), s. 271–289.

Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H., Alcamo, J., Barker, T., Kammen, D., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Osman-Elasha, Stern, N., Wæver, O., 2009. Syntese-rapport. Climate Change, Global Risks, Challenges and Decisions conference i København (10.-12. March).

Ritchie, J., Dougall, G. M., Claxtion, J., 1981. Complexitites of Househols Energy Consumption and Conservation. The Journal of Comsumer Research Vol. 8 (Nr. 3), s. 233–242.

Saidur, R., Masjuki, H., Jamaluddin, M., 2007. An Application of Energy and Exergy Analysis in Residential Sector of Malaysia. Energy Policy Vol. 35 (Nr. 2), s. 1050–1063.

Saltelli, A., Chan, K., Scott, E., 2004a. Sensitivity Analysis. ISBN: 0-471-99892-3. John Wiley and Sons.

Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., Ratto, M., 2004b. Sensitivity Analysis In Practice. ISBN: 0-470-87093-1. John Wiley and Sons.

Schild, P. G., Klinski, M., Grini, C., 2010. Analyse og sammenlikning av krav til energieffektivitet i bygg i Norden og Europa - Prosjektrapport nr. 55. ISBN: 978-82-536-1146-4. SINTEF Byggforsk.

Schipper, L., 1995. Energy Efficiency and Human Activity. The Importance of Lifestyle. Lawrence Berkley Laboratory.

Shimoda, Y., Fujii, T., Morikawa, M., Mizuno, M., 2004. Residential End-use Energy Simulation at City Scale. Building and Environment Vol. 39 (Nr. 8), s. 959–967.

Simonsen, A., Sørensen, K. C., 2007. Usikkerhed ved energiforbruget i danmark. Master's thesis, Aalborg Universitet, master thesis.

Sønderskov, B., 2010. Billige grunde skal bane vej for miljørigtige hus. Horsens folkeblad 2. sektion 6. oktober.

Standard, D., 1995. DS469: Varmeanlæg med vand som varmebærende medium - Dimensioneringsforudsætninger og energieffektivitet. isbn: 978-87-571-1676-2. Nyt Teknisk Forlag.

Stephenson, J., Barton, B., Carrington, G., Gnoth, D., Lawson, R., Thorsnes, P., 2010. Energy Cultures: A Framework for Understanding Energy Behaviours. Energy Policy Vol. 38, s. 6120–6129.

Swan, L., Ugursal, V., 2009. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling tecniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 13, s. 2819–1835.

Tine S. Larsen, 2009. Måleprogram og resultater fra komforthusene, stenagervænget 37, skibet, 7100 vejle.

TNS Gallup A/S, 2010. GallupKompas.
`http://www.gallup.dk/vores-markedsfokus/medier/printmedier/gallupkompas.aspx`, d. 25. november.

Tommerup, H., 2004a. Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav, Byggesystem: Skalmurede porebetonelemeter 1, Rapport BYG-DTU R-097. ISBN: 87-7877-162-5. DTU - Departement of Civil Engineering.

Tommerup, H., 2004b. Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav, Byggesystem: Skalmurede porebetonelemeter 2, Rapport BYG-DTU R-097. ISBN: 87-7877-163-3. DTU - Departement of Civil Engineering.

Tommerup, H., 2007. Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980, Del 2 Målinger, Rapport BYG-DTU R-166. ISBN: 9788778772404. DTU - Departement of Civil Engineering.

Tommerup, H., Rose, J., 2002. Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner Del 1: Konstruktioner/systemer, Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet, Rapport BYG-DTU R-040. ISBN: 87-7877-099-8. DTU - Departement of Civil Engineering.

Tornberg, J., Thuvander, L., 2005. A GIS Energy Model for the Building Stock of Göteborg. Proceedings of the 25th Annual ESRI User Conference.

T.S. Larsen, R.L. Jensen m.fl., 2011. Energiparcel - nyt energi til dit hus. "
`http://vbn.aau.dk/da/projects/energiparcel--ny-energi-til-dit-hus(73716552-926d-474b\`
`-b0aa-65888b3b7cfc).html`.

Tso, G., Yau, K., 2007. Predicting Electricity Energy Consumption: a Comparison of Regression, Decision Tree and Neural Networks. Energy Vol. 32, s. 1761–1768.

Valbjørn, O., Lausten, S., Høwisch, J., Nielsen, O., Nielsen, P. A., 2000. SBI anvisning 196 - Indeklimahåndbogen. ISBN: 87-563-1041-2. Statens Byggeforsknings Institut.

van Raaij, W., Verhallen, M., 1983a. A Behavioral Model of Residential Energy Use. Journal of Economic Psychology (Vol. 3), s. 39–63.

van Raaij, W., Verhallen, M., 1983b. Patterns of Residential Energy Behavior. Journal of Economic Psychology Vol. 4, s. 85–106.

Velfac, 2010. Bolig for livet.
`http://www.velfac.dk/Privat/Bolig_for_livet`, d. 26 oktober.

Verhallen, M., van Raaij, W., 1981. Household Behavior and the Use of Natural Gas for Home Heating. The Journal of Consumer Research Vol. 8 (Nr. 3), s. 253–257.

Wells, W., Gubar, G., 1966. Life Cycle Concept in Marketing Research. Journal of Marketing Research Vol. 3, s. 355–363.

Williamson, T., Soebarto, V., Radford, A., 2010. Comfort and Energy Use in Five Australian Award-Winning Houses: Regulated, Measured and Percieved. Building Research & Information Vol. 38 (Nr. 5), s. 509–529.

With, J., 2009. Tættere end nogensinde. Byggeriet, Dansk Byggeri (1. sektion Marts).

Wittchen, K. B., Kjeld Johnsen, K. G., Rose, J., 2009. Bsim brugervejledning version 6.9.10.23. Tech. rep.

Zhang, Q., 2004. Residential Energy Consumption in China and its Compared with Japan, Canada and USA. Energy and Buildings Vol. 36 (Nr. 12), s. 1217–1225.

Bilag

Bilag **A**

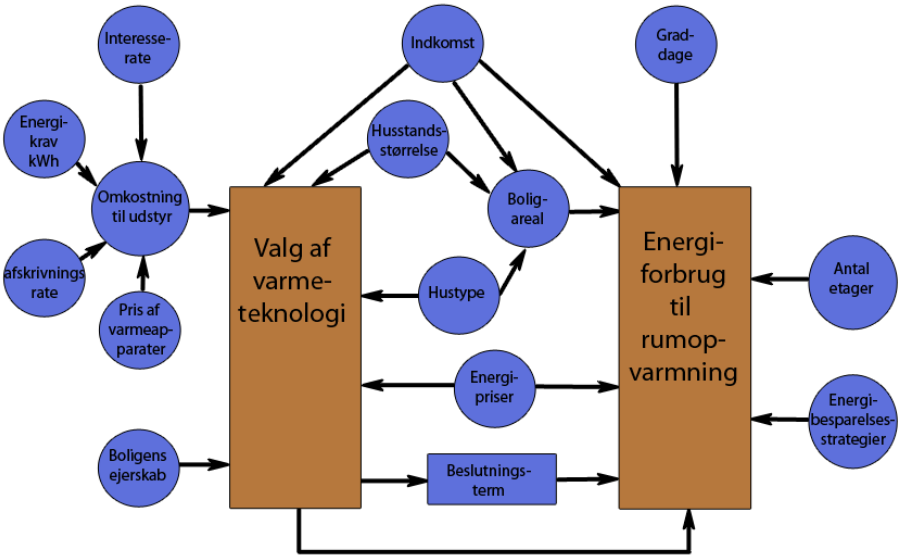
Top-down modeller

I dette bilag vil de økonometriske samt teknologiske modeller blive præsenteret.

A.1 Økonometriske modeller

De økonometriske modeller er primært baseret på energipriser samt husstandens indkomst. De økonomiske variable evaluerer på denne måde forandringerne i energiforbruget.[Swan og Ugursal, 2009] Som eksempel på en top-down model, der anvender økonometri kan nævnes Hirst [1978], der har udviklet en model til at simulere energiforbruget i boliger i perioden 1970-2000, formålet med denne model er at identificere de områder, hvor der kan effektiviseres i forhold til energiforbruget. Modellen kombinerer output fra boligens klimaskærm, økonomiske modeller og teknologiske modeller. Nesbakken [1999] anvender ligeledes en økonometrisk model til at teste energiprisernes følsomhed i forhold til energiforbruget. I det følgende vil modellen udviklet af Nesbakken [1999] blive præsenteret.

Nesbakken [1999] tager udgangspunkt i en diskret-kontinuer beslutningsmodel, der fokuserer på forholdet mellem valget af opvarmningsmetode og energiforbruget i boligen. På baggrund af en række diskrete samt kontinuerte valg kan energiforbruget beregnes. Valget af model er faldet på en diskret-kontinuer beslutningsmodel, idet det antages, at det er en forbindelse mellem varmesystemet og anvendelsen i dette system. Modellen er illustreret i figur A.1.



Figur A.1 – *Diskret-kontinuer beslutningsmodel, efter [Nesbakken, 1998]*

I denne model er den diskrete beslutning valget af energiforbrugende udstyr, og det kontinuerte valg er anvendelsen af udstyret som er påvirket af investeringbeslutningen i den diskrete beslutning. Indkomstens effekt på valget af varmesystem er proportional med energiforbruget. Det totale energiforbrug på baggrund af valget af varmesystem j, som er givet ved: [Nesbakken, 1998]

$$\begin{aligned} X_j &= \sum_{h=1}^{H} X_{hj} \\ X_{hj} &= \frac{-\partial V_j / \partial P_h}{\partial V_j / \partial Y} \\ V_j &= max_k V_k \end{aligned}$$

Hvor:

X_j	Det totale energiforbrug
X_{hj}	Energiforbruget fra ét system
h	Den valgte energikilde
V_j	Indirekte forbrugsfunktion
P_h	Prisen af energikilde h
Y	Brutto indkomst
V_k	Indirekte forbrugsfunktion af det k'te varmesystem
j	Det aktuelle varmesystem

Modellen anvender data fra en spørgeskemaundersøgelse vedrørende norske forbrugsudgifter for årene 1993-1995. Det samlede datasæt inddeles i to delmængder, afhængig af husstandens indkomst for at teste dennes stabilitet, idet indkomstens stabilitet samt energiprisernes

elasticiteter er af speciel interesse. Boliger med central varme er udelukket af modellen pga. utilfredsstillende kvalitet af data.

Modellen viser at indkomstens betydning på energiforbruget varierer mellem de respektive indkomst grupper. Grupper med lav indkomst har ligeledes et lavt energiforbrug, og derfor vil det være svært for denne gruppe at reducere energiforbruget yderligere såfremt energipriserne stiger, og de er derfor ikke følsomme overfor stigende priser, set i forhold til energiforbrug. Grupper med høj indkomst derimod, vil grundet det høje energiforbrug være mere følsomme overfor ændringer i energipriserne.

Diskussion

De økonometriske top-down modeller er som oftest baseret på energipriser samt husstandes indkomst, og evaluerer på denne måde forandringer i energiforbruget. Mange modeller anvender en økonometrisk undermodel, til at identificere områder, der kan effektiviseres i forhold til at sænke energiforbruger. Nesbakken [1999] har med en diskret-kontinuer beslutningsmodel evalueret økonometriske faktorerpåvirkning på energiforbruget. Af modellen ses det at husstande med høj indkomst er mere følsomme overfor ændringer i energipriserne. Ofte vil økonometriske top-down modeller indgå i en samlet model med eksempelvis tekniske modeller, der er præsenteret i det følgende afsnit.

A.2 Tekniske modeller

Swan og Ugursal [2009] forklarer at tekniske top-down modeller anvendes til at estimerer energiforbruget på regionalt og nationalt niveau. De understreger ligeledes, at de tekniske top-down modeller ikke kan anvendes til at estimere enkelte boligers energiforbrug grundet datamaterialet, som ligger til grund for modellerne. Hvor de økonometriske modeller primært er baseret på prisindeks og indkomst, estimerer de tekniske modeller energiforbruget ved hjælp af et stort udvalg af karakteristika relateret til hele bygningsmassen, varmetransmissionsteori og termodynamiske relationer.

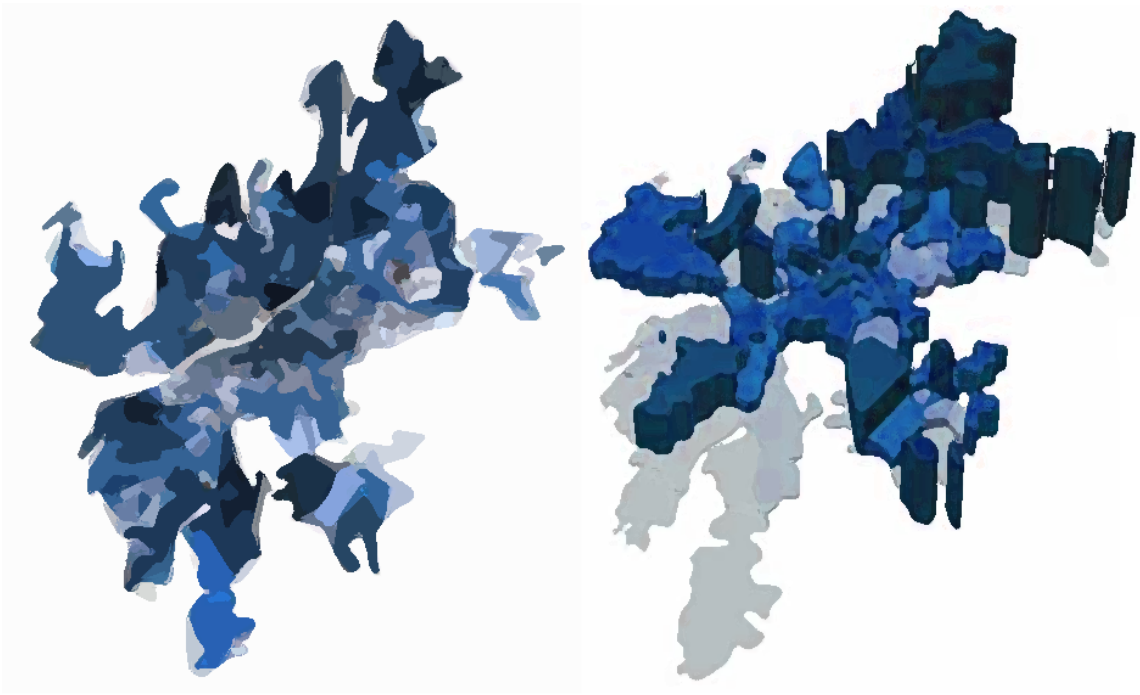
Der er mange måder at gribe de tekniske top-down modeller an på. Kendetegnet ved dem alle er, som tidligere beskrevet, inputdataene som henviser til regionalt og nationalt energiforbrug. Som eksempler på tekniske top-down modeller kan nævnes; Zhang [2004] der anvender syv klimazoner til at beregne Kinas energiforbrug, Ozturk et al. [2004] anvender genetiske algoritmer til at estimere energiforbruget af Tyrkiets bolig- og erhvervssektor, Labandeira et al. [2006] anvender en udvidet regressionsmodel til at estimere energiforbruget af Spaniens boligsektor, mens Tornberg og Thuvander [2005] udvikler en GIS-model til visuelt at illustrere Göteborgs energiforbrug. I det følgende vil modellen udviklet af Tornberg og Thuvander [2005] blive præsenteret.

Tornberg og Thuvander [2005] har udviklet en energimodel, der er baseret på Geographic Information Systems (GIS). Modellen har til formål at vurdere Göteborgs bygningsmasses miljømæssige påvirkning på omgivelserne. Bygningsmassens miljømæssige påvirkningsgrad bliver vurderet ud fra et overordnet billede af energiforbrugsfordelingen i Göteborg, hvori eventuelle områder med stort forbrug kan identificeres. Modellen er altså et redskab til poli-

tikere og andre interessenter til, at identificere og evaluere områder, hvor opmærksomheden omkring energioptimeringer og energirigtig adfærd kan forbedres.

Energimodellen er baseret på GIS, hvilket medfører at modellen linker energiforbrug med specifikke geografiske områder. For at kunne udføre dette, er det nødvendigt med tilstrækkelig repræsentativ data beskrivende energiforbruget. Energidataene, anvendt i modellen, kommer fra Göteborgs hovedforsyningsværk, ejendomsforvaltere og statistiske registre. Dataene fra forsyningsværket omhandler energiforbruget til fjernvarme, forbrug af gas samt elektricitet og indeholder energiforbrug til boligsektoren såvel som den industrielle sektor. Forsyningsværket har opdelt Göteborg i 590 distrikter, hvori energiforbruget, af de enkelte distrikter, opfanges af forskellige målestationer. Dataene for ejendomsforvaltere omhandler energiforbruget til opvarmning inklusiv varmt brugsvand. I alt indeholder dataene fra ejendomsforvalterne energiforbruget fra 680 bygninger. Data fra statistiske registre bliver anvendt for at kompensere for manglende data fra ejendomsforvalterne. De statistiske registre fodeler energiforbruget på bygningernes alder og type, og omhandler energiforbruget til opvarmning inklusiv varmt brugsvand.

Ved hjælp af energidataene, GIS samt en matrise som sammenkobler bygningernes type og byggeår, modellerer Tornberg og Thuvander [2005] Göteborgs energiforbrug. Modellen fordeler gasforbruget, elforbruget og fjernvarmeforbruget ud på geografiske områder og ikke på de enkelte husstande.



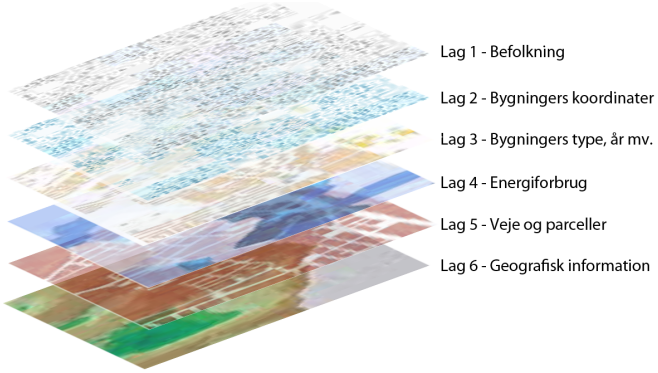
(a) 2D fordeling af elforbrug **(b)** 3D fordeling af fjernvarmeforbrug

Figur A.2 – *Model af energifordelingen over Göteborg, år 2001. Jo mørkere blå, jo større forbrug, efter [Tornberg og Thuvander, 2005]*

Figur A.2a og A.2b illustrere hvorledes elforbruget og fjernvarmeforbruget er fordelt over Göteborg, jo mere blå områderne er, jo større er forbruget, hvor de grå felter repræsenterer områder med manglende data. Figurene viser både en 2D og en 3D fremstilling af energifor-

bruget. Figuren giver et klart overordnet billede af fordelingen af energiforbruget i Göteborg og indikerer ligeledes hvilke områder, der har klart det største forbrug. Energiforbruget, vist på figuren, omhandler år 2001.

Modellen anvender seks informationslag i opbygningen af modellen, som illustreret på figur A.3. Lag 1 indeholder information omkring befolkningen. Lag 2 indeholder information omkring bygningernes koordinater. Informationslag 3 omhandler bygningerne og deres 3D præsentation, herunder også bygningernes type og byggeår. Informationslag 4 omhandler områdets energiforbrug omkring gas, el og opvarmning. En 2D og 3D illustration af lag 4 er fremhævet på figur A.2. Lag 5 indeholder information omkring veje og parceller mens lag 6 indeholder geografiske informationer.



Figur A.3 – *GIS-modellens informationslag*

Ved at udføre modelleringer, svarende til foregående beskrivelse, gennem en årrække, er det muligt at modellere trenden for energiforbruget for et geografisk område. Ud fra trenden, er det muligt at vurdere hvordan energiforbruget fremover udvikler sig. Modellen er altså et oplagt redskab for forsyningsværker og politikere til analysering og planlægning af forsyningsnetværket, oplysningskampagner og lignende.

Diskussion

De tekniske top-down modeller repræsenterer en bred vifte af metoder, som anvender et stort udvalg af karakteristika relateret til hele bygningsmassens. Modellerne er kendetegnet ved at kunne forudsige energiforbrugstrenden på lang sigt. Forudsigelsen udføres udelukkende på baggrund af historiske data, hvorfor modellerne ikke tager højde for diskontinuitet, eksempelvis ved inddragelse af ny teknologi. Tornberg og Thuvander [2005] har anvendt top-down metoden til at kortlægge Göteborgs energiforbrug. De påviser, at det er muligt at sammenlægge geografisk data med data omhandlende de specifikke områders energiforbrug, for at give et overordnet billede af fordelingen af energiforbruget i Göteborg. Modellen bygger på en stor mængde data relateret til geografiske områder og deres energiforbrug. Ulempen ved dette er nødvendigheden af den store mængde data, for at modellere fordelingen af energiforbruget for et år. Såfremt flere år ønskes modelleret er det nødvendigt, at fremskaffe en ny mængde data, hvilket vil kræve en stor arbejdsindsats og tilladelser fra diverse værker, ejendomsforvaltere, osv. Modellens inputdata har dog den fordel at simplificeringen er stor. Modellens største fordel er visualiseringen af energiforbruget, hvilket giver et klart billede af hvordan energiforbruget er fordelt over et geografisk område. Ligeledes gør visualiseringen det simpelt at identificere områder med et stort energiforbrug.

Bilag B

Bottom-up modeller

I dette bilag bliver bottom-up modellerne gennemgået. Undersøgelser, der bliver gennemgået, er alle baseret på de metoderne gennemgået i afsnit 4.2. Til forskel fra afsnit 4.2 vil der efter hver enkel model blive diskuteret modellen styrker og svagheder samt hvor anvendelig modellen er.

B.1 Statistiske modeller

B.1.1 Regression

Cramer et al. [1984] har anvendt regressionsanalyse til at forudsige elforbruget i boliger. Den lineære regression de finder, fremgår i formel B.1, der beregner elektricitetsforbruget på baggrund af henholdsvis apparatur og udstyr samt aircondition. Der kan anvendes forskellige former af regression, såsom simpel lineær regression såvel som ikke-lineær regression. De ikke-lineære regressionsmetoder er de mest benyttede i forbindelse med forudsigelse af energiforbruget. Dette skyldes at lineær regression, som oftest, vil være en god første approksimation. Ved regressionsteknikker vurderes metodens præcision på baggrund af korrelationskoefficienten, R^2. Jo tættere på 1 jo mere præcis. Anvendelse af lineær regression ses i Cramer et al. [1984]. Her anvendes lineær regression til at forudsige de direkte fysiske faktorer af elektricitetsforbruget. Artiklen anvender data fra 241 tilfældige husstande i Davis, Californien, USA. Data blev indsamlet i år 1980 og elektricitetsforbruget undersøges i kølingssæsonen juli, august og september. Det skal bemærkes, at klimaet i Davis om sommeren er meget tørt, hvor temperaturer på $37°C$ ofte registreres. Modellerne udviklet på baggrund af datasættet fra Davis, er altså stærkt afhængig af klimaet, da energiforbruget til airconditioning er stort. Følgende lineære regressionsanalyse anvendes til at forudsige forbrugsmønstret i sommerperioden: [Cramer et al., 1984]

$$\begin{aligned} TELEC &= -1160 + 0,715CE + 1,114APPL \\ R^2 &= 0,545 \end{aligned} \tag{B.1}$$

Hvor:

TELEC	Elektricitetsforbrug om sommeren [kWh]
CE	Elektricitetsforbrug ved brug af aircondition [kWh]
APPL	Elektricitetsforbrug ved brug af apparatur og udstyr [kWh]

Elforbruget bliver beregnet ud fra en empirisk ligning og elforbruget til aircondition og apparater med tilhørende regressionskoefficienter. Forinden er elektricitetsforbruget ved brug af apparatur og udstyr undersøgt nærmere, hvor det findes at separation af $APPL$ ikke vil medvirke til et bedre estimat. Cramer et al. [1984] finder at formel B.1 forklarer 55% af variationen i elforbruget om sommeren. Det skal dog nævnes at korrelationskoefficienten ikke er nævneværdig stor. Modellen, vist i formel B.1, er blevet yderligere gennemarbejdet og resulterer i følgende formel: [Cramer et al., 1984]

$$\begin{aligned} TELEC &= -1700 + 1,054APPL + 0,458FLR + 0,186FLR * FREQ \\ R^2 &= 0,594 \end{aligned} \tag{B.2}$$

Hvor:

FLR	Gulvareal i boligen [m^2]
FREQ	Hyppighed af aircondition tændt, kodet fra 0 til 4.
	Repræsentativt for ingen aircondition til næsten altid i brug.

Denne model beregner udelukkende elforbruget på baggrund af oplysninger vedrørende boligens aircondition og gulvareal. Ud fra korrelationskoefficienten ses det at modellen i formel B.2 er mere præcis en modellen vist i formel B.1. Den optimerede model forklarer 60% af variationen elforbruget om sommeren.

Diskussion
Regression kan anvendes som et simpelt såvel som mere kompliceret værktøj i forbindelse med forudsigelse af energiforbruget i boliger. Jo mere kompleks regressionsmodellen er, jo mere realistisk billede af det faktiske energiforbrug vil resultatet give. Cramer et al. [1984] har anvendt lineær regression til at beregne elforbruget i Davis om sommeren. Modellerne, de udviklede, forklarede 55-60% af variationen af elforbruget om sommeren, hvor korrelationskoefficienten var mellem 0.545 og 0,594. Størrelsen på korrelationskoefficienterne for modellen bærer præg af modellens simplicitet, da disse ikke er nævneværdige store. Fordelen ved modellerne er, at de er let fortolkelige samt let anvendelige, hvorved hurtige overslag over energiforbrug kan estimeres. Ligeledes er det en stor fordel for modellerne, at de kan klarlægge eventuelle relationer mellem forskellige parametre, modellerne kan dog ikke forklare relationerne mellem parametrene. For at anvende modellerne er det dog nødvendigt med en stor mængde data, hvori elforbruget til enkelte installationer og apparater indgår. Dette sætter store begrænsninger for brugen af modellerne.

B.1.2 Betingent behovsanalyse

Teoretisk set består betinget behovsanalyse af en generel ligning, der er foreslået af Parti og Parti [1980]. Den generelle ligning er som følger:

$$E = \sum_{i=0}^{N} \bar{E}\left[A_i\right] + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{M} b_{ij}\left[(V_j - \bar{V_{ij}})A_i\right] \tag{B.3}$$

Ydermere foreslår Parti og Parti [1980] en betinget behovsreggresionsligning, der er baseret på indikationer vedrørende apparatur, udstyr og boligens forventede karakteristika, såsom gulvareal og demografiske faktorer, der kan indsamles via et spørgeskema. [Swan og Ugursal, 2009] Der vil være en regressionsligning til hver måned på året. Ligningen er som følger:

$$E_{mo} = \sum_{i}\sum_{app} c_{app,i}(V_i C_{app}) \tag{B.4}$$

Hvor:

E_{mo}	Det månedlige energiforbrug til elektricitet
c	En konstant
V_i	Sæt af sammenspillende variable med element i
C	Variable der indikerer tilstedeværelsen af udstyr og apparater
app	Udstyr og apparatur

Undersøgelserne bygger på i alt 16 specifikke apparaturkategorier, den empiriske analyse er baseret på data fra 5286 individuelle boliger, i San Diego, USA. Datasættet er indsamlet i 1975. Dataene blev evalueret i henhold til vejrdata og detaljer vedrørende ejerskab af apparatur og udstyr samt demografiske variable for den individuelle bolig.

De sammenspillende variable, V_i, for august tilsvarende slutforbrugsgrupperne fremgår af tabel B.1.

Udstyr og apparatur	**Samspillende variable**				
	Antal beboere	El priser	Indkomst	Gulvareal	Varme/køling pr m^2
Alment udstyr	$6,63$	$-1,46$	$0,26$		
Varmt vand	$328,25$	$1,09$	$-139,37$		
Rumopvarmning og køling		$-12,39$	$0,25$	$22,4$	0,07

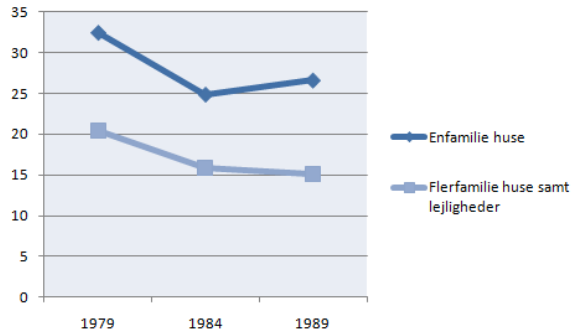
Tabel B.1 – *Sammenspillet mellem variable i august, der påvirker på energiforbruget, efter [Parti og Parti, 1980, tabel 1b]*

Ved at summere relationerne mellem de respektive variable samt konstant c_{app} fås energiforbruget. Den betingede behovsanalyse resulterer i en korrelationskoefficient, R^2, varierende fra 0,58-0,65.

I 1994 anvendte Lafrance og Perron [1994] betinget behovsanalyse, på samme måde som Parti og Parti. [Lafrance og Perron, 1994]. Her undersøges energiforbruget i forhold til slutfobrug i Québec, Frankrig, i årene 1979-1989. Der konkluderes på energiforbruget i år 1979, 1984 og 1989, der inkluderede 42.000, 24.000 og henholdsvis 46.000 spørgeskemaer. På baggrund af dette blev følgende tre kategorier undersøgt:

- Enfamilie huse
- Dobbelt og triplehus, samt bygninger indeholdende fire til ni lejligheder
- bygninger med 10 eller flere lejligheder.

På grundlag af den store mængde tilgængelige data, der indeholdt information vedrørende vejrforhold, brænde (en vigtig energikilde i Quebec), karakteristik af vandvarme samt demografiske forhold, lå korrelationskoefficienten, R^2 i intervallet 0,55-0,70. Den betingede behovsanalyse udført på datasættet fra Quebec gav et bedre indtryk af det sæsonprægede energiforbrug til elektricitet i forhold til andre metoder. Resultatet af det gennemsnitlige elforbrug er illustreret på figur B.1.



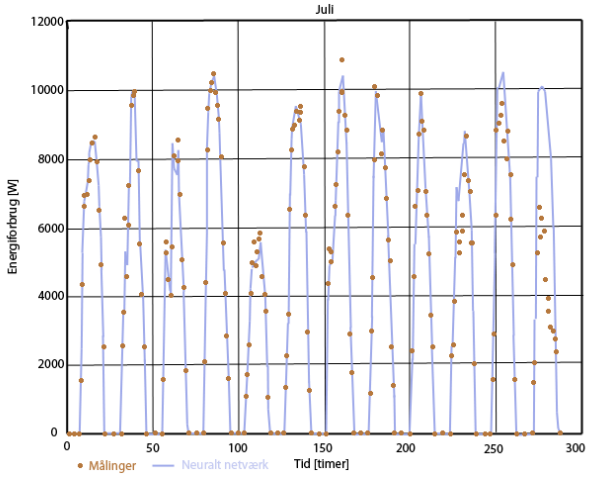
Figur B.1 – *Gennemsnitlig energiforbrug til elektricitet, angivet i [kWh/husholdning], frit efter [Lafrance og Perron, 1994]*

Diskussion
Betinget behovsanalyse er en teknik, der udfører regression på baggrund af tilstedeværelsen af husholdningsapparatur der bidrager til energiforbruget i boligen. Såvel Parti og Parti [1980] som Lafrance og Perron [1994] har anvendt denne teknik i forbindelse med forudsigelse af individuelle slutforbrug. Undersøgelsernes præcision varierer, hvor korrelationskoefficienten varierer mellem 0,55 og 0,70 vedrørende det individuelle slutforbrug. Ved at anvende betinget behovsanalyse er det, som tidligere nævnt, muligt at inkludere socioøkonomiske variable. Dog ses det, at der ved adskillige af slutforbrug er en høj korellation langs de forklarende variable, hvilket vil give problemer, når beregningerne skal adskilles.

B.1.3 Neuralt netværk

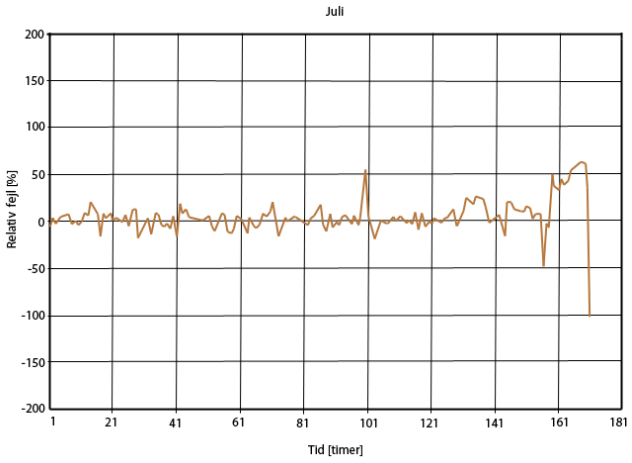
Mihalakakou et al. [2002] har anvendt neuralt netværk i forbindelse med beregninger af energiforbruget i boliger. I dette tilfælde består det neurale netværk af 2 inputlag, 1 skjult lag samt et enkelt output lag. Inputtene i denne model er solstråling samt udetemperaturen. Hovedformålet med denne model er, at se timeværdier for energiforbruget i en typisk bolig placeret i Athen. Før det neurale netværk for energiforbruget kan etableres, er der kørt

multilag forudsigelse på inputs. På baggrund af multilag beregningerne vurderes det, at temperaturmålinger for 20 timer kan anvendes til at forudsige timeværdier for temperaturerne i op til 12 dage. På samme måde vurderes det, at værdier for solstrålingen i 14 timer kan anvendes til at forudsige solstrålingens timeværdier for de næste 5-16 dage i sommermånederne. Efter multilagsimuleringerne af input er energiforbruget beregnet for 12 dage i juli 1998.



Figur B.2 – *Variation af det målte energiforbrug sammenlignet med det beregnede, efter [Mihalakakou et al., 2002]*

I figur B.2 er variationen af det målte energiforbrug sammenlignet med det beregnede energiforbrug. Af figur B.2 fremgår det, at resultaternes nøjagtighed i forhold til det målte energiforbrug falder i slutningen af perioden. Figur B.3 viser variationen af den relative fejl mellem det målte og beregnede energiforbrug. Her fremgår det ligeledes at den relative fejl bliver større i takt med at perioden forlænges.



Figur B.3 – *Den relative fejlmellem det målte energiforbrug og det beregnede, efter [Mihalakakou et al., 2002]*

På baggrund af resultaterne vurderer Mihalakakou et al. [2002] at neuralt netværk med succes kan anvendes til at beregne energiforbruget i boliger, i såvel varme som kolde perioder af året.

Dikussion
Anvendelse at neuralt netværk i forbindelse med beregninger af energiforbruget i boliger er forholdsvis nyt, grundet de beregningsmæssige krav samt kravene til det omfangsrige data. Neuralt netværk er derimod en god teknik til at bestemme forholdet mellem flere parametre, som det ofte er tilfældet i forbindelse med beregninger af boligers energiforbrug. Neuralt netværk anvender således en simplificeret matematisk model, der tillader at alle slutforbrug påvirker hinanden. På baggrund af den gennemgåede model vurderes det, at neuralt netværk med god præcision kan anvendes til forudsigelse af energiforbruget i boliger. Af fordele kan nævnes muligheden for at medtage socioøkonomiske faktorer i beregningerne. Ligeledes er det muligt at have adskillige input, der alle påvirker hinanden. En af ulemperne er, at det ikke er muligt at se hvad der sker i de skjulte lag, hvorfor det kan være svært at rette eventuelle fejl, ligesom det kan være svært at forklare sammenhænge i modellen. Dog konkluderes, på baggrund af de gode resultater, sammenlignet med målte data i figur B.2 at neuralt netværk med bedre præcision end andre ingeniørmæssige modeller vil kunne beregne energiforbruget i boliger dog igennem kortere perioder. Mihalakakou et al. [2002] og Aydinalp et al. [2002] har ligeledes udviklet en neural netværksmodel til at beregne energiforbruget til husholdningsapparater, lys samt køling for boliger placeret i Canada. Her opnås en korrelationskoefficient, R^2, på 0,909. Hvilket er betydeligt bedre end ved de andre ingeniørmæssige modeller. På baggrund af dette vurderer Aydinalp et al. [2002] at den neurale netværksmodel kan anvendes til at modellere en præcis forudsigelse af energiforbruget fra husholdningsapparater, lys og køling i boliger.

B.2 Ingeniørvidenskabelige modeller

B.2.1 Fordelingsmodeller

Flere forskere har anvendt metoden til at udvikle modeller for energiforbruget på regionalt såvel som nationalt niveau, eksempelvis har Jaccard og Baille [1996] anvendt fordelingsmetoden på Canadas provinser, Saidur et al. [2007] har anvendt metoden i hele Malaysia og Capasso et al. [1994] har anvendt metoden i Italien. Sidstnævnte undersøgelse vil i det følgende blive gennemgået.

Capasso et al. [1994] har anvendt fordelingsmetoden til at udvikle fordelinger af elforbruget for forskellige slutforbrug for den italienske boligsektor. De fremkomne fordelinger anvendes til at beregne det fremtidige energiforbrug, hvori det beregnede energiforbrug sammenlignes med det målte energiforbrug. Når det fremtidige energiforbrug beregnes, gøres der brug af sandsynlighedsfunktioner. Disse sandsynlighedsfunktioner har alle til formål at inkorporere samspillet mellem beboerne samt de psykologiske og adfærdsmæssige faktorer. Capasso et al. [1994] har udviklet fordelingsmetoden således, at der i modellen indgår to niveauer:

Niveau 1	Opstilling af fordelinger for enkelte husstande, dvs. sammenlægning af individuelle apparaters energiforbrug og samle disse til individuelle husstandsfordelinger
Niveau 2	Opstilling af individuelle slutforbrugsfordelinger, dvs. sammenlægning af forskellige husstandes slutforbrugsfordelinger til at udlede individuelle slutforbrugsfordelinger

I modellen pointerer Capasso et al. [1994] to faktorer, som udgør basis for udformningen af niveau 1: husholdningsapparater og husstandens beboere. Når fordelingerne skal opsættes, er det altså nødvendigt med den fornødne mængde data, beskrivende husholdningsapparaterne og husstandens beboere. For at tage hensyn til de psykologiske og adfærdsmæssige faktorer, anvendes, som tidligere nævnt, sandsynlighedsfaktorer for at udforme fordelingerne i niveau 2. Sandsynlighedsfunktionerne er delt op i adfærdsfunktioner og tekniske funktioner. Adfærdsfunktionerne omhandler beboernes adfærd, mens de tekniske funktioner omhandler husholdningsapparaterne;

Adfærdsfunktioner
Tilstedeværelse i hjemmet af hver beboer
Et histogram, der viser procentværdier tildelt de forskellige tidsintervaller som udgør døgnet. Tidsreferencen i denne funktion refererer til begivenheder såsom måltider, sengetid, afgang til arbejde/skole, hjemkomst.

Aktiviteter i hjemmet
De forskellige aktiviteter som inkluderer elforbrug, enten for de individuelle beboere eller for grupper. Fire hovedaktiviteter er identificeret: madlavning, husligt arbejde, personlig hygiejne og fritid

Anvendelse af apparater
Tildeling af procentvis sandsynlighedsfordeling af anvendelsen af de mest almindelige apparater i en husstand i løbet af en given dag.

Tilbøjelighed til aktiviteter i hjemmet
Hver beboer er tildelt en tilbøjelighed for at udføre forskellige aktiviteter i hjemmet.

Menneskelige ressourcer
Hver beboer er tildelt en mængde af ressourcer i form af øjne, ører og hænder, hvilke bliver udtrykt symbolsk i form af procentdele. Dette medfører at beboerne har mulighed for at udføre flere aktiviteter på en gang.

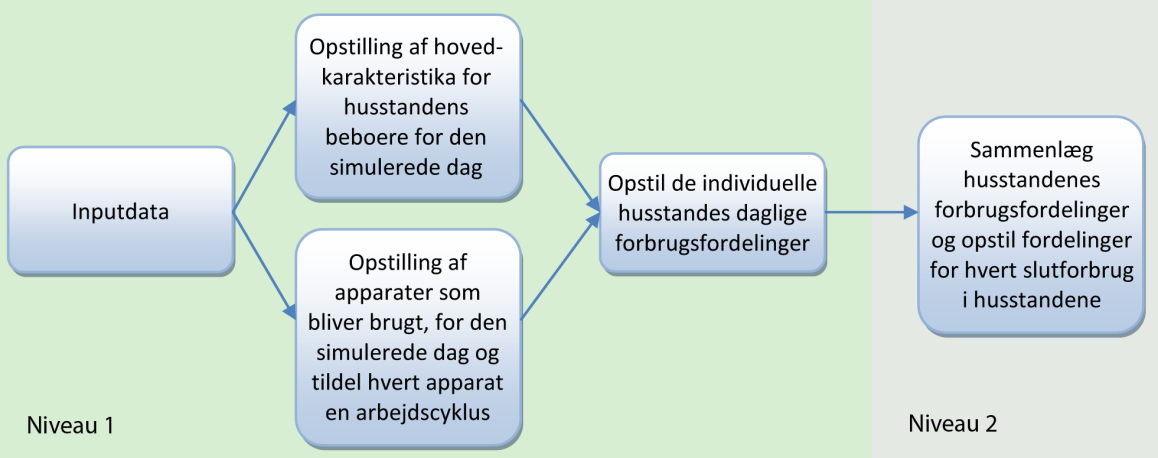
Apparaternes ejerskab
Hver type husstand er tildelt en parameter indikerende et givet sæt af apparaters tilgængelighed. Parameteren er afhængige af forskellige kritiske karakteristika af husstande, herunder indkomst, antal beboere, osv.

Teknisk funktioner
Apparaters virkemåde:
Herunder apparater aktiveringstid, energimærkning, gennemsnitlige årlige forbrug

Eventuelt maksimalt forbrug:
Gældende i Italien

Teknologi:
Apparaters teknologiske innovation

Figur B.4 viser den praktiske fremgangsmåde i opbygningen af slutforbrugsfordelingerne ved brug af niveau 1 og 2.



Figur B.4 – *Fremgangsmåde i opbygningen af slutforbrugsfordelinger, efter [Capasso et al., 1994]*

For at opstille husstandens individuelle fordelinger er det nødvendigt med tilstrækkelig specifik data omhandlende husstandsapparaterne samt husstandens beboere. Ligeledes er det nødvendigt at have tilstrækkelig mængde data for forskellige husstande, for at kunne opstille de endelige slutforbrugsfordelinger. De specifikke data, der er nødvendig i modellen er beskrevet i følgende punktopstillinger

Data omkring husholdningsapparater

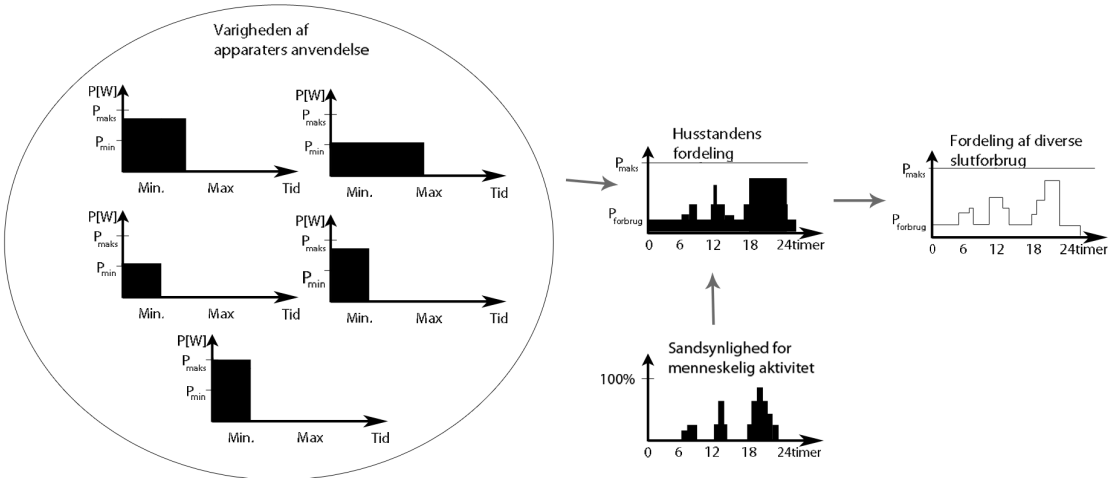
- Klassificering af aktiviteter i hjemmet; madlavning, husarbejde etc.
- Apparaters virkemåde; konstant i brug (køleskab, fryser), nogle gange i brug (ovn, føntørrer).
- Apparaters energiforbrug; maksimum, minimum.
- Anvendelsens varighed.
- Anvendelsesprofil
- Sandsynlighed for dagligt brug
- Brug af menneskelige ressourcer; øjne, ører, osv.

Husstandens beboere

- Type; alder, køn osv.
- Indkomst

- Tilstedeværelse i hjemmet
- Tilbøjelighed til forskellige aktiviteter i hjemmet

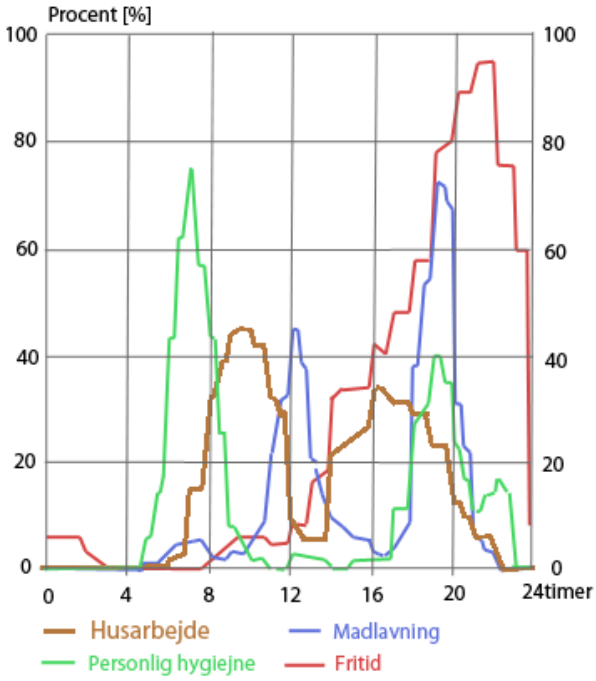
Ud fra datamængden opstilles karakteristika for husstandens beboere og husstandsapparaterne, hvor de to karakteristika kombineret giver husstandenes daglige slutforbrugsfordelinger. Ved at sammenlægge forskellige husstandes slutforbrugsfordelinger er det muligt, at finde de individuelle fordelinger for de respektive slutforbrug. Fremgangsmåden vist i figur B.4 er illustreret figurativ på figur B.5.



Figur B.5 – *Figurativ fremgangsmåde, frit efter [Capasso et al., 1994]*

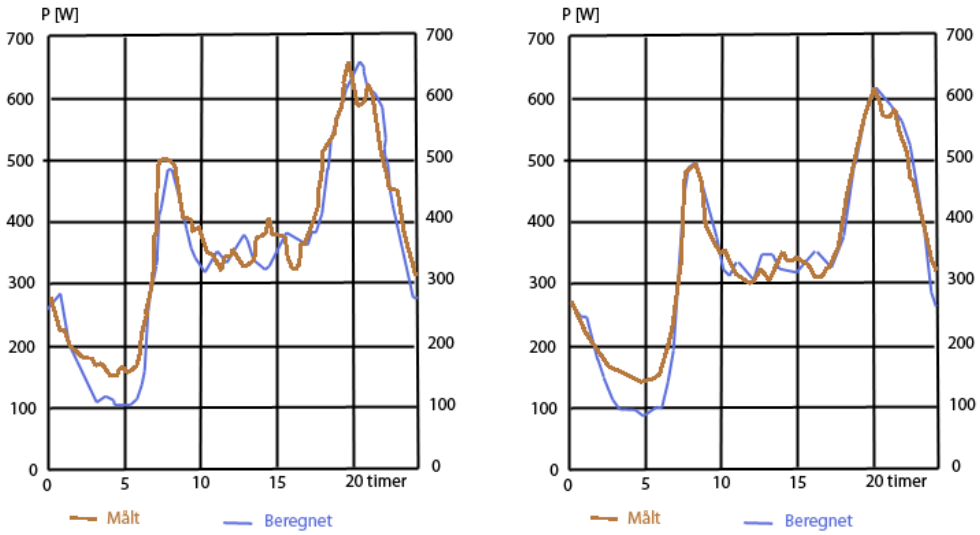
Hovedpointen i fremgangsmåden er, at beregne sandsynligheden for menneskelig aktivitet i boligen samt dennes elforbrugende aktiviteter. I beregningen af sandsynligheden for aktivitet i hjemmet benyttes almindelig sandsynlighedsberegning på baggrund af inputdataene. For at opstille slutforbrugsfordelingerne anvendes de beregnede sandsynligheder, stikprøvemetoder samt de to sandsynlighedsfunktioner, beskrevet tidligere. Ved at ekstrapolerer de fundne fordelinger er det muligt at beregne energiforbruget på regionalt samt nationalt niveau.

I Milan har Capasso et al. [1994] anvendt modellen på et case studie hvor 95 husstande blev betragtet. Spørgeskemaer blev anvendt til at undersøge demografiske værdier samt hovedtrækkene i energiforbruget. Det specifikke elforbrug blev målt i husstandene hvert kvarter gennem en vintermåned. Figur B.6 viser de fundne fordelinger for fire forskellige aktiviteter.



Figur B.6 – *Fordelinger af aktiviteter i hjemmet, efter [Capasso et al., 1994]*

Figur B.7a og B.7b viser sammenligningen af målte og beregnede slutforbrugsfordelinger, på henholdsvis uge- og månedsbasis. De viste fordelinger er gennemsnitsfordelingerne af 22 arbejdsdage i en vintermåned. Som det ses er beregningerne en god approksimation til det faktiske forbrug gennem en almindelig arbejdsdag. Modellen er dog kun anvendt på en vintermåned, hvorfor det ikke er muligt at anvende modellen på andre måneder, da modellen ikke bliver påvirket af klimaet.



(a) Ugebasis **(b)** Månedsbasis

Figur B.7 – *Gennemsnitsfordelinger, efter [Capasso et al., 1994]*

Diskussion
Fordelingsmetoden bygger på karakteristika vedrørende boligen og husholdningsapparaterne. Ved at ekstrapolere modellens data, er det muligt at anvende metoden på flere niveauer. Capasso et al. [1994] har anvendt fordelingsmetoden til at kortlægge elforbruget i Italiens boligsektor. De har taget udgangspunkt i 95 husstande i Milan, hvori de har sammenlignet det beregnede energiforbrug og det målte energiforbrug. Metoden viste sig at være en god approksimation til det faktiske energiforbrug. For at benytte metoden er det dog nødvendigt at have tilstrækkelig med data omhandlende såvel husstandens beboere og dens apparater samt specifikke målinger på husstandens forbrug. Modellen udviklet af Capasso et al. [1994] var ikke påvirket af ændringer i energipriser eller ændringer i klimaet. Det at modellen ikke er influeret af klimaet samt at specifikke målinger på husstandens forbrug er en stor begrænsning for anvendelsen af modellen. Modellen kan altså kun anvendes til beregning af energiforbruget i månederne svarende til den tilhørende datamængde. Ligeledes medfører metodens brug af data at det beregnede energiforbrug har stort tilhørsforhold til området, hvori målingerne er blevet udført, hvorfor der skal rettes opmærksomhed mod konsekvenserne ved at ekstrapolere dataene. Fordelingsmetoden anvendt af Capasso et al. [1994] viser dog at være en god approksimation til det faktiske forbrug.

B.2.2 Arketypemodeller

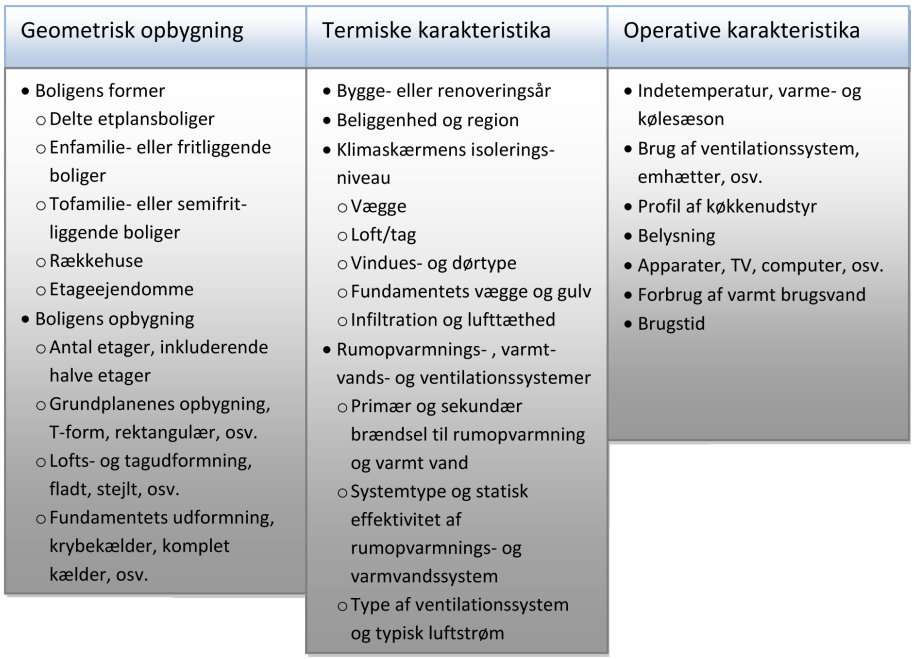
Forskere har anvendt metoden til at udvikle forskellige arketyper i forskellige regioner og lande. [Parekh, 2005][Huang og Broderick, 2000][Shimoda et al., 2004] Parekh [2005] har anvendt arketypemetoden, hvor arketyperne bliver inddelt efter boligens geometriske opbygning, boligens termiske karakteristika samt boligens operative karakteristika. Formålet med udviklingen af de forskellige arketyper er, at udvikle en simpel og hurtig model til at beregne og evaluere boligers energiforbrug i Canada. I det efterfølgende vil modellen blive gennemgået.

For at opstille forskellige arketyper i Canada, har Parekh [2005] anvendt 3800 spørgeskemaer omhandlende boligens type, størrelse, sammensætning/opbygning af klimaskærm, varmeanlægs- og varmt brugsvandsdata, lufttæthed og ventilationsparametre. Derudover er der anvendt målinger af boligers energiforbrug. Disse målinger giver udgangspunktet for boligernes grundlæggende energiforbrug og operative parametre. I udviklingen af arketyper identificeres fem trin: [Parekh, 2005]

1. trin	Kvalitativ gennemgang af spørgeskemaer
2. trin	Oprettelse af korrelation mellem boligens geometriske og termiske karakteristika
3. trin	Indsamling af diverse grupperinger af data repræsenterende termiske og energieffektive data
4. trin	Verificering af nøgleparametre
5. trin	Udførelse af simuleringer til bestemmelse af sensitiviteten for forskellige arketyper baseret på gulvareal, beliggenhed og byggeårsklassificering

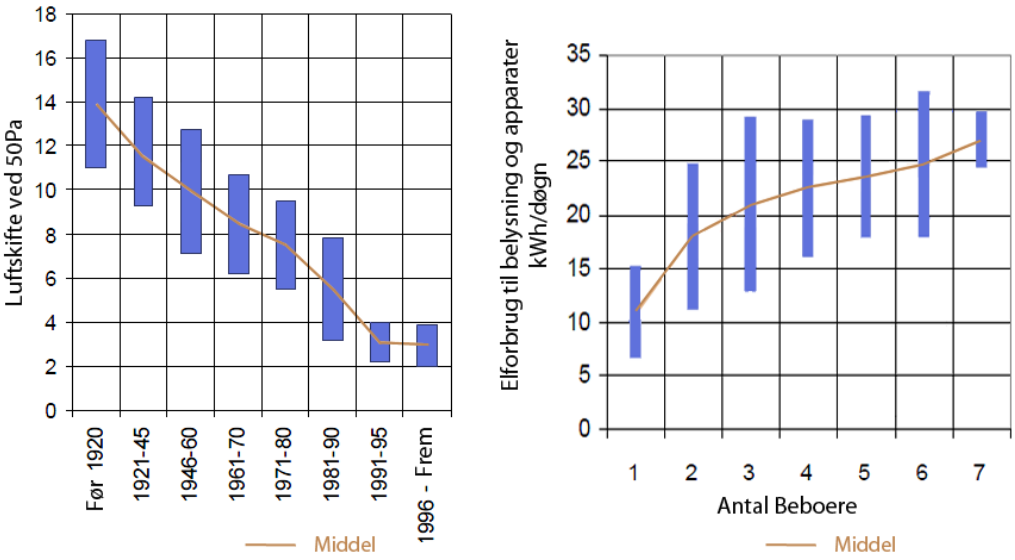
I analysen af dataene fremkom tre komponenter identificering afr de enkelte arketyper: boligens geometriske opbygning, boligens termiske karakteristika og boligens operative karak-

teristika. Ved at opstille de tre komponenter for den enkelte bolig, kan boligen kategoriseres indenfor den repræsentative arketype. Figur B.8 viser det overordnede indhold af komponenterne. Den geometriske opbygning anvendes til at opdele boligerne i henhold til forskellige typer og opbygninger af boligerne. Ligeledes anvendes den geometriske opbygning til at opdele boligerne i forhold til det valgte grundplan.



Figur B.8 – *Overordnede indhold af de tre komponenter, til at kategoriserer boliger, efter [Parekh, 2005]*

Parekh [2005] understreger byggeårsparameteren og beliggenheds-/regionsparametrene, der betegnes som deciderede klimazoner, som de to vigtigste parametre i de termiske karakteristika. Grundet den store variation af lovkravene gennem årene, opdeles byggeårsparameteren efter dette, mens modellen opstiller seks klimazoner. Inddelingen af byggeårsparameteren ses på figur B.9a, hvor boligernes respektive lufttæthed er indtegnet. Figuren viser en klar sammenhæng mellem boligernes byggeår og lufttæthed. En af nøgle komponenterne i simplificerede energiberegninger er i følge Parekh [2005] antagelsen omkring brugernes adfærd. Formålet med de operative karakteristika er netop at opstille beboernes adfærd. Figur B.9b illustrerer sammenhængen mellem antallet af beboere og elforbruget til belysning og apparater. Ud fra figuren er det tydeligt at et øget antal beboere medfører et øget elforbrug. Boligens basis elforbrug medfører at elforbruget ikke stiger lineært med antallet af beboere, ligeledes medvirker de enkelte individers adfærd den store spredning af elforbruget.



(a) Lufttætheden afhængig af byggeåret

(b) Elforbrug afhængig af antal beboere

Figur B.9 *– Eksempler på sammenhængende parametre, efter [Parekh, 2005]*

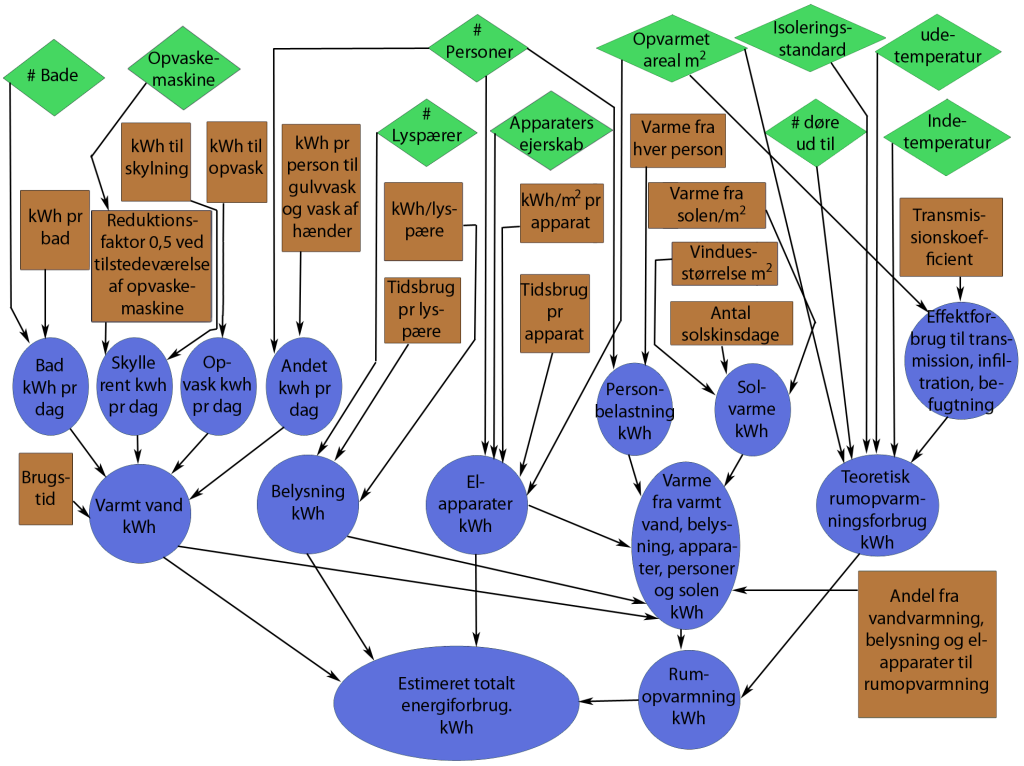
På baggrund af modellen, beskrevet af Parekh [2005], er "The EnerGuide for Houses program", EGH, udviklet. Programmet er vidt anvendt i Canada, hvor over 180.000 boliger er evalueret ved at anvende arketypemetodeprogrammet EGH. Evaluering af programmet har dog vist, at det er nødvendigt, at inputdataene fra de boliger, der skal undersøges, skal være tilstrækkelig præcise. Parekh [2005] understreger derfor at feltmålinger af de tre komponenter; boligens geometriske opbygning, termiske karakteristika og operative karakteristika er nødvendige.

Diskussion
Arketypemetoden er en simpel metode til beregning af boligers energiforbrug. Metoden bygger på et bibliotek af arketyper, der er udviklet ud fra fundne kriterier i de respektive datamængder. Størrelsen af dette bibliotek påvirker detaljeringsgraden af den enkelte arketypemodel, hvor arketypemodellen, beskrevet i det foregående, bygger på ca. 2900 boliger. Det canadiske energievalueringsprogram, EGH, er udviklet på baggrund af denne arketypemodel, hvor over 180.000 boliger er blevet evalueret ved anvendelse af EGH. Udover arketypemodellen beskrevet af Parekh [2005], har forskere ligeledes undersøgt andre regioner og lande ved brug af arketypemetoden. Arketypemetoden er altså en gennemprøvet metode, som bliver brugt til hurtige og simple energiberegninger. Modellen tager hensyn til sæsonvariationen samt forskellige klimazoner, hvilket er en stor fordel. Detaljeringsgraden af det nødvendige inputdata, som følge af dette, er ligeledes forøget, hvorved den nødvendige datamængde til at opstille de forskellige arketyper øges kraftigt.

B.2.3 Stikprøvemodeller

Larsen og Nesbakken [2004] har udviklet en model, ERÅD-modellen, til at beregne boligers elforbrug relateret til forskellige slutforbrug i boligen. Modellen bygger på stikprøvemeto-

den og vil i det efterfølgende blive gennemgået. ERÅD-modellen er udviklet på baggrund af en spørgeskemaundersøgelse af 2013 norske boliger. Spørgeskemaerne indeholdte data vedrørende tekniske og konstruktionsmæssige detaljer, tekniske faktorer vedrørende husstandsapparaterne samt adfærdsinformation omkring husstandens beboere, eksempelvis det gennemsnitslige tidsforbrug på opvask. Det totale elforbrug af boligen beregnes herefter som en summation af boligens forskellige slutforbrug. ERÅD-modellen bruger diverse ligninger og parametre, inkluderende specifikke inputparametre, til at beregne de forskellige slutforbrug. Figur B.10 giver et overblik over modellen.



Figur B.10 – *ERÅD-modellens opbygning, efter [Larsen og Nesbakken, 2004]*

Af figur B.10 fremgår det tydeligt, at ERÅD-modellen er en kompleks model, med mange forskellige inputparametre og relationer. De grønne parallelogrammer indikerer inputparametrene, som er givet af modellen, de brune rektangler indikerer inputparametre, som skal vurderes af brugeren, mens de blå cirkler indikerer resultater, som vil fremgå ved den enkelte simulering. For at anvende modellen er der brug for et større antal energirelaterede inputparametre. Disse parametre skal enten vurderes af brugeren eller tages fra faktiske målinger.

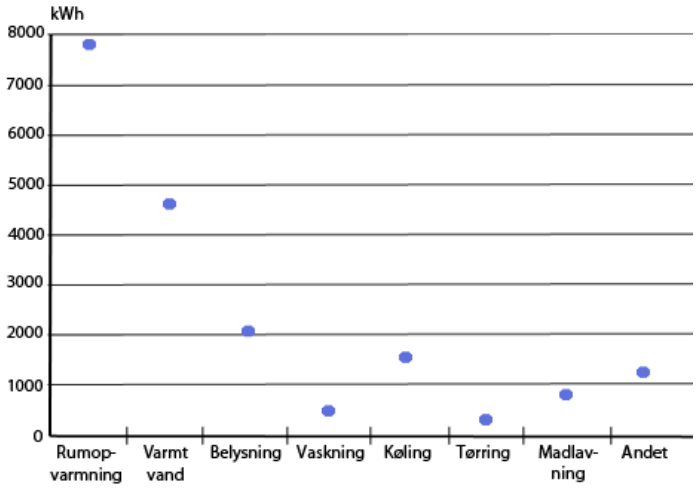
For at give et overblik over modellen vil hovedelementerne i modellen blive beskrevet. I modellen påvirker fire parametre det totale energiforbrug. De fire parametre er energiforbruget til varmt vand, belysning, elapparater og rumopvarmning, hvor det totale energiforbrug bliver beregnet som summen af de fire energiforbrug.

Energiforbruget til varmt vand, belysning og elapparater bliver i hovedtræk beregnet ud fra det gennemsnitlige effektforbrug og gennemsnitlige tidsforbrug. Ud fra figuren er det klart

at antallet af personer i husstanden ikke påvirker energiforbruget til varmt vand, dog vil antallet af personer påvirke antal af bade indirekte.

Energiforbruget til rumopvarmningen bliver beregnet ud fra det teoretiske energiforbrug og varmetilskuddet fra den interne varmebelastning og fra solen. Den interne varmebelastning består af varmetilskud fra personer, varmtvandsinstallationer, elapparater og belysning. Det teoretiske energiforbrug bliver beregnet ud fra klimaskærmens isoleringsgrad, antal graddage og effektforbrug til tekniske installationer.

Figur B.11 viser energiforbruget fordelt på forskellige slutforbrug beregnet på baggrund af de spørgeskemaer, der danner grundlag for modellen. To slutforbrug er dominerende; energiforbruget til rumopvarmning og energiforbruget til varmt vand som udgør henholdsvis 40% og 25% af det totale energiforbrug.



Figur B.11 *– Opdeling af boligers elforbrug, efter [Larsen og Nesbakken, 2004]*

Kalibrering af energiforbruget er en del af modellen. Før modellen kan beregne de enkelte husstandes energiforbrug sammenlignes en beregning af det totale energiforbrug med det totale energiforbrug givet af spørgeskemaet. Forholdet mellem det beregnede energiforbrug og energiforbruget givet af spørgeskemaet ligger til grund for en eventuel kalibrering. Formålet med kalibreringen er, at sikre en vis præcision i modellen, dette gøres ved at justere de usikre parametre i modellen, således det overholder kravene bestemt af den enkelte bruger. Kalibreringen af modellen kan være nødvendig grundet mangel på eller stor usikkerhed i inputparametrene. Larsen og Nesbakken [2004] beskriver at 52% af de beregnede energiforbrug skal kalibreres 25% for at forholdet mellem det beregnede og givne energiforbrug ikke overstiger 5%.

Diskussion
Stikprøvemetoden er en mere kompleks metode til beregning af boligers energiforbrug. Den store detaljeringsgrad medfører at metoden kan anvendes på bygningsmasser med stor individuel variation uden nogle begrænsninger er nødvendige. Ligeledes er der mulighed for at modellere forskellige brugeadfærd i forhold til boligers samlede elforbrug. Den store detaljeringsgrad medfører at stikprøvemetoden er meget datatung for at kunne være repræsentativ. Larsen og Nesbakken [2004] har anvendt stikprøvemetoden til at udvikle ERÅD-modellen på baggrund af 2013 norske boliger. ERÅD-modellen er en meget kompleks metode med mange forskellige inputparametre og relationer. Fordelen ved modellen er netop at mange forskellige

parametre er inkorporeret i modellen, hvorfor boligernes forskellige slutforbrug kan beregnes seperat. Ligeledes bliver der i modellen beregnet et teoretisk og et faktisk energiforbrug til rumopvarmning, hvorved intern varmebelastning fra personer, belysning elapparater samt solens varmebelastning bliver taget i betragtning. Enkelte inputparametre henvender sig til det ydre klima, hvorledes modellen kan tage højde for sæsonvariationen i energiforbruget. ERÅD-modellen kræver dog et stort antal inputparametre, hvilket begrænser brugen af modellen. Larsen og Nesbakken [2004] påpeger ligeledes at kalibrering kan være nødvendigt for at anvende modellen, hvilket er en stor ulempe for modellen, da ingeniørtekniske modeller burde kunne beregne passende initiale værdier.

Bilag C

Sociologiske modeller

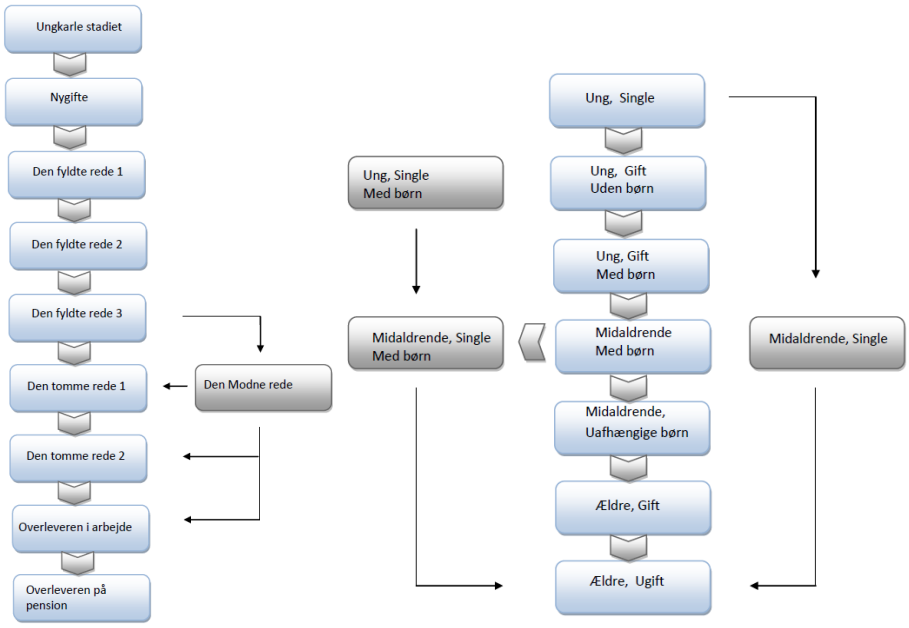
I dette bilag bliver de sociologiske modeller gennemgået. Undersøgelser, der bliver gennemgået, er alle baseret på de metoderne gennemgået i afsnit 4.3. Til forskel fra afsnit 4.3 vil der efter hver enkel model blive diskuteret modellen styrker og svagheder samt hvor anvendelig modellen er.

C.1 Familiens livscyklus

Modellen præsenteret i dette afsnit bygger på teorien om, at stadiet af familiens livscyklus kan være behjælpelig i forhold til forudsigelse af energiforbruget i boligen. Modellen, der tages udgangspunkt i, er udviklet af Fritzsche [1981]. Denne model er en videreudvikling af to tidligere studier af Wells og Gubar [1966] henholdsvis Murphy og Staples [1979]. Fritzsche [1981] undersøger energiforbruget ud fra stadiet af familiens livscyklus under hensyntagen til indkomst samt antallet af familiemedlemmer i arbejde. Formålet med modellen er at undersøge hvorledes familiens livscyklus kan anvendes som indikator til forudsigelse af energiforbruget i boliger. Afsnittet er opbygget således, at modellens opbygning først præsenteres, hvorefter det anvendte data vil blive præsenteret. Der afsluttes med en diskussion omkring modellens anvendelighed.

Modellens opbygning

I modellen anvender to familielivscyklusmodeller, (forkortet til FLC). Figur C.1 sammenligner disse to modeller. Modellen illustreret på figur C.1a, der er udviklet af Wells og Gubar [1966], var længe betragtet som standarden i litteraturen, og i 1979 forsøgte Murphy og Staples [1979] at opdatere modellen til nutidige husholdningsmønstre, illustreret på figur C.1b. FLC-modellen af Wells og Gubar [1966] er anvendt for at vurdere, hvorvidt den opdaterede model øger den forklarende effekt af FLC konceptet. I figur C.1 er begge modeller yderligere opdateret, således der tages højde for enlige forsørgere samt ugifte. Ligeledes er den modne rede tilføjet, denne tæller husholdninger, hvor der ikke er børn under 18 år, men samtidig tæller mere end to voksne.

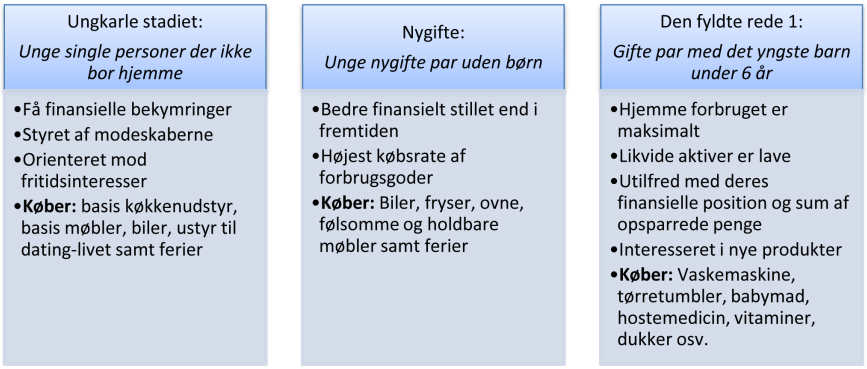


(a) FLC-model af Wells og Gubar

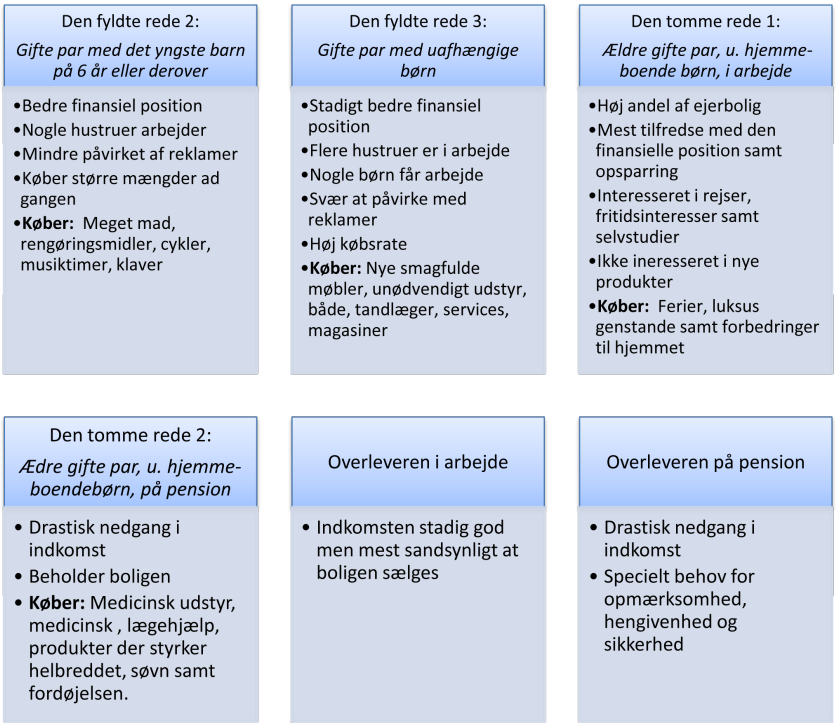
(b) FLC-model af Murphy og Samples

Figur C.1 – *Sammenligning af de to FLC modeller*

Som det fremgår af figur C.1 er der tre stadier af den fyldte rede, der refererer til alderen på de hjemmeboende børn. I figur C.2 og C.3 fremgår en mere udførlig redegørelse af de respektive stadier.



Figur C.2 – *Uddybende forklaring af familienslivscyklus og de respektive grupper, efter [Wells og Gubar, 1966]*



Figur C.3 – *Uddybende forklaring af familienslivscyklus og de respektive grupper, efter [Wells og Gubar, 1966]*

Der undersøges i modellen to metoder i forhold til familiens livscyklus. Den første ser på det totale energiforbrug ud fra familiens livscyklus. Denne model kaldes H_1 og bygger på ideen om, at der vil være et stigende energiforbrug i de tidlige stadier i takt med, at familien udvides. Energiforbruget forventes at være maksimalt i forbindelse med, at børnene vokser op og udvider de sociale aktiviteter. Dette forbrugsmønster vil vare i nogen tid i forbindelse med udvidelsen af individuelle præferencer til eksempelvis termisk komfort. Det forventes, at energiforbruget falder i de senere stadier af FLC, dog forventes det ikke at opnå samme lave værdi som i de tidligste stadier. Her skal det også nævnes, at økonomiske overvejelser ofte influerer de tidligere stadier mere end de senere stadier. Denne metode kan omskrives til følgende:

- H_1**:** Betydelige forskelle i det totale energiforbrugs mønster optræder gennem stadierne af familiens livscyklus
  - Energiforbruget vil stige ved hvert stadie, indtil børnene er flyttet hjemmefra
  - Energiforbruget vil falde ved hvert stadie, efter børnene er flyttet hjemmefra, dog vil energiforbruget stadig være højere end årene før børn.

Den anden metode ser på energiforbruget i forhold til energiressourcer med udgangspunkt i familiens livscyklus, idet energiforbrug i boliger omfatter et bredt antal af energikilder. Denne metode kaldes H_2 og er forklaret nedenfor:

- H_2**:** Betydelige forskelle i ressourcerne af energiforbruget optræder gennem stadierne af familiens livscyklus
  - Naturgas og elektricitetsforbruget vil omfatte en større del af energiforbruget i de tidlige stadier af familiens livscyklus
  - Olie og kul vil omfatte en større del af energiforbruget i de senere stadier
  - Dette relative mønster af energiforbrug vil gælde for alle regioner af USA.

Det forventes, at der findes forskelle mellem stadierne af FLC i forbindelse med sammensætningen af energiressourcer. Fritzsche [1981] finder i USA, at det i de tidlige stadier af FLC forventes, at husholdningerne ofte er etableret i nyere boliger, hvorfor det er mere sandsynligt, at varmeforbruget samt varmtvandsforbruget opvarmes af naturgas eller elektricitet. Hvorimod varmebehovet i ældre hjem forventes at energien stammer fra olie, træ eller kul.

Data

For at undersøge modellens gyldighed blev der foretaget et casestudie. Dataene stammer fra 1972-73 og tæller 19.975 datasæt. Disse data er fremkommet ved hjælp af spørgeskemaundersøgelser omhandlende forbrugsvaner samt diverse husholdningskarakteristikker.

Det totale energiforbrug er fundet ved at summere det transformerede energiforbrugs udgifter til hver type energiressource brugt pr. familie. En analyse af kovariansen, der inkluderede adskillige klassificeringsanalyser, blev dernæst udført på det totale energiforbrug samt på hver type af energiressourcer for den enkelte husholdning. De påvirkende faktorer var familiens livscyklus samt antallet af arbejdende familiemedlemmer. Kovariansen for analysen var indkomsten.

Diskussion

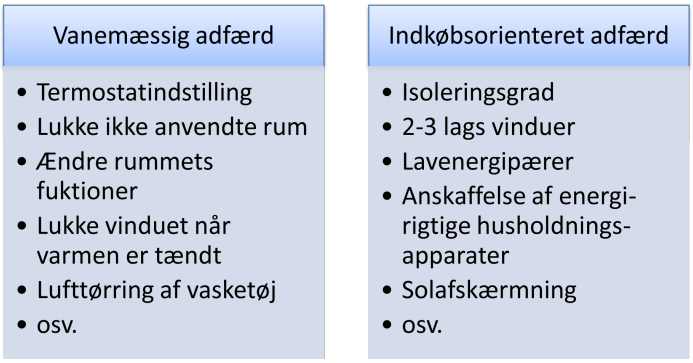
Fritzche har med FLC-modellen forsøgt at videreudvikle på allerede eksisterende modeller, der tager hensyn til familiens opbygning samt stadier i livet. Han har sammenlignet to forskellige modeller og derudfra sammenlignet disses resultater. Det ses ud fra sammenligningen, at det første stadie i livscyklussen, hvor boligen tæller unge single personer, har det mindste energiforbrug, mens midaldrende gifte par med børn bruger mest energi. Ud fra analysen af de tilgængelige data ses det, at H_1 metoden understøttes, idet betydelige forskellige i energiforbruget ud fra stadiet af livscyklussen ses såvel nationalt som regionalt. Ses der på H_2 modellen er resultaterne i henhold til denne model mere uklare. På baggrund af FLC-modellen ses det, at det kan være et nyttigt værktøj i forbindelse med forudsigelse af energiforbruget i boliger, når der tages hensyn til sociologiske aspekter. Derfor vil FLC-modellen kunne anvendes i forbindelse med programmer, der forsøger at reducere familiers daglige energiforbrug. Det skal dog nævnes, at modellen er en meget overordnet model, idet der i dag findes mange familielivscykluser, der ikke kan kategoriseres som beskrevet i denne model. Ligeledes bygger undersøgelsen på ældre data, hvor priserne på energiressourcerne såvel som forbrugsmønstret har ændret sig væsentligt siden. Modellen giver dog et fornuftigt grundlæggende billede af flowet i familiens livscyklus.

C.2 Energibesparen

Den sociologiske metode, hvor energiforbruget analyseres ud fra personkarakteristikker, vil tage udgangspunkt i en model udviklet af Barr et al. [2005] Denne model undersøger den konceptuelle forskel mellem energibesparende adfærd i hjemmet i forhold til indkøbsorienteret og vanemæssig adfærd i relation til energiforbruget. Ud fra denne undersøgelse vil "Energisparen" og dennes karakteristika blive defineret. Afsnittet er opbygget således, at modellens opbygning først præsenteres, hvorefter dataene bag modellen præsenteres, inden modellens anvendelse vil blive gennemgået. Der afsluttes med en diskussion omkring modellens anvendelighed.

Modellens opbygning

Den aktuelle model undersøger strukturen af energibesparelser i hjemmet og argumenterer for, at der kan opnås brugbare strategier i forhold til energibesparelser i hjemmet ved at sammenkoble energibesparelser med alternative miljømæssige handlinger. Modellen bygger på, at få defineret en energibesparende adfærd ved beboerne. Denne type adfærd inddeles endvidere i to, vanemæssigt adfærd og indkøbsorienteret adfærd, se figur C.4.



Figur C.4 – *Vanemæssigt og indkøbsorienteret adfærd, efter [Barr et al., 2005]*

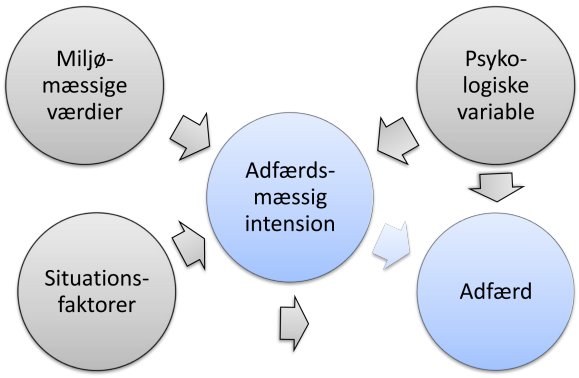
Vanemæssigt adfærd vil ofte fokusere på hverdags reduktioner i energiforbruget, der kræver ingen eller minimal strukturelle justeringer. Denne type adfærd er altså relateret til hverdagsmæssige vaner af det enkelte individs livsstil. Indkøbsorienteret adfærd derimod fokuserer på langtidsholdbare ændringer i forhold til hjemmets struktur. Denne type adfærd inkluderer indre forandringer, der kræver finansiel såvel som almen teknisk viden for at kunne blive udnyttet. I figur C.4 er de parametre, der påvirker den enkelte type af adfærd listet. Ud fra disse typer af adfærd optræder to fundamentale grupper, der kan blive identificeret: Vanemæssig energibesparende adfærd og indkøbsorienterede handlinger.

På baggrund af vanemæssigt energibesparende adfærd og indkøbsorienterede handlinger vil "Energisparen"blive defineret. "Energisparen"er defineret med følgende personlige karakteristika:

- Personlig komfort, relateret til reducering i den oplevede komfort som konsekvens af energibesparelser
- Omtanke for miljø og energirelaterede forhold
- Prisorienteret
- Personligt ansvar i forhold til at spare energi

- Normativ indflydelse på adfærd, relateret til social pres fra familie og venner i forhold til at spare energi
- Egenpræstation/interesse

Modellen undersøger således energibesparende adfærd og typen af individer, der beskæftiger sig med energibesparende handlinger ud fra et holistisk perspektiv. Modellen bygger på en analyse af 40 miljømæssige handlinger, der kan udføres i og omkring boligen. Der anvendes en konceptmodel til at analysere indflydelsen af tre set variable, dette er illustreret på figur C.5.



Figur C.5 – *Koncept af miljømæssig adfærd, efter [Barr et al., 2005]*

Data

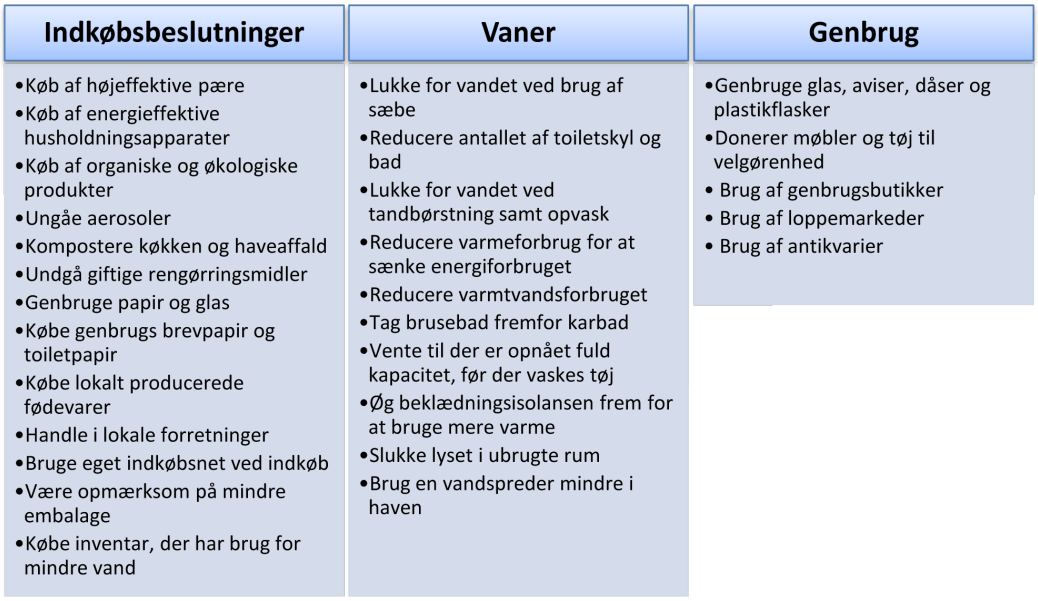
Defineringen af "Energisparen"bygger på en spørgeskemaundersøgelse, der tæller 1600 husstande i Devon, England. Undersøgelsen foregik i sommeren 2002 og er baseret på et 14-siders spørgeskema. De 1600 husstande blev udvalgt tilfældigt ud fra elektronisk register, og besvarelsesraten var på 59%
Følgende emner blev behandlet i spørgeskemaet: frekvensen af miljømæssig adfærd, holdninger mod at foretage sådanne handlinger og en række af emner, der var inkluderet for at kunne måle situationsmæssige og psykologiske såvel som miljømæssige og sociale værdier.

Modellens anvendelse

For at undersøge hvordan energibesparende adfærd er relateret til andre miljømæssige handlinger, og i hvilken grad energibesparende handlinger kan sammensættes, blev der anvendt en faktoranalyse på datasættet. En faktoranalyse er en statistisk metode, der anvendes til at identificere ikke direkte målelige strukturer på basis af indirekte målinger. Den afgørende egenskab er, muligheden for at beskrive mange målinger ud fra få faktorer, en faktoranalyse anvendes ofte i sociale discipliner.

Faktoranalysen blev inddelt i 3 faktorer ud fra forskellige sæt af variable. Barr et al. [2005] har fundet, at miljømæssige handlinger overskrider traditionelle adfærdsmæssige grænser. Derfor kan de ud fra en grov antagelse blive grupperet til følgende faktorer: individets ind-

købsmotivationer og beslutninger samt individets vaner og sidst individets genbrugsadfærd. De variable, der påvirker de tre faktorer, er vist i figur C.6.



Figur C.6 – *Energibesparende adfærd opdelt efter faktor inkluderende variable, frit efter [Barr et al., 2005]*

Af figur C.6 fremgår det det, at den første faktor, indkøbsbeslutninger relaterer til åbenlyse bevidste beslutninger, der kan indeholde betydelige skift i adfærd. I modsætning relaterer faktoren vaner, til individets hverdagsliv i hjemmet, der ikke kræver store beslutninger. Ud fra dette vurderes det, at energibesparende adfærd kan inddeles i forbrugsorienteret adfærd og vanemæssige handlinger som tidligere nævnt. Ud fra spørgeskemaundersøgelsen ses stor uenighed omkring viljen til at reducere eksempelvis antallet af bade, dette kan dog også blive påvirket af, hvordan spørgsmålet bliver stillet.[TNS Gallup A/S, 2010].

På baggrund af faktoranalysen udføres en klyngeanalyse, der bygger på ideen om at sammenfatte lighedstegn mellem individuelle emner i et spørgeskema. I denne proces er hvert emne først behandlet uafhængigt, dernæst er to emner sammensat i par på baggrund af deres ligheder. Denne proces fortsætter så til, der er kun en klynge tilbage.

På baggrund af datasættet fra Devon blev der fundet fire tydelige identificerbare klynger. **Klynge 1** er *Engagerede miljøaktivister*, og er den klynge hvor chancen for, at der anvendes energieffektive husholdnings apparater samt lavenergipærer er størst. Ligeledes er det oftest denne klynge, der engagerer sig i miljømæssige opgaver såsom at kompostere, genbruge vand og andre grønne aktiviteter.
Klynge 2 er *Traditionelle miljøaktivister* og minder meget om klynge 1 i forhold til den vanemæssige adfærd. Den store forskel mellem klynge 1 og 2 er i forbindelse med genbrug og kompostering.
Klynge 3 er defineret som *Sporadiske miljøaktivister* og **Klynge 4** som *Neutrale*. Disse fokuserer sjældent på energieffektive produkter og deltager kun i energibesparende adfærd, når det kræver minimal indsats eller ingen reduktion i komfort. Ud fra disse klynger tegner

der sig en tydelig demografisk forskel mellem grupperne af energisparer. Den demografiske profil er summeret til følgende:

- Gennemsnitsalderen var højest ved *Engagerede miljøaktivister* og lavest ved *Neutrale*
- Andelen af hankøn var størst ved *Neutrale*, kønsbalancen var nogenlunde ens i de resterende klynger
- *Engagerede og traditionelle miljøaktivister* havde lavere størrelse på husstanden end de andre
- Der var forskel på adgang til bil, men dette var ikke statisk ens
- *Engagerede miljøaktivister* ejede som oftest boligen, hvorimod *Neutrale* som oftest boede til leje
- 50% af *Traditionelle og neutrale miljøaktivister* boede i rækkehus
- *Neutrale* havde betydelig lavere indkomst sammenlignet med de andre klynger

Ud fra klyngeanalysen ses det, at de mest engagerede i forhold til vedvarende energi er ældre personer, der som oftest ejer deres bolig, stemmer grøn/liberalt og er medlemmer af samfundsgrupper. Her skal det understreges, at boligejere selvfølgelig har større incitament for at investere i vedvarende energi. I modsætning er det de neutrale, der har tendens til at være yngre mænd med lav indkomst, der ikke engagerer sig i samfundet eller politik. Dog er dette en generalisering til trods for, at det er baseret på et tydeligt statistisk mønster. Til konklusionen på resultaterne skal nævnes at undersøgelsen er foretaget i Storbritanien, hvorfor politiske overbevisninger og andre parametre kan være forskellige fra Danmark. For nærmere uddybning se den videnskabelige artikel, [Barr et al., 2005].

På baggrund af den demografiske profil rangeres sociale og miljømæssige værdier i prioriteret rækkefølge, se tabel C.1.

Sociale værdier	Altruistisk
	Åben for forandring
	Konservativ
	Egoistisk
Miljømæssige værdier	Antropomorfisme
	Bioferisme
	Økonomisme - Teknologisme

Tabel C.1 *– Social og Miljømæssige værdier, efter [Barr et al., 2005]*

Disse repræsenterer alle værdier, der er til stede i de 4 klynger. På baggrund af faktoranalysen samt klyngeanalysen kan "Energisparen"defineres.

I sidste ende er "Energisparen"defineret som følger: Prosocial og økonomisk i livssyn med biometriske værdier. Ligeledes er "Energisparen"miljømæssigt involveret og moralsk motiveret.

"Energisparen"tror på virkningen af sine handlinger og behandler miljømæssige problemstillinger i forhold til pris, og så er "Energisparen"villig til at ofre egen komfort for at spare energi.

Diskussion

Barr et al. har udviklet en model til at analysere energiforbruget i boliger ud fra personkarakteristika. Forskellen mellem energibesparende adfærd i hjemmet set i forhold til indkøbsorienteret og vanemæssig adfærd har dannet baggrund for definitionen af "Energisparen". På baggrund af modellen ses tre klare konklusioner relateret til defineringen af energibesparende handlinger i forhold til alternative miljømæssige handlinger. Først betragtes den energibesparende adfærd og de miljømæssige handlinger. På baggrund af Devon-studiet ses en klar konceptuel deling mellem indkøbsorienteret og adfærdsmæssige handlinger i relation til energiforbruget. Frekvensen samt klyngeanalysen gav bevis for, at der eksisterer fire typer af miljøaktivister. I relation til energibesparende adfærd opstod den største forskel mellem de engagerede miljøaktivister og de neutrale. De to resterende klynger havde regelmæssige overensstemmelser set i forhold til energibesparende adfærd. Klyngeanalysen kan sammenlignes med GallupKompas undersøgelsen [TNS Gallup A/S, 2010], som inddeler den danske befolkning i ni grupper. Disse ni grupper giver et indblik i gruppernes holdninger, værdier og livsstile. Det må i sidste ende konkluderes, at bestemmelse af en specifik personkarakteristik kan assistere i forbindelse med energireducerende politik.

Bilag D

Socio-tekniske modeller

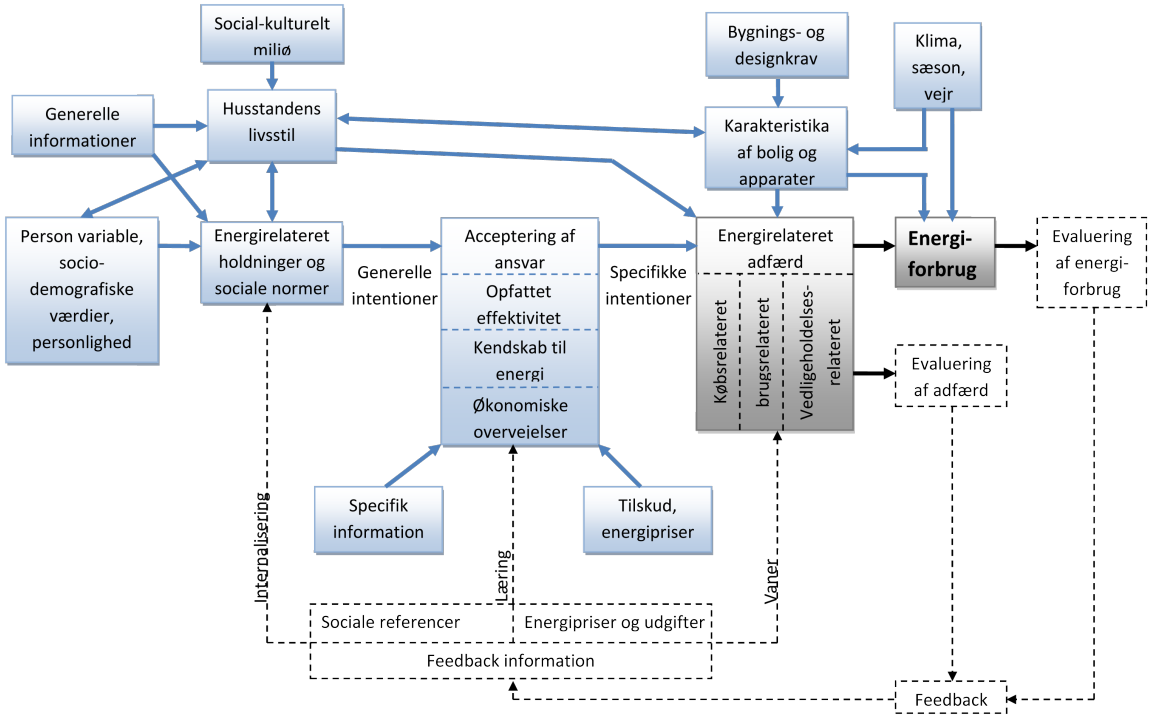
I dette bilag bliver de socio-tekniske modeller gennemgået. Undersøgelser, der bliver gennemgået, er alle baseret på de metoderne gennemgået i afsnit 4.4. Efter hver enkel model vil styrker og svagheder samt anvendelsesområder blive diskuteret.

D.1 Integreret adfærdsmodel

van Raaij og Verhallen [1983a] har udviklet en socio-teknisk model til forudsigelse af energiforbruget i boliger. Modellen sammenholder personlige, miljømæssige og brugeradfærdsmæssige faktorer i forudsigelsen af energiforbruget. van Raaij og Verhallen [1983a] beskriver grundstenene i modellen til at være brugernes adfærd og energiforbruget, derudover har de implementeret en feedbackfunktion i modellen. Feedbackfunktionen har til formål at evaluere energiforbruget og brugernes adfærd, således det er muligt at ændre beboernes energirelaterede sociale normer og holdninger samt beboernes energirelaterede adfærd. Afsnittet er opdelt således, at modellens opbygning først præsenteres, hvorefter samspillet mellem de influerede parametre vil blive beskrevet, afsnittet afsluttes med en diskussion.

Modellens opbygning

Modellen udviklet af van Raaij og Verhallen [1983a] er illustreret på figur D.1. Som det klart fremgår af figuren, er det en kompleks model med mange influerende faktorer. Beskrivelsen af modellens opbygning gennemgår de vigtigste faktorer, for en uddybende forklaring henvises til den videnskabelige artikel, der ligger bag modellen [van Raaij og Verhallen, 1983a].



Figur D.1 – *Adfærdsmodel til forudsigelse af energiforbruget, efter [van Raaij og Verhallen, 1983a]*

van Raaij og Verhallen [1983a] har udviklet modellen således, at afstanden fra faktoren hen til energiforbruget siger noget om, hvordan den enkelte faktor påvirker det totale energiforbrug. Illustreret på figur D.1 ses, at klimaet har direkte påvirkning på energiforbruget, mens det social-kulturelle miljø kun har indirekte påvirkning på energiforbruget. Dette fremgår af, at det social-kulturelle miljø påvirker husstandens livsstil, som videre har påvirkning på den energirelaterede holdning og adfærd og så fremdeles. Modellen er på figur D.1 opdelt således, at de vigtigste faktorer, i følge van Raaij et al., er markeret med sort, mens feedbackfunktionen er markeret med stiplede linjer.

I modellen er der tre faktorer, der har direkte påvirkning på energiforbruget, klimaet, boligens og husholdningsapparaternes karakteristika og den energirelaterede adfærd. Faktorer under kategorien "*karakteristika af boligen og dens apparater*"tilhører boligens isoleringsgrad, størrelse, vindeksponering, osv. Udover den direkte påvirkning på energiforbruget har kategorien direkte påvirkning på den energirelaterede adfærd. van Raaij og Verhallen [1983a] forklarer denne påvirkning i "*matching af personer og boliger relateret til energiforbruget*", samt at "*brugernes adfærd forhøjer/nedsætter effekten af boligens karakteristika*". Modellens energirelaterede adfærd er opdelt i tre underkategorier, købs-, brugs- og vedligeholdelsesrelateret adfærd. Den købsrelaterede adfærd har at gøre med adfærden omkring køb af husholdningsapparater, varmeudstyr, tekniske installationer, osv. hvori overvejelser omkring produkternes energiforbrug, sparemærker, osv. indgår. Den brugsrelaterede adfærd henvender sig til hverdagsbrugen af boligens husholdningsapparater, samt hvordan boligen anvendes af beboerne, herunder udluftning af bolig, indetemperatur, solafskærmning osv. Den vedligeholdelsesrelaterede adfærd omhandler selve vedligeholdelsen af tekniske installationer og apparater i boligen, inkluderende services, små reparationer og små renoveringer.

I modellen har van Raaij og Verhallen [1983a] inkluderet en feedbackfunktion. Formålet med feedbackfunktionen er at skabe en simpel og effektiv metode til at reducere boligens energiforbrug ud fra en beskrivelse af, hvordan tingene fungerer. Feedbackfunktionen har ligeledes til formål at gøre beboerne opmærksomme på konsekvenserne af deres adfærd i form af størrelsen og prisen på deres elforbrug. Feedbackfunktionen evaluerer beboernes energiforbrug og beboernes adfærd, se figur D.1. Feedbackevalueringen i modellen forekommer som information omkring energiforbruget i en bestemt periode, hvor van Raaij og Verhallen [1983a] påpeger jo kortere perioden er, jo mere effektiv er feedbackfunktionen, dette vil dog blive diskuteret senere i afsnittet. Den indkomne feedbackinformation vil, i modellen, blive fordelt til de energirelateredes sociale normer og holdningers og energirelateredes adfærds mellemliggende faktorer.

I modellen har de energirelaterede holdninger og sociale normer indirekte indflydelse på boligens energiforbrug og består af holdninger til miljøproblematikker, energiproblematikker, sundhedsproblematikker, osv. van Raaij og Verhallen [1983a] påpeger, at den indirekte påvirkning på energiforbruget grunder i, at ændring i beboernes holdning i forhold til energiforbruget, ikke nødvendigvis fører til et reduceret energiforbrug. I modellen gøres rede for fire faktorer, der adskiller beboernes holdninger og adfærd dvs. faktorer, der kan påvirke beboernes holdning til en forøget eller reduceret energiforbrug, i forhold til til beboernes adfærd. Disse faktorer er acceptering af ansvar, opfattet effektivitet, kendskab til energi samt økonomiske overvejelser.

Modellens variable

Modellen udviklet af van Raaij og Verhallen [1983a] er udfærdiget på baggrund af forskning, der har undersøgt hvilke faktorer, der har størst indflydelse på energiforbruget. I den videnskabelige artikel, der ligger bag modellen, fremfører de det videnskabelige arbejde i forhold til den udviklede model. Igennem artiklen påpeger van Raaij og Verhallen [1983a] mulige metoder til at reducere boligens energiforbrug, disse metoder er fortrinsvist relateret til beboernes adfærd. I dette afsnit bliver de vigtigste faktorer og variable i modellen, der har påvirkning på energiforbruget beskrevet. Ved uddybende forklaring henvises til den videnskabelige artikel bag modellen [van Raaij og Verhallen, 1983a].

Modellen, vist på figur D.1, har to afhængige variable; energiforbruget og evalueringen af energiforbruget. Som tidligere beskrevet har den energirelaterede adfærd direkte indflydelse på energiforbruget. van Raaij og Verhallen [1983a] beskriver de vigtigste faktorer i den energirelaterede adfærd relateret til energiforbruget til at være:

1. *Indeklima i soveværelse mens brugerne sover*; brug af radiatoren og naturlig ventilation om natten
2. *Termostatiske indstillinger i boligen udenfor brugstiden*
3. *Termostatiske indstillinger i boligen indenfor brugstiden (Bortset fra om sommeren)*
4. *Anvendelse af gardiner i forbindelse med solafskærmning*; længde af gardiner, nedrulning af gardiner om natten og som solafskærmning
5. *Udluftning*; brug af naturlig og mekanisk ventilation til udluftning af stuer og værelser

6. *Anvendelsen af soveværelse*; forventet søvntimeantal, udluftning af soveværelse

Disse faktorer er fundet på baggrund af en undersøgelse tællende 145 husstande, Vlaardingen, Holland, i året 1976-1977, se også afsnit 6.1.

I henhold til ovenstående parametre har samspillet mellem den energirelaterede adfærd og boligens samt apparaternes karakteristika ligeledes stor påvirkning på boligens energiforbrug. Dette samspil kan, i følge van Raaij og Verhallen [1983a], være såvel negativ som positiv på energiforbruget i boligen. I artiklen begrundes dette med, at ændringer i eksempelvis boligens karakteristika herunder boligens isoleringsgrad, kan medføre et reduceret eller forhøjet energiforbrug. Det reducerede energiforbrug kan skyldes den øgede isoleringsgrad, som derved medfører et mindre transmissionstab, hvor det forhøjede energiforbrug grunder i beboernes antagelse om, at de kan have det så varmt, de vil, da de nu har energieffektiviseret deres bolig. I modellen påpeger van Raaij og Verhallen [1983a] følgende variable under boligens karakteristika, der har stor indflydelse på boligens energiforbrug:

1. Temperaturforskel mellem inde- og udetemperaturen
2. Varmetab gennem vægge, vinduer, og tag
3. Infiltration
4. Effektivitet af fyr, afhængig af alder/service/vedligeholdelse

Herunder finder de ligeledes, at vindorientering samt boligtype er indflydelsesrige faktorer. I modellen fremhæver van Raaij og Verhallen [1983a] ligeledes samspillet mellem beboernes holdninger og beboernes adfærd. I modellen beskriver de følgende baggrunde for, at beboerne handler energirigtigt dvs. baggrunde for, at deres holdninger bliver til handlinger. Baggrundene forudsætter en positiv personlig holdning og social norm omkring energibesparelser.

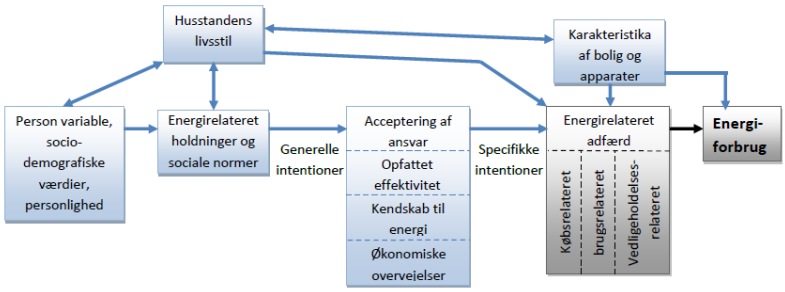
- Hvis beboerne har muligheden, fysisk som økonomisk til at udføre energibevidst adfærd
- Hvis beboerne accepterer deres ansvar for energibesparelser
- Hvis beboerne har den nødvendige viden omkring konsekvenserne af deres adfærd
- Hvis beboerne ser deres energibesparelser som effektive
- Hvis fordelen rent økonomisk og adfærdsmæssigt for energibesparelser er positive

For at optimere processen fra at beboernes holdninger bliver til faktiske handlinger fremhæves feedbackfunktionen i modellen. Tre grundlæggende faktorer skal, i følge modellen, være opfyldte for at beboernes respons på feedbacken er positiv:

1. Feedback information skal være specifik, dvs. at feedback informationen skal videregive hvilke adfærdsmønstre der har effekt på energiforbruget
2. Feedback perioden skal være af en sådan længde, at nye energieffektive adfærdsmønstre udvikler sig
3. Påvirkning af adfærd, i form af samfundets holdning og sociale normer, er nødvendig

Diskussion

Hovedformålet med modellen, udviklet af van Raaij og Verhallen [1983a], er at samle og strukturere de afgørende faktorer i bestemmelsen af boligens energiforbrug. I modellen lægges vægt på konkrete faktorer, der har påvirkning på boligens energiforbrug, hvor den mere generelle tekniske videnskabelige teori er udeladt. Dette giver forskere, rådgivere og politikere en omfattende redegørelse af faktorer relevant for forklaring af boligers energiforbrug. Ulempen ved modellen er, at den er baseret på et enkelt case studie omfattende 145 husstande [Verhallen og van Raaij, 1981], hvor de enkelte faktorers indflydelse på boligens energiforbrug er blevet undersøgt. De mere generelle videnskabelige teorier fra de sociale og tekniske perspektiver udelades derved og nødvendiggør et stort forskningsarbejde indenfor kategorisering af indflydelsesrige faktorer i forhold til energiforbruget i boliger. Modellen fremstår, se figur D.1, som en meget kompleks model, da der i modellen er mange faktorer, der skal tages hensyn til, herunder mange påvirkninger mellem enkelte faktorer. Dette bevirker, at enkelte vigtige faktorer bliver negligeret i modellen. I modellen fremhæves vigtigheden af husstandens indkomst i forudsigelsen af energiforbruget, mens modellen placerer husstandens indkomst under sociodemografiske værdier, dvs. der er minimum tre led hen til energiforbruget, se figur D.2



Figur D.2 – *Flowet fra sociodemografiske variable til energiforbruget*

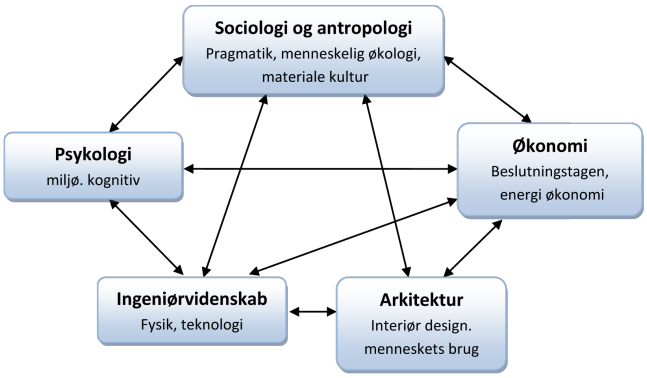
I forhold til de ovenfor beskrevne tre led bør det nævnes, at de sociodemografiske værdier kan have både positiv og negativ indflydelse på eksempelvis husstandens livsstil set i forhold til energiforbruget. Husstandens livsstil kan endvidere have såvel positiv som negativ indflydelse på den energirelaterede adfærd osv. I modellen bliver en feedbackfunktion ligeledes inkluderet, der har til formål at informere beboerne omkring boligens energiforbrug og på den måde gøre opmærksom på eventuelle områder, der kan energieffektiveres. Feedbackfunktionen er med til at øge kompleksiteten i modellen, men systemet giver mulighed for at energieffektivere brugernes adfærd. van Raaij og Verhallen [1983a] pointerer ydermere, at feedbackfunktionen bliver mere effektivt jo kortere feedback perioden er. Christiansen et al. [2009] har undersøgt effekten af feedbackfunktioner på mail og sms og pointerer, at feedbackperioden kan blive for kort, herunder at daglig feedback blev oplevet som forstyrrende og meningsløs. I modellen er der ingen konkrete eksempler på anvendelse af modellen, hvorfor modellen fremstår som ren teoretisk. Det har ikke været muligt at finde konkrete eksempler på brugen af metoden i andre videnskabelige artikler til trods for, at den indeholder mange gode elementer.

D.2 Kulturel model

Lutzenhiser [1992] har udviklet en integreret model til bestemmelse af energiforbruget i bygninger. Afsnittet er opdelt således, at modellens tværvidenskabelige indhold og samspillet mellem disse beskrives først, hvorefter selve modellen og anvendelsen af modellen bliver beskrevet. Modellen tager udgangspunkt i kulturelbegrebet til at beskrive energiforbruget, som er bestemt af det tværvidenskabelige arbejde. Modellen har tre anvendelsesniveauer, det beskrivende, det forklarende og det forudsigende niveau i analysen af energiforbruget. Afsnittet afsluttes med en diskussion.

Tværvidenskabeligt indhold

I beskrivelsen af indholdet i modellen pointerer Lutzenhiser [1992] vigtigheden af at inkorporere et tværvidenskabeligt arbejde i modellen. Han forklarer, at det tværvidenskabelige arbejde er nødvendigt grundet usikkerheden i forudsigelsen af energiforbruget i den enkelte bolig. Figur D.3 viser, hvad dette tværvidenskabelige arbejde indeholder, og hvordan disse hænger sammen. Den fremhævede tekst på figuren viser fagområdet, mens stikord vedrørende indholdet er vist under. Efterfølgende vil de enkelte fagområder blive beskrevet.



Figur D.3 – *Tværvidenskabeligt indhold, efter [Lutzenhiser, 1992]*

Ingeniørvidenskab
Bygningens teknologiske simuleringsmodeller bygger på den fysiske forståelse af boligen og beboernes samspil mellem de tekniske installationer og husholdningsapparater. Det kan diskuteres hvorvidt ingeniørvidenskaben gør nok brug af den faktiske forståelse af menneskets adfærd. De tekniske simuleringer fortæller derfor kun lidt om brugernes adfærd, hvorfor de benytter sig af beboernes normale og rutinemæssige adfærd. I følge Lutzenhiser [1992] er denne egenskab en stor styrke for de tekniske simuleringer, da de derved kun fokuserer på de fysiske aspekter. De tekniske simuleringer benytter sig dog ofte af automatiske reguleringssystemer, hvor det har vist sig, at beboerne har tendens til manuelt at overstyre systemet, hvilket kan medføre forkert anvendelse af installationer og apparater.

Økonomi
Lutzenhiser [1992] understreger, at økonomer har en delt interesse med ingeniører i effektivitet og historisk set har været interesseret i energipriser som en faktor i produktionen. Ud fra denne interesse har økonomerne udviklet en praksis til at udregne priselasticiteten af energiforbruget. Lutzenhiser [1992] beskriver økonomernes største bidrag til energi og adfærdsstudierne som værende rapporteringen af korrelationen mellem energipriser/energiforbrug og tidens trend. Dog er disse rapporteringer baseret på regionalt og nationalt niveau. Den største ulempe ved de økonomiske modeller er, at de ikke tager hensyn til beboernes tilbøjelighed til ikke at investere i profitable energieffektive installationer og apparater.

Sociologi og antropologi

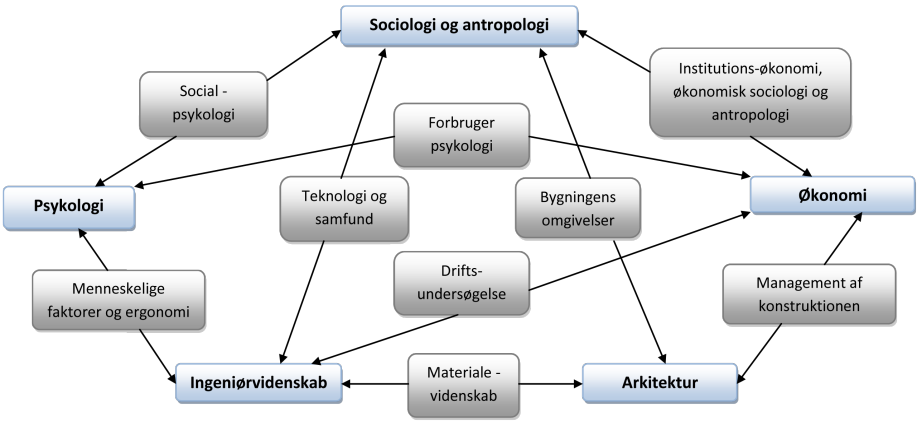
Sociologiske modeller tager udgangspunkt i, at personernes holdninger og adfærd er formet gennem interaktioner med andre individer. De sociologiske modeller har traditionelt arbejdet med sammenhængen mellem boligens energiforbrug og sociologiske parametre afhængig af beboerne, eksempelvis social klasse, livscyklusstadie, alder, uddannelse og køn. Lutzenhiser [1992] fremhæver dog, at mange sociologiske undersøgelser har taget udgangspunkt i overordnede casestudier og ikke casestudier på husstandsniveau.

Psykologi

Psykologers vigtigste aspekt i denne sammenhæng er forståelsen af, hvordan og hvorfor beboernes adfærd er, som den er. Psykologerne undersøger dette ved at inkorporere modeller af kognitivitet, den individuelle opfattelse, holdningssystemer, risikovurdering, osv. I de psykologiske modeller er opfattelsen, vurderingen og beslutningen praktiske færdigheder af det enkelte individ. I forskningsøjemed har psykologer dog begrænset forskningen til forståelsen af beboernes holdning til energibesparelser samt den mere generelle forståelse af holdningsbegrebet versus adfærdsbegrebet.

Samspil

Figur D.4 viser samspillet mellem de inkorporerede fagområder. Eksempelvis har ingeniørvidenskaben og økonomien begge interesse i at energieffektivisere installationer, apparater osv. Økonomers interesse ligger i rentabiliteten af forskellige produkter, men ingeniørernes interesse ligger i den teknologiske udvikling i produktet. For en mere specifik uddybning af samspillet henvises til [Lutzenhiser, 1992].

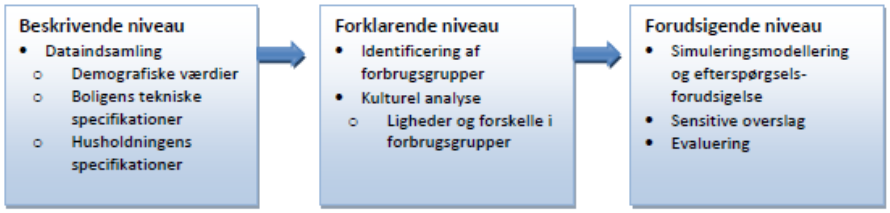


Figur D.4 – *Tværvidenskabeligt samspil, efter [Lutzenhiser, 1992]*

Anvendelse af den kulturelle model

Den kulturelle model tager udgangspunkt i, at beboernes individuelle energiforbrug er en naturlig konsekvens af, at beboerne tilpasser sig og udvikler nye kulturer, eksempelvis hvordan den danske kultur kan påvirke en ikke etnisk dansker. Modellen fokuserer på grupper af kulturer og ikke på enkelte individer, og hvad teknologien har af betydning for forbrugeren. Den kulturelle model har tre anvendelsesniveauer, det beskrivende, det forklarende og

det forudsigende niveau i analysen af energiforbruget. Disse niveauer repræsenterer ligeledes stadierne i modellens praktiske anvendelse. Figur D.5 illustrerer de tre niveauer.



Figur D.5 *– De tre niveauer i den kulturelle model, frit efter [Lutzenhiser, 1992]*

Det beskrivende niveau involverer undersøgelsesarbejde, som har til formål at kortlægge forskellige kulturer og livsstile. Kortlægningen forudsætter, at en tilstrækkelig mængde data er til rådighed. Dataene, som skal anvendes, er data visende sociale mønstres relation til energiforbruget, dvs. demografiske værdier såsom alder, indkomst, etnicitet, osv. samt tekniske specifikationer om boligen og husholdningen såsom husstørrelse, husholdningsapparater, energieffektivitet af apparater og installationer.

Det forklarende niveau identificerer de enkelte forbrugsgrupper, det være sig vesterlændinge, ældre, rige, immigranter, osv. Under dette niveau foretages ligeledes en mere kulturel analyse af de enkelte forbrugsgrupper, hvor ligheder og forskelligheder undersøges. Formålet med denne undersøgelse er at give en forståelse af hvad energi, teknologi, miljøet, penge, familie, osv. har af betydning for den aktuelle forbrugsgruppe.

Det forudsigende niveau omhandler forudsigelse af energiforbruget og virkningsgraden af energieffektiviseringsinterventioner. Niveauet involverer tre analytiske processer. Den første proces omhandler simuleringsmodellering og efterspørgselsforudsigelser, der anvender teknologi- og forbrugsprofiler relateret til de fundne forbrugsgrupper fundet under de foregående niveauer. Den anden proces involverer sensitive overslag over, hvem der har størst sandsynlighed for at indføre tekniske energieffektivisering, samt i hvilken forbrugsgruppe de største besparelsesmuligheder ligger. Den tredje proces omhandler evalueringen af imødekommenheden over for at investere i ny teknologi, forandre adfærd, osv. af den enkelte forbrugsgruppe for at nedsætte energiforbruget.

Diskussion

Lutzenhiser [1992] har udviklet en model, der opdeler beboere i forskellige kulturelle grupper. De kulturelle grupper bliver dannet på baggrund af opsamlet data, som beskriver sammenhængen mellem beboernes sociale mønstre og energiforbruget. For at anvende modellen er det altså nødvendigt med en tilstrækkelig mængde data, som kan ligge til grund for forudsigelsen af energiforbruget. Modellen har tre anvendelsesniveauer, det beskrivende niveau, det forklarende niveau og det forudsigende niveau, som ligeledes forklarer fremgangsmåden, når modellen skal anvendes. Lutzenhiser [1992] har egentlig lavet en teoretisk skitsering af, hvordan han mener analysen af forudsigelsen af energiforbruget bør være. Modellen giver ligeledes nogle grundlæggende og overordnede ideer til hvilke fagområder, der skal indarbejdes

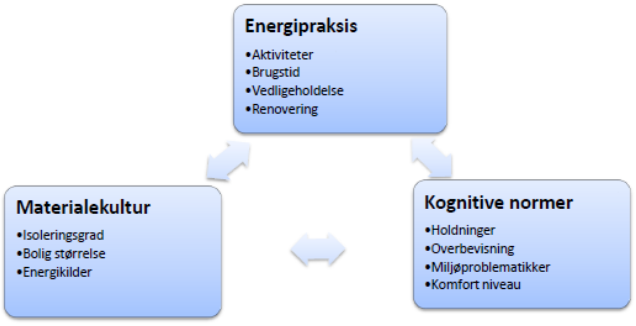
i modellen. Modellen giver dog ikke nogle konkrete eksempler på, hvordan disse fagområder kan indarbejdes, men pointerer, at den indsamlede datamængde skal rumme værdier, som betragter alle aspekter i fagområderne. Den kulturelle model virker altså mere som en beskrivelse af en ide og ikke som en teoretisk model, men giver nogle grundlæggende og overordnede ideer til, hvordan analysearbejdet af energiforbruget kan gøres.

D.3 Energikultur model

Modellen præsenteret i dette afsnit er udviklet af Stephenson et al. [2010] og bygger på samspillet mellem forskellige energikulturer. I modellen sammenholdes de forskellige måder at forstå begrebet "adfærd", set fra ingeniørmæssigt perspektiv, økonomisk perspektiv osv. i forhold til bygningers energiforbrug. Målet for energikulturmodellen er at forsøge at sammenholde de forskellige faktorer, der påvirker energiforbruget i boliger og hjælpe med at identificere mulighederne i at energieffektivisere brugernes adfærd. Modellen tager udgangspunkt i 3 kategorier, kognitive normer, materialekultur og energipraksis, hvor Stephenson et al. [2010] forklarer, hvilke faktorer der har påvirkning på energiforbruget samt samspillet mellem disse faktorer. Modellen er en videreudvikling af den kulturelle model udviklet af Lutzenhiser [1992] beskrevet i forrige afsnit. Afsnittet er opdelt således, at modellens opbygning vil blive præsenteret først, hvorefter modellens anvendelse vil blive beskrevet, afsnittet afsluttes med en diskussion.

Modellens opbygning

Ved hjælp af tværfagligt videnskabsarbejde har Stephenson et al. [2010] udviklet en model baseret på energikulturer, der skal hjælpe med at forstå, hvad der påvirker energiforbruget i bygninger. Målet med modellen er at udvikle en energikulturstruktur, der tager udgangspunkt i begrebet adfærd og de forskellige aspekter i adfærden, selvfølgelig relateret til energiforbruget i boliger. Målet med modellen er ligeledes at inkorporere aspekter, der har indflydelse på de forskellige adfærd og tager hensyn til interventioner, som kan medføre adfærdsændringer. Stephenson et al. [2010] anvender begrebet energikultur for at skabe forskellige grupper af faktorer, der har indflydelse på fordelingen af boligens energiforbrug. Deres model er altså en videreudvikling af den kulturelle model udviklet af Lutzenhiser [1992] beskrevet i afsnit 4.4.2. Konceptet i energikultur modellen er ,at tre overordnede kategorier anvendes til at forstå beboernes energiadfærd i boliger. De tre kategorier er kognitive normer, materialekultur og energipraksis, se figur D.6. De kognitive normer står for adfærden omkring beboernes holdninger, overbevisning, miljøproblematikker, forventet komfort niveau, osv. Materialekulturerne består af adfærden omkring boligens tekniske installationer, isoleringsgrad, boligstørrelse, energikilder osv. Energipraksis står for adfærden omkring boligens aktiviteter, brugstid,

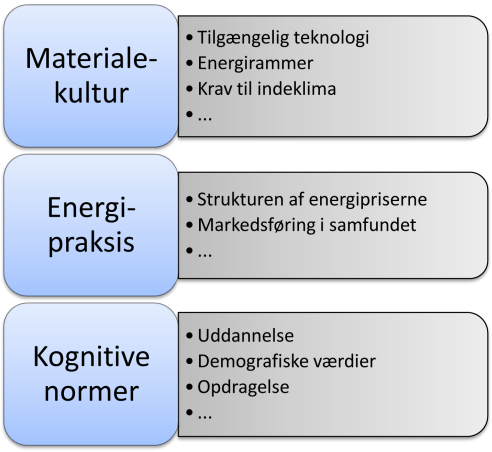


Figur D.6 – *Grundlæggende opbygning, efter [Stephenson et al., 2010]*

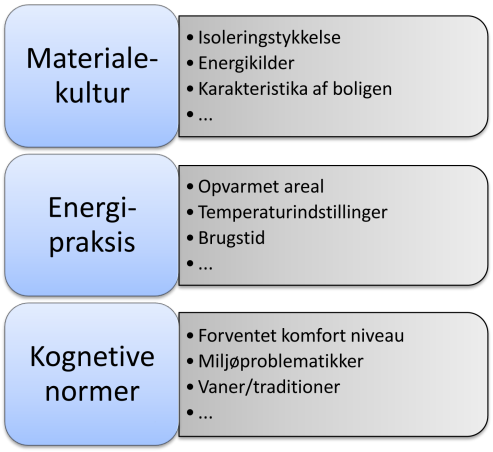
vedligeholdelse af installationer, renovering af bolig, osv. Modellen vist på figur D.6 kaldes modellens indre kerne.

For at få den fulde forståelse vedrørende energiadfærd og fordeling af boligens energiforbrug er samspillet mellem de tre kategorier essentiel. Stephenson et al. [2010] forklarer, at de kognitive normer har stor indflydelse på beboernes valg af teknologier, samt den praktiske brug af disse teknologier. Energipraksis fastlægger, hvordan teknologien bruges, og delvist hvordan beboernes overbevisning og holdninger bliver formet. Ligeledes har materialekulturen direkte påvirkning på de kognitive normer og på beboernes potentielle energipraksis. Modellen kan altså forstås som et interaktivt system bestående af tre kategorier, som indbyrdes er stærkt afhængige. På samme måde kan hver kategori i modellen forstås som interaktivt system, hvor de indbyrdes faktorer i den enkelte kategori er stærkt afhængige af hinanden. Det interaktive system i materialekulturen kan bestå af boligens tekniske system, de kognitive normer kan bestå af holdnings-, værdi-, traditionssystem osv. Mens energipraksis kan bestå af samspillet mellem det individuelle, sociale som institutionelle adfærd. Disse tre individuelle interaktive systemer er med til at grundlægge adfærdens udfald.

Stephenson et al. [2010] har udviklet modellen således, at den består af ydre og indre påvirkninger. De ydre påvirkninger bliver eksempelvis påvirket af faktorerne i materialekulturen, de kognitive normer og energipraksis. Faktorer i de ydre påvirkninger, som er korreleret med de kognitive normer, kan være uddannelsesniveau, opdragelse osv. Faktorer korreleret med materialekulturen kan være husstandens indkomst, tilgængelig teknologi osv. Faktorer korreleret med energipraksis kan være markedsføring i samfundet samt strukturering af energipriserne. Interaktionerne mellem de ydre og indre påvirkninger kunne være lovkravenes påvirkning på boligens tekniske installationer, mens værdier, holdninger og miljøproblematikker kan påvirke lovkravene. De ydre påvirkninger er vist på figur D.7a.



(a) Modellens ydre påvirkninger, efter [Stephenson et al., 2010]



(b) Karakterisering af adfærd relateret til opvarmning, efter [Stephenson et al., 2010]

Modellen kan altså bruges til at beskrive adfærden relateret til energiforbruget i boligen, herunder adfærden ved brug af mekanisk ventilation, adfærden ved brug af udluftning, adfærden i brug af husstandens husholdningsapparater osv. Figur D.7b illustrerer eksemplet, hvor energikulturmodellen er brugt til at karakterisere adfærden relateret til opvarmning af

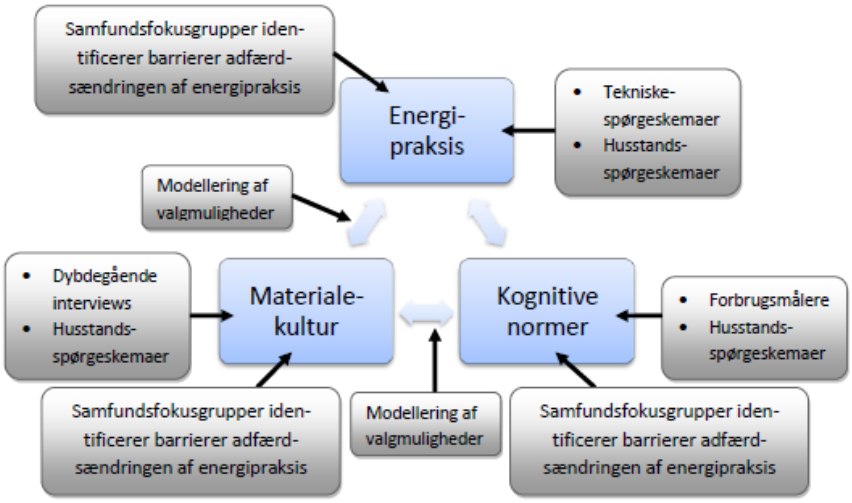
boligen. Figuren viser, hvilke faktorer der er i spil, når adfærden omkring opvarmning af boligen skal forstås. Som beskrevet tidligere skal der i modellen rettes opmærksomhed mod de enkelte faktorers indbyrdes vekselvirkninger. Vekselvirkningerne kunne bestå af beboernes holdning til energibesparelser og dennes påvirkning på valg af tekniske installationer, energiprisernes påvirkning på brug af udluftning om vinteren, husstandens indkomsts påvirkning på det forventede komfortniveau, osv.

Anvendelse af modellen

Stephenson et al. [2010] har lavet en udredning af, hvorledes forskere, politikere, rådgivere og andre interessenter kan anvende energikulturmodellen til at forstå adfærden i bygninger. Basis for modellen er indholdet i og samspillet mellem materialekulturen, de kognitive normer og energipraksis. På samme måde forudsættes at lignende interaktive kategorier kan observeres i en given bolig. Hermed kan boligens adfærd karakteriseres ved hjælp af forskellige energikulturer identificeret af modellen samt fastslå, hvilke interventioner, der kan energieffektivisere de givne energikulturer. En stor del af identificeringen af energikulturerne går på forståelse af adfærdenes indgroede vaner. Stephenson et al. [2010] definerer vaner i relation til energikulturmodellen som værende, når dynamikken mellem de tre kategorier er negligeret, hvor den eneste måde at bryde vanerne er at genskabe dynamikken. Dynamikken kunne eventuelt genskabes ved holdningsændring i forhold til vigtigheden i energibesparelser eller genskabes ved energieffektivisering af tekniske installationer. De understreger dog, at genskabelsen af dynamikken kan blive tilbageholdt grundet begrænsninger i en af de tre kategorier, det være sig økonomiske begrænsninger, begrænsninger i den tilgængelige teknologi eller lignende.

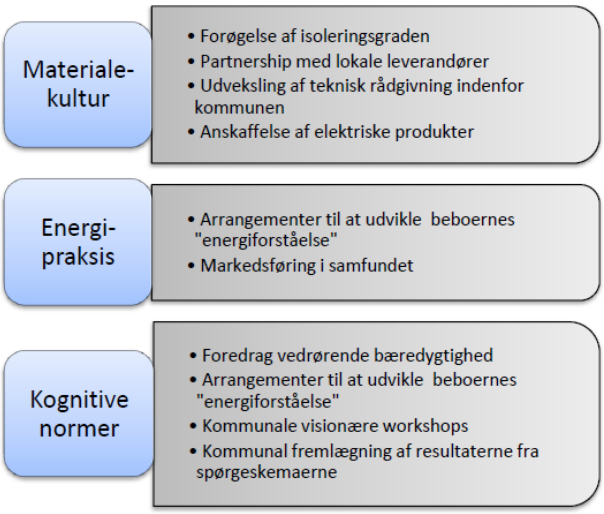
Stephenson et al. [2010] understreger ligeledes muligheden for at anvende energikulturmodellen på forskellige niveauer eksempelvis lokalt, regionalt eller nationalt. Modellen kan anvendes på den enkelte bolig eller på forskellige befolkningsgrupper, ligeledes kan modellen anvendes mellem forskellige sektorer.

Som tidligere nævnt kan energikulturmodellen benyttes af forskellige interessenter. Før interessenterne kan evaluere adfærden af de forskellige energikulturer, er det nødvendigt at have det fornødne datagrundlag. Figur D.7 viser den foreslåede metodologi i indsamlingen af dataene til at undersøge de givne adfærd samt barriererne til adfærdsændringerne. Materialekulturen identificeres via husstandsspørgeskemaer og spørgeskemaer omkring boligens tekniske sammensætning. Energipraksis identificeres via forbrugsmålere samt husstandsspørgeskemaer. Husstandsspørgeskemaerne vil til dels klarlægge nogle af aspekterne i de kognitive normer, men det er nødvendigt med dybdegående interviews for at komme frem til de mere grundlæggende aspekter. Modellering af valgmuligheder undersøger samspillet mellem de kognitive normer og materialekulturen samt samspillet mellem de kognitive normer og energipraksis. Samspillet mellem lovkrav/markedsføring og de tre kategorier vil blive undersøgt ved brug af samfundsfokusgrupper. Disse grupper undersøger ligeledes barrierer der kan stå i vejen for adfærdsændringer.



Figur D.7 – *Undersøgelse af adfærd samt barrierer mod adfærdsændring, efter [Stephenson et al., 2010]*

For at opnå identificeringen af energikulturgrupperne er det nødvendigt med præsentative casestudier. Dataene, fundet i de enkelte casestudier, kan dermed bruges til at bestemme hvilke energikulturer, der influerer materialekulturen, de kognitive normer og energipraksis. Stephenson et al. [2010] har anvendt energikulturmodellen på en by i New Zealand. Figur D.8 viser hvilke energikulturer, som muliggjorde energieffektivisering af adfærden i byen. Eksempelvis medførte udvekslingen af den tekniske rådgivning i kommunen samt de lokale leverandører, at energieffektiviseringen af adfærden var mulig. Det bør her nævnes, at dette med al sandsynlighed ikke er et generelt billede, idet energieffektivisering samt udbyttet af dette i høj grad er påvirket af geografi.



Figur D.8 – *Eksempler på energikulturer på baggrund af casestudie, efter [Stephenson et al., 2010]*

Diskussion

Stephenson et al. [2010] har udviklet energikulturmodellen, hvis formål er at skabe en struktur, der muliggør forståelsen af faktorer influerende på adfærden relateret til energiforbrug i bygninger. Til forskel fra de andre præsenterede socio-tekniske modeller er energikultur modellen udviklet af forskere indenfor forskellige videnskabelige fagområder. Det tværvidenskabelige arbejde har medført, at der ikke er et fagområde, som er dominerende i modellen. Modellens mange funktioner medfører, at det er en meget kompleks model, hvor forskerne har lavet en indre kerne i modellen for at overskueliggøre modellen. Ulempen ved modellen er, at der kræves meget stort forarbejde, før modellen er anvendelig. Det er altså nødvendigt, at have det fornødne datagrundlag for at kunne evaluere den energirelaterede adfærd. Ligeledes er det nødvendigt med tilstrækkelig teoretisk faglig viden indenfor hvert fagområde for at kunne evaluere dataene fra casestudierne. Fordelen ved modellen er, at den giver nogle præcise værktøjer, som interessenter kan arbejde videre med for at energieffektivisere den energirelaterede adfærd. Eksempelvis beskriver energikultur modellen, hvilke barrierer som hindrer energieffektiviseringen af adfærden. Fordelen ved denne model er modsat andre præsenterede socio-tekniske modeller, at den er afprøvet på et casestudie. Casestudiet viser, at energikultur er anvendelig og kan give præcise indikationer på forskellige energikulturer samt påpege forbedringsmuligheder.

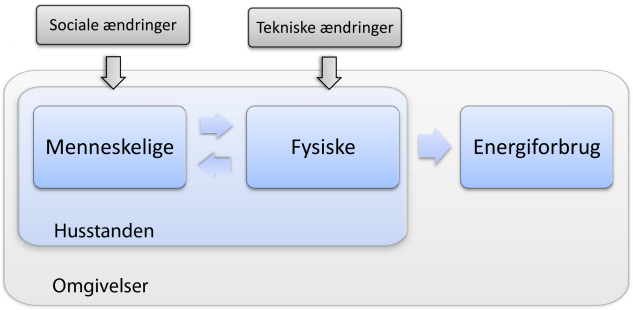
D.4 Systembaseret model

Den socio-tekniske model præsenteret i dette afsnit er udviklet af Hitchcock [1993]. Den præsenterede model er baseret på forskellige systemer og samspillet mellem disse systemer. For at integrere de tekniske såvel som de sociologiske perspektiver opdeler Hitchcock [1993] husstanden i to delsystemer, det menneskelige og fysiske system. I modellen er det netop sammenhængen mellem disse to delsystemer, der er nøglen til at få de tekniske og sociale perspektiver integreret. I det følgende vil modellens opbygning blive præsenteret hvori de forskellige parametre, der er anvendt i modellen, vil blive beskrevet. Efter dette vil de sociale og de tekniske fagområder i modellen blive beskrevet, hvor den integrerede opbygning vil blive diskuteret.

Modellens opbygning

Den grundlæggende opbygning af modellen er vist på figur D.9.

Som vist på figuren består modellen af to systemer, husstanden og omgivelserne. I modellen er husstanden opdelt i to delsystemer, det menneskelige og fysiske delsystem. Det menneskelige delsystem består af boligens beboere, og det fysiske delsystem består af boligen og de tekniske parametre til denne. Hitchcock [1993] lægger vægt på, at det er samspillet mellem disse delsystemer,

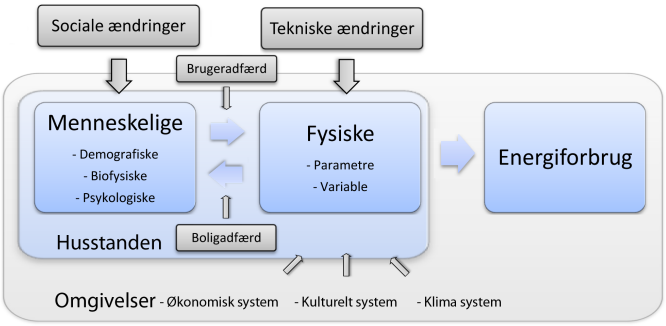


Figur D.9 – *Grundlæggende model, efter [Hitchcock, 1993]*

der bestemmer boligens energiforbrug.
Energiforbruget, som vist på figuren, er
en del af omgivelserne, der ligeledes er
en vigtig del af samspillet mellem de forskellige systemer. Husstandssystemet kan ligeledes blive påvirket at tekniske som sociologiske ændringer, hvor de tekniske ændringer påvirker det fysiske delsystem, og de sociologiske ændringer påvirker det menneskelige delsystem. Herunder har de tekniske og sociologiske ændringer også indirekte påvirkning på andre delsystemer i modellen.

Ud fra modellen beskriver Hitchcock [1993], at drivkraften bag energiforbruget i boliger er beboernes ønsker og forventninger til komfortniveauet i boligen. Boligens udnyttelse af lys, varme, vand, osv. er altså en konsekvens af beboernes forventede komfortniveau. Det vil sige, at boligens energiforbrug er afhængig af det komfortniveau boligen skal give, samt hvor effektivt boligens installationer kan eftergive dette komfortniveau.

Hitchcock [1993] udvider modellen for at vise, hvilke elementer der indgår i delsystemerne, det menneskelige, det fysiske samt omgivelsessystemet. Den udvidede model er vist i figur D.10. Omgivelsessystemet består af tre elementer: et klimasystem, et økonomisk system og et kulturelt system, hvor de to sidste elementer former husstandens sociologiske omgivelser. Klimasystemet består af parametre, der påvirker husstandens krav til varme og belysning det være sig udetemperatur, vind, beplantning osv. Det økonomiske system består af parametre, som virker som regulatorer for beboernes energibeslutninger eksempelvis skatter, elpriser, osv., mens det kulturelle system er den generelle opfattelse og holdning i samfundet til eksempelvis miljøspørgsmål, komfort, transport, osv. Det menneskelige delsystem består af tre elementer. De biofysiske variable er de fysiske karakteristika af kroppen som definerer komforten, eksempelvis metabolismen og beklædningsisolans. De psykiske variable, som er linket til den enkelte person eks. opfattelse og holdning, derudover indgår de demografiske variable også i det menneskelige delsystem eks. indkomst og antal personer i boligen. Det fysiske delsystem består af to elementer, fysiske parametre og fysiske variable. De fysiske parametre er boligens statiske parametre, vægtykkelse, materialer, osv., mens de fysiske variable er boligens dynamiske parametre, indetemperatur, luftskifte, osv. Når de fysiske parametre og variable er bestemt, er det muligt at beregne boligens energiforbrug.



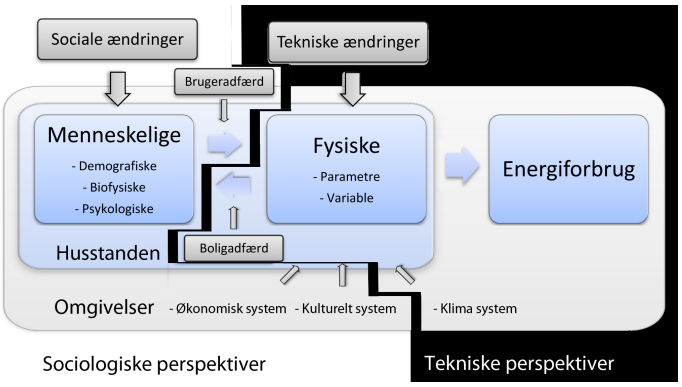
Figur D.10 *– Udvidet model, efter [Hitchcock, 1993]*

I modellen fremhæver Hitchcock [1993] samspillet mellem det menneskelige og fysiske delsystem som et vigtigt element i bestemmelsen af energiforbruget. Hitchcock [1993] benævner de to elementer som brugeradfærden og boligadfærden, se figur 4.14. Brugeradfærden reflekterer beboernes overordnede livsstil og består af to samspil. Samspillet mellem det menneskelige delsystem og de fysiske parametre, dvs. hvordan boligen anvendes og samspillet mellem det menneskelige delsystem og de fysiske variable, dvs. hvorfor beboerne ændrer de fysiske karakteristika ved boligen. Boligadfærden beskriver boligens indflydelse på beboerne, henført til modellen er det fysiske delsystems påvirkning på menneskelige delsystem. Boligadfærden

har ligeledes den egenskab, at den kan påvirke energiforbruget direkte. Dette er vist på figur D.10.

Perspektiver i modellen

Modellen udviklet af Hitchcock [1993] indeholder både tekniske perspektiver og sociologiske perspektiver. De tekniske perspektiver giver en forståelse af de fysiske processer, og hvordan energien anvendes, mens de sociologiske perspektiver giver en forståelse af, hvordan beboerne forholder sig til de fysiske systemer. For at kunne anvende modellen er det afgørende at have den nødvendige forståelse af teorien. Figur D.11 viser modellen opdelt i de sociologiske og tekniske perspektiver.



Figur D.11 *– Perspektiver i model, efter [Hitchcock, 1993]*

De tekniske perspektiver ser på husstandens fysiske og mekaniske systemer, hvor de i forhold til modellen sætter fokus på det fysiske delsystem og klimasystemet hørende under omgivelsessystemet. Derudover er det biofysiske element faktisk også en del af de tekniske perspektiver. De tekniske perspektiver forudsætter en overordnet forståelse af den tekniske teori bag energitransport samt komfort. Dette indebærer energitransport ved konvektion, ledning og stråling. Ligeledes indebærer det brugen af varmebalanceligningen og Fangers komfortligninger. De sociologiske perspektiver undersøger menneskets behov og overbevisninger, som i følge Hitchcock [1993] er drivkraften bag energiforbruget i boliger. Det menneskelige delsystem omfatter de psykologiske teorier bag forståelsen af adfærd, holdninger osv., samt den sociologiske teori, der forklarer sammenhængen mellem de mere fundamentale aspekter i social adfærd og energiforbrug. Det økonomiske og kulturelle system omfatter den overordnede teori bag økonomiske modeller, udbud og efterspørgsel samt de mere fundamentale demografiske parametre. De sociologiske perspektiver er altså generelt mere indirekte relateret til energiforbruget, hvorimod de tekniske perspektiver har en mere direkte påvirkning på energiforbruget.

Diskussion

Hitchcock [1993] har udviklet en model til at forudsige energiforbruget ud fra allerede kendt teori indenfor den tekniske og sociologiske videnskab. Modellen opdeler selve husstanden i et fysisk delsystem og et menneskeligt delsystem, hvor han slår på samarbejdet mellem de to delsystemer som afgørende i bestemmelsen af energiforbruget. Dette samarbejde benævnes henholdsvis "boligadfærden"og "brugeradfærden", hvor boligadfærden påvirker beboerne og energiforbruget direkte, men brugeradfærden påvirker husstandens fysiske system og som følge deraf også energiforbruget. Fordelen ved modellen er, at alle involverede parametre har påvirkning på såvel de fysiske som menneskelige delsystemer derfor også indirekte som direkte

påvirkning på energiforbruget. Fordelen ved modellen er ligeledes, at Hitchcock [1993] ikke forsøger at udvikle ny teori indenfor den tekniske eller sociologiske videnskab, men forsøger at frembringe samspillet som den afgørende faktor i modellen. Hitchcock [1993] understreger netop, at de sociale og tekniske modeller ikke skal forsøge at forudsige modpartens elementer, men benytte den enkeltes models specialviden til, indirekte som direkte, at forklare sin del af systemet. Ulempen ved dette er, at modellen hurtig bliver meget kompleks, når såvel teknisk som sociologisk teori skal benyttes til at forudsige små som store ændringer i energiforbruget. Egentlig er modellen opsat som en ramme, der beskriver de influerende faktorer. Der er i undersøgelsen ingen egentlige eksempler på, hvorvidt modellen er anvendt i forbindelse med konkrete boliger og beboere, hvorfor modellen fremstår som ren teoretisk. Det har ligeledes ikke været muligt at finde konkrete eksempler på anvendelse af metoden i andre videnskabelige artikler.

Bilag **E**

Indeklima i lavenergiboliger

Nærværende bilag indeholder en uddybende beskrivelse af Williamson et al. [2010] beskrevet i hovedrapporten i kapitel 5

Williamson et al. [2010] har undersøgt indeklimaet i fem australske boliger, beliggende i forskellige klimazoner. For at give et overblik over klimaet, som de fem huse er opført i, er gennemsnitsværdier for klimaet vist i tabel E.1. Tabellen viser, at klimaet ved de australske boliger er klart varmere end det danske, hvilket forklarer det sporadiske brug af rumopvarmningen. Det skal nævnes at hus nr. fem ikke havde installeret rumopvarmning, hvilket giver god mening ved betragtning af gennemsnitstemperaturerne.

Hus	Højde over havet [m]	Gennemsnits minimun-maksimum sommertemperatur/ relativ fugtighed	Gennemsnits minimun-maksimum vintertemperatur/relativ fugtighed	Gennemsnits lufthastighed [m/s]
1	382	12-21°C/51-68%	5-9°C/77-82%	5
2	1	16-28°C/43-53%	7-16°C/73-78%	4
3	9	20-29°C/58-68%	10-21°C/45-65%	3
4	31	11-25°C/47-58%	4-13°C/73-84%	5
5	31	26-32°C/68-80%	21-31°C/38-62%	4

Tabel E.1 – *Udeklima over fem australske boliger, efter Williamson et al. [2010]*

I undersøgelsen blev oplysningerne omkring boligernes indeklima fundet ved hjælp af interviews, fysiske målinger og simuleringer. Målingerne i boligerne blev registreret hver time gennem en 12-måneders periode. Målingerne inkluderede indetemperatur, indendørs luftfugtighed, udetemperaturen, udendørs luftfugtighed, lufthastighed og solstråling.

Bilag **F**

Samspil mellem energiforbrug og brugeradfærd

Dette bilag indeholder en uddybende forklaring af Andersen [2009] og Andersen et al. [2009] beskrevet i kapitel 6 i hovedrapporten.

Andersen [2009] har undersøgt brugeradfærdens indflydelse på energiforbruget med hensyn til kontrol af indeklimaet i hans Ph.D. afhandling. For at undersøge brugerens indflydelse på energiforbruget blev der foretaget en simulering af et enkelt rum, der var beskæftiget af en enkelt person. Brugeren af rummet kunne regulere på seks forskellige parametre såsom tænde/slukke varmen samt justering af beklædningsisolansen. Regulering af parametrene blev udført med det formål at opretholde PMV-værdien indenfor et udvalgt område, i henhold til CR 1752 [European Committee for Standardization, 1998]. I simuleringen undersøges indflydelsen af 3 niveauer af kvaliteten af indeklimaet henholdsvis A, B og C i forhold til CR 1752 [European Committee for Standardization, 1998] svarende til kategori I, II og III i DS/EN 15251, samt indflydelsen af to forskellige adfærdsmønstre, en energirigtig adfærd (adfærd 2) samt en ikke energirigtig adfærd (adfærd 1), se tabel F.1.

Kategori	Adfærd 1	Adfærd 2
A -0,2<PMV<0,2	Simulering 1A	Simulering 2A
B -0,5<PMV<0,5	Simulering 1B	Simulering 2B
C -0,7<PMV<0,7	Simulering 1C	Simulering 2C

Tabel F.1 *– Simuleringssetup, efter [Andersen, 2009]*

Andersen et al. [2009] har undersøgt hvilke parametre, der havde indflydelse på brugeradfærden i danske boliger. Disse adfærd undersøges vha. en sommer/vinter spørgeskemaundersøgelse. I forbindelse med sommer undersøgelse var der en fuldstændig besvarelse fra 933 husstande og yderligere 41 husstande havde besvaret dele af spørgeskemaet, ved vinterundersøgelsen var der 636 husstande der besvarede spørgeskemaet. Spørgeskemaerne undersøgte forskellige emner for at kunne analysere de fire kontrolmekanismer. Følgende blev behandlet gennem disse: Boligens nuværende tilstand i forhold til de før nævnte adfærdsundersøgelser, Alder og køn af beboerne, det opfattede indeklima på tidspunktet af besvarelsen samt gennem de sidste 14 dage. Sidste del af spørgeskemaet indeholdte spørgsmål vedrørende adfærden i boligen gennem de sidste 14 dage.

Bilag **G**

Spørgeskema

Idet SiByB ønkes adresseret til danske rådgivere, er der af denne grund etableret kontakt til nogle af branchens aktører, der har besvaret det følgende spørgeskema. Disse besvarelser kan assisterer i forbindelse med udviklingen af SiByB, og være behjælpelig med at klarlægge områder, der eventuelt kræver nærmere opmærksomhed. I det følgende indeholder hvert afsnit en besvarelse fra de respektive virksomhedervirksomheder.

G.1 Spørgeskema fra Kildemoes og Ellehauge

1. Hvordan foretages energiberegninger hos jer i dag?
   Primært BR10 og PHPP

2. Har I nogle erfaringer vedrørende det estimerede vs. faktiske energiforbrug?
   Ja, PHPP ser ud til at passe OK i passivhuse

3. Tages der højde for forskellen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug relateret til brugeradfærden?
   Nej

4. Har I overvejelser vedrørende følsomme parametre og disses påvirkning på energiforbruget i boliger?
   Absolut - laver ofte følsomhedsanalyse

5. Kunne brugeradfærd være ønskværdigt at integrere i energiberegninger i højere grad end det sker idag?
   Ja - følsomhedsanalyse fx betydning af luftskifte, indetemperatur mv.

6. Vurderes indeklimaet på alle projekter hos jer i dag og hvordan foretages disse?
   Ikke alle. Men når det er forsknings/udviklingsprojekter bliver det gjort.

7. Såfremt der var mulighed for det, vil en simpel metode til at foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegninger så være ønskværdig?
   Ja

   a) Hvilke parametre burde indgå i denne metode?

Risiko for overtemperatur	*Utilstrækkelig opvarmning*
CO_2-koncentration	*Relativ luftfugtighed*
Oplevet luftkvalitet	*Dagslysfaktor*
Støjniveau	

8. Foretages der en samlet evaluering af indeklimaet og energiforbruget?
   Hvis ja: Hvordan foregår dette og hvordan er vægtningen mellem energiforbruget og indeklimaet?
   Det gør vi ikke direkte

G.2 Spørgeskema fra Rambøll Danmark A/S

1. Hvordan foretages energiberegninger hos jer i dag?
   Via Be10. Der foretages meget varierende antal energiberegninger i forbindelse med den enkelte byggesag, spændende fra 3 til 10 eller måske 15 gennemløb.

2. Har I nogle erfaringer vedrørende det estimerede vs. faktiske energiforbrug?
   Nej men det bliver ofte drøftet.

3. Tages der højde for forskellen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug relateret til brugeradfærden?
   Nej

4. Har I overvejelser vedrørende følsomme parametre og disses påvirkning på energiforbruget i boliger?
   Nej ikke specielt. Men vi er naturligvis opmærksomme på de forskellige paramteres grad af følsomhed

5. Kunne brugeradfærd være ønskværdigt at integrere i energiberegninger i højere grad end det sker idag?
   Nej. Bygningens objektive performance bør ikke i denne sammenhæng infiltereres med brugeradfærd

6. Vurderes indeklimaet på alle projekter hos jer i dag og hvordan foretages disse?
   Nej, ikke alle. Vi gør det primært påstørre projekter, eller hvor der er særlige indeklimahensyning, eksempelvis risiko for overophedning.

7. Såfremt der var mulighed for det, vil en simpel metode til at foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegninger så være ønskværdig?
   Ja bestemt

   a) Hvilke parametre burde indgå i denne metode? (*Forslag i proriteret rækkefølge*)

1 *Risiko for overtemperatur*	***2*** *Relativ luftfugtighed*
3 *CO_2-koncentration*	***4*** *Dagslysfaktor*

8. Foretages der en samlet evaluering af indeklimaet og energiforbruget?
   Hvis ja: Hvordan foregår dette og hvordan er vægtningen mellem energiforbruget og indeklimaet?
   Normalt ikke desværre

G.3 Spørgeskema fra Cenergia Energy Consultans

1. Hvordan foretages energiberegninger hos jer i dag?
   Vi bruger Be10

2. Har I nogle erfaringer vedrørende det estimerede vs. faktiske energiforbrug?
   Vi har erfaringer med energiforbrug i lavenergihuse opvarmet med varmepumper hvor det faktiske energiforbrug generelt er større end det beregnede.

3. Tages der højde for forskellen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug relateret til brugeradfærden?
   Vi gør ofte bygherren opmærksom på forholdet.

4. Har I overvejelser vedrørende følsomme parametre og disses påvirkning på energiforbruget i boliger?
   Parametre for varmepumper har stor betydning for varmeforbruget.

5. Kunne brugeradfærd være ønskværdigt at integrere i energiberegninger i højere grad end det sker idag?
   Ja

6. Vurderes indeklimaet på alle projekter hos jer i dag og hvordan foretages disse?
   Vi benytter specialprogrammer

7. Såfremt der var mulighed for det, vil en simpel metode til at foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegninger så være ønskværdig?
   Ja

   a) Hvilke parametre burde indgå i denne metode?

Risiko for overtemperatur	*Oplevet luftkvalitet*
CO_2-koncentration	*Dagslysfaktor*

8. Foretages der en samlet evaluering af indeklimaet og energiforbruget?
   Hvis ja: Hvordan foregår dette og hvordan er vægtningen mellem energiforbruget og indeklimaet?
   Nej

G.4 Spørgeskema fra Bascon A/S

1. Hvordan foretages energiberegninger hos jer i dag?
   Energiberegninger fortages hovedsageligt i BE06. Andre gange i PHPP når der er tale om passivhuse.

2. Har I nogle erfaringer vedrørende det estimerede vs. faktiske energiforbrug?
   Vi har i forbindelse med en screening af om det vil være rentabelt for en kommune at udbyde energirenoveringer i et ESCO, gennemgået en lang række enerimærker. Her blev beregnet el-forbrug og varmeforbrug sammenholdt med det målte forbrug.
   Undersøgelsen viste at det beregnede energiforbrug til opvarmning meget godt med det målte forbrug. Helt helt anderledes forholder det sig med el-forbruget. Her kunne tallene slet ikke bruges. Det bunder måske mest i at det målte el-forbrug eventuelt dækker flere ting end der skal medtages i energirammeberegninenen. Udvidet brugstid er ligeledes en medvirkende faktor til at målt el-forbrug ikke passer med beregnet el-forbrug. Udvidet brugstid har ikke så stor indflydelse på opvarmningsbehovet.

3. Tages der højde for forskellen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug relateret til brugeradfærden?
   Det kommer helt an på hvad beregninen skal bruges til. Hvis der alene skal beregnes et ener giforbrug til eftervisnig at at huset overholder energirammen, så bliver forbruget ikek korrigeret. Hvis der derimod er tale om at en kunde skal oplyses et årligt energivorbrug, så skeles der også til ELO-tal, som kan findes på nettet. Elo tallene er gennemsnitsværdier for energiforbrug for forskellige bygnignskategorier.

4. Har I overvejelser vedrørende følsomme parametre og disses påvirkning på energiforbruget i boliger?
   Følsomme parameter for boliger er helt klart brugsvandsforbrug. Øvrige paramatre for boliger ligger rimeligt fast.

5. Kunne brugeradfærd være ønskværdigt at integrere i energiberegninger i højere grad end det sker idag?
   Jeg finder dette meget vanskeligt at integerere. Jeg finder det derimod meget mere relevant at lave en systematisk opsamlig af aktuelt energiforbrug for de parametre der indgår i energirammeberegnignen. Herigennem ville der kunen oparbejdes en database hvorigennem man lettere vilel kunne estimere et aktuelt energiforbrug. Ligesom de gamle ELO-tal.

6. Vurderes indeklimaet på alle projekter hos jer i dag og hvordan foretages disse?
   I stort set alle vore projekter, undtagen boliger, beregnes indeklimaet i Bsim. Der regnes typisk en håndfuld representative rum. Måske 10 rum for et byggeri på 10.000m2. Der analyseres for temperaturer og CO_2-niveauer. Og også ofte dagslysniveau.

7. Såfremt der var mulighed for det, vil en simpel metode til at foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegninger så være ønskværdig?
   Ja, simple beregninger ville være ønskværdige. Min erfaring er blot at små variatoioner i forudsætningerne i Bsim kan have store konsekvenser. Værdien af hurtige overslagsberegninger kan derfor måske være ganske lille.

   a) Hvilke parametre burde indgå i denne metode?

Risiko for overtemperatur *Dagslysfaktor*
CO_2-koncentration

G.5 Spørgeskema fra Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S

1. Hvordan foretages energiberegninger hos jer i dag?
   Energiberegninger foretages i Be10 eller i Rockwools Energy program.

2. Har I nogle erfaringer vedrørende det estimerede vs. faktiske energiforbrug?
   Vi har været med i flere forsøgt byggerier (bla. Bolig for Livet), hvor energiforbrug samt indeklima er målt derefter

3. Tages der højde for forskellen mellem det beregnede og det faktiske energiforbrug relateret til brugeradfærden?
   I andre sager (Bolig+) er der anvendte Bolig+ Toolkit-værktøjet, hvor der f.eks medregnes en højere indetemperatur

4. Har I overvejelser vedrørende følsomme parametre og disses påvirkning på energiforbruget i boliger?
   Nej

5. Kunne brugeradfærd være ønskværdigt at integrere i energiberegninger i højere grad end det sker idag?
   Ja, helt klart. Som I skriver kan energiforbruget svinge med en faktor3-4, så det er en væsentlig parameter

6. Vurderes indeklimaet på alle projekter hos jer i dag og hvordan foretages disse?
   Ja, helt klart. Som I skriver kan energiforbruget svinge med en faktor3-4, så det er en væsentlig parameter

7. Såfremt der var mulighed for det, vil en simpel metode til at foretage overslagsmæssige indeklimaberegninger i forbindelse med energiberegninger så være ønskværdig?
   Ja, helt klart!

   a) Hvilke parametre burde indgå i denne metode?

   Risiko for overtemperatur *Dagslysfaktor*
   CO_2-koncentration *Oplevet luftkvalitet*

8. Foretages der en samlet evaluering af indeklimaet og energiforbruget? Hvis ja: Hvordan foregår dette og hvordan er vægtningen mellem energiforbruget og indeklimaet?
   Nej, egentligt ikke. Energiberegning tilpasses de fundne løsninger ved indeklimavurderingerne (fx. Luftmængde)

Bilag **H**

Energiberegninger i SiByB

Dette bilag beskriver de beregningsalgoritmer som inkluderer de brugerrelaterede parametre, der anvendes i energiberegningen i SiByB. For at synliggøre algoritmerne som ligger bag energiberegningerne, er alle energiberegninger foretaget med regnearksversionen af Be10, se Bilags-CD, Parcelhus_ala_regneark.xlsx.

H.1 Beregningsmetode

Følgende beregningsalgoritmer er nærmere gennemgået:

- Beregning af bygningens totale energibehov
- Beregning af ventilationsparametre
- Beregning af varmetilskud
- Beregning af det totale varmetab
- Beregning af energibehovet til opvarmning af varmt brugsvand

H.1.1 Beregning af bygningers totale energibehov

Bygningers totale energibehov beregnes ud fra energibehovet til køling, opvarmning og el ved hjælp af følgende ligning[13]:

$$\Phi_{tot} = \Phi_{opv,tot} + 2,5 \cdot \frac{\Phi_{køl,tot}}{2.0} + 2,5 \cdot E_{tot} \tag{H.1}$$

Hvor:

Φ_{tot}	Bygningens totale energibehov $[kWh/m^2\ pr.\ år]$
$\Phi_{opv,tot}$	Bygningens totale energibehov til opvarmning $[kWh/m^2\ pr.\ år]$
$\Phi_{køl,tot}$	Det totale energibehov til køling $[kWh/m^2\ pr.\ år]$
E_{tot}	Det totale elbehov $[kWh/m^2\ pr.\ år]$

[13] Samtlige indeks er benævnt i overensstemmelse med indekseringen i Be10.

Til beregning af bygningens totale energibehov multipliceres med en primær energifaktor på 2,5 på elbehovet. Faktoren på 2,5 er fastsat ud fra effektiviteten af elproduktionen i Danmark. I beregningen antages det, at der anvendes et standard eldrevet mekanisk køleanlæg med en virkningsgrad på 2,0, hvorfor denne faktor deles på det totale energibehov til køling. [Hesselholt og Rasmussen, 2008]

De tre bidrag til bygningens totale energibehov bliver i Be10 beregnet på månedsbasis. Beregningen af årsværdier for de tre bidrag sker altså ved at summere månedsværdierne:

$$\Phi_{opv,tot} = \sum_{i=1}^{12} \Phi_{opv,i} \quad , \quad \Phi_{køl,tot} = \sum_{i=1}^{12} \Phi_{køl,i} \quad , \quad E_{tot} = \sum_{i=1}^{12} E_i \tag{H.2}$$

Hvor:

$\Phi_{opv,i}$	Energibehov til opvarmning i måned i $[kWh/m^2\ pr.\ mdr]$
$\Phi_{køl,i}$	Energibehov til køling i måned i $[kWh/m^2\ pr.\ mdr]$
E_i	Elbehov i måned i $[kWh/m^2\ pr.\ mdr]$

Det bemærkes at det totale energiforbrug til køling også inddrager den straf der i Be10 pålægges som følge af overtemperature, defineret ved en rumluftstemperatur over $25°C$.

H.1.2 Beregning af ventilationsparametre

Be10 har én beregningsalgoritme til at beregne den totale luftmængde om vinteren og én algoritme om sommeren. Da luftmængden fra den mekaniske og naturlige ventilation kategoriseres som brugerrelaterede parametre, gennemgås i det følgende beregningsalgoritmerne for disse.
Afsnittet er opdelt i henholdsvis vinter- og sommerventilation. Afsnittene inddrager ligeledes brugstiden, som indgår i såvel energiberegningerne som indeklimaberegningerne. Det skal dog bemærkes, at energiberegninger i henhold til energirammen forudsætter, at brugstiden er 168 timer pr. uge i boliger. For at tage højde for virkeligheden, hvor beboerne ikke er hjemme 24 timer i døgnet, regnes der med en relativ brugstid, udtrykt ved β. Denne konstant er medtaget i SiByB for at muliggøre senere ændringer i forhold til brugeradfærdens påvirkning på ventilation.

Bygningens relative brugstid beregnes ved følgende ligning:

$$\beta = \frac{T_b}{168}$$

Hvor:

T_b	Bygningens brugstid $[h/uge]$

Vinterventilation
Den totale ventilation om vinteren er givet ved at summere den mekaniske og naturlige ventilation i brugstiden og udenfor brugstiden. Beregninger i Be10 forudsætter at den mekaniske

ventilation om vinteren udenfor brugstiden er slukket, hvorfor det ikke er muligt at indberegne eventuelle luftmængder fra den mekaniske ventilation om vinteren udenfor brugstiden. Den totale ventilation om vinteren er givet ved:

$$q'_v = (q_m \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_n) \cdot \beta + q_{i,n} \cdot (1 - \beta) \tag{H.3}$$

Hvor:

q'_v	Total beregningsmæssig ventilationsmængde til energiberegning $[l/s \cdot m^2]$
q_m	Luftmængde fra mekanisk ventilation om vinteren i brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
q_n	Luftmængde fra naturlig ventilation inklusiv infiltration om vinteren i brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
$q_{i,n}$	Luftmængde fra infiltration om vinteren udenfor brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
η_{vgv}	Virkningsgrad for varmegenvinding for ventilationsanlægget $[-]$
β	Bygningens relative brugstid $[-]$

Formel H.3 indeholder en enkelt parameter, q_m, der er direkte brugerrelateret. I SiByB er denne repræsenteret ved en fordeling, for at inddrage brugeradfærdens påvirkning på energiforbruget og indeklimaet. Ydermere er den naturlige ventilation, q_n også brugerrelateret om vinteren og er derfor også repræsenteret ved en fordeling.

Sommerventilation
Den totale ventilation om sommeren er ligeledes givet ved at summere den mekaniske og naturlige ventilation i brugstiden og udenfor brugstiden. Be10 opererer med ekstra udluftning og natteventilation, når indetemperaturen overstiger setpunktstemperaturen for ekstra udluftning, $t_{i,ønsket}$ og $t_{i,nat}$. Forceringen af ventilationen sker altså om sommeren, når rumluftstemperaturen overstiger de fastlagte setpunktstemperaturer. Den totale ventilation om sommeren q'_v, er givet ved ligning H.4-H.7, hvor forudsætningen henholder sig til, hvorvidt der sker en forcering af ventilationen [Hesselholt og Rasmussen, 2008]:

$$\begin{aligned} for \quad & (q_{m,s} + q_{n,s}) > (q_m + q_n) \wedge (q_m + q_n) > q_{i,n} \\ q'_v \quad = \quad & (q_{m,s} \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_{n,s}) \cdot \beta + (q_{m,n} + q_{n,n}) \cdot (1 - \beta) \end{aligned} \tag{H.4}$$

$$\begin{aligned} for \quad & (q_{m,s} + q_{n,s}) > (q_m + q_n) \leq (q_m + q_n) > q_{i,n} \\ q'_v \quad = \quad & (q_{m,s} \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_{n,s}) \cdot \beta + q_i \cdot (1 - \beta) \end{aligned} \tag{H.5}$$

$$\begin{aligned} for \quad & (q_{m,s} + q_{n,s}) > (q_m + q_n) \wedge (q_m + q_n) > q_{i,n} \\ q'_v \quad = \quad & (q_m \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_n) \cdot \beta + (q_{m,n} + q_{n,n}) \cdot (1 - \beta) \end{aligned} \tag{H.6}$$

$$\begin{aligned} for \quad & (q_{m,s} + q_{n,s}) > (q_m + q_n) \leq (q_m + q_n) > q_{i,n} \\ q'_v \quad = \quad & (q_m \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_n) \cdot \beta + q_i \cdot (1 - \beta) \end{aligned} \tag{H.7}$$

Hvor:

$q_{m,s}$	Luftmængde fra mekanisk ventilation om sommeren i brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
$q_{n,s}$	Luftmængde fra naturlig ventilation om sommeren i brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
$q_{m,n}$	Luftmængde fra mekanisk ventilation om sommeren udenfor brugstiden $[l/s \cdot m^2]$
$q_{n,n}$	Luftmængde fra naturlig ventilation om sommeren udenfor brugstiden $[l/s \cdot m^2]$

Det skal bemærkes, at ved natteventilation med mekanisk ventilation forudsættes det, at varmegenvindingen er stoppet eller bliver bypasset. Luftmængden fra mekanisk henholdsvis naturlig ventilation i brugstiden er begge repræsenteret ved fordelinger i forhold til undersøgelse af påvirkningen fra brugernes adfærd i SiByB.

H.1.3 Beregning af varmetilskud

Det totale varmetilskud i Be10 består af de interne varmtilskud samt varmetilskuddet fra solstrålingen, som er givet ved: [Hesselholt og Rasmussen, 2008]

$$\Phi_{tilskud} = \Phi_{int} + \Phi_{sol} + \Phi_{int,W} \tag{H.8}$$

Hvor:

$\Phi_{tilskud}$	Totale varmetilskud $[kWh/mdr]$
Φ_{int}	Totale interne varmetilskud eksklusiv varmt brugsvand $[kWh/mdr]$
Φ_{sol}	Totale varmetilskud fra solstråling $[kWh/mdr]$
$\Phi_{int,W}$	Varmetilskud fra varmt brugsvand $[kWh/mdr]$

Det er valgt i Be10, at varmetilskuddet fra varmt brugsvand indgår direkte i ligning H.8. Det interne varmetilskud består i Be10 af konstante og variable tilskud, hvor der i det følgende er lagt fokus på de brugerrelaterede tilskud fundet i afsnit 9.3, der indeholder såvel konstante som variable tilskud.

Det konstante interne varmetilskud er givet ved varmetilskuddet fra personer, apparater og belysning. De tre varmetilskud er givet ved:

$$\Phi_{int,pers} = \Phi_{pers} \cdot \beta \cdot n_{timer} \tag{H.9}$$

$$\Phi_{int,app} = \Phi_{app} \cdot \beta \cdot n_{timer} \tag{H.10}$$

$$\Phi_{int,lys} = \Phi_{lys,alm} + \Phi_{lys,alm,stb} + \Phi_{lys,arb} + \Phi_{lys,anden} + \Phi_{lys,nat} \tag{H.11}$$

Hvor:

$\Phi_{int,pers}$	Internt varmetilskud fra personer $[kWh/mdr]$
$\Phi_{int,app}$	Internt varmetilskud fra apparater $[kWh/mdr]$
$\Phi_{int,lys}$	Internt varmetilskud fra belysning $[kWh/mdr]$
Φ_{pers}	Gennemsnitlige varmeafgivelse fra peroner $[kW]$
Φ_{app}	Gennemsnitlige varmeafgivelse fra apparater $[kW]$
n_{timer}	Timer pr. måned $[h/mdr]$
$\Phi_{lys,alm}$	Varmeafgivelse fra almenbelysning $[kWh]$
$\Phi_{lys,alm,stb}$	Varmeafgivelse fra almenbelysning i standby $[kWh]$
$\Phi_{lys,arb}$	Varmeafgivelse fra arbejdsbelysning $[kWh]$
$\Phi_{lys,anden}$	Varmeafgivelse fra anden belysning $[kWh]$
$\Phi_{lys,nat}$	Varmeafgivelse fra belyning om natten $[kWh]$

De tre parametre i ligning H.9 - H.11 er alle brugerrelaterede parametre, hvor fordelinger indsættes i SiByB. I Be10 indsættes det interne varmetilskud fra belysning og apparater, $\Phi_{int,app}$ og $\Phi_{int,lys}$ som en samlet parameter. Ved en SiByB vil der derved fremgå én parameter for varmetilskuddet fra personer, der beregnes udfra antallet af personer, og én parameter for varmetilskuddet fra apparater som inkluderer installationer, apparater, husholdningsudstyr, belysning osv. Begge disse parametre indsættes ved respektive fordelinger, se Bilag K på side 237.

I SiByB beregnes de variable varmetilskud som varmetilskuddet fra solindfaldet igennem ruden. Dette beregnes ved: [14]

$$\Phi_{sol} = \sum_{i=1}^{12} \left(b \cdot \sum_{j} (A_{vin,j} \cdot \Phi_{sol,vin,i,j}) \cdot F_{c,i} \right)$$

Hvor:

i	*i'te* måned [-]
j	*j'te* orientering [-]
b	Temperaturfaktor $[-]$
$A_{vin,j}$	Total vinduesareal for pågældende orientering $[m^2]$
$\Phi_{sol,vin,i,j}$	Solindfald i *i'te* måned med *j'te* orientering $[kWh/mdr]$
F_c, i	Solafskærmningsfaktor for sommer henholdsvis vinter $[-]$

I SiByB opstilles en fordeling over solafskærmningsfaktoren F_c, da denne karakteriseres som en brugerrelateret parameter i SiByB.

Solindfaldet gennem et vindue er bestemt ved: [Bendtsen og Sørensen, 2005]

$$\Phi_{sol,vin,i,j} = F_f \cdot F_{w,j} \cdot g_{vin} \cdot \Phi_{sol,i,j} \cdot F_{\beta,i} \cdot F_{s,i,j} \tag{H.12}$$

[14] Solafskærmningsfaktoren er baseret på sommer - vinter, hvilket får stor betydning for det endelige varmetilskud fra solindfaldet.

Hvor:

F_f	Glasandel [−]
$F_{w,j}$	Korrektionsfaktor for indfaldsvinkel for j'te orientering[−]
g_{vin}	Rudens solvarmetransmittans [−]
$\Phi_{sol,i}$	Solstråling for i'te måned udenpå ruden for j'te orientering $[kWh/m^2]$
$F_{\beta,i,j}$	Vinkelforhold for i'te måned for j'te orientering [−]
$F_{s,i,j}$	Skyggefaktor for i'te måned for j'te orientering[−]

Solindfaldet, $\Phi_{sol,i}$, beregnes ved hjælp af Perez' algoritme [Perez et al., 1990] samt månedsmiddelværdier for solstrålingen fra DRY. Vinkelforholdet er afhængig af den valgte måned samt vinduesorienteringen og beregnes ved hjælp af Ross' algoritme beskrevet i Karlsson og Roos [2000]. Vinkelforholdet sættes typisk til $F_{\beta,i} = 0,9$. Korrektionsfaktoren for indfaldsvinklen, F_w, er beregnet ved hjælp af BSim 2002 og Perez' algoritme. [Hesselholt og Rasmussen, 2008]
Skyggefaktoren, F_s, bestemmes ved:

$$F_s = F_{s,hor} \cdot F_{s,udh} \cdot F_{s,ven} \cdot F_{s,høj} \cdot F_{s,vh} \tag{H.13}$$

Hvor:

$F_{s,hor}$	Skyggefaktor for horisontvinkel [−]
$F_{s,udh}$	Skyggefaktor for udhæng [−]
$F_{s,ven}$	Skyggefaktor til venstre for vinduet[−]
$F_{s,høj}$	Skyggefaktor til højre for vinduet [−]
$F_{s,vh}$	Skyggefaktor for vindueshullet [−]

Det bør bemærkes, at inputdataene til beregning af skyggefaktoren henholder sig til opbygningen og orienteringen af vinduet samt eventuelle omkringliggende hindringer.

H.1.4 Beregning af det totale varmetab

Bygningens totale varmetab er en summering af bygningens varmetab ved ventilation og varmetab ved transmission:

$$\Phi_{tab} = \Phi_{tab,trans} + \Phi_{tab,vent} \tag{H.14}$$

Hvor:

Φ_{tab}	Bygningens totale varmetab $[kWh]$
$\Phi_{tab,trans}$	Varmetab ved transmission $[kWh]$
$\Phi_{tab,vent}$	Varmetab ved ventilation $[kWh]$

I det efterfølgende ses på varmetabet ved transmission henholdsvis ventilation. Der fokuseres på varmetabet ved opvarmningstilfældet, dvs. når rumluftstemperaturen er under eller lig $t_{i,opv}$.

Varmetab ved transmission
Bygningens totale transmissionstab beregnes for hver enkelt måned. Transmissionstabene beregnes for alle konstruktionselementer, som støder op til rum med anden indetemperatur end $t_{i,opv}$ samt bygningens klimaskærmselementer.

$$\Phi_{tab,trans} = \sum_{k} (H_{trans,k} \cdot (t_{i,opv} - t_u)) \cdot n_{timer} \cdot 10^{-3} \tag{H.15}$$

Hvor:

$H_{trans,k}$	Specifik varmetab for element k $[W/K]$
$t_{i,opv}$	Setpunktstemperatur for rumopvarmning $[°C]$
t_u	Udetemperatur $[°C]$
n_{timer}	Antal timer i pågældende måned $[h]$

Transmissionstabet i rumopvarmningstilfældet er afhængig af setpunktstemperaturen for rumopvarmningen, $t_{i,opv}$, som i SiByB er vurderet som værende brugerrelateret, hvorfor en fordeling anvendes i simuleringen. Beregningen af det specifikke varmetab fortages for såvel de enkelte konstruktionselementer, formel H.16, som for de lineære transmissionselementer, formel H.17. Det skal bemærkes, at beregninger af transmissionskoefficienter, transmissionsareal og transmissionslængde beregnes i henhold til DS418 [Dansk Standard, 2002].

$$H_{trans,k} = U_k \cdot A_k \cdot b \tag{H.16}$$
$$H_{trans,k} = \psi_k \cdot l_k \cdot b \tag{H.17}$$

Hvor:

U_k	Transmissionkoefficient for element k $[W/m^2K]$
A_k	Areal for element k $[m^2]$
b	Temperaturfaktor $[-]$
ψ_k	Linietabskoefficient for element k $[W/mK]$
l_k	Transmissionslængden for element k $[m]$

Temperaturfaktoren tager hensyn til, at der på udvendig side kan være en anden temperatur end udetemperaturen, samt at der på indvendig side kan være en anden temperatur end rumtemperaturen. Temperaturfaktoren kan beregnes ved formel H.18. Såfremt det ikke er muligt at beregne temperaturfaktoren, er standardværdier opstillet i Aggerholm og Grau [2007].

$$b = \frac{t_i - t_x}{t_i - t_{u,opv}} \tag{H.18}$$

Hvor:

t_i	Temperatur i pågældende rum $[°C]$
t_x	Overfladetemperatur for den pågældende flade $[°C]$
$t_{u,opv}$	Referenceårets middeltemperatur i opvarmningssæsonen, 5,7$°C$

Varmetab ved ventilation
Det totale varmetab ved ventilation beregnes på basis af månedsværdier. Varmetabet findes ved at summere varmetabet fra de enkelte ventilationszoner. Varmetabet ved ventilation beregnes ved:

$$\Phi_{tab,vent} = \sum \left(H_{vent,k} \cdot (t_{i,opv} - t_{ind,k})\right) \cdot n_{timer} \tag{H.19}$$

Hvor:

$H_{vent,k}$	Specifik varmetab i ventilationszone k $[W/K]$
$t_{ind,k}$	Indblæsningstemperatur i ventilationszone k $[°C]$

På samme vis som transmissiontabet anvendes en fordeling over setpunktstemperaturen for rumopvarmningen $t_{i,opv}$ i SiByB. Det specifikke varmetab for ventilationszone k beregnes ved formel H.20, hvor luftmængden, $q'_{v,k}$ beregnes ved hjælp af formel H.3. I Be10 er luftens specifikke varmekapacitet fastsat til $\rho_{luft} \cdot c_p = 1,2kJ/m^3K$.

$$H_{vent,k} = \rho_{luft} \cdot c_p \cdot q'_{v,k} \tag{H.20}$$

H.1.5 Beregning af energibehovet til opvarmning af varmt brugsvand

Forbruget af varmt brugsvand indtastes i Be10 som et årligt forbrug pr. opvarmet etageareal. [Aggerholm og Grau, 2007] Før den endelige beregning af energibehovet til opvarmning af det varme brugsvand omregnes det årlige varmtvandsforbrug pr. opvarmet etageareal til varmtvandsforbruget pr. måned:

$$V_W = \frac{V_{W,år}}{1000} \cdot A_{gulv} \cdot \frac{n_{dage}}{365}$$

Hvor:

V_W	Varmtvandsforbrug pr. måned $[m^3/mdr]$
$V_{W,år}$	Årligt varmtvandsforbrug pr. opvarmet etageareal $[l/m^2\ pr.\ år]$
A_{gulv}	Opvarmet etageareal $[m^2]$
n_{dage}	Antal dage i pågældende måned $[dag/mdr]$

I SiByB er $V_{W,år}$ den brugerrelaterede parameter for varmtvandsforbruget, hvorfor simuleringerne af energiforbruget foretages med en fordeling af $V_{W,år}$. Det totale energibehov til opvarmning af varmt brugsvand findes ved at summere de månedsbaserede forbrug. Det skal noteres, at koldtvandstemperaturen antages at være $10°C$, mens varmtvandstemperaturen indtastes seperat. [Aggerholm og Grau, 2007]

$$\Phi_W = \sum_{i=1}^{12} C_{p,W} \cdot V_{W,i} \cdot (t_W - t_{W,k})$$

Φ_W	Energibehov til opvarmning af varmt brugsvand $[MJ/mdr]$
$C_{p,W}$	Vands varmefylde $[J/kgK]$
t_W	Varmtvandstemperatur $[°C]$
$t_{W,k}$	Koldtvandstemperatur $[°C]$

Bilag I

Indeklimaberegninger i SiByB

I.1 Termisk indeklima

Dette bilag gennemgår beregningerne af det termiske indeklima. Det termiske indeklima ønskes evalueret på baggrund af PMV på baggrund af rumluftstemperaturen, beregningerne af disse komfortindeks er gennemgået i bilag M. Følgende gennemgår beregningerne af rumluftstemperaturen. Alle de gennemgåede beregninger forefindes i SiByB, se Bilags-CD, SiByB.xlsm.

I.1.1 Rumluftstemperatur for *Rum Sommer*

For at evaluere rumluftstemperaturen i de kritiske rum opstilles varmebalancen:

$$\Phi_{trans} + \Phi_{vent} + \Phi_{kulde} + \Phi_{infil} = \Phi_{sol} + \Phi_{anlæg} + \Phi_{inst} + \Phi_{pers} \tag{I.1}$$

Hvor:

Φ_{trans}	Varmetab ved transmission
Φ_{vent}	Varmetab ved ventilation
Φ_{kulde}	Varmetab ved kuldebroer
Φ_{infil}	Varmetab ved infiltration
Φ_{sol}	Varmetilførsel ved solstråling
$\Phi_{anlæg}$	Varmetilførsel fra køleanlæg
Φ_{inst}	Varmetilførsel fra apparatur
Φ_{pers}	Intern varmetilførsel fra personer

For at kunne beregne rumluftstemperaturen er det nødvendigt at opstille og beregne varmetilskuddene, samt varmetabene ekslusiv samt inklusiv ventilation. Ligeledes skal solindfaldet for middeldøgnet beregnes.

Baregning af rumluftstemperaturen i *Rum Sommer* anvendes til at evaluere overophedningen om sommere. For *Rum Sommer* foretages der således månedligeberegninger, hvor det vil være sommermånederne der har størst interesse. Der beregnes for alle måneder tre respektive rumluftstemperaturer, det værende sig:

$t_{i,manlæg}$	:	Rumluftstemperaturen ved døgnmiddelmetoden inklusiv varme-/køleanlæg
$t_{i,uanlæg}$	:	Rumluftstemperaturen ved døgnmiddelmetoden eksklusiv varme-/køleanlæg
$t_{i,maks}$	:	Den daglige maksimal temperatur

Beregningerne at rumluftstemperaturen inklusiv effekten fra køle- og varmeanlæg for *Rum Sommer*, sker ved hjælp af døgnmiddelmetoden, der anvender en omskrivning af varmebalancen ved hjælp af følgende formel: [Valbjørn et al., 2000]

$$\begin{aligned} t_{i,manlæg} &= \frac{t_u \cdot H'_{v,manlæg} + t_u \cdot H_{kulde} + t_{jord} \cdot H_{trans,gulv} + t_u \cdot H_{trans} + \sum(t_{nabo} \cdot H_{nabo})}{H_{trans,gulv} + H_{trans} + H_{nabo} + H'_{v,manlæg} + H_{kulde}} \\ &+ \frac{\Phi_{inst,tot} + \Phi_{pers,tot} + \Phi_{køl,fak} + \Phi_{anlæg,fak} + \Phi_{sol,middeltot}}{H_{trans,gulv} + H_{trans} + H_{nabo} + H'_{v,manlæg} + H_{kulde}} \end{aligned}$$

Ligeledes foretages der en beregning af rumluftstemperaturen uden hensyntagen til effekten fra boligens køle- og varmeanlæg:

$$\begin{aligned} t_{i,uanlæg} &= \frac{t_u \cdot H'_{v,uanlæg} + t_u \cdot H_{kulde} + t_{jord} \cdot H_{trans,gulv} + t_u \cdot H_{trans} + \sum(t_{nabo} \cdot H_{nabo})}{H_{trans,gulv} + H_{trans} + H_{nabo} + H'_{v,manlæg} + H_{kulde}} \\ &+ \frac{\Phi_{inst,tot} + \Phi_{pers,tot} + \Phi_{sol,middeltot}}{H_{trans,gulv} + H_{trans} + H_{nabo} + H'_{v,uanlæg} + H_{kulde}} \end{aligned}$$

Den daglige maksimaltemperatur beregnes ud fra følgende formel: [Valbjørn et al., 2000]

$$\begin{aligned} t_{i,maks} &= t_{i,manlg} + 0,5 \cdot \Delta t_i \\ \Delta t_i &= \frac{2/3 \cdot (\Phi_{pers,tot} + \Phi_{sol,tot} - \Phi_{inst,min} - \Phi_{pers,min})}{H_{trans} + H_{nabo} + H_{vent} + H_{inf} + H_{nat} + H_{kapp} \cdot A_{gulv} \cdot 0,1} \\ &+ \frac{2/3 \cdot (\Delta t_u \cdot (H_{vindue} + H_{vent} + H_{inf} + H_{nat}))}{H_{trans} + H_{nabo} + H_{vent} + H_{inf} + H_{nat} + H_{kapp} \cdot A_{gulv} \cdot 0,1} \end{aligned}$$

I det følgende er varmetilskud, varmetab, samt luftmængderne beregnet. Der gøres opmærksom på at følgende parametre i SiByB er påvirket af brugeradfærden:

- Varmetilskud fra apparatur $\Phi_{inst,tot}$
- Varmetilskud fra personer $\Phi_{pers,tot}$
- Varmetilskud fra solstråling som følge af solafskærmningen

- Tilskud fra køleanlæg $\Phi_{køl,nød}$

Dette skyldes at der i SiByB er implementeret fordelinger af den interne varmebelastning, antallet af personer samt setpunktstemperaturen for køling.

Varmetilskud

Intern varmebelatning

Varmetilskudene opstilles og beregnes ud fra følgende formler:

$$\begin{aligned} \Phi_{inst,tot} &= \Phi_{inst} \cdot A_{gulv} \\ \Phi_{pers,tot} &= M \cdot A_{DU} \cdot pers \end{aligned}$$

Hvor:

Φ_{inst}	Varmetilskud fra apparatur $[W/m^2]$
A_{gulv}	Gulvarealet i det kritiske rum $[m^2]$
M	Aktivitetsniveau $[W/m^2]$
A_{DU}	Dubois arel $[m^2]$
$pers$	Antal persone i rummet [stk]

Varme og køleanlæg

For varme- henholdsvis køleanlægget, beregnes først den nødvendige effekt, hvorefter den faktiske effekt fastlægges ud fra den nødvendige effekt samt Be10 indata. Den faktiske effekt er fastlagt således:

$$\begin{aligned} \Phi_{anlæg,fak} &= \Phi_{anlæg,nød} \; for \; \Phi_{anlæg} \geq \Phi_{anlæg,nød} \\ &= \Phi_{anlæg} \; for \; \Phi_{anlæg} < \Phi_{anlæg,nød} \end{aligned}$$

Den nødvendige effekt fra boligens varmeanlæg beregnes på baggrund af følgende formel:

$$\Phi_{anlæg,nød} = \Phi_{trans,opv} + \Phi'_{v,opv} + \Phi_{kulde,opv} - \Phi_{sol,middel,indfald,tot} - \Phi_{inst,tot} - \Phi_{pers,tot}$$

Hvor:

Φ_{fak}	Den faktiske effekt fra varme-/køleanlæg $[W]$
$\Phi_{nød}$	Det nødvendige varme-/køletilskud $[W]$
Φ_{trans}	Varmetab ved transmission $[W]$
Φ'_v	Varmetab ved ventilation $[W]$
Φ_{kulde}	Varmetab ved kuldebroer $[W]$
$\Phi_{sol,middel,indfald,tot}$	Varmetilskud ved solstråling $[W]$
$\Phi_{inst,tot}$	Varmetilskud fra installationer $[W]$
$\Phi_{pers,tot}$	Varmetilskud fra personer $[W]$

Det samme gælder for køleanlægget, hvor:

$$\begin{aligned}\Phi_{køl,fak} &= \Phi_{køl,nød}\ for\ \Phi_{køl} \geq \Phi_{køl,nød} \\ &= \Phi_{køl}\ for\ \Phi_{køl} < \Phi_{køl,nød}\end{aligned}$$

Den nødvendige effekt fra boligens køleanlæg beregnes på baggrund af følgende formel:

$$\Phi_{køl,nød} = \Phi_{trans,køl} + \Phi'_{v,køl} + \Phi_{kulde,køl} - \Phi_{sol,middel,indfald,tot} - \Phi_{inst,tot} - \Phi_{pers,tot}$$

Solstråling
Varmetilskuddet fra solstråling beregnes på samme måde som varmetilskuddet i energiberegningen beskrevet i bilag H.1.3. Varmetilskuddet fra solstråling beregnes som månedsmiddelværdien for den maksimale maksimale døgnværdi samt den maksimale timeværdi. Beregningen baseret på den maksimale døgnværdi indgår i beregningen af den gennemsnitlige rumluftstemperatur, mens beregningen baseret på dem maksimale timeværdi indgår i beregningen af den maksimale rumluftstemperatur.

Varmetabsberegninger eksklusiv ventilation

Varmetabene ekslusiv ventilation opstilles og beregnes ud fra følgende formler:

$$\begin{aligned}\Phi_{trans} &= (U_{væg} \cdot A_{væg} + U_{vindue} \cdot A_{vindue} + U_{loft} \cdot A_{loft}) \cdot \Delta t + U_{gulv} \cdot A_{gulv} \cdot \Delta t \\ \Phi_{kulde} &= \psi \cdot L \cdot \Delta t\end{aligned}$$

Hvor:

U	Transmissionskoefficient $[W/m^2K]$
A	Areal$[m^2]$
Δt	Temperaturdifferens $[°C]$
ψ	Linjetab $[l/sm^2]$
L	Længde af kuldebroer [m]

Der regnes varmetab for henholdsvis brug af køleanlæg og varmeanlæg. Ved beregninger for varmeanlægget henholdsvis køleanlæg er temperaturdiferensen følgende:

$$\Delta t_{køl} = t_{i,køl} - t_u$$
$$\Delta t_{anlæg} = t_{i,opv} - t_u$$

Specifikke varmetab
De specifikke varmetab er beregnet udfra følgende formler:

$$\begin{aligned}H_{trans} &= U_{vg} \cdot A_{vg} + U_{vindue} \cdot A_{vindue} \\ H_{trans,gulv} &= U_{gulv} \cdot A_{gulv} \\ H'_{v,manæg} &= \\ H_{kulde} &= \psi \cdot L\end{aligned}$$

Hvor:

H_{trans}	Specifik varmetab ved transmission gennem væg og vinduer
$H_{trans,gulv}$	Specifik varmetab ved transmission gennem gulv
H_{nabo}	Specifik varmetab til naborum, antages til 0
H_{kulde}	Specifik varmetab ved kuldebroer

Beregning af luftmængde ved ventilation

Den nødvendige luftmængde beregnes på samme måde som i energiberegningerne i bilag H.1.2, dog forekommer tre forskelle i beregningerne:

1. Brugstiden opdeles for naturlig og mekanisk ventilation

2. Ved eventuel mekanisk natteventilation by-pass' denne ikke

3. Natteventilation opstarter ved samme temperatur som den ekstra udluftning

Brugstiden for ventilationen opdeles for den mekaniske og naturlige ventilation. Opdellingen muliggør hensyntagen til brugernes adfærd i forhold til udluftning af boligen om sommeren, uden påvirkning på luftstrømmen fra den mekaniske ventilation. Derudover antages det, at det i boliger ikke er muligt at by-passe den mekaniske ventilation fra varmeveksleren. Vær i beregningerne opmærksom på at eventuel natteventilation opstarter ved samme setpunktstemperatur som den ekstra udluftning, da det antages at brugerne anvender natteventilation på samme måde som den ekstra udluftning.

Varmetabsberegninger inklusiv ventilation
Varmetabsberegningerne for ventilationen beregnes på samme måde som i energiberegningerne, beskrevet i bilag H.1.4

I.1.2 Nødvendig effekt fra varmeanlæg i *Rum Vinter*

Beregningen af den nødvendig maksimum effekt i *Rum Vinter*, sker ud fra dimensionerende beregninger, på baggrund af DS418. [Dansk Standard, 2002] De dimensionsgivende temperaturer er fastlagt til følgende: [Dansk Standard, 2002]

$$\begin{aligned} t_i &= 20°C \\ t_u &= -12°C \\ t_{jord} &= 10°C \end{aligned}$$

Beregning af den nødvendige tilførte effekt fra varmeanlægget sker ud fra varmebalancen:

$$\Phi_{anlæg,nød} = \Phi_{trans} + \Phi_{v,mek} + \Phi_{v,nat} + \Phi_{kulde} - \Phi_{inst,tot} \tag{I.2}$$

Hvor:

$\Phi_{anlæg,nød}$	Det nødvendige varmetilskud $[W]$
Φ_{trans}	Varmetab ved transmission $[W]$
$\Phi'_{v,mek}$	Varmetab ved mekanisk ventilation $[W]$
$\Phi_{v,nat}$	Varmetab ved naturlig ventilation
Φ_{kulde}	Varmetab ved kuldebroer $[W]$
$\Phi_{inst,tot}$	Varmetilskud fra installationer $[W]$

Varmetab og -tilskud beregnes som anført ovenfor. Dog med den undtagelse, at der ved de dimensionerende beregninger ikke tages hensyn til solstråling ej heller den interne belastning fra personer. Idet der regnes med en fast udetemperatur og ingen solstråling bliver der således kun en enkelt beregning. Samtilige beregninger ses i SiByB, Bilags-CD *SiByB.xlsm*, under den skjulte fane *Termisk_ vin*.

I.2 Atmosfærisk indeklima

For at evaluere det atmosfæriske indeklima i Rum Sommer vælges det, at beregne CO_2-koncentrationen samt luftkvaliteten for sommer henholdsvis vinter. Resultaterne af disse evalueres på baggrund af forventede antal utilfredse, PD. Ligeledes beregnes den relative luftfugtighed. Dette bilag gennemgår således beregningsgangen samt formlerne, der er anvendt i SiByB, se Bilags-CD, SiByB.xlsm. For gennemgang af de tilhørende komfortindekser henvises til bilag M

I.2.1 CO_2-koncentration for *Rum Sommer*

CO_2-koncentrationen i boligen bestemmes på baggrund af fortyndingsligningen ved stationære forhold: [Henrik Brohus, 2011]

$$c_{CO_2} = \frac{q}{V \cdot n} + c_i$$

Hvor:

c	Koncentrationen af CO_2 i rummet [ppm]
q	Tilført forureningsmængde $[\frac{m^3}{h}]$
V	Volumen $[m^2]$
n	Luftskifte $[h^{-1}]$
c_i	Koncentration af CO_2 i den tilførte luft [ppm]

Luftskiftet, n, beregnes på grundlag af luftmængden, q_m, der findes i Be06. Den tilførte forureningsmængde beregnes på grundlag af følgende formel:

$$q = \frac{17 \cdot M \cdot pers}{1000 l/m^3}$$

Hvor:

q	Tilført forureningsmængde $[\frac{m^3}{h}]$
M	Aktivitets niveau $[met]$
pers	Antal personer [-]

I.2.2 Oplevet luftkvalitet for *Rum Sommer*

Forureningsbelastningen på baggrund af den oplevede luftkvalitet bestemmes ud fra følgende formel, her medtages såvel bygningen samt personer:

$$c_{olf} = O_{pers} + O_{bygn}$$

Hvor:

c_{olf}	forureningsbelastningen på baggrund af luftgener $[olf]$
O_{pers}	Forureningsbelastning fra personer $[olf/pers]$
O_{bygn}	Forureningsbelastning fra bygningen $[olf/m^2]$

Dermed inddrages brugeradfærden i form af antal personer ligeledes i beregningerne af den oplevede luftkvalitet. Idet det ønskes at evaluere forureningsbelastningen ud fra PD, er det nødvendigt at omregne til decipol, idet 1 decipol= 0,1 olf/(l/s). Hermed inddrages luftmængden, samt arealet af det kritiske rum ligeledes i denne beregning. [Hyldgård et al., 1997]

I.2.3 Relativ luftfugtighed for *Rum Sommer*

Beregningerne af den relative luftfugtighed i kritiske rum sker på baggrund af Hyldgård et al. [1997, kap 4] samt Hansen et al. [2006, kap. 5]. Den relative luftfugtighed beregnes ud fra følgende formel:

$$\varphi_{inde} = \frac{p_{d,inde}}{p_{dm,inde}}$$

Hvor:

φ_{inde}	Den relative luftfugtighed i rummet [%]
$p_{d,inde}$	Vanddamp partialtrykket $[Pa]$
$p_{dm,inde}$	Mættet vanddampstryk $[Pa]$

Vanddamppartialtrykket regnes ud fra følgende:

$$p_{d,inde} = \frac{x_i}{x_i + 0,622} \cdot P_b$$

Hvor:

x_i	Indeluftens absolutte vanddampinhold $[\frac{g}{kgtorluft}]$
p_b	Barometerstanden $[Pa]$

Vandinholdet i luften regnes så på baggrund at den relative luftfugtighed i udeluften samt det mættede vanddamptryk ude. Den relavtive luftfugtighed samt barometerstanden, er begge data der anvendes direkte fra vejrdata. Vandindholdet i indeluften beregnes udfra fugtdampbalancen:

$$\sum M = M_L \cdot (x_i - x_u) \Rightarrow$$
$$x_i = \frac{\sum M}{M_L} + x_u \tag{I.3}$$

Hvor:

$\sum M$	Fordampning fra personer $[g/h]$
M_L	Vandampsmængde fjernet fra rummet$[g/h]$
x_i	Indeluftens absolutte vanddampinhold $[g/kg]$
x_u	Udeluftens absolutte vanddampinhold $[g/kg]$

Vanddampmængden fjernet fra rummet beregnes af følgende:

$$M_L = V_L \cdot \rho_L$$
$$= (q_{v,n,manlæg} + q_{v,m,manlæg}) \cdot 3,6 \cdot A_{gulv} \cdot \rho_L$$

Hvor:

V_L	Luftmængde $[m^3/h]$
ρ_L	Luftens densitet $[kg/m^3]$
$q_{v,n,manlæg}$	Luftmængden fra den naturlige ventilation $[l/sprm^2]$
$q_{v,m,manlæg}$	Luftmængden fra den mekaniske ventilation $[l/sprm^2]$

Udeluftens absolutte vanddampinhold beregnes ydermere for at kunne fastlægge x_i.

$$x_u = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{ude} \cdot p_{dm,ude}}{p_b - \varphi_{ude} \cdot p_{dm,ude}}$$

Beregningerne af det mættede vanddampstryk sker som følger:
For $0°C <$ t $< 80°C$:

$$p_{dm} = \frac{exp(23,571 - 4042,9)}{T - 37,58}$$

Hvor:

$$T = t + 273,15$$

For -60°C < t <0°C:

$$p_{dm} = 101325 \cdot 10^{B}$$

Hvor:

$$B = 0,9354 - \frac{2484,919}{T} + 3,5665 \cdot log(T) - \frac{T}{311,536}$$

Bilag **J**

Inputparametre i SiByB

Dette bilag indeholder en samlet liste over input parametre til konceptet. Inputparametrene er opdelt således at input til energiberegningsdelen er listet i tabel J.1 samt J.2 og input til indeklimaberegningerne er listet i tabel J.3.

Inputparameter		Delvist brugerafhængig	Fuldt brugerafhængig	Indflydelse på energiforbruget	Indflydelse på indeklimaet	Indflydelse jvf. problemanalysen
Opvarmet etageareal	$[m^2]$			•	•	
Bygningsvarmekapacitet	$[Wh/km^2]$			•	•	
Brugstid	[timer/uge]		•	•	•	
Orientering af bygning	[°]			•	•	
Areal, klimaskærm (- vinduer)	A $[m^2]$			•	•	
Transmissions koefficient	U $[W/m^2K]$			•	•	
Setpunktstemperatur	$t_{i,dim}$ $[^\circ C]$		•	•	•	1 ++
Dimensionerende udetemperatur	$t_{u,dim}$ $[^\circ C]$			•	•	
Længde af kuldebroer				•	•	
Linjetabskoefficient	Ψ $[W/mK]$			•	•	
Areal vinduer	$A_{vin}[m^2]$			•	•	
Orientering af vinduer	[°]			•	•	
Hældning af vinduer	[°]			•	•	
Glas andel	f_f [-]			•	•	
Solvarmetransmitans	g_{vin} [-]			•	•	
Skygger				•	•	
Solafskærmning	F_c [-]	•		•	•	
Driftstid af ventilationssystemet	F_o [-]			•	•	
Temperaturvirkningsgrad	n_{vgv} [-]			•	•	
Elvarmeflade, ventilationssystem	EL-VF [-]			•	•	
Naturlig ventilation, vinter	$q_{n,v}$ $[l/s/m^2]$			•	•	2 ?
Naturlig ventilation, sommer	$q_{n,s}$ $[l/s/m^2]$			•	•	-
Infiltration	q_{inf} $[l/s/m^2]$			•	•	-
Specifikt elforbrug til lufttransport	SEL $[kJ/m^3]$			•		
Luftmængde ved mekanisk ventilation	q_m $[l/sm^2]$		•	•	•	
Antal personer	$[pers]$	•		•	•	2 +
Intern varmebelastning, apparatur	$[W/m^2]$	•		•	•	2 ++
Mekanisk køling		•		•	•	2 ++
Fremløbstemperatur	$[^\circ C]$			•		
Returløbstemperatur	$[^\circ C]$			•		

Tabel J.1 *– Inputparametre til energiberegninger i SiByB*

Inputparameter		Delvist brugerafhængig	Fuldt brugerafhængig	Indflydelse på energiforbruget	Indflydelse på indeklimaet	Indflydelse jvf. problemanalysen
Rørlængde	$[m]$			•		
Transmissionskoefficient, rør	$U_r r[W/m^2K]$			•		
Pumpeeffekt	$[W]$			•		
Varmtvandsforbrug	$[l/m^2\ pr.\ år]$		•	•		2 +
Varmt brugsvandstemperatur	$[^\circ C]$			•		
Varmetab, varmtvandsbeholder	$[W/^\circ C]$			•		
Volumen, varmtvandsbeholder	$[L]$			•		
Tilført nominel effekt, varmanlæg				•		
Virkningsgrad varmeveksler	n [-]			•	•	
Effekt fra solvarmeanlæg				•		

Tabel J.2 *– Inputparametre til energiberegninger i SiByB*

Inputparameter		Delvist brugerafhængig	Fuldt brugerafhængig	Indflydelse på energiforbruget	Indflydelse på indeklimaet	Indflydelse jf. problemanalysen
Højde, kritisk rum	$H_{kritisk}$ [m]			•	•	
Antal personer	pers [-]		•	•	•	2 +
Beklædningsisolans	I_{cl} [clo]		•	•	•	
Aktivitetsniveau	Ψ_{pers} [met]		•	•	•	
Gulvareal, kritisk rum	A_{gulv} $[m^2]$			•	•	
Areal, klimaskærm, kritisk rum	A_y $[m^2]$			•	•	
Vindues areal, kritisk rum	A_{vin} $[m^2]$			•	•	
Længde af kuldebroer, kritisk rum	L [m]			•	•	
Vindues arealer	A_{vindue}			•	•	
Varmetilskud fra apparater	Φ_{inst}	•		•	•	
Indblæsningstemperatur	θ_{ind}			•	•	
Setpunkt for rumopvarmning	$\theta_{i,opv}$		•	•	•	1 ++
hline Setpunkt for udluftning	$\theta_{i,ønsket}$		•	•	•	2 ?
Setpunkt for mekanisk køling	$\theta_{i,køl}$		•	•	•	2 ++
Varmekapacitet for bygningen	H_{kap}			•	•	
Glasandel	F_f			•	•	
Solafsærmningsfaktor	F_c	•		•	•	
Solvarmetransmittans	g_{vin}			•	•	
Varmegeninvindingens temperatur virkningsgrad	η			•	•	
Mekanisk ventilation om vinteren i brugstiden	q_m		•	•	•	1 +
Naturlig ventilation om vinteren i brugstiden	q_n		•	•	•	2 ?
Infiltration om vinteren udenfor brugstiden	$q_{i,n}$			•	•	2 ?
Mekanisk ventilation om sommeren i brugstiden	$q_{m,s}$		•	•	•	1 +
Naturlig ventilation om sommeren i brugstiden	$q_{n,s}$	•		•	•	2 ?
Mekanisk ventilation om sommeren om natten	$q_{m,n}$		•	•	•	1 +
Naturlig ventilation om sommeren om natten	$q_{n,n}$	•		•	•	2 ?

Tabel J.3 *– Inputparametre til indeklimaberegninger i SiByB*

Bilag **K**

Fordelinger af brugerrelaterede inputparametre

Biælaget omhandler fordelingerne af de brugerrelaterede parametre, som anvendes i SiByB. Alle fordelinger henvender sig til inputparametre, som anvendes i beregningsalgoritmerne i SiByB. Alle fordelinger er opstillet på baggrund målinger, erfaringstal, gældende lovkrav, litteratur og teoretiske overvejelser. Den matematiske beskrivelse samt opstilling af fordelingerne gennemgås i bilag K.

K.1 Fordelingstyper

Til beskrivelse af fordelingerne af de brugerrelaterede parametre anvendes tre fordelinger; normalfordeling, logaritmisk normalfordeling og en betafordeling. I det følgende bliver de tre fordelingstyper gennemgået. Normalfordeling samt lognormalfordelingen beskrives ved hjælp af Ayyub og McCuen [2003], mens betafordelingen beskrives ved hjælp af European Commission - IPSC [2008]

K.1.1 Normalfordeling

En normalfordeling beskreves ved hjælp af en middelværdi, μ, samt en standardafvigelse, σ. En variationskoefficient, δ, kan ligeledes beregnes til at finde standardafvigelsen i form af procent af middelværdien:

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\% \tag{K.1}$$

Notationsformen for normalfordelingen er $X \sim N(\mu, \sigma)$. Tæthedsfordelingen for normalfordelingen er givet ved ligning K.2, mens den kumulative fordeling for normalfordelingen er givet ved ligning K.3

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-0{,}5 \cdot \left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right)} \qquad for \quad -\infty < x < \infty \tag{K.2}$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} \left(\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-0{,}5 \cdot \left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right)} \right) dx \tag{K.3}$$

Normalfordeling har enkelte vigtige egenskaber, disse er listet i punktform under:

- $f(x) \rightarrow 0 \ for \ x \rightarrow -\infty \ \wedge x \ \rightarrow \infty$
- $f(a+\mu) = f(-a+\mu)$ for alle a
- Maksimum værdi for $f(x)$ sker i $x = \mu$
- Generelt set har tæthedsfordelingen form som en klokke
- Inflektionspunkterne for tæthedsfordelingen sker i $x = \mu \pm \sigma$
- Middelværdien, μ, og standardafvigelsen, σ, anvendes i fordelingsfunktionen

K.1.2 Logaritmisk normalfordeling

En logaritmisk normalfordeling beskrives ligeledes ved hjælp af en middelværdi, μ, samt en standardafvigelse, σ. Det skal dog noteres, at fordelingens middelværdi og standardafvigelse er ikke lig med parametrene i tæthedsfordelingen. Funktionen for den logaritmiske normalfordeling er givet ved ligning K.4, mens den kumulative fordelingsfunktion er givet ved ligning K.5:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-0{,}5 \cdot \frac{lnx-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \qquad for \quad 0 < x < \infty \tag{K.4}$$

$$F(x) = \int_{0}^{x} \left(\frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-0{,}5 \cdot \frac{lnx-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \right) dx \tag{K.5}$$

Inputparametrene er μ_y og σ_y som er givet ved ligning K.6. På samme måde som normalfordelingen har den logaritmiske normalfordeling en notationsform; $X \sim LN(\mu_y, \sigma_y)$.

$$\sigma_y = ln\left[1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right], \qquad \mu_y = ln\left(\mu_x\right) - 0{,}5 \cdot \sigma_y^2 \tag{K.6}$$

Lognormalfordelingen har følgende egenskaber:

- Værdierne for en vilkårlig værdi for x er positiv (dvs. x>0)
- f(x) er ikke en symmetrisk tæthedsfordeling omkring middelværdien μ_x
- Middelværdien, μ_x, og standardafvigelsen, σ_x, er ikke lig parametrene anvendt i tæthedsfunktionsligning K.1.1, men er korreleret som i ligning K.6

K.1.3 Betafordeling

Betafordelingen beskrives ved hjælp af fire fordelingsparametre, α, β, a og b, hvor a og b beskriver grænseværdierne for fordelingen. Ud fra de fire fordelingsparametre, kan en middelværdi, μ, og en spredning, σ, for fordelingen beregnes. Tæthedsfunktionen for betafordelingen er givet ved ligning K.7:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha,\beta)} \cdot \frac{1}{b-a} \cdot \left[\frac{x-a}{b-a}\right]^{\alpha-1} \cdot \left[\frac{b-x}{b-a}\right]^{\beta-1} \tag{K.7}$$

Middelværdien og standardafvigelsen af betafordelingen beregnes af:

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \cdot (b-a) \quad , \quad \sigma = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha+\beta+1) \cdot (\alpha+\beta)^2} \cdot (b-a)^2} \tag{K.8}$$

Notationsformen for betafordelingen er $X \sim Be(\alpha, \beta)$.
Betafordelingen har følgende egenskaber:

- For parametrene α og β gælder at $\alpha > 0 \wedge \beta > 0$
- For parametrene a og b gælder at $a < b$, hvor a beskriver nedre grænseværdi og b beskriver øvre grænseværdi
- f(x) er ikke en symmetrisk tæthedsfordeling omkring middelværdien μ
- Middelværdien, μ, og standardafvigelsen, σ, er ikke lig parametrene anvendt i tæthedsfunktionsligning K.7

K.2 Fordelinger af de brugerrelaterede parametre

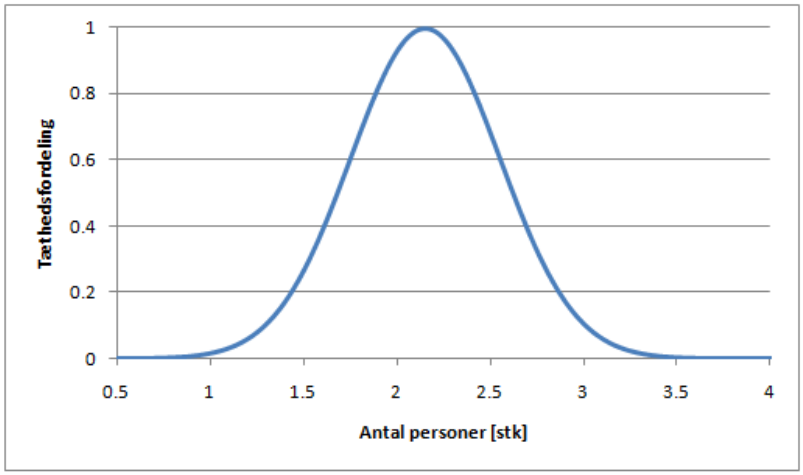
K.2.1 Antal personer

Antallet af personer i boligen benyttes til at beregne indeklimaet ved *Rum Sommer* såvel som til energiforbruget. Det interne varmetilskud fra personer beregnes i SiByB på baggrund af antallet af personer, se formel K.9.

Middelværdien for antallet af personer i *Rum Sommer*, er sat til 2,15 personer, med en standardafvigelse på 0,4 personer. Middelværdien er fundet ud fra gennemsnitlige antal beboere i boliger for 2009 [Danmarks Statistik, 2009], hvor standardafvigelsen er fundet ud fra en variationskoefficient på 16%. Nedenstående er de nærmere karakteristika for fordelingen angivet, hvor figur K.1 illustrerer tæthedsfunktionen for antallet af personer.

Normalfordeling $X \sim N(2,15; 0,4^2)$

Foventet interval: $0,75 - 3,5$
Forventningsværdi: $\mu = 2,15$
Variationskoefficient: $\delta = 16\%$



Figur K.1 – *Tæthedfunktionen for personer*

Intern varmebelastning fra personer

Det interne varmetilskud fra personer opgives i Be10 som W/m^2 *opvarmet etageareal*. I Be10-beregninger antages, at det gennemsnitlige varmetilskud gennem brugstiden er $1,5 W/m^2$, dog mindst 90 W og maksimalt 360 W svarende til mindst én person og maksimalt fire personer pr. boligenhed. [Aggerholm og Grau, 2007]

Beregning af det interne varmetilskud fra personer afhænger af antallet af personer i boligen og det gennemsnitlige aktivitetsniveau i boligen. Det gennemsnitlige aktivitetsniveau afhænger af antallet af timer anvendt til arbejde, sove, madlavning osv., hvilket komplicerer en generel beregning af det gennemsnitlige aktivitetsniveau. Et varmetilskud fra én person på $90W$ svarer til et gennemsnitligt aktivitetsniveau på $0,86met$ fordelt over hele døgnet. Antaget, at brugeren sover gennemsnitlig 6 timer i døgnet og har et gennemsnitlig aktivitetsniveau på $1,2met$, når brugeren er hjemme og ikke sover, vil denne person være fraværende fra boligen i 4,8 timer i døgnet, svarende til 33,6 timer om ugen. Hvilket svarer nogenlunde en almindelig arbejdsuge på 37 timer.

SiByB er opsat således at det interne varmetilskud udregnes på baggrund af antallet af personer vist på figur K.1, hvor det gennemsnitlige aktivitetsniveau på $0,86met$ anvendes.

Fordelingen af antal personer er nærmere beskrevet i det foregående afsnit. Varmetilskuddet fra personer findes ved ligning K.9.

$$\Phi_{pers} = \frac{M \cdot 58,15 W/m^2 \cdot pers \cdot A_{Du}}{A_{gulv}} \tag{K.9}$$

Hvor

Φ_{pers}	Varmetilskud fra personer $[W/m^2]$
M	Aktivitetsniveau $[met]$
$pers$	antal personer $[stk]$
A_{Du}	Du Bois areal $[m^2]$
A_{gulv}	gulvareal $[m^2]$

K.2.2 Intern varmebelastning fra apparater

Varmetilskuddet fra apparater angives i Be10 som W/m^2 og antages til $3{,}5 W/m^2$ i boliger. [Aggerholm og Grau, 2007] Det skal bemærkes, at varmetilskuddet inkluderer varmetilskud fra belysning. Dette varmetilskud er stærkt afhængig af brugernes adfærd samt brugernes socialøkonomiske status, hvilket påvirker antallet og typerne af boligens installationer, belysning og apparater. [Gram-Hanssen, 2005a]

Tabel K.1 viser et antaget minimum og maksimum scenario for varmetilskuddet fra apparater i en $160 m^2$ bolig. Effekterne fra apparaturerne er fundet ved hjælp af Heiselberg og Aggerholm [2002] samt Center for energibesparelser [2010]. Antallet og typer af apparaturer samt andelen af den tid hvor de enkelte apparater bidrager til varmetilskuddet er skønnet, mens det antages at 70% af eleffekten fra apparaturerne bidrager til varmetilskuddet.

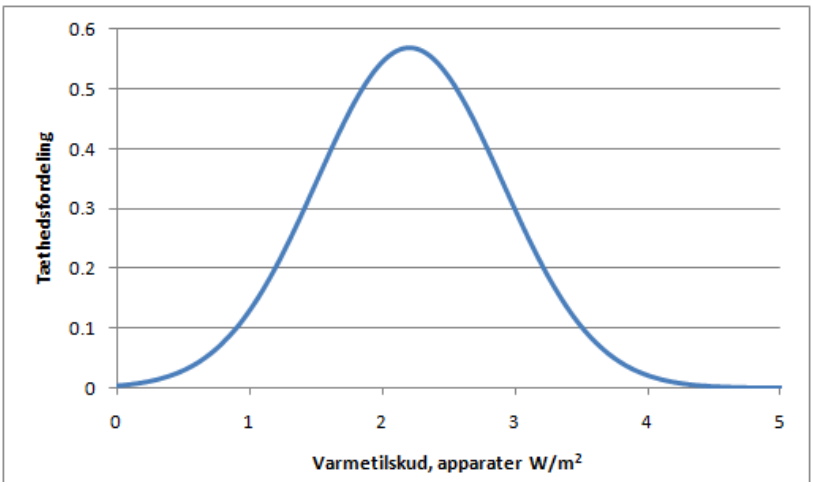
Apparatur	Minimum				Maksimum			
	Effekt $[W]$	Antal $[stk]$	F_0 $[-]$	Tilskud $[W/m^2]$	Effekt $[W]$	Antal $[stk]$	F_0 $[-]$	Tilskud $[W/m^2]$
PC	30	0	0	0	40	1	0,6	0,15
PC-skærm	80	0	0	0	100	1	0,6	0,38
Bærbar	15	1	0,7	0,07	15	3	0,6	0,17
Fjernsyn	55	1	0,05	0,02	110	4	0,2	0,55
Køleskab	12	1	0,7	0,05	20	1	0,7	0,09
Fryser	13	1	0,7	0,06	35	1	0,7	0,15
Spillekonsol	157	0	0	0	157	1	0,5	0,05
Lydanlæg	4,6	1	0,7	0,02	8	3	0,7	0,11
Belysning	200	1	0,2	0,25	600	1	0,7	2,63
Sum				0,46				4,26

Tabel K.1 – *Varmetilskud fra apparater, minimum og maksimum scenarier. Boligen er 160m^2 og F_0 er benyttelsesfaktoren [Heiselberg og Aggerholm, 2002] [Center for energibesparelser, 2010]*

Fordelingen vurderes at være en normalfordeling med en nedre grænseværdi på 0,46W/m^2 og en øvre grænseværdi på 4,26W/m^2. Middelværdien for normalfordelingen antages at være middelværdien af øvre og nedre grænseværdi, $\mu = 2,2 W/m^2$, og standardafvigelsen er fundet ud fra en variationskoefficient på 32%, hvormed $\sigma = 0,7 W/m^2$. Figur K.2 viser tæthedsfunktionen for den interne varmebelastning fra apparater.

Normalfordeling $X \sim N(2,20; 0,7^2)$

Foventet interval: $0,46 - 4,26$
Forventningsværdi: $\mu = 2,20$
Variationskoefficient: $\delta = 32\%$



Figur K.2 – *Tæthedsfunktionen af varmetilskuddet fra apparater*

K.2.3 Solafskærmning

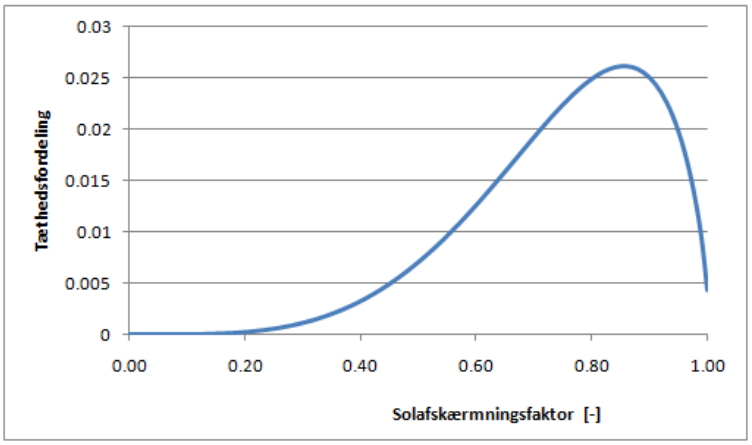
I Be10 sættes solafskærmningsfaktoren mellem 0 og 1 svarende til fuld henholdsvis ingen solafskærmning, hvor et negativt fortegn medfører, at solafskærmningsfaktoren ikke medtages om vinteren. Solafskærmningsfaktoren antages i Be10 at være i brug, når der er direkte sol på vinduet. [Aggerholm og Grau, 2007] Problemet med solafskærmningsfaktoren i Be10 er den store simplificering. Solafskærmningsfaktoren består udelukkende af én inputparamter, til trods for en lang række andre parametres indflydelse på solafskærmningsfaktoren. Solafskærmningsfaktoren tager eksempelvis både hensyn til, hvorvidt solafskærmningen er manuelt eller automatisk styret, og om solafskærmningen er indvendigt eller udvendigt placeret. Eksempelvis antages, at indvendig manuelt styret solafskærmning har en resulterende solafskærmningsfaktor på 0,8.

Af undersøgelserne af indeklimaet i lavenergiboliger fremgår det, at solafskærmningsfaktoren er en vigtig parameter i forhold til indeklimaet i boligen, specielt for at modvirke overophedning. Da Be10 beregner den nødvendige køleeffektbehov, der ingår i overtemperaturstraffen, for at modvirke temperaturer over $26°C$, har solafskærmningsfaktoren derfor en betydelig indflydelse på disse energiberegninger. Det kan derfor diskuteres, om solafskærmningsfaktoren, som indsættes i Be10, er tilstrækkelig detaljeret. For at imødegå denne problematik er solafskærmningsfaktoren i SiByB fastlagt ud fra en fordeling.

Solafskærmningsfaktoren modelleres som en betafordeling, denne type fordeling er beskrevet i bilag K. Middelværdien er fastlagt til $\mu = 0,75$ med en variationskoefficient på 21%. Fastlæggelsen af middelværdien samt spredningen er til dels fastlagt på baggrund af Brohus et al. [2009] samt Aggerholm og Grau [2007]. Nedenstående er de nærmere karakteristika for solafskærmningsfordelingen angivet. Tæthedsfunktionen for betafordelingen er angivet i figur K.3.

Betafordeling $X \sim Be(5; 1, 7)$

Foventet interval: $0 - 1$
Forventningsværdi: $0,85$
Variationskoefficient: $\delta = 21\%$



Figur K.3 – *Tæthedsfunktion for solafskærmningsfaktoren*

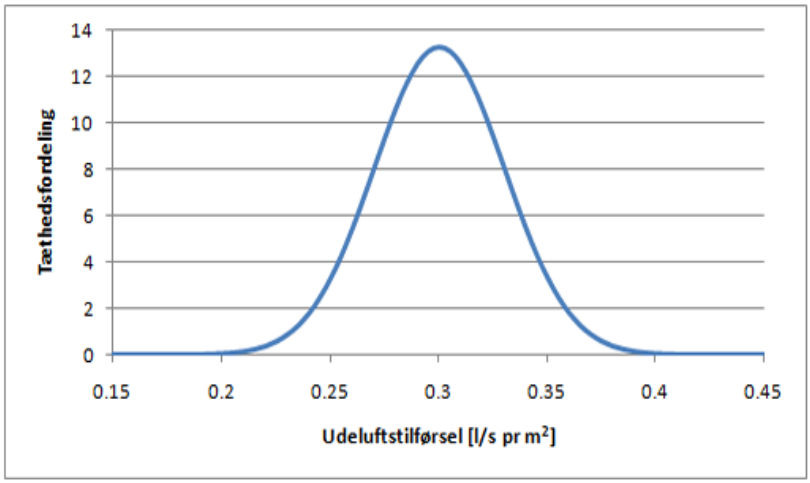
K.2.4 Luftmængde fra den mekaniske ventilation

I henhold til BR10 skal der i boliger være en total udeluftstilførsel på minimum 0,3[$l/s\ pr\ m^2$], hvilket svarer til et luftskifte på ca. $0,5h^{-1}$. Yderligere er der opstillet krav til lokal udsugning i køkken og bad på henholdsvis 20 l/s og 15 l/s. [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010] Ved anvendelse af balanceret ventilation er luftmængden fra den mekaniske ventilation om sommeren og om vinteren derfor oftests ens. Af denne grund anvendes én fordeling af den mekaniske ventilation, der gælder såvel sommer som vinter.

Middelværdien, μ, er således fastlagt til $0,30l/s \cdot m^2$ i henhold til minimumsværdien for kravet til udeluftstilførslen i BR10, [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010]. Standardafvigelsen, σ, er fastlagt ud fra en antagelse om, at variationskoefficienten, δ vil ligge på omkring de 10%. Nedenstående er de nærmere karakteristika for fordelingen af den mekaniske ventilation i boliger angivet. Tæthedsfunktionen er illustreret i figur K.4.

Normalfordeling $X \sim N(0,30; 0,03^2)$

Foventet interval: $0,2 - 0,4$
Forventningsværdi: $\mu = 0,30$
Variationskoefficient: $\delta = 10\%$



Figur K.4 – *Tæthedsfunktion for den mekaniske ventilation*

K.2.5 Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden inklusiv mekanisk ventilation

Luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren angives som den maksimale tilgængelige luftmængde, da den naturlige ventilation om sommeren anvendes til at modvirke overtemperaturer i boligen. Når rumluftstemperaturen overskrider $t_{i;ønsket}$, sker der en forcering af ventilationsmængden fra den naturlige ventilation både i energi- og indeklimaberegningerne, se bilag H, der gennemgår beregningsalgoritmerne i SiByB.

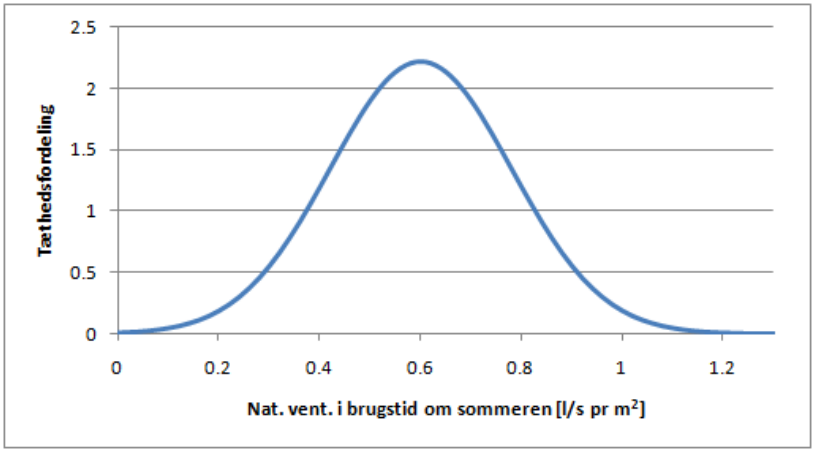
I rum, hvor rumluftstemperaturen overstiger overtemperaturen, defineret i BR10 til 26°C, antages i Be10, at varmeoverskuddet fjernes med et eldrevet mekanisk køleanlæg, også i

boliger hvor mekanisk køling ikke er installeret. Dette medfører at inputparameteren for den naturlige ventilation om sommeren kan have stor indflydelse på energiforbruget i forhold til beregningen i Be10. Luftmængden fra den naturlige ventilation er dog et groft estimat af udluftningen i boligen, hvilket forøger usikkerheden i overtemperaturberegningen i Be06.

Den forventede luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden, når mekanisk ventilation er installeret i boligen, antages at være den dobbelte luftmængde af den mekaniske ventilation. Usikkerheden i den antagede luftmængde er dog stor, da denne luftmængde er stærkt afhængig af boligens antal og type vinduer. Den anbefalede værdi fra Aggerholm og Grau [2007] er $0{,}9 l/s \cdot m^2$, hvilket i dette tilfælde er placeret i den høje ende af fordelingen. Standardafvigelsen er fundet ud fra en variationskoefficient på 0,3, da det antages, at luftmængden om sommeren i brugstiden er mere usikker end luftmængden fra den mekaniske ventilation. Tæthedsfordelingen af luftmængden er illustreret på figur K.5.

Normalfordeling $X \sim N(0,60; 0,18^2)$

Foventet interval: $0 - 1,2$
Forventningsværdi: $\mu = 0,60$
Variationskoefficient: $\delta = 30\%$



Figur K.5 – *Tæthedsfunktionen af luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden, hvor mekanisk ventilation er installeret*

K.2.6 Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren i brugstiden inklusiv mekanisk ventilation

Den naturlige ventilation om vinteren i Be10 inkluderer infiltration i boligen. Dette medfører, at inputparameteren i Be10 om vinteren i brugstiden er influeret at beboernes eventuelle udluftning samt døråbninger, samt hvor tæt boligens klimaskærm er. BR10 foreskriver, at luftskiftet ikke må overstige $1{,}5 l/s \cdot m^2$ ved en trykforskel på $50 Pa$, mens luftskiftet ikke må overstige $1{,}0 l/s \cdot m^2$ ved lavenergibyggeri. [Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010]

Aggerholm og Grau [2007] anbefaler, at infiltrationen sættes til $0{,}09 l/s \cdot m^2$ i Be10, og for at imødekomme den sporadiske åbning af vinduer og døre, sættes den naturlige ventilation om vinteren i brugstiden til $0{,}09 l/s \cdot m^2$ plus et tillæg på $0{,}04 l/s \cdot m^2$. For at tilpasse varia-

tionsområdet på bedst mulige måde vurderes fordelingen at være en logaritmisk normalfordeling. Middelværdien og standardafvigelsen er fundet på baggrund af en forventningsværdi på $0{,}13 l/s \cdot m^2$ og en variationskoefficient på 25%. Variationskoefficienten er sat til at ligge mellem variationskoefficienten for luftmængden fra mekanisk og naturlig ventilation om sommeren.

Lognormalfordeling $X \sim LN(0,14; 0,035^2)$

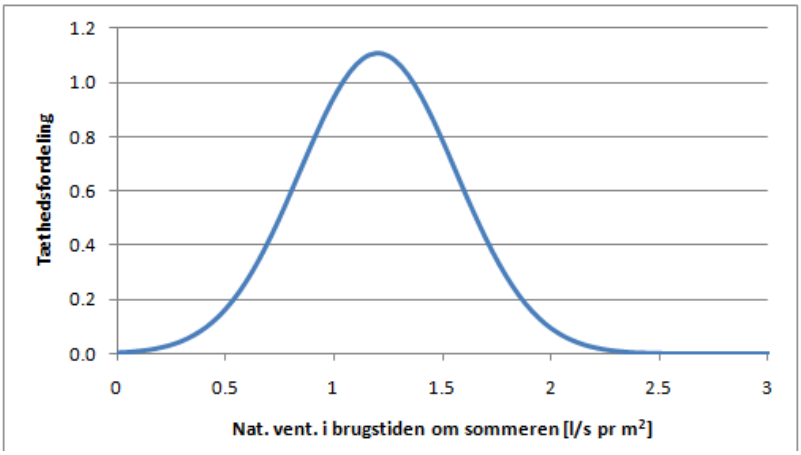
Foventet interval: $0,05 - 0,3$
Forventningsværdi: $\mu = 0,13$
Variationskoefficient: $\delta = 25\%$

K.2.7 Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden eksklusiv mekanisk ventilation

Den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden, når boligen udelukkende ventileres med naturlig ventilation, angives som den maksimale tilgængelige luftmængde. Luftmængden er antaget at være dobbelt størrelse, sammenlignet med når boligen også ventileres med mekanisk ventilation. Luftmængden fra den naturlige ventilation er dog et groft estimat af udluftningen i boligen, da luftmængden er afhængig af boligens antal og type af vinduer. Det skal bemærkes, at infiltrationen skal være inkorporeret i denne parameter. Standardafvigelsen er fundet ud fra en variationskoefficient på 30%, svarende til luftmængde fra den naturlige ventilation når mekanisk ventilation er installeret. Tæthedsfordelingen antages at have samme variationskoefficient, når mekanisk ventilation er installeret.

Normalfordeling $X \sim N(1,20; 0,36^2)$

Foventet interval: $0 - 2,5$
Forventningsværdi: $\mu = 1,20$
Variationskoefficient: $\delta = 30\%$



Figur K.6 – *Tæthedsfordelingen af luftmængden fra den naturlige ventilation om sommeren i brugstiden, hvor mekanisk ventilation ikke er installeret*

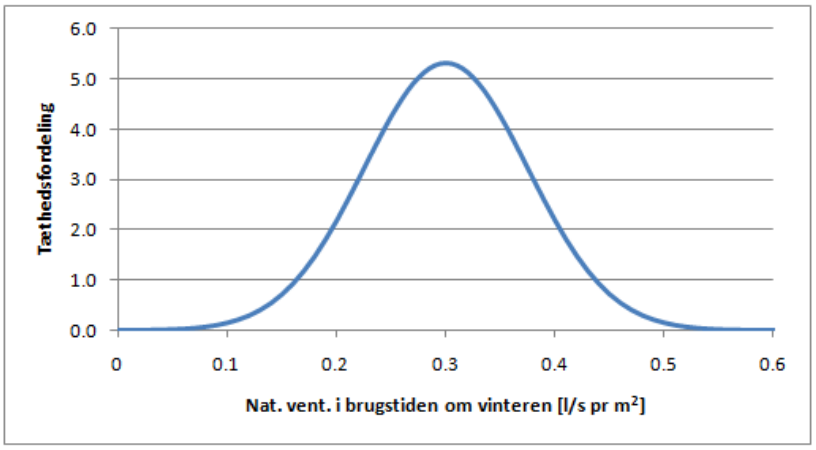
K.2.8 Luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren i brugstiden eksklusiv mekanisk ventilation

Den naturlige ventilation om vinteren i Be10 inkluderer infiltration i boligen. Dette medfører, at inputparameteren i Be10 om vinteren i brugstiden er influeret af beboernes eventuelle udluftning samt døråbninger, og hvor tæt boligens klimaskærm er.

Middelværdien for den naturlige ventilation om vinteren i brugstiden antages at være den samme som for den mekaniske ventilation, da denne er sat som minimumsværdien fra BR10. Variationskoefficienten antages ligeledes at være den samme som for boliger, hvor mekanisk ventilation er installeret. Standardafvigelsen er fundet ud fra en variationskoefficient på 25%.

Normalfordeling $X \sim N(0,30; 0,075^2)$

Foventet interval: $0,05 - 0,55$
Forventningsværdi: $\mu = 0,30$
Variationskoefficient: $\delta = 25\%$



Figur K.7 – *Tæthedsfordelingen af luftmængden fra den naturlige ventilation om vinteren i brugstiden, hvor mekanisk ventilation ikke er installeret*

K.2.9 Setpunktstemperatur for rumopvarmning

Be10 beregner energiforbruget til rumopvarmningen med en setpunktstemperatur for rumopvarmningen på $20°C$ i alle årets måneder. [Dansk Standard, 2002] Det kan diskuteres, hvorvidt den antagede setpunktstemperatur er et repræsentativt gennemsnit for den danske boligsektor, eller om værdier er sat i den lave ende. Fordelingen for setpunktstemperaturen for rumopvarmning er fastlagt ud fra 9 måleprojekter, hvor i alt 59 måleresultater er fundet. Alle målinger er foretaget på danske boliger.

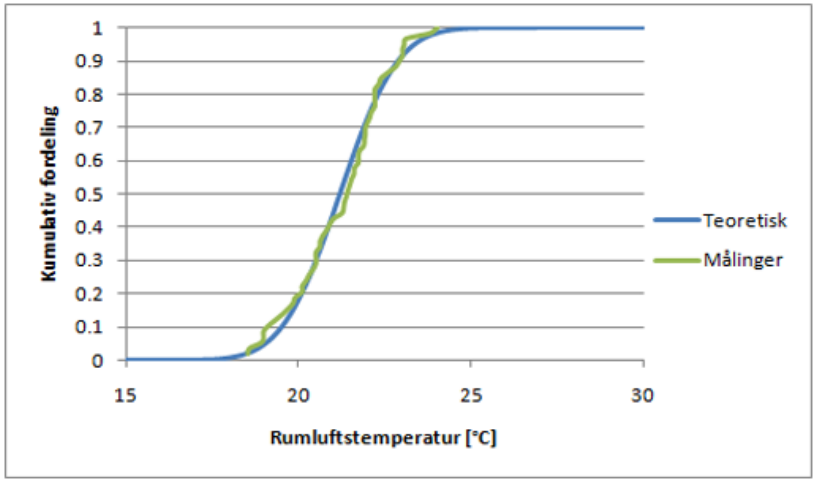
Gram-Hanssen [2003] har foretaget målinger på i alt 32 boliger i to boligområder. Temperaturmålingerne er udført over en to ugers vinterperiode med målinger hver halve time. Det ene boligområde består af rækkehuse fra 70'erne, hvor boligarealet for hver bolig er på 170 m^2, mens det andet boligområde er rækkehuse fra 60'erne, hvor boligarealet for hvert hus er på 98 m^2. Boligerne er alle beliggende i Albertslund. Temperaturmålingerne viste både

temperaturer under og over de $20°C$, som er setpunktstemperaturen i Be10. Kristiansen et al. [2000] har foretaget målinger på to rækkehuse med et boligareal på 89,4 m^2 og 87,2 m^2. Målingerne blev foretaget fra marts 1997 til februar 1998. Gennemsnitstemperaturen for rumluftstemperaturen for december til februar er højere end de antagede $20°C$. Simonsen og Sørensen [2007] har målt rumluftstemperaturen i otte næsten identiske boliger. Boligerne kategoriseres som tæt-lav bebyggelse, og er opført i nærheden af Holstebro. Målingerne i boligerne er foretaget i uge 37-18 år 2006-2007. Rumluftstemperaturerne målt i de forskellige huse viste forskelle på op til $2°C$ hvor alle målinger viste temperaturer over $20°C$.

Tommerup og Rose [2002], Tommerup [2004a] og Tommerup [2004b] har hver målt på én bolig. Boligen er bygget i henhold til kravene i Bygningsreglementet i år 2005. Målingerne er foretaget i vinterperioden, hvor måleperioden svinger mellem 133 dage og 200 dage. Der er ligeledes foretaget målinger på udetemperaturen, som ligger på et gennemsnit på 3,5-3,6$°C$. Tommerup [2007] har foretaget målinger på et typisk parcelhus fra 1960-1980 før og efter en energirenovering. Målingerne af rumluftstemperaturen er foretaget i januar og februar måned, hvor energirenoveringen har medført en forøgelse i rumluftstemperaturen. Temperaturen før energirenoveringen lå på omtrent $20°C$.

Kristensen og Jensen [2010], T.S. Larsen, R.L. Jensen m.fl. [2011] og Larsen et al. [2011] har foretaget målinger på rumluftstemperaturen i danske lavenergibyggerier. Byggerierne er alle enfamilieboliger, hvor boliger i [Kristensen og Jensen, 2010] er opført med udgangspunkt i lavenergiklasse 1 og 2 jævnfør BR08, og målingerne er udført i tidsrummet marts - december 2009. I alt er der udført målinger på ni boliger. Boligerne i Larsen et al. [2011] er udført med udgangspunkt i passivhus kriterierne, hvor rumluftstemperaturerne er målt over hele året. Temperaturmålingerne, anvendt til at opstille fordelingen over setpunktstemperaturen, er et gennemsnit af målinger fra perioden december 2009 til februar 2010. Der anvendes målinger fra tre af passivhusene. Igen viser målingerne, at temperaturen ligger over $20°C$.

Figur K.8 viser den kumulerede fordeling af temperaturmålingerne. Figuren viser ligeledes den teoretiske fordeling af målingerne hvor middelværdien og standardafvigelsen er fundet til henholdsvis $\mu = 21,23$ og $\sigma = 1,32$.

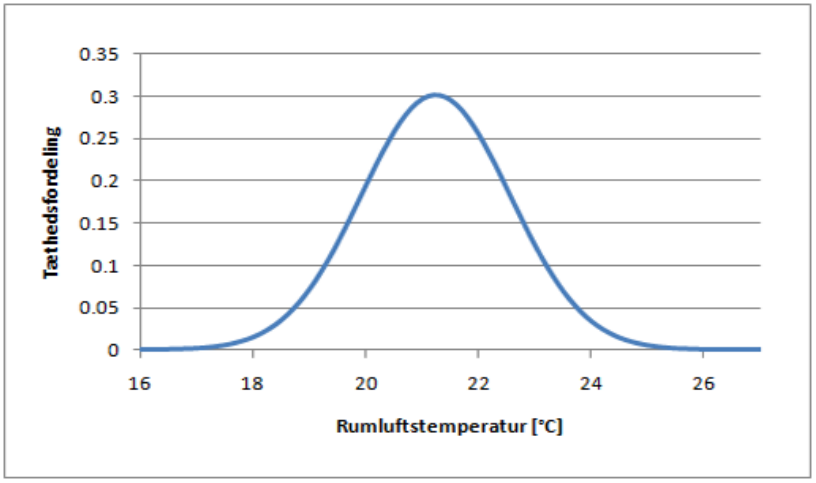


Figur K.8 – *Kumuleret fordeling over temperaturmålingerne*

En Kolmogorov-Smirnov test er udført på målingerne. Den maksimale absolutte forskel mellem referencefordelingen og målingerne er $KS = 0,084$, mens den kritiske værdi ved et signifikansniveau på 0,05 er $KS_\alpha = 0,177$. Hypotesen $KS < KS_\alpha$ er derved opfyldt, hvorfor en normalfordeling med $X \sim N(21,23,1,32^2)$ kan anvendes som model. Tæthedsfunktionen for normalfordelingen er vist på figur K.9.

Normalfordeling $X \sim N(21,23;1,32^2)$

Foventet interval: $17 - 25$
Forventningsværdi: $\mu = 21,23$
Variationskoefficient: $\delta = 6\%$



Figur K.9 – *Tæthedsfordelingen af setpunktstemperaturen for rumopvarmning*

K.2.10 Varmtvandsforbrug

Det årlige varmtvandsforbrug i boliger antages i Be10 til 250 l/m^2 *opvarmet etageareal*. [Aggerholm og Grau, 2007] SBi-anvisningen understreger dog, at det årlige varmtvandsforbrug sættes til mindst 15 m^3 pr. boligenhed og maksimalt 60 m^3 pr boligenhed, svarende til mindst én person og maksimalt fire personer pr. boligenhed. Sammenlignet opgiver Buhl et al. [2008] det gennemsnitlige varmtvandsforbruget pr. boligenhed i $l/døgn$ og differentierer yderligere mellem respektive boligtyper. Tabel K.2 viser fire forskellige boliger med tilhørende varmtvandsforbrug. Værdierne fra Buhl et al. [2008] er baseret på erfaringstal fra Københavnsområdet i perioden 1990-2000 og er beregnet for boliger uden karbad, hvilket har stor betydning for det gennemsnitlige varmtvandsforbrug.

Hustype	**Varmtvandsforbrug** [l/*døgn*]	
	[Aggerholm og Grau, 2007]	[Buhl et al., 2008]
Lejlighed, $60m^2$	41	90
Hus, $110m^2$	75	120
Hus $140m^2$	100	120
Hus $160m^2$	110	140

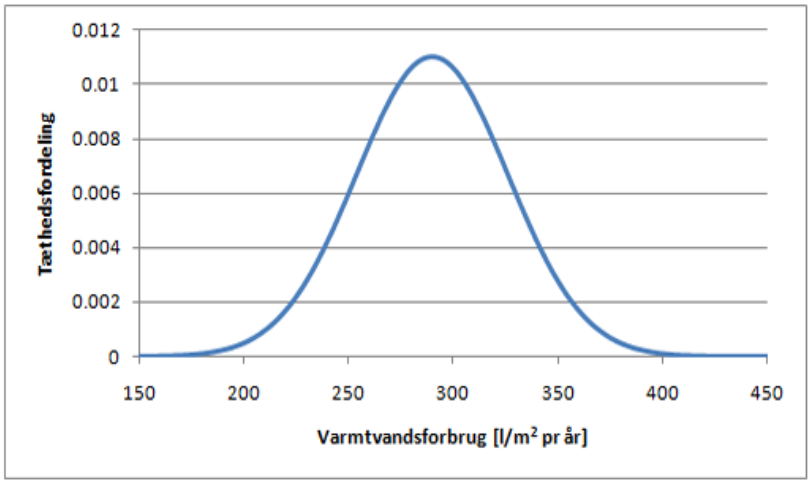
Tabel K.2 – *Det gennemsnitlige varmtvandsforbrug i forskellige boliger*

Af tabel K.2 fremgår det, at varmtvandsforbruget beregnet af Be10 ligger lavt sammenlignet med værdierne angivet i Buhl et al. [2008], specielt ved projektering af små boliger såsom lejligheder, hvilket tydeliggør usikkerheden af varmtvandsforbruget.

På baggrund af ovenstående er fordelingen af varmtvandsforbruget fastlagt. Varmtvandsforbruget modelleres som en normalfordeling med en middelværdi på $\mu = 290 l/m^2$ *pr. år*. Denne er fastlagt på baggrund af en middelværdi for varmtvandsforbruget vist i tabel K.2. Figur K.10 illustrerer tæthedsfunktionen for varmtvandsfordelingen grafisk.

Normalfordeling: $X \sim N(290; 36, 25^2)$

Foventet interval: $175 - 400$
Forventningsværdi: $\mu = 290$
Variationskoefficient: $\delta = 12,5\%$



Figur K.10 – *Tæthedsfunktion for varmtvandsforbruget*

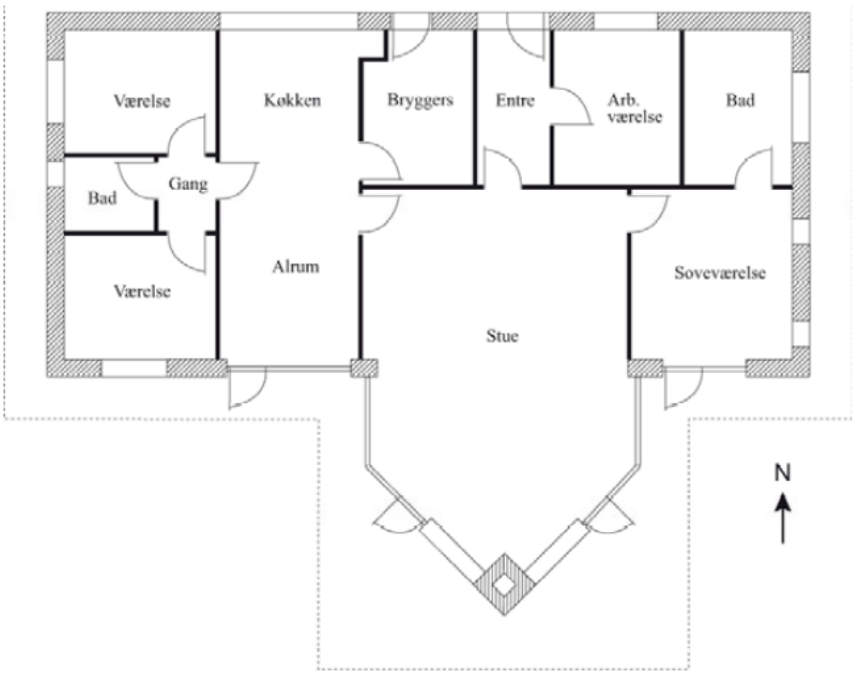
Bilag **L**

Sammenligning af Be10 og regnearksversion

Bilaget gennemgår forskelle mellem resultaterne i Be10 og regnearksversionen af Be10 på baggrund af en testcase udvalgt fra Aggerholm og Grau [2007].

L.1 Beskrivelse af parcelhuset

Til at sammenligne Be10 med regnearksversionen foretages der en energiberegning på et parcelhus. Der anvendes det parcelhus, der medfølger som eksempel i Aggerholm og Grau [2007]. Parcelhuset har et opvarmet etageareal på 180 m^2. I figur L.1 er der vist en plantegning af huset.



Figur L.1 *– Plantegning for parcelhus, [Aggerholm og Grau, 2007]*

Huset er et længehus med en T-knast mod syd. Huset er opbygget med store glaspartier mod syd og i T-knast, jævnfør figur L.1. Husets omkreds er 63,3m og ydervæggene er angivet som 40cm hulmur. Ydermere er rumhøjden sat til 2,4m og etagehøjden til 2,7m. Huset opvarmes med fjernvarme, hvor der i huset er installeret en varmtvandsbeholderen.

L.1.1 Teknisk opbygning af klimaskærm og installationer

Beskrivelsen af den tekniske opbygning af parcelhuset klimaskærm og parcelhusets installationer er baseret på inputdataene til Be10 beregningen, hvor screenshots er anvendt til at illustrere opbygningen. Huset har en varmekapacitet på 120Wh/m^2K og anses som en fritliggende bolig. Klimaskærmens opbygning er vist på figur L.2 og de tekniske installationer er vist på figur L.3.

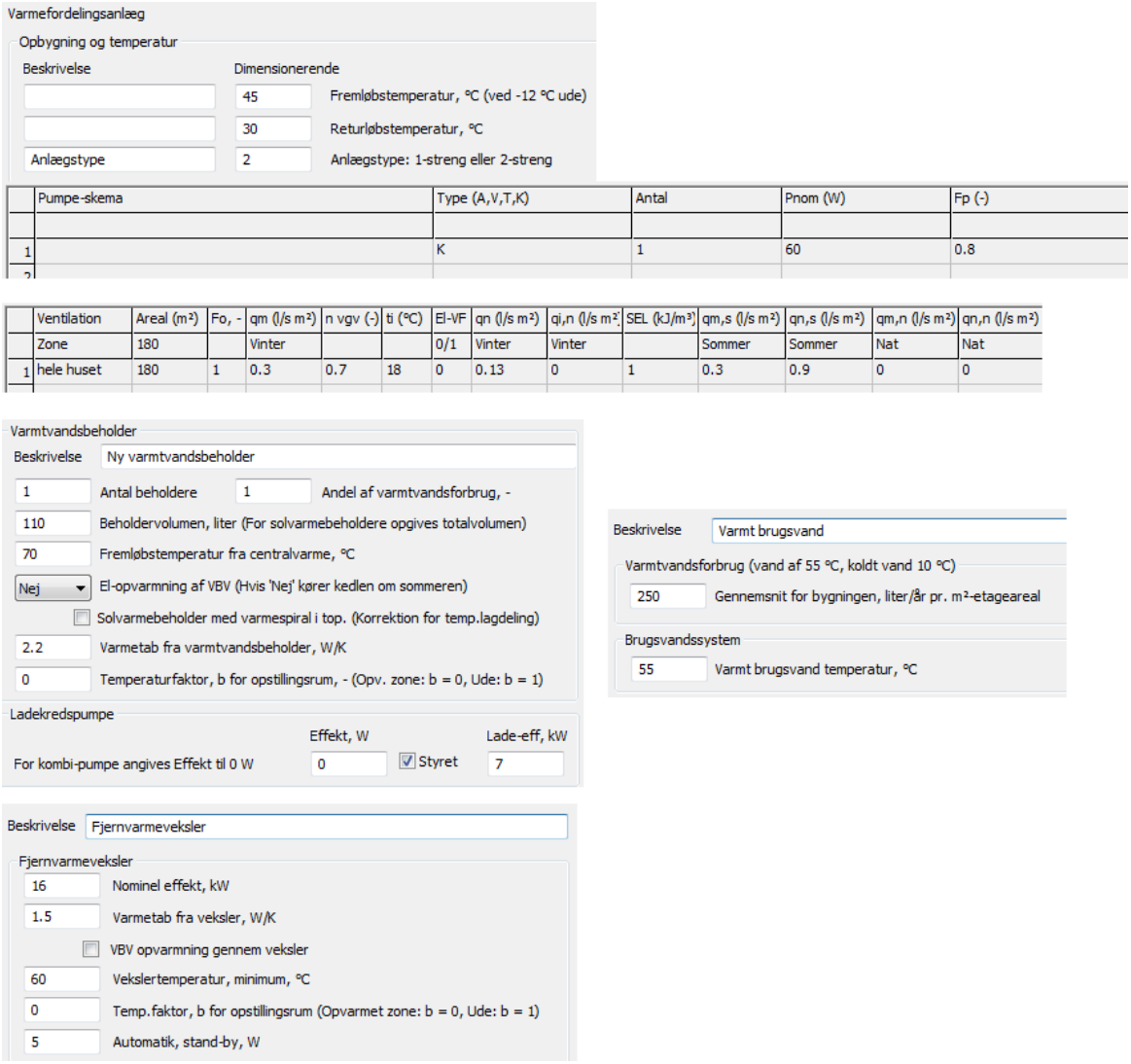
	Ydervægge, tage og gulve	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		446.4		CtrlClick	52.368			1630.85
1	loft	180	0.12	1.00	21.6			691.2
2	terrændæk	156	0.12	0.70	13.104	30	10	374.4
3	Ydervæg	110.4	0.16	1.00	17.664			565.248

	Fundamenter og samlinger ved vinduer	l (m)	Tab (W/mK)	b	Ht (W/K)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)	Tab (W)
		154.7		CtrlClick	13.4397			433.362
1	ydervægsfundamenter	63.3	0.13	1.30	10.6977	30		345.618
2	samlinger vinduer døre	91.4	0.03	1.00	2.742			87.744

	Skygger	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
1	1 under udhæng	10	45	0	0	10
2	2 ved terrasse	10	63	0	0	10
3	3 skygge nord	10	63	0	0	10
4	4 skygge syd, stor	10	63	0	0	10
5	5 skygge syd, lille	10	45	0	0	10

	Vinduer og yderdøre	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ht (W/K)	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Ind	Dim.Ude	Tab (W)
		15			52.2		CtrlClick	76.326			CtrlClick				2442.43
+1	vindue, lille bad	1	v	90	0.4	1.82	1.00	0.728	0.36	0.63	1 under	1			23.296
2	vindue, vær	1	v	90	2.1	1.47	1.00	3.087	0.68	0.63	1 under	1			98.784
3	vindue, køkken	1	n	90	4.6	1.43	1.00	6.578	0.76	0.63	1 under	1			210.496
4	Bryggersdør	1	n	90	2.1	1.52	1.00	3.192	0.66	0.63	1 under	1			102.144
5	Hoveddør	1	n	90	3.4	1.48	1.00	5.032	0.72	0.63	1 under	1			161.024
6	vindue arb. vær.	1	n	90	2.1	1.47	1.00	3.087	0.68	0.63	1 under	1			98.784
7	vindue st. bad	1	ø	90	2.1	1.43	1.00	3.003	0.74	0.63	1 under	1			96.096
8	vinduer soveværelse	1	ø	90	0.8	1.59	1.00	1.272	0.67	0.63	1 under	1			40.704
9	glasparti sovevær.	1	s	90	3.8	1.47	1.00	5.586	0.72	0.63	2 ved te	1			178.752
10	glasparti stue 1	1	ø	90	3.8	1.43	1.00	5.434	0.79	0.63	2 ved te	1			173.888
11	glasparti stue 2	1	sø	90	7.6	1.46	1.00	11.096	0.74	0.63	2 ved te	1			355.072
12	glasparti stue 3	1	sv	90	7.6	1.46	1.00	11.096	0.74	0.63	2 ved te	1			355.072
13	glasparti stue 4	1	v	90	3.8	1.43	1.00	5.434	0.79	0.63	2 ved te	1			173.888
14	glasparti spisestue	1	s	90	5.9	1.46	1.00	8.614	0.74	0.63	2 ved te	1			275.648
15	vindue vær S	1	s	90	2.1	1.47	1.00	3.087	0.68	0.63	2 ved te	1			98.784

Figur L.2 – *Parcelhusets klimaskærms opbygning*



Figur L.3 – *Parcelhusets installationer*

L.2 Resultater fra Be10

Be10 beregningen for parcelhuset er at finde på Bilags-CD'en, *parcelhus_ala_regneark.xml*. Energiberegningen giver et samlet energi behov på 77,4 kWh/m^2 pr. år. I tabel L.1 er energibehovene pr. måned til varme og el angivet. Vær dog opmærksom på den primære energifaktor på *2,5*, der er multipliceret ved energibehovet til el. Marts og juli måned er begge markeret med rød, da sammenligningen vil blive fremhævet for de to måneder respektivt.

MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	2,19	1,84	1,59	0,89	0,34	0,25	0,26	0,26	0,32	0,68	1,35	1,99	11,97
El	0, 20	0,18	0,20	0,19	0,13	0,11	0,11	0,11	0,12	0,20	0,19	0,20	19,95
I alt	2,39	2,02	1,79	1,09	0,47	0,36	0,38	0,38	0,44	0,88	1,54	2,19	13,92
kWh/m^2	13,3	11,3	10,0	6,0	2,6	2,0	2,1	2,1	2,4	4,9	8,6	12,1	77,4

Tabel L.1 – *Samlet energibehov fra Be10*

L.3 Resultater fra regnearksversion

Energiberegningen findes på Bilags-CD'en, *Parcelhus_ ala_ regneark.xls*. Energiberegningen giver et samlet energi behov på 77,0 kWh/m^2 pr. år. I tabel L.2 er energibehovene pr. måned til varme og el angivet. Vær dog opmærksom på den primære energifaktor på *2,5*, der er multipliceret ved energibehovet til el. Marts og juli måned er begge markeret med rød, da sammenligningen vil blive fremhævet for de to måneder respektivt.

MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	2,19	1,83	1,59	0,89	0,34	0,25	0,26	0,26	0,31	0,67	1,34	1,98	11,91
El	0, 20	0,18	0,20	0,19	0,13	0,11	0,11	0,11	0,12	0,20	0,19	0,20	1,95
I alt	2,39	2,01	1,79	1,08	0,47	0,36	0,37	0,37	0,43	0,87	1,54	2,18	13,86
kWh/m^2	13,3	11,2	9,9	6,0	2,6	2,0	2,1	2,1	2,4	4,8	8,5	12,1	77,0

Tabel L.2 – *Samlet energibehov fra regnearksversionen af Be10*

L.4 Sammenligning

Ved sammenligning ses, at afvigelsen mellem de to beregninger er på $0,4$ kWh/m^2 pr. år. Ses der nærmere på marts måned, ses energibehovet til såvel varme som el er ens for de to beregninger, dog opstår der en afvigelse på $0,1$ kWh/m^2, når der omregnes fra MWh. I juli måned er energibehovene ligeledes ens til såvel varme som el for begge beregninger, men når disse summeres opstår der en afvigelse på $0,1$ MWh. På baggrund af disse iagtagelser, der gør sig gældende for alle måneder med undtagelse af januar, maj og juni, vurderes det, at forskellen mellem de to beregninger skyldes afrundingsfejl i Be10.

Bilag **M**

Komfortinddeks

For at evaluere den termiske komfort benyttes komfortindeksene PMV (Predicted Mean Vote) samt PPD (Predicted Percent of Dissatisfied).

Inputparametrene til PMV-beregningen er givet i tabel M.1

Aktivitetsnivauet	$[M]$
Beklædningsisolans	$[I_{cl}]$
Lufttemperatur	$[\theta_i]$
Middelstrålingstemperatur	$[\theta_r]$
Lufthastighed	$[\nu_{ar}]$
Vanddampstrykket i den omgivende luft	$[P_a]$

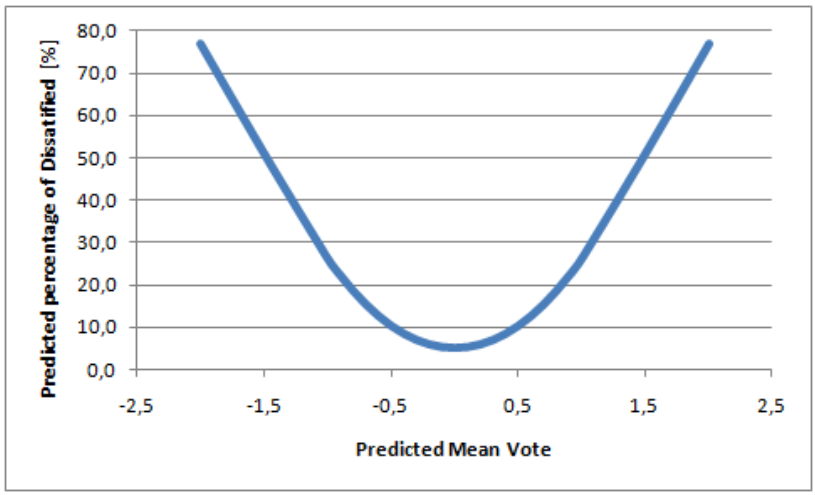
Tabel M.1 – *Inputparametre til PMV-beregning*

Til at evaluere det termiske indeklima i praksis introducerer Fanger [1972] to termiske termisk inddeks, der præsenteres i det følgende. PMV-indekset angiver den forventede middelvotering af det termiske indeklima for en stor grupper baseret på den psyko-fysiske 7-punktsskala: [Fanger, 1972, s. 110]

3	Hedt
2	Varmt
1	Let varmt
0	Neutralt
-1	Let køligt
-2	Køligt
-3	Koldt

De positive værdier svarer til en varm opfattelse og negative værdier, refererer til en kold oplevelse. PMV-indekset angiver, som tidligere beskrevet den forventede middelbedømmelse for en stor gruppe personer som en funktion af aktivitet, beklædning m.v. PMV-indekset tillader at evaluere et rums termiske miljø på baggrund af menneskets termiske komfort. Dette er således et udtryk for den generelle opfattelse af det termiske indeklima. For at kunne fastlægge det antal personer, der vil føle utilfredshed med det termiske indeklima, in-

troducerer Fanger [1972] PPD-indekset. Dette indeks er udledt eksperimentielt på baggrund af PMV-indekset. Det forventede procentvise antal utilfredse, PPD, kan aflæses på figur M.1 på baggrund af PMV.



Figur M.1 – *PPD som en funktion af PMV, efter [Fanger, 1972]*

M.1 Evaluering af det termiske indeklima

Det termiske komfort indeks Predicted Mean Vote, PMV er udledt på baggrund af 7-trinsskalen. PMV-inddekset angiver den forventede middelbedømmelse for en stor gruppe personer som en funnktion af aktivitet, beklædning m.v., og beregnes af følgende formel: [Dansk Standard, 2006]

$$\begin{aligned} PMV &= [0,303 \cdot exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \\ &\left\{ \begin{array}{c} (M-W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M-W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M-W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \end{aligned}$$

Det antages at $\overline{t_r} = t_i$. Derefter korrigeres der for denne antagelse på baggrund af beklædningsisolansen samt aktivitets niveauet.

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M-W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_cl + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a \right\}$$

$$h_c = \left\{ \begin{array}{cc} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & for \quad 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{\nu_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{\nu_{ar}} & for \quad 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{\nu_{ar}} \end{array} \right\}$$

$$f_{cl} = \left\{ \begin{array}{cc} 1,00 + 1,290 I_{cl} & for \quad I_{cl} \leq 0,078 m^2 K/W \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & for \quad I_{cl} > 0,078 m^2 K/W \end{array} \right\}$$

Hvor:

M	Aktivitetsniveau $[W/m^2]$
W	Effektive tilførte mekaniske effekt $[W/m^2]$
I_{cl}	Beklædningsisolans $[m^2K/W]$
f_{cl}	Forhold mellem overfladeareal af beklædt og nøgen krop $[-]$
$\overline{t_r}$	Middelstrålingstemperaturen $[°C]$
ν_{ar}	Relative lufthastighed $[m/s]$
P_a	Vanddampstryk i omgivende luft $[Pa]$
h_c	Konvektive varmetabskoefficient $[W/m^2K]$
t_{cl}	Overfladetemperaturen af beklædningen $[°C]$

Derudover regnes der med en korrektionsfaktor δPMV for de tilfælde hvor $t_r \neq t_a$. Korrektionsfaktoren gælder pr. grads forskel mellem middelstrålingstemperaturen og rumtemeraturen:

$$\delta PMV = 0,15 \text{ for } I_{cl} = 0,5\text{clo}$$
$$\delta PMV = 0,11 \text{ for } I_{cl} = 1,0\text{clo}$$

Til at evaluere det termiske indeklima ud fra det forventede antal utilfredse benyttes komfortindeks PPD. Dette beregnes på baggrund af PMV: [Dansk Standard, 2006]

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

M.2 Evaluering af det atmosfæriske indeklima

Evalueringen af det atmosfæriske indeklima sker vha. kategori I-IV. [European Committee for Standardization, 2007b] For atmosfæriske indeklima gælder følgende :

Kategori	CO_2-koncentration i ppm over baggrundskoncentrationen	Nødvendig ventilations rate [l/s · olf]	Relativ luftfugtighed i %
I	350	10	30-50
II	500	7	25-60
III	800	-	20-70
IV	<800	<4	<20 eller >70

Tabel M.2 *– Anbefalet CO_2-koncentration over baggrundskoncentration samt relativ luftfugtighed [European Committee for Standardization, 2007b]*

Ydermere beregnes det forventede procentvise antal utilfreds, PD på baggrund af såvel CO_2-koncentration samt den oplevede luftkvalitet. [Hyldgård et al., 1997] [European Committee

for Standardization, 1998]

$$\begin{aligned} PD_{CO_2} &= 395 \cdot exp(-15,15 \cdot c_{CO_2}^{-0,25}) \\ PD_{olf} &= 395 \cdot exp(-3,25 \cdot c_{olf}^{-0,25}) \\ &= 100\% \; for \; c_{olf} \; > \; 31,3 decipol \end{aligned}$$

Bilag **N**

Monte Carlo analyse

Følgende bilag indeholder en overordnet gennemgang af Monte Carlo analyse, hvor der er fokuseret på metoderne anvendt i rapporten til at udføre usikkerhedsanalyserne og sensitivitetsanalyserne.

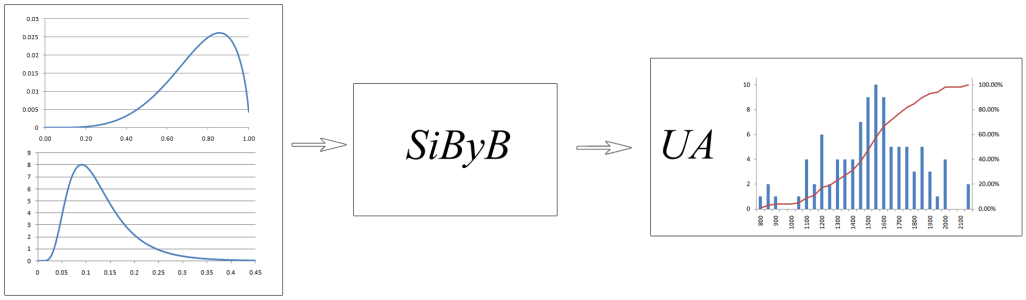
N.1 Baggrund

Hovedformålet med en Monte Carlo analyse (MCA) er at bestemme den samlede usikkerhed for en given model. Helton [1993] definerer en MCA således:

"A Monte Carlo analysis is based on performing multiple model evaluations with probabilistically selected model input, and then using the results of these evaluations to determine both the uncertainty in model predictions and the input variables that give rise to this uncertainty."

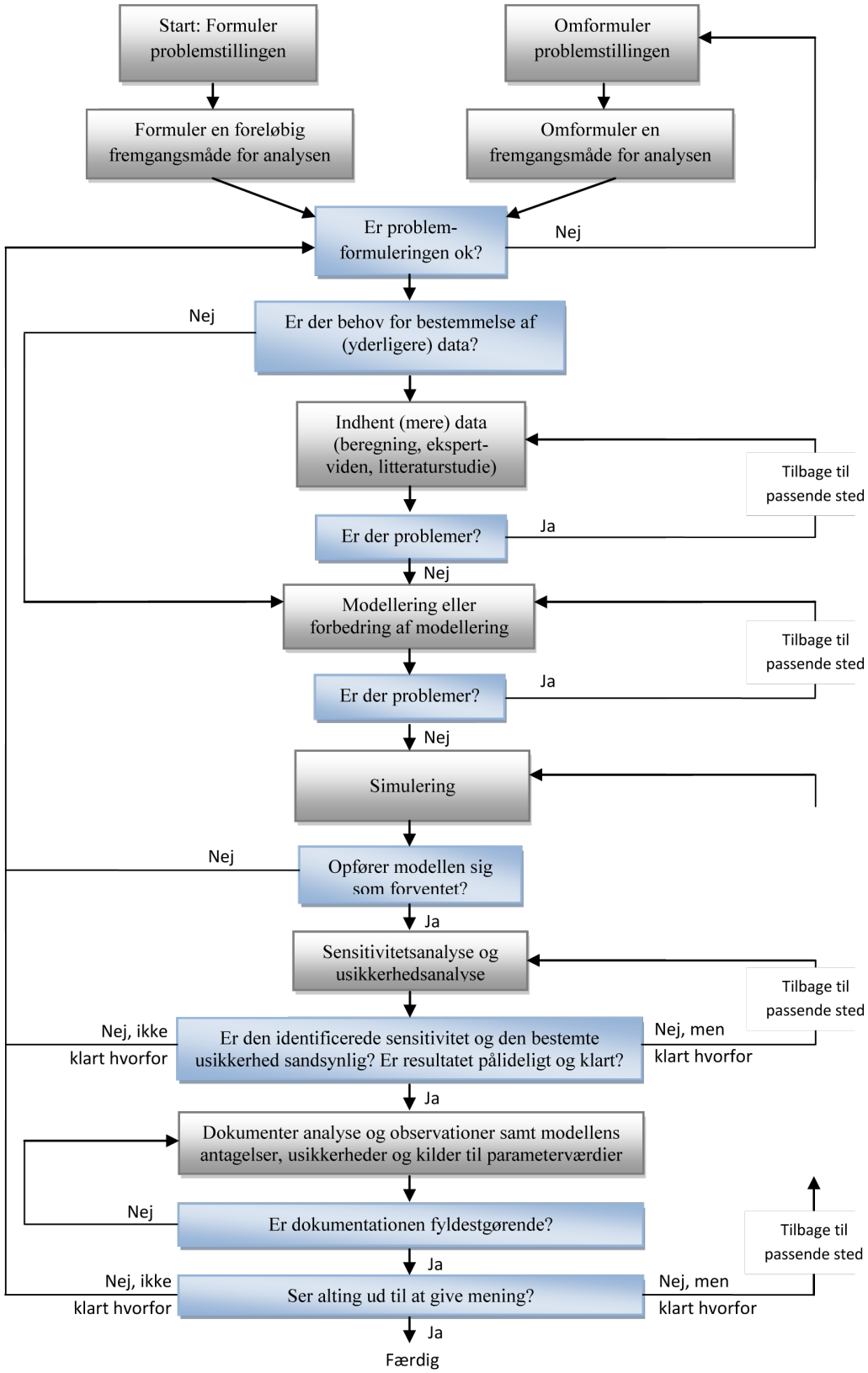
MCA anvendes altså ved at udføre et antal simuleringer af modellen ved brug af forskellige inputkombinationer for de bestemte inputparametre. Hvorefter en samlet evaluering af resultaterne kan finde sted, for at evaluere usikkerheden i modellen.

For en MCA kræves det dog, at modellens inputparametre beskrives ved hjælp af en sandsynlighedsfordeling. [Macdonald, 2002] For hver simulering udvælges tilfældigt, eller der kan anvendes diverse stikprøvemetoder, en kombination af inputparametrenes værdier baseret på de opstillede sandsynlighedsfordelinger. Der udføres herefter et passende antal simuleringer med forskellige inputparameterkombinationer. Nøjagtigheden af den totale usikkerhed er kun påvirket af antallet af simuleringer. [Lomas og Eppel, 1992] Figur N.1 viser den overordnede fremgangsmåde for en MCA.



Figur N.1 – *Overordnet fremgangsmåde ved en MCA, efter [Brohus, 2010b]*

I Macdonald [2002] er det vist, at den centrale grænseværdisætning gælder for en MCA. Ved simulering af et tilstrækkeligt antal simuleringer medfører dette at det kumulative resultat for simuleringerne vil antage en normalfordeling uafhængigt af de enkelte parametres sandsynlighedsfordelinger. Til evaluering af resultaterne er det muligt at anvende en usikkerhedsanalyse og en sensitivitetsanalyse, som vist på figur N.1. Usikkerhedsanalysen anvendes til at kvantificere en models samlede usikkerhed, mens sensitivitetsanalysen anvendes til at identificere det enkelte inputs indflydelse på modellens samlede usikkerhed. Ydermere er det muligt for enkelte sensitivitetsanalysemetoder, at kvantificere inputtenes indflydelse på modellens samlede usikkerhed. Processen omkring anvendelse af usikkerhedsanalyse og sensitivitetsanalyse samt hvilken analyse, der skal udføres først, er forholdsvis iterativ. Figur N.2 viser processen for en simulering, hvor der foretages såvel en usikkerhedsanalyse og en sensitivitetsanalyse. Processen kan anvendes til eventuelt at mindske en models usikkerhed eller identificere de mest afgørende parametre eller lignende analyser. Dette kan gøres ved en indledende sensitivitetsanalyse, hvor der foretages et groft estimat af hvilke parametre, der har stor betydning for modellens usikkerhed. Herefter foretages en grundigere sensitivitetsanalyse, hvor parametrene som viste sig indflydelsesrige jævnfør forrige analyse, anvendes. Til sidst kan de mere korrekte inputværdier bestemmes, og der kan eventuelt foretages en afsluttende usikkerhedsanalyse samt en kvantificering af de enkelte parameters indflydelse på modellens totale usikkerhed. [Bendtsen og Sørensen, 2005] Det første, der skal overvejes i en MCA er, hvilken samplingsmetode som skal bruges, ligeledes skal korrelation mellem de enkelte input overvejes. I det efterfølgende vil forskellige samplingsmetoder blive gennemgået.



Figur N.2 – *Procestræ for en simulering hvor der foretages en usikkerhedsanalyse og en sensitivitetsanalyse, efter [Morgan og Henrion, 1992]*

N.2 Samplingsmetoder

Samplingsmetoderne anvendes til at udvælge inputværdier fra de enkelte sandsynlighedsfordelinger. I det følgende beskrives metoderne hvorved denne udvælgelse finder sted. Der findes flere forskellige samplingsmetoder, men den generelle forudsætning for at anvende metoden er at sikre de udvalgte værdier repræsenterer parametrenes sandsynlighedsfordelinger på bedste statiske måde ved brug af færrest mulige samples. Der vil blive gennemgået tre samplingsmetoder:

- Randomiseret samplemetode
- Lagdelt randomiseret samplemetode
- Latin Hypercube samplemetode

N.2.1 Randomiseret samplemetode

Ved anvendelse af en randomiseret samplemetode sker udvælgelsen tilfældigt på baggrund af de enkelte fordelinger, uafhængigt af de foregående samples. Dvs. at første sample genereres ved at vælge en tilfældig værdi fra de forskellige sandsynlighedsfordelinger for de respektive variable, hvorefter anden sample kan genereres ved at vælge en tilfældig værdi fra sandsynlighedsfordelingerne uafhængig af den foregående sample. Denne fremgangsmåde fortsættes indtil den ønskede samplestørrelse er opnået. Ved anvendelse af denne fremgangsmåde opnås et resultat af middelværdien, μ, og standardafvigelsen, σ, som er unbiased. [Saltelli et al., 2004a] Notationsformen for den randomiserede samplingsmetode er vist i ligning N.1

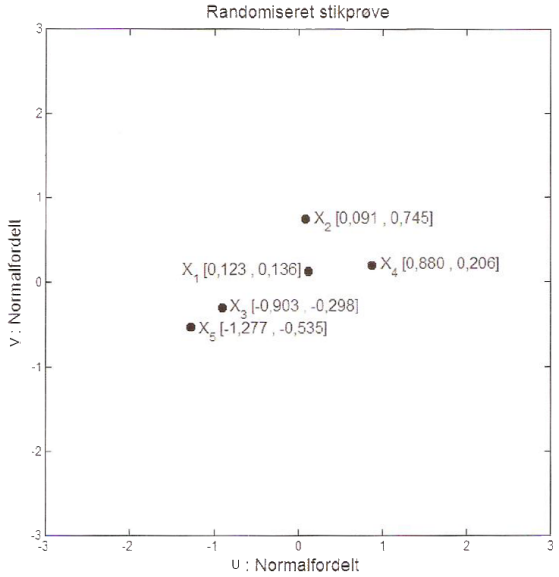
$$\bar{x_i} = [x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{in}], \qquad i = 1, \ldots, m \tag{N.1}$$

Hvor:

n	Antallet af parametre
m	Samplestørrelse

Den randomiserede samplemetode sikrer ikke, at værdierne vil blive udvalgt fra et given del af fordelingsområdet, men sikrer udelukkende at udvælgelsen sker i sammenhæng med de respektive sandsynligheder for de givne værdier. Dette medfører, at den resulterende middelværdi og standardafvigelse ikke bliver påvirket af måden, hvorpå udvælgelsen sker. Ulempen ved denne metode er dog, at samplestørrelse kan blive uhensigtsmæssig stor for at sikre at samplene dækker hele variationsområdet. [Helton, 1993]

European Commission - IPSC [2008] foreskriver, at størrelsen af samplen ikke bliver mindre end 1,5 gange antallet af variable, men foreslår at størrelsen på samplen mindst er 10 gange antallet af variable for at sikre at samplen dækker hele variationsområdet for inputparameteren. Der opnås dog stabile resultater efter 50-200 simuleringer. [Saltelli et al., 2004a] Figur N.3 viser en randomiseret sample for $\bar{x} = [U, V]$ og $m = 5$.



Figur N.3 – *Randomiseret samplemetode for $\bar{x} = [U, V]$ og $m = 5$. U og V er normalfordelte med $\mu = 0$ og $\sigma = 0$, efter [Bendtsen og Sørensen, 2005]*

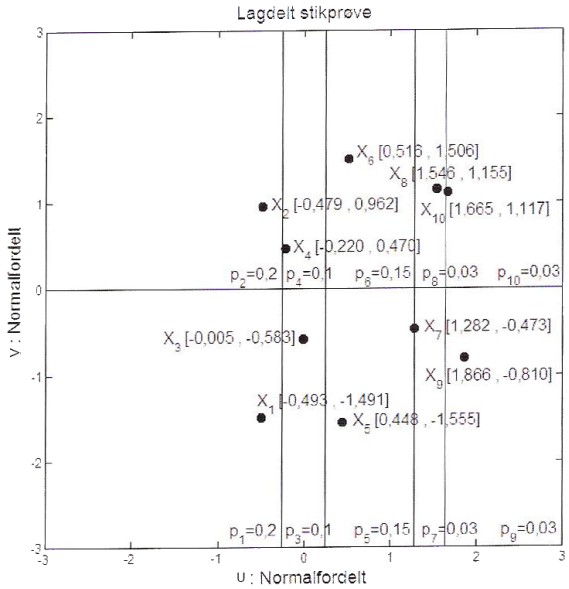
Algoritmen i Simlab til generering af samplene er baseret på en såkaldt "Seed"-værdi. Udvælgelsen af værdierne bliver genereret ved en hjælp af en iterativ funktion baseret på et brugerbestemt udgangspunkt. "Seed"-værdien er den primære værdi for denne procedure, hvor det anbefales at anvende store værdier (>7 cifre) for "seed-værdien. [European Commission - IPSC, 2008].

N.2.2 Lagdelt randomiseret samplemetode

Lagdelt randomiseret samplemetode anvendes for at sikre, at hele fordelingsområdet for de variable bliver dækket. Dette gøres ved at gennemtvinge en systematisk dækning af specifikke delområder i sandsynlighedsfordelingerne. Variationsområdet for inputparameteren, S, for inputvektoren $\bar{X}$, opdeles i nS separate lag; $S_j, j = 1, \ldots, nS$. Det skal bemærkes at hvert lag har forskellige sandsynligheder som er givet ved; $p_j = P\left(\bar{X} \in S_j\right)$. Hvis der kun vælges et lag, vil det svare til en randomiseret samplingsmetode beskrevet i foregående afsnit. [Helton, 1993] Den enkelte inputvektor kan udtrykkes ved:

$$\bar{x_i} = [x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{in}], \qquad i = 1, \ldots, \sum_{j=1}^{nS} (m_j) \tag{N.2}$$

Denne metode anvendes ofte til at sikre at enkelte samplerum bliver inkluderet i analysen. Værdierne i disse samplerum er ofte indflydelsesrige, men har lille sandsynlighed for at fremkomme. Figur N.4 viser en lagdelt randomiseret sample for $\bar{x} = [U, V]$ med 10 lag og én randomiseret værdi i hvert lag.



Figur N.4 – *Lagdelt randomiseret sample for $\bar{x} = [U, V]$ med 10 lag og en randomiseret værdi i hvert lag. Sandsynlighederne for hvert lag er angivet på figuren, efter [Bendtsen og Sørensen, 2005]*

Hvis et bestemt område skal dækkes intensivt, kan dette gøres ved at udtage flere randomiserede værdier i dette lag. Det skal bemærkes, at denne egenskab ikke skal have indflydelse på det samlede resultat, hvorfor der foretages en vægtning af lagenes sandsynligheder og antallet af samples i hvert lag. Denne vægtning betyder en ændring af beregningen af det samlede resultats middelværdi og standardafvigelse. Såfremt lagdelt randomiseret samplemetoden anvendes, er det vigtigt at anvende formel N.3 og N.4 til beregning af henholdsvis middelværdien og standardafvigelsen. Dermed skal formel 10.1 - 10.2 *ikke* anvendes. [Saltelli et al., 2004a]

$$\overline{Z} = \sum_{i=1}^{mS} \left(p_i \cdot \overline{Z}_i \right) \tag{N.3}$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{mS} \left(p_i^2 \cdot s_i^2 \right)} \tag{N.4}$$

Hvor:

$\overline{Z}_i$	Middelværdi af resultatet i det enkelte lag
p_i	Sandsynligheden for det enkelte lag

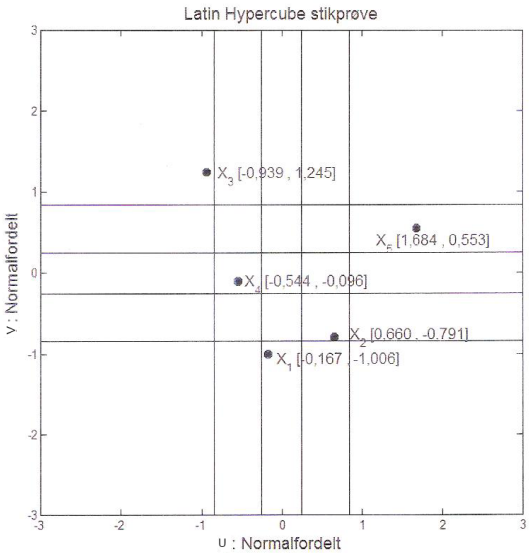
Største fordel ved denne metode er, at områder med lave sandsynligheder kan tvinges igennem en analyse. Dog kan bestemmelsen af antallet af forskellige lag og sandsynligheden af disse være kompliceret. [Saltelli et al., 2004a]

N.2.3 Latin hypercube samplingsmetode

Latin hypercube er en videreudvikling af lagdelt randomiseret samplingsmetode, hvor enkelte egenskaber er tilføjet til metoden. Metoden er udviklet for at sikre at hele variationsområdet for inputparameteren bliver dækket på den statistiske bedst mulige måde, ved færrest mulige sampler. [Saltelli et al., 2004a] Hver inputparameter i modellen, $\bar{x_j}, j = 1, \ldots, n$, inddeles i m intervaller med lige stor sandsynlighed, $p = 1/m$. Det skal bemærkes m er lig antallet af samples. Den randomiserede samplingsmetode anvendes nu i hvert interval for hver parameter til at udvælge inputværdierne for de respektive parametre i de enkelte lag. En vilkårlig værdi, udvalgt fra parameter x_1, sammensættes med en vilkårlig værdi fra parameter x_2 op til parameter x_n. Den første samling af værdier udgør derved den første sample, hvorved samme procedure gentages indtil m sampler er udført: [Helton, 1993]

$$\bar{x_i} = [x_{i1}, \ldots, x_{in}], \qquad i = 1, \ldots, m \tag{N.5}$$

Figur N.5 illustrerer et eksempel på en latin hypercube sample hvor $\bar{x} = [U, V]$ og $m = 5$.



Figur N.5 – *Latin hypercube for $\bar{x} = [U, V]$ og $m = 5$. U og V er normalfordelt hvor $\mu = 0$ og $\sigma = 1$, efter [Bendtsen og Sørensen, 2005]*

Ved anvendelse af latin hypercube samplingsmetoden, sammenlignet med de forrige beskrevne metoder, opnås en bedre dækning af hele variationsområdet for de forskellige inputparametre uafhængigt af hvilke parametre, der viser sig at være indflydelsesrige. Dette er specielt gældende, når outputtet er domineret af et lavt antal inputparametre. Yderligere giver latin hypercube et bedre estimat af det endelige resultats middelværdi samt en lavere varians. Variansens kan dog være en smule forvrænget, men denne forvrængning har vist sig at være lille. [Saltelli et al., 2004a]

Algoritmen i Simlab til generering af samplene er baseret på en såkaldt "Seed" -værdi. Udvælgelsen af værdierne bliver genereret ved en hjælp af en iterativ funktion baseret på et brugerbestemt udgangspunkt. "Seed"-værdien er den primære værdi for denne procedure, hvor det anbefales at anvende store værdier (>7 cifre) for "seed-værdien. Det foreskrives, at en sample på 1,5 gange antallet af input parametre benyttes, men foreslår at størrelsen på samplen mindst er 10 gange antallet af variable, for at sikre at samplen dækker hele variationsområdet for inputparameteren. [European Commission - IPSC, 2008] Der opnås dog stabile resultater efter 50-200 simuleringer. [Saltelli et al., 2004a] Det skal ligeledes nævnes at Simlab anvender en speciel form af latin hypercube, hvor det er muligt at korrelere inputdataene, ellers er hovedreglen af inputparametrene i metoden skal være uafhængige af hinanden. [European Commission - IPSC, 2008] [Helton, 1993]

N.3 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse er en metode til at analysere, hvilken indflydelse forskellige inputparametre har på en specifik models output. Variationen af modellens output sammenholdes med de forskellige inputdata og evaluerer, kvalitativt eller kvantitativ, inputparametrenes indflydelse på modellens output. Forskellen på en kvalitativ og kvantitativ analyse består i at de kvalitative analyser rangordenen af inputparametrene jævnfør, hvor indflydelsesrige parametrene, mens de kvantitative analyser giver en målbar størrelse for den enkelte parameters bidrag til usikkerheden i modellens output. Egenskaberne for de to metoder medfører at de kvantitative metoder ofte er mere omfattende end de kvalitative. Fordelen ved de kvalitative metoder er dog, at den fundne målbare størrelse, kan anvendes til at identificere om en parameter er ikke-influerende, eller hvorvidt der efterfølgende skal anvendes ressourcer på at bestemme mindre usikre værdier for den indflydelsesrige inputparameter. [Saltelli et al., 2004a] [Bendtsen og Sørensen, 2005] Definitionen på sensitivitetsanalyser kan opsummeres til:

"Sensitivity analysis studies the relationship between information flowing in and out of the model"[Saltelli et al., 2004a]

I forbindelse med sensitivitetsanalyser er det vigtigt at være opmærksom på at definitionen på en følsom parameter er forskellig fra definitionen på en vigtig parameter.

"An important parameter is always sensitive because parameter variability will not appear in the output unless the model is sensitive to the input. A sensitive parameter, however, is not necessarily important because it may be known precisely, thereby having little variability to add to the output." [Hamby, 1994]

Det er jævnfør ovenstående derfor vigtigt at skelne mellem begreberne, følsom og vigtig. Modellen er følsom over for inputparametre på to forskellige måder: [Hamby, 1994]

1. Variationen, i dette tilfælde usikkerheden, af en følsom parameter er forplantet gennem modellen, hvilket resulterer i et stort bidrag til variationen af resultatet.
2. Modellens resultat kan være højt korreleret med et input parameter, således en lille ændring in parameterens værdig vil resultere i en væsentlig ændring af modellens resultat.

Dette benyttes således til at definere og adskille forskellen mellem følsomme og vigtige parameter, og dermed hvorvidt, der er behov for en sensitivitets- eller usikkerhedsanalyse.

N.3.1 Formål

Formålet med sensitivitetsanalyse, er at kunne besvare en række spørgsmål, der beskriver manglen på viden om den information, der strømmer ind og ud af modellen. [Saltelli et al., 2004a] Årsagerne til at vælge at udføre en sådan analyse kan være mange. Fælles for alle sensitivitets analyser er dog behovet for at fastlægge følgende: [Saltelli et al., 2004a]

1. Hvorvidt modellen afspejler virkeligheden i tilstrækkelig grad?
2. Hvilke parametre, medfører hovedsageligt variationer i modellens output, og bør derfor undersøges yderligere, for at styrke vidensgrundlaget?
3. Hvilke parametre (eller dele af modellen) der er irrelevante og dermed kan udelades af den endelige model?
4. Forefindes der parametre eller parametergrupper, der er korrelerede?

I de tilfælde hvor modellens detaljeringsgrad ikke er tilstrækkelig som angivet i **punkt 1**, vil det ikke være muligt for modellen at levere de ønskede resultater. I dette tilfælde vil modellen ikke give et illustrativt billede af virkeligheden. Under **punkt 2**, anvendes sensitivitetsanalyse til at vurdere parameterværdierne i modellen. Her klargøres det hvilke parametre, der kan fastlægges ud fra et erfaringsmæssigt perspektiv, og hvilke parametre der bør undersøges nærmere, for at kunne mindske usikkerheden af modellens output. De parametre, der betragtes som ubetydelige, er dem, der har lille eller ingen indflydelse på variationen af modellens resultat, jævnfør **punkt 3**. En sådan type sensitivitetsanalyse kan assistere til at simplificere komplekse modeller. Gennem analysen er det således muligt at finde dele eller elementer som er uden nævneværdig betydning for resultatet. En sådan simplificering vil kræve en stor del erfaring, for med rette at kunne negligere eventuelle parametre. Ved manglen på erfaring, vil en sensitivitetsanalyse således kunne assistere i processen med at simplificere modellen. Korrelation mellem parametrene eller grupper af parametre har ofte afgørende betydning for hele modellen. Ofte er flere parametre korrelerede, hvormed den enkelte parameters usikkerhed giver anledning til yderligere usikkerhed såfremt den kombineres med en korreleret parameter. [Bendtsen og Sørensen, 2005]

N.3.2 Typer af sensitivitetsanalyser

Sensitivitetsanalyser kan inddeles i tre kategorier, det værende sig:

- Screeningsanalyse - *Identificerer og rangerer de følsomme parametre i store modeller med mange parametre.*
- Lokal - *Behandler usikkerheden af modellens resultat i forhold til ændringer af inputparametrene.*
- Global - *Behandler den samlede usikkerhed af modellens resultat i forhold til variationen af samtlige inputparametre.*

Dog bør det nævnes, at en screeningsanalyse kan være såvel lokal som global. Forskellen mellem de tre kategorier er, at en screeningsanalyse henviser til analysens anvendelse, hvorimod lokal og global er navngivet efter hvorledes de behandler parametrene i modellen. [Saltelli et al., 2004a] I det følgende vil hver af de tre kategorier bliver nærmere beskrevet.

Screeningsanalyse

Ved store modeller med stor kompleksitet og ofte et stort antal inputparameter vil en screeningsanalyse kunne anvendes indledningsvis til at identificere de følsomme parametre i modellen. Analysen beskriver komplekse fysiske systemer, hvorved der er mange parametre, som er potentielt vigtige. Langt flere end det erfaringsmæssigt kan lade sig gøre at overskue uden brug af screeninganalyser. Dette kan således assistere i forbindelse med en afgrænsning af hvilke parametre, der bør medtages i en efterfølgende lokal eller global sensitivitetsanalyse. Screeninganalyser er forholdsvis enkle og rangerer de vigtige inputparametre. Dog giver en screeningsanalyse ingen information om hvor meget større indflydelse den ene parameter har frem for den anden. En screeningsanalyse giver således kun et kvalitativt resultat frem for et kvantitativt. [Saltelli et al., 2004a]

Generelt opnås det bedste resultat med en screeningsanalyse, når antallet af vigtige parametre i modellen er lille sammenlignet med det totale antal af parametre i modellen. I praksis overholder modeller ofte denne antagelse, hvorfor dette ikke anses som et problem. [Saltelli et al., 2004b]. I forbindelse med screeningsanalyser findes der forskellige designmetoder. Hvis der ses på metoden foreslået af Morris [1991], ses det at denne metode kan variere en parameter ad gangen. Dette kaldes en OAT (One-At-a-Time) metode.

I nærværende projekt er der ikke anvendt screeningsanalyse, da de vigtigste parametre er udvalgt på baggrund af erfaringer samt resultaterne fra problemanalysen. Såfremt der ikke var foretaget en problemanalyse, der kunne assistere til at udvælge disse parametre, ville der kunne være foretaget en screeningsanalyse på baggrund af inputparametrene i SiByB.

Lokal analyse

Denne type af sensitivitets analyse undersøger ændringen i modellens output, ved at der sker en ændring af én parameter ad gangen, således bygger denne type analyser, ligesom

screeningsanalyser, på OAT-princippet. Her ændres én enkelt parameter ad gangen mens de resterende parametre fastholdes. [Saltelli et al., 2004a]

Lokale sensitivitetsanalyser kan bidrage med brugbar information omkring modellens opførsel i de tilfælde, hvor parametrene fastholdes nær den nominelle værdi. De lokale metoder er i høj grad påvirket af usikkerheden af forskellig grad i de tilfælde hvor modellen er ulineær, hvorfor denne type af sensitivitetsanalyse kun anbefales i lineære modeller. [Saltelli et al., 2004a] Ydermere anses de lokale sensitivitetsanalyser som værende anvendelige udelukkende på mindre modeller, der har et begrænset antal af parametre. Af samme årsag anbefales det at der anvendes global sensitivitets analyse ved globale modeller. Det lokale princip i forbindelse med OAT-princippet anses dog som anvendeligt i forbindelse med indledende screeningsanalyser af komplekse modeller, hvor formålet er at identificere de følsomme parametre. På baggrund af en sådan analyse vil de vigtige parametre kunne fastlægges. [Saltelli et al., 2004a]

Global analyse

Ved globale sensitivitetsanalyser er formålet at afveje usikkerheden i output parametrene i forhold til usikkerheden i hver enkel input parameter. Input i en sådan analyse vil være fordelinger af hver parameter. En sensitivitetsanalyse betragtes som global når alle parametrene varieres samtidigt, og sensitiviteten er målt over hvert inputparameters interval. Global sensitivitets analyse er karakteriseret ved følgende egenskaber: [Saltelli et al., 2004a]

- **Første globale egenskab:** Ved at angive en fordelingsfunktion for den enkelte parameter, som beskriver variationsområdet, er det muligt at inkludere variationen af den enkelte parameter.
- **Anden globale egenskab:** Ved brug af global sensitivitetsanalyse beskrives den multidimensionale usikkerhed af de enkelte parametre, idet alle andre parametre ændres samtidigt.

En global analyse evaluerer effekten af x_i mens alle andre x_j, $j \neq i$ varieres samtidig. I modsætning er en lokal analyse baseret på bestemmelsen af x_i mens alle andre x_j, $j \neq i$ antager den konstante nominelle værdi. Det er anbefalelsesværdigt, at anvende en global sensitivitetsanalyse, når modellen er ulineær, og variationen i inputparametrene er beskrevet ved forskellige fordelingsfunktioner. [Saltelli et al., 2004a]

Sammenligning af de tre typer analyser

I tabel N.1 er egenskaberne for henholdsvis screeningsanalyse samt lokal og global angivet. Det kan være svært at sammenligne screeningsanalysen med lokale henholdsvis globale analyser, da en screeningsanalyse kan optræde med begge egenskaber.

Egenskab	**Screening**	**Lokal**	**Global**
OAT	•	•	
Afdækker hele parametrenes variationsområde	(•)		•
Hensyn til korrelation	(•)		•
Hensyn til uliniaritet	(•)		•
Velegnet til modeller med mange parametre	•		•
Anvender superpositionsprincippet		•	

Tabel N.1 – *Egenskaber for henholdsvis screeningsanalyse, lokal og global anlyse, efter [Bendtsen og Sørensen, 2005]*

Hovedvægten af sensitivitetsanalyserne går på at evaluere de valgte brugerrelaterede inputparametres indflydelse på indeklimaet og energiforbruget i boliger. I den henseende vælges det derfor, at anvende en global sensitivitetsanalyse, da inputparametrenes variationsområder er beskrevet ved hjælp af fordelinger, hvor det ønskes at undersøge hele dette variationsområde. Ligeledes er det ønskværdigt at tage hensyn til ulinearitet samt at få en målbar størrelse for den enkelte parameters bidrag til usikkerheden i modellens output.

N.3.3 Fremgangsmåde

Dette afsnit beskriver fremgangsmåden i en sensitivitetsanalyse, og hvorledes en sådan analyse kan anvendes i praksis. Fremgangsmåden givet i det følgende kan benyttes til at udføre sensitivitetsanalyse på en given model uafhængigt af hvilken model, der anvendes. [Saltelli et al., 2004b, s. 45] [Bendtsen og Sørensen, 2005]

1. Formålet med analysen fastlægges. Herudfra formuleres en overordnet form af resultatet, der kan besvare analysens formål. I de tilfælde hvor der er tale om en stor model anvendes der en indledningsvis screeningsanalyse.
2. Det afgøres hvilke parametre, der inkluderes i analysen.
3. Der defineres en fordelingsfunktion for hver parameter ud fra følgende:
   a) Erfaringsmæssig viden
   b) Mindre beregninger
   c) Ekspertviden
   d) En trunkeret normalfordeling, hvor trunkeringen medvirker til, at parameterværdierne hovedsagligt udvælges omkring den nominelle værdi. Der anvendes således en erfaringsmæssig formodning vedrørende minimum og maksimum, samt den mest sandsynlige værdi, herudfra defineres så et konfidensinterval.
   e) Model- eller fuldskala forsøg
   f) Litteraturstudie
4. Hernæst udvælges en analysemetode på baggrund af følgende:

a) Det spørgsmål der ønskes besvaret af analysen.

b) Antallet af nødvendige simuleringer samt simuleringstid for den pågældende model.

c) Modellens følsomhed for korrelation og/eller ulinearitet. I forbindelse med en screeningsanalyse bør korrelationen ikke undersøges nærmere for at undgå unødvendig kompleksitet i analysen. Derimod bør der efter analysen foretages en kvantificering af korrelationens indflydelse på de vigtige parametre.

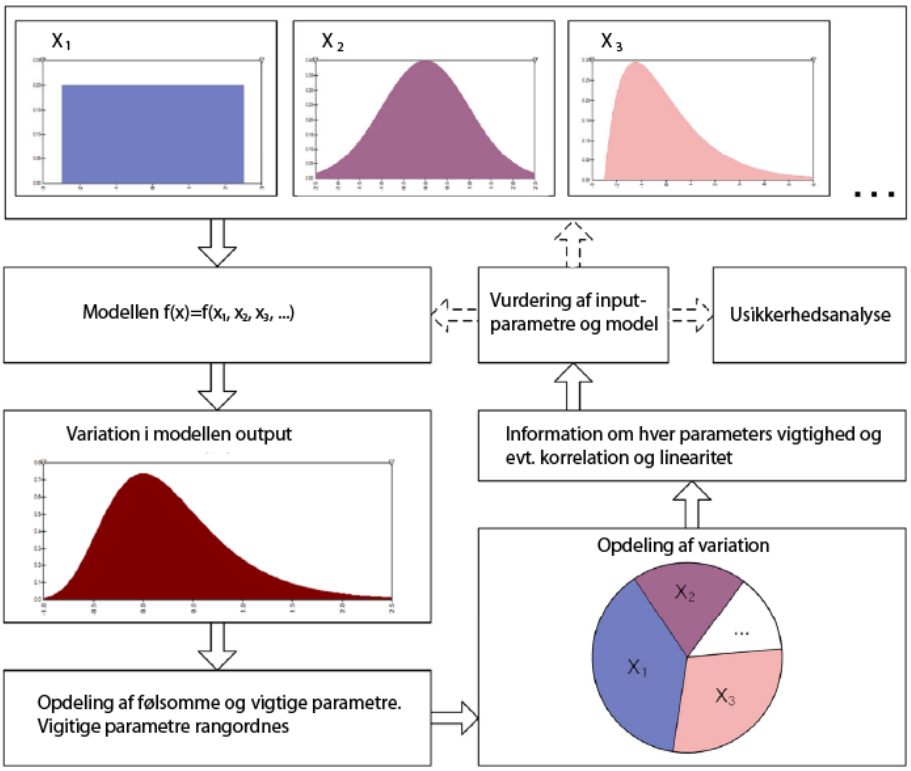
5. Generering af en sammensætning af inputparametrene, i overensstemmelse med den valgte analyse metode.

6. Simulering af modellen med den angivne kombination af inputparametre.

7. Analyse af modellens output.

8. Vurdering af resultatet.

I de tilfælde hvor formålet med analysen ikke er opfyldt efter end proces, gentages processen. Her vurderes modellen samt fordelingsfunktionerne, og der foretages ændringer, se figur N.2. En sensitivitetsanalyse kan dermed betragtes som en iterativ proces. Figur N.6 giver et illustrativ billede af fremgangsmåden. Fremgangsmåden kan være forskellig fra metode til metode, hvor der i figuren er forsøgt at illustrere en generel fremgangsmåde.



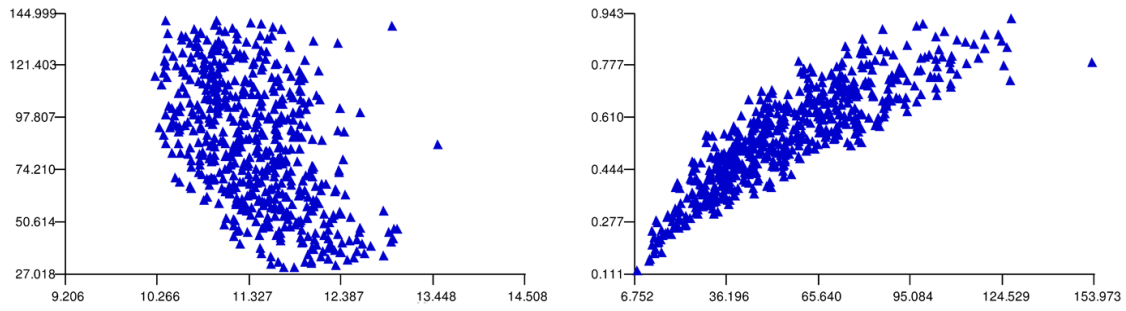
Figur N.6 – *Illustrativ fremgangsmåde for sensitivitetsanalyser, efter [Bendtsen og Sørensen, 2005]*

N.3.4 Sensitivitetsanalyser ved anvendelse af randomiserede samplingsmetoder

Til evaluering af inputparametrenes indflydelse på modellens output, er det nødvendigt at anvende sensitivitetsanalysemetoder, som kan evaluere usikkerheden, når forskellige fordelingsfunktioner for inputparametrene er anvendt. Følgende vil forskellige metoder blive beskrevet, både kvalitative og kvantitative. De beskrevne metoder er alle metoder som kan benyttes i Simlab.

Scatterplots

Scatterplots er den mest enkle metode til at foretage en global sensitivitetsanalyse. Scatterplots er en kvalitativ analyse til bestemmelse af hvor indflydelsesrig de enkelte inputparametre er på modellens output. Metoden er baseret på at plotte outputtet, y_i, mod hver inputværdi, x_{ij}, for hver inputparameter, x_i, hvor $j = 1, 2, \ldots, k$ og $i = 1, 2, \ldots, m$ hvor m = antal simuleringer og k = antal parametre. Udover hurtigt at kunne bestemme den kvalitative korrelation mellem input og output, er det muligt, at evaluere hvorvidt der er en lineær eller ikke-lineær sammenhæng. Dog er ulempen ved anvendelse af scatterplots, at det er nødvendigt med et stort antal simuleringer for at kunne illustrere sammenhængen. Figur N.7 viser et eksempel på scatterplots.



Figur N.7 – *Eksempel på et scatterplot*

Pearson product moment correlation coefficient - PEAR

Metoden er et kvantitativt estimat af korrelationen mellem inputdata og outputdata. Til at estimere korrelationen anvendes en lineær korrelationskoefficient, r, dvs. jo højere værdi af r jo større er korrelationen. Korrelationenskoefficienten hedder "Pearsons product moment correlation coefficient"og anvender inputværdier og outputværdier til at beregne korrelationskoefficienten. Korrelationskoefficienten, r, er givet ved:

$$r_{x_j,y} = \frac{\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - \overline{x}_j)(y_i - \overline{y})}{\left[\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - \overline{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^{m} (y_i - \overline{y})^2\right]^{0,5}} \qquad \overline{y} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} y_i \qquad \overline{x}_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \tag{N.6}$$

En negativ værdi for korrelationskoefficienten indikerer at korrelationen er invers. Ulempen ved denne korrelationskoefficient er antagelsen om linearitet mellem input og output. Derudover er det nødvendigt med et stort antal simuleringer for et evaluere korrelationskoeffienten.

Spearman coefficient - SPEA

Ved ikke-lineære modeller kan Spearman koefficient, SPEA, anvendes. Princippet i SPEA er den samme som ved PEAR, dog anvender SPEA rankering for x_{ij} og y_i og ikke de faktiske værdier. For at anvende denne metode er det nødvendigt at følgende to forudsætninger er opfyldt: [Saltelli et al., 2004a]

1. Både x_{ij} og y_i er tilfældige værdier fra deres respektive populationer
2. Måleskalaen for begge variable er ordenstal

Ved at foretage en rankering af x_{ij} og y_i lineariseres den ikke lineære sammenhæng mellem de variable og reducerer ekstreme værdier. [Helton og Iman, 1982] Rankeringsmetoden er beskrevet i [Iman og Conover, 1979], som har fundet at metoden stemmer godt overens hvis outputtet er en monoton funktion af inputdataene. Hovedprincippet i rankeringsmetoden er:

"If there are n observations on the dependent variable Y, these observations are replaced by their corresponding ranks 1 to n, where $R(y_i)$ is the rank assigned to the i'th value of Y. Likewisw, each of the independent variables X_j, j=1,...,k is replaced with its corresponding ranks 1 to n. Ties are handled by assigning averages ranks"[Helton og Iman, 1982]

SPEA er givet ved, hvor R indikerer transformationen som erstatter de faktiske værdier med deres rankering: [European Commission - IPSC, 2008]

$$SPEA(x_{ij}, y_i) = PEAR(R(x_{ij}), R(y_i)) \tag{N.7}$$

Standardiseret regressionsanalyse - SRC/SRRC

En standardiseret regressionsanalyse er en mere kvantitativ metode til at bestemme korrelationen mellem input og output. Den generaliserede form af regressionsligningen er givet ved ligning N.8: [Hamby, 1994]

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^{k} (b_j \cdot x_{ij}) + \varepsilon_i \tag{N.8}$$

I ovenstående ligning er y_i outputtet for simulering i, hvor $i = 1, \ldots, m$ og m er antal simuleringer. Koefficienterne b_j, hvor $j = 1, \ldots, k$ og k er antal inputparametre, skal bestemmes for at opsætte den lineære regression og ε er fejlemarginen i modellen. Når alle koefficienterne er bestemt, b_j'erne, kan de anvendes til at indikere, hvor indflydelsesrige de enkelte inputparametre er med respekt til usikkerheden i outputtet. Det er indlysende at en model, som indeholder mange sensitive parametre, resulterer i en kompleks regressionsligning. [European Commission - IPSC, 2008]

I det følgende vil der blive gjort kort rede for, hvordan b_j kan findes ved hjælp af mindste kvadraters metode. Redegørelsen vil ske på baggrund af en model med én inputparameter, x. Den lineære regressionsmodel er opstillet i ligning N.9, hvor fejlmarginen er givet ved ligning N.10.

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_i + \varepsilon_1 \tag{N.9}$$

$$\varepsilon_1 = \overline{y}_i - y_i \tag{N.10}$$

Ved brug af mindste kvadraters metode findes b_0 og b_1 ved at minimere summen af fejlmarginens kvadrat. Objektfunktionen, som opsættes, er: [Ayyub og McCuen, 2003]

$$F = \min \sum_{i=1}^{m} (\varepsilon_i)^2 = min \sum_{i=1}^{m} (\overline{y}_i - y_i)^2 = \min \sum_{i=1}^{m} (b_0 + b_1 \cdot x_i - y_i)^2$$

b_0 og b_1 kan nu findes. [Ayyub og McCuen, 2003]

$$\left.\begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial b_0} = 2 \sum_{i=1}^{m} (b_0 + b_1 \cdot x_i - y_i) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial b_1} = 2 \sum_{i=1}^{m} (b_0 + b_1 \cdot x_i - y_i)\, x_i = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m} (x_i \cdot y_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} (x_i) \sum_{i=1}^{m} (y_i)}{\sum_{i=1}^{m} \left(x_i^2\right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{m} (x_i) \right)^2} \\ b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m} y_i}{n} - b_1 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i}{n} \end{array}\right.$$

Ovenstående formler kan udvides til at indeholde ligning N.9, således et vilkårligt antal inputparametre kan anvendes. Ved at antage at alle regressionskoefficienterne er fundet, kan regressionsmodellen omskrives til ligning N.11: [European Commission - IPSC, 2008]

$$\frac{(y - \overline{y})}{\hat{s}} = \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{b_j \cdot \hat{s}_j}{\hat{s}} \right) \frac{x_j - \overline{x}_j}{\hat{s}_j} \tag{N.11}$$

$$\overline{y} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{y_i}{m} \right), \qquad \overline{x} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{x_i}{m} \right)$$

$$\hat{s} = \left[\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{(y_i - \overline{y}_i)^2}{m-1} \right) \right]^{0,5}, \qquad \hat{s}_j = \left[\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{(x_{ij} - \overline{x}_j)^2}{m-1} \right) \right]^{0,5}$$

Koefficienten $\frac{b_j \cdot \hat{s}_j}{\hat{s}}$ er den standardiserede regressions koefficient, SRC, hvor $\hat{s}$ er den standardiserede afvigelse af outputtet og $\hat{s}_j$ er den standardiserede afvigelse af inputtet. [Hamby, 1994] Ved anvendelse af regressionsanalyser er det ligeledes vigtigt at betragte den totale varians for modellen, R_y^2. Den totale varians er givet ved, hvor $\hat{y}_i$ indikerer den estimerede værdi af y_i fra regressionsmodellen:

$$R_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m} (\hat{y}_i - \overline{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{m} (y_i - \overline{y}_i)^2}$$

På samme måde som SPEA, kan SRC anvendes ved at udføre mindste kvadraters metode ved at benytte rankeringen af input og output. Rankeringsmetoden er nærmere beskrevet i foregående afsnit. Hermed opnås en regressionsligning som udtrykker $R(x_i)$ ved $R(x_k)$. Den standardiserede rankeringsregressionskoefficient, SRRC, har ofte en højere værdi for den totale varians, R_y^2. SRRC har ligeledes vist de bedste resultater ved monotone modeller. [European Commission - IPSC, 2008]

Partialkorrelationskoefficient - PCC/PRCC

Den partielle korrelationskoefficient, PCC, er også en kvantitativ sensitivitetsanalyse. PCC har den egenskab at den tager højde for eventuelle korrelationer mellem de forskellige inputparametre. Koefficienten er baseret på korrelationskonceptet og partielkorrelation. Til beregning af PCC konstrueres først to regressionsmodeller: [Saltelli et al., 2004a]

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{h \neq j} b_h \cdot x_h \qquad , \qquad \hat{x}_j = c_0 + \sum_{h \neq j} c_h \cdot x_h$$

Resultatet af de to regressioner anvendes til at definere nye variable; $\bar{y} - \hat{y}$ og $\bar{x}_j - \hat{x}_j$. Partialkorrelationskoefficient mellem input og output, dvs. mellem $\bar{x}_j$ og $\bar{y}$, er defineret som korrelationskoefficienten mellem $\bar{y} - \hat{y}$ og $\bar{x}_j - \hat{x}_j$, der beregnes ved hjælp af ligning N.6. PCC giver altså en kvantitativ analyse af den lineære korrelation mellem outputtet og et givent input efter at have taget højde for eventuelle korrelationer inputparametrene imellem. [Saltelli et al., 2004a]

Ved en model med output variablen y og to vilkårlige inputparametre x_1 og x_2 kan ligningen for PCC opstilles, når korrelationen mellem y og x_1 ønskes at findes. [Hamby, 1994]

$$r_{x_1 y|x_2} = \frac{r_{x_1 y} - r_{x_1 x_2} \cdot r_{x_2 y}}{\sqrt{\left(1 - r_{x_1 x_2}^2\right)\left(1 - r_{x_2 y}^2\right)}} \tag{N.12}$$

Hvor $r_{x_1 y|x_2}$ er korrelationskoefficienten for x_1 og y, mens den tager højde for en eventuel korrelation mellem x_1 og x_2. Hvis det antages, at der ikke er en korrelation mellem de to

inputparametre, hvorfor $r_{x_1 y|x_2} = 0$, kan ligning N.12 reduceres til ligning N.13. [Hamby, 1994]

$$r_{x_1 y|x_2} = \frac{r_{x_1 y}}{\sqrt{(1 - r^2_{x_2 y})}} \tag{N.13}$$

Det skal bemærkes, at rankering baseret på partialkorrelationskoefficienten er den samme som rankeringen baseret på korrelationsfaktoren ligning N.6. Ved sensitivitetsrankering hvor ingen korrelation imellem inputparametrene forekommer, er det altså ikke nødvendigt at foretage en beregning af den partielle korrelationskoefficient. [Hamby, 1994]

Ved at foretage en rankering af x_{ij} og y_i lineariseres den ikke-lineære sammenhæng mellem de variable og reducere ekstreme værdier, hvorved rankeringen anvendes og ikke de faktiske værdier for x_{ij} og y_i. Den partielle rankeringskorrelationskoefficient benævnes PRCC. [Hamby, 1994] PRCC viser sig, ligesom SRCC, at passe bedst til monotone funktioner. [European Commission - IPSC, 2008]

Bilag O

Makroer

Bilaget gennemgår makroerne bag de seks simuleringsknapper i SiByB regnearket, hvor overskriften i hvert afsnit er navnet på simuleringsknappen i SiByB

O.1 Hent samples

```
Sub loadsample()
'
' loadsample Makro
    Sheets("samples").Select

    Cells.Select
    Selection.ClearContents
    Range("A1").Select

    With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _
        "TEXT;C:\SiByB\samples.sam"_
        , Destination:=Range("$A$1"))
        .Name = "samples"
        .FieldNames = True
        .RowNumbers = False
        .FillAdjacentFormulas = False
        .PreserveFormatting = True
        .RefreshOnFileOpen = False
        .RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
        .SavePassword = False
        .SaveData = True
        .AdjustColumnWidth = True
        .RefreshPeriod = 0
        .TextFilePromptOnRefresh = False
        .TextFilePlatform = 850
        .TextFileStartRow = 1
        .TextFileParseType = xlDelimited
        .TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
        .TextFileConsecutiveDelimiter = False
```

```
        .TextFileTabDelimiter = True
        .TextFileSemicolonDelimiter = False
        .TextFileCommaDelimiter = False
        .TextFileSpaceDelimiter = False
        .TextFileColumnDataTypes = Array(1)
        .TextFileTrailingMinusNumbers = True
        .Refresh BackgroundQuery:=True
    End With
    Sheets("SIMULERING").Select
End Sub
```

O.2 Termisk oplevelse; aktuel indtastning

```
Sub pmv_sim_ark()
'
' pmv_sim_ark Makro
'
'Januar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E3").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E24").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E190").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E23").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E13").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E12")
'Februar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E208").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E50").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E210").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E49").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E39").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E38")
'Marts
    Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E413").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E76").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E230").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E75").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E65").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E64")
'April
    Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E618").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E102").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E250").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E101").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E91").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E90")
'Maj
     Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E823").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
```

```
    Range("E128").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E270").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E127").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E117").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E116")
'Juni
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1028").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E154").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E290").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E153").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
    Range("E143").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E142")
'Juli
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1233").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E180").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E310").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E179").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E169").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E168")
'August
     Sheets("termisk_sommer").Select
```

```
    Range("E1438").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E206").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E330").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E205").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E195").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E194")
'September
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1643").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E232").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E350").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E231").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E221").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E220")
'Oktober
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1848").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E258").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E370").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E257").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
    Range("E247").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E246")
'November
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E2053").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E284").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E390").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E283").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E273").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E272")
'December
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E2258").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
   Range("E310").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E410").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E309").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E299").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E298")
Sheets("SIMULERING").Select
'
 End Sub
```

O.3 Simulering kun indeklima med termisk oplevelse

```
Sub Simulering()
'
' Simulering Makro
'
 Dim i As Integer
```

```
Sheets("SIMULERING").Select
i = Sheets("Simulering").Range("E4") - 1

' Sletter alt forrige data

    Sheets("resultater_som_vin").Select

    Range("BR6:DJ1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DL6:DL1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DN6:DN1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DP6:DP1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DR6:DR1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DT6:DT1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("FC6:FC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("FR6:GC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("HD6:HO1000000").Select
    Selection.ClearContents
Do

i = i + 1
    Sheets("SIMULERING").Select
    Range("E4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = i
'PMV beregning

'Januar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E3").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E24").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E190").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
```

```
    Range("E23").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E13").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E12")
'Februar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E208").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E50").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E210").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E49").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E39").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E38")
'Marts
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E413").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E76").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E230").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E75").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E65").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E64")
' 'April
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E618").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E102").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E250").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E101").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E91").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E90")
'Maj
     Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E823").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E128").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E270").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E127").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E117").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E116")
'Juni
     Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E1028").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E154").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_ som").Select
    Range("E290").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E153").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
    Range("E143").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E142")
'Juli
     Sheets("termisk_ sommer").Select
    Range("E1233").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
```

```
    Range("E180").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E310").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E179").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E169").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E168")
'August
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1438").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E206").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E330").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E205").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E195").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E194")
'September
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1643").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E232").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E350").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E231").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E221").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E220")
'Oktober
     Sheets("termisk_sommer").Select
```

```
    Range("E1848").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E258").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E370").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E257").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E247").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E246")
'November
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E2053").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E284").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E390").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E283").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E273").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E272")
'December
     Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("E2258").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
   Range("E310").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E410").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E309").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
    Range("E299").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E298")
    Sheets("resultater_som_vin").Select
'Kopierer resultater
    Range("Y6:BO6").Select
    Selection.Copy
    Range("BR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("Y16:AJ16").Select
    Selection.Copy
    Range("FR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("Y22:AJ22").Select
    Selection.Copy
    Range("HD"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Loop Until Sheets("Simulering").Range("E4") = Sheets("Simulering").Range("E1")
'
'kopierer resultater til grafer og sorterer!

    Sheets("resultater_som_vin").Select

    Range("BW6:BW10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DJ6").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
        Range("DJ6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
        .SetRange Range("DJ6:DJ10000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Range("BX6:BX10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DL6").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DL6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DL6:DL10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BS6:BS10000").Select
Selection.Copy
Range("DN6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DN6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DN6:DN10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BT6:BT10000").Select
Selection.Copy
Range("DP6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DP6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DP6:DP10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
```

```
    .Apply
End With

Range("BU6:BU10000").Select
Selection.Copy
Range("DR6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DR6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DR6:DR10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BV6:BV10000").Select
Selection.Copy
Range("DT6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DT6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DT6:DT10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BR6:BR10000").Select
Selection.Copy
Range("FC6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("FC6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
```

```
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
        .SetRange Range("FC6:FC10000")
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Sheets("SIMULERING").Select
'
End Sub
```

O.4 Simulering kun energi

```
Sub sim_ener()

Dim i As Integer

Sheets("SIMULERING").Select
i = Sheets("Simulering").Range("E4") - 1

' Sletter alt forrige data

     Sheets("Resultater energi").Select

    Range("J23:O1000000").Select
    Selection.ClearContents

    Range("S23:X1000000").Select
    Selection.ClearContents

    Range("AT23:BE1000000").Select
    Selection.ClearContents

Do

i = i + 1
    Sheets("SIMULERING").Select
    Range("E4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = i

    Sheets("Resultater energi").Select
'Hele huset
' output

    Range("B23:G23").Select
    Selection.Copy
    Range("J"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
    Range("E160:p160").Select
    Selection.Copy
    Range("AT"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Loop Until Sheets("Simulering").Range("E4") = Sheets("Simulering").Range("E1")
'


    Sheets("Resultater energi").Select

    Range("J23:O10000").Select
    Selection.Copy
    Range("S23").Select
    ActiveSheet.Paste

    Range("S23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("S23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("S23:S1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

    Range("T23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("T23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("T23:T1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

    Range("U23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("U23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("U23:U1000000")
        .Header = xlNo
```

```
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

    Range("V23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("V23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("V23:V1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

    Range("W23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("W23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("W23:W1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

    Range("X23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode =False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("X23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    =End With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("X23:X1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase =False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    =End With

Sheets("SIMULERING").Select

End Sub
```

O.5 Simulering SiByB uden termisk oplevelse

```
Sub SiByB()
'
' SiByB Makro
'
'opretter resultat ark
    Sheets.Add
    ActiveSheet.Name = "resen"

    Range("B1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "6"
    Range("B2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Totalt"
    Range("B3").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Rumopvarmning"
    Range("B4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Koeling"
    Range("B5").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Elforbrug"
    Range("B6").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "VarmtBrugsvand"
    Range("B7").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Overtemp"
    Range("B8").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Time = no"
    Range("B9").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = Sheets("Simulering").Range("E1")

    Sheets.Add
    ActiveSheet.Name = "resin"

    Range("B1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "18"
    Range("B2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "EffektVarmeanlaeg
    Range("B3").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "EffektVarmeflade
    Range("B4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_jan"
    Range("B5").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_feb"
    Range("B6").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_jul"
    Range("B7").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_aug"
    Range("B8").Select
```

```
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_jan"
    Range("B9").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_feb"
    Range("B10").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_jul"
    Range("B11").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_aug"
    Range("B12").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_jan"
    Range("B13").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_feb"
    Range("B14").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_jul"
    Range("B15").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_aug"
    Range("B16").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_maj"
    Range("B17").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_jun"
    Range("B18").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_jul"
    Range("B19").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_aug"
    Range("B20").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Time = no"
    Range("B21").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = Sheets("Simulering").Range("E1")

Dim i As Integer

Sheets("SIMULERING").Select
i = Sheets("Simulering").Range("E4") - 1

' Sletter alt forrige data

    Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("BR6:DH1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DL6:DL1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DN6:DN1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DP6:DP1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DR6:DR1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DT6:DT1000000").Select
    Selection.ClearContents
```

```
    Range("FC6:FC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("FR6:FC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("HD6:HO1000000").Select
    Selection.ClearContents

    Sheets("Resultater energi").Select<
    Range("J23:O1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("S23:X1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("AT23:BE1000000").Select
    Selection.ClearContents

Do

i = i + 1
    Sheets("SIMULERING").Select
    Range("E4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = i

    Sheets("resultater_som_vin").Select
'Kopierer indeklima
    Range("Y6:BC6").Select
    Selection.Copy
    Range("BR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("Y16:BC16").Select
    Selection.Copy
    Range("FR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("Y22:BC22").Select
    Selection.Copy
    Range("HD"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("Resultater energi").Select
' Kopierer energi
    Range("B23:G23").Select
```

```
    Selection.Copy
    Range("J"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("RESULTAT").Select
    Range("E160:P160").Select
    Selection.Copy
    Range("AT"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    loop until Sheets("Simulering").Range("E4") = Sheets("Simulering").Range("E1")
'
'kopiere til resultatgrafer og sorterer
'indeklima
 Sheets("resultater_som_vin").Select

    Range("BW6:BW10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DJ6").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
        Range("DJ6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
        .SetRange Range("DJ6:DJ10000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Range("BX6:BX10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DL6").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
        Range("DL6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
```

```
    .SetRange Range("DL6:DL10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BS6:BS10000").Select
Selection.Copy
Range("DN6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DN6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DN6:DN10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BT6:BT10000").Select
Selection.Copy
Range("DP6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DP6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DP6:DP10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BU6:BU10000").Select
Selection.Copy
Range("DR6").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DR6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DR6:DR10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BV6:BV10000").Select
Selection.Copy
Range("DT6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DT6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DT6:DT10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BR6:BR10000").Select
Selection.Copy
Range("FC6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("FC6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("FC6:FC10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
```

```
    End With

'energi

    Sheets("Resultater energi").Select

    Range("J23:O10000").Select
    Selection.Copy
    Range("S23").Select
    ActiveSheet.Paste

    Range("S23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("S23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("S23:S1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Range("T23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
        ("T23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("T23:T1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Range("U23").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
```

```
    ("U23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("U23:U1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("V23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("V23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("V23:V1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("W23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("W23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("W23:W1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("X23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
```

```
        ("X23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
        .SetRange Range("X23:X1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

'kopier resultater til til resultatfil

'energi
     Range("J23:O200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resen").Select
    Range("B10").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\ SiByB\ resultatenergi.txt", FileFormat:= _
        xlTextMSDOS, CreateBackup:=False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

'indeklima
     Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("BU6:BV200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resin").Select
    Range("B21").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("FR6:FS200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resin").Select
    Range("D21").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("FX6:FY200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("F21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("BY6:BZ200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("H21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("CE6:CF200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("J21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("HD6:HE200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("L21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("HJ6:HK200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("N21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
```

```
    :=False, Transpose:=False

  Sheets("resultater_som_vin").Select
  Range("CO6:CR200000").Select
  Selection.Copy

  Sheets("resin").Select
  Range("P21").Select

  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

  ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\SiByB\resultatindeklima.txt", FileFormat:=_
    xlTextMSDOS, CreateBackup:=False
  ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

Sheets("SIMULERING").Select

End Sub
```

O.6 Simulering SiByB med termisk oplevelse

footnotesize

```
Sub SiByB_PMV()
'
' SiByB_PMV Makro
'
'opretter resultat ark
    Sheets.Add
  ActiveSheet.Name = "resen"

  Range("B1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "6"
  Range("B2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Totalt"
  Range("B3").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Rumopvarmning"
  Range("B4").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Koeling"
  Range("B5").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Elforbrug"
  Range("B6").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "VarmtBrugsvand"
  Range("B7").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Overtemp"
  Range("B8").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Time = no"
```

```
Range("B9").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = Sheets("Simulering").Range("E1")

Sheets.Add
ActiveSheet.Name = "resin"

Range("B1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "18"
Range("B2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "EffektVarmeanlaeg
Range("B3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "EffektVarmeflade
Range("B4").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_jan"
Range("B5").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_feb"
Range("B6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_jul"
Range("B7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "CO2_aug"
Range("B8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_jan"
Range("B9").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_feb"
Range("B10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_jul"
Range("B11").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "RF_aug"
Range("B12").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_jan"
Range("B13").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_feb"
Range("B14").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_jul"
Range("B15").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lugt_aug"
Range("B16").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_maj"
Range("B17").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_jun"
Range("B18").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_jul"
Range("B19").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp_aug"
Range("B20").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Time = no"
Range("B21").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = Sheets("Simulering").Range("E1")
```

```
Dim i As Integer

Sheets("SIMULERING").Select

i = Sheets("Simulering").Range("E4") - 1

' Sletter alt forrige data

    Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("BR6:DH1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DL6:DL1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DN6:DN1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DP6:DP1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DR6:DR1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("DT6:DT1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("FC6:FC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("FR6:GC1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("HD6:HO1000000").Select
    Selection.ClearContents

    Sheets("Resultater energi").Select
    Range("J23:O1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("S23:X1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("AT23:BE1000000").Select
    Selection.ClearContents
    Range("BU23:CF1000000").Select
    Selection.ClearContents

do
i = i + 1
    Sheets("SIMULERING").Select
    Range("E4").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = i
'Beregner PPD
'Januar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
```

```
    Range("E3").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E24").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E190").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E23").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
         :=False, Transpose:=False
    Range("E13").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E12")
'Februar
'Kopierer lufttemperaturen ind i beregningen som værdi. Derefter laves målsøgning således PMV-værdien findes
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E208").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E50").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E210").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E49").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E39").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E38")
'Marts
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E413").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E76").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E230").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E75").Select
```

```
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E65").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E64")
'April
    Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E618").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E102").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E250").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E101").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E91").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E90")
'Maj
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E823").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E128").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E270").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E127").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E117").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E116")
'Juni
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1028").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E154").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E290").Select
```

```
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E153").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
    Range("E143").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E142")
'Juli
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1233").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E180").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E310").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E179").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E169").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E168")
'August
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1438").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E206").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E330").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E205").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E195").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E194")
'September
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1643").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E232").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
```

```
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E350").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E231").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E221").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E220")
'Oktober
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E1848").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E258").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E370").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E257").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E247").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E246")
'November
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E2053").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E284").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E390").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E283").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E273").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E272")
'December
     Sheets("termisk_sommer").Select
    Range("E2258").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
```

```
    Range("E310").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("atmosfærisk_som").Select
    Range("E410").Select
    Selection.Copy
    Sheets("PMV").Select
    Range("E309").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("E299").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("E298")
    Sheets("resultater_som_vin").Select
'Kopierer indeklima
     Range("Y6:BO6").Select
    Selection.Copy
    Range("BR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("Y16:AJ16").Select
    Selection.Copy
    Range("FR"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("Y22:AJ22").Select
    Selection.Copy
    Range("HD"& i + 5).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("Resultater energi").Select
' Kopierer energi

    Range("B23:G23").Select
    Selection.Copy
    Range("J"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("E160:P160").Select
    Selection.Copy
    Range("AT"& i + 22).Select
```

```
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Range("BG23:BR23").Select
    Selection.Copy
    Range("BU"& i + 22).Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    loop until Sheets("Simulering").Range("E4") = Sheets("Simulering").Range("E1")

'kopiere til resultatgrafer og sorterer
'indeklima
     Sheets("resultater_som_vin").Select

    Range("BW6:BW10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DJ6").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
        Range("DJ6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
        .SetRange Range("DJ6:DJ10000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

    Range("BX6:BX10000").Select
    Selection.Copy
    Range("DL6").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
        Range("DL6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
        .SetRange Range("DL6:DL10000")
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
```

```
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BS6:BS10000").Select
Selection.Copy
Range("DN6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DN6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DN6:DN10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BT6:BT10000").Select
Selection.Copy
Range("DP6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DP6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DP6:DP10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BU6:BU10000").Select
Selection.Copy
Range("DR6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
```

```
    Range("DR6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DR6:DR10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BV6:BV10000").Select
Selection.Copy
Range("DT6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("DT6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("DT6:DT10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("BR6:BR10000").Select
Selection.Copy
Range("FC6").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("FC6"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("resultater_som_vin").Sort
    .SetRange Range("FC6:FC10000")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

'energi
```

```
Sheets("Resultater energi").Select

Range("J23:O10000").Select
Selection.Copy
Range("S23").Select
ActiveSheet.Paste

Range("S23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("S23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("S23:S1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("T23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("T23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("T23:T1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("U23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("U23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
```

```
    .SetRange Range("U23:U1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("V23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("V23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("V23:V1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("W23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("W23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
    .SetRange Range("W23:W1000000")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

Range("X23").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort.SortFields.Add Key:=Range _
    ("X23"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Resultater energi").Sort
```

```
        .SetRange Range("X23:X1000000")
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

'kopier resultater til til resultater
'energi
     Range("J23:O200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resen").Select
    Range("B10").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\SiByB\resultatenergi.txt", FileFormat:= _
        xlTextMSDOS, CreateBackup:=False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

'indeklima
     Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("BU6:BV200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resin").Select
    Range("B21").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("FR6:FS200000").Select
    Selection.Copy

    Sheets("resin").Select
    Range("D21").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    Sheets("resultater_som_vin").Select
    Range("FX6:FY200000").Select
    Selection.Copy
```

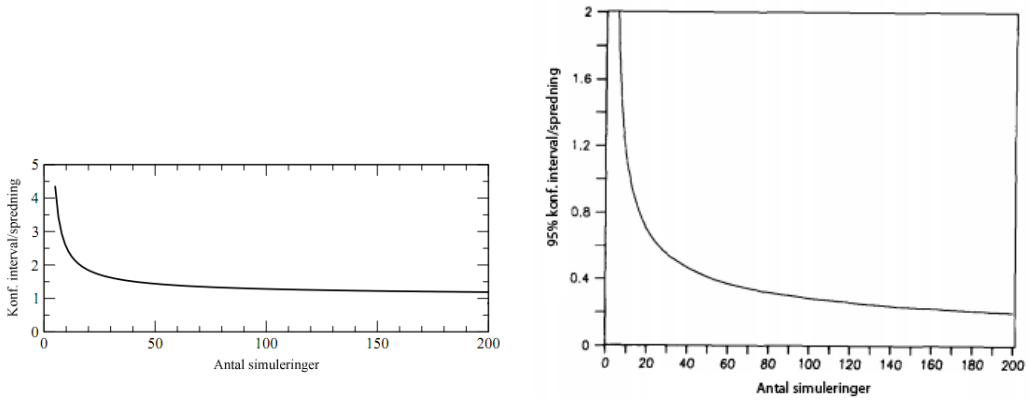
```
Sheets("resin").Select
Range("F21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("BY6:BZ200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("H21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("CE6:CF200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("J21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("HD6:HE200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("L21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("HJ6:HK200000").Select
Selection.Copy

Sheets("resin").Select
Range("N21").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Sheets("resultater_som_vin").Select
Range("CO6:CR200000").Select
```

```
    Selection.Copy

    Sheets("resin").Select
    Range("P21").Select

    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

    ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\ SiByB\ resultatindeklima.txt", FileFormat:=_
        xlTextMSDOS, CreateBackup:=False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

Sheets("SIMULERING").Select

End Sub
```

Bilag **P**

Nødvendig antal simuleringer

For at sikre at alle inputparametrenes variationsområder bliver dækket, vil der i det følgende blive givet et overslag over det nødvendige antal samples i en SiByB simulering ved brug af latin hypercube samplingsmetoden. Saltelli et al. [2004a] mener at der opnås stabile resultater efter 50-200 simuleringer, mens Lomas og Eppel [1992] og Macdonald [2002] har undersøgt at der efter 60-80 simuleringer kun sker marginale forbedringer, men afhængig af modellen. Figur P.1 viser det normaliserede konfidensinterval af standardafvigelsen for [Saltelli et al., 2004a] henholdsvis [Lomas og Eppel, 1992].



(a) Det normaliserede konfidensinterval af standardafvigelsen som funktion af antallet af simuleringer, efter [Saltelli et al., 2004a]

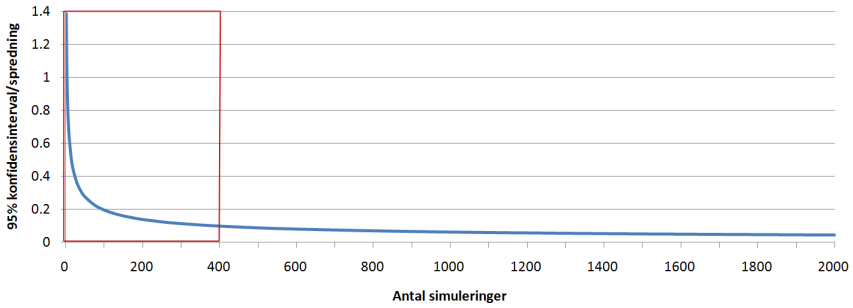
(b) Det normaliserede konfidensinterval af standardafvigelsen som funktion af antallet af simuleringer, efter [Lomas og Eppel, 1992]

Figur P.1 – *Normaliseret konfidensinterval*

Samme undersøgelse er foretaget på SiByB simuleringen for at sikre at alle inputparametrenes variationsområder bliver dækket. Simuleringer med forskellige samplestørrelser er udført, hvorefter de tilhørende normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensintervaller er fundet. Formel P.1 viser beregningen af konfidensintervallet.

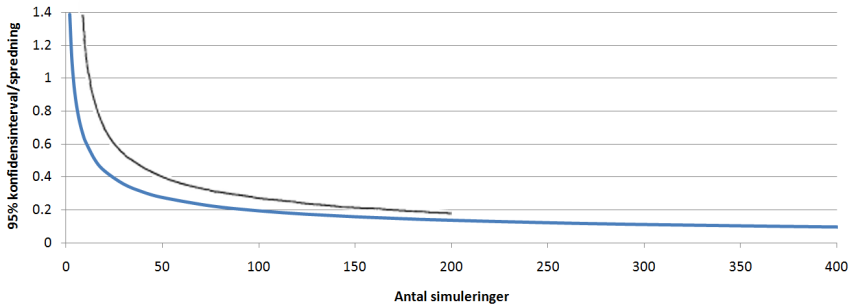
$$K = \frac{2 \cdot Z_{\alpha/2} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)}{\sigma} \tag{P.1}$$

Figur P.2 viser sammenhængen mellem det normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensinterval af standardafvigelsen som funktion af antallet af simuleringer for det totale energiforbrug beregnet ved hjælp af SiByB-regnearket. I figur P.2 er det normaliserede konfidensinterval vist for op til 2000 simuleringer.



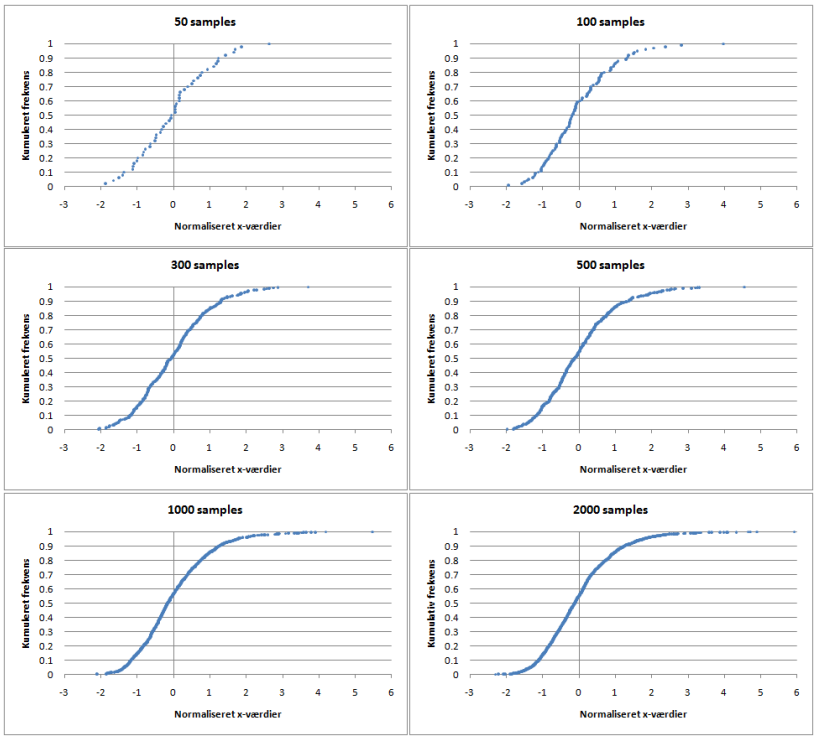
Figur P.2 – *Det normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensinterval af standardafvigelsen som funktion af antallet af simuleringer for det totale energiforbrug*

Ud fra figuren er det klart at efter 500 simuleringer, er det kun en minimal forbedring der opnås ved at øge antallet af simuleringerne. Figur P.3 viser relationen der på figur P.2 er markeret med rød. Ydermere det normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensinterval fra Lomas og Eppel [1992] indtegnet. Det ses ud fra figuren at det normaliserede 95% konfidensinterval for energiberegningen i SiByB stabiliseres ved et lavere antal simuleringer end det pågældende for Lomas og Eppel [1992]. Den blå linje viser det normaliserede konfidensinterval for energiberegningen i SiByB.



Figur P.3 – *Det normaliserede konfidensinterval af standardafvigelsen som funktion af antallet af simuleringer. Den sorte linje er fra [Lomas og Eppel, 1992], mens den blå linje er fra energiberegningen i SiByB.*

Samme undersøgelse er foretaget for indeklimaberegningerne i SiByB, som viser samme resultat. Beregning af det normaliserede konfidensinterval viser at en halvering af det normaliserede konfidensinterval kræver at antallet af simuleringer forøges med en faktor 4. SiByB-simuleringer foretaget i denne rapport foretages med 500 simuleringer, da denne antages at opnå et tilfredsstillende resultat. Figur P.4 viser normaliserede normalfordelinger for energiberegninger i SiByB for forskellige simuleringer med forskellig samplestørrelser. Figuren viser samme tendens som det normaliserede dobbeltsidet 95% konfidensintervaller vist i figur P.2, nemlig at der kun sker marginale forbedringer over 500 simuleringer.



Figur P.4 – *Normaliserede normalfordelinger for simuleringer med forskellig samplestørrelser*

Kolmogorov-Smirnov tests er kørt på de seks fordelinger i figuren. Tabel P.1 viser resultaterne af testene. I tabellen er den maksimale absolutte forskel mellem referencefordelingen og simuleringer benævnt KS, mens den kritiske værdi er benævnt KS_α. Testene viser at det kun er simuleringerne med 1000 og 2000 samples der ikke overholder hypotesen $KS < KS_\alpha$, da den kritiske værdi er blevet for lav grundet den høje samplesstørrelse. Testene viser dog at den maksimale absoultte forskel mellem referencefordelingen og simuleringer formindskes jo højere samplesstørelsen er. Af tabellen fremgår det ligeledes at der ikke fremkommer betydelige forbedringer i KS efter simleringer med en samplestørrelse på 5500.

Antal samples	50	100	300	500	1000	2000
Middelværdi	105,7	106,0	106,1	106,1	106,1	106,1
Spredning	13,8	15,3	16,1	16,5	16,7	16,4
KS	0,09	0,111	0,045	0,043	0,046	0,04
KS_α	0,192	0,136	0,079	0,061	0,043	0,03

Tabel P.1 – *Kolomogorov-Smirnov test kørt på de seks fordelinger vist i figur P.4. Et signifikansniveau på 0,05 er valgt*

Bilag **Q**

Case: Langøvænget 8

Dette bilag beskriver huset Langøvænget 8, den opstillede SiByB beregning gennemgåes, hvorved de respektive input parametre gennemgås.

Q.1 Opbygning af SiByB-beregning indeklimadel

Figur Q.1 - Q.3 viser inputparametrene til indeklimaberegningsdelen i SiByB. Køkkenalrummet og stuen er valgt som værende det kritiske rum, mens månedsvariable solafskærmningsfaktorer, beklædningsisolansen og temperaturforskellen mellem stråling og rumluftstemperaturen er indsat, som beskrevet i afsnit 11.3.

Inputparametre

H_{kap}		11 [W/Km^2]	Varmekapacitet for bygningen
U_{tag}	Tag	0.092 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, tag
$U_{væg}$	Ydervæg	0.117 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, kritisk rum væg
U_{gulv}	Terrændæk, nyt gulv	0.11 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, gulv
$T_{b,mek}$		168 [h/uge]	Brugstid for mekanisk ventilation
$T_{b,nat}$		168 [h/uge]	Brugstid for naturlig ventilation

Figur Q.1 *– Overordnede inputværdier til SiByB indeklimadelen for Langøvænget 8*

Inputparametre *Rum Sommer*

A_{gulv}	48.25	[m^2]	Gulvareal, kritisk rum	Rumbeskrivelse	køkkenalrum,stue
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord ?		
A_{tag}	23	[m^2]	Tagareal		
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?		
$A_{væg}$	52.3	[m^2]	Samlet areal ud til, kritisk rum		
V	142.27	[m^3]	Volumen		
L	40	[m]	Længde af kuldebroer		
Ψ	0.16	[W/m K]	Linjetab		
$\Phi_{køl}$	0	[W]	Maksimal effekt fra køleanlæganlæg		
Φ_{inst}	4	[W/m^2]	Varmetilskud fra apparater		
$t_{i,opv}$	24	[°C]	Setpunktstemperatur, opvarm		
$t_{i,ønsket}$	23	[°C]	Setpunktstemperatur, ekstra udluftning		
$t_{i,køl}$	25	[°C]	setpunktempratur, Køling		
pers	2	[stk]	Antal personer i kritisk rum		

Ventialtionsoplysninger		q_m	$q_{i,n}$	q_n	$q_{n,n}$	$q_{n,s}$	$q_{m,n}$	$q_{m,s}$
Hele huset	[l/s*m^2]	0.29	0.00	0.16	0	0.62	0	0.29

Vinduesoplysninger	Areal	A_{vindue}	Orientering	Hældning	F_c	g_{vin}	F_f	U_{vindue}	$F_{s,jan}$	$F_{s,feb}$	$F_{s,mar}$	$F_{s,apr}$	$F_{s,maj}$	$F_{s,jun}$	$F_{s,jul}$	$F_{s,aug}$	$F_{s,sep}$	$F_{s,okt}$	$F_{s,nov}$	$F_{s,dec}$
VinUV3	0.66	[m^2]	v	90	0.69	0.049	0.6	1.23	0.60	0.64	0.77	0.83	0.87	0.88	0.89	0.89	0.78	0.68	0.62	0.69
DørUV3	1.85	[m^2]	v	90	0.69	0.49	0.74	1.05	0.60	0.64	0.77	0.83	0.87	0.88	0.89	0.89	0.78	0.68	0.62	0.69
VinUV4	6.16	[m^2]	v	90	0.69	0.49	0.87	0.89	0.60	0.64	0.77	0.83	0.87	0.88	0.89	0.89	0.78	0.68	0.62	0.69
OV4,5,6,8,9	1.06	[m^2]	v	45	0.69	0.45	0.63	1.2	0.69	0.86	0.93	0.95	0.97	0.98	0.97	0.97	0.93	0.91	0.83	0.75
VinUV14	9.34	[m^2]	s	90	0.69	0.49	0.89	0.86	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72
VinUV6	6.97	[m^2]	s	90	0.69	0.49	0.87	0.89	0.30	0.50	0.91	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.76	0.30	0.33
VinUV15	4.54	[m^2]	s	90	0.69	0.49	0.82	0.95	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72

Figur Q.2 – *Inputparametre til SiByB indeklimadelen for Langøvænget 8*

Inputparametre *Rum Vinter*

A_{gulv}	48.25	[m^2]	Gulvareal, kritisk rum	Rumbeskrivelse	
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord	køkkenalrum,stue	
A_{tag}	23	[m^2]	Tagareal		
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?		
$A_{væg}$	52.3	[m^2]	Samlet areal ud til, kritisk rum		
V	142.27	[m^3]	Volumen		
L	40	[m]	Længde af kuldebroer		
Ψ	0.16	[W/m K]	Linjetab		
$\Phi_{anlæg}$	0	[W]	Maksimal effekt fra varmeanlæg		
pers	2	[stk]	Antal personer i kritisk rum		

Vinduesoplysninger	q_m	$q_{i,n}$	q_n	EL-VF	$\eta_{vgv,vinter}$	t_{ind}
Hele huset	0.29	0.00	0.16	n	0.85	18

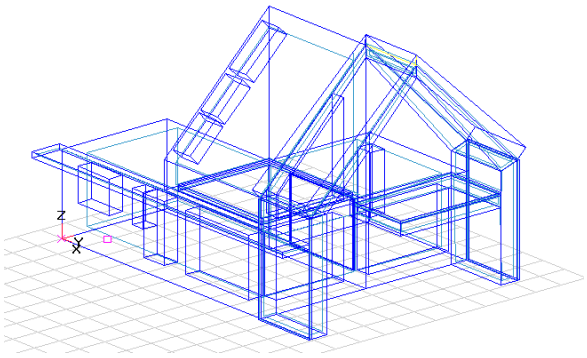
Vinduesoplysninger	Areal	A_{vindue}	U_{vindue}
VinUV3	0.66	[m^2]	1.23
DørUV3	1.85	[m^2]	1.05
DørUV3	1.85	[m^2]	1.05
OV4,5,6,8,9	1.06	[m^2]	1.2
VinUV14	9.34	[m^2]	0.86
VinUV16	2.32	[m^2]	0.92
VinUV15	4.54	[m^2]	0.95

Figur Q.3 – *Inputparametre til SiByB indeklimadelen for Langøvænget 8*

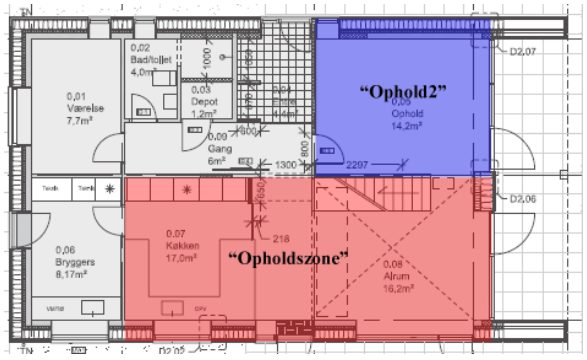
Q.2 Opbygning af BSim-model

Q.2.1 Generelt

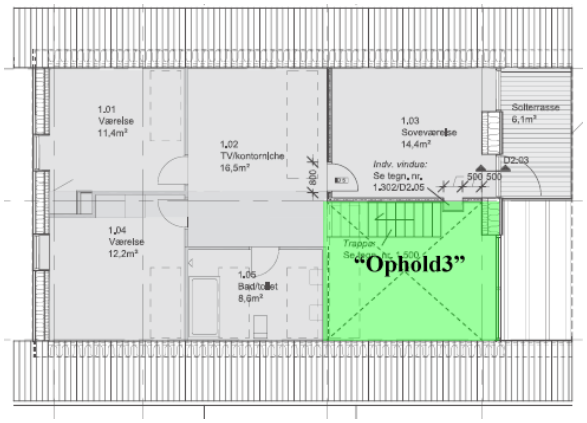
BSim modellen af Langøvænget 8 modellerer kun en enkelt del af huset, svarende til *Rum Sommer* og *Rum Vinter*. BSim modellen forefindes på Bilags-CD'en, *Langøvænget8.dis*. Modellen er opbygget med to termiske zoner med i alt tre rum, hvor den ene termiske zone indeholder køkken-alrummet og det frie rum over alrummet, mens den anden indeholder opholdsrummet i stueetagen . Opdeling af rummene er vist på figur Q.4, hvor BSim-signaturen på rummene ligeledes er vist. Opdelingen af de termiske zoner medfører at det er muligt at simulere indeklimaet i rummene, således en sammenligning med SiByB simuleringer kan foretages. I det efterfølgende gennemgåes opbygningen af konstruktionerne og systemerne i BSim modellen.



(a)



(b)



(c)

Figur Q.4 – *BSim model af Langøvænget 8. Q.4a: viser BSim model. Q.4b: Zoneinddeling for stueplan. Q.4c: Zoneinddeling for 1. etage.*

Q.2.2 Konstruktioner

Tabel Q.1 til Q.7 viser opbygningen af de forskellige konstruktionselementer i BSim modellen.

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Trægulv	0,012	0,17	1800
Glasuld	0,05	0,042	800
Beton	0,1	0,9	800
Leca	0,1	0,3	850
Samlet U-værdi: 0,26 W/m^2K			

Tabel Q.1 *– Opbygning af terrændæk i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Beton	0,1	0,35	1000
Samlet U-værdi: 1,83 W/m^2K			

Tabel Q.2 *– Opbygning af indvendige betonvægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Gipsplade	0,13	0,2	1000
Stenuld45	0,045	0,045	800
Gipsplade	0,13	0,2	1000
Samlet U-værdi: 0,0,72 W/m^2K			

Tabel Q.3 *– Opbygning af indvendige gipsvægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Beton	0,1	0,9	800
Spånplade	0,015	0,07	1800
Glasuld42	0,09	0,042	800
Glasuls36	0,21	0,036	800
Gipsplade	0,009	0,17	1000
Samlet U-værdi: 0,12 W/m^2K			

Tabel Q.4 *– Opbygning af ydervægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Beton	0,05	1,5	800
Glasuld42	0,1	0,042	800
Beton	0,05	1,5	800
Samlet U-værdi: 0,37 W/m^2K			

Tabel Q.5 *– Opbygning af etageadskillelse i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Spånplade	0,02	0,14	1800
Glasuld42	0,05	0,042	800
Glasuld36	0,025	0,036	800
Spånplade	0,02	0,14	1800
Glasuld39	0,32	0,039	800
Samlet U-værdi: 0,09 W/m^2K			

Tabel Q.6 *– Opbygning af taget i BSim modellen*

Alle vinduer i boligen består af glas med træramme. De karakteristiske værdier for vinduerne er listet i tabelform.

Materiale	**Lineær transmissionskoeff.,** Ψ_g $[W/m^2K]$	**Bredde af ramme/karm** $[m]$
Climaplus Diamant N 1,1 A Træ ramme	0,035	 0,1
U-værdi, glas	0,7 W/m^2K	
Varmetransmittans (g-værdi)	0,49	
Sollystransmittans (LT)	0,7	
Samlet U-værdi	0,80-1,2 W/m^2K	

Tabel Q.7 *– Opbygning af vinduer i BSim modellen*

Q.2.3 Systemer

Huset er ventileret med mekanisk ventilation om vinteren. I sommerperioden anvendes udelukkende indblæsning for at bypasse varmeveksleren. Om sommeren er det muligt at ventilere med naturlig ventilation, også når beboerne ikke er tilstede i hjemmet. Boligen opvarmes af et lavtemperatur fjervarmeanlæg, hvor det ligeledes er forsøgt at optimere solindfaldet for at kunne udnytte solvarmen til opvarmning. [Moe og Brødsgaard og Pluskontoret arkitekter m.a., 2010] I alt er det implementeret seks systemer i BSim modellen, se nedenstående. Det skal bemærkes, at de steder hvor intet andet er vist, er det pågældende system gældende for begge termiske zoner.

- Udstyr
- Infiltration
- Personlast
- Varmeanlæg
- Naturlig ventilation
- Ventilation

Personlast
Tabellen viser personlasten i BSim

Personlast	**Belastning**		
	man-tor	Fre	Lør-søn
Total last	40% kl. 1-6	40% kl. 1-6	40% kl. 1-6
Antal personer: 4	100% kl. 6-8	100% kl. 6-8	100% kl. 6-10
Person type:	80% kl. 17-20	80% kl. 12-20	80% kl. 10-20
Varme Gen: 0,1 kW	100% kl.21-24	100% kl.21-24	100% kl. 20-24
Fugt Gen: 0,06 kg/h			

Tabel Q.8 *– Opsætning af systemet Personlast i BSim*

Udstyr
Nedenstående viser belastningen fra udstyr i modellen.

Belastningsprofil	**Ugeprofil**	**Timeprofil**	**Udstyr** "Køkkenalrum"	**Udstyr** "Stue"
Man	100%	kl. 9, 13 og 18-22	Varmebelast 0,5kW Andel til luft 0,9	Varmebelast 0,2kW Andel til luft 0,9
Tir	100%	kl. 9, 13 og 18-22	Varmebelast 0,5kW Andel til luft 0,9	Varmebelast 0,2kW Andel til luft 0,9
Ons	0%	-	-	-
Tor	100%	kl. 9, 13 og 18-22	Varmebelast 0,5kW Andel til luft 0,9	Varmebelast 0,2kW Andel til luft 0,9
Fre	0%	-	-	-
Lør	100%	kl. 9, 13 og 18-22	Varmebelast 0,5kW Andel til luft 0,9	Varmebelast 0,2kW Andel til luft 0,9
Søn	100%	kl. 9, 13 og 18-22	Varmebelast 0,5kW Andel til luft 0,9	Varmebelast 0,2kW Andel til luft 0,9

Tabel Q.9 *– Opsætning af systemet Udstyr i BSim*

Ventilation
I modellen er ventilationsanlægget sat til at køre altid. Inputparametrene ses af følgende tabel.

Ventilationsluft	Kontrol af afkastsluft
Fans: Input	Min supply ratio: 0
Supply: $0,06m^3/s$	Min return ration: 0
Pressure rise: 900 Pa	Max return ration: 0
Total eff: 0,7	Setp CO_2: $500ppm$
Part to air: 0,5	Setp Humid: 30%
Fans: output	Setp Dehumid: 80%
Return: $0,06m^3/s$	Min Inlet temp.: $17°C$
Pressure rise: 600 Pa	Max Inlet temp.: $30°C$
Total eff: 0,75	Setp temp.: $21°C$
Part to air: 0,5	
Recovery unit	
Max heat rec: 85	
Min heat rec: 0	
Max cool rec: 0	
Max cool rec: 0	
Max moist rec: 0	
Heating coil:	
Max power: 20 kW	
Cooling Coil:	
Max power: 0 kW	
Surf Temp: $5°C$	
Humidifier:	
Max output: 0 kg/h	

Tabel Q.10 *– Opsætning af systemet Ventilation i BSim*

Infiltration
I bygninger, hvor klimaskærmens lufttæthed er undersøgt ved trykprøvning med 50 Pa, bestemmes infiltrationen i brugstiden som, hvor blowerdoortesten af boligen viste $0,97l/sm^2$: [Aggerholm og Grau, 2007]

$$\begin{aligned} q_{infil} &= 0.04 + (0,06 \cdot q_{50})[l/s/m^2] \\ &= 0.04 + (0,06 \cdot 0,97)[l/s/m^2] \\ &= 0,098[l/s/m^2] \\ &= 0,153h^{-1} \end{aligned}$$

Infiltration	Dagsprofil
Basis luftskifte: $0,153h^{-1}$ Tmp Factor: 0 /h/K Tmp Power: 0 Wind Factor 0 s/m/h	100% 1-24

Tabel Q.11 *– Opsætning af systemet Infiltration i BSim*

Naturlig ventilation
Den naturlige ventilation i BSim-modellen er implementeret fra marts-november, når den operative temperatur overstiger $24°C$, se følgende tabel.

Tidsprofil	Udluftning	Kontrol
Mar.-Nov.	Basis luftskifte: 1,0 h^{-1} kW Temp. faktor: 0 h^{-1}/K Temp. power: 0 Vind faktor: 0 Maks. luftskifte: 3 h^{-1}	Setpunkt: 24 $°C$ Set punkt CO_2: 0 ppm Faktor: 1

Tabel Q.12 *– Opsætning af systemet Venting i BSim*

Belysning
Belysning er implementeret som vist i følgende tabel.

Tidsprofil	Belysning	Kontrol
Man.-Fre. Kl. 7-8 Kl. 19-24	Task Lighting: 0 kW General Lighting: 0,2 kW Gen. Lighting level: 300 lux Solar limit: 0,3 kW Exhaust Part 0	Ønsket lysniveau: 200 lux Switch Off (%): 0 Control Form: On/Off

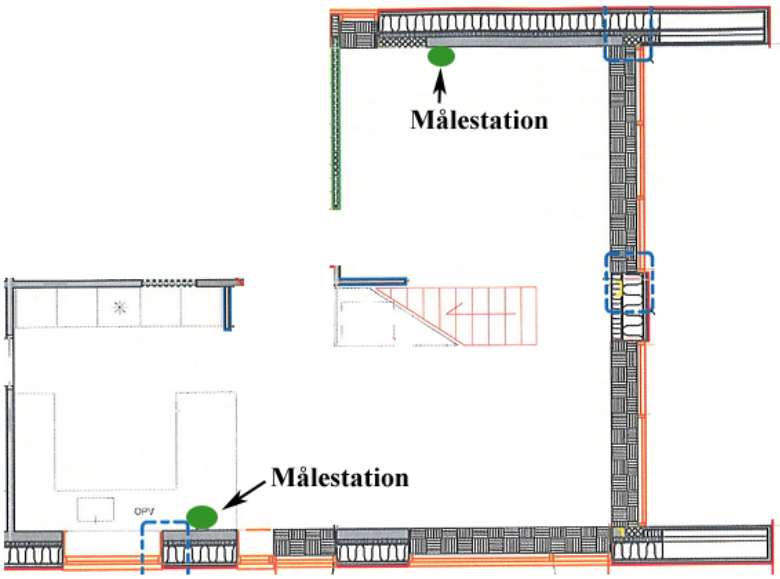
Opvarmning
Varmesystemet i modellen er implementeret, som vist i følgende tabel.

Tidsprofil	Heating	Kontrol
Altid.	Max Power: 50 kW Fixed Part: 0 Part to air: 0,6	Factor: 1 Set point: $21°C$ Design Temp.: $-12°C$ Min Power: $0,5W/m^2$ Te min: $17°C$

Q.3 Målinger

Målingerne foretaget på Langøvænget 8 er en del af udviklingsprojektet EnergiParcel, hvor Aalborg Universitet har foretaget målinger. Målingerne startede primo 2009 og er stadig i gang i skrivende stund.

Målingerne, der anvendes i nærværende projekt er alle foretaget som løbende målinger gennem hele 2010. Dette værende sig energiforbruget til varmt brugsvand samt indeklimamålinger af CO_2-koncentrationen, den relative luftfugtighed samt rumluftstemperaturen i boligen. Figur Q.5 viser målepunkterne for indeklimamålingerne samt placering af dataloggerne, der er forbundet til internettet.



Figur Q.5 – *Placering af målestationerne i Langøvænget 8*

Q.4 Sammenligning af Be10 beregning og regnearksversion

En sammenligning mellem den faktiske Be10 beregning af Langøvænget 8 og energiberegningen i regnearksversionen er foretaget, for at undersøge forskellighederne i disse beregninger. Begge beregninger forefinde på Bilags-CD'en i mappen "L8"; "*L8_ energiramme.xlsm*"og "*Energiramme_ L8.xml*". Nøgletallene fra begge beregninger listet i tabelform i tabel Q.13.

	Be10-program $[kW/m^2\ pr.\ år]$	**Be10-regnearksversion** $[kW/m^2\ pr.\ år]$
Samlet energibehov	41,5	50,7
Overtemperaturer i rum	0	13.7
Dimensionsgivende transmissionstab	19,1	19.1
Dimensionsgivende ventilationstab med vgv	16,6	16,5
Netto energibehov til rumopvarmning	26,8	22,3
Netto energibehov til varmt brugsvand	14,3	14,3
Varmetab fra installationer til varmt brugsvand	2,6	2,6
Elbehov til ventilatorer og pumper	2,6	2,6

Tabel Q.13 *– Udvalgte nøgletal for energiberegningen fra Be10-programmet og Be10-regnearksversionen*

Tabellen viser at det samlede energibehov i regnearksversionen afviger 2,5% fra beregningen i Be10. Største afvigelse skyldes overtemperaturer i regnearksverisionen, mens Be10 ikke viser overtemperaturer i dennes beregning. Tabel Q.14 og Q.15 viser månedsbehovene for varme, el og overtemperaturer for regnearksversionen henholdsvis Be10.

MWh	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Maj**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dec**
Varme	1,47	1,02	0,48	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,78	1,35
El	0,09	0,06	0,03	-0,04	-0,10	-0,10	-0,09	-0,06	-0,01	0,05	0,08	0,10
Overtemperatur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,67	0,75	0,74	0,09	0,00	0,00	0,00
I alt	1,57	1,09	0,52	0,18	0,37	0,78	0,88	0,90	0,29	0,28	0,87	1,45
kWh/m^2	8,7	6,0	2,8	1,0	2,0	4,3	4,9	5,0	1,6	1,5	4,8	8,0

Tabel Q.14 *– Samlet energibehov for Langøvænget 8 fra regnearksversionen*

MWh	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Maj**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dec**
Varme	1,53	1,18	0,8	0,33	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,86	1,39
El	0,09	0,06	0,03	-0,03	-0,10	-0,10	-0,09	-0,06	-0,01	0,05	0,08	0,10
Overtemperatur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	1,62	1,24	0,83	0,30	0,13	0,12	0,13	0,16	0,21	0,32	0,95	1,49
kWh/m^2	9,0	6,9	4,6	1,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1	1,8	5,2	8,2

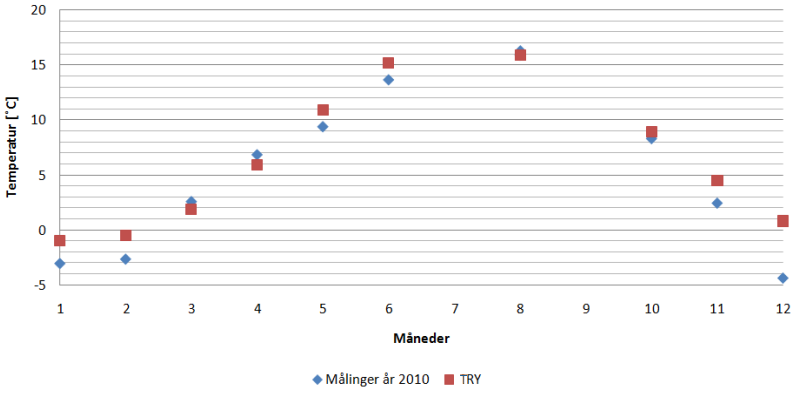
Tabel Q.15 *– Samlet energibehov for Langøvænget 8 fra Be10*

Ved sammenligning af månedsenergibehovene ses der store forskelle mellem beregningerne. Enkelte af forskellene skyldes unøjagtigheder i forbindelse med afrunding, mens andre ikke kan identificeres. Månedsenergibehovene i regnearket afviger mellem 2,5% og 41,2% i de måneder hvor der ikke opstår overtemperaturer. Regnearksversionen viser dog en kraftig straf på energiforbruget grundet overtemperaturerne.

Q.5 Sammenligning af vejrdata

Der foretages en sammenligning af vejrdataene for vejrstationen Ødum, stationsnummer 6072 samt vejrdataene anvendt i SiByB regnearket for indeklimadelen. Vejrdataene fra SiByB reg-

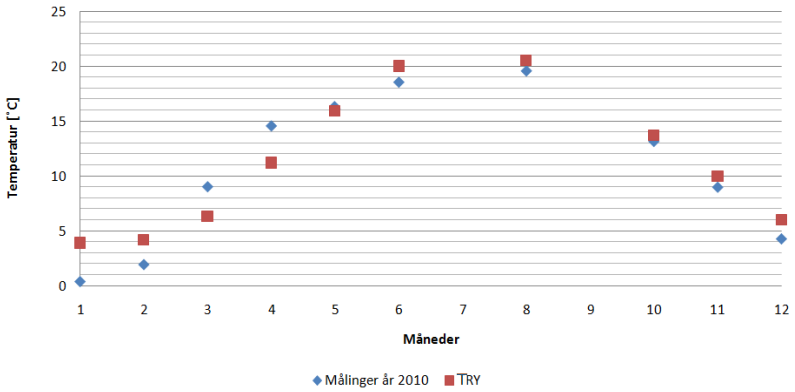
nearket er taget fra DRY og TRY, hvor udetemperaturen kommer fra TRY [Andersen et al., 1982], mens de resterende vejrdata stammer fra DRY. Denne sammenligning har til formål, at vurdere hvorvidt de datasæt, der er anvendt i SiByB konceptet stemmer overens med de faktiske vejrdata for huset, herved er det muligt, at vurdere hvorvidt resultaterne af SiByB simuleringen er sammenlignelig med målingerne for Langøvænget 8. Der foretages en sammenligning af månedsmiddelstemperaturen for middel- og maksimumdøgn samt månedsmidlen for den relative luftfugtighed. Figur Q.6 viser en sammenligning af månedsmiddelstemperaturen for middeldøgn for TRY og for en vejrstation, 6072, placeret i byen Ødum, forholdsvis tæt på Langøvænget 8 for år 2010. Som det fremgår af figuren er der ikke data tilgængelig for månederne juli og september.



Figur Q.6 – *Sammenligning af månedsmiddelstemperatur for middeldøgn*

Sammenligningen viser at vejrdataene fra TRY, på samme måde som for middeldøgnet, har tendens til at vise højere temperature end målingerne, hvor temperaturforskellen i opvarmningssæsonen (april-september) ligger mellem $0,004 - 1,5°C$. Heri skal det bemærkes, at,der i denne sammenligning ikke forekommer data for juli og september.

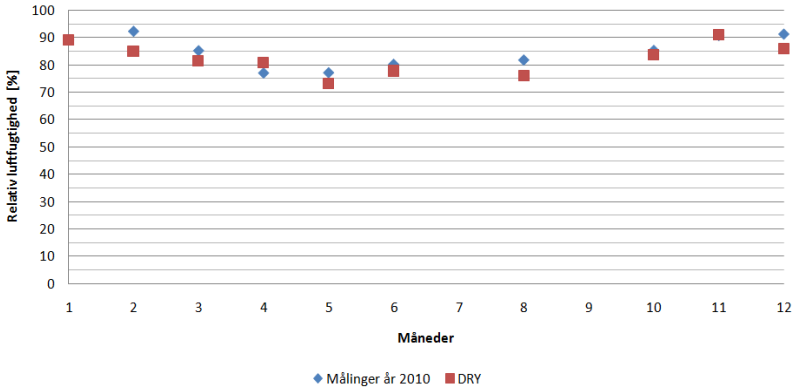
Figur Q.7 viser en sammenligning af månedsmiddelstemperaturen for maksimumdøgn for DRY og for en vejrstation, 6072, placeret i byen Ødum, forholdsvis tæt på Langøvænget 8 for år 2010. Som det fremgår af figuren er det ikke data fra målingerne i månederne juli og september.



Figur Q.7 – *Sammenligning af månedsmiddelstemperatur for maksimumdøgn*

Sammenligningen viser at vejrdataene fra TRY har tendens til at værre højere end målinger, hvor temperaturforskellen i opvarmningssæsonen (april-september) ligger mellem $0,18 - 3,3°C$. Heri skal det bemærkes, at der i denne sammenligning ikke foreliggerr data tilgængeligt for juli og september. Den største forskel ligger i april, hvor målingerne viser højere temperaturer end DRY vejrdata.

Figur Q.8 viser en sammenligning af månedsmiddelen for den relative luftfugtighed for DRY og for en vejrstation, 6072, placeret i byen Ødum, forholdsvis tæt på Langøvænget 8 for år 2010. Som det fremgår af figuren er det ikke data fra målingerne i månederne juli og september.



Figur Q.8 – *Sammenligning af månedsmiddelstemperatur for maksimumdøgn*

Sammenligning viser at dataene generelt set stemmer overens, samt at forløbet for den relative luftfugtighed gennem året er ens. Afvigelsen over året ligger mellem 0,042-7,2 svarende til en procentvis afvigelse på 0,05-7,8%.

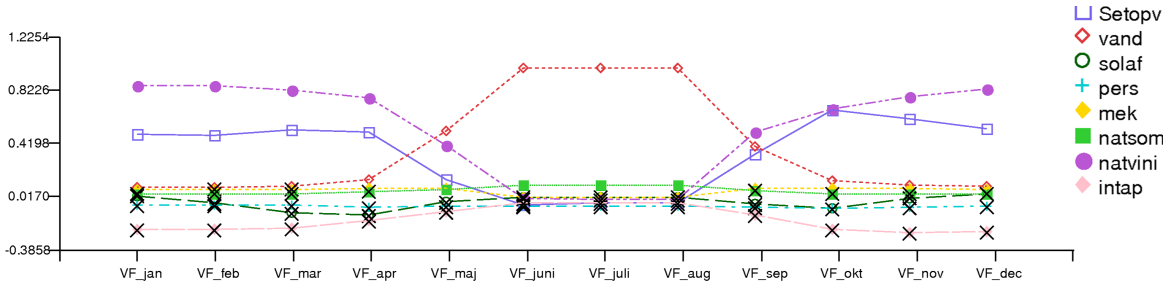
Q.6 Sammenligning af sensitivitetsanalyser

Dette afsnit gennemgår og sammenligner de respektive sensitivitetsanalyser for såvel energiforbrug, termisk samt atmosfærisk indeklima for Langøvænget 8. Sammenligningen af de respektive sensitivitetsanalyser har til formål at klarlægge hvilken type analyse, der vil være mest sandsynlig i den aktuelle simulering.
Signaturforklaring for forkortelserne givet i analyserne er følgende:

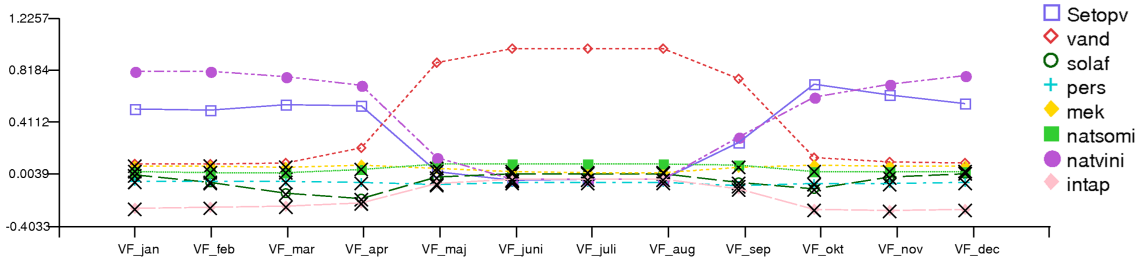
Setopv	Setpunktstemperatur for rumopvarmningen
vand	Varmtvandsforbrug
solaf	Solafskærmningsfaktor
pers	Varmetilskud fra personer
mek	Luftmængde fra den mekaniske ventilation
natsomi	Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration
natvini	Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration
intap	Varmetilskud fra apparater

Q.6.1 Sensitivitetsanalyser foretaget på varmeforbruget

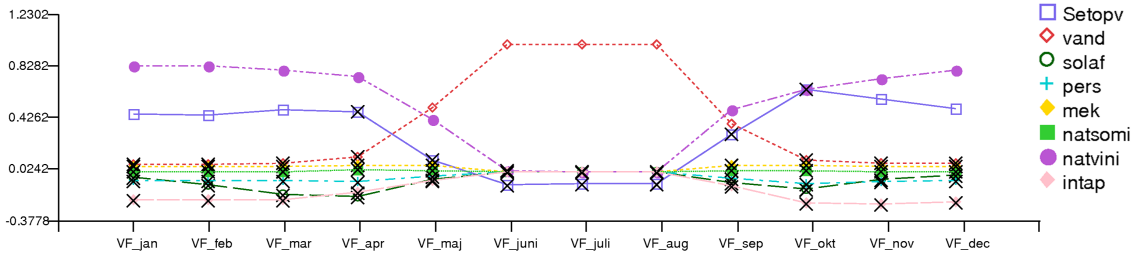
Figur Q.9 - Q.14 illustrerer sensitivitetsanalyserne for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4. Analyserne vises for energiforbruger til rumopvarmning.



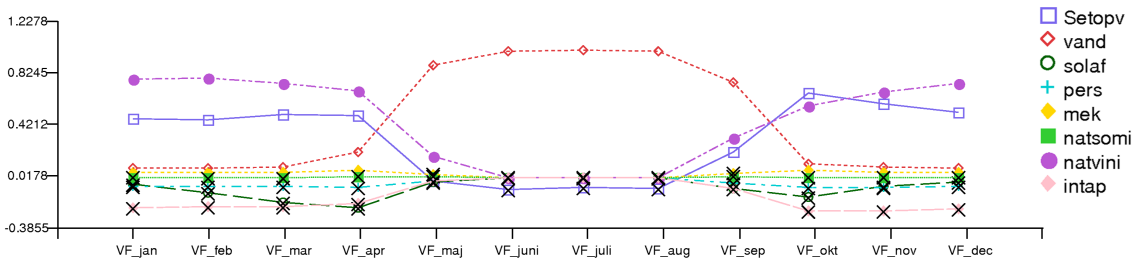
Figur Q.9 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



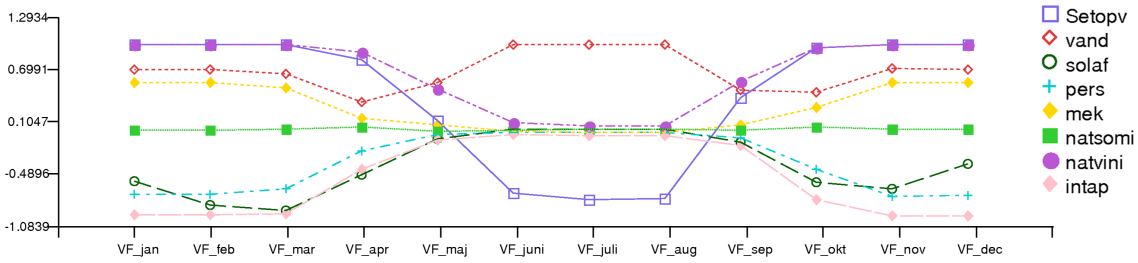
Figur Q.10 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



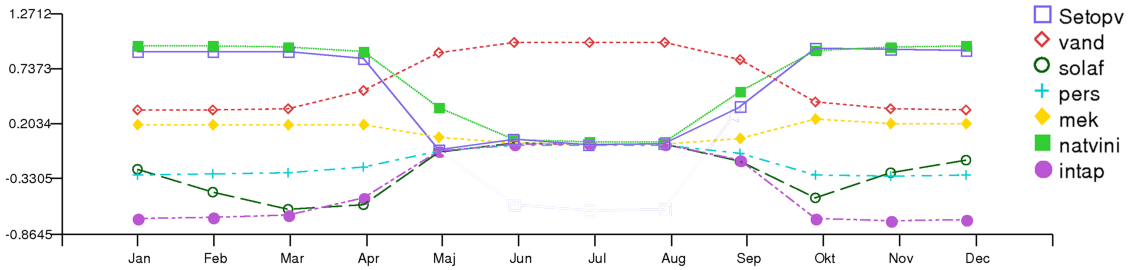
Figur Q.11 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.12 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur Q.13 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*



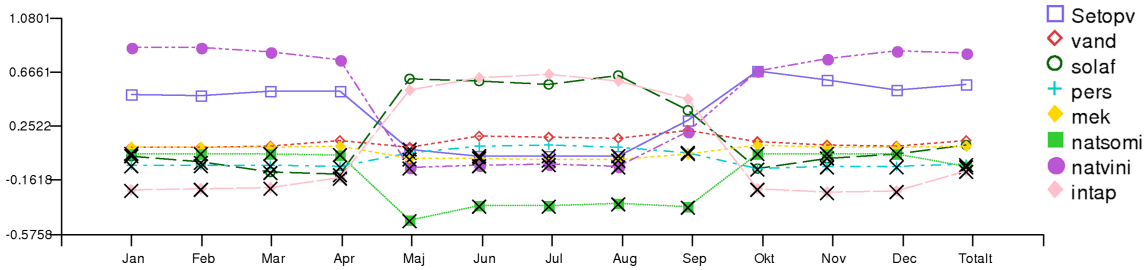
Figur Q.14 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

Sensitivitetsanalyserne viser, at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA antager samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Analyserne viser, at den naturlige ventilation om vinteren og setpunktstemperaturen for rumopvarmningen er de mest indflydelsesrige parametre i opvarmningssæsonen af de brugerrelaterede parametre, mens varmtvandsforbruget er den mest indflydelsesrige brugerelaterede parameter udenfor opvarmningssæsonen. De to beskrevne analyser tilskriver dog hverken solafskærmningen eller varmetilskuddet stor betydning. Partialkorrelationskoefficientanalyserne finder, at solafskærmningen og varmetilskuddet også har betydning for varmeforbruget i opvarmningssæsonen, dog ikke i samme grad som den naturlige ventilation og setpunktstemperaturen for rumopvarmningen. Sammenligning af de lineære analyser og de ikke-lineære analyser viser, at forskellen ligger i, hvor indflydelsesrig varmtvandsforbruget og den naturlige ventilation er

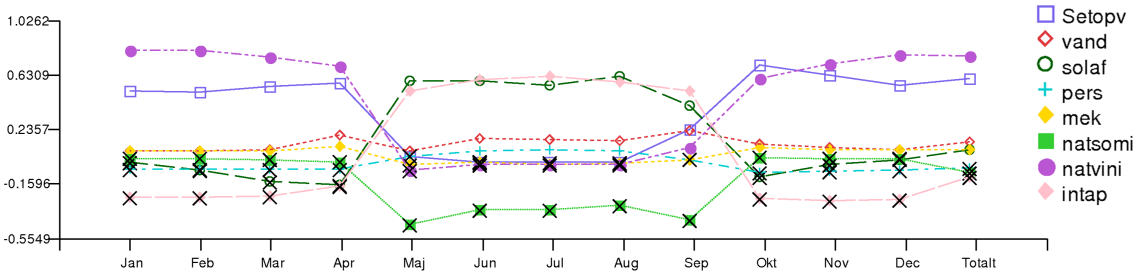
i månederne maj og september. Ud fra betragtningerne i PRCC analyserne, der giver en højere vægtning af solafskærmningen og varmetilskuddet i opvarmningssæsonen sammenlignet med SRC, SRRC, PEAR og SPEA og en mere sandsynlig vægtning af varmtvandsforbruget og luftmængden fra den mekaniske ventilation i opvarmningssæsonen sammenlignet med PCC, anvendes PRCC i sensitivitetsanalysen i hovedrapporten.

Q.6.2 Sensitivitetsanalyser foretaget på det totale energiforbrug

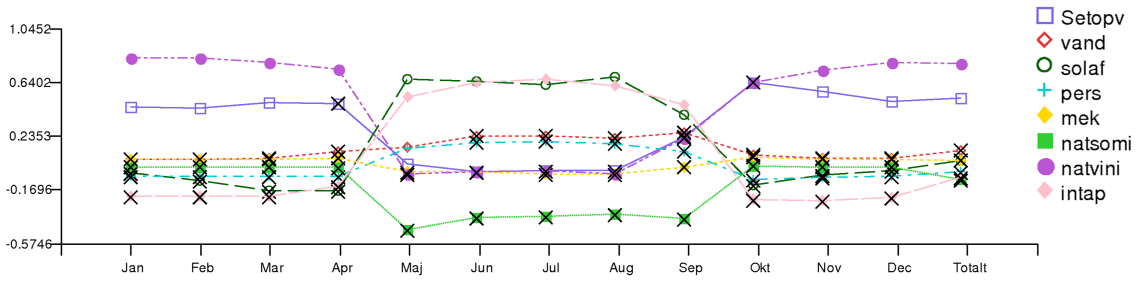
Figur Q.15 - Q.20 viser sensitivitetsanalyserne for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4. Sensitivitetsanalserne omhandler det totale energiforbrug for Langøvænget 8



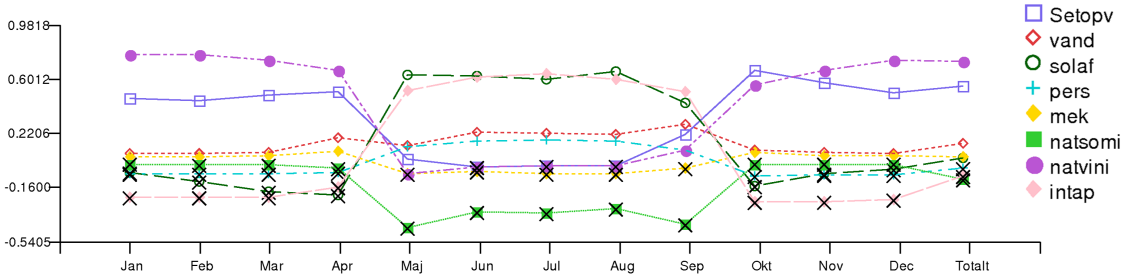
Figur Q.15 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



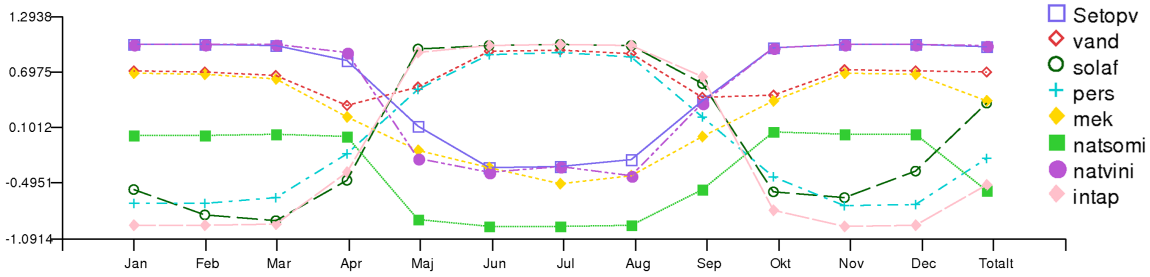
Figur Q.16 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



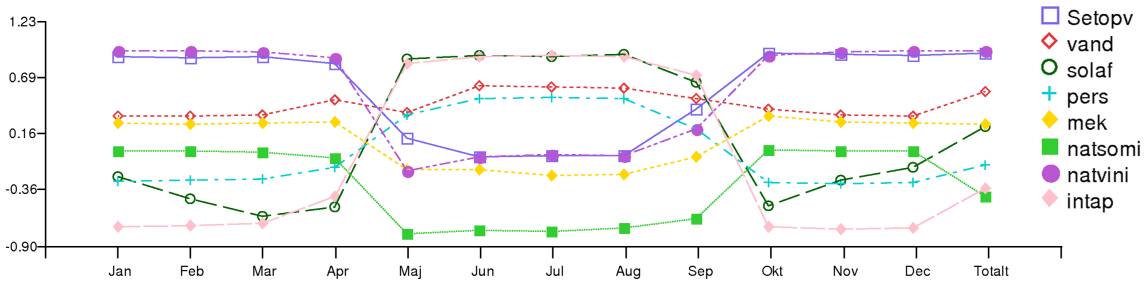
Figur Q.17 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.18 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur Q.19 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

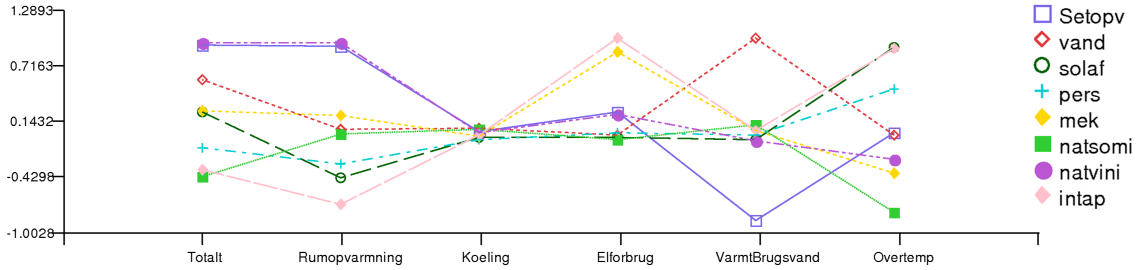


Figur Q.20 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

Sensitivitetsanalyserne viser, at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA antager samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Analysen viser en klar opdeling af indflydelsesrige parametre i og udenfor opvarmningssæsonen. De indflydelsesrige parametre i opvarmningssæsonen svarer til de indflydelsesrige parametre i opvarmningssæsonen for energibehovet til rumopvarmning, grundet rumopvarmningens store andel i det totale energiforbrug. De indflydelsesrige parametre udenfor opvarmningssæsonen er de parametre, der henholder sig til overtemperaturstraffen givet i energiberegningen. Det værende sig varmetilskuddet, solafskærmningen og den naturlige ventilation. Ved sammenligning af PCC og PRCC med de førnævnte analyser, ses at varmetilskuddet fra personer og apparater er vægtet mere ens. Setpunktstemperaturen og solafskærmningen er blevet vægtet højere udenfor opvarmningssæsonen, ligeledes vægtes varmtvandsforbruget og varmetilskuddet fra personer vægtet højere udenfor opvarmningssæsonen. Ud fra disse betragtninger anslåes det at PRCC giver det mest sandsynlige billede af sensitiviteterne. I hovedrapporten anvendes således PRCC til at foretage sensitivitetsanalysen

Q.6.3 Sensitivitetsanalyse af nøgleområder i energiberegningen, PRCC

Figur Q.21 viser sensitivitetsanalysen for nøgleområder i energiberegningerne. Der gøres opmærksom på, at setpunktstemperaturens indflydelse på energibehovet til det varme brugsvand ikke anses for at være korrekt.

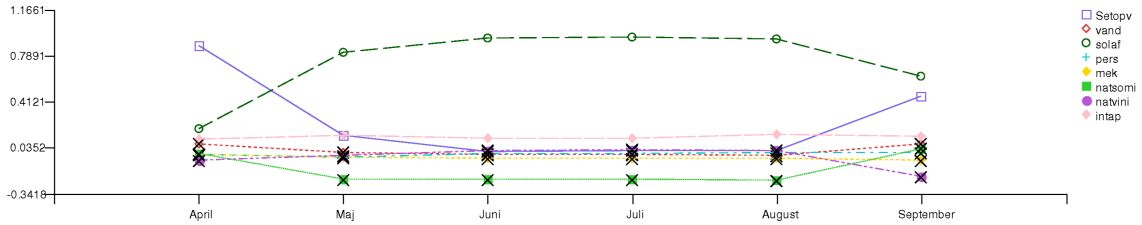


Figur Q.21 – *Sensitivitetsanalyse for nøgleområderne i energiberegningen ved brug af PRCC*

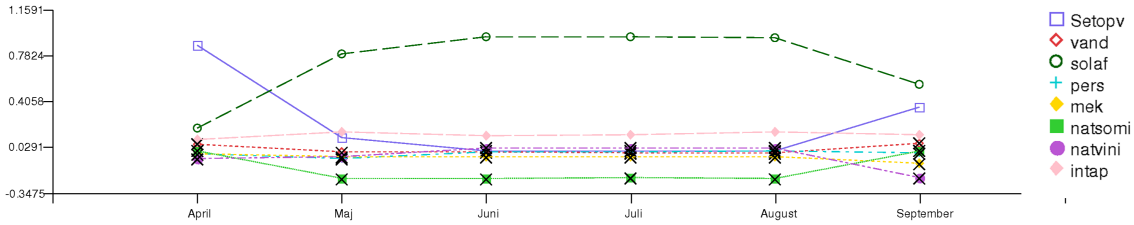
Sensitivitetsanalysen viser kompleksiteten af de forskellige parametres indflydelse på de respektive energibehov. Her skal det bemærkes, at figur Q.21 viser sensitiviteten af det kumulerede energibehov over året, hvor enkelte parametres indflydelse yderligere er forskellig i henholdsvis sommerperioden og vinterperioden. Af figur Q.21 ses det, at ingen parametre har indflydelse på energibehovet til køling, dette skyldes, at der ikke er installeret et køleanlæg i bygningen. Af de parametre, der både har positiv og negativ indlfydelse på energibehovet, kan nævnes det interne varmetilskud, samt solafskærmning.

Q.6.4 Sensitivitetsanalyser foretaget på det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

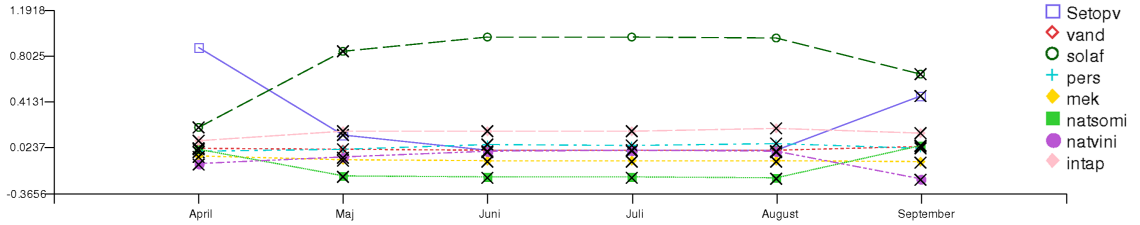
Figur Q.22 - Q.27 viser sensitivitetsanalyserne for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4. Sensitivitetsanalyserne omhandler det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for Langøvænget 8 *Rum Sommer*.



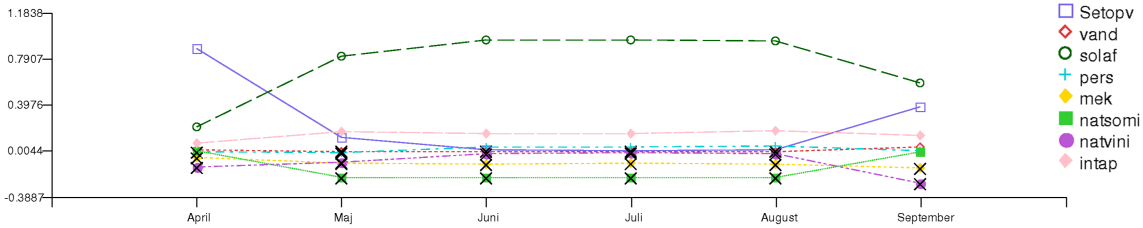
Figur Q.22 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



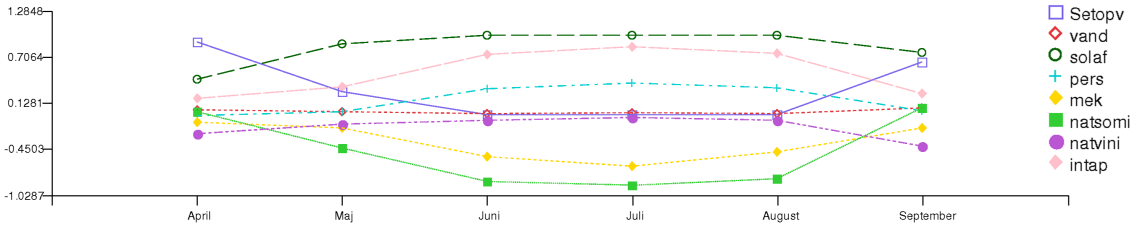
Figur Q.23 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



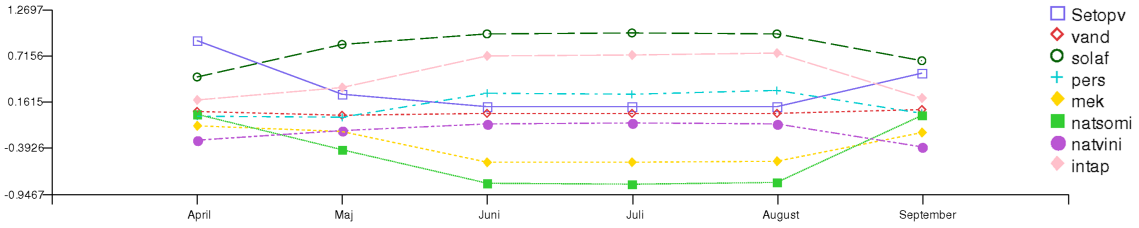
Figur Q.24 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.25 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur Q.26 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

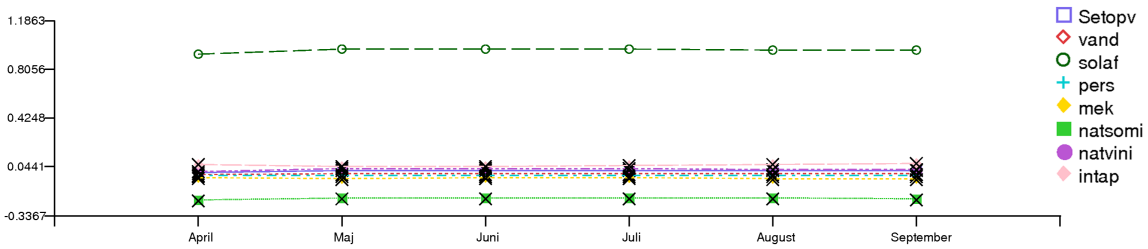


Figur Q.27 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

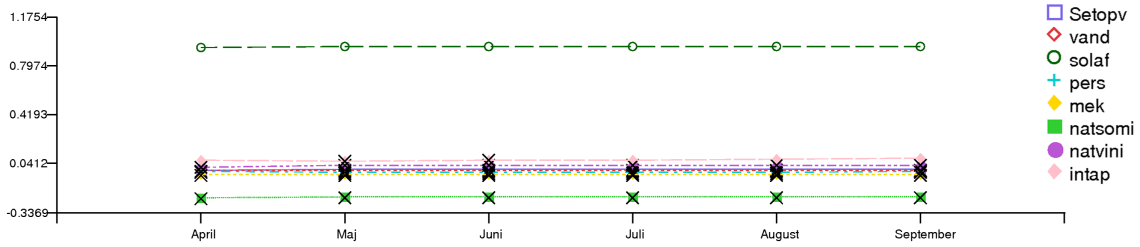
Sensitivitetsanalyserne viser, at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA antager samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Disse analyser viser at solafskærmningen er den klart mest indflydelsesrige parameter med undtagelse af april og september, hvilke viser at opvarmning er nødvendig for at opretholde den ønskede setpunktstemperatur. PCC og PRCC analyserne viser, at parametre såsom det interne varmetilskud samt luftmængden fra den mekaniske og specielt den naturlige ventilation også har forholdsvis stor indflydelse på det termiske indeklima om sommeren. I hovedrapporten anvendes derfor sensitivitetsanalysen for PRCC.

Q.6.5 Sensitivitetsanalyser foretaget på det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksdøgn

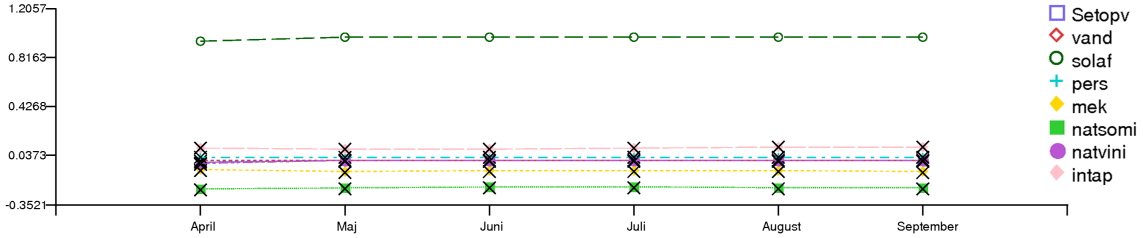
Figur Q.28 - Q.33 viser sensitivitetsanalyserne for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4. Disse analyser viser sensitivitetsanalyser foretaget på det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn. Analyserne stemmer overens med analyserne for middeldøgnet i sommerperioden i forrige afsnit, hvorfor disse ikke anvendes i hovedrapporten.



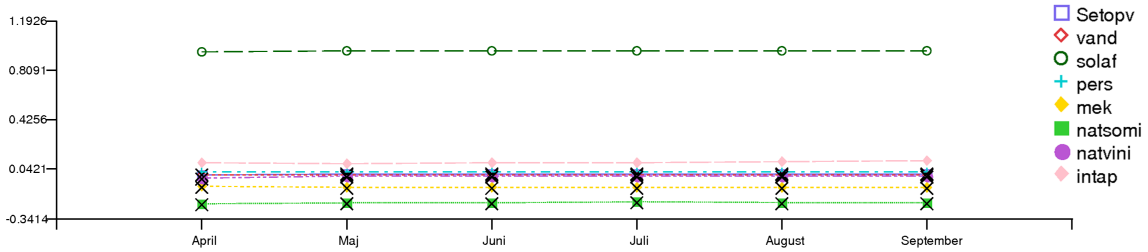
Figur Q.28 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



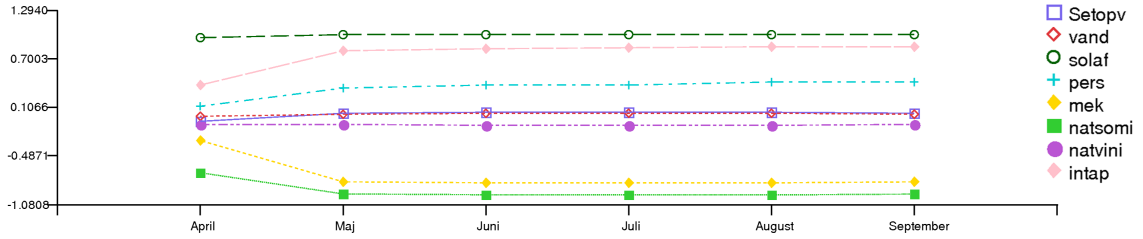
Figur Q.29 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



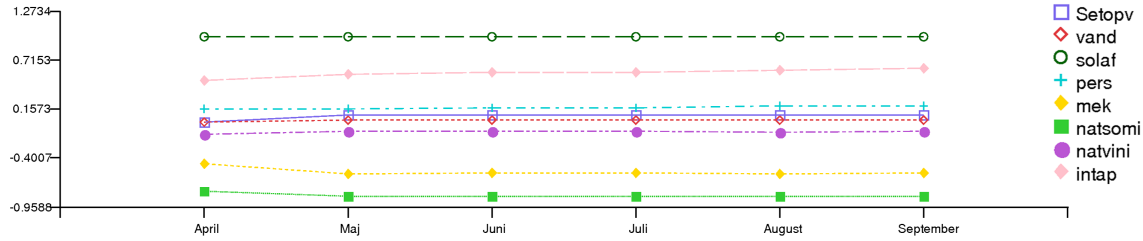
Figur Q.30 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.31 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



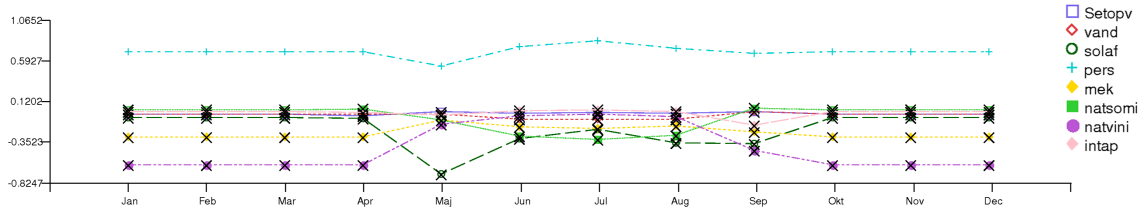
Figur Q.32 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*



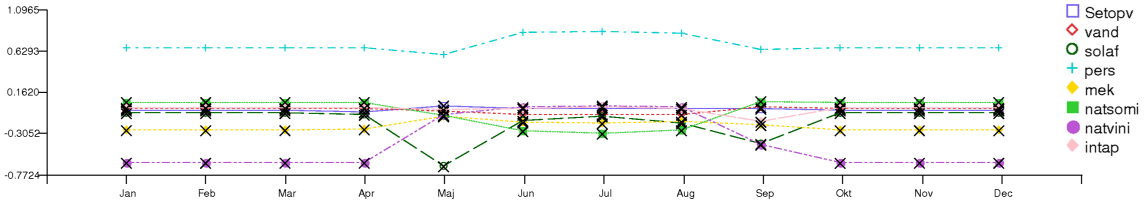
Figur Q.33 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

Q.6.6 Sensitivitetsanalyser foretaget på CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

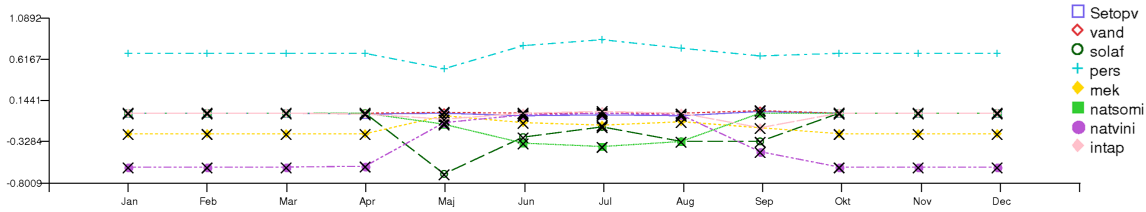
Figur Q.34 - Q.39 viser sensitivitetsanalyserne af CO_2-koncentrationen, for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4.



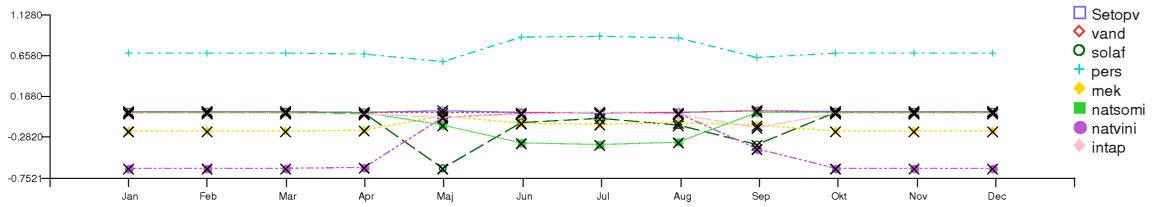
Figur Q.34 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



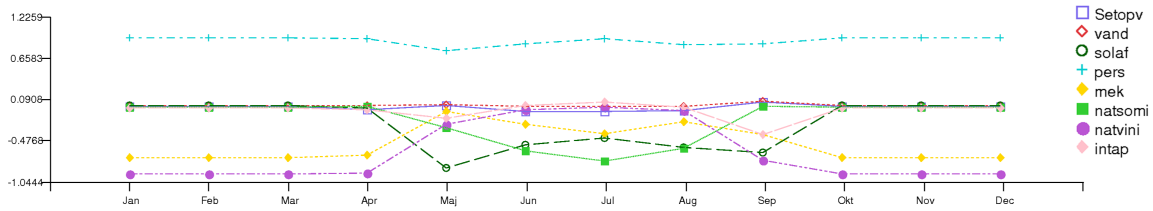
Figur Q.35 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



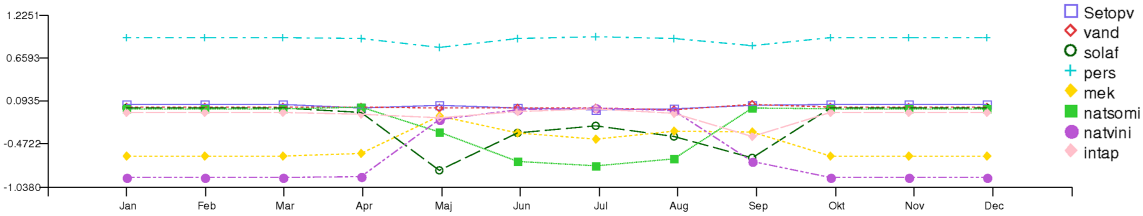
Figur Q.36 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.37 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur Q.38 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

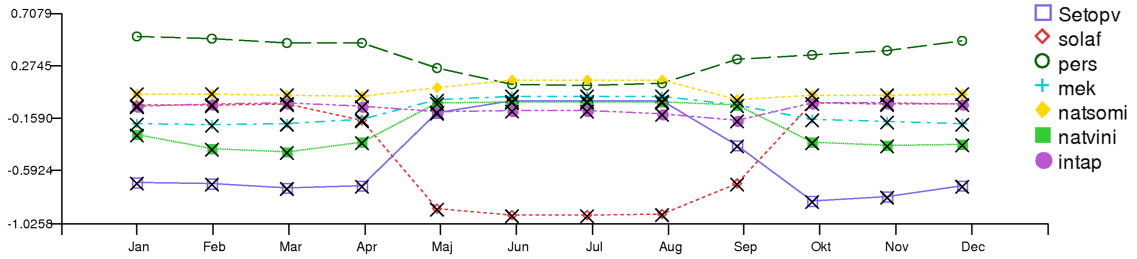


Figur Q.39 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

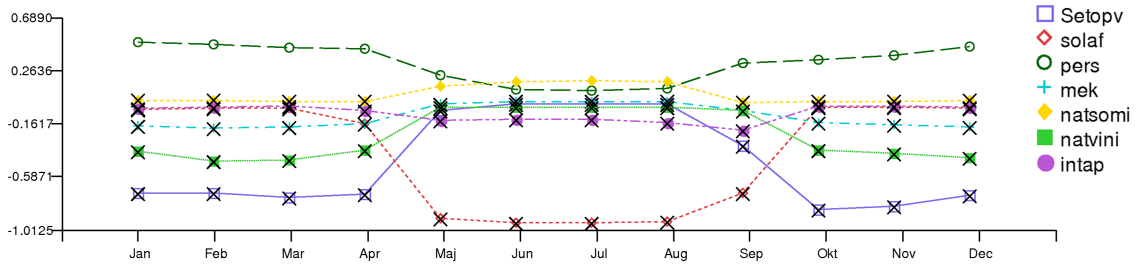
Sensitivitetsanalyserne viser, at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA antager samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Forskellen mellem førnævnte analyser og PCC samt PRCC i opvarmningsperioden, er indflydelsen fra specielt luftmængden fra den mekaniske ventilation. Ligeledes viser luftmængden fra den naturlige ventilation udenfor opvarmningssæsonen sig, som den parameter, der har størst ændring fra den ene analyse til den anden. Der vælges at anvende PRCC analysemetoden i hovedrapporten.

Q.6.7 Sensitivitetsanalyser foretaget på den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

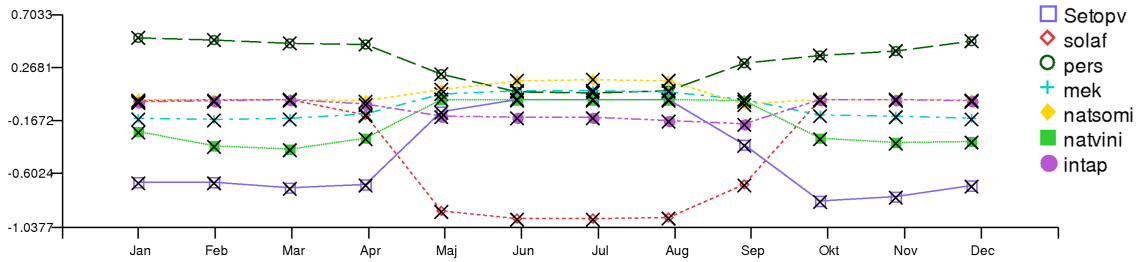
Figur Q.40 - Q.45 viser sensitivitetsanalyserne for den relative luftfugtighed, for metoderne beskrevet i afsnit N.3.4. Sensitivitetsanalyserne omhandler CO_2-koncentrationen ved månedsmiiddelsværdier for middeldøgn.



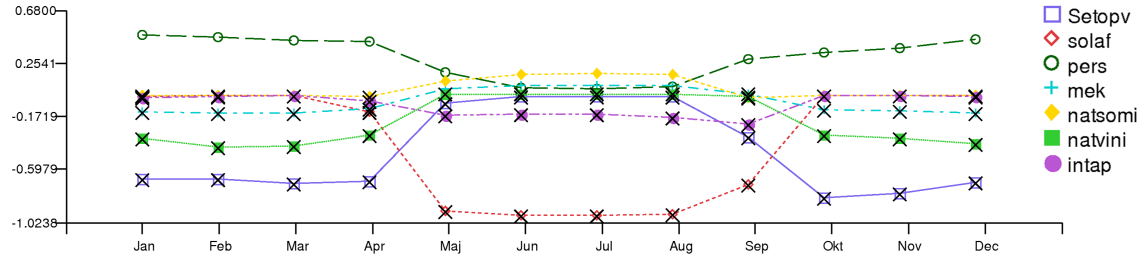
Figur Q.40 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



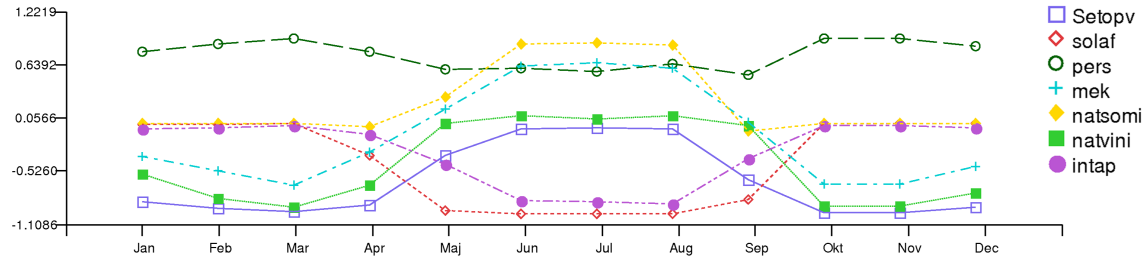
Figur Q.41 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



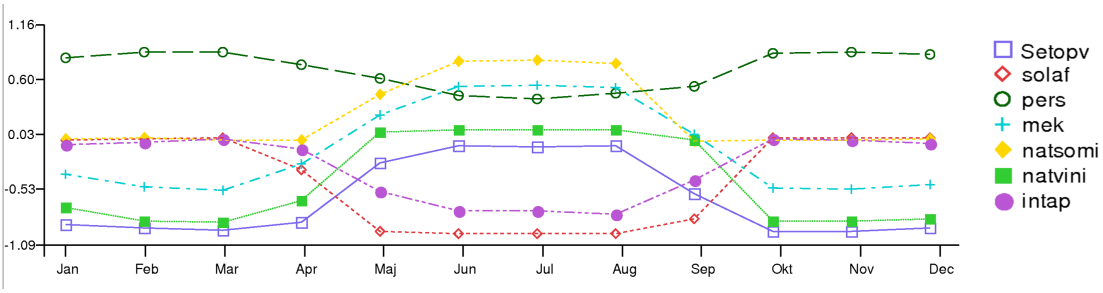
Figur Q.42 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur Q.43 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur Q.44 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*



Figur Q.45 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

Igen observeres en minimal forskel mellem PEAR, SPEA, SRC og SRRC. Ligeledes har PCC og PRCC tendens til at give de "mellemliggende" parametre mere indflydelse. På baggrund af denne sammenligning anvendes PRCC hovedrapporten.

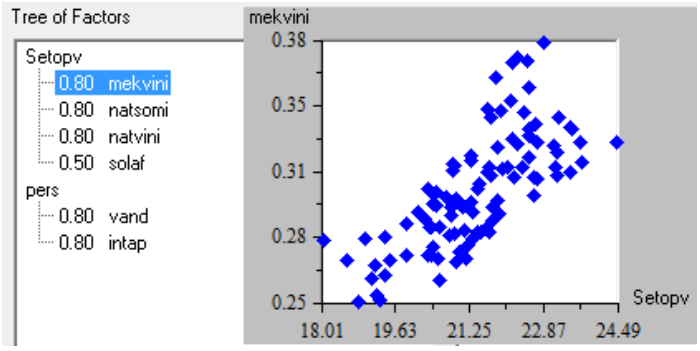
Q.7 Korrelation af de brugerrelaterede inputparametre

Q.7.1 Beskrivelse af korrelationerne

For at teste effekten af korrelerede inputparametre på SiByB resultaterne, er fem cases opstillet. Korreleringen tager udgangspunkt i undersøgelserne af van Raaij og Verhallen [1983b], Gram-Hanssen [2003] og Gram-Hanssen [2005a]. Gram-Hanssen [2003] og Gram-Hanssen [2005a] finder, at antallet af personer er korreleret med vandforbruget og elforbruget. I forbindelse med korreleringen af inputparametrene antages det, at et øget vandforbrug er lig en forøgelse af varmtvandsforbruget samt et øget elforbrug er lig et øget internt varmetilskud fra apparater. Følgende vil de fem cases blive beskrevet, hvor signaturforklaringene er givet under:

Setopv	Setpunktstemperatur for rumopvarmningen
vand	Varmtvandsforbrug
solaf	Solafskærmningsfaktor
pers	Antal personer
mekvini	Luftmængde fra den mekaniske ventilation
natsomi	Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration
natvini	Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration
intap	Varmetilskud fra apparater

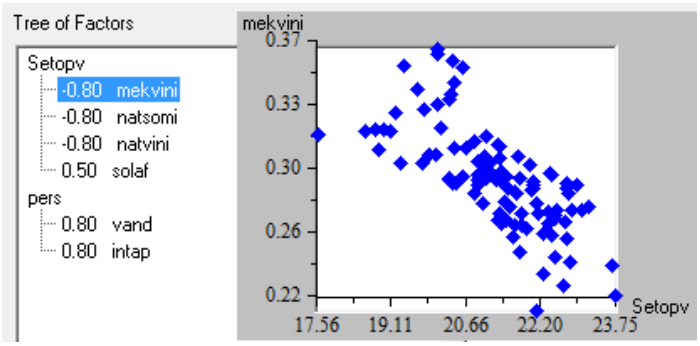
Case 1
I case 1 korreleres et højt luftskifte med en høj setpunktstemperatur, dvs. spenders ifølge [van Raaij og Verhallen, 1983b], samtidig med at et lavt luftskifte korreleres med en lav setpunktstemperatur, dvs. conservers i følge [van Raaij og Verhallen, 1983b]. I denne case korreleres et højt antal personer med et højt internt varmetilskud fra apparater samt et højt varmtvandsforbrug. Derudover er der foretaget en korrelation mellem solafskærmning og setpunktstemperaturen for rumopvarmningen, således at en høj setpunktstemperatur medfører en lav solafskærmning. Korrelationsfaktorerne er vist i figur Q.46.



Figur Q.46 – *Korrelering af parametrene samt korrelationsplot mellem den mekaniske ventilation og setpunktstemperaturen*

Case 2

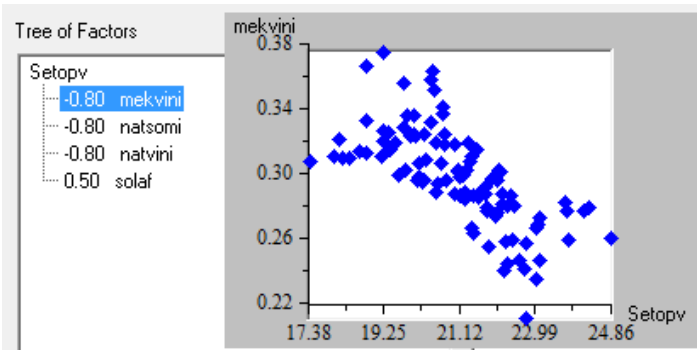
I case 2 anvendes forbrugerne, der er defineret som cool og warm fra [van Raaij og Verhallen, 1983b], dvs. et højt luftskifte er korreleret med en lav setpunktstemperatur, samtidig med at et lavt luftskifte er korreleret med en høj setpunktstemperatur. Antallet af personer, varmtvandsforbrug og det interne varmetilskud fra apparater er korreleret på samme måde som i case 1. Figur Q.47 viser korrelationsfaktorerne for case 2.



Figur Q.47 – *Korrelering af parametrene samt korrelationsplot mellem den mekaniske ventilation og setpunktstemperaturen*

Case 3

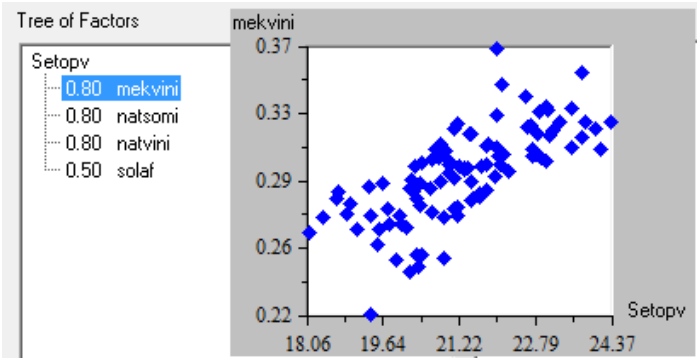
Case 3 har samme korrelation som case 2, hvor korrelationen mellem antallet af personer, varmtvandsforbruget og det interne varmetilskud fra apparater er fjernet. Figur Q.48 viser korrelationerne.



Figur Q.48 – *Korrelering af parametrene samt korrelationsplot mellem den mekaniske ventilation og setpunktstemperaturen*

Case 4

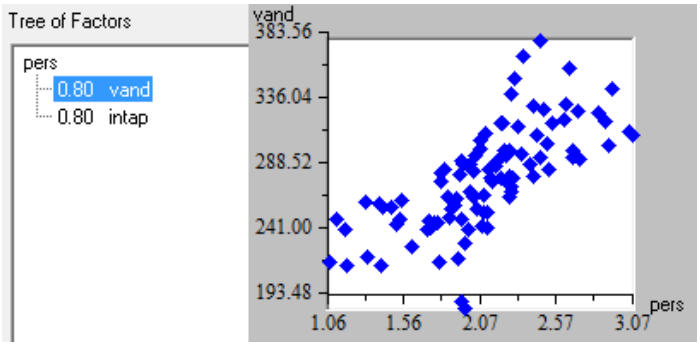
Case 4 har samme korrelation som case 1, hvor korrelationen mellem antallet af personer, varmtvandsforbruget og det interne varmetilskud fra apparater er fjernet, se figur Q.49.



Figur Q.49 – *Korrelering af parametrene samt korrelationsplot mellem den mekaniske ventilation og setpunktstemperaturen*

Case 5

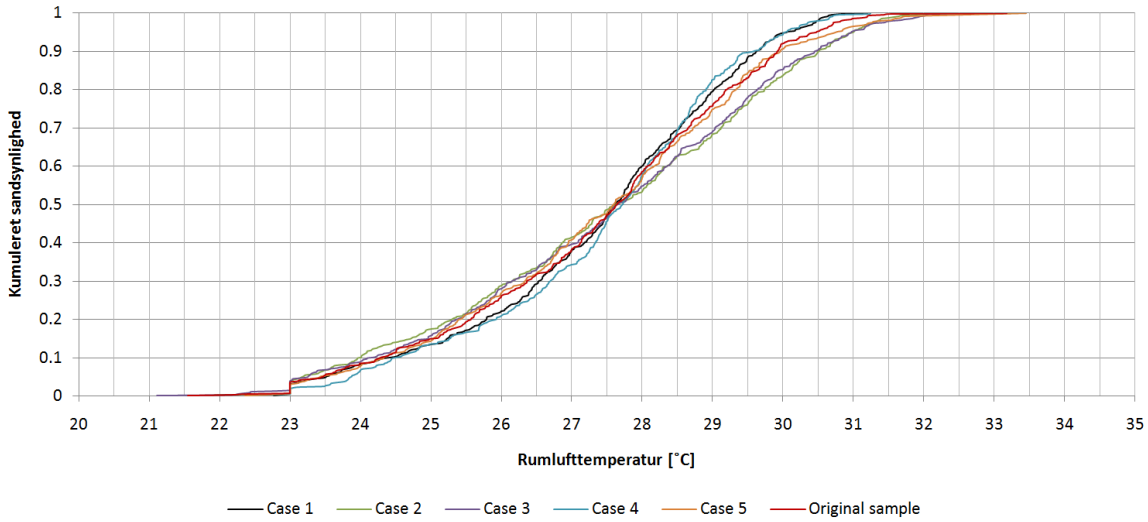
I case 5 er det udelukkende antallet af personer, varmtvandsforbruget og det interne varmetilskud, der er korreleret, se figur Q.50.



Figur Q.50 – *Korrelering af parametrene samt korrelationsplot mellem den mekaniske ventilation og setpunktstemperaturen*

Q.7.2 Sammenligning af cases for rumluftstemperatur og CO_2-koncentrationen

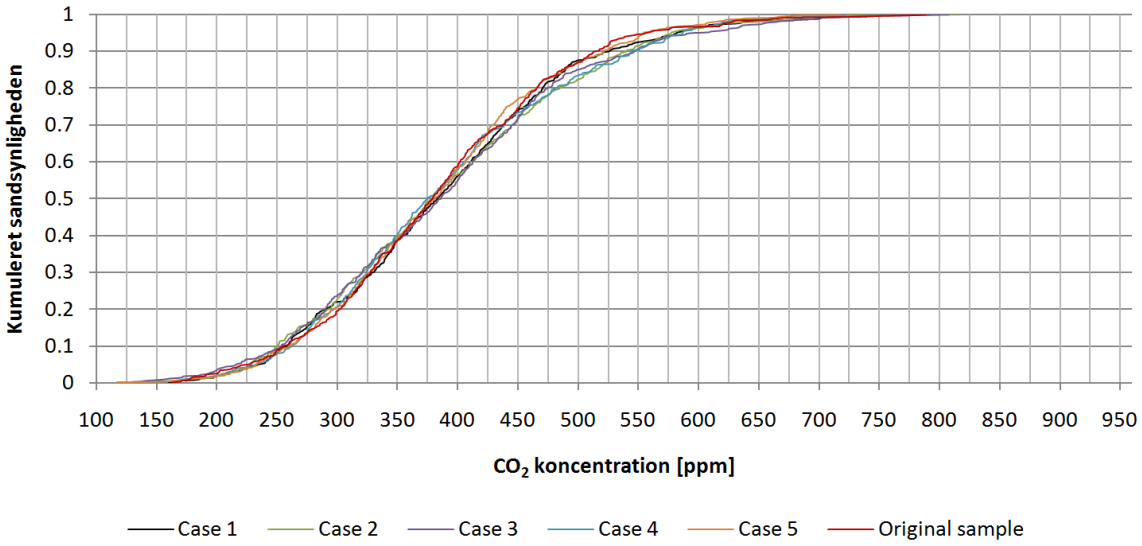
Afsnittet gennemgår sammenligningen af SiByB simuleringerne for rumluftstemperaturen for juli og CO_2-koncentrationen for januar, når korrelationerne mellem de forskellige inputparametre, beskrevet i forrige afsnit, anvendes. Figur Q.51 viser fordelingerne for rumluftstemperaturen for juli måned, mens tabel Q.16 viser de samhørende nøgletal for fordelingen. Figur Q.52 viser fordelingerne for CO_2-koncentrationen for januar måned, mens tabel Q.17 viser de samhørende nøgletal for fordelingerne.



Figur Q.51 – *Fordelinger for rumluftstemperaturen i juli måned, hvor case 1-5 anvender korrelerede brugerrelaterede inputparametre.*

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Original
Middelværdi	27,4	27,3	27,5	27,5	27,4	27,4
Spredning	23,5	23,5	23,2	23,3	23,9	23,4
Variations-koefficient	7,6%	7,0%	8,6%	8,5%	6,7%	7,9%
5% fraktil	30,5	30,1	31,0	31,0	30,0	30,7
95% fraktil	2,1	1,9	2,4	2,3	1,8	2,2

Tabel Q.16 – *Nøgletal for fordelingerne af rumluftstemperaturen i juli måned. Hvor andet ikke er angivet, er enhederne i tabellen [°C]*



Figur Q.52 – *Fordelinger for CO_2-koncentrationen i januar måned, hvor case 1-5 anvender korrelerede brugerrelaterede inputparametre.*

	Case 1	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4**	**Case 5**	**Original**
Middelværdi	385	389	390	390	390	384
Spredning	104	107	112	116	109	100
Variations-koefficient	26.90%	27.46%	28.66%	29.67%	27.86%	26.12%
5% fraktil	228	237	229	217	233	234
95% fraktil	556	582	577	595	586	554

Tabel Q.17 – *Nøgletal for fordelingerne af CO_2-koncentrationen i januar måned. Hvor intet andet er angivet, er enhederne i tabellen givet i [ppm]*

For begge beregninger fremgår det tydeligt, at ingen af fordelingerne bliver væsentligt påvirket af korrelationen. Det skal dog understreges, at sammenligningerne udelukkende er baseret på en enkelt måned, samt at beregningerne er overslagsberegninger af indeklimaet.

Bilag **R**

Case: Stenagervænget 37

Dette bilag beskriver den opstillede SiByB simulering for Stenagervænget 37, Vejle. De respektive input parametre vil blive gennemgået, ydermere vil den opstillede BSim-model blive grundigt gennemgået, både hvad angår konstruktioner som systemer. Slutteligt vil resultaterne af SiByB blive valideret.

R.1 Opbygning af SiByB-simulering indeklimadel

Figur R.1 - R.3, viser de respektive indeklima-inddata for SiByB beregningen, hvor køkkenalrummet samt stuen er valgt som *Rum Sommer* og det nordvestlige værelse som *Rum Vinter*. For yderligere oplysninger henvises der til energiberegningen, der forefindes på Bilags-CD, *S37_ middel.xlsm*.

Inputparametre

Φ_{inst}	2.3 [W/m^2]		Varme fra apparater
U_{loft}	Terrændæk	0.068 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, loft
$U_{væg}$	tag	0.076 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, kritisk rum væg
U_{gulv}	Ydervæg	0.085 [W/m^{2}K]	Transmissionskoefficient, gulv
$T_{b,mek}$	168 [h/uge]		Brugstid for mekanisk ventilation
$T_{b,nat}$	168 [h/uge]		Brugstid for naturlig ventilation

Figur R.1 *– Overordnede inputdata til SiByB indeklimadelen for Stenagervænget 37*

Inputparametre *Rum Sommer*

A_{gulv}	56.7	[m²]	Gulvareal, OBS kritisk rum fra Be06 inddata	Rumbeskrivelse	køkkenalrum,stue
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord ?		
A_{tag}	70.9	[m²]	Tagareal		
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?		
$A_{væg}$	63.3	[m²]	Samlet areal ud til, kritisk rum		
V	146	[m³]	Volume		
L	25.4	[m]	Længde af kuldebroer		
Ψ	0.02	[W/m K]	Linjetab		
$\Phi_{køl}$	0	[W]	Maksimal effekt fra køleanlæganlæg		
$t_{i,opv}$	20.6	[°C]	Setpunktstemperatur for rumopvarmning		
$t_{i,ønsket}$	23	[°C]	Setpunktstemperatur for udluftning		
$t_{i,køl}$	25	[°C]	setpunktempratur for køling		
H_{kap}	11	[W/Km²]	Varmekapacitet for bygningen		
pers	1.66	[stk]	Antal personer i kritisk rum		

Ventialtionsoplysninger		q_m	$q_{i,n}$	q_n	$q_{n,n}$	$q_{n,s}$	$q_{m,n}$	$q_{m,s}$
Hele huset	[l/s*m²]	0.29	0.00	0.10	0	0.62703	0.29	0.29

Vinduesoplysninger	Areal A_{vindue}		Orientering	Hældning	F_c	g_{vin}	F_f	U_{vindue}	$F_{s,jan}$	$F_{s,feb}$	$F_{s,mar}$	$F_{s,apr}$	$F_{s,maj}$	$F_{s,jun}$	$F_{s,jul}$	$F_{s,aug}$	$F_{s,sep}$	$F_{s,okt}$	$F_{s,nov}$	$F_{s,dec}$
9-1	5.9	[m²]	v	90	1	0.52	0.85	0.63	0.69	0.86	0.93	0.95	0.97	0.98	0.97	0.97	0.93	0.91	0.83	0.75
5	6.1	[m²]	ø	90	1	0.52	0.85	0.63	0.69	0.86	0.93	0.95	0.97	0.98	0.97	0.97	0.93	0.91	0.83	0.75
9-2	2.6	[m²]	v	90	1	0.52	0.76	0.68	0.69	0.86	0.93	0.95	0.97	0.98	0.97	0.97	0.93	0.91	0.83	0.75
6	1.9	[m²]	s	90	1	0.52	0.72	0.71	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72
7	4.4	[m²]	s	90	1	0.52	0.82	0.65	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72
8-1	6.5	[m²]	s	90	1	0.52	0.86	0.62	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72
8-2	3.7	[m²]	s	90	1	0.52	0.8	0.65	0.73	0.93	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.88	0.72

Figur R.2 – *Inddata til SiByB beregning for Rum Sommer for Stenagervænget 37*

Inputparametre *Rum Vinter*

A_{gulv}	10.5	[m²]	Gulvareal, OBS kritisk rum fra Be06 inddata	Rumbeskrivelse	
	☑		Transmissionstab gn. gulv til jord	køkkenalrum,stue	
A_{tag}	10.5	[m²]	Tagareal		
	☑		Transmissionstab gn. Loft til det fri ?		
$A_{væg}$	11	[m²]	Samlet areal ud til, kritisk rum		
V	29.4	[m³]	Volume		
L	5	[m]	Længde af kuldebroer		
Ψ	0.02	[W/m K]	Linjetab		
$\Phi_{anlæg}$	400	[W]	Maksimal effekt fra varmeanlæg		
pers	2.00	[stk]	Antal personer i kritisk rum		

Vinduesoplysninger	q_m	$q_{i,n}$	q_n	EL-VF	$\eta_{vgv,vinter}$	t_{ind}
Hele huset	0.29	0	0.1041	n	0.8	18

Vinduesoplysninger	Areal A_{vindue}		U_{vindue}
2	2.2	[m²]	0.7
	0	[m²]	0
	0	[m²]	0
	0	[m²]	0
	0	[m²]	0
	0	[m²]	0
	0	[m²]	0

Figur R.3 – *Inddata til SiByB beregning for Rum Vinter for Stenagervænget 37*

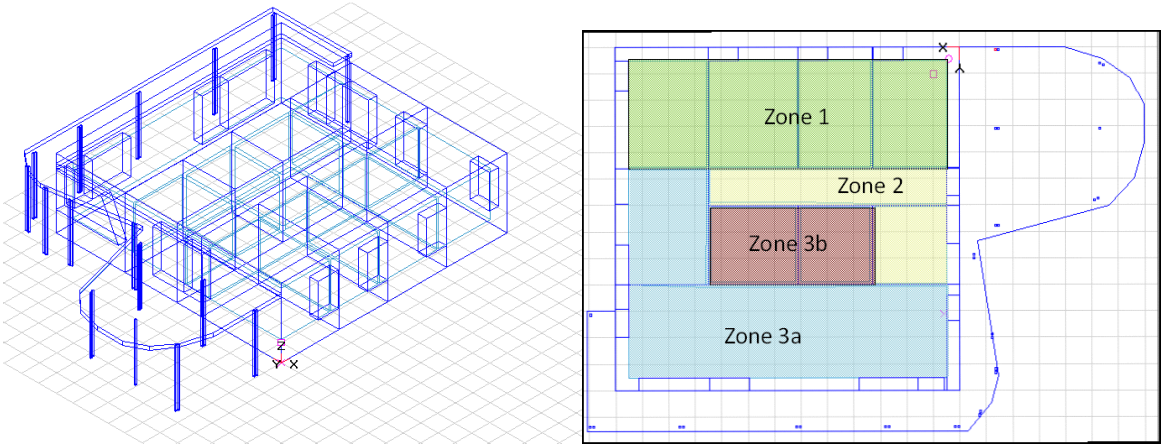
Herudover er det valgt at køre beregningen med tilvalgte månedsvariable for solafskærmningsfaktorer, således at solafskærmningsfaktorerne, spænder fra 0,7-0,8. Dette gælder for alle måneder.

R.2 Opbygning af BSim-model

R.2.1 Generelt

I BSim modellen er huset inddelt i fire termiske zoner, der fremgår af figur R.4b. BSim-modellen forefindes på Bilags-CD'en, *Stenagervænget37.disxml*. I figur R.4a er selve BSim modellen illustreret. Zone 1 dækker boligens værelser samt kontor. Zone 2 dækker gangarealerne i boligen, og zone 3a dækker køkkenalrum samt stue. Sidste zone, zone 3b, dækker badeværelser samt bryggers. Ved denne opdeling er det muligt at implementere brugeradfærden i eksempelvis systemerne, idet der kan indtastet forskellige dagsprofiler for hvert system. Ydermere regner BSim på timebasis, sammenlignet med Be10, der regner på månedsbasis.

I de følgende afsnit vil opbygningen af modellens konstruktioner samt systemer bliver gennemgået.



(a) Opbygning af BSim modellen **(b)** Zoneindeling i BSim-modellen

Figur R.4 *– BSim model af Stenagervænget 37*

R.2.2 Konstruktioner

Tabel R.1 til R.6 angiver opbygningen af de respektive konstruktioner i forbindelse med opstilling af BSim modellen af Strenagervænget 37.

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Fibergips	0,025	0,35	1000
Isolering	0,045	0,043	1200
Klimamembran	0,0022	0,9	1200
Isolering inkl. trævæg	0,29	0,0412	900
Isolering	0,12	0.037	800
Puds	0,01	850	0.3
Samlet U-værdi: 0,086 W/m^2K			

Tabel R.1 *– Opbygning af ydervægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Gipsplade	0,013	0,2	1000
Isolering	0,07	0,045	800
Gipsplade	0,013	0,2	1000
Samlet U-værdi: 0,51 W/m^2K			

Tabel R.2 *– Opbygning af indervægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Betonelement	0.2	2,1	800
Samlet U-værdi: 2.82 W/m^2K			

Tabel R.3 *– Opbygning af indvendige betonvægge i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Puds	0,01	0,3	850
Isolering inkl. træ	0,045	0,04	800
Fibergips	0,0125	0,35	1000
Isolering + spærloft	0,236	0,0536	1000
Tagisolering	0,450	0,038	800
Tagpap	0,008	0,25	750
Samlet U-værdi: 0,057 W/m^2K			

Tabel R.4 *– Opbygning af taget i BSim modellen*

Materiale	**Tykkelse** $[m]$	**Varmeledningsevne,** λ $[W/mK]$	**Termisk kapacitet,** C_p $[J/kgK]$
Trægulv	0,020	0,12	1800
Beton element	0,100	2.1	800
EPS plader	0,55	0,038	750
Samlet U-værdi: 0,067 W/m^2K			

Tabel R.5 *– Opbygning af gulvet i BSim modellen*

Alle vinduer i boligen består glas med træramme. Derudover er der for hvert vindue respektivt indsat et panel, for dermed at opnå den korrekte U-værdi for det individuelle vindue. Karakteristika for vinduerne er listet i nedenstående:

Materiale	**Lineær transmissionskoeff.,** Ψ_g $[W/m^2K]$	**Bredde af ramme/karm** $[m]$
6-15Ar-SLwE4	0	
Træ ramme		0
U-værdi, glas	0,53 W/m^2K	
Varmetransmittans (g-værdi)	0,52	
Sollystransmittans (LT)	0,78	
Samlet U-værdi	0,62-0,71 W/m^2K	

Tabel R.6 *– Opbygning af vinduer i BSim modellen*

R.2.3 Systemer

Bygningen er primært ventileret ved og opvarmet med et mekanisk ventilationsanlæg, derfor er der i BSim modellen ikke indsat et varmeanlæg. Alle systemer i BSim modellen kører alle dage året rundt. De systemer, der er indsat i denne model er følgende:

- Udstyr
- Personlast
- Infiltration
- Fugt
- Ventilation
- Naturlig ventilation

Personlast

Der regnes ikke med personlast i zone 2 og 3b, da disse zoner dækker toilet, bryggers samt gangarealer, hvorved der ikke indsættes en fast personlast. Personbelastningen i zone 1 og 3a er fastlagt ud fra en antagelse om at huset kan være beboet af op til 5 personer. Ydermere forekommer der ingen personbelastning i tidsrummet 8-17 idet det antages at beboerne i dette tidsrum vil være på arbejde eller i institution, ligeledes regnes der kun med 60% belastning i timerne fra kl 17-20.

Termisk zone	**Personlast**	**Belastning**
1	**Total last**	1-8
	Antal personer: 5	100% 17-20
	Person type:	60% 21-24
	Varme Gen: 0,1 kW	100%
	Fugt Gen: 0,06 kg/h	
3a	**Total last**	**Dagsprofil**
	Antal personer: 5	100% 1-8
	Person type:	60% 17-20
	Varme Gen: 0,1 kW [Wittchen et al., 2009]	100% 21-24
	Fugt Gen: 0,06 kg/h [Wittchen et al., 2009]	

Tabel R.7 *– Opsætning af systemet Personlast i BSim*

Udstyr

Belastningen fra udstyr er fastlagt ud fra rummets anvendelse. Derfor ses der også en større varmebelastning fra udstyr i zone 3a, da denne zone dækker såvel køkken som stue. I forbindelse med dagsprofilerne henvises til Bilags-CD, *Stenagervænget37.disxml*. Systemet er opsat således at der for hver årstid, forår, sommer, vinter samt efterår, er opsat et dagsprofil for såvel hverdage som weekender.

Thermal zone	Udstyr
1	Varmelast: 0.4979 kW Andel til luft: 0.9
2	Varmelast: 0.1932 kW Andel til luft: 0.9
3a	Varmelast: 0.5611 kW Andel til luft: 0.9
3b	Varmelast: 0.1549 kW Andel til luft: 0.9

Tabel R.8 *– Opsætning af systemet Udstyr i BSim*

Ventilation

Termisk zone	**Ventilationsluft**	**Temperaturkontrol**
1	**Fans:Input** Supply: $0,059m^3/s$ Pressure rise: 980 Pa Total eff: 0,7 Part to air: 0,5 **Fans: output** Return: $0,00m^3/s$ Pressure rise: 0 Pa Total eff: 0,75 Part to air: 0 **Recovery unit:** Max heat rec: 80 Min heat rec: 0 Max cool rec: 0 Max moist rec: 0 **Heating coil:** Max power: 20 kW **Cooling Coil:** Max power: 0 kW Surf Temp: $5°C$ **Humidifier:** Max output: 0 kg/h	Part of nom flow: 1 Min inlet temp $18°C$ Max inlet temp $50°C$ Heating set point $22°C$ Cooling set point $26°C$ Air hum: 0,0 kg/kg

Tabel R.9 *– Opsætning af systemet Ventilation i BSim*

Thermisk zone	Ventilationsluft	Temperaturkontrol
2	**Fans:Input** Supply: $0,059m^3/s$ Pressure rise: 0 Pa Total eff: 0,7 Part to air: 0,5 **Fans: output** Return: $0,00m^3/s$ Pressure rise: 0 Pa Total eff: 0,75 Part to air: 0,5 **Recovery unit:** Max heat rec: 80 Min heat rec: 0 Max cool rec: 0 Max moist rec: 0 **Heating coil:** Max power: 20 kW **Cooling Coil:** Max power: 0 kW Surf Temp: $5°C$ **Humidifier:** Max output: 0 kg/h	Part of nom flow: 1 Min inlet temp $18°C$ Max inlet temp $50°C$ Heating set point $22°C$ Cooling set point $26°C$ Air hum: 0,0 kg/kg
3a	**Fans:Input** Supply: $0,047m^3/s$ Pressure rise: 0 Pa Total eff: 0,7 Part to air: 0,5 **Fans: output** Return: $0,047m^3/s$ Pressure rise: 0 Pa Total eff: 0,75 Part to air: 0 **Recovery unit:** Max heat rec: 80 Min heat rec: 0 Max cool rec: 0 Max moist rec: 0 **Heating coil:** Max power: 20 kW **Cooling Coil:** Max power: 0 kW Surf Temp: $5°C$ **Humidifier:** Max output: 0 kg/h	Part of nom flow: 1 Min inlet temp $18°C$ Max inlet temp $50°C$ Heating set point $22°C$ Cooling set point $26°C$ Air hum: 0,00 kg/kg

Tabel R.10 *– Opsætning af systemet Ventilation i BSim*

Termisk zone	Ventilationsluft	Temperaturkontrol
3b	**Fans:Input**	Part of nom flow: 1
	Supply: $0,012m^3/s$	Min inlet temp $18°C$
	Pressure rise: 0 Pa	Max inlet temp $50°C$
	Total eff: 0,7	Heating set point $22°C$
	Part to air: 0,5	Cooling set point $26°C$
	Fans: output	Air hum: 0,00 kg/kg
	Return: $0,012m^3/s$	
	Pressure rise: 0 Pa	
	Total eff: 0,7	
	Part to air: 0,5	
	Recovery unit:	
	Max heat rec: 80	
	Min heat rec: 0	
	Max cool rec: 0	
	Max moist rec: 0	
	Heating coil:	
	Max power: 20 kW	
	Cooling Coil:	
	Max power: 0 kW	
	Surf Temp: $5°C$	
	Humidifier:	
	Max output: 0 kg/h	

Tabel R.11 *– Opsætning af systemet Ventilation i BSim*

Infiltration

Infiltrationen gennem utætheder i klimaskærmen er fastlagt på baggrund af en blowerdoor test. Ved en blowerdoor test for Stenagervænget 37 er luftskiftet målt til $0,3l/sm^2$. [Isover a Brand of Saint-Gobain, 2009]

I bygninger, hvor klimaskærmens lufttæthed er undersøgt ved trykprøvning med 50 Pa, bestemmes infiltrationen i brugstiden som: [Aggerholm og Grau, 2007]

$$\begin{aligned} q_{infil} &= 0.04 + (0,06 \cdot q_{50})[l/s/m^2] \\ &= 0.04 + (0,06 \cdot 0,30)[l/s/m^2] \\ &= 0,058[l/s/m^2] \\ &= 0,08352h^{-1} \end{aligned} \tag{R.1}$$

Thermisk zone	Infiltration	Dagsprofil
1, 2, 3a og 3b	Basis luftskifte: $0,08352h^{-1}$ Tmp Factor: 0 /h/K Tmp Power: 0 Wind Factor 0 s/m/h	100% 1-24

Tabel R.12 *– Opsætning af infiltration i BSim Infiltration in BSim*

Naturlig ventilation

Thermisk zone	Udluftning	Kontrol
1, 2, 3a og 3b	Basis luftskifte: 1,57 h^{-1} kW Temp. faktor: 0 h^{-1}/K Temp. power: 0 Vind faktor: 0 Maks. luftskifte: 1,57 h^{-1}	Setpunkt: 24 $°C$ Set punkt CO_2: 0 ppm Faktor: 1

Tabel R.13 *– Opsætning af systemet Venting i BSim*

Fugtbelastning

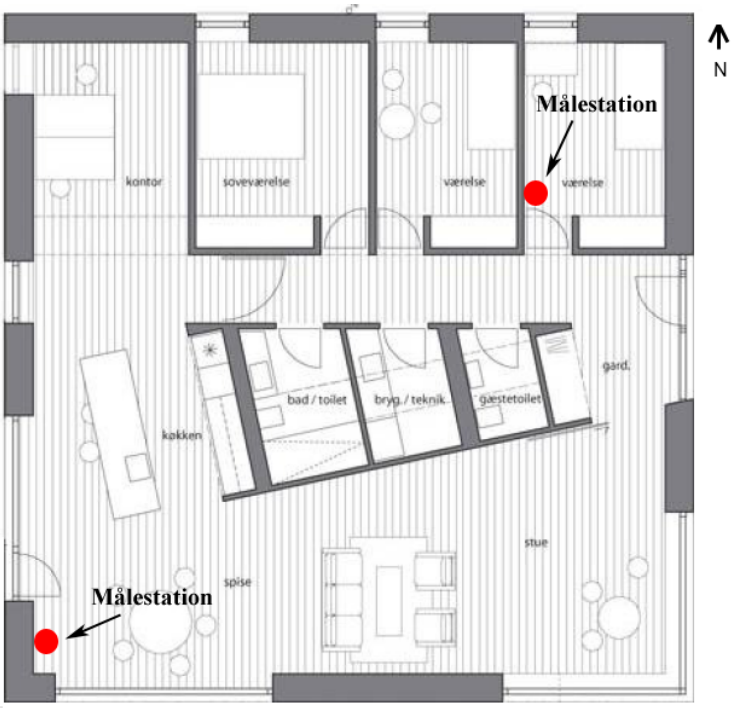
Thermisk zone	Fugt	Dagsprofil
1	Fugtlast: 0.011 kW	100% 1-24
2	Fugtlast: 0.005 kW	100% 1-24
3a	Fugtlast: 0.067 kW	100% 1-24
3b	Fugtlast: 0.159 kW	100% 1-24

Tabel R.14 *– Opsætning af systemet Fugt i BSim*

R.3 Målinger

Målingerne foretaget på Stenagervænget 37 er en del af forskningsprojektet *Demonstration af energiforbug og indeklima i 10 danske passivhuse*, udført af Aalborg Universitet i perioden 1. juni 2008 - 31. december 2011.

De målinger, der anvendes i nærværende projekt er alle foretaget som løbende målinger over hele måleperioden for 2010, dette værende sig energiforbruget til varmt brugsvand samt indeklimamålinger af CO_2-koncentrationen, den relative luftfugtighed samt rumluftstemperaturen i boligen. Figur R.5 viser målepunkterne for indeklimamålingerne samt placeringen af dataloggeren, der er forbundet til internettet.



Figur R.5 – *Placering af målepunkter for indeklima målingerne, efter [Tine S. Larsen, 2009]*

Som tidligere beskrevet omfatter målingerne af det termiske indeklima rumluftstemperaturen og det atmosfæriske omfatter målinger af CO_2-koncentrationen og relative luftfugtighed. Målingerne af indeklimaet foregår med Eltek målere, hvilket har betydning for sammenligningen af målingerne og SiByB beregningerne. Der er korrigeret for CO_2-målingerne, da Eltek-målerne igennem hele måleperioden, målte en for høj baggrundskoncentration. Korrigeringen er foretaget på baggrund af en baggrundskoncentration på 370[*ppm*]. Nedenstående tabel viser størrelsen på hvor meget bagggrundskoncentrationen blev nedsat.

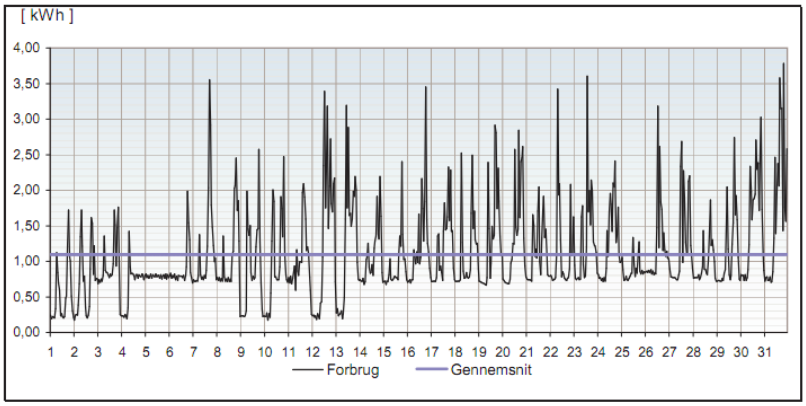
Januar	339 ppm	August	420 ppm
Februar	326 ppm	September	420 ppm
Marts	319 ppm	Oktober	423 ppm
Juni	382 ppm	November	392 ppm
Julie	410 ppm	December	500 ppm

Tabel R.15 – *Korrigeringen af baggrundskoncentrationen*

Til sidst skal der nævnes at boligen ikke var beboet i månederne april og maj, hvorfor der ikke anvendes målinger fra disse måneder.

R.3.1 Ekstra elforbrug til opvarmning

I Stenagervænget 37 blev i december 2009 der installeret ekstra elradiatorer grundet den manglende opvarmningskapacitet fra det mekaniske ventilationsanlæg. Målingerne for energiforbruget til rumopvarmningen viser derfor ikke det korrekte billede af opvarmningsforbruget. Det totale elforbrug er vist i figur R.6 til R.10 for månederne december, januar, februar og december år 2010, hvor elradiatorerne blev anvendt. Som det ses stiger minimumsforbruget i december grundet installationen af elradiatorerne, mens det er tydeligt, at elradiatorerne tændes igen i november 2010. Basis elforbruget for Stenagervænget 37, antages at være på 0,4kWh/h, da dette fremgår af figur R.6, hvilket er det mindste elforbrug inden der installeres elradiatorer.



Figur R.6 – *Målinger af det totale elforbrug for Stenagervænget 37 for december år 2009*

I det efterfølgende beregnes elforbruget, der antages anvendt til rumopvarmning. Dette forbrug findes ved at beregne forøgelsen af elforbruget, når elradiatorerne installeres sammenligning med basiselforbrug på 0,4kWh/h fundet i figur R.6.

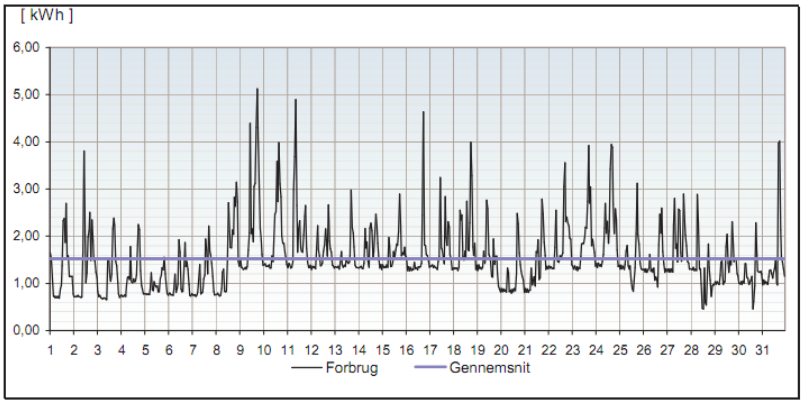
Januar
1. - 8. januar, 20. og 21. januar samt 29. - 31. januar

$$(0,8 - 0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 12døgn/mdr = 115,2kWh/mdr \tag{R.2}$$

9. - 19. januar og 22. - 28. januar

$$(1,3 - 0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 19døgn/mdr = 319,2kWh/mdr \tag{R.3}$$

I alt bruges ca. 435kWh i januar måned ekstra på rumopvarmningen



Figur R.7 *– Målinger af det totale elforbrug for Stenagervænget 37 for januar år 2010*

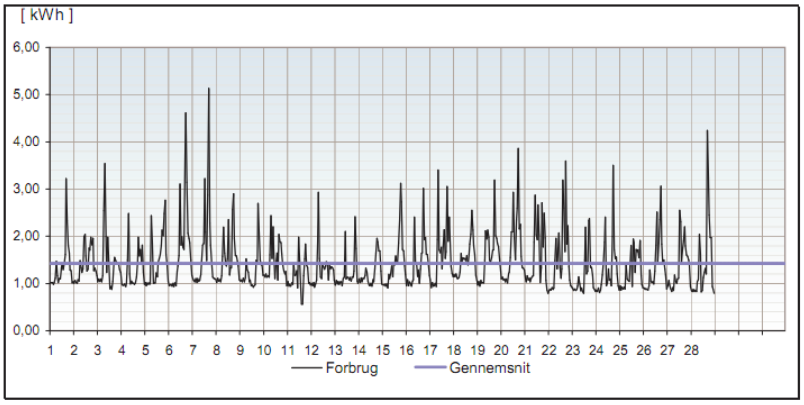
Februar
1. - 21. februar

$$(1,0-0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 21døgn/mdr = 302,4kWh/mdr \tag{R.4}$$

22. - 28. februar

$$(0,8-0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 7døgn/mdr = 67,2kWh/mdr \tag{R.5}$$

I alt bruges ca. 370kWh i februar måned ekstra på rumopvarmningen

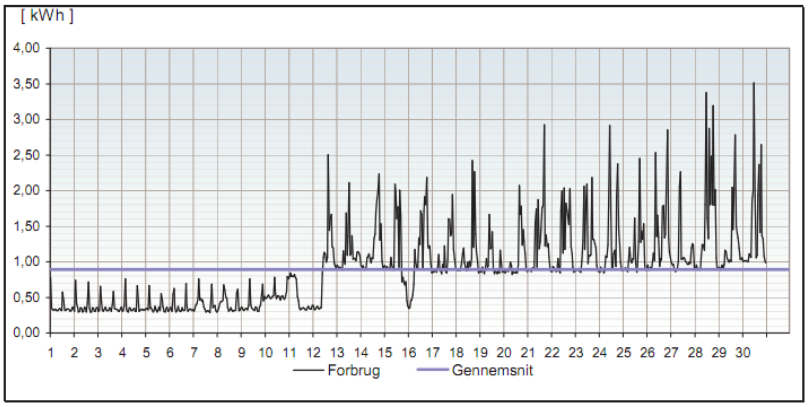


Figur R.8 *– Målinger af det totale elforbrug for Stenagervænget 37 for februar år 2010*

November
3. - 30. november

$$(0,9-0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 18døgn/mdr = 172,8kWh/mdr \tag{R.6}$$

I alt bruges der ca. 170kWh i november ekstra på rumopvarmningen



Figur R.9 – *Målinger af det totale elforbrug for Stenagervænget 37 for november år 2010*

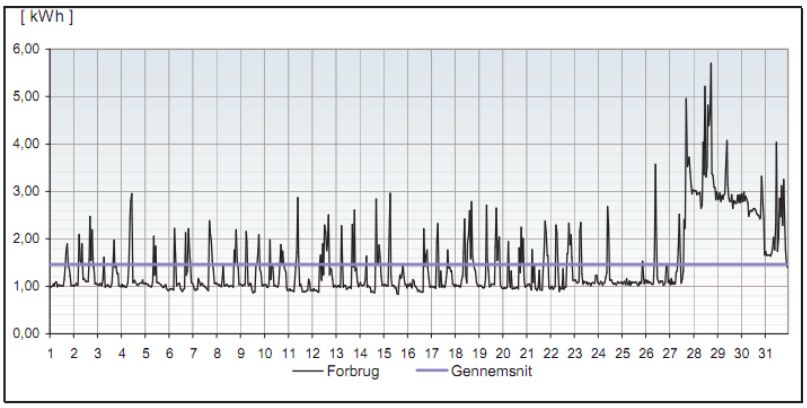
December
1. - 27. december

$$(1,0-0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 27døgn/mdr = 388,8kWh/mdr \tag{R.7}$$

28. - 31. december

$$(1,6-0,4)kWh/h \cdot 24h/døgn \cdot 4døgn/mdr = 115,2kWh/mdr \tag{R.8}$$

I alt bruges der altså ca. 500kWh i december måned ekstra på rumopvarmning



Figur R.10 – *Målinger af det totale elforbrug for Stenagervænget 37 for december år 2010*

R.4 Sammenligning af Be10 beregning og regnearksversion

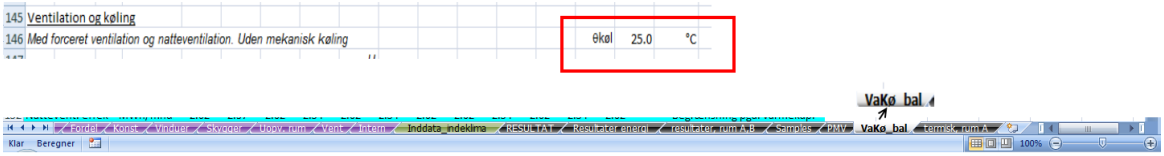
En sammenligning mellem den faktiske Be10 beregning af Stenagervænget 37 og energiberegningen i regnearksversionen er foretaget, for at undersøge forskellighederne i disse beregnin-

ger. Begge beregninger forefindes på Bilags-CD'en i mappen "S37"; "*S37_ energiramme.xlsm*"og "*Energiramme_ S37.xml*". Nøgletallene fra begge beregninger listet i tabelform i tabel Q.13.

	Be10-program $[kW/m^2\ pr.\ år]$	**Be10-regnearksversion** $[kW/m^2\ pr.\ år]$
Samlet energibehov	27,4	27,2
Overtemperaturer i rum	5,3	5,1
Dimensionsgivende transmissionstab	11,2	11,2
Dimensionsgivende ventilationstab med vgv	15,8	13,4
Netto energibehov til rumopvarmning	7,8	4,3
Netto energibehov til varmt brugsvand	17,4	17,5
Varmetab fra installationer til varmt brugsvand	4,3	4,4
Elbehov til ventilatorer og pumper	3,2	3,4

Tabel R.16 – *Udvalgte nøgletal for energiberegningen fra Be10-programmet og Be10-regnearksversionen*

Tabellen viser at det samlede energibehov i regnearksversionen afviger 0,7% fra beregningen i Be10. Først blev der ikke pålagt straf i regnearket ved overtemperaturer i de tilfælde hvor der ikke er koblet et køleanlæg på boligen. Denne fejl er løst ved at ændre definitionen på kølingstemperaturen i varme- kølebalancen, der ligger som et af de skjulte ark i SiByB, se figur R.11.



Figur R.11 – *Ændring af kølingstemperaturen i SiByB*

Her regnes oprindeligt med en kølingstemperatur på $99°C$ i de tilfælde hvor der ikke er koblet køleanlæg på boligen. Dette er nu ændret således at denne er $25°C$. Selv med disse ændringer er der jævnfør tabel R.16 stadig uoverensstemmelser mellem Be10 og regnearket. Tabel R.17 og R.18 viser månedsbehovene for varme, el og overtemperaturer for regnearksversionen henholdsvis Be10.

MWh	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Maj**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dec**	**Året**
Varme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El	0,39	0,32	0,31	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,28	0,29	0,31	0,39	3,73
Overtemperatur	0	0	0	0	0	0,24	0,42	0,23	0	0	0	0	0,90
I alt	0,39	0,32	0,31	0,29	0,29	0,52	0,71	0,52	0,28	0,29	0,31	0,39	4,62
kWh/m^2	2,3	1,9	1,9	1,7	1,7	3,1	4,2	3,1	1,7	1,7	1,8	2,3	27,4

Tabel R.17 – *Samlet energibehov for Stenagervænget 37 fra Be10*

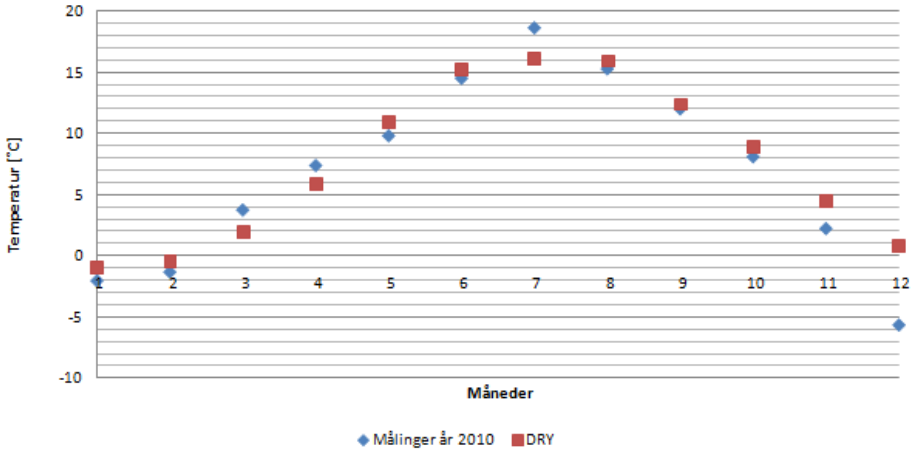
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
El	0.37	0.30	0.33	0.30	0.30	0.28	0.30	0.30	0.28	0.30	0.31	0.37	3.74
Overtemperatur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.23	0.25	0.22	0.03	0.00	0.00	0.00	0.86
I alt	0.37	0.30	0.33	0.30	0.42	0.52	0.55	0.52	0.31	0.30	0.31	0.37	4.60
kWh/m^2	2.2	1.8	2.0	1.8	2.5	3.0	3.2	3.1	1.8	1.8	1.8	2.2	27.2

Tabel R.18 – *Samlet energibehov for Stenagervænget 37 fra regnearket*

Forskellen mellem elforbruget i de enkelte måneder skyldes afrundingsforskelle mellem de to programmer. Ses der på overtemperaturerne, er der stor forskel på hvor mange måneder der opstår over temperaturer og hvor stor straf der tildeles hver enkel måned. Det vurderes derfor at overtemperatur beregningen i regnearksversionen af Be10 ikke fungerer optimalt. Samlet set er der således en afvigelse på 0,7 % mellem de to versioner, hvilket ikke vurderes at have indflydelse på energiberegningsdelen af SiByB.

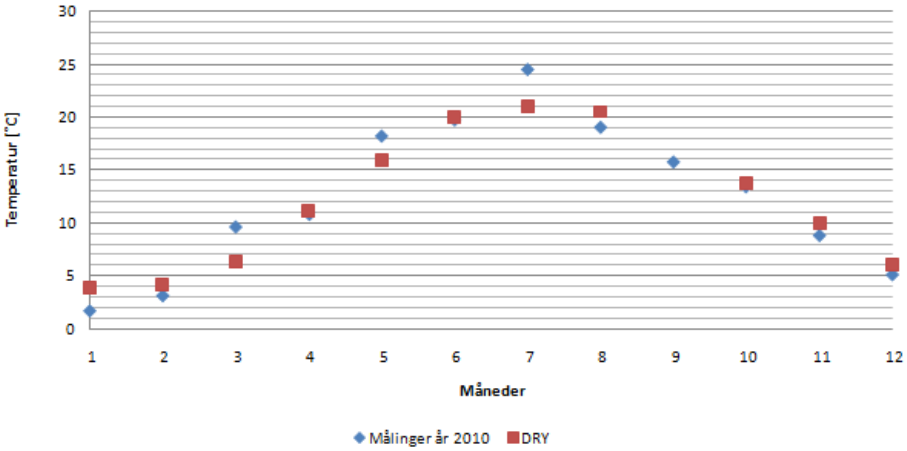
R.5 Sammenligning af vejrdata

Der foretages en sammenligning af vejrdataene for vejrstationen opstillet på Stenagervænget i forbindelse med måleprojektet samt vejrdataene anvendt i SiByB regnearket for indeklimadelen. Denne sammenligning har til formål at vurdere hvorvidt de datasæt, der er anvendt i SiByB konceptet, er sammenlignelige med de faktiske vejrdata for huset, dermed er det muligt at vurdere hvorvidt resultaterne af SiByB simuleringen er sammenlignelig med målingerne. Der foretages en sammenligning af månedsmiddeltemperaturen for middel- og maksimumdøgn samt månedsmiddel for den relative luftfugtighed. Figur R.12 viser en sammenligning af månedsmiddeltemperaturen for middeldøgn for DRY og for vejrstationen placeret ved Stenagervænget for 2010.



Figur R.12 – *Sammenligning af månedsmiddeltemperaturer for middeldøgn for Stenagervænget 37*

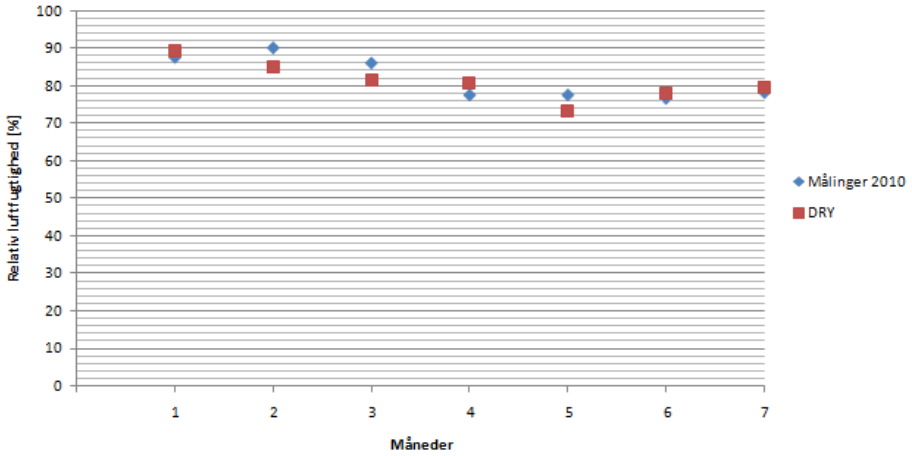
Sammenligningen i figur R.12 viser at temperaturforskellen i april-september ligger mellem $0,63 - 2,52°C$. Den største forskel ligger i juli, hvor målingerne fra stenagervænget viser den højeste temperatur. Dermed vurderes det, at de små temperaturforskelle, der opstår mellem DRY vejrdata og målinger fra vejrstationen ikke giver anledning til nærmere undersøgelse, og dermed kan resultaterne på baggrund af månedsmiddel temperaturerne for middeldøgnet sammenlignes.
Figur R.13 viser en sammenligning af månedsmiddeltemperaturen for maksimumdøgnet for DRY og for vejrstationen placeret ved Stenagervænget i år 2010.



Figur R.13 – *Sammenligning af månedsmiddeltemperaturer for maksimumsdøgn for Stenagervænget 37*

Sammenligningen af temperaturerne viser at temperaturforskellen i opvarmningssæsonen, defineret som april til september i dette tilfælde ligger mellem $0,09 - 3,56°C$. Den største forskel ligger i juli, hvor målingerne på samme måde som ved middeldøgnet viser højere temperatur end DRY vejrdata.

Figur R.14 viser sammenligningen af månedsmiddelværdier for den relative luftfugtighed for DRY og for vejrstationen placeret ved Stenagervænget. Der er udelukkende sammenlignet vejrdata for månederne januar til juli 2010, hvilket skyldes at der ikke har været målinger tilgængelige fra vejrstationen i de resterende måneder.



Figur R.14 – *Sammenligning af den relative luftfugtighed*

Sammenligningen af den relative luftfugtighed viser at dataene generelt set stemmer overens. Ydermere ses det at forløbet for den relative luftfugtighed over året er ens. Afvigelsen over året ligger mellem 0,15-5,26 svarende til en procentvis afvigelse på 0,2-5,8%.

Alt i alt vurderes det at forskellene mellem temperaturerne for middel- og maksimumsdøgnet samt den relative luftfugtighed er så små at det ikke vil give de store udslag i simuleringerne af såvel energiforbruget som indeklimaet. Dermed vælges det at forsætte valideringen af konceptet SiByB med de vejrdata der er tilgængelige fra DRY.

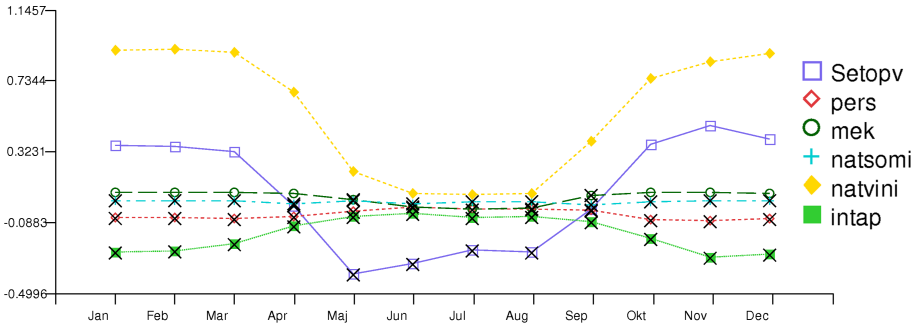
R.6 Sammenligning af sensitivitetsanalyser

Dette afsnit gennemgår og sammenligner de respektive sensitivitetsanalyser for såvel energiforbrug, termisk samt atmosfærisk indeklima for Stenagervænget 37. Sammenligningen af de respektive sensitivitetsanalyser har til formål at klarlægge hvilken type analyse der vil være mest sandsynlig i den aktuelle sanalyse.
Signaturforklaring for forkortelserne givet i analyserne er følgende:

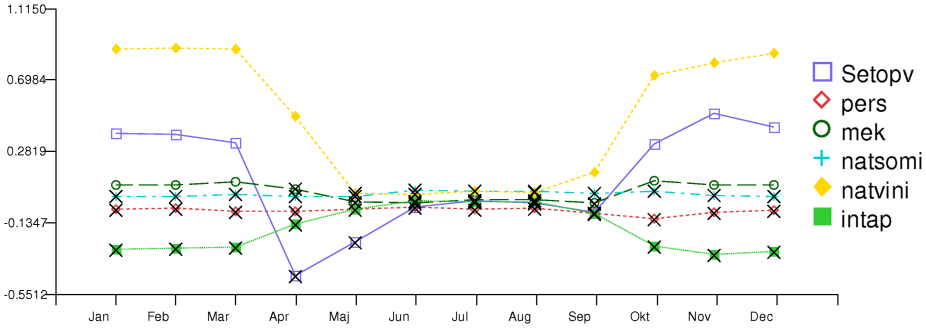
Setopv	Setpunktstemperatur for rumopvarmningen
vand	Varmtvandsforbrug
solaf	Solafskærmningsfaktor
pers	Varmetilskud fra personer
mek	Luftmængde fra den mekaniske ventilation
natsomi	Luftmængde fra den naturlige ventilation om sommeren inklusiv infiltration
natvini	Luftmængde fra den naturlige ventilation om vinteren inklusiv infiltration
intap	Varmetilskud fra apparater

R.6.1 Sensitivitetsanalyser foretaget på varmeforbruget

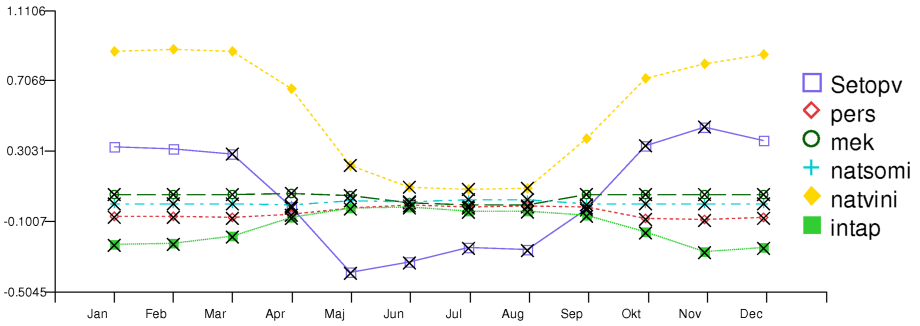
Figur R.15 - figur R.20 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Sensitivitetsanalyserne ser på energiforbruget til rumopvarmning.



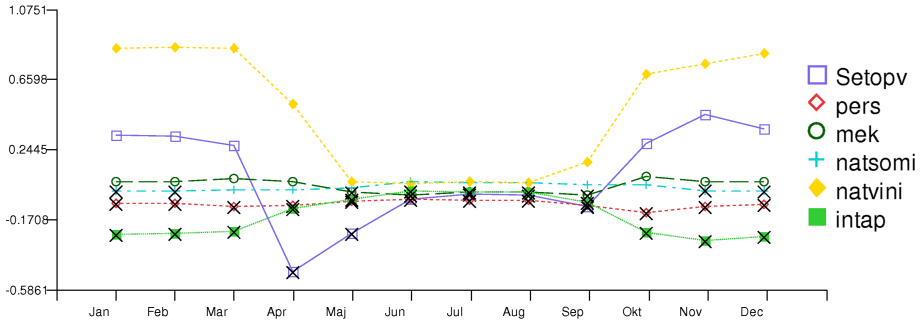
Figur R.15 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



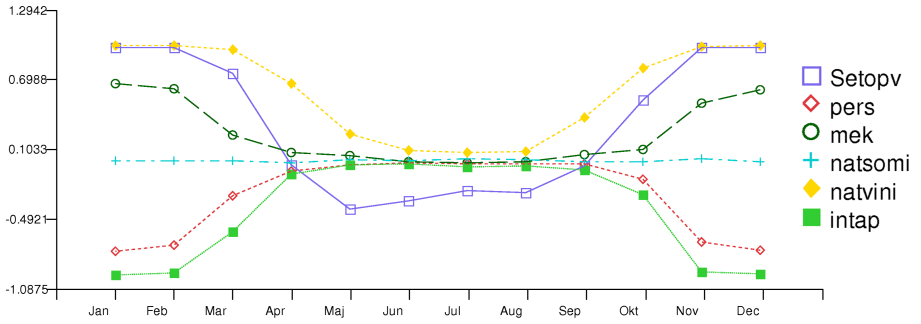
Figur R.16 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



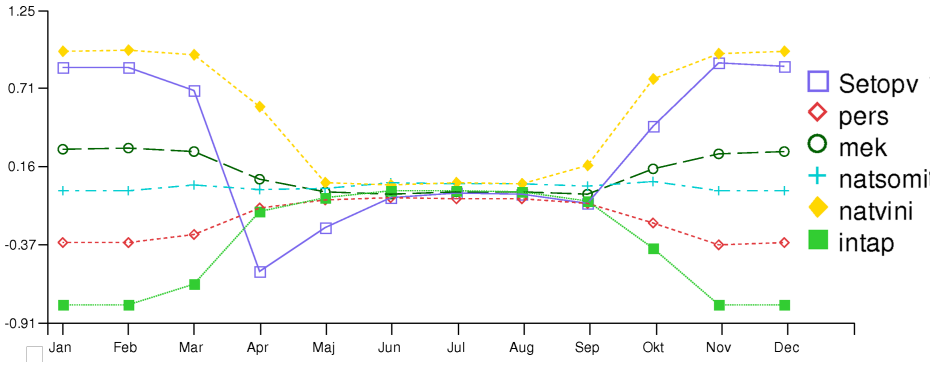
Figur R.17 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.18 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur R.19 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*



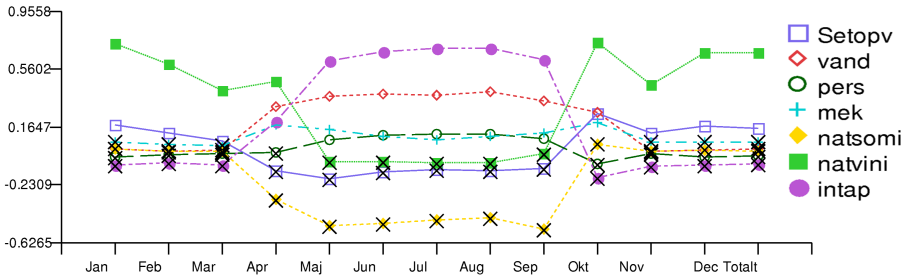
Figur R.20 – *Sensitivitetsanalyse af varmeforbruget ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

På baggrund af de viste resultater fra sensitivitetsanalyserne ses det at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA, viser samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC udenfor opvarmningssæsonen. Analyserne viser, at den naturlige ventilation om vinteren samt setpunktstemperaturen for rumopvarmningen er de mest indflydelsesrige parametre under hensynstagen til brugeradfærden i opvarmningssæsonen. Dog tilskriver

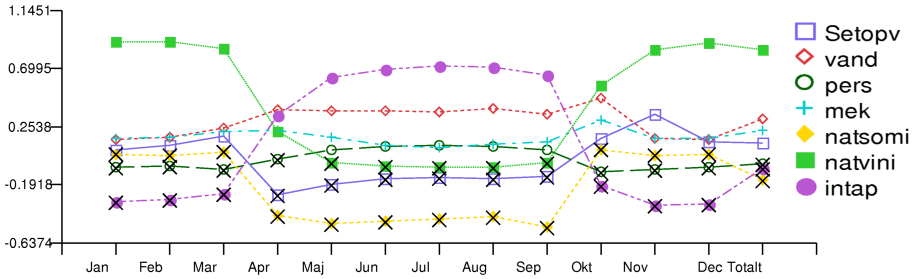
hverken korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA eller regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC den interne belastning fra apparatur nogen større betydning. Partialkorrelationskoefficientanalyserne derimod finder, at den interne belastning fra apparatur er af betydning for energibehovet til rumopvarmning, hvilket også er det forventede resultat. Dog har den interne varmebelastning fra apparatur ikke helt så stor betydning som den naturlige ventilation og setpunktstemperaturen. Ud fra betragtningerne i PRCC analyserne, der giver en højere vægtning af varmetilskuddet i opvarmningssæsonen sammenlignet med SRC, SRRC, PEAR og SPEA, samt en mere sandsynlig vægtning af luftmængden fra den mekaniske ventilation i opvarmningssæsonen sammenlignet med PCC, anvendes PRCC i sensitivitetsanalysen i hovedrapporten.

R.6.2 Sensitivitetsanalyser foretaget på det totale energiforbrug

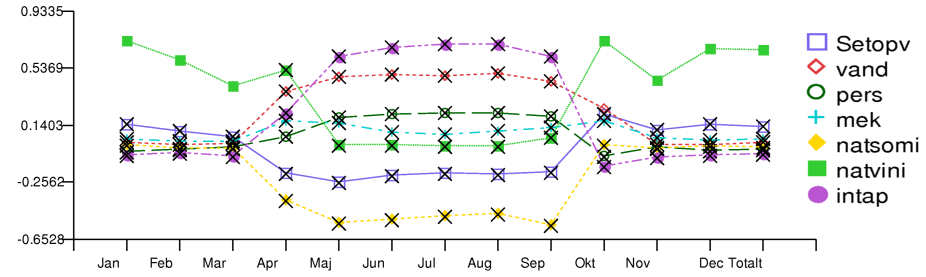
Figur R.21 - figur R.26 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Sensitivitetsanalyserne omhandler det totale energiforbrug for Stenagervænget 37.



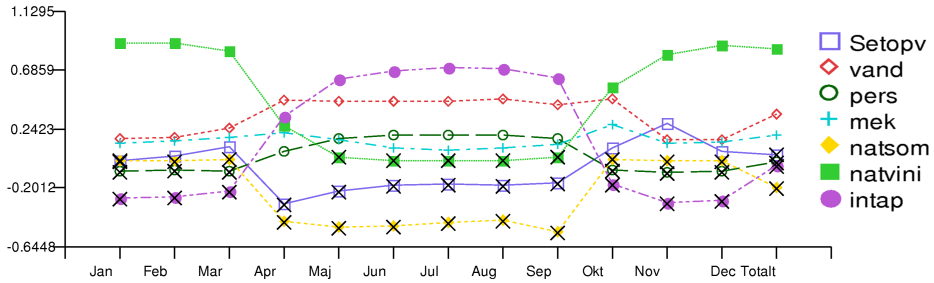
Figur R.21 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



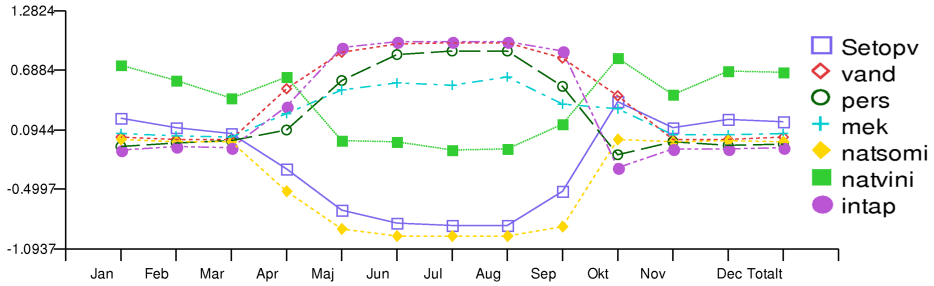
Figur R.22 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



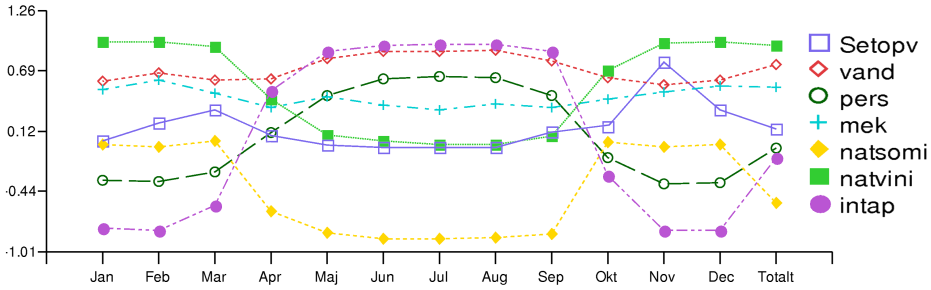
Figur R.23 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.24 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur R.25 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

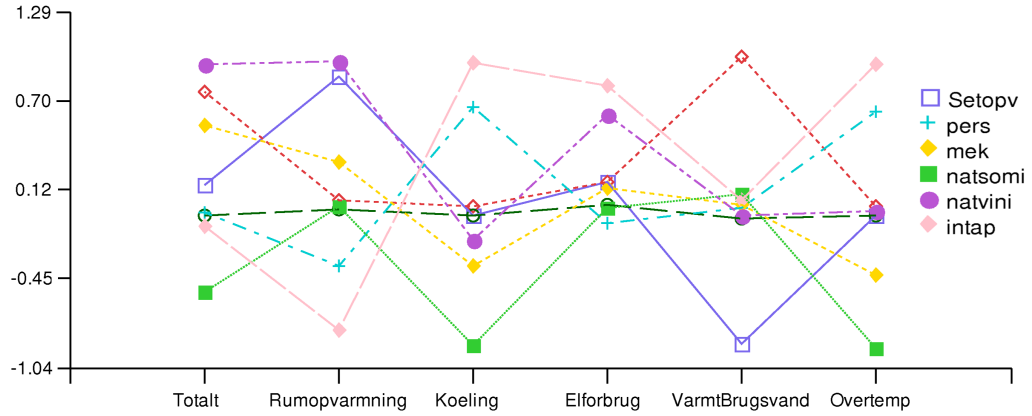


Figur R.26 – *Sensitivitetsanalyse af det totale energiforbrug ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

På baggrund af de viste resultater fra sensitivitetsanalyserne ses det, at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA, viser samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC såvel i som udenfor opvarmningssæsonen. Analyserne viser en klar opdeling af hvilke parametre der er indflydelsesrige i opvarmningssæsonen og hvilke der har betydning udenfor opvarmningssæsonen. Udenfor opvarmningssæsonen svarer de indflydelsesrige parametre til resultaterne af sensitivitetsanalysen for energibehovet til rumopvarmningen. Dette skyldes rumopvarmningens store andel i det totale energiforbrug. Udenfor opvarmningssæsonen ses det, at ved sammenligning med PRCC anslås det, at analysen for PRCC er mest sandsynlig.

R.6.3 Sensitivitetsanalyse af nøgleområder i energiberegningen, PRCC

For at opnå bedre forståelse af de indflydelsesrige parametre for det totale energiforbrug foretages en sensitivitetsanalyse af nøgleområderne i energiberegningsdelen af SiByB. Denne analyse er illustreret i figur R.27.



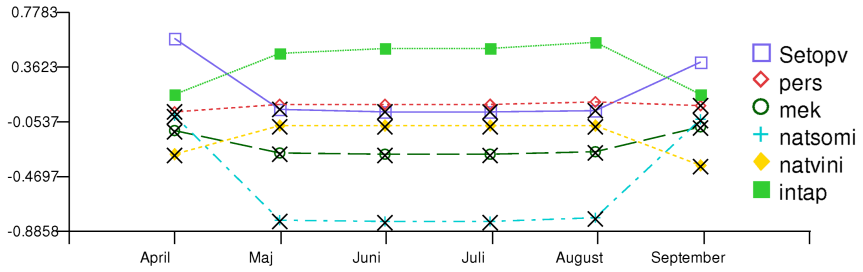
Figur R.27 – *Sensitivitetsanalyse for nøgleområderne i energiberegningen ved brug af PRCC*

Der gøres opmærksom på at analysen af energiforbruget til varmt brugsvand ikke anses for værende korrekt med hensyn til setpunkstemperaturen for rumopvarmningens indflydelse.

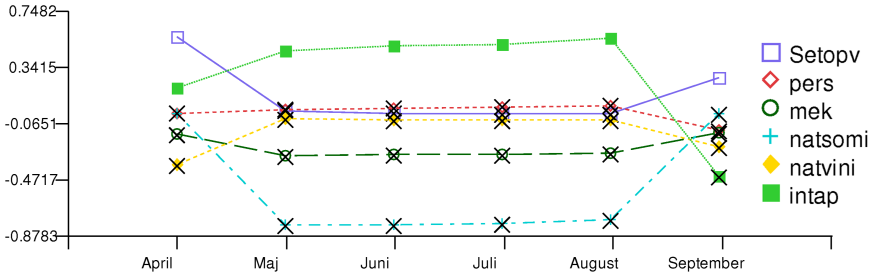
Derved vil analysen af det totale energiforbrug ligeledes give fejlbetragtninger. Sensitivitetsanalysen viser kompleksiteten af de forskellige parametres indflydelse på de forskellige energibehov. Her skal det ligeledes bemærkes, at figur R.27 viser sensitiviteten af det kumulerede energibehov over året, hvor enkelte parametres indflydelse yderligere er forskellig i henholdsvis sommerperioden og vinterperioden. Parametre der båd har positiv og negativ indflydelse på energibehovet kan nævnes det interne varmetilskud, samt solafskærmning.

R.6.4 Sensitivitetsanalyser foretaget på det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

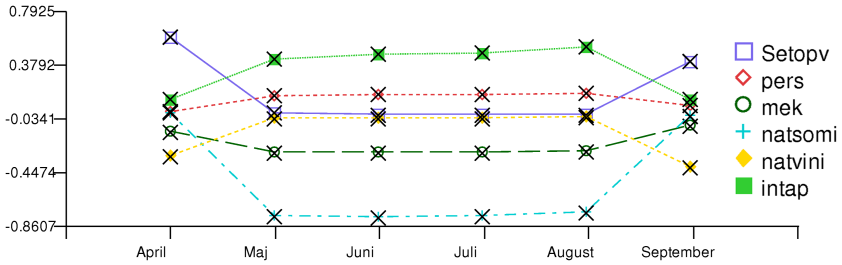
Figur R.28 - figur R.33 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Sensitivitetsanalyserne omhandler det termiske indeklima ved månedsmiddelværdier for middeldøgnet på baggrund af rumluftstemperaturen i *Rum Sommer* for Stenagervænget 37.



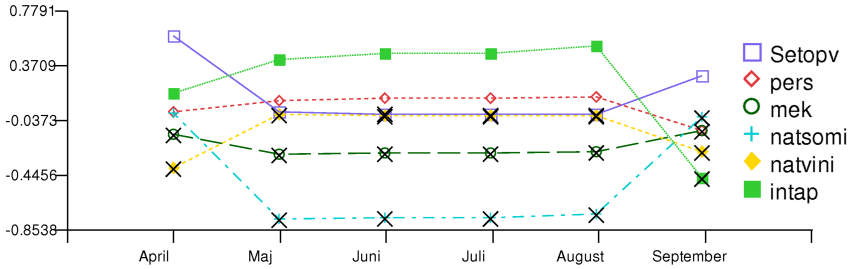
Figur R.28 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



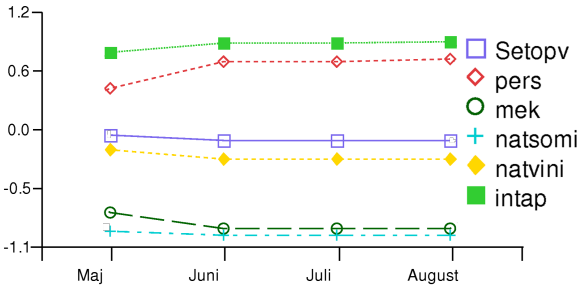
Figur R.29 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



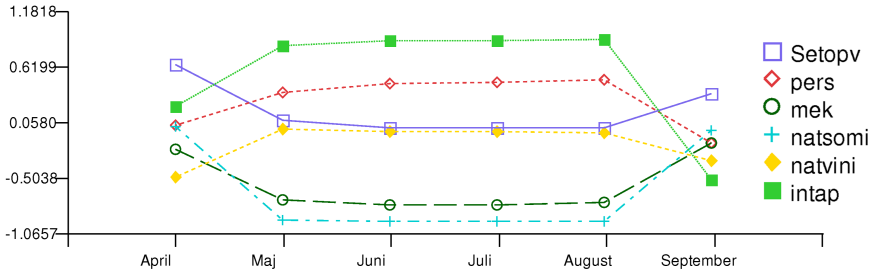
Figur R.30 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.31 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur R.32 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

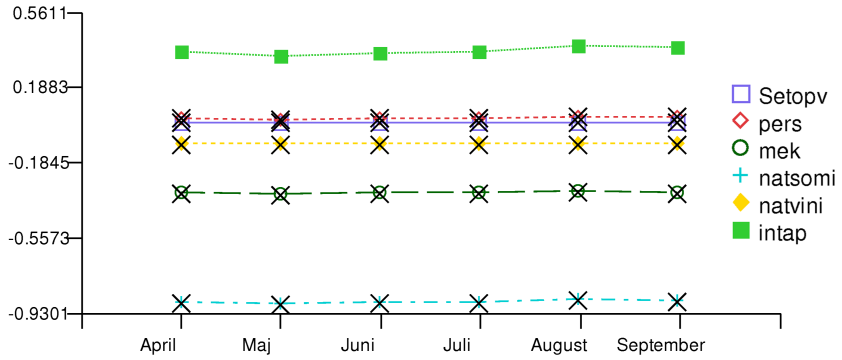


Figur R.33 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

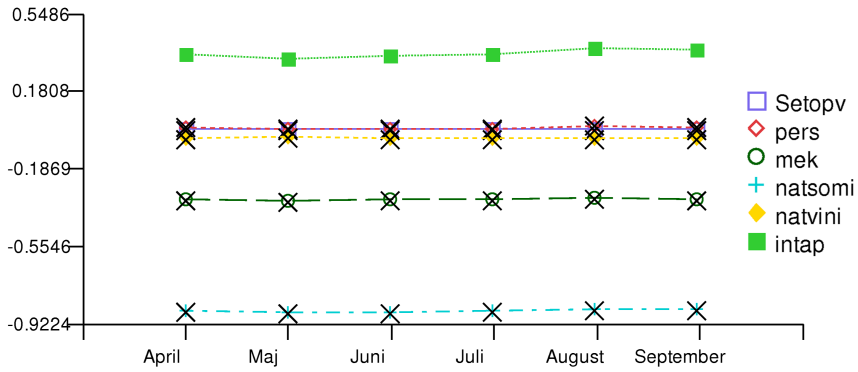
Sensitivitetsanalyserne viser at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA, viser samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Disse analyser viser, at den interne varmebelastning fra apparatur er den mest indflydelsesrige i månederne maj-august, hvorimod setpunktstemperaturen til rumopvarmningen er den mest indflydelsesrige i april, hvilket illustrerer, at det vil være nødvendigt med rumopvarmning i disse måneder for at kunne opretholde den ønskede setpunktstemperatur, og dermed sikre termisk komfort. PCC og PRCC analyserne viser, at parametre som det interne varmetilskud fra såvel personer som apparatur samt luftmængden fra den mekaniske og specielt den naturlige ventilation også har forholdsvis stor indflydelse på det termiske indeklima om sommeren. I hovedrapporten er det derfor valgt at anvende PRCC til at anlysere sensitiviteten af det termiske indeklima ved månedmiddelværdier for middeldøgnet.

R.6.5 Sensitivitetsanalyser foretaget på det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksdøgn

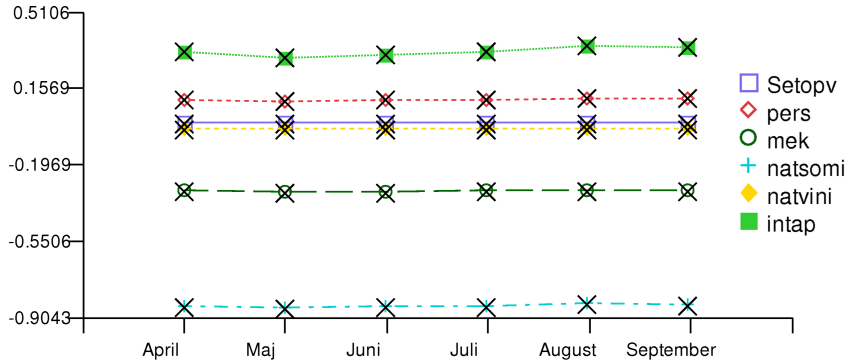
Figur R.34 - figur R.39 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Senstivitetsanalyserne omhandler det termiske indeklima ved månedsmiddelværdier for maksimumsdøgnet på baggrund af rumluftstemperaturen i *Rum Sommer* for Stenagervænget 37.



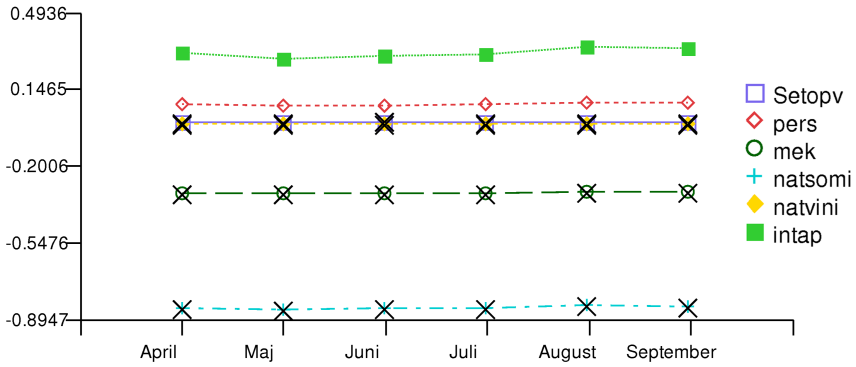
Figur R.34 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



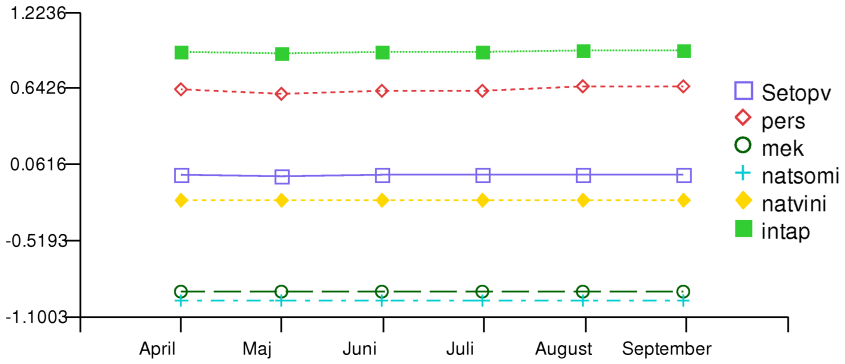
Figur R.35 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



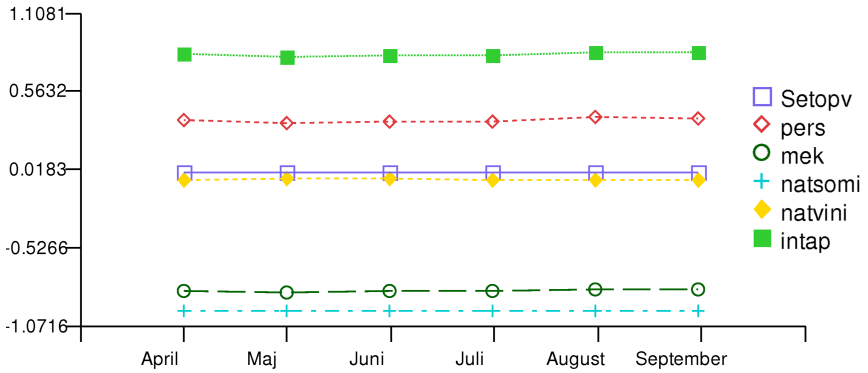
Figur R.36 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.37 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur R.38 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

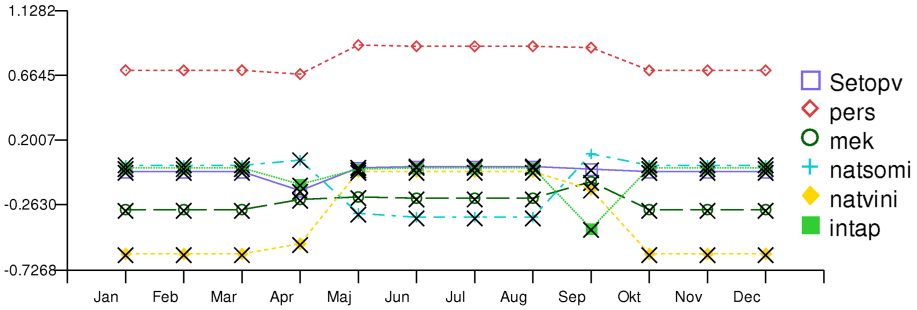


Figur R.39 – *Sensitivitetsanalyse af det termiske indeklima ved månedsmiddelsværdier for maksimumsdøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

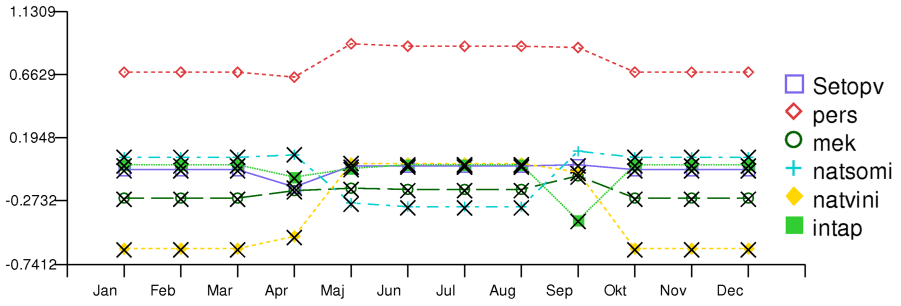
Det fremgår af figurerne at sensitivitetsanalyserne for sommermånederne, defineret som måneder uden et opvarmningsbehov, giver de samme resultater som for middeldøgn. Af denne grund vil sensitivitetsanalyserne for det termiske indeklima ved månedsmiddelværdier for maksimumsdøgnet ikke blive nærmere behandlet.

R.6.6 Sensitivitetsanalyser foretaget på CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

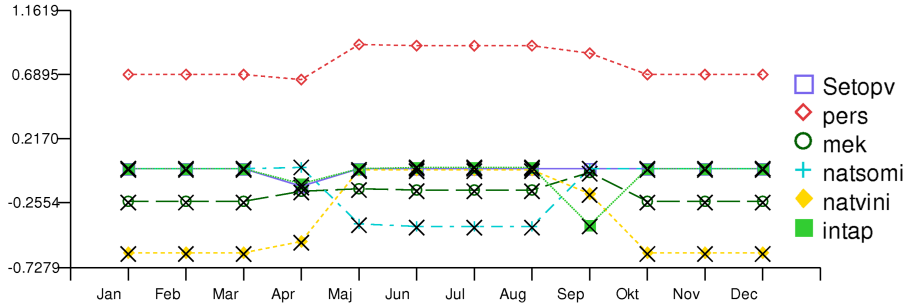
Figur R.40 - figur R.45 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Sensitivitetsanalyserne omhandler CO_2-koncentrationen ved månedsmiddelværdier for middeldøgn i *Rum Sommer* for Stenagervænget 37.



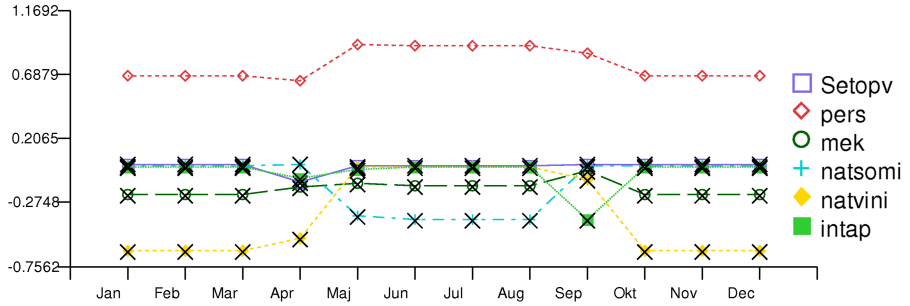
Figur R.40 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



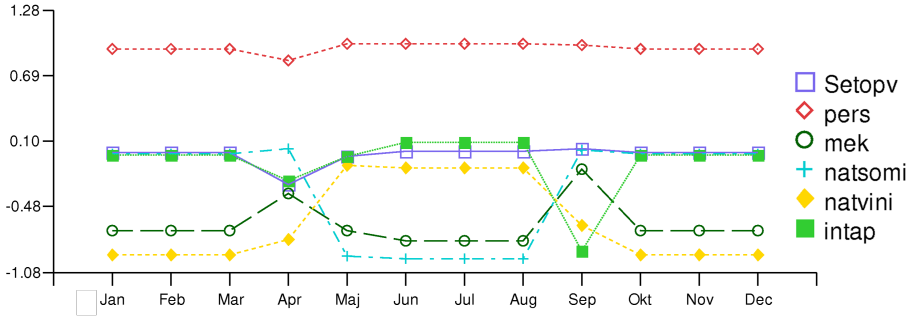
Figur R.41 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



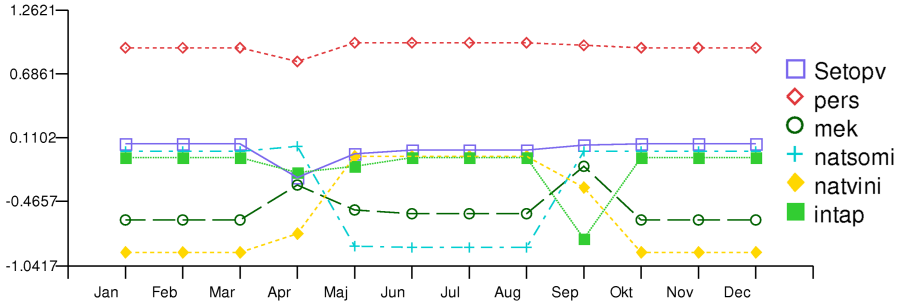
Figur R.42 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.43 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



Figur R.44 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*

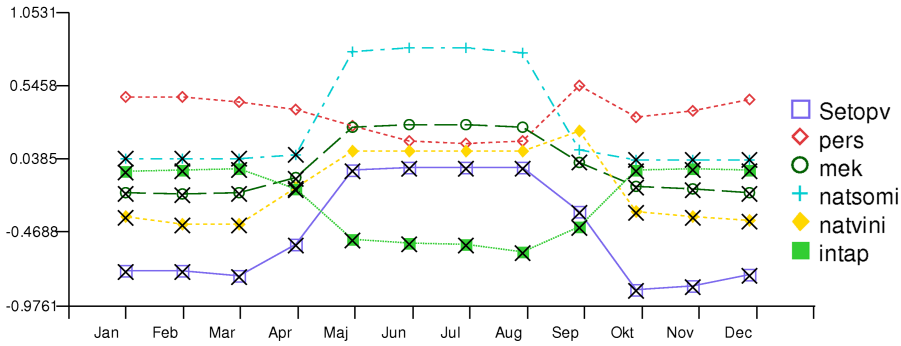


Figur R.45 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

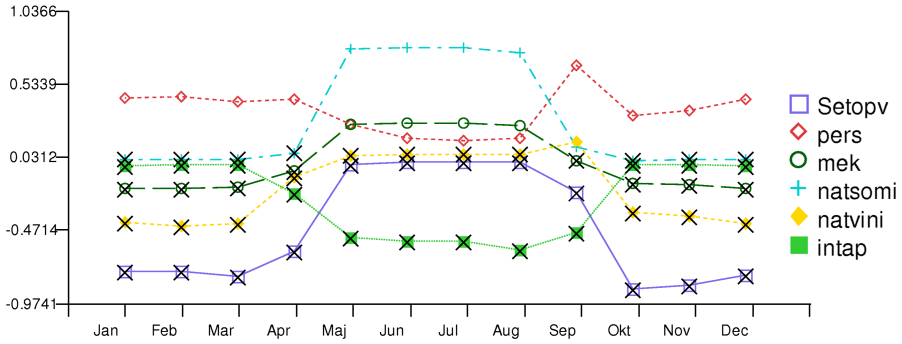
Sensitivitetsanalyserne illustrerer at korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA, viser samme tendens som regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC. Her ses det, at den mekaniske samt naturlige ventilation er af stor betydning udenfor opvarmningssæsonen. Ved sensitivitetsanalyserne, der gør brug af partilakorrelationskoefficienter, PCC og partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC, er det tydeligt at den naturlige ventilation for henholdsvis sommer og vinter, afhængig af de respektive måneder, samt antallet af personer i der opholder sig i rummet er af størst betydning. Ydermere er den mekaniske ventilation stadig af betydning, derfor vælges det at anvende en sensitivitetsanalyse, der gør brug af PRCC i hovedrapporten.

R.6.7 Sensitivitetsanalyser foretaget på den relative luftfugtighed ved månedsmiddelsværdier for middeldøgn

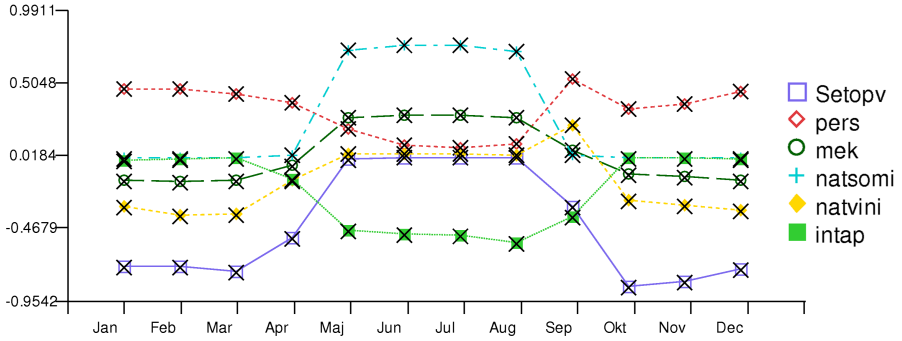
Figur R.46 - figur R.51 illustrerer de respektive sensitivitetsanalyser for de i afsnit N.3.4 beskrevne metoder. Senstivitetsanalyserne omhandler den relative luftfugtighed ved månedsmiddelværdier for middeldøgn i *Rum Sommer* for Stenagervænget 37.



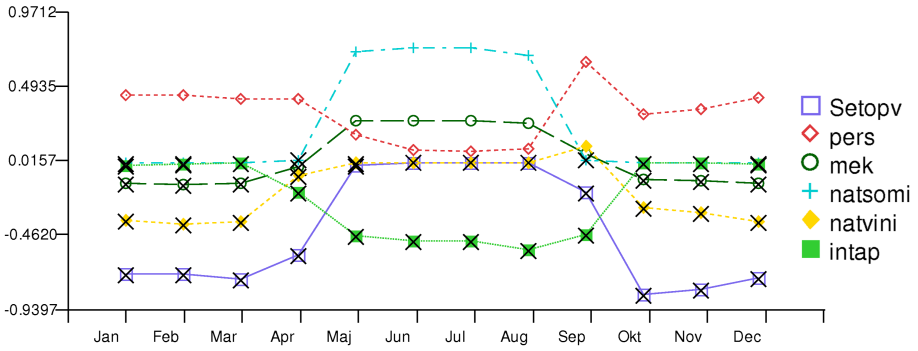
Figur R.46 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed for middeldøgn ved brug af Pearsons korrelationskoefficient, PEAR*



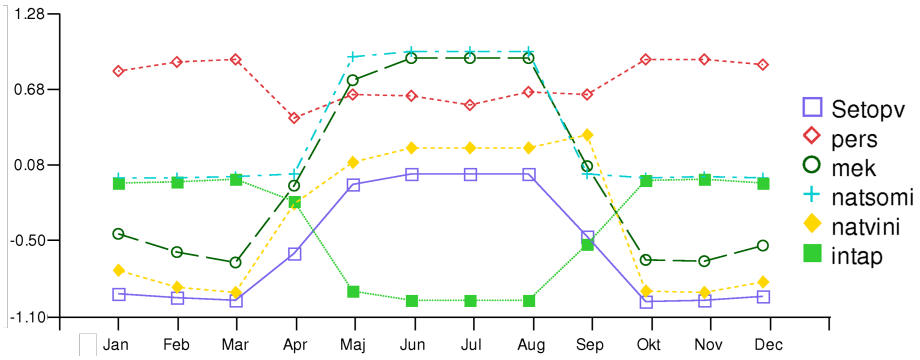
Figur R.47 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed for middeldøgn ved brug af Spearmans korrelationskoefficient, SPEA*



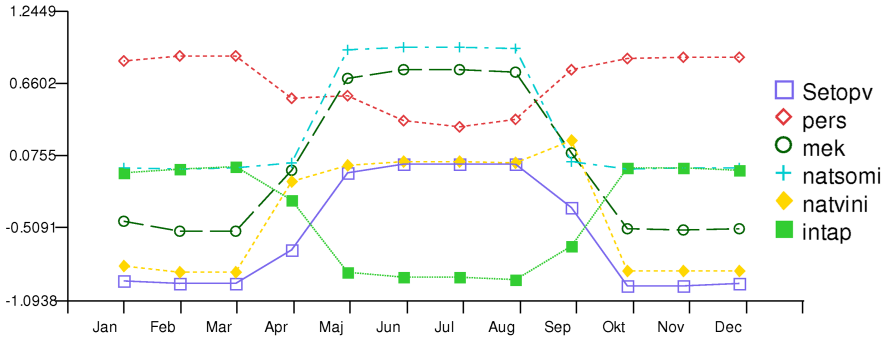
Figur R.48 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed for middeldøgn ved brug af standardiserede regressionskoefficienter, SRC*



Figur R.49 – *Sensitivitetsanalyse af den relative luftfugtighed for middeldøgn ved brug af standardiserede rankeringsregressionskoefficienter, SRRC*



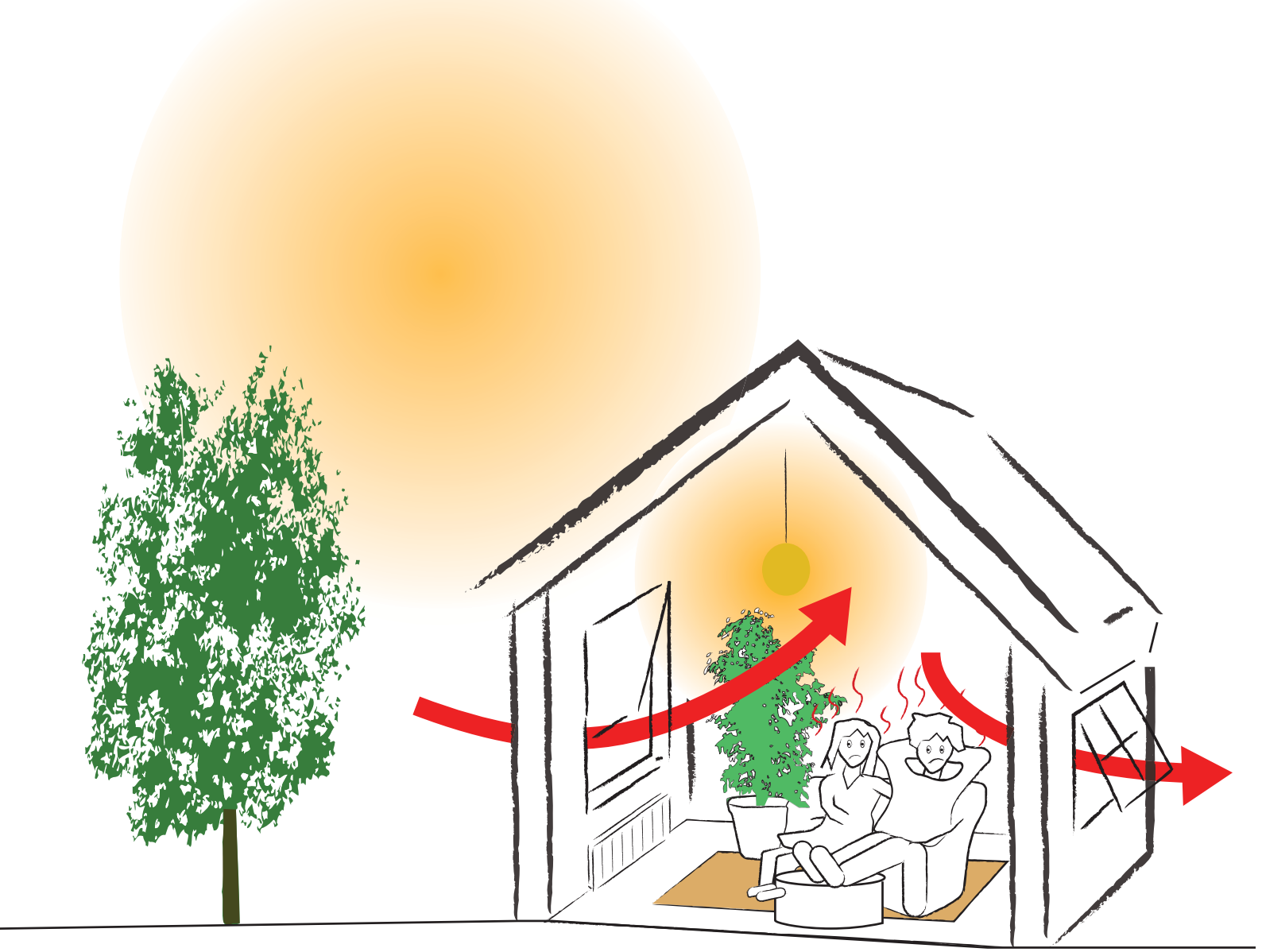
Figur R.50 – *Sensitivitetsanalyse af CO_2-koncentrationen for middeldøgn ved brug af partialkorrelationskoefficienter, PCC*



Figur R.51 – *Sensitivitetsanalyse på den relative luftfugtighed for middeldøgn ved brug af partialrankeringskorrelationskoefficienter, PRCC*

Sensitivitetsanalyserne viser, på samme måde som de tidligere sensitivitetsanalyser, at forskellen mellem korrelationskoefficientanalyserne, PEAR og SPEA, og regressionskoefficientanalyserne, SRC og SRRC er ganske lille. Med fokus på partialkorrelationskoefficienten PRCC, illustrerer figur R.51 at der er en klar opdeling af de indflydelsesrige parametre afhængigt af sæsonen. PCC samt PRCC tilskriver alle parametrene større betydning end de andre sensitivitetsanalyser. På baggrund af dette anvendes PRCC i hovedrapporten.

Denne rapport er produktet af et afgangsprojekt, udarbejdet som afslutning på uddannelsen til civilingeniør i Indeklima og Energi ved Aalborg Universitets Teknisk-, Naturvidenskabelige Fakultet. Rapporten består af fire dele. Første del indeholder en dybdegående problemanalyse, der behandler problematikkerne vedrørende implementering af brugernes adfærd i forbindelse med energiberegningerne. Her er allerede modeller gennemgået. Hovedfokus er lagt på hvorledes brugeradfærden påvirker såvel energiforbruget som indeklimaet.

Med udgangspunkt i de i problemanalysen gennemgåede problemområder er det valgt at udvikle et koncept, der implementerer brugeradfærden i såvel energi- som indeklimaberegningerne. Konceptet benævnes SiByB, Simplificeret beregning af Boligers ydeevne under hensyntagen til Brugernes adfærd. Konceptets hovedformål er at kombinere energi- og simplificerede indeklimaberegninger, ligeledes at udføre usikkerhedsanalyser af energiforbruget såvel som indeklimaet i boligen, og slutteligt at inkludere brugernes adfærd. Konceptet opstilles således, at der for energiberegningerne anvendes samme beregnings metode som i Be10, og indeklimaberegningerne baseres på månedsmiddelværdier.

Tredje del af nærværende rapport indeholder valideringen af SiByB. Her tages udgangspunkt i to cases, begge lavenergiboliger. Her valideres brugernes påvirkning på energiforbruget i en SiByB-simulering. Ligeledes valideres beregningsmetoden af indeklimaberegningerne samt brugernes påvirkning på indeklimaet. I sidste del af rapportendiskuteres og konkluderes der på undersøgelserne i nærværende rapport og dennes resultater. Resultaterne viser at det overornet set er muligt at foretage simplificerede beregninger af boligens ydeevne under hensyntagen til brugernes adfærd, dog er det yderst vigtigt at holde fokus på beregningsmetodernes begrænsningsområder.