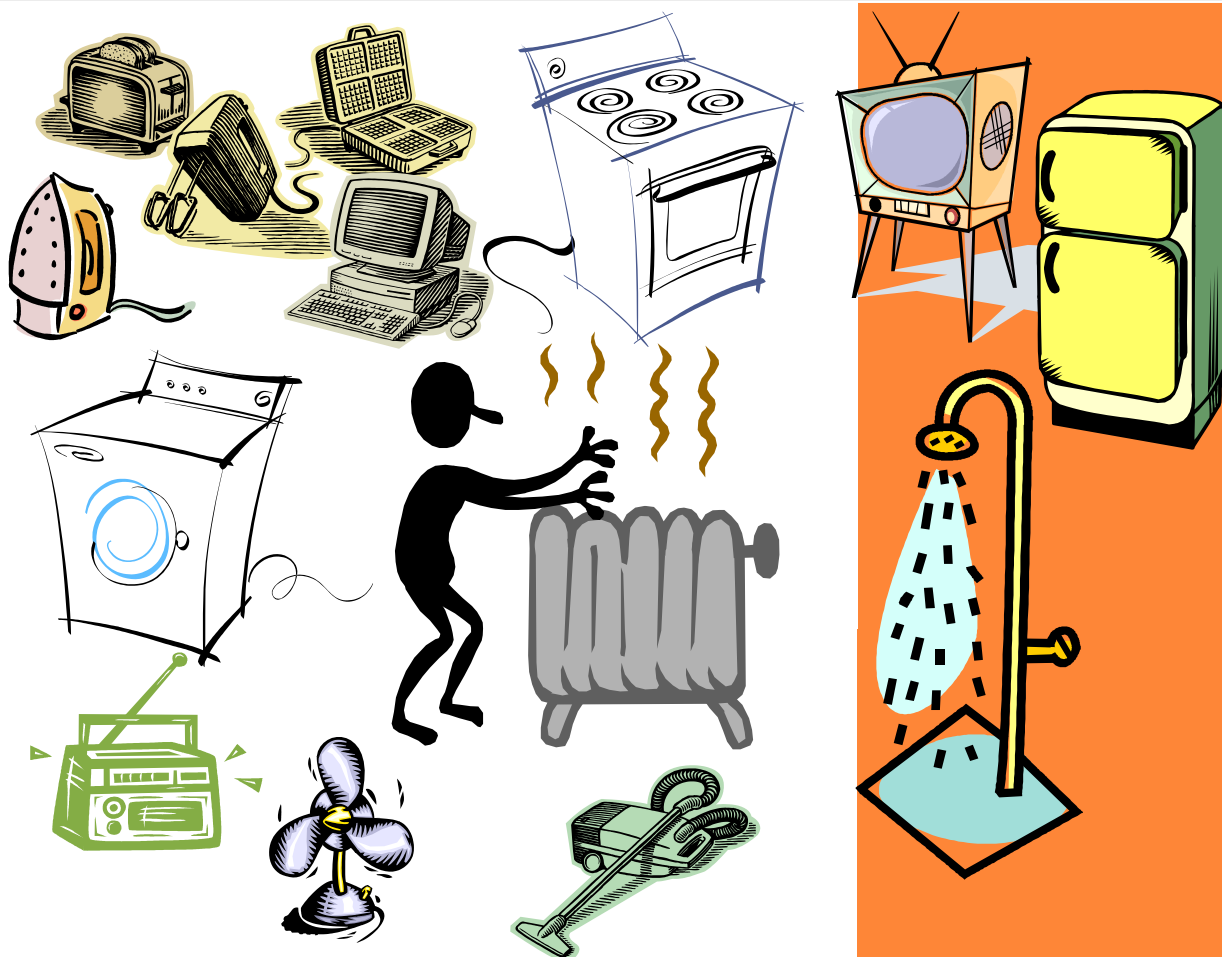


Implementering av brukeratferd i energi- og inneklimateberegninger i Norge



Line R. Karlsen og Håkon K. Ødegaard
Aalborg Universitet
15.06.2011

Synopsis:

Titel:

Implementering av
brukeratferd i energi- og
inneklimaberegninger i
Norge

Tema:

Brukeratferds innflytelse på
energibehov til boliger

Prosjektperiode:

1. februar 2011 - 15. juni 2011

Prosjektgruppe

Håkon Kjærnet Ødegaard
Line Røseth Karlsen

Veileder:

Henrik Brohus

Opplagstall: 4

Sidetall: 339

Vedleggsantall: 23 Vedlegg samt

1 Vedlegg-DVD

Denne rapporten er produktet av masterprosjektet i utdannelsen til civilingeniør i Indeklima og Energi ved Aalborg Universitets Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet. Rapporten består av tre hoveddeler; problemanalyse, utvikling av konsept, diskusjon og konklusjon samt en vedleggsdel.

Bakgrunnen for prosjektet er at studier har vist at det kan være store differanser mellom beregnet og faktisk energibruk i boliger. Brukeratferd er ansett som en signifikant kilde til disse differansene. Denne masteroppgaven fokuserer på brukeratferds påvirkning på energibruk og inneklima i boliger og hvordan brukeratferd kan implementeres i energi- og inneklimaberegninger i Norge ved å utvikle et brukervennlig verktøy rettet mot norske rådgivende ingeniører.

Verktøyet som er utviklet i dette prosjektet er kalt AMSiS, som står for Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN. Prinsippet bak AMSiS er at viktige sensitive brukerrelaterte faktorer modelleres som stokastiske variabler mens insensitive brukerrelaterte faktorer og faktorer relatert til bygningskonstruksjoner og tekniske systemer modelleres som deterministiske verdier. Verktøyet har implementert ni ulike brukerprofiler som er dannet på bakgrunn av en test-case.

Sensitive faktorer for energibehov viste seg å være effekt til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon, settpunkttemperatur og varmeavgivelse fra personer. I forhold til termisk inneklima var det i hovedsak interne varmelaster i tillegg til naturlig ventilasjon som bidro til usikkerhet i utdata.

Brukerprofiler ble dannet ut i fra 122 husholdningers sosilogiske og økonomiske karakteristikk ved hjelp av klyngeanalyse. Ved hjelp av silhuetteanalyse ble det funnet at ni klynger ville gi den beste inndelingen av datasettet. Klyngene var dog ikke særlig klare og distinkte. Resultatene indikerer imidlertid at ved bruk av et større datasett kan det være mulig at grupperingen blir mer distinkt. Utarbeidelse av brukerprofiler er både kostbart og tidkrevende og en bør derfor overveie om det er hensiktsmessig. Totalt sett illustrerer prosjektet at det bør bli tatt hensyn til brukeratferd i energi- og inneklima i Norge slik at rådgivende ingeniører kan trekke mer virkelighetsnære konklusjoner ut i fra sine beregninger. Det er også illustrert at dette lar seg gjøre på en enkel og effektiv måte dersom rådgivende ingeniører har riktig verktøy tilgjengelig, noe liknende AMSiS.

SUMMARY

Research has shown that large deviations may exist between predicted and measured energy consumption in residential buildings. Occupant behaviour is assessed as a significant source to these differences. The present study is carried out as the final thesis in the course Indoor environmental engineering at Aalborg University, Denmark. The main goal of the thesis was to develop a user-friendly calculation tool addressed Norwegian consultant engineers which takes real occupant behaviour into account by use of stochastic modelling.

A questionnaire was sent to a selection of Norwegian consulting engineers in the field of energy and indoor environment. Their answers revealed that they rarely considered variation in energy consumption and indoor environment caused by occupant behavior. All the enquired engineers informed that they utilized the simulation program SIMIEN in their energy and indoor environmental calculations and applied standard values for user related input from NS3031. Several of the questioned engineers had experience of situations where they deviations between predicted and measured energy consumption had occurred and they believed that it would be desirable to take occupant behavior into account in calculations in a better way than today's practice. These results indicated that there may be a marked for a calculation tool which implement occupant behavior in energy and indoor environmental calculations and that the tool ought to be combined with SIMIEN.

The tool developed in this study is named AMSiS which is an abbreviation of *Automation of Multiple Simulations in SIMIEN*. AMSiS is an Excel based tool which automatically conducts a given number of simulations in SIMIEN by use of macros. The concept behind AMSiS is to model sensitive user related input factors as stochastic variables while insensitive user related factors and factors related to building constructions and technical systems are modeled as deterministic values. In addition to regular input the program has integrated nine user profiles. When the consulting engineer choose one of these user profiles the tool automatically run simulations with stochastic variables fit for the respective group. However, the user profiles are constructed based on a test case in this study and the implementation of these user profiles in AMSiS only gives a illustration of how these types of profiles can be integrated in the program.

Sensitive user related input factors were found by use of the Elementary method. Two models of residential buildings were used in the investigation, one of an apartment building and one of a residential house. With use of standard values for user related input, these two models meet the requirements in the Norwegian building code TEK10. Probability functions of user related input was created based on measurements reported in the literature, assumptions based on standard values in NS3031 or based on assumptions made in other investigations. From the results heating of domestic water, natural ventilation, set-point temperature and emission of heat from occupants was considered as the input which contributed the most to uncertainty in total net energy demand. As with regard to average operative temperature in July internal heat gains in addition to natural ventilation was considered as the most sensitive input factors. Power for electrical equipments and lighting outside working time and solar shading on all the facades had little to no impact on either total net energy demand or average temperature in July and were therefore given a deterministic value for the further investigation.

Monte Carlo analyze was conducted to quantify the uncertainty related to energy demand and indoor thermal environment caused by occupant behavior and to quantify the amount of uncertainty in the output which could be portioned to the different input factors. The results of the uncertainty analyze illustrated that occupant behavior cause quite large variations in total net energy demand. When taking stochastic occupant behavior into account the probability to fulfill the building code TEK10 was only 42 % and 68 % for the house model and the apartment model respectively. The higher probability for the apartment model to fulfill the building code was caused by higher occupant density per square meter and thereby reduced heating demand. The input factors which contributed the most to uncertainty in the estimate of total net energy demand was in accordance with the screening analyze heating of domestic water, natural ventilation, set-point temperature and emission of heat from occupants which in total was responsible for over 60 % of the uncertainty in the output in both models. As for the average operative temperature in July stochastic occupant behavior resulted in noticeable variations, especially for the apartment model where emission of heat from occupants played a major role. For both models internal heat gains in addition to natural ventilation contributed to the main part of the uncertainty. The indoor temperatures were generally high in both models during July, which was caused by both occupant behavior and poor design of the executed building models.

Since sociological and economic factors have appeared to be pivotal for a households energy demand by several studies, a test case was conducted in order to investigate the ability of utilizing cluster analysis to group households according to their sociological and economical properties into user profiles. The test case was conducted on a selection of 122 households from a database containing electricity end-use of households in Sweden. The datamining tool WEKA was utilized to conduct the cluster analyze with use of the clustering algorithm k-means in combination with the distance measure Euclidean distance. By use of silhouette analyze the best suited number of clusters was seen to be nine. However, the clusters were not particularly distinct and subsequently it have been evaluated that nine clusters may be too many on a dataset of 122 households. Yet, the results from the cluster analysis lead to nine user profiles; six for apartments and three for houses. For each user profile probability distributions was created for user related input factors based on data from the respective households from the database. Little differences were seen in specific energy demand between the user profiles in apartments and the user profiles in houses. Generally it was large variations within each user profile, especially for the user profiles representing households living in apartments. By using a more extensive dataset, the user profiles might be more distinct and the spread within each user profile might be reduced. Construction of user profiles is both expensive and time demanding, so its benefits should be well investigated.

At the present time measured data concerning variations in energy demand and indoor environment caused by occupant behavior is limited. In the future the focus should be on collecting data of sensitive user related factors which in this study have appeared to be heating of domestic water, natural ventilation, set-point temperature, emission of heat from occupants and emission of heat from electrical equipments and lighting.

Generally speaking, the results from the present project indicate that occupant behavior should be taken into account in energy and indoor environmental calculations to make it possible for consulting engineers to draw realistic conclusion from their calculations and it may also lead to more robust design of buildings according to energy demand and thermal indoor environment.

SAMMENDRAG

Litteraturen har vist at det ofte er store differanser mellom teoretisk og faktisk energibehov for boliger. Brukeratferd er i mange tilfeller ansett som en signifikant kilde til disse differansene. På bakgrunn av disse indikasjonene er fokuset i denne masteroppgaven brukeratferds påvirkning på energibruk og inneklima i boliger og hvordan brukeratferd kan implementeres i energi- og inneklimaberegninger i Norge. Et av formålene med denne masteroppgaven var derfor å utvikle et brukervennlig verktøy rettet mot norske rådgivende ingeniører som implementerer variasjoner i brukerrelaterte inndatafaktorer i et simuleringsprogram for energibehov og inneklima. Oppgaven er utført som den siste delen av den toårige masterutdannelsen *Indeklima og Energi* ved Aalborg Universitet

En uformell spørreundersøkelse ble sendt ut til et utvalg norske rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø og resultatene viste at det sjelden blir gjort vurderinger i forhold til variasjoner i energibruk forårsaket av brukeratferd. Alle de spurte ingeniørene beregner energi og inneklima med det norske simuleringsprogrammet SIMIEN og benytter standardverdier fra NS3031 for brukerrelaterte inndatafaktorer i energi- og inneklimaberegninger. Flere av de spurte ingeniørene hadde imidlertid erfart at det kunne være differanser mellom beregnet og målt energibruk og mente at det kan være ønskelig å ta høyde for brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger på en bedre måte enn hva som gjøres i dag. Dette indikerte at det kan være et marked for et regneverktøy som implementerer brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger samt at verktøyet bør være kompatibelt med SIMIEN.

Verktøyet som er utviklet i dette prosjektet er kalt AMSiS, som står for *Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN*. AMSiS er et Excel-basert verktøy som ved hjelp av makroer automatisk kjører et gitt antall simuleringer i SIMIEN. Prinsippet bak AMSiS er at viktige sensitive brukerrelaterte faktorer modelleres som stokastiske variabler mens insensitive brukerrelaterte faktorer og faktorer relatert til bygningskonstruksjoner og tekniske systemer modelleres som deterministiske verdier. Verktøyet har implementert ni ulike brukerprofiler med ulik inndata for viktige sensitive brukeravhengige inndatafaktorer. Brukerprofilene er imidlertid dannet på bakgrunn av en test-case i dette studiet og gir kun en illustrasjon på hvordan brukerprofiler kan være integrert i verktøyet.

Hvilke brukerrelaterte inndatafaktorer som var sensitive og hvilke som var insensitive ble funnet ved hjelp av Elementareffektmetoden. I analysene ble det benyttet to boligmodeller, en for småhus og en for boligblokk, som med standard inndataverdier tilfredsstiller energikravene i TEK10. Sannsynlighetsfordelinger for brukerrelatert inndata var utarbeidet på bakgrunn av målinger fra litteraturen, antakelser og vurderingene med utgangspunkt i standardverdier fra NS3031 eller utgangspunkt i hva andre studier har antatt. Resultatene viste at effekt til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon i drift, settpunkttemperatur og varmeavgivelse fra personer som bidro mest til usikkerhet i estimatet av totalt netto energibehov, mens i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli var det inndata relatert til interne varmelaster samt naturlig ventilasjon som var mest sensitive. Effekt til belysning og elektrisk utstyr *utenfor drift* samt solavskjerming viste seg å ha liten til ingen innflytelse på estimatet av både totalt netto energibehov og gjennomsnittlig operativ temperatur i juli og ble dermed modellert som deterministiske verdier i den videre analysen.

Monte Carlo analyse ble benyttet for å kvantifisere usikkerheten knyttet til energibehov og termisk inneklima forårsaket av brukeratferd, samt kvantifisere hvor stor usikkerhet i utdata de ulike inndatafaktorene bidro med. Usikkerhetsanalysen av resultatene for totalt netto energibehov viste at det var forholdsvis store variasjoner i energibehov forårsaket av brukeratferd. Det viste seg at sannsynligheten for å tilfredsstille energikravene i TEK10 for småhusmodellen og boligblokkmodellen var henholdsvis kun 42 % og 68 %. Årsaken til at det var høyere sannsynlighet for boligblokkmodellen å tilfredsstille kravene var at persontettheten var større per kvadratmeter og dermed et lavere oppvarmingsbehov enn for småhusmodellen. Inndatafaktorene som bidro med mest usikkerhet til estimatet av totalt netto energibehov ble sett å være effekt til oppvarming av varmtvann, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer som tilsammen sto for over 60 % av usikkerheten i utdata for begge modellene. I forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli ble det også sett forholdsvis store variasjoner forårsaket av brukeratferd, og de største variasjonene så man for boligblokkmodellen hvor varmeavgivelse fra personer hadde stor betydning. For begge modellene var det varmetilskudd fra internlaster i tillegg til naturlig ventilasjon som bidro mest til usikkerhet i utdata. Generelt sett var det høye temperaturforhold for begge modellene, noe som både var forårsaket av brukeratferd samt dårlig design av boligmodellene som ble benyttet.

Siden sosiologiske og økonomiske faktorer har vist seg å være avgjørende for en husholdnings energibruk i flere undersøkelser ble det gjennomført en test-case for å undersøke om det lot seg gjøre å danne distinkte brukerprofiler ved å gjennomføre klyngeanalyse på sosiologiske og økonomiske faktorer. Test-casen ble utført på et utvalg av 122 husholdninger fra en database med målinger av elektrisk sluttforbruk for husholdninger i Sverige. Datagravningsverktøyet WEKA ble benyttet. k-means algoritmen ble brukt til inndelingen av klynger i kombinasjon med distanse målet Euclidean distance. Ved hjelp av silhuetteanalyse ble det funnet at ni klynger ville gi den beste inndelingen av datasettet. Det skal imidlertid nevnes at klyngene ikke var særlig klare og distinkte. I ettertid er det vurdert dit hen at ni klynger kanskje er i meste laget for et datasett på 122 husholdninger. Resultatene fra klyngeanalysen dannet imidlertid grunnlaget for ni brukerprofiler, seks for leiligheter og tre for hus. For hver brukerprofil ble det dannet sannsynlighetsfordelinger for inndatafaktorer basert på data for de respektive husholdningene fra databasen. I henhold til spesifikt energibehov så man at det faktisk ikke var så mye som skilte mellom energibehovet til de ulike brukerprofilene i leilighet og mellom de ulike brukerprofilene i hus. Generelt sett var det imidlertid stor spredning innad i brukerprofilene, spesielt for brukerprofilene som representerte husholdninger i leiligheter. Ved å benytte et større datasett kan brukerprofilene muligens bli mer distinkte og spredningen innenfor hver brukerprofil kan kanskje bli redusert. Utarbeidelse av brukerprofiler er både kostbart og tidkrevende og en bør derfor overveie om det er hensiktsmessig.

Per dags dato er det lite dataunderlag på målinger av variasjoner i energibruk og inneklima forårsaket av brukeratferd. Det bør i fremtiden fokuseres på å samle data for sensitive brukerrelaterte faktorer som ut i fra denne studien har vist seg å være effekt til oppvarming av tappevann, settpunkttemperaturer, ventileringsvaner og bruk av belysning og elektrisk utstyr.

Totalt sett gir resultatene fra dette prosjektet et uttrykk for at det bør implementeres brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger i Norge slik at rådgivende ingeniører kan trekke mer virkelighetsnære konklusjoner ut i fra sine beregninger, og det kan også føre til design av bygninger som er mer robuste i forhold til energibehov og termisk inneklima.

FORORD

Denne masteroppgaven er resultat av en toårig masterutdannelse innenfor *Indeklima og Energi* ved Aalborg Universitet Teknisk-, Naturvitenskabelige Fakultet. Rapporten er utarbeidet i perioden 1.2.2011-15.6.2011. Rapporten er delt inn i en hoveddel og vedleggsdel. Hoveddelen er igjen delt inn i tre deler og kan leses selvstendig, men vedleggene gir ytterligere informasjon om flere av emnene i rapporten. Den inneholder prosjektets litteraturstudie som er skrevet på engelsk og som danner bakgrunnen for prosjektet. I tillegg er det vedlagt en DVD hvor en kan finne rapporten i pdf-format, samt alle modeller, beregninger og filer som danner underlaget for resultatene i rapporten i tillegg til AMSiS som er et verktøy utviklet i dette prosjektet. Kildene i rapporten er gitt med etternavn på hovedforfatter samt årstallet for publikasjonen etter ISO 690. Alle kildene kan bli funnet i biografien bakerst i rapporten.

Rapporten henvender seg til norske rådgivende ingeniører samt personer som har interesse for brukeratferds påvirkning på energibruk i boliger. Det forventes dog at personer som leser rapporten har et faglig nivå minimum lik masterstudenter ved Indeklima og Energi ved Aalborg Universitet eller tilsvarende. Gjennom prosjektet har vi oppnådd innsikt og kunnskap om hvordan brukeratferd påvirker energibruken i boliger og hvilke brukerpåvirkende faktorer som er viktige i energi- og inneklimaberegninger. Prosjektet har også gitt oss kunnskaper innen stokastisk modellering og datagruving i form av klyngeanalyse. I utviklingen av AMSiS har vi også tilegnet oss endel kunnskap i programmering i Visual Basic i Microsoft Excel.

Prosjektet hadde ikke latt seg gjennomføre uten en rekke personer. Først ønsker vi å takke Erichsen & Horgen A/S som har vært så snille latt oss låne et kontor og gitt oss lunsj hver dag gjennom arbeidsperioden. Vi vil få takke Arnkell Pettersen som hjalp oss med mange gode tips i oppstarten av arbeidet. Takk til Egil Öfverholm og Torgny Björn ved Sveriges Energimyndigheter som har gitt oss tilgang til måledata som gir grunnlaget for klyngeanalysen og takk til Hanne Sæle ved Sintef Energi som ga oss tips og kontaktinformasjon. Takk til alle bedriftene som ga oss svar på våres mini-spørreundersøkelse. Takk til Kjell A. Dokka hos Programbyggerne som har gitt oss tilgangen til betaversjonen av SIMIEN som er brukt i prosjektet. Takk til Tor Helge Dokka som ga oss informasjon om erfaringer fra et tidligere prosjekt som var relatert til stokastisk modellering av bygningers energibruk. En stor takk til Professor Fariborz Haghighat og Zhun Yu ved Concordia Universitet i Montréal Québec, Canada, for gode svar på våre spørsmål relatert til klyngeanalysen i WEKA. Til slutt, men ikke minst vil vi få rette en stor takk til våres veileder Henrik Brohus for god veiledning gjennom hele oppgaven. Du har vært enkel å samarbeide med, ikke minst på grunn av ditt alltid gode humør. Under hele prosjektet har du har kommet med gode tips, råd, ideer og feedback både over Skype og på møter på ditt kontor.

Takk igjen alle sammen! God Lesning!

Aalborg 15. juni 2011,

Line Røseth Karlsen

Håkon Kjærnet Ødegaard

LESEVEILEDNING

Rapporten er delt inn i tre deler. Den første delen presenterer bakgrunnen for prosjektet, en problemformulering, myndighetskrav samt en spørreundersøkelse sendt ut til en rekke ingeniørbedrifter i Norge. Den andre delen presenterer en beskrivelse av konseptet som utvikles samt gjennomføringen av en test-case. Del tre oppsummerer og diskuterer prosjektrapportens resultater. I hvert hovedkapittel er det en deldiskusjon som danner grunnlaget for rapportens hoveddiskusjon. Prosjektets begrensinger finnes i Vedlegg B.

Rapportens kildehenvisninger er laget på etter ISO 690, hvor forfatter og utgivelsesår er innrammet i parenteser:

(Forfatterens etternavn, utgivelsesår)

Hvis det er to forfattere står begge forfatterne i kildehenvisningen. Hvis det er flere enn to blir kun etternavnet til redaktøren eller første person i artikkelen etc. gjengitt etterfulgt av stavelsen *et al.*:

(Redaktørens etternavn et al., utgivelsesår)

Webområder hvor forfatteren er ukjent er sitert med navn på siden eller organisasjonen som står bak. Lover og standarder er enten sitert med navn, eller med navn på ansvarlig myndighet, som for eksempel *Kommunal- og regionaldepartementet*. For enkelte organisasjoner som det er vanlig å omtale med forkortelser er disse brukt i referansene, for eksempel er Statistisk Sentralbyrå forkortet til SSB. De steder hvor kildehenvisningen står etter punktum i en setning, betyr det at kilden referer til hele avsnittet før. Alle kildene kan finnes i alfabetisk rekkefølge i bibliografien bakerst i rapporten.

Kapitlene samt kapittelavsnittene er nummeret med tall, mens vedleggene er nummerert med bokstaver. Vedleggene finnes bakerst i rapporten. Vedlegg A er prosjektets litteraturstudium som danner bakgrunnen for prosjektet.

INNHALDSFORTEGNELSE

KAPITTEL 1 - Bakgrunn	2
1.1. Energiavhengighet og miljøkonsekvenser	2
1.2. Energibruk i husholdningssektoren	3
1.3. Myndighetenes fokus på å redusere energibruk i bygg	8
1.4. Faktorer som påvirker energibruk i boliger	8
1.4.1 Uteklima	9
1.4.2 Bygningskarakteristikk	10
1.4.3 Tekniske systemer	10
1.4.4 Brukerrelatert karakteristikk	10
1.4.5 Inneklima	10
1.4.6 Brukeratferd	11
1.4.7 Sosiale og økonomiske faktorer	11
1.5. Beregning av boligers energibruk	14
1.6. Norske forskningsprosjekter relatert til brukeratferd	15
1.6.1 Annex 53	15
1.6.2 Zero Emission Buildings	15
1.6.3 Nasjonal formålsdelt database	16
1.6.4 Kunnskap om elektrisk forbruk	16
1.7. Problemformulering	16
1.7.1 Problembegrensning	16
KAPITTEL 2 - Prosjektets interessenter	17
2.1. Hoved-interessent	17
2.2. Bi-interessenter	18
2.2.1 Husholdninger	18
2.2.2 Politikere	19
KAPITTEL 3 - Myndighetskrav	20
3.1. Historikk for bygningskrav	20
3.2. Hierarki i det norske regelverket for bygg	21
3.2.1 Lov om planlegging og byggesaksbehandling (PBL)	21
3.2.2 Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK)	22
3.2.3 Veileder til teknisk forskrift	23

3.2.4 Norsk standard – NS 3031.....	24
3.3. EPBD	25
3.3.1 Implementering av EPBD i Norge og Europa	28
3.1.3.1 Implementering i Norge.....	29
3.2.3.1 Implementering i Europa	30
3.3.3.1 Fremtidig energipolitikk.....	32
KAPITTEL 4 – Beskrivelse av konseptet.....	35
4.1. Tanker bak konseptet	35
4.2. Stokastisk modellering.....	36
4.2.1 Sensitivitetsanalyse.....	37
4.1.2.1 Screening.....	38
4.2.2.1 kvantitativ sensitivitetsanalyse	39
4.3.2.1 Partiell korrelasjonskoeffisient (PCC).....	40
4.4.2.1 Partiell rangeringskorrelasjonskoeffisient (PRCC)	40
4.3. Utførelse av stokastisk modellering for brukeravhengige faktorer	40
4.3.1 Simlab.....	41
4.3.2 SIMIEN	41
4.3.3 AMSIS.....	42
KAPITTEL 5 - Beskrivelse av standard bygningsmodeller.....	43
5.1. Beskrivelse av modellene.....	43
5.1.1 Modell for småhus	43
5.1.2 Modell for boligblokk	45
KAPITTEL 6 - Screeninganalyse av brukerrelatert inndata i SIMIEN	47
6.1. Sannsynlighetsfordelinger for brukerrelatert inndata	47
6.1.1 Solskjerming.....	47
6.1.2 Varmeavgivelse fra personer	47
6.1.3 Naturlig ventilasjon	48
6.1.4 Belysning	48
6.1.5 Teknisk utstyr.....	48
6.1.6 Oppvarming av tappevann	49
6.1.7 Settpunkttemperatur for varmeanlegg.....	49
6.2. Oppsummering av fordelinger	49
6.3. Resultater av screeninganalyse	51
6.3.1 Småhusmodellen	51
6.1.3.1 Energi.....	51

6.2.3.1 Termisk inn klima	54
6.3.2 Boligblokkmodellen	55
6.1.3.2 energi	55
6.4. Deldiskusjon	58
KAPITTEL 7 - Monte Carlo analyse av brukerrelaterte faktorer	60
7.1. Videreutvikling av fordelinger	60
7.1.1 Oppvarming av tappevann	60
7.1.2 Naturlig ventilasjon	62
7.1.3 Settpunkttemperatur på varmeanlegg	63
7.1.4 Varmeavgivelsen fra personer i driftstid	63
7.2. resultater av usikkerhetsanalyse	65
7.2.1 Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test	65
7.2.2 Småhusmodellen	66
7.1.2.2 Energi	66
7.2.2.2 Termisk	68
7.2.3 Boligblokkmodellen	69
7.1.2.3 Energi	69
7.2.2.3 Termisk	71
7.3. resultater av kvantitativ sensitivitetsanalyse	72
7.3.1 småhusmodellen	73
7.1.3.1 Energi	73
7.2.3.1 Termisk	75
7.3.2 boligblokkmodellen	76
7.4. Deldiskusjon	77
KAPITTEL 8 - Brukerprofiler	80
8.1. Hvorfor brukerprofiler?	80
8.2. Metoder for å danne brukerprofiler	80
8.3. Utarbeidelse av brukerprofiler ved hjelp av klyngeanalyse	82
8.3.1 Database	82
8.3.2 Fremgangsmåte	83
8.1.3.2 Klyngeanalysealgoritme	84
8.3.3 antall klynger	85
8.3.4 resulterende brukerprofiler	89
8.4. Sannsynlighetsfordelinger for brukerprofiler	90
8.4.1 Vurderinger og antakelser	90

8.4.2 Validering av valg av fordeling	92
8.4.3 Sannsynlighetsfordelinger for inndatafaktorer	93
8.1.4.3 Ventilasjon	93
8.2.4.3 Oppvarming av tappevann	93
8.3.4.3 Effektbehov til belysning og teknisk utstyr	93
8.4.4.3 Settpunkttemperatur for romoppvarming	93
8.5.4.3 Varmeavgivelse fra personer	93
8.5. Resultater fra simuleringene med brukerprofiler	97
8.5.1 Spesifikt årlig energibehov	98
8.1.5.1 Leilighet	98
8.2.5.1 Hus	99
8.5.2 Årlig energibehov for hver brukerprofil	100
8.6. Deldiskusjon	102
KAPITTEL 9 – AMSiS	105
9.1. Bakgrunn for utvikling av AMSiS	105
9.2. Bruk av AMSiS	107
9.2.1 Nødvendig programvare	107
9.2.2 Oppbygning av AMSiS	107
9.2.3 Sentrale regneark	107
9.1.2.3 Inndata	108
9.2.2.3 Beregning	108
9.3.2.3 Sentrale energiretultater	109
9.4.2.3 Sentrale inneklimaretultater	110
KAPITTEL 10 –Diskusjon og konklusjon	114
10.1. Problem	114
10.1.1 Nødvendig programvare	114
10.1.2 Utviklingen av et verktøy som implementerer brukeratferd	115
10.1.1.2 simuleringsmodeller	115
10.1.3 Utviklingen av et verktøy som implementerer brukeratferd	116
10.1.4 Usikkerhetsanalyse og Kvantitativ sensitivetsanalyse	117
10.1.5 Brukerprofiler	120
10.1.6 AMSiS	122
10.2. Konkluderende bemerkninger	123
KAPITTEL 11 - Perspektivering	124
11.1. Interdisiplinært samarbeid	124

11.2. Etablering av en omfattende nasjonal database	124
11.3. Gruppering av data i brukerprofiler	125
11.4. Utvikle beregningsverktøy	125
11.5. Norsk forskning	126
11.6. Fremtidige myndighetskrav	127
11.7. Hva kan prosjektets konklusjon brukes til?	127
11.8. Videre studier	128
Bibliografi	129
Vedlegg	143

SYMBOLLISTE

Symbol	Forklaring	Enhet
A_{DU}	Du Bois areal	m^2
A_{fl}	Fellesareal i hus med flere boenheter	m^2
$c(\alpha)$	koeffisient avhengig av signifikansnivå	
C_p	Spesifikk varmekapasitet	kJ/kgK
f_{cl}	Bekledningsoverflatearealfaktor	
H_0	Nullhypotese	
H_1	Alternativ hypotese	
I_{cl}	Bekledningsisolans	$m^2 \text{ K/W}$
k	Klyngeantall	
KS	Maksimal absolutt avstand mellom de to distribusjoner	
$KS\alpha$	Kritisk verdi i en Kolmogorv-Smirnov test	
m	Samplestørrelse	
M	Metabolisme, aktivitetsnivå	W/m^2
n	Antall faktorer	
q_v	Vannmengde	m^3
r	Pearson's produkt moment korrelasjonskoeffisient (PEAR)	
S	Inndatafaktor	
t_a	Lufttemperatur	$^{\circ}\text{C}$
T_{kv}	Temperatur kaldtvann	K
T_{op}	Operativ temperatur	$^{\circ}\text{C}$
T_{vv}	Temperatur varmtvann	K
W	Ytre arbeid, tilført effekt	W/m^2
X	Inndata	
Y	Utdata	
Q	Energibruk til oppvarming av varmt bruksvann	kWh
$\bar{t}_r$	Strålingstemperatur	$^{\circ}\text{C}$
h_c	Konvektiv varmeovergangskoeffisient	$\text{W/m}^2\text{K}$
h_r	Varmeovergangskoeffisient ved stråling	$\text{W/m}^2\text{K}$
$d_i(\mathbf{x})$	Elementareffekten	
p_d	Partialtrykk vanndamp	Pa
p_{dm}	Trykk mettet vanndamp	Pa
t_{cl}	Overflatetemperatur for bekledning	$^{\circ}\text{C}$
v_{ar}	Relativ lufthastighet	m/s
α	Signifikansnivå	
μ	Forventningsverdi	
μ_y	X	
σ	Standardavvik	
σ_y	X	
β	Symbol for betafordeling	
δ	Variasjonskoeffisient	
μ	Middelverdi	
ρ	Spearman's koeffisient (SPEA)	
ρ	Tetthet	kg/m^3

FORKORTELSER

Forkortelse	Forklaring
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
TEK	Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)
PBL	Plan- og bygningsloven
NS3031	Norsk Standard NS3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data
BRA	Bruttoareal
SA	Sensitivitetsanalyse
UA	Usikkerhetsanalyse
MCA	Monte Carlo Analyse
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted percentage dissatisfied
ePMV	Expectation Predicted Mean Vote
ePPD	Expectation Predicted percentage dissatisfied
LHS	Latin Hypercube sampling
SRC	Standard reggresion coefficient
SRRC	Standardised Rank Regression Coefficients
<i>PCC</i>	Partiell korrelasjonskoeffisient
PRCC	Transformert partiell korrelasjonskoeffisienten x
SFP	Specific Fan Power
XML	Extensible Markup Language
PEAR	Pearson product moment correlation coefficient
SPEA	Spearman coefficient
AMSiS	Automatiske Multiple Simuleringer i SIMIEN

DEL 1

Denne delen inneholder prosjektets problemanalyse.

KAPITTEL 1 - BAKGRUNN

Dette kapittelet presenterer bakgrunnen for hvorfor det er ansett som viktig å implementere brukeratferd i energiberegninger i Norge. Kapittelet starter med å introdusere et overordnet perspektiv på energibruk og miljøkonsekvenser før det spisser seg inn mot energibruk i husholdninger og hvilke faktorer som påvirker energibruk i boliger, med et fokus på brukeratferd. Avslutningsvis blir det gitt en beskrivelse av hvordan boligens energibruk generelt sett beregnes og et overblikk over noen pågående forskningsprosjekter som blant annet omhandler brukeratferd. Kapittelet bunner ut i en problemformulering.

1.1. ENERGIAVHENGIGHET OG MILJØKONSEKVENSER

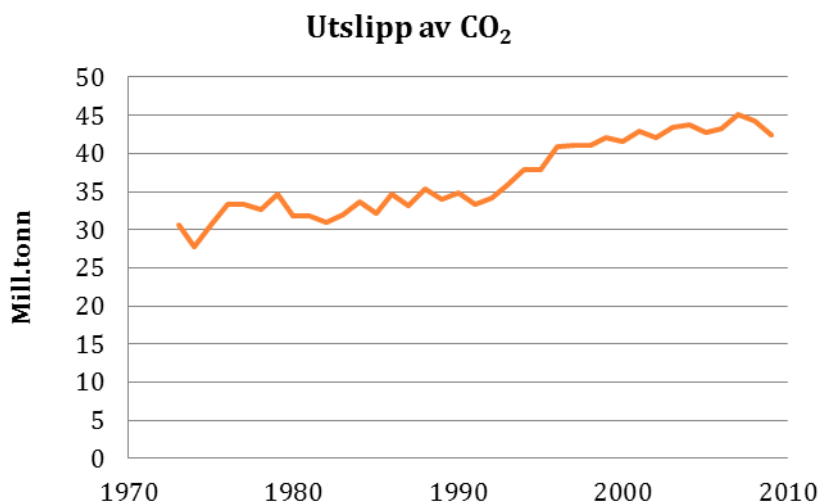
Den industrielle revolusjon (ca. år 1750-1880) ga bidrag til en massiv sosiologisk, økonomisk og ikke minst teknologisk forandring for menneskene. Utviklingen av dampmaskinen førte til at industrien i mindre grad var avhengig av vannkraft og i større grad avhengig av kull (Bull, et al.). Maskiner ble innført i jordbruket og tok over for menneskelig fysikk. Lyspæren ble oppfunnet i 1854 og ble for alvor tatt i bruk mot slutten av 1800-tallet (Hansen, 2009). Med andre ord ble menneskeheten avhengig av energiutnyttelse på et nytt nivå og velstand- og komfort kravene økte.

Petroleum fikk sin første industrielle utnyttelse på 1850-tallet og industriens betydning økte i takt med at oljeprodukter ble brukt til oppvarming, kraftproduksjon og industri (Lundberg, et al.). Vekst av bil- og flyindustri på starten av 1900-tallet førte videre til en særdeles stor avhengighet av bensin- og oljeprodukter (Lundberg, et al.), en avhengighet som skulle vise seg å få økonomiske og miljømessige konsekvenser.

Oljekrisen som utspant seg vinteren 1973-74 er betegnelsen på situasjonen som oppsto med bakgrunn i krigen mellom Israel og Syria/Egypt. Krigen resulterte i at OPEC (The Organization of the Petroleum Exporting Countries) hevet prisen på råolje drastisk i tillegg til å nekte tilgang på olje for land som støttet Israel i konflikten. Dette førte til at vestlige land måtte innføre sparetiltak og strenge restriksjoner på oljeforbruk. (Lundberg)

Oljekrisen viste hvor sårbar de vestlige lands økonomi var ovenfor oljen som i stor grad var kontrollert av arabiske land. Det utviklet seg politisk bevissthet rundt energispørsmål som resulterte i utvikling av nye energikilder som blant annet kjernekraft. Det ble et økende fokus på å redusere energibruk og det ble mer tydelig at energi er en begrenset ressurs. Den politiske bevisstheten førte til et energisamarbeid mellom de vestlige land; International Energy Agency IEA. (Lundberg)

I takt med ekspandert bruk av fossile brensler etter den industrielle revolusjonen økte også utslipp av blant annet CO₂ til atmosfæren. Konsekvensene av disse utslippene begynte å komme på dagsordenen på 1970-tallet. Figur 1.1-1 viser nasjonale tall over Norges utslipp av CO₂ til atmosfæren og som en kan se er det en økning av utslippene siden 1970-tallet og frem til i dag.



FIGUR 1.1-1: CO₂-UTSLIPP I PERIODEN 1973-2009.

I 1983 fikk tidligere miljøvern- og statsminister i Norge, Gro Harlem Brundtland, i oppdrag av FN å lede verdenskommisjonen for miljø og utvikling. De fremla i 1987 en rapport med tittelen “Our Common Future”, også kjent som “Brundtland Report” (Helle, 2009). I denne rapporten ble begrepet *bærekraftig utvikling* presentert og satt på den politiske dagsorden. I rapporten heter det seg at bærekraftig utvikling er en utvikling som møter dagens behov uten å ødelegge for fremtidige generasjoners muligheter til å møte sine behov (World Commission on Environment and Development, 1987).

I 1997 ble Kyotoprotokollen (UNFCCC) vedtatt som del av FNs rammekonvensjon om klimaendringer. Kyotoprotokollen er en klimaavtale mellom 127 land som til sammen står for 55 % av verdens totale utslipp av klimagasser. Avtalen innebærer blant annet at alle land forplikter seg i større eller mindre grad til å redusere eller stabilisere sine klimagassutslipp i perioden 2008-2012. Klimagassutslipp kan sees i direkte sammenheng med energibruk, det er derfor et fokus på å redusere energibruken for å skåne miljøet og redusere klimagassutslipp for å bekjempe den globale oppvarmingen. For Norge sin del betyr Kyotoprotokollen at landets totale CO₂-utslipp kan økes med kun 1 % i forhold til 1990-nivå. I Figur 1.1-1 ser man derimot at CO₂-utslippene har økt betraktelig siden 1990, noe som indikerer at Norge er bedre til å vedta målsetninger enn å gjennomføre tiltak. (Olerud, 2009)

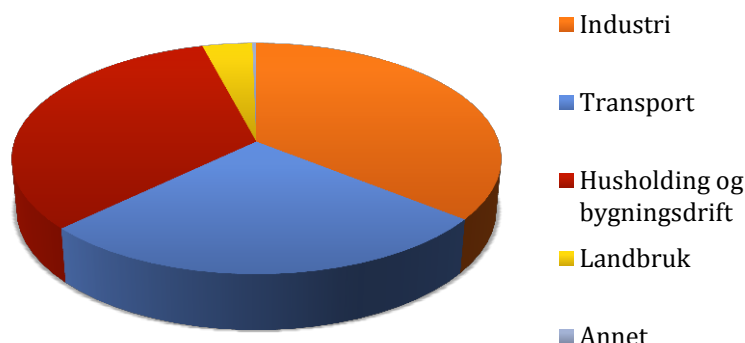
Frykten for klimaendringer som følge av et stadig økende CO₂-utslipp er fremdeles et meget omdiskutert tema. FNs klimapanel fastslår i sin fjerde klimarapport fra 2007 (IPCC) med en sannsynlighet på 90 % eller mer at det meste av den observerte temperaturøkningen etter ca. 1950 skyldes økt konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren på grunn av menneskelig aktivitet som bruk av fossilt brensel og industriell avskoging (IPCC). Diskusjonen har ført til et økende fokus på energiøkonomisering og bruk av fornybare energikilder

1.2. ENERGIBRUK I HUSHOLDNINGSSEKTOREN

Drift av bygg står for ca. 40 % av den samlede energibruken i Norge så vel som i resten av Europa, se Figur 1.2-1 (Arbeidsgruppe nedsatt av Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) (European Commission, 2010). Tall fra Europa Kommisjonen indikerer at husholdninger

forbruker mer enn 60 % av denne andelen (European Commission, 2010), det vil si ca.25 % av det totale energibruket.

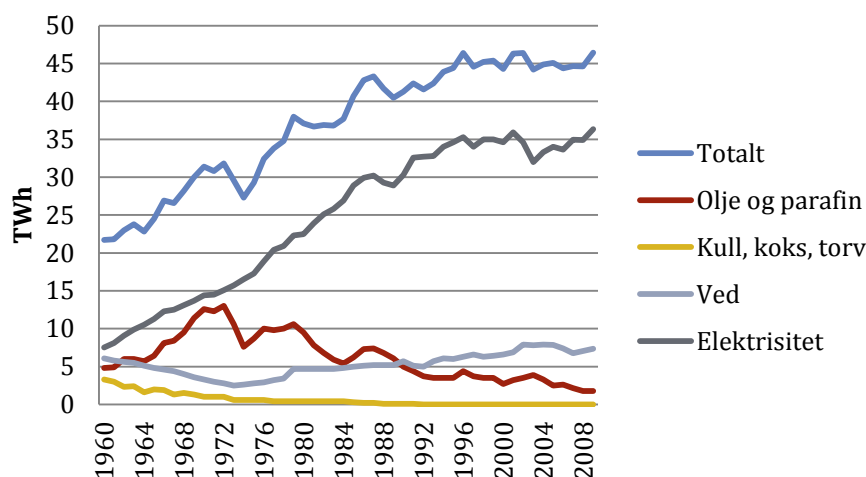
Energibruk i Norge fordelt på sektor



FIGUR 1.2-1: ENERGIBRUK I NORGE I 2008 FORDELT PÅ RESPEKTIVE SEKTORER (EUROPEAN COMMISSION, EUROSTAT).

Det har vært en signifikant økning i energibruk til husholdningssektoren i Norge i løpet av de siste 50 årene, se Figur 1.2-2. Fyringsolje og parafin var mest benyttet til oppvarming i perioden 1960-1973, men etter oljekrisen ble olje for kostbart å bruke og en kan ut i fra Figur 1.2-2 se at forbruket falt drastisk. Det er elektrisitetsforbruket som har bidratt til den store økningen i husholdningers energibruk, noe som skyldes en overgang til elektrisitet som hovedoppvarming samt større anskaffelse av elektrisk utstyr. Forbruket av elektrisk strøm har økt kontinuerlig siden oljekrisen. Stigningen flatet imidlertid ut mot slutten av 1980-tallet og det kan ha sammenheng med bedre isolerte- og lufttette boliger og at elektrisk utstyr og apparater ble mer energieffektive.

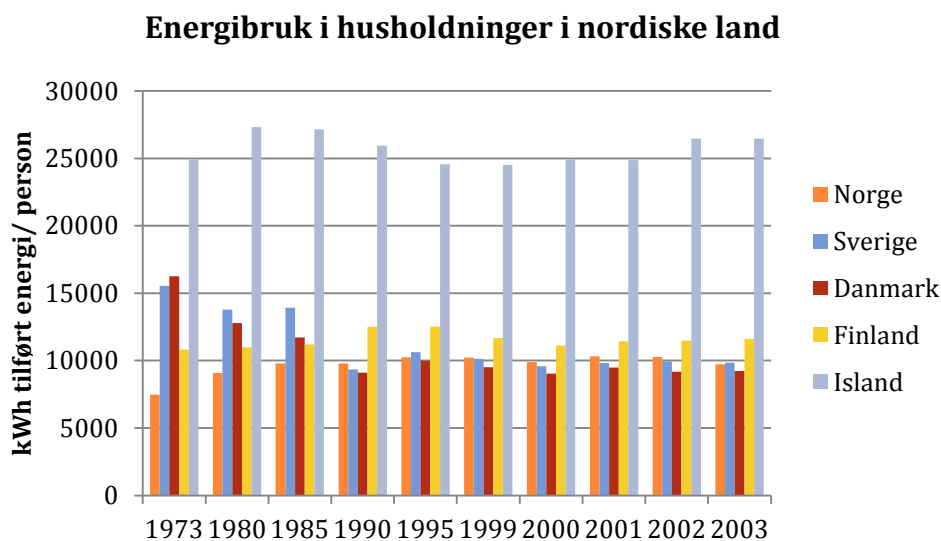
Energibruk i husholdninger



FIGUR 1.2-2: ENERGIBRUK I HUSHOLDNINGER I NORGE, TOTALT OG FORDELT PÅ ENERGIBÆRER I TWh TILFØRT ENERGI FOR PERIODEN 1960-2009 (BØENG, 2005)[TABELL F.3, S.45] (SSB, 2010).

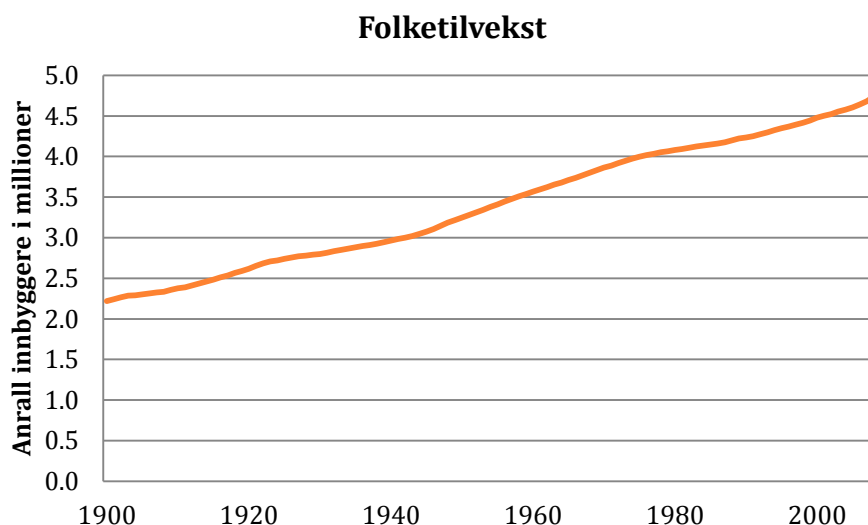
Årsaken til det store elektrisitetsforbruket i Norge er at vannkraft utgjør over 99 % av landets elektrisitetsproduksjon (fornybar.no, 2007), hvilket gjør elektrisiteten billig. Norge har et stort potensiale for utnyttelse av vannkraft på grunn av det norske klimaet med stort vanntilsig samt Norges geografiske utforming med høye fjell (fornybar.no, 2007). I et normalår dekker

vannkraftproduksjonen opp 100 % av elektrisitetsbehovet i Norge, men i enkelte år er landet avhengig av import fra blant annet Danmark, Sverige, Finland eller Russland. Det høye elektrisitetsforbruket i Norge gjør at sammensetningen av norske husholdningers energibruk skiller seg ut fra utenlandske husholdningers energibruk siden vi benytter så mye elektrisitet, men totalt energibruk i norske husholdninger er likevel ikke større enn husholdninger i andre land med kaldt klima. Det er faktisk lavere enn for husholdninger i for eksempel Finland og Canada (Bøeng, et al., 2008). Figur 1.2-3 illustrerer energibruk i husholdninger i nordiske land i kWh tilført energi per person i perioden 1973-2003. Som en kan se fra Figur 1.2-3 har energibruket per person økt i Norge i løpet av denne 30 års perioden, mens energibruket per person i Sverige og Danmark er blitt redusert og er i 2003 omtrent på samme nivå som Norge. Finland har noe høyere energibruk per person enn de skandinaviske landene, mens Island har over dobbelt så høyt energibruk sammenliknet med de andre nordiske landene.



FIGUR 1.2-3: ENERGIBRUK I HUSHOLDNINGER I NORDISKE LAND 1973-2003, GJENGITT ETTER (BØENG, 2005)

Økt energibruk i husholdningssektoren kan i all hovedsak relateres til økt befolkningsvekst og større bruk av elektrisk utstyr (Bøeng, 2005). I løpet av det 20. århundre steg innbyggertallet i Norge med 50 % (SSB). Befolkningsveksten har fortsatt også utover i det 21. århundre, og i 3. kvartall 2010 ble det registrert den høyeste befolkningsveksten noen gang (SSB, 2011). Befolkningsveksten skyldes i hovedsak innvandring. I Figur 1.2-4 er befolkningsveksten i perioden 1900-2008 presentert grafisk.



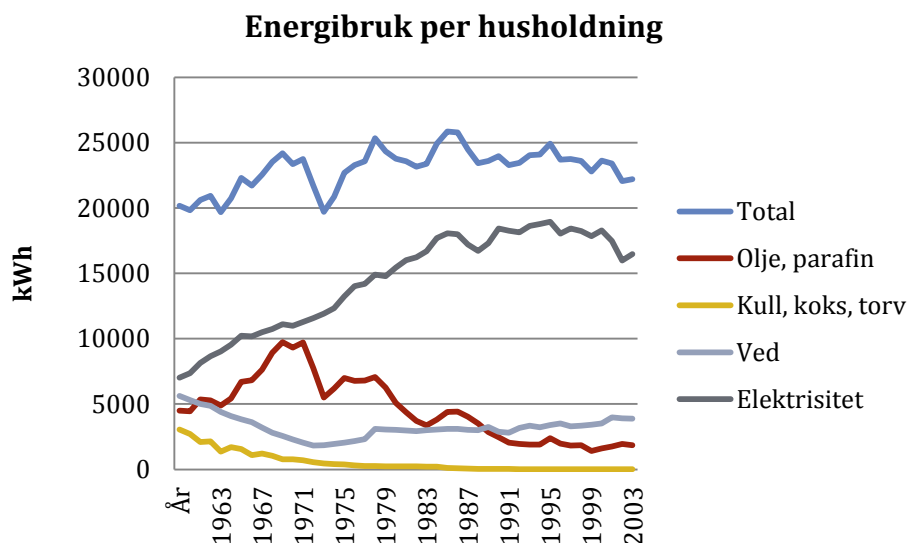
FIGUR 1.2-4: BEFOLKNINGSVEKST I NORGE FOR PERIODEN 1900-2008 (SSB).

Selv om folketilveksten i Norge er økende har antall personer i gjennomsnitt per privathusholdning blitt lavere, se Tabell 1.2-1. Dette skyldes at flere bor alene og at fødselsraten er nedadgående (Bøeng, 2005).

TABELL 1.2-1: ANTALL PERSONER I GJENNOMSNIITT PER PRIVATHUSHOLDNING

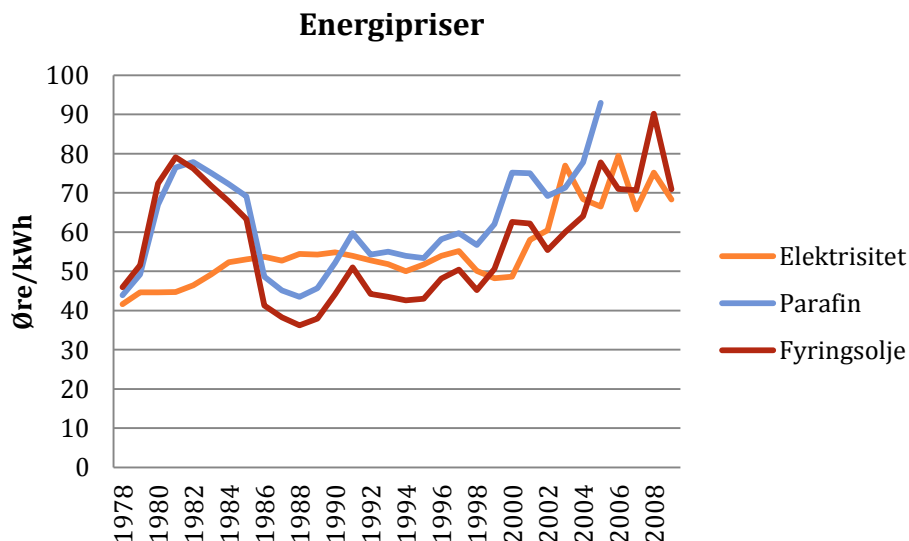
År	1960	1970	1980	1990	2001	2010
Gjennomsnittlig antall personer per husholdning	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,2

Studier har vist at antall husholdningsmedlemmer har stor innflytelse på husholdningens totale energibruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) siden flere husholdningsmedlemmer ofte fører til større boliger (Yohanis, et al., 2008) (Bøeng, 2005) i tillegg til at for eksempel elektrisitetsforbruk til vask av tøy og bruk av enkelte elektriske apparater er knyttet til enkeltpersoner (Gram-Hanssen, 2005a). Med mindre husholdninger vil det derfor være nærliggende å anta at energiforbruket per husholdning er redusert. Figur 1.2-5 viser derimot at energibruket per husholdning har steget siden 1960, noe som betyr at energibruket per person har steget. Tendensene i energibruk per husholdning i Figur 1.2-5 er lignende det totale energiforbruket for husholdningssektoren fra Figur 1.2-2 med en kraftig økning i elektrisitetsforbruket etter oljekrisen og en reduksjon i olje og parafinforbruket. Etter 1987 har energibruket per husholdning vært ganske stabilt med gjennomsnittlig energibruk per husholdning på ca. 23000-25000 kWh/år. Dette kan blant annet skyldes tettere og bedre isolerte boliger og mer effektive elektriske apparater. Hvis en derimot betrakter energibruken som nyttiggjort energi i stedet for tilført energi ville en antagelig kunne se en mer markant stigning, spesielt siden andelen av elektrisitet har steget (Bøeng, 2005).



FIGUR 1.2-5: GJENNOMSNITTLIG ENERGIFORBRUK I HUSHOLDNINGER, TOTALT OG FORDELT PÅ ENERGIBÆRER I KWH TILFØRT ENERGI FOR PERIODEN 1960-2004 (BØENG, 2005)[TABELL F.2, S.44]. BURDE FINNE TALL FREM TIL 2009.

De små variasjonene i 1987 som man ser i Figur 1.2-5 skyldes blant annet utendørsklima i form av varme eller kalde år. Etter årtusenskiftet har gjennomsnittlig energibruk per husholdning derimot sunket, noe som muligens kan være forårsaket av en prisøkning på energi, i tillegg til stadig tettere og bedre isolerte bygninger. Figur 1.2-6 presenterer utviklingen i energipriser for husholdninger i perioden 1978-2009 og en ser at energiprisene har økt signifikant de siste årene. Sannsynligvis kan dette ha bidratt til nedgangen i energibruk per husholdning.



FIGUR 1.2-6: BEREGNEDE PRISER FOR NYTTIGGJORT ENERGI I PERIODEN 1978-2009. PRISENE ER OMREGNET TIL FAST 1998-PRIS OG ALLE AVGIFTER ER INKLUDERT. FOR ELEKTRISITET ER VIRKNINGSGRADEN SATT TIL 100 %, FOR PARAFIN 75 % OG FOR OLJE EN VARIERENDE VIRKNINGSGRAD FRA 58 % I 1978 TIL 80 % FRA OG MED 2002 (SSB, 2010).

1.3. MYNDIGHETENES FOKUS PÅ Å REDUSERE ENERGIBRUK I BYGG

Selv om en har sett en liten nedgang i energiforbruket per husholdning i Norge i løpet av de siste årene, er det fremdeles svært viktig å ha fokus på å redusere energibruket i denne sektoren ytterligere. Dette er fordi det utgjør en såpass betydelig andel av det totale energibruket og fordi folketilveksten og dermed tilveksten av bygg og boliger er stigende. Reduksjon av energibruk i bygg og boliger er derfor et viktig satsningsområde i norsk og europeisk energipolitikk. I Norge og andre europeiske land har styresmaktene angrepet denne oppgaven ved å innskjerpe de bygningsforskrifter som setter krav til både bygningsfysikk og tekniske spesifikasjoner på bygningskomponenter. Dessuten har flere land innført minimumskrav til energiytelsen til bygninger (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) (European Commission, 2010).

Innføring av minimumskrav til energiytelsen til bygninger er et av hovedpunktene i bygningsdirektivet, *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD-direktivet 2002/91/EC), som EU vedtok i 2002. Direktivet trådte i kraft 4. januar 2003 og har som formål å redusere energibruket og øke energieffektiviteten for bygninger i medlemslandene av EU (Europa-Parlamentets og Rådet for den Europæiske Union, 2002). Siden 2003 har det kommet mange forbedringer av direktivet og i 2010 vedtok EU en ny utgave av direktivet, EPBD 2010/31/EU, som trådte i kraft juli 2010 og tok over for direktivet fra 2002 (European Parliament and The Council of the European Union, 2010). Norge har forpliktet seg til å implementere EPBD-direktivet i sitt lovverk og myndighetskrav gjennom *Det Europeiske Økonomiske Samarbeidsområdet* (EØS-avtalen) (Rode, et al., 2008). En mer detaljert oversikt over lovverk og myndighetskrav som gjelder byggverk i Norge samt en oversikt over EPBD direktivet og hvordan det er blitt implementert i Norge, blir gitt i Kapittel 3.

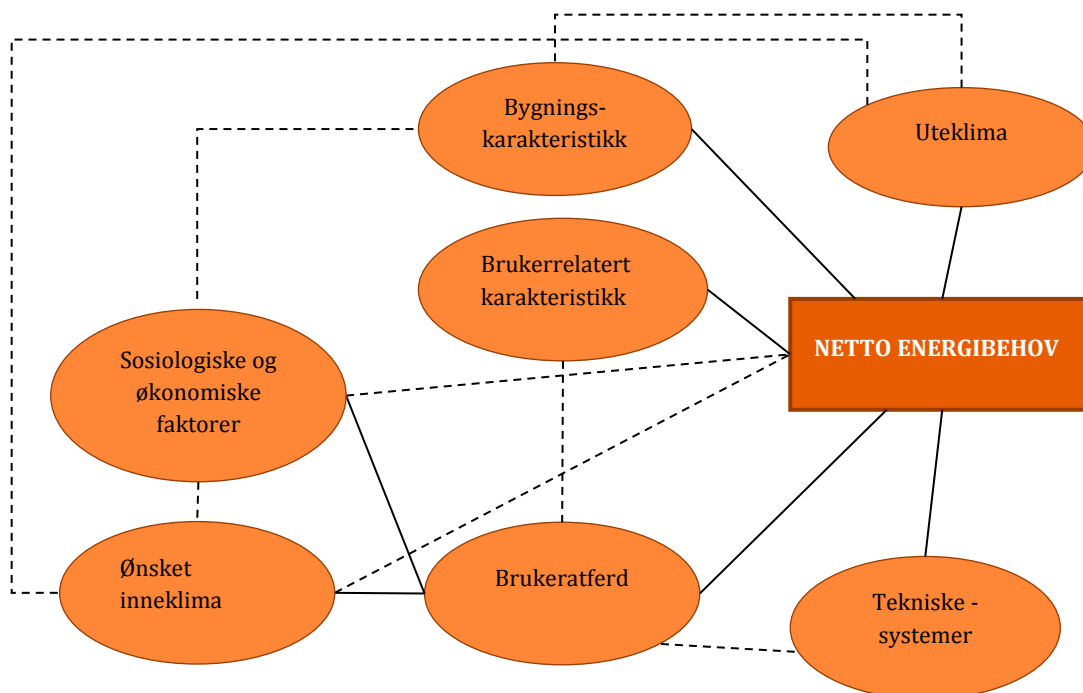
1.4. FAKTORER SOM PÅVIRKER ENERGIBRUK I BOLIGER

Det er en rekke faktorer som påvirker energibruket til en bolig. I følge (Yu, et al., 2011) kan disse faktorene deles inn i syv hovedkategorier:

1. Utendørs klima
2. Bygningskarakteristikk
3. Tekniske systemer
4. Brukerrelatert karakteristikk (utenom sosiologiske og økonomiske faktorer)
5. Inneklima
6. Brukeratferd
7. Sosiologiske og økonomiske faktorer

Alle de syv overnevnte kategoriene av faktorer påvirker energibruket i en bolig på samme tid og det kan være vanskelig å identifisere effekten av hver enkelt faktor. Ved hjelp av simuleringsverktøy kan man imidlertid identifisere innflytelsen av de tre, til dels fire, førstnevnte faktorene med en rimelig nøyaktighet (Yu, et al., 2011), mens det kan være vanskelig å identifisere innflytelsen av de tre sistnevnte siden sosiologiske og økonomiske faktorer og preferanser til inneklima påvirker brukeratferd som gjør at er et komplekst område hvor ulike brukere har ulik atferd og dermed ulik innflytelse på energibruk.

I Figur 1.4-1 er de syv påvirkende hovedkategoriene av faktorer strukturert i et flytskjema hvor heltrukne linjer indikerer direkte påvirkning mellom faktorene mens stiplede linjer indikerer indirekte påvirkning.



FIGUR 1.4-1: FORENKLET MODELL OVER FAKTORER SOM PÅVIRKER ENERGIBRUKET TIL EN BOLIG. STIPLEDE LINJER REPRESENTERER INDIREKTE PÅVIRKNINGER MENS HELTRUKKENE LINJER REPRESENTERER DIREKTE PÅVIRKNINGER.

Som en kan se fra Figur 1.4-1 er det en direkte forbindelse fra uteklima, bygningskarakteristikk, brukerrelatert karakteristikk, brukeratferd, tekniske systemer til netto energibehov til en bolig. Sosiologiske og økonomiske faktorer samt inn klima har kun indirekte forbindelse med energibruket, men derimot direkte forbindelse brukeratferd. Flere av forbindelsene har dobbeltvirkninger slik at for eksempel ønsket inn klima påvirker brukeratferd som igjen påvirker netto energibehov, men netto energibehov kan også ha en innvirkning på brukeratferd og ønsket inn klima ved at man for eksempel tilpasser kravene man har til inn klima i forhold til netto energibruk man ønsker å benytte. Figur 1.4-1 gir kun en kvalitativ beskrivelse av faktorer som påvirker netto energibehov. I det følgende vil det bli gitt en innføring i hva de ulike faktorene omfatter og i henhold til litteraturen hvilken betydning de ulike faktorene har i forhold til netto energibehov. Figur 1.4-2 presenterer en mer kvantitativ beskrivelse av signifikansnivået til sosiologiske og økonomiske faktorer som påvirker energibehovet.

1.4.1 UTEKLIMA

Utendørs klima omhandler blant annet utendørs lufttemperaturer, solstråling, vindhastighet og relativ fuktighet. Uteklima og spesielt lufttemperaturer har en stor påvirkning på energibruk i boliger (Dokka, et al., 2009) (Hitchcock, 1993) (Pettersen, 1994) (Yu, et al., 2010) (Yu, et al., 2011). Litteraturen har vist at uteklima også kan ha en innflytelse på hvilket inn klima brukere av en bolig eller bygning ønsker (Andersen, 2009) (Brager, et al., 1998) (de Dear, et al., 2002) (ISO, 2005) (Djongyang, et al., 2010), noe som er illustrert i Figur 1.4-1 ved en kobling mellom uteklima og ønsket inn klima. I tillegg viser Figur 1.4-1 en indirekte kobling mellom uteklima og

byggningskarakteristikk siden evalueringen av norske og europeiske byggeforskrifter (Schild, et al., 2010) har vist at land med kaldt klima har strengere krav til blant annet U-verdier for byggningskonstruksjoner og tetthet for bygg i forhold til land i varmt klima.

1.4.2 BYGNINGSKARAKTERISTIKK

Bygningskarakteristikk dekker blant annet U-verdier for byggningskonstruksjoner, tetthet, areal, type og orientering av bygning. Bygningskarakteristikk har en direkte innvirkning på en boligs energibruk og i følge (Guerra-Santin, et al., 2009) er byggningskarakteristikk bestemmende for over 40 % av energibruket til en bolig. Resultater fra (Sonderegger, 1977/78) indikerer også at byggningskarakteristikk er en signifikant faktor i forhold til energibruket for en bolig i det undersøkelsen viser at byggningskarakteristikk kunne forklare over 50 % av variasjonen mellom energibruk i 205 boliger i USA.

1.4.3 TEKNISKE SYSTEMER

Figur 1.4-1 viser at tekniske systemer har en direkte påvirkning på netto energibehov. Med tekniske systemer menes energiforsyningssystemer og tekniske installasjoner i en bolig. Virkningsgrader og utforming av tekniske systemer har følgelig en direkte påvirkning på en boligs energibruk.

Det er imidlertid også illustrert en indirekte kobling mellom tekniske systemer og brukeratferd, dette kommer av at undersøkelser indikerer at for eksempel tilstedeværelse av programmerbare termostater for å regulere temperaturen i rom har innflytelse på brukeratferd (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010). Programmerbare termostater kan føre til et høyt energibruk for romoppvarming (Guerra-Santin, et al., 2009) (Gill, et al., 2011), høyere enn ved tilstedeværelse av manuelle termostater eller manuelle radiatorventiler (Guerra-Santin, et al., 2010). Det økte energibehovet ved tilstedeværelse av programmerbare termostater kan forklares med at programmerbare termostater er relatert til lengre brukstid av varmesystemet (Guerra-Santin, et al., 2010) samt at selv rom uten tilstedeværelse kan bli varmet opp siden brukerne er inaktive i forhold til reguleringen av temperaturene, mens ved manuelle termostater må brukerne aktivt slå av og på varmen og brukerne blir da mer bevisste rundt bruken av varme og mer bevisst på ønsket temperatur.

1.4.4 BRUKERRELATERT KARAKTERISTIKK

Brukerrelatert karakteristikk omfatter blant annet antall husholdningsmedlemmer og tilstedeværelse. I forhold til elektrisitetsforbruk og forbruk av vann er antall personer i boligen en signifikant faktor som fører til økt energibruk (Kempton, 1988) (Gram-Hanssen, 2005a) (Gram-Hanssen, 2005b) (Petersen, et al., 2005) noe som skyldes at flere personer fører til økt bruk av elektrisk utstyr og større behov for vann til matlaging og varmtvann til hygieniske formål. I tillegg vil tilstedeværelse påvirke brukstid av blant annet romoppvarming og ventilasjon som fører til økt energibruk (Guerra-Santin, et al., 2010) (Gram-Hanssen, 2005).

1.4.5 INNEKLIMA

Ønsket inneklima består av preferanser i forhold til innetemperaturer og luftkvalitet. Beboere bruker generelt energi for å oppnå et godt inneklima, komfort og for å tilfredsstille en viss levestandard. Beregninger viser imidlertid at brukermønsteret til en enkelt person kan påvirke energibruket i ett rom med opptil 324 % uten at det har verken positive eller negative konsekvenser for inneklima (Andersen, 2009). Undersøkelser har illustrert at det er store

variasjoner i hvordan beboere styrer oppvarmings- og ventilasjonssystemer i sitt eget hjem (Andersen, et al., 2009) (Liao, et al., 2002) (Guerra-Santin, et al., 2010) (Guerra-Santin, et al., 2009).

1.4.6 BRUKERATFERD

Komponenten brukeratferd har tidligere ofte blitt underestimert eller ignorert i analyser om boligers sluttbruk (Wilhite, et al., 1996), dette er også illustrert i foregående avsnitt hvor fokuset fra styremaktene sin side med hensyn til energireduksjon i første rekke har vært på tekniske elementer og bygningsfysikk fremfor brukeratferd. Det er derimot mennesker som betjener tekniske systemer som for eksempel oppvarming, ventilasjon og belysning. Feil eller uforutsett betjening kan føre til svikt i oppgaven om energibesparing. Studier indikerer at brukeratferd kan føre til et meget stort energisløseri ved at brukerne lar lys og elektrisk utstyr være tent i ubemannede rom (Al-Mumim, et al., 2003) (Masos, et al., 2009). Årsaken til dette energisløseriet er først og fremst relatert til dårlig kunnskap hos brukerne vedrørende hvordan deres forbrukerhandlinger påvirker energibruket. Undersøkelser viste at en reduksjon av det totale energibruket på over 20 % kunne oppnås ved informasjon til brukerne om deres handlinger som påvirker energibruken, med en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 5-12 % (Fisher, 2008). De to sistnevnte faktorene, energisløseri og energisparing, bidrar til å illustrere at brukeratferd er et dynamisk og komplekst felt. En større undersøkelse som ble gjennomført som en *state-of-the-art* for dette prosjektet for å avdekke blant annet brukeratferds innflytelse på boligers energibruk finnes i 0.

Brukeratferdens relative innflytelse på energibruken i en bolig er dessuten økende på grunn bedre isolerte og lufttette boliger samt bedre ytelse på tekniske systemer. Dette har bidratt til en økende interesse for brukeratferd i løpet av de siste årene (Haas, et al., 1998). Litteraturen har vist at det er store variasjoner i brukeratferd som fører til stor spredning i energibruk for ulike husholdninger. Forskere forsøker å adressere ulike atferdsmønstre og preferanser til sosiale og økonomiske faktorer.

1.4.7 SOSIALE OG ØKONOMISKE FAKTORER

Studier viser at bruksareal, inntekt, alder og stadiet i livssyklusen har betydning for husholdningens energibruk. Herav er husholdningens inntekt i flere undersøkelser ansett som en av de viktigste variablene når det kommer til elektrisitetsforbruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) (Thøgersen, et al., 2010), siden økt inntekt gir mulighet for å kjøpe større bolig med mer energikrevende utstyr. Husholdninger med høy inntekt har også ofte flere husholdningsmedlemmer og bruker av den grunn mer energi (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008). Nyere undersøkelser har i tillegg vist at tenåringer bruker mer elektrisitet enn en gjennomsnittlig voksen person (Gram-Hanssen, 2005a) (Gram-Hanssen, 2005b) (Thøgersen, et al., 2010). Dette kommer blant annet av at tenåringer for eksempel har mer intensiv bruk av informasjon- og kommunikasjonsteknologi som fjernsyn, mobiltelefoner og data samt økt elektrisitetsforbruk til tøyvask og -tørrking.

Når det gjelder energi til romoppvarming har undersøkelser vist at boligareal er en signifikant faktor som fører til høyere energibruk (Gram-Hanssen, 2005b) (Sardianou, 2007) (Sardianou, 2008) (Guerra-Santin, et al., 2009). I likhet med elektrisitetsforbruk fører høyere inntekt også til en forøkelse av energi til romoppvarming (Raaij, et al., 1983a) (Nesbakken, 2001) (Sardianou, 2008) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010). I tillegg har undersøkelser vist at

tilstedeværelse av småbarn og eldre fører til økt energibruk til romoppvarming (Gram-Hanssen, 2005) (Nesbakken, 2001) (Liao, et al., 2002) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010) siden både familier med småbarn og eldre ofte ønsker en høyere innendørstemperatur i tillegg til at de gjerne tilbringer mer tid hjemme enn yrkesaktive personer. Tilstedeværelse av småbarn og eldre har i henhold til (Guerra-Santin, et al., 2010) også vist seg å være bestemmende for ventilerings, hvor husholdninger med småbarn ventilerer mindre enn husholdninger uten barn og eldre ventilerer i kortere tid enn yngre.

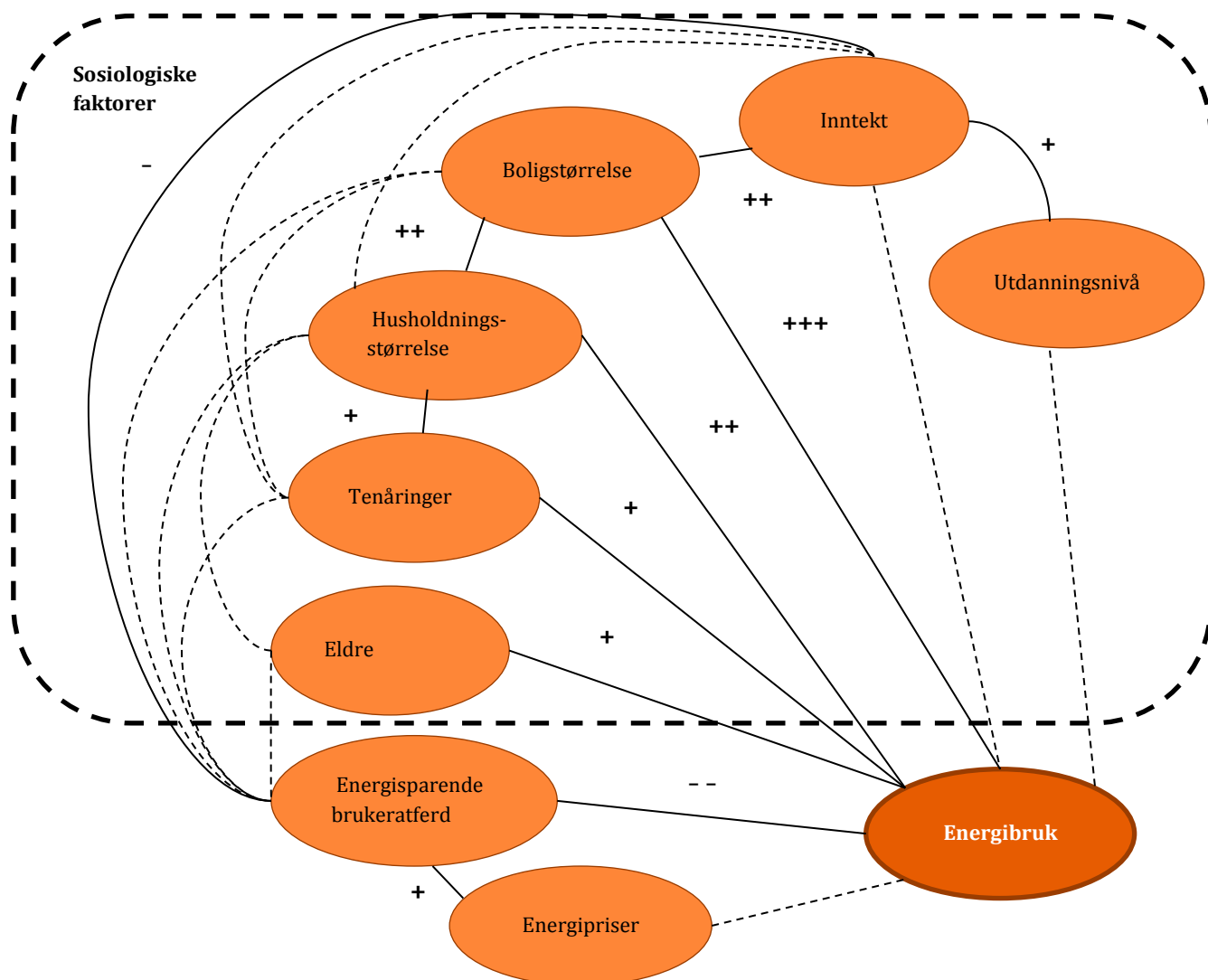
Fra Figur 1.4-1 kan man i tillegg se at det er en indirekte forbindelse mellom sosiologiske og økonomiske faktorer og bygningskarakteristikk, blant annet fordi inntekt er avgjørende for hva slags bolig en husholdning har råd til å bo i (Raaij, et al., 1983a) (Guerra-Santin, et al., 2009).

Inntekt har som sagt vist seg å være en signifikant faktor som fører til økt energibruk både i forhold til romoppvarming og elektrisitet. Undersøkelser har imidlertid vist at energibruken til husholdninger med høy inntekt er mer følsom for energipriser enn energibruken til husholdninger med lav inntekt (Nesbakken, 1999). Dette kommer av at husholdningene med lav inntekt i utgangspunktet har lavt energibruk slik at det er vanskelig for dem å redusere energibruken ytterligere ved en prisstigning. Det er derimot mulig for husholdninger med høy inntekt siden de i utgangspunktet har et høyt energibruk som kan reduseres uten at det får store konsekvenser for levestandarden.

I Figur 1.4-2 er det forsøkt å illustrere hvordan brukerrelatert karakteristikk og sosiologiske og økonomiske faktorer påvirker energibesparende brukeratferd og energibruk i en husholdning. Heltrukne linjer illustrerer direkte innflytelse mellom faktorene mens stiplede linjer illustrerer indirekte innflytelse. Positive og negative korrelasjoner er illustrert med pluss- og minustegn og antall tegn representerer styrken av korrelasjonen, se Tabell 1.4-1. Korrelasjonene er basert på sammenfatning av resultater fra de overnevnte undersøkelsene hvor nyere studier og studier med stort dataunderlag er vektlagt mer enn eldre undersøkelser og undersøkelser med lite data.

TABELL 1.4-1:OVERSIKT OVER GRAD AV KORRELASJON SOM BENYTTES I FIGUR 1.4-2.

Korrelasjon	Forklaring
+++	Meget sterkt positivt korrelert. Faktoren har en positiv påvirkning og er helt avgjørende for utfallet av den andre faktoren sett i pilens retning.
++	Sterkt positivt korrelert. Faktoren har en positiv påvirkning på utfallet av den andre faktoren sett i pilens retning.
+	Positivt korrelert. Faktoren påvirker utfallet positivt på den andre faktoren sett i pilens retning.
-	Negativt korrelert. Faktoren har en negativ påvirkning på den andre faktoren sett i pilens retning.
--	Sterkt negativt korrelert. Faktoren har en negativ påvirkning på utfallet på den andre faktoren sett i pilens retning.
---	Meget sterk negativ korrelasjon. Faktoren har negativ påvirkning og er helt avgjørende på utfallet til den andre faktoren sett i pilens retning.



FIGUR 1.4-2: STRUKTURERT PRESENTASJON AV BRUKERRELATERT KARAKTERISTIKK OG SOSIOLOGISKE OG ØKONOMISKE FAKTORER SOM HAR INNFLYTELSE PÅ ENERGIBRUK I BOLIGER. STIPLEDE PILER REPRERENTERER INDIREKTE PÅVIRKNINGER MENS HELTRUKKENE PILER REPRERENTERER DIREKTE PÅVIRKNINGER. PLUSS- OG MINUSTEGN REPRERENTERER POSITIV OG NEGATIV KORRELASJON. STRUKTURERINGEN ER I HOVEDSAK HENTET FRA UNDERSØKELSEN (THØGERSEN, ET AL., 2010), MEN STEMMER OGSÅ GODT OVER ENS MED RESULTATER FRA ANNEN LITTERATUR.

Figur 1.4-2 viser at det er et komplekst nettverk bestående av brukerrelatert karakteristikk og sosiologiske og økonomiske faktorer som fører til ulik brukeratferd som er med til å påvirke energibruket i en bolig. Det er en korrelasjon mellom mange av faktorene og forandring av én faktor vil påvirke flere andre faktorer. Som nevnt tidligere har flere undersøkelser avslørt positiv korrelasjon mellom husholdningens inntekt og husholdningens energibruk, men som en ser fra Figur 1.4-2 er det ikke inntekten i seg selv som fører til økt energibruk, det er derimot innflytelsen inntekten har på andre faktorer som boligstørrelse og energisparende brukeratferd som fører til at inntekten er en signifikant faktor. Figur 1.4-2 indikerer at det er boligstørrelsen som har den største direkte positive innflytelsen på energibruk mens energibesparende brukeratferd har den største direkte negative effekten på boligens energibruk.

1.5. BEREKNING AV BOLIGERS ENERGIBRUK

Det er viktig å kunne estimere energibruk til en bolig med en viss nøyaktighet eller i det minste med en kjent usikkerhet. Dette er essensielt i forbindelse med energiplanlegging, vurdering av påvirkning fra klimagassutslipp, bestemmelse av forventet årlig energikostnad samt som en bakgrunn for energibesparelseskampanjer. Dessverre viser mange undersøkelser at det er store forskjeller mellom teoretisk energibruk og faktisk energibruk (Brohus, et al., 2010) (Brohus, et al., 2009) (Hitchcock, 1993). Teoretisk energibruk ofte kan være svært underestimert i forhold til målt energibruk, men det har også vist seg å være tilfeller hvor teoretisk energibruk er høyere enn faktisk energibruk. Årsaken til disse differansene kan være variasjoner og usikkerhet knyttet til utendørs klima, bygningskonstruksjoner og brukeratferd. I en undersøkelse av 205 boliger i USA fant Sonderegger (Sonderegger, 1977/78) at ca. 71 % av variasjon i energiforbruket til romoppvarming som ikke kunne forklares direkte av uteklima og bygningskonstruksjoner mellom de undersøkte boligene skyldtes brukeratferd mens ca. 29 % skyldtes variasjon i bygningskonstruksjonskvalitet. Pettersen (Pettersen, 1994) har analysert hvilken innflytelse variasjoner i uteklima, bygningskonstruksjon og brukeratferd har på energibruket i boliger ved hjelp av Monte Carlo simuleringer. Resultatene viste at brukeratferd bidrar mest til variasjon i energibruk. I tillegg viste undersøkelsen at den relative innflytelsen på den totale usikkerheten av ulike variabler er avhengig av uteklima. For norsk klima viste resultatene at variasjon innenfor det spesifikke uteklima og bygningskonstruksjon påvirker variasjonen av totalt energibruk med henholdsvis ca. 12 % og 20 %, mens brukeratferd kan bidra til variasjoner av det totale energibruket med opptil 70 %. Både undersøkelsen av Sonderegger (Sonderegger, 1977/78) og Pettersen (Pettersen, 1994) indikerer at brukeratferd kan bli ansett som en signifikant kilde til differansene mellom beregnet og målt energibruk. Dette underbygges av resultater fra Brohus et al. (Brohus, et al., 2010) (Brohus, et al., 2009) samt annen litteratur som anser brukeratferd som en sensitiv faktor for boligens energibruk (Weber, et al., 2000) (Bahaj, et al., 2007) (Guerra-Santin, et al., 2010).

Det er enighet om at brukeratferd i forhold til oppvarming og ventilasjon er de viktigste forbrukerhandlingene når det gjelder en boligs energibruk (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) (Andersen, 2009) (Andersen, et al., 2009) (Raaij, et al., 1983b) (Guerra-Santin, et al., 2010) (Pettersen, 1994). Ukorrekte antakelser som berører oppvarming og ventilasjonsatferd kan derfor føre til særdeles ukorrekte energiberegningsresultater. I Norge er det for eksempel vanlig å benytte en innendørs designtemperatur for boliger på 21°C i driftstiden og 19 °C utenfor driftstiden, mens studier har vist at foretrukken innendørstemperatur i boliger ofte kan ligge mellom 22-23°C (Isaksson, et al., 2006) (Tommerup, et al., 2007) (Branco, et al., 2004). Bruk av ukorrekt innetemperatur kan sannsynligvis være en av årsakene til underestimert energibruk i teoretiske energiberegninger.

Simuleringsverktøy for beregning av bygningers energiytelse er i de senere år blitt nødvendig for beregning og vurdering av en bygningens energibehov. Strengere krav til energiytelse samt mer komplekse bygninger har økt og vil fortsette å øke kravene til simuleringsverktøy og faktorer for inndata (Hoes, et al., 2008). Per dags dato er det vanlig å modellere brukeratferd på et statisk vis med standardverdier for blant annet internlaster, driftstider og settpunkt for temperatur (Hoes, et al., 2008). Det er denne metoden som er praksis i Norge og som må benyttes i energiberegninger for å få bygningstillatelse eller energimerke (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) (Standard Norge, 2007). Bruk av standardverdier for faktorer

relatert til brukeratferd begrunnes blant annet med at det sikrer langtidskvalitet av bygningskroppen og at bygningsdesignere ikke har mulighet til å benytte optimistiske verdier for bygningsdrift og bygningsbruk for å oppnå en lav verdi for beregnet totalt netto energibehov (Schild, 2010). Men som det er illustrert i de foregående avsnittene kan bruk av ukorrekte antagelser med hensyn til brukeratferd føre til ytterst ukorrekte simuleringresultater relatert til faktisk energibruk. Det ansees derfor som lite tilfredsstillende å fortsette å modellere brukeratferd på et statisk vis i fremtiden dersom beregningsresultatene blant annet skal være til nytte for energiplanlegging, vurdering av påvirkning fra klimagassutslipp og bestemmelse av forventet årlig energikostnad.

Det er et stort behov for energiberegningsverktøy som tar virkelig brukeratferd i betraktning og som omfavner den stokastiske atferden til brukerne (Andersen, et al., 2009) (Widén, et al., 2009). En realistisk fremgangsmåte kan være å benytte stokastisk modellering av parametere relatert til brukeratferd og gjennomføre en Monte Carlo simulering hvor resultatet av energiberegningen gis som en sannsynlighetsfordeling for energibruket til boligen i stedet for en enkelt verdi (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) (Pettersen, 1994). En utfordring er å modellere detaljert nok til å få realistiske resultater, samtidig som modellen bør være enklest mulig. Sensitivitetsanalyser må utføres for å avdekke hvilke parametere knyttet til brukeratferd som har størst innflytelse på energibruket til en bolig. Deretter kan de sensitive parameterne som det er knyttet usikkerhet til modelleres som stokastiske variabler i en videre energiberegning. De parameterne som ansees å være insensitive eller de parameterne man nærmest kan anslå en fast verdi for, kan modelleres som deterministiske faktorer (Brohus, et al., 2010).

1.6. NORSKE FORSKNINGSPROSJEKTER RELATERT TIL BRUKERATFERD

Det er flere forskningsprosjekter som omhandler brukeratferd, både i Norge og internasjonalt. I dette avsnittet presenteres noen av de forskningsprosjekter som pågår i Norge per dagsdato eller som Norge tar del i.

1.6.1 ANNEX 53

The IEA (International Energy Agency) Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) er et forskningsprogram som arbeider mot at bygninger skal være nære nullenergi- og nullutslippsbygg. I dette forskningsprogrammet er det flere Annex som arbeider med ulike elementer innenfor det overordnede målet. Annex 53 arbeider mot en bedre forståelse og økt kunnskap for å kunne gi en robust forutsigelse av energibruken i bygninger (ECBCS). Dette innebærer studier av brukeratferds påvirkning på bygningers energibruk.

1.6.2 ZERO EMISSION BUILDINGS

Forskningssenteret Zero Emission Buildings (ZEB), er et nasjonalt forskningssenter som er et samarbeid mellom Sintef og Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) som arbeider for å plassere Norge i front innen forskning på bygninger med svært lavt energibehov (ZEB). Forskningssenteret har representanter fra forskning og utdanning, bygningsproduktprodusenter, entreprenører, rådgivende ingeniører, arkitekter, bransjeorganisasjoner, eiendomsforvaltere og personer fra offentlig forvaltning. Senteret er ett

av åtte norske forskningssenter som i har status som et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME). ZEB består av fem store arbeidspakker. Den fjerde arbeidspakken har som hovedmålsetning å tilegne ny kunnskap om energibruk, drift og implementering av ZEB. Arbeidsoppgaven består derfor i å skape ny kunnskap om hvordan energi brukes og om det finnes trender. Dette kan karakteriseres som brukeratferd.

1.6.3 NASJONAL FORMÅLSDALT DATABASE

Lavenergiprogrammet, som er et samarbeid mellom staten og byggenæringen for energieffektivisering av byggenæringen, har satt i gang et forprosjekt hvor de ønsker å se nærmere på beregnet energibruk versus målt energibruk. Så langt har prosjektet endt opp i en rapport som kommer med anbefalinger om videre arbeid i et hovedprosjekt. Forprosjektet har sett på mulighetene for å opprette en nasjonal database for innsamling av formålsdelt måldata og gir en beskrivelse av hvordan disse målingene kan gjennomføres.

1.6.4 KUNNSKAP OM ELEKTRISK FORBRUK

Kunnskap om el. spesifikt forbruk er et forskningsprosjekt i regi av Sintef Energi og har som mål å bidra til økt kunnskap om elektrisk forbruk for blant annet husholdningssektoren (Sintef Energi AS). Dette inkluderer både totalt elektrisk forbruk for ulike kundetyper og for ulike elektriske apparater, det vil si formålsdelt.

1.7. PROBLEMFORMULERING

Bakgrunnen for dette prosjektet er at studier har vist at det ofte er store forskjeller mellom beregnet energibruk og målt energibruk for boliger. Brukeratferd er ansett som en signifikant kilde til disse differansene. Som det ble illustrert i de foregående avsnittene er brukeratferd et aktuelt tema både innenfor norsk og internasjonal forskning og nyere studier har indikert at det er nødvendig å ta høyde for stokastisk brukeratferd i energi og inneklimaberegninger for å øke nøyaktighetene av beregningene eller i det minste beregne energibruk til boliger med en kjent usikkerhet. Ut i fra disse indikasjonene er det i dette prosjektet ønskelig å utvikle et regneverktøy som gjør det mulig å implementere stokastisk brukeratferd i energi og inneklimaberegninger i Norge eller i det minste utvikle konseptet til hvordan dette kan gjøres. Rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø ansees som hoved-interessent av dette prosjektet siden en stor del av deres arbeid består av å gjennomføre energi og inneklimaberegninger. For å utvikle et verktøy rettet mot norske rådgivende ingeniører er det i første omgang essensielt å besvare noen forskningsspørsmål:

- *Hvordan beregner norske rådgivende ingeniører energibruk og inneklima for boliger i dag?*
- *Blir det tatt hensyn til variasjoner i energibruk og inneklima forårsaket av brukeratferd?*
- *Hvis ikke; hvordan kan man i så fall utvikle et verktøy som på en enkel måte tar høyde for disse variasjonene?*

1.7.1 PROBLEMBEGRENSNING

Prosjektet vil ha begrensninger både i forhold til tidsperspektiv, software som benyttes og dataunderlag som er tilgjengelig. Begrensninger vil gjøre seg gjeldende underveis i prosjektperioden og det vil informeres i rapporten om ulike begrensninger vi har støtt på. Vedlegg B gir en detaljert oversikt over begrensningene.

KAPITTEL 2 - PROSJEKTETS INTERESSENER

I Kapittel 1 ble det presentert at rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø ansees som hoved-interessentene for dette prosjektet og at et av formålene med prosjektet er å utvikle et regneverktøy som gjør det mulig å implementere virkelig brukeratferd i energi og inneklimaberegninger i Norge. I dette kapittelet presenteres en mini-spørreundersøkelse som er gjennomført for å finne svar på to av spørsmålene fra problemstillingen i forhold til hvordan rådgivende ingeniører beregner energibruk og inneklima for boliger i dag og om det blir tatt hensyn til variasjoner i energibruk og inneklima forårsaket av brukeratferd. I tillegg blir det forsøkt avdekket hvilken interesse det er for et verktøy som implementerer virkelig brukeratferd blant noen norske rådgivere. Kapittelet avsluttes med å gi en kort presentasjon av bi-interesser som vi anser kan dra nytte av resultatene som kommer ut av et verktøy som implementerer virkelig brukeratferd.

2.1. HOVED-INTERESSENT

Rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø er ansett som hoved-interessent for dette prosjektet siden hverdagen deres i all hovedsak består av å beregne energibruk og inneklima for nye og eksisterende bygninger og boliger. Et regneverktøy som implementerer virkelig brukeratferd i deres estimer bør være av interesse siden det vil øke beregningenes nøyaktighet i forhold til faktisk energibruk eller i det minste gi et estimat av usikkerheten i estimatet og med informasjon om parametervariasjonene som ligger til grunn i beregningsverktøyet kan de rådgivende ingeniørene være informert om hvilken tillit de kan legge i resultatet de ender opp med.

For å undersøke om rådgivende ingeniører har interesse for et beregningsverktøy som tar høyde for virkelig brukeratferd og for å få en bedre innsikt i hvordan energiberegninger gjøres blant norske rådgivere i dag ble bransjens 14 største aktører stilt fem spørsmål. Spørsmålene som ønsket besvart var som følger:

- Hvordan gjøres energiberegninger hos dere i dag?
- Har dere noen erfaringer på beregnet vs. faktisk energibruk?
- Tar dere noen høyde for differansen/variasjonen mellom beregnet energibruk og faktisk energibruk relatert til brukeratferd?
- Gjør dere noen vurderinger på sensitive parametere og deres påvirkning på energibruket til bygget?
- Er brukeratferd noen som kan være ønskelig å integrere i energiberegninger i større grad enn det gjøres i dag?

De fleste rådgivere som ble spurt retter seg hovedsakelig mot yrkesbygg, men også større boligprosjekter. Samtlige rådgivere svarte at de benytter simuleringsprogrammet SIMIEN til å utføre energiberegningene. SIMIEN er et lukket program som baserer seg på den norske standarden, NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data. En av aktørene svarer at de i tillegg beregner mer kompliserte tekniske løsninger med andre metoder for så å

korrigere beregningene gjort med SIMEN. En nevner at deres svenske kollegaer benytter beregningsprogrammet IDA ICE.

Seks av åtte rådgivere svarer at deres erfaring er at faktisk energibruk ofte er høyere enn beregnet energibruk, spesielt hvis det benyttes standardverdier fra NS3031. Benyttes i stedet reelle inputverdier kan resultatene indikere det faktiske energibruket bedre. Luftmengder til ventilasjon nevnes som en parameter der standardverdier ofte avviker fra faktisk verdier. En aktør svarer at de har registrert store variasjoner når de i forbindelse med energimerking av bygg sammenligner målt energibruk med deres tidligere beregninger. De relaterer disse variasjonene hovedsakelig til feil drifting av anlegg og brukernes vaner, men også feil dimensjonering. Det er imidlertid få av de spurte som har tall på sammenligninger mellom beregnet og målt energibruk å vise til.

Ingen av de som har besvart tar noen spesiell høyde for variasjonene mellom beregnet og faktisk forbruk annet enn at de informerte om at det kan være differanser. Noen gjør også flere simuleringer med ulike inputdata for å ha et større grunnlag for å kunne si noe om variasjoner.

Mange svarer at de sjelden gjør noen vurderinger av parameteres sensitivitet. Kun en svarer at det er enkelt å gjøre følsomhetsanalyser for å vurdere parameterens sensitivitet. Om det blir gjort avhenger derimot av prosjektets omfang. Mange gir likevel eksempler på sensitive parametere og opplyser om at de nevnes som usikkerhetsfaktorer i deres energiberegninger. En nevner også at de simulerer ulike scenarioer for å illustrere de sensitive parameterens påvirkning på energibruken.

På spørsmål om det kan være ønskelig å integrere brukeratferd i energiberegninger i større grad enn det gjøres i dag er stor enighet om at dette er ønskelig.

2.2. BI-INTERESSEENTER

2.2.1 HUSHOLDNINGER

Energikostnader er en stor post i et husholdningsbudsjett. Et regneverktøy med en mer nøyaktig beregning av energibruk kan bidra til å gi en bedre estimering av husholdningens energikostnader.

I tillegg kan stokastisk modellering av brukeravhengige parametere illustrere økonomisk kostbare og lønnsomme brukermønstre. Kunnskap om hvilken påvirkning forbrukerhandlinger har på energibruk og økonomi kan dermed enkelt formidles til husholdningsmedlemmene.

I dagens samfunn er det en trend å være miljøbevisst og i den sammenheng er det viktig å kunne forstå hvilken påvirkning ens egne handlinger har på det ytre og indre miljøet. Nøyaktig estimering av energibruk vil også føre til mer nøyaktig estimering av CO₂- og klimagassutslipp som kan være interessant kunnskap for noen husholdninger spesielt dersom man kan kvantifisere utslippene og miljøpåvirkningene i relasjon til brukermønstre og forbrukerhandlinger.

2.2.2 POLITIKERE

Frem til nå har politikere som tidligere nevnt fokusert på tekniske elementer og bygningsfysikk i deres kamp om å redusere energibruk til bygning- og husholdningssektoren. En energiberegning som viser hvilken innflytelse brukeratferd har på boligers energibruk kan bidra til å endre politisk perspektiv mot en større interesse for brukeratferd noe som kan føre til politisk engasjement i kartlegging av brukeratferd.

KAPITTEL 3 - MYNDIGHETSKRAV

I Kapittel 2 ble det gitt en presentasjon av norske rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø, som ansees som hoved-interessenten for dette prosjektet, og hvordan de gjennomfører energi og inneklimaberegninger. Ut i fra Kapittel 2 så man at alle de rådgivende ingeniørene beregner energibehov basert på NS3031 som er en anerkjent standard å benytte for å tilfredsstille myndighetskravene i Norge. Det er observert at myndighetskrav som omfatter byggverk og tekniske installasjoner kan være et effektivt verktøy for å redusere energibruk i bygg. Dette ble blant annet illustrert i kapittel 1 der vi så at stigningen i energibruk i husholdninger i Norge fra 1960 til i dag hadde flatet ut fra midten av 1980-tallet og en av forklaringene for dette var bedre isolerte- og tettere boliger. I det følgende blir det gitt en kort gjennomgang av historikken i norske bygningskrav, deretter beskrives hierarkiet i dagens norske myndighetskrav for byggverk for å få en forståelse av hva norske rådgivende ingeniører må forholde seg til ved gjennomføring av prosjekteringer og energi- og inneklimaberegninger. Kapitlet avsluttes med en innføring i EUs bygningsdirektiv som Norge har forpliktet seg til å implementere og en kortfattet beskrivelse av hvordan dette direktivet er implementert i Norge og andre europeiske land.

3.1. HISTORIKK FOR BYGNINGSKRAV

Allerede på midten av 1800-tallet ble det vedtatt en alminnelig bygningslov i Norge på bakgrunn av at store bybranner hadde forekommet. Denne loven gjaldt imidlertid ikke landets største byer siden de hadde sine egne lover. I 1924 trådte loven om bygningsvesenet i kraft som var den første felles bygningsloven for de største byene og tettstedene i Norge (Aakre, et al., 2009).

Etter andre verdenskrig ble det en større konsentrasjon av bosetning i Norge og dette gjorde det nødvendig med en revisjon av bygningslovgivningen. I 1949 ble det implementert krav om varmeisolasjon i bygg gjennom norske bygningsforskrifter (Statens bygningstekniske etat, 2002) da det ble påkrevd med 4 cm isolasjon i veggene (Bøeng, et al., 2008). I 1965 ble det for første gang vedtatt en bygningslov som gjaldt for hele landet. (Aakre, et al., 2009) (Statens bygningstekniske etat, 2002)

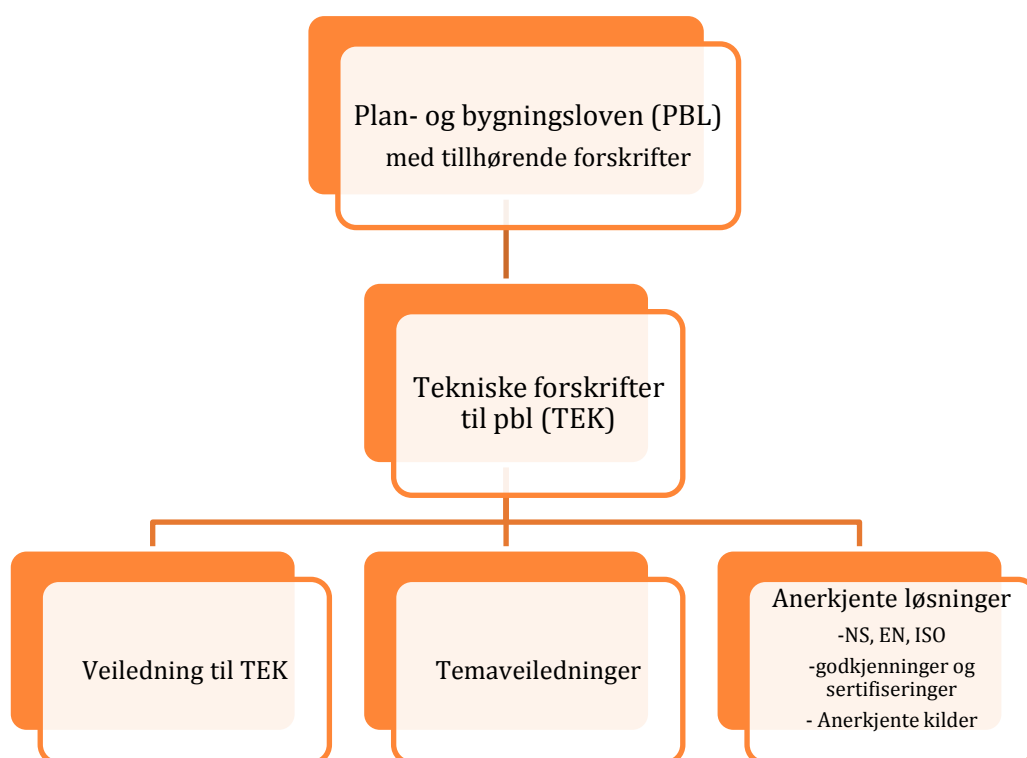
Myndighetenes krav til byggverk og deres varmeisolering og energiløsninger har gradvis blitt innskjerpet ved endringer av byggeforskriftene og spesielt de siste årene som et resultat av økt bevissthet på energi og miljø. I dag er for eksempel kravet til varmeisolasjon for vegger at U-verdien skal være $\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ noe som tilsvarer ca. 25 cm isolasjon (Statens bygningstekniske etat, 2007). Bygningslovgivningen i Norge består i dag av plan- og bygningsloven, byggeforskriftene og lokale bygningsvedtekter. Formålet med denne lovgivningen er at myndighetene skal ha kontroll over bebyggelsens lokalisering og den bygningsmessige utviklingen. Kommunal- og regionaldepartementet utvikler byggeforskrifter som utfyller loven, disse forskriftene blir jevnlig oppdatert.

I 1994 ble det inngått en avtale mellom EFTA og EU, EØS-avtalen. Formålet med EØS-avtalen er å styrke handelen og de økonomiske båndene mellom partene. Samarbeidet omfatter blant annet

også miljø, forskning, noe som har ført til at den har fått en avgjørende rolle for norske byggeforskrifter. (Store Norske Leksikon, 2011)

3.2. HIERARKI I DET NORSKE REGELVERKET FOR BYGG

I Figur 3.2-1 illustreres hierarkiet over det norske regelverket som omfatter byggverk i Norge. Som en kan se er det Plan- og bygningsloven (PBL) som rangeres høyest i hierarkiet over tekniske forskrifter til PBL (TEK). På bunnen av hierarkiet er det flere likestilte løsninger som omfatter veiledning til TEK, temaveiledninger, norske og internasjonale standarder og andre anerkjente kilder.



FIGUR 3.2-1: HIERARKI FOR DET NORSKE REGELVERK FOR BYGGESAKER

3.2.1 LOV OM PLANLEGGING OG BYGGESAKSBEHANDLING (PBL)

Lov om planlegging og byggesaksbehandling, også kjent som plan- og bygningsloven (PBL) ble vedtatt for første gang i 14. juni 1985 og har som formål å fremme bærekraftig utvikling og gjelder for alle byggesaker i Norge (Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet, 2010).

Loven kom i ny utgave med tiltredelse 1. juli 2010. Den nye utgaven fokuserer på forenkling og effektivisering, bedre kvalitet i byggesaker, klarere tekniske krav og mer miljøvennlige bygg. Rammene for energi- og miljøkrav til bygg og materialer ble implementert gjennom nye tekniske forskrifter til loven (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010).

3.2.2 FORSKRIFT OM TEKNISKE KRAV TIL BYGGVERK (TEK)

Forskrift om tekniske krav til byggverk (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010), også kalt teknisk forskrift (TEK) hadde ikrafttredelse for første gang 1. juli 1997 og er gitt til gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan- og bygningsloven og for gjennomføring av Norges forpliktelser etter EØS-avtalen for krav til byggverk og produkter til byggverk (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010). Forskrift til tekniske krav til byggverk har blitt revidert to ganger siden TEK97, og revisjonene har ført til TEK07 og TEK10. Energikravene i TEK har blitt kraftig skjerpet i de senere revisjonene.

Hovedindikatoren for energieffektivitet i det norske forskriftskravet er netto energibehov. Krav til energieffektivitet kan stilles opp på ulike måter og i Norge har både tidligere- (TEK97) og nye bygningsforskrifter (TEK07/TEK10) gitt to alternativer for å kontrollere overholdelse av energiytelseskrav: energiltak med mulighet for omfordeling (TEK § 14.3) eller energiramme (TEK § 14.4) som setter maksimumsverdier for samlet netto energibruk for ulike bygningskategorier. I tillegg må minstekrav for U-verdier og tetthet oppfylles uansett (TEK § 14.5) og bygninger skal designes og bygges slik at alternative energikilder kan benyttes til oppvarming av rom og varmt forbruksvann (TEK § 14.7).

I revisjon av teknisk forskrift fra 2007 (TEK07) ble energirammen i gjennomsnitt innskrenket med 25 % for alle nye bygg. Minimum 40 % av energibehovet til romoppvarming og varmtvann skulle dekkes av alternativ energiforsyning. I tillegg ble det nye og strengere verdier for energiltak (Statens bygningstekniske etat, 2007). I revisjon anno 2010 (TEK10) dreier endringene av energiforskriftene seg i hovedsak om en ytterligere innstramning av energirammene samt økt virkningsgrad for varmegjenvinnere og ingen mulighet for omfordeling mellom vindusareal og andre tekniske spesifikasjoner, omfordeling for vindusareal må i så fall skje i forhold til U-verdi for vindu.

Tabell 3.2-1 presenter krav til tekniske egenskaper for komponenter ved bruk av tiltaksmodellen. U-verdiene i TEK07/ TEK10 er valgt basert på en teknisk og økonomiske nasjonal studie (Schild, 2010).

TABELL 3.2-1: SAMMENLIKNING AV TILTAKSMODELLEN FOR TEK97 OG TEK07/TEK10 (SINTEF BYGGFORSK AS, 2006) (KOMMUNAL- OG REGIONALDEPARTEMENTET, 2010).

Parameter	Enhet	1997	2007/ 2010
U-verdi vegg	[W/m ² K]	0,22	0,18
U-verdi tak	[W/m ² K]	0,15	0,13
U-verdi gulv	[W/m ² K]	0,3	0,15
U-verdi vinduer/dører	[W/m ² K]	2,0 [1,6]*	1,2
Kuldebroer	[(W/ K)/m ²]	**	0,06 [0,03]
Tetthet n ₅₀	[h ⁻¹]		1,5 [2,5]
Varmegjenvinning	[%]	60 %	80 % [70 %]
SFP	[kW/(m ³ /s)]		2 / 1*** [2,5]
Glassareal	[% av gulvareal]	20 %	20 %
Nattsinking av innetemp.	[°C]		19 °C

*Egne verdier for småhus er gitt i hakeparenteser

**Kuldebroer var inkludert i U-verdiene i 1997 kravene

***Brukstil/utenfor brukstil

Tabell 3.2-2 presenterer energirammen for ulike bygningskategorier fra TEK97, TEK07 og TEK10 og tabellen viser at det var en kraftig innskjerping i rammekravene for energi til bygg fra 1997 til 2007 og en videre innskjerping fra 2007 til 2010.

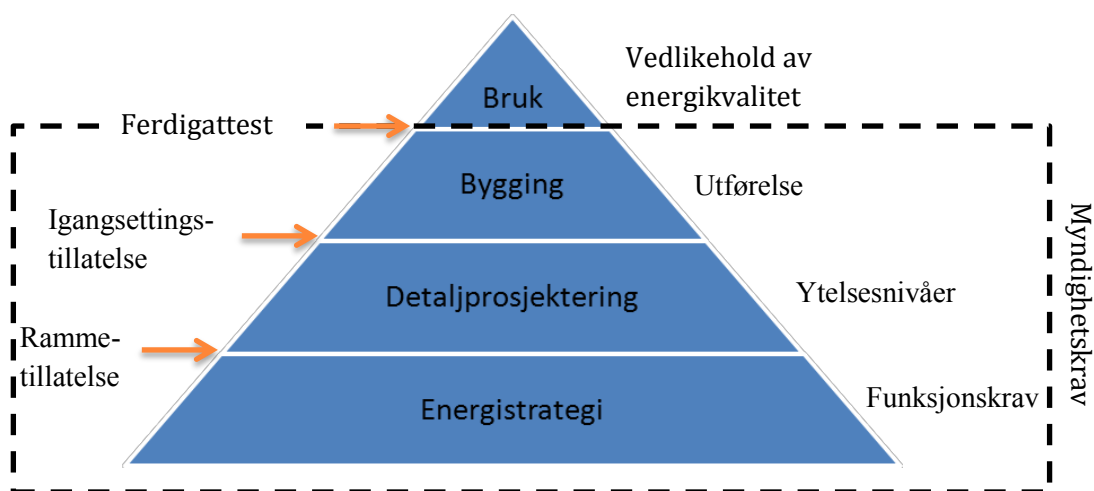
TABELL 3.2-2: SAMMENLIKNING AV RAMMEKRAV FOR TEK97, TEK07 OG TEK10 (SINTEF BYGGFORSK AS, 2006) (KOMMUNAL- OG REGIONALDEPARTEMENTET, 2010).

Bygningskategori	1997	2007	2010
Småhus	173	125 · 1600/m ² BRA	120 · 1600/m ² BRA
Leilighet	149	120	115
Barnehage	202	150	140
Kontorbygg	216	165	150
Skolebygning	188	135	120
Universitet		180	160
Sykehus	391	325	300 (335)
Sykehjem	317	235	215 (250)
Hotell	276	240	220
Idrettsbygning	256	185	170
Forretningsbygg	315	235	210
Kulturbygg	231	180	165
Lett industri/ verksted	220	185	175 (190)

Kravene gitt i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/ smitte.

3.2.3 VEILEDER TIL TEKNISK FORSKRIFT

Veilederen til TEK (Statens bygningstekniske etat, 2010) finnes i en elektronisk utgave som korrigeres og oppdateres fortløpende. Veilederen utdyper blant annet hvordan oppfyllelse av krav skal dokumenteres for bygningenes energiløsninger. Figur 3.2-2 viser en grafisk fremstilling av gangen i en byggeprosess og hvordan oppfyllelse av energikravene kan dokumenteres.



FIGUR 3.2-2: DOKUMENTASJON FOR OPPFYLLELSE AV ENERGIKRAV UNDER BYGGEPROSESS (STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT, 2007).

- Funksjonskrav: definere energiytelser som tilfredsstiller TEK
- Ytelsesnivåer: tegne og beskrive løsninger som tilfredsstiller energiytelsene
- Utførelse: utføre løsninger i samsvar med tegninger og beskrivelser
- Bruke løsninger i samsvar med bruksanvisning (vedlikehold / ettersyn)

3.2.4 NORSK STANDARD – NS 3031

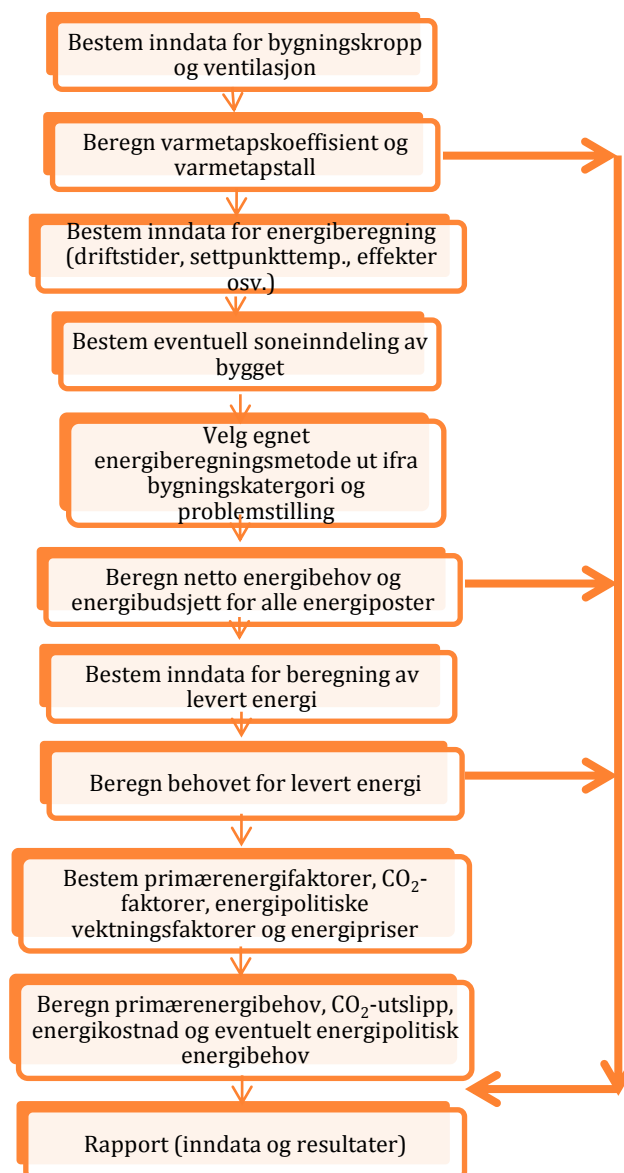
Norsk standard NS 3031:2007 - Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data (Standard Norge, 2007) inneholder beregningsregler og inndata for å dokumentere bygningers energiytelse og energibehov. Standarden brukes til å vurdere om bygningen tilfredsstiller de krav som stilles i TEK og dokumentere det teoretiske energibehovet. Den beskriver i tillegg metode og data for beregning av CO₂-utslipp og miljøeffekt. Standarden kompletterer og følger de regler og metoder som finnes i EUs bygningsenergidirektiv (EPBD) med tilknyttede europeiske standarder (ISO 13790) samt nasjonale valg og verdier (Standard Norge, 2007). Bygninger med lavt energibehov krever også et større fokus på inneklima. Krav til god luftkvalitet, termisk komfort og tilgang på dagslys må også være tilfredsstilt når energikravene i TEK er oppfylt.

I alt omfatter standarden tre beregningsalternativer; månedsberegning, forenklet timeberegninger og beregning ved hjelp av detaljerte beregningsprogrammer. Alle bygninger med luftbehandlingsutstyr eller bygg innenfor kategoriene kontor, forretning, sykehus og universitet må beregnes timedynamisk. Standarden er publisert med en klimadatafil med timesverdier for Oslo-klima, dette klimadatasettet må benyttes over hele landet i energiytelsesberegninger for bygningstillatelse og ved energimerking. (Schild, 2010) For energiytelsesberegninger for bygningstillatelse og ved energimerking skal det i tillegg benyttes faste verdier for inndataparametere relatert til brukeratferd: internlaster fra utstyr og personer, varmt forbruksvann, brukstid og settpunkt temperatur for oppvarming og kjøling. Disse standardverdiene er gitt for ulike bygningskategorier i et vedlegg til standarden og er gjengitt i Vedlegg D. Standarden er omfattende og kompleks og reglene egner seg derfor best for et databasert beregningsverktøy (Standard Norge, 2007). Figur 3.2-3 viser skjematisk beregningsprosedyren beskrevet i standarden.

Standarden fastlegger regler for beregning av varmetapstall, totalt netto energibehov i et energibudsjett, levert energi til bygget fordelt på ulike energibærere, primærenergi behov, CO₂-utslipp, vektet levert energi og energikostnad.

NS3031:2007 ble i oktober 2010 komplementert med endringsbladet NS3031:2007/A1:2010 som gir endringer tilpasset nye energikrav i Forskrift om tekniske krav til byggverk av 2010, TEK10 (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010). TEK10 trådte i kraft 1.7.2010 og gir i henhold til § 17-2 muligheten til å velge mellom energikravene i TEK10 og TEK07 i en overgangsperiode frem til 1.7.2011 da endringene blir innarbeidet i NS3031 (Standard Norge, 2010).

Standardverdier fra NS3031:2007 og endringsbladet NS3031:2007/A1:2010 kan ses i Vedlegg D.



FIGUR 3.2-3: PROSEDYRE FOR BEREKNING ETTER NS 3031 (STANDARD NORGE, 2007).

3.3. EPBD

EPBD (2002/91/EC) er et direktiv som omfatter bygningers energimessige yteevne og er rettet mot medlemslandene i EU. Bakgrunnen for direktivet er at bygning- og boligsektoren konsumerer en stor del av det totale energibruket i Europa og står dermed for en stor andel av CO₂-utslippet på kontinentet. Økt energieffektivitet er derfor en viktig del av politikken og forhåndsreglene som må iverksettes dersom Kyoto-protokollen skal overholdes. (Europa-Parlamentets og Rådet for den Europæiske Union, 2002)

Direktivet består av 17 artikler og ett bilag. Direktivet er kort oppsummert i Tabell 3.3-1. Formålet med direktivet er å frembringe forbedringer i energiytelse for bygninger blant medlemslandene samtidig som man tar hensyn til utendørs klima, lokale forhold, inneklimategninger og omkostningseffektivitet. Som en kan se ut i fra Tabell 3.3-1 pålegger EU sine medlemsland å stille energikrav, men direktivet sier ingen ting om hvor strenge energikravene skal være eller

hvilke tiltak som bør gjennomføres for å overholde kravene. Direktivet kommer derimot med overordnede prinsipper for et system av krav til energimessig yteevne. Utførelsen av kravene er overlatt til medlemslandene slik at hvert medlemsland kan velge en ordning som passer landet best. (Europa-Parlamentets og Rådet for den Europæiske Union, 2002)

TABELL 3.3-1: OVERSIKT OVER ARTIKLENE I EPBD (2002/91/EC)

Navn	Tema	Innhold
Artikkel 1	Formål	Formålet med direktivet er å fremme forbedring av energiytelse for bygninger i medlemslandene samtidig som det blir tatt hensyn til uteklima, lokale forhold, inneklima og omkostningseffektivitet.
Artikkel 2	Definisjoner	Definisjoner av bestemte ord i direktivet.
Artikkel 3	Vedtakelse av metode m/bilag	Rammebestemmelser for beregning av bygningers energiytelse.
Artikkel 4	Fastsette minstekrav til energiytelse	Medlemslandene skal fastsette minstekrav til energiytelse. Kravene skal oppdateres minimum hvert femte år.
Artikkel 5	Nye bygninger	Forhåndsregler som sikrer at nybygg oppfyller minstekrav til energiytelse.
Artikkel 6	Eksisterende bygninger	Krav til at hovedrehabilitering av bygninger over 1000 m ² skal oppfylle minstekrav til energiytelse. Kravet gjelder bygning som helhet eller komponentnivå.
Artikkel 7	Energiattest	Krav om at det ved oppførsel, salg eller utleie av bygninger foreligger energiattest.
Artikkel 8	Ettersyn kjeler	Regelmessig ettersyn av kjeler med nominell nytteeffekt over 20 kW. Rådgivning av eksperter med hensyn til utskiftning av kjeler eldre enn 15 år.
Artikkel 9	Ettersyn klimaanlegg	Regelmessig ettersyn av klimaanlegg med en nominell kjøleeffekt på over 12 kW.
Artikkel 10	Uavhengige eksperter	Attesting av bygninger og ettersyn av kjeler og klimaanlegg skal gjennomføres av uavhengige kvalifiserte eksperter.
Artikkel 11	Revisjon	Europa kommisjonen evaluerer direktivet i lys av erfaringer og kan komme med endringer med hensyn til mer effektivisering.
Artikkel 12	Opplysning	Opplyse brukerne av bygninger om hvordan de kan bidra til å forbedre byggets energimessige ytelse.
Artikkel 13	Tilpassning av rammebestemmelsene	Revidering av hvilke forhold som minst skal omfattes ved beregning av bygningers energiytelse samt hvilke passive positive virkninger som skal tas hensyn til.
Artikkel 14	Utvalg	Kommisjonen bistås av et utvalg
Artikkel 15	Gjennomførelse	Lover og tiltak for å etterkomme direktivet skal tre i kraft senest 4. januar 2006. Med mangel på eksperter kan medlemslandene få en ytterligere periode på tre år for å få kravene i artikkel 7,8 og 9 i anvendelse.
Artikkel 16	Ikrafttredelse	Ved offentliggjøring
Artikkel 17	Adressater	Medlemslandene i EU.

Kilde: (Europa-Parlamentets og Rådet for den Europæiske Union, 2002)

EU kommisjonen gav CEN mandat til å utvikle et stort antall standarder som støtter opp om implementering av EPBD. Formålet med mandatet til CEN var å sikre en effektiv implementering av EPBD og spesielt hjelpe land med begrenset erfaring innenfor energimessig ytelse i bygg til å vedta klare og konsise standarder. I tillegg legger EU kommisjonen vekt på at harmonisering av standarder i Europa vil ha flere fordeler, blant annet sammenliknbarhet av energiytelse mellom ulike land. Dessuten kan industrien dra nytte av en harmonisering av standarder siden storskala implementering av tekniske løsninger vil være lettere dersom energiytelse beregnes likt. Til

utviklingen av standardene nedsatte CEN en arbeidsgruppe bestående av fem komiteer. Det ble utviklet 43 CEN-EPBD standarder som kan deles inn i seks hovedgrupper: (Hogeling, 2006)

1. Bygningsfysikkstandarter som for eksempel beskriver beregning av varmetransport ved transmisjon og ventilasjon, soltransmisjon og energibehov for oppvarming og kjøling av bygninger.
2. Beskrivelse og klassifisering av ventilasjon-, kjøle- og air-conditionsystemer.
3. Beskrivelse av oppvarmingssystemer og systemer for varmt forbruksvann.
4. Understøttende standarder for
 - a. Lyssystemer for bygninger inkludert positiv effekt fra dagslys
 - b. Styring og automatikk for tekniske systemer
 - c. Klassifisering av inneklima
 - d. Kostbarhetsanalyse av bæredyktige energiapplikasjoner
5. Standarder for inspeksjon av:
 - a. Kjeler og oppvarmingssystemer
 - b. Kjøling og air-conditionsystemer
 - c. Ventilasjonssystemer
6. To nøkkel standarder for å uttrykke energiytelse og energisertifisering av bygninger, totalt energibruk, primær energi og CO₂-utslipp, evaluering av energibruk og definisjon for energiytelsesrangering.

En av nøkkelstandardene fra CEN-EPBD er EN-ISO13790:2008 (CEN, 2008) som omhandler energiberegning (Schild, et al., 2010). De fleste land har laget sine egne standarder for energiberegninger tilpasset nasjonale forskrifter som bygger på EN-ISO 13790:2008, for eksempel er den norske standarden NS 3031:2007 (Standard Norge, 2007), som ble beskrevet i avsnitt 3.2.4 på s.24, i stor grad basert på EN-ISO 13790:2008 (Schild, et al., 2010).

Et viktig poeng er at bygningsdirektivet krever evaluering av inneklima. Det skal ikke være mulig å oppfylle kravene for energimessig ytelse ved å redusere innendørs komfort. En viktig CEN-EPBD standard i denne forbindelse er standarden for klassifisering av inneklima EN 15251 (CEN, 2007). EN 15251 beskriver inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk.

Det har tidligere eksistert standarder og tekniske rapporter som omhandler inneklima. Standarden EN ISO 7730 og rapporten CR 1752 er eksempler på dokumenter som spesifiserer kriterier for henholdsvis termisk komfort og luftkvalitet. Disse kriteriene er imidlertid primært laget for dimensjonering av en bygnings varme-, kjøle- og ventilasjonsanlegg og tar blant annet ikke hensyn til at brukere kan ha forskjellig forventning til inneklima i naturlig ventilerte bygninger og bygninger med luftbehandlingsanlegg (CEN, 2007). Kriteriene i disse standardene bør derfor ikke benyttes direkte i energiberegninger for årlig energibruk eller til evaluering av termisk komfort over året (CEN, 2007). EN 15251 definerer derimot blant annet hvordan man kan etablere og definere hovedparametere for inndata i energiberegninger for bygninger og for langtidsevaluering av inneklima og hvordan forskjellige kategorier for inneklima kan bli brukt. I tillegg uttrykker standarden at det ikke gir noen mening å ha energierklæringer dersom man ikke har erklæringer relatert til inneklima (CEN, 2007), noe som hentyder at EN 15251 bør bli ansett som viktig i landene som implementerer EPBD.

3.3.1 IMPLEMENTERING AV EPBD I NORGE OG EUROPA

Siden EPBD 2002/91/EC ikke satt konkrete krav til energimessig yteevne for bygninger har det vært betydelige variasjoner i gjennomføringen av direktivet blant EUs medlemsland (European Parliament and The Council of the European Union, 2010) (Schild, et al., 2010). Det var åpenbart nødvendig å opprette konkrete og konsise mål og handlingsplaner for å kunne realisere det store energisparingspotensialet som ligger i bygningssektoren. Flere forbedringer ble gjort i EPBD 2002/91/EC i henhold til artikkel 11, men for klarhetens skyld ble et nytt bygningsdirektiv, EPBD recast 2010/31/EU, vedtatt mai 2010 (European Parliament and The Council of the European Union, 2010).

EPBD recast 2010/31/EU tar over for EPBD 2002/91/EC som er opphevet med effekt fra 1. februar 2012 i henhold til artikkel 29 i det nye bygningsdirektivet (European Parliament and The Council of the European Union, 2010). EPBD recast 2010/31/EU består av 31 artikler og fem bilag. Noen av de store endringene/ tilleggene i EPBD recast er blant annet:

- Konkrete krav til at alle nye bygninger skal være nesten null-energibygninger innen 31. desember 2020 og at etter 31. desember 2018 skal alle nye bygninger bebodd eller eid av offentlige myndigheter være nesten null-energibygninger.
- Krav til tekniske systemers energiytelse. Tekniske krav skal i det minste omfatte varmesystemer, systemer for varmt forbruksvann, air-conditionsystemer og store ventilasjonssystemer.
- Krav til beregning av kostnadsoptimalt nivå for minimum energiytelseskra for bygninger og bygningselementer. Kommisjonen skal etablere en komparativ beregningsmetode som blant annet skal ta hensyn til utendørs klima, brukermønster, bygningskategori og investeringskostnader. Beregningsresultatene skal sammenliknes med kravene til minimum energiytelse som er i kraft. Dersom forskriftskravene til minimum energiytelse er mindre energieffektive enn kostnadsoptimalt nivå må medlemslandene rettferdiggjøre disse ulikhetene. Dersom ulikhetene ikke lar seg rettferdiggjøre skal det etableres en plan for å redusere denne forskjellen.
- Medlemslandene skal fastlegge straff for overtredelse av kravene i direktivet og alle forhåndsregler nødvendig for å sikre implementering av direktivet skal bli tatt. Medlemslandene skal opplyse Kommisjonen om bestemmelsen de kommer frem til innen 9. januar 2013.

EPBD recast definerer *nesten null-energibygninger* som bygninger med høy energimessig ytelse hvor den lille energimengden som kreves i stor grad skal komme fra fornybare energikilder, inkludert energi fra fornybare kilder på stedet eller i nærheten (European Parliament and The Council of the European Union, 2010)[Artikkel 2, 2]

Som en ser fra de overstående avsnittene er EPBD recast 2010/31/EU mer konkret enn den tidligere EPBD 2002/91/EC. I EPBD recast 2010/31/EU er det satt flere deadlines som sikrer at medlemslandene må ta affære for å overholde delmål på veien mot å nå hovedmålet om neste null-energibygg i 2020. Det er antatt at EPBD recast 2010/31/EU kan akselerere prosessen med implementering av EPBD i medlemslandene av EU. I det følgende presenteres imidlertid implementeringen av EPBD 2002/91/EC i Norge og Europa siden det er for tidlig å se effekten av EPBD recast 2010/31/EU. Heretter er EPBD 2002/91/EC kun omtalt som EPBD.

3.1.3.1 IMPLEMENTERING I NORGE

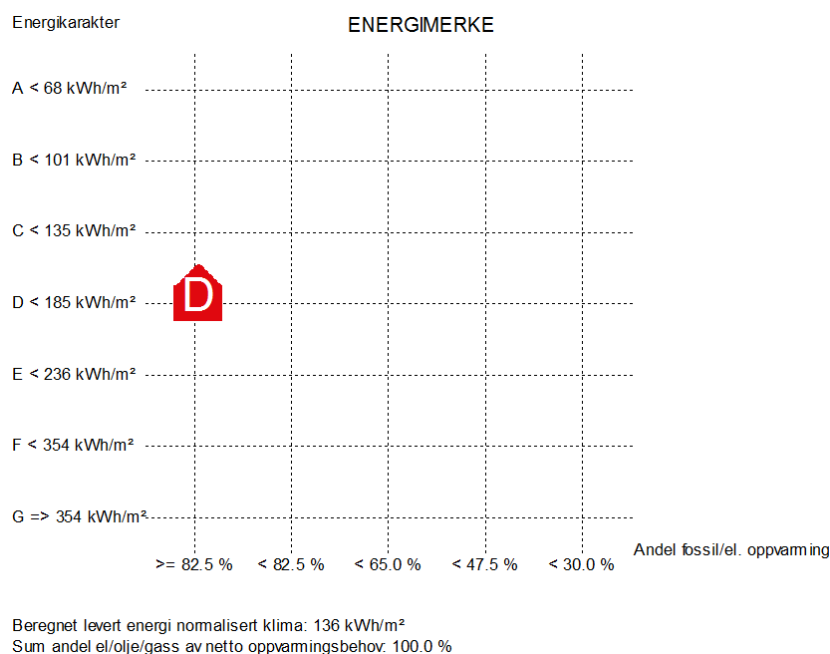
Som en kan se fra Tabell 3.3-1 henvender EPBD seg til medlemslandene av EU. Norge er ikke medlem av EU, men i 2004 vedtok det norske Stortinget at EPBD skulle implementeres i Norge som en del av EØS-avtalen med EU. Kommunal- og regionaldepartementet fikk ansvaret for å koordinere implementeringen av artikkel 3-6, mens Olje- og energidepartementet fikk ansvaret for implementering av artikkel 7-10 (Rode, et al., 2008).

1. februar 2007 introduserte den norske regjeringen nye energikrav i forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK07). De nye kravene ble innført med en overgangsperiode på to og et halvt år hvor nye krav eksisterte ved siden av tidligere krav. (Rode, et al., 2008) (Schild, et al., 2010) Kravene i TEK07 er gjeldende både ved oppføring av nye bygninger og ved hovedrehabiliteringer som i Norge generelt er definert som over 50 % av bygningsarealet (Schild, 2010), TEK07 dekker dermed kravene i artikkel 4-6 i EPBD 2002/91/EC.

I oktober 2007 ble en revidert versjon av den nasjonale standarden for energiberegningsmetode (NS 3031) publisert, NS 3031:2007. Den reviderte standarden var forbedret i henhold til ISO 13790 og omfattet derved kravene i artikkel 3 og bilag til artikkel 3 i EPBD 2002/91/EC. Ut i fra den reviderte versjonen av NS 3031 kan man beregne energibruk for alle stegene i energiforsyningskjeden, dvs. netto energibehov, levert energi, primær energi eller CO₂-utslipp, se Figur 3.2-3. (Schild, 2010)

I 2010 ble det innført energimerking av byggverk i Norge. Krav til energimerking av bygninger finnes i energimerkeforskriften (Olje- og energidepartementet, 2010), som har hjemmel i Energiloven (Olje- og energidepartementet, 2010). Energimerkeforskriften trådte i kraft 1.januar 2010 og fra og med 1.juli 2010 skulle alle boliger og yrkesbygg som selges eller leies ut ha en energiattest. Til forskjell fra TEK, som har netto energibehov til hoved indikator, baserer energimerket seg på levert energi (Schild, 2010). Energimerket består av en energikarakter og en oppvarmingskarakter. Energimerket går fra A til G, hvor A er best. Oppvarmingskarakteren gis i en femdelt fargerangering fra grønt til rødt ut i fra hvilket oppvarmingssystem for romoppvarming og tappevannsoppvarming som er installert, hvor grønn er beste karakter. Det er andelen elektrisitet og fossilt brensel som ligger til grunn for oppvarmingskarakteren. For å oppnå grønt oppvarmingsmerke må andelen elektrisitet og fossilt brensel ligge under 30 %. Det er ingen sammenheng mellom energikarakteren og energimerket. En bygning med høyt energibruk og dermed dårlig energimerke kan få god oppvarmingskarakter dersom oppvarmingssystemet for eksempel er basert på bioenergi og motsatt. (NVE, 2010) Formålet med energisertifiseringen er å øke bevisstheten rundt energibruk og ulike oppvarmingsmuligheter. Energimerking omfatter alle bygninger over 50 m² og er i overensstemmelse med artikkel 7 i EPBD. Det finnes to ordninger for å gjennomføre energimerkingen; for boliger kan boligeierne selv gjennomføre merkingen via en web-basert database, for alle andre bygninger må energimerkingen gjennomføres av kvalifiserte personer. Samtlige energimerker samles i en offentlig web-basert database. Selvmerking av boliger er i strid med EPBD artikkel 10 som krever at sertifiseringen blir gjennomført av uavhengige eksperter. Regjeringen har imidlertid gjennomført store undersøkelser for å utvikle et robust og brukervennlig program med avansert automatisk forslagsgenerator. Et av hovedargumentene for å benytte dette systemet er at det fører til en billig og ubyråkratisk implementering av EPBD og man unngår en umiddelbar flaskehals på grunn av mangel på autorisert energimerkingspersonell. (Schild, 2010)

Regelmessig inspeksjon av kjeler for fossilt brensel samt kjøle- og ventilasjonsanlegg ble utvidet fra å være et frivillig inspeksjonssystem utført av kvalifisert fagpersonell til å bli obligatorisk fra 1. januar 2010. Inspeksjonsrapportene er registrert i den samme web-baserte databasen som energimerkene. Inspeksjonskravene er i overensstemmelse med artikkel 8-9. I Figur 3.3-1 presenteres et eksempel på energimerke av en leilighet.



FIGUR 3.3-1: EKSEMPEL PÅ ENERGIMERKE FOR EN LEILIGHET.

Fra Figur 3.3-1 kan at leiligheten som eksemplet er presentert for har fått energimerket en *Rød D*, det vil si at energibruket ligger under kravet for C som er 135 kWh/m² og at energiforsyningen baserer seg kun på elektrisitet og eller fossillebrensl.

Effekt av implementeringen av EPBD i Norge

Det er vanskelig isolert sett å analysere effekten av implementeringen av EPBD i Norge siden en revisjon av bygningsforskriftene uansett skulle gjennomføres i 2007 uavhengig av om EPBD skulle innføres eller ikke. Uansett er det sett at bygninger oppført etter de nye bygningsforskriftene er ca. 25 % mer energieffektive enn bygninger oppført under tidligere forskrifter. Det er for tidlig å si noe om effektene av energimerking og inspeksjon av tekniske installasjoner. Det er imidlertid antatt at offentlighetens bekymring for klimaendring kan øke som igjen kan føre til reduksjon i energibruk. (Schild, 2010)

I forhold til inneklimategninger er det ingen krav som er endret som en direkte konsekvens av EPBD. Minimumskrav for inneklimategninger har for det meste vært uforandret i Norge siden 1997. (Schild, 2010) For næringsbygg er minstekravet til inneklimategninger tilsvarende klasse II i EN15251 mens for boliger er minstekravet en blanding av klasse II og klasse III, men veilederen til TEK refererer ikke til EN 15251 ennå. (Schild, 2010) (Schild, et al., 2010) Arbeidsmiljøtilsynet publiserer egne krav til inneklimategninger på arbeidsplasser. (Schild, 2010)

3.2.3.1 IMPLEMENTERING I EUROPA

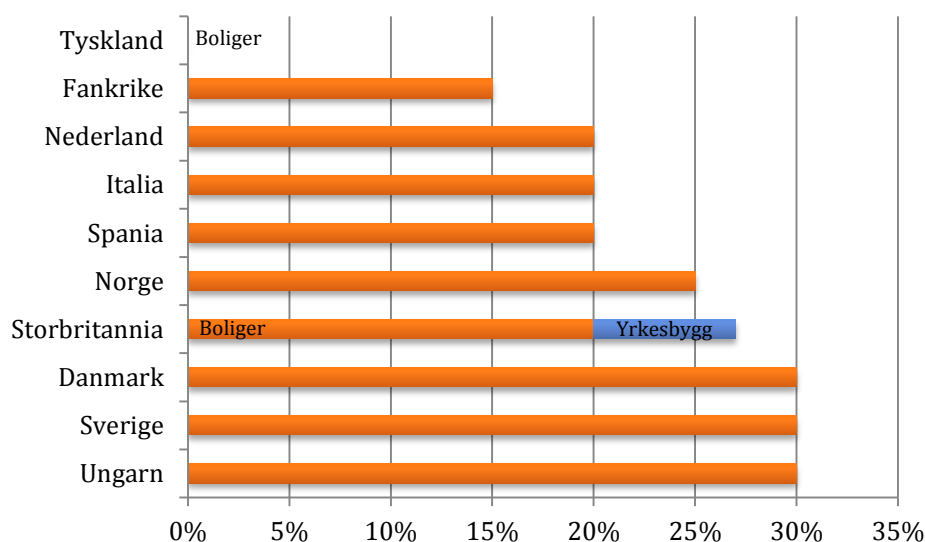
Hoveddelen av medlemslandene i EU hadde energispesifikasjoner integrert i deres nasjonale lovverk eller bygningsforskrifter før implementeringen av EPBD. Flere av disse landene hadde

imidlertid kun krav til begrenset varmetap og minimum ventilasjonsmengder. For disse landene betydde en implementering av EPBD en revisjon av forskriftene slik at det ble satt krav til minimum energiytelse og at energievaluering og sertifisering av bygninger ble integrert i lovgivningen. Forholdsvis mange land, for eksempel Hellas, Italia, Polen, Belgia, Finland, Norge og Spania, introduserte energisertifisering av bygninger for første gang som et resultat av EPBD implementeringen. (Papadopoulos, et al., 2009)

Flere land, for eksempel Nederland, Tyskland, Belgia og Norge, utfører lønnsomhetsanalyser i forbindelse med en innstramning av energikravene. I Tyskland er det nedfelt i loven at det kun skal settes krav til lønnsomme tiltak. (Schild, et al., 2010)

Generelt førte implementeringen av EPBD til at medlemslandene av EU måtte oppdatere metoden for å beregne energiytelse i bygninger for å møte strengere energikrav samt for å innføre energisertifisering. Selv land som allerede hadde både energiytelseskrav og energisertifiseringsordninger, for eksempel Danmark, Frankrike, Tyskland, Nederland og Tsjekkia, måtte oppdatere deres nasjonale beregningsmetoder til å være i tråd med EPBD og CEN standarder. Tyskland utviklet for eksempel en nasjonal beregningsmetode for yrkesbygninger som er forenelig med CEN standarden EN-ISO 13790:2008. (Papadopoulos, et al., 2009)

Selv om EPBD 2002/91/EC ikke satt konkrete krav til innskjerping av forskriftskrav valgte likevel mange land i EU å benytte anledningen til å innføre ca. 15-30 % strengere energikrav, se Figur 3.3-2. Unntakene var for eksempel Tyskland og Polen hvor Tyskland i hvert fall ikke strammet inn energikravene til boliger og Polen faktisk løsnet på kravene til oppvarming (Papadopoulos, et al., 2009). Mange land har begrensninger på spesifikk vifteeffekt, lufttetthet på ventilasjonskanaler og lufttetthet av bygningskroppen samt krav til god varmegjenvinning ved mekanisk ventilasjon for å overholde de innskjerpede forskriftene (Schild, et al., 2010).



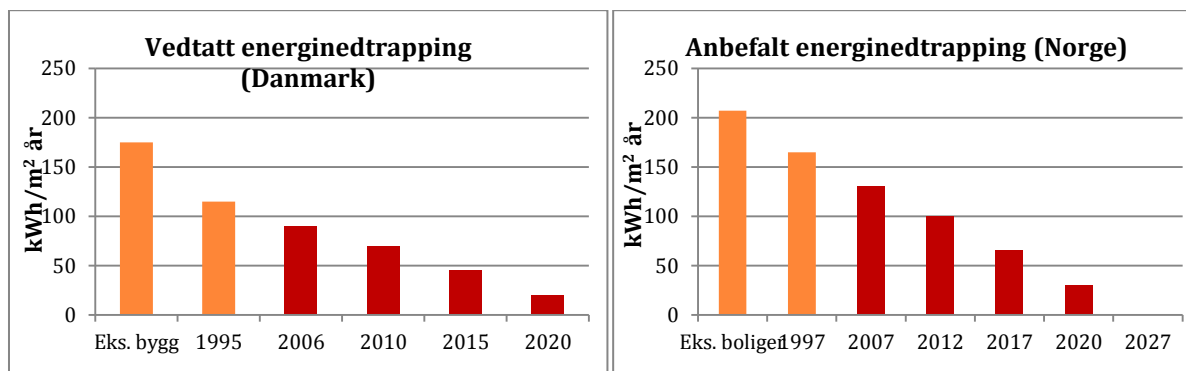
FIGUR 3.3-2: PROSENTVIS INNSTRAMNING AV KRAVENE TIL ENERGIEFFEKTIVITET I BYGG ETTER FØRSTEGANGSIMPLEMENTERING AV EPBD (SCHILD, 2010). TALL FRA 2009.

I likhet med hva vi så i foregående avsnitt i forhold til Norge, er det vanskelig å evaluere hvilken effekt implementeringen av EPBD har hatt når man ser på Europa under ett. I de senere årene

har man sett en klar endring mot mer energieffektive konstruksjoner og bruk av produkter med bedre energiytelse. Det er imidlertid uklart hvor stor andel av denne utviklingen man kan tillegge implementeringen av EPBD siden regional, periodisk, sosial og økonomisk situasjon har vært så mye innflytelse på denne utviklingen. Det er likevel antatt at EPBD kan ha hatt en katalytisk effekt på denne utviklingen. (Papadopoulou, et al., 2009)

3.3.3.1 FREMTIDIG ENERGIPOLITIKK

Artikkel 9 i EPBD-recast krever at medlemslandene skal lage nasjonale planer for å øke antall nesten nullenergibygninger. Disse planene skal være på plass innen 2015 og skal inneholde mellomliggende mål for å bedre energiytelsen i nye bygninger. (European Parliament and The Council of the European Union, 2010) Nedtrappingsplaner for trinnvis innskjerping av forskriftskrav frem til 2020 er på politisk dagsorden i de fleste europeiske land, men det er kun Danmark, Storbritannia, Tyskland og Nederland som har konkrete vedtak per dags dato (Schild, et al., 2010). I Danmark vedtok regjeringen hvilke nivå forskriftskravene skal ligge på i 2010, 2015 og 2020 ut i fra prosentvis nedtrapping av forskriftskravene fra 2005 (Regjeringen, 2009), denne nedtrappingen er illustrert i Figur 3.3-2. I Norge har regjeringen utnevnt en komite av eksperter, Lavenergiutvalget, som skal komme med anbefalinger for nasjonal energireduksjon. Lavenergiutvalget har foreslått forskriftnivåendring fra dagens nivå (TEK07/TEK10) til mulig nullenerginiivå i 2027, se Figur 3.3-2, med denne nedtrappingen vil passivhus være forskriftskrav i Norge allerede i 2017. (Lavenergiutvalget, 2009) I 2010 ble norsk standard for passivhus fastsatt for boliger, NS 3700. En passivhusstandard for yrkesbygg er ved nåværende tidspunkt (jan.2011) under utvikling (Dokka, et al., 2009). Når man ser på Figur 3.3-2 skal man være klar over at energinedtrappingen for Danmark omfatter samtlige bygg, mens energinedtrappingen for Norge kun omfatter nedtrapping for boliger. Figuren illustrerer likevel at begge landene har planer om kraftig innskjerping av myndighetskrav i nærmeste fremtid. I tillegg kan man se at figurene indikerer at innskjerpingen til Danmark er større enn for Norge siden 2020 nivået til Danmark for samtlige bygg ligger lavere enn 2020 nivået til Norge for boliger, og som man husker fra Tabell 3.2-2 er småhus og boligblokker de bygningskategoriene med strengest krav av de totalt 13 bygningskategoriene i TEK10.



FIGUR 3.3-3: TIL VENSTRE ER DEN VEDTATTE ENERGINEDTRAPPINGSPLANEN FOR BYGG I DANMARK ILLUSTRERT (REGERINGEN, 2009) [S.10], TIL HØYRE ER DEN ANBEFALTE NEDTRAPPINGSPLANEN FOR BOLIGER I NORGE FRA LAVENERGIUTVALGET ILLUSTRERT (LAVENERGIUTVALGET, 2009). FOR BEGGE DIAGRAMMENE MARKERER DE RØDE SØYLENE INNSTRAMNINGER I BYGNINGSFORSKRIFTER ETTER FØRSTEGANGSIMPLEMENTERING AV EPBD

I det overstående er det forklart mye om implementeringen av EPBD i forhold til nye bygg. Størstedelen av den eksisterende bygningsmassen er imidlertid gamle bygg og det er i den sammenheng viktig å huske artikkel 7 i EPBD recast som setter krav til at hoved rehabilitering av bygninger over 1000 m² skal oppfylle minstekrav til energiytelse. Kravet gjelder bygning som helhet eller på komponentnivå. Dette er et vell så viktig element i EPBD som innskjerping av nye bygningskrav siden det er stor sannsynlighet at store deler av den eksisterende bygningsmassen vil gjennomgå en hovedrehabilitering i løpet av de neste tiårene som vil bli omfattet av dette kravet og dermed vil energiytelsesevnen til store deler av gamle bygg bli betraktelig forbedret.

DEL 2

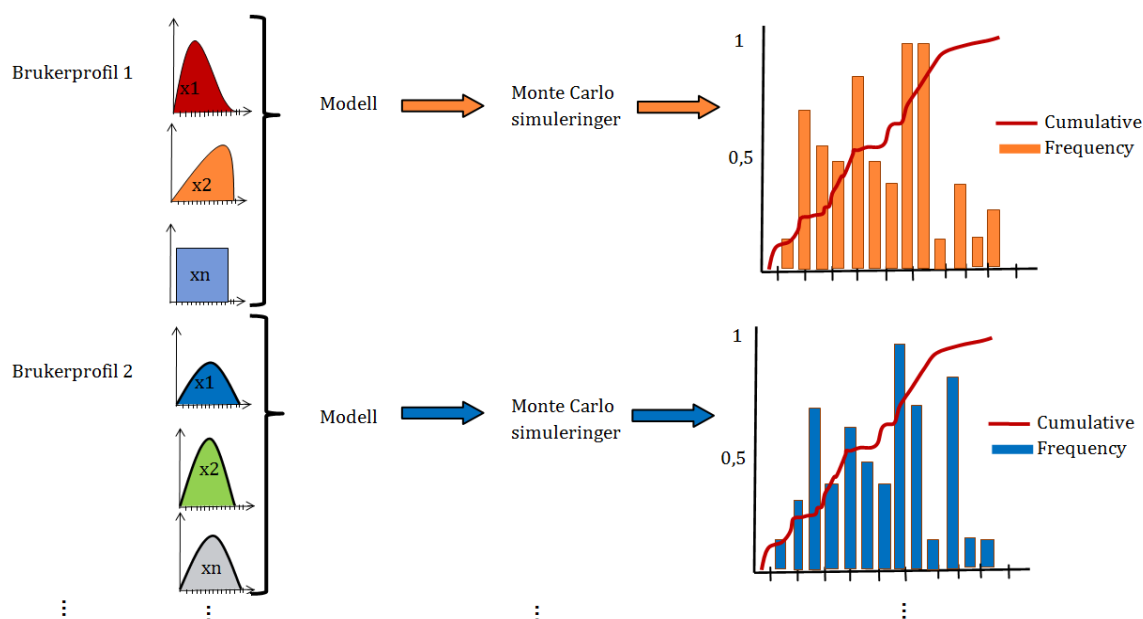
Denne delen inneholder prosjektets svar på problemanalysen.

KAPITTEL 4 – BESKRIVELSE AV KONSEPTET

Dette kapittelet gir en kort innføring i tanker bak konseptet som skal utvikles i dette prosjektet og noe av teorien som ligger til grunn. Kapittelet avsluttes med hvordan konseptet kan gjennomføres i praksis ved å utvikle et regneverktøy som kan benyttes av norske rådgivende ingeniører.

4.1. TANKER BAK KONSEPTET

Som nevnt i problemformuleringen på s. 16 i Kapittel 1 er et av formålene med dette prosjektet å utvikle et brukervennlig energiberegningsverktøy som i størst mulig grad tar virkelig brukeratferd i betraktning. Verktøyet skal være kompatibelt med det norske energi- og inneklimasimuleringsprogrammet SIMIEN siden Kapittel 2 viste at dette er et mye benyttet program blant norske rådgivende ingeniører innenfor energi og inneklima. Verktøyet skal dermed kalles *AMSiS (Automatisering av Multiple simuleringer i SIMIEN)*. Tankene er at verktøyet skal basere seg på en kombinasjon av stokastisk og deterministisk modellering. Viktige sensitive parametere relatert til brukeratferd vil modelleres som stokastiske variabler mens bygningsfysiske og tekniske parametere samt insensitive parametere relatert til brukeratferd vil modelleres som deterministiske parametere. I tillegg er tanken at det kan integreres ulike brukerprofiler inn i verktøyet. Kapittel 1 illustrerte at sosiologiske og økonomiske faktorer kan påvirke brukeratferden til en husholdning og energibruket til husholdningen. Det ansees derfor som fornuftig å lage ulike brukerprofiler ut i fra sosiologiske og økonomiske faktorer som kan representere ulike husholdnings-sammensetninger slik at beregnet energibehov og inneklima for en gitt husholdning kan bli mer nøyaktig enn om man beregner energibehovet ut i fra en total populasjon hvor alle typer husholdningssammensetninger er inkludert. Dannelse av brukerprofiler krever imidlertid et stort dataunderlag og det kan derfor være nødvendig kun å beskrive dette på konseptnivå. Figur 4.1-1 illustrerer hvordan man kan tenke seg at beregningsverktøyet skal operere for å ta høyde for virkelig brukeratferd hvor fordelingene representerer brukerrelaterte faktorer.



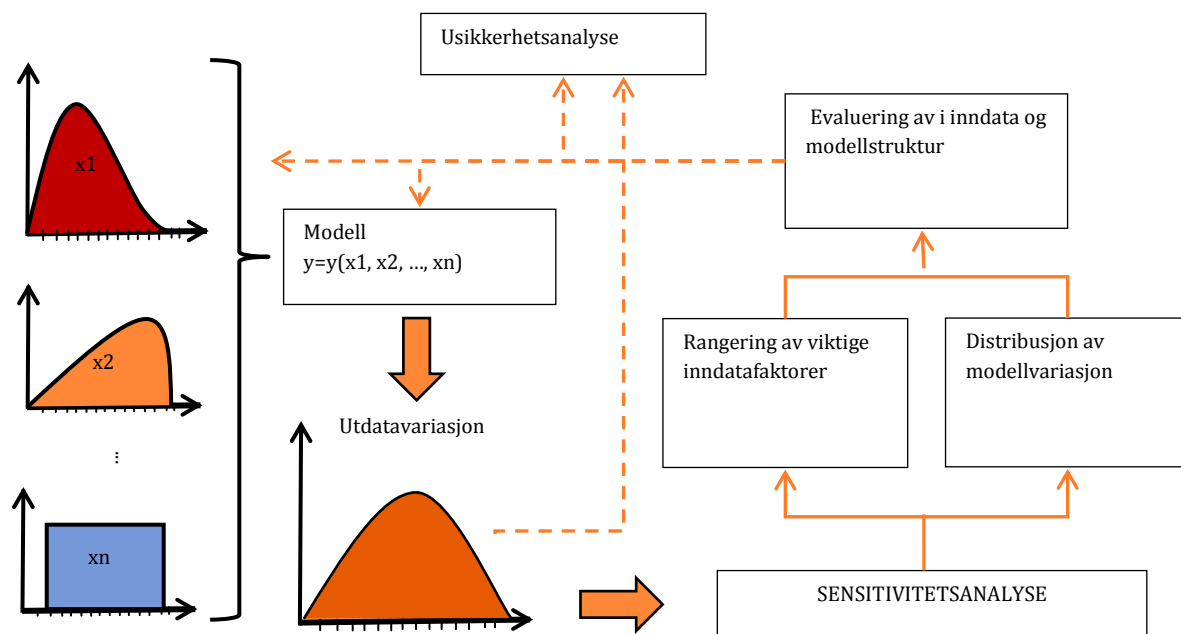
FIGUR 4.1-1: ILLUSTRASJON OM HVORDAN MAN KAN TENKE SEG AT VERKTØYET TAR HØYDE FOR VIRKELIG BRUKERATFERD OG RESULTERER I KUMULATIVE KURVER.

I det følgende gis det en kort innføring i hva stokastisk modellering innebærer og en beskrivelse av hvordan det i dette prosjektet er valgt å gå frem for å identifisere hvilke brukeravhengige faktorer som er viktige og sensitive og dermed skal modelleres som stokastiske variabler og hvilke som er insensitive og dermed kan modelleres som deterministiske faktorer og videre hvordan man kan kvantifisere usikkerheten som kan tillegges de sensitive inndatafaktorene. Vurderinger på hvordan man kan gå frem for å danne brukerprofiler vil bli beskrevet i Kapittel 8.

4.2. STOKASTISK MODELLERING

Stokastisk modellering er en teknikk for å presentere data eller forutsi utfall som tar hensyn til en viss grad av tilfeldighet eller uforutsigbarhet. En stokastisk modell integrerer tilfeldig variasjon for å forutsi fremtidige forhold og dersom man benytter et simuleringsprogram kan modellen bli kjørt hundrevis eller tusenvis av ganger for å gi en stor samling av data som kan uttrykke hvilke utfall som er mest sannsynlige. (EPA, 2009)

Matematiske modeller er ofte komplekse og inneholder et stort antall inndatafaktorer. Et av formålene med en modellering er å identifisere de viktigste faktorene blant det store antallet av inndatafaktorer slik at modellen for eksempel kan forenkles ved å eliminere faktorer som viser seg å være irrelevante eller at man velger å studere de viktige faktorene mer grundig for å forbedre estimeringen av faktoren slik at man øker nøyaktigheten av modellforutsigelsene. (Saltelli, et al., 2004)[s.91] Bestemmelse av viktige faktorer som bidrar til mest variasjon i utdata gjøres ved hjelp av sensitivitetsanalyse. Kombinasjon av sensitivitetsanalyse og usikkerhetsanalyse tillater brukerne av modellen å være informert om hvilken tillit de kan legge i utdataresultatet. Fremgangsmåten for å gjennomføre stokastisk modellering med sensitivitets- og usikkerhetsanalyse er illustrert i Figur 4.2-1.



FIGUR 4.2-1: FREMGANGSMÅTE FOR STOKASTISK MODELLERING MED SENSITIVITETSANALYSE OG USIKKERHETSANALYSE.

4.2.1 SENSITIVITETSANALYSE

Sensitivitet refererer generelt til variasjoner av utdata i en matematisk modell med hensyn til endringer i modellens inndata (EPA, 2009). Hamby (1994) forklarer at en viktig faktor alltid er sensitiv siden variasjoner ikke vil opptre i utdata dersom modellen ikke er sensitiv til inndata. En sensitiv faktor er i midlertid ikke nødvendigvis viktig siden man kan vite verdien av faktoren nøyaktig og faktoren dermed har lite variasjon å tilføye utdataene.

Sensitivitetsanalyse (SA) undersøker effekten av endringer i inndataverdier på utdataverdier og formålet med en sensitivitetsanalyse er å avdekke viktige sensitive faktorer. SA viser hvordan usikkerhet i en modells utdata systematisk kan bli porsjonert kvalitativt eller kvantitativt til ulike kilder av usikkerhet i modellens inndata. For å velge passende sensitivitetsanalyse må man ofte gjøre et kompromiss mellom mengde informasjon man ønsker av analysen og vanskelighetsgraden til beregningene av analysen. (EPA, 2009)[s. 70-71] Årsaken til at det må tas et kompromiss kan være av tidsmessige eller beregningsøkonomiske grunner, men ofte kan det også være på grunn av mangel på data.

Det finnes mange ulike sensitivitetsanalyseteknikker og bruk av ulike teknikker kan generere en anelse ulik sensitivitetsrangering av inndatafaktorene. Den faktiske rangeringen er ikke like viktig som spesifiseringen av hvilke faktorer som er øverst og nederst på rangeringen. (Hamby, 1994) SA teknikker kan bli kategorisert på ulike måter, men basert på faktorområdet av interesse kan SA teknikkene deles i to hovedgrupper: lokal SA og global SA (Yang, 2011). Lokale sensitivitetsteknikker er ofte derivatbaserte og hører til gruppen av one-faktor-at-a-time (OAT) metoder hvor en faktor blir endret av gangen mens alle de andre faktorene holdes konstant og effekten av den endrede faktoren blir evaluert. Lokale sensitivitetsteknikker er beregningsmessig enkle, men kan dessverre føre til feiltolkning i forhold til ikke-lineære modeller (Yang, 2011) eller i modeller som inneholder faktorer med globale egenskaper. Mange

globale sensitivitetsteknikker er Monte Carlo baserte (Yang, 2011). I en Monte Carlo simulering blir én modell kjørt gjentakende ganger slik at man kan estimere innflytelsen av inndatausikkerheten på utdata. For hver modellkjøring blir forskjellige inndataverdier valgt vilkårlig eller ved hjelp av diverse stikkprøvemetoder fra sannsynlighetsdistribusjonsfunksjonene for hver inndata. Denne metoden fører til at det blir generert mange forskjellige utdataverdier. Hver utdataverdi er deterministisk, men settet av utdataverdier kan bli presentert som en kumulativdistribusjonsfunksjon og oppsummert ved hjelp av statistiske mål. (EPA, 2009) Mer detaljert beskrivelse av Monte Carlo analyse og utvalgsmetodene er beskrevet i Vedlegg E.

Ved en modellering bør man i første omgang benytte forholdsvis enkle SA teknikker, screening, for å identifisere inndata som genererer mest sensitivitet og som er viktige. Deretter kan man benytte mer avanserte metoder for å analysere disse inndatafaktorene mer dyptgående. (EPA, 2009)[s.71]

4.1.2.1 SCREENING

Screeningmetoder er forholdsvis enkle metoder som ofte fremskaffer kun kvalitative sensitivitetsmål, dvs. at den kan rangere inndatafaktorene i forhold til hvor viktige de er, men gir ingen kvantitative mål på hvor mye viktigere én faktor er i forhold til en annen (Saltelli, et al., 2004)[s.92].

Formålet med en screeninganalyse er ofte å identifisere inndatafaktorene som man kan gi en fast verdi innenfor deres intervall for usikkerhet uten at det reduserer utdatavariasjonen vesentlig og dermed uten at man mister viktig informasjon i modellen. (Saltelli, et al., 2004) [s.54] Screening analyser fungerer best når antallet av viktige faktorer er få i forhold til det totale antallet av inndatafaktorer (Saltelli, et al., 2004) [s.92]. Screening brukes likevel mest som en enkel metode for å identifisere sensitive og viktige faktorer når antallet inndatafaktorer er relativt stort. Vedlegg E gir en innføring i ulike screeningmetoder. I dette prosjektet er det valgt å benytte Elementarmetoden til screening av brukeravhengige faktorer.

Elementareffektmetoden

Elementareffektmetoden som opprinnelig ble foreslått av Morris (1991) er en Monte Carlo basert sensitivitetstype metode som kan benyttes til screeningformål. Prinsippet med Elementareffektmetoden er å bestemme hvilke faktorer som kan bli ansett å ha effekter som er (a) ubetydelig, (b)lineære og additive eller (c) ikke-lineære eller involvert i samspill med andre faktorer. Elementareffektmetoden endrer en faktor om gangen og evaluerer effekten av hver faktor etter tur og er dermed en OAT-metode (Saltelli, et al., 2004). De fleste OAT-metoder gir som nevnt tidligere et mål på lokal sensitivitet, Elementareffektmetoden er derimot en global sensitivitets analyse metode siden den innebærer å beregne et antall lokale mål for forskjellige punkter i inndataområdet, for deretter å ta gjennomsnittet av disse målene (EPA, 2009).

Morris beskrev to sensitivitetsmål for hver inndatafaktor; μ og σ som er henholdsvis gjennomsnittet og standardavviket av beregnede elementareffekter til den respektive faktoren. En stor verdi av μ indikerer at inndatafaktoren har en stor total innflytelse på utdata. En stor verdi av σ indikerer at det er en faktor som er i samspill med andre faktorer eller at faktoren har effekter som er ikke-lineære. Morris foreslår en grafisk presentasjon av resultatene for å tolke de to sensitivitetsmålene μ og σ på samme tid. De plottede verdiene kan da i tillegg bli undersøkt i forhold til hverandre for å gi en indikasjon på hvilke inndatafaktorer som er viktigst.

Campolongo et al. (2007) har foreslått et tredje sensitivitetsmål μ^* som er et estimat av gjennomsnittet for distribusjonen for *absoluttverdiene* av elementareffekter, G_i . I følge Campolongo et al. er μ^* bedre egnet til rangering av inndatafaktorer i forhold til deres viktighet enn Morris sin μ siden dette kan være middelveien av elementareffekter med både positivt og negativt fortegn dersom modellen ikke er monoton og dette kan føre til at effekter kan eliminere hverandre. I slike tilfeller kan en viktig faktor feilaktig bli ansett som neglisjerbar. (Campolongo, et al., 2007) I en sensitivitetsanalyse er det derfor fornuftig hovedsakelig å benytte sensitivitetsmålene μ^* og σ dersom målet er å rangere faktorene i forhold til deres viktighet. Uten ekstra beregningskostnad får man også μ som kan gi tilleggsinformasjon om inndatafaktoren har positiv eller negativ effekt på utdata. Dersom både μ^* og μ er store indikerer det at fortegnet til effektene alltid er det samme. Dersom μ i midlertid er lav og μ^* er stor indikerer det at inndatafaktoren har både positive og negative effekter på utdata avhengig av hvor i inndatarommet effekten er beregnet. (Saltelli, et al., 2004)[s.96]

Saltelli et al. (2004) mener at Elementareffekt metoden er en screeningmetode som er godt egnet for flere problemstillinger. Den største fordelen med Elementareffekt metoden er at den er forholdsvis enkel og effektiv beregningsmessig og trenger få modellutførelser i tillegg til at den er modelluavhengig. Antall modellutførelser er en lineær funksjon av antall inndata faktorer involvert. For mer utfyllende informasjon om Elementareffekt metoden, se Vedlegg F.

4.2.2.1 KVANTITATIV SENSITIVITETSANALYSE

Et kvantitativt estimat av korrelasjon kan bestemmes ved å beregne en korrelasjonskoeffisient for faktorverdiene av inndata med hensyn på utdata. Man kan benytte korrelasjonskoeffisienter utledet fra Monte Carlo simuleringer til å rangere inndatafaktorer med hensyn til deres bidrag til usikkerhet. En mye benyttet og enkel lineær korrelasjonskoeffisient er Pearson's correlation coefficient, r (PEAR), og et mye benyttet ikke-parametrisk mål er Spearman rank-order correlation coefficient (Saltelli, et al., 2004). Når dataene ikke er lineære er ikke-parametrisk korrelasjon generelt ansett for å være mest robust enn lineær korrelasjon. I dette prosjektet er det valgt å benytte både Pearson's correlation coefficient og Spearman rank-order correlation coefficient siden dette er enkle kvantitative mål for henholdsvis lineære og ikke-lineære modeller. Latin Hypercube er benyttet som samplingmetode for Monte Carlo simuleringene siden det ved hjelp av denne metoden oppnås det en god dekning av hele variasjonsområdet for de forskjellige inndatafaktorene uavhengig av hvilke faktorer som viser seg å være innflytelsesrike.

Latin Hypercube

Dersom en modell inneholder mange inndatavariabler kan det være svært beregningsmessig kostbart å utføre en Monte Carlo analyse. En fremgangsmåte som kan benyttes for å redusere dette problemet er å strukturere utvelgelsen av punkter fra inndatavariablene ved hjelp av *Latin Hypercube sampling* (LHS). Verdien av Monte Carlo simuleringer ligger ikke i vilkårlig utvelgelse av inndataverdier, men i å oppnå representative egenskaper for sett av punkter i inndatarommet. (EPA, 2009) LHS fører til en systematisk utvelgelse av punkter ved at inndatadistribusjonene blir delt i stratum med samme sannsynlighet og utvalget av punkter blir valgt fra hvert stratum i stedet for å ta utvalg fra hele inndatarommet. (EPA, 2009) (Helton, 1993)

Pearson's r

Pearson's produkt moment korrelasjonskoeffisient, r , er et mål på korrelasjon mellom to variabler X og Y , for eksempel en inndatafaktor og utdata. Desto høyere absoluttverdien av r er desto sterkere lineært forhold er det mellom de to variablene. En negativ verdi av r indikerer en invers relasjon mellom X og Y (Hamby, 1994). En stor svakhet ved å benytte korrelasjonskoeffisienten r for sensitivitetsrangering er at man må anta et lineært forhold mellom inndata og utdata. I tillegg kreves det mange simuleringer for å evaluere korrelasjonskoeffisienten.

Spearman's koeffisient

Spearman's koeffisient (SPEA) er et mål for korrelasjon i ikke-lineære modeller. SPEA beregnes i prinsippet på samme måte som r , men den bruker rangering av både Y og X_j i stedet for rådata (European Commissoin - IPSC, 2008). Rangeringstransformasjon transformerer rådata til rangeringsverdier og dette har vist seg å fungere bra hvis den avhengige variabelen er en ensformig funksjon av de uavhengige variablene. Rangeringstransformasjon lineæriserer ensformige ikke-lineære relasjoner mellom variablene og reduserer effekten av ekstremverdier (Hamby, 1994).

4.3.2.1 PARTIELL KORRELASJONSKOEFFISIENT (PCC)

PCC brukes for å beskrive en inndatafaktors viktighet og kan benyttes når en betrakter mer enn en inndatafaktor hvor en ønsker å gi et mål på det lineære forholdet mellom utdatavariabelen Y og den individuelle inndatavariabelen X_j . Den partielle korrelasjonen mellom utdatavariabelen Y og inndatavariabelen X_j er oppnådd ved å bruke deler av regressionsmodeller. PCC gir deretter styrken av korrelasjonen mellom utdataen Y og en gitt inndatafaktor X_j etter en justering for effekten som skyldes korrelasjon mellom X_j og andre inndatafaktorer.

4.4.2.1 PARTIELL RANGERINGSKORRELASJONSKOEFFISIENT (PRCC)

PRCC er den rangeringstransformerte PCC som benyttes for å unngå problemer som kan oppstå når forholdet mellom inndatafaktorer ikke er lineært. Rangeringstransformasjon er en prosedyre hvor man erstatter data med deres respektive rangering, for eksempel rangeringen 1 til minste observasjonen og opptil N for største observasjon. PRCC fungerer godt når utdata fra modellen varierer lineært eller ensformig med hver selvstendige inndatafaktor. Varierer derimot utdataen ikke ensformig vil ikke PRCC gi tilfredsstillende resultater.

4.3. UTFØRELSE AV STOKASTISK MODELLERING FOR BRUKERAVHENGIGE FAKTORER

Sansynlighetsfordelinger for brukerrelaterte inndatafaktorer vil dannes på grunnlag av målinger som finnes i litteraturen. For å utføre den stokastiske modelleringen er det i dette prosjektet valgt å benytte databehandlingsprogrammet SimLab til å generere sampler av brukerrelaterte inndatafaktorer og til å utføre sensitivitets- og usikkerhetsanalyser av modellresultater. Modellen som skal evalueres kjøres i SIMIEN. Verktøyet som skal utvikles i dette prosjektet har vi valgt å kalle AMSiS som står for *Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN* og dette verktøyet skal sørge for at Monte Carlo simuleringer kjøres automatisk i SIMIEN ved hjelp av kun et tastetrykk. I det følgende gis det en kort innføring i SimLab og SIMIEN, mer detaljert

informasjon om programmene kan finnes i henholdsvis Vedlegg H og Vedlegg G. Avsnittet avsluttes med noen tanker om hvordan AMSiS skal utvikles.

4.3.1 SIMLAB

Simlab er et dataverktøy som benyttes for å lære, bruke og utnytte teknikker for global usikkerhets- og sensitivitetsanalyse basert på Monte Carlo simuleringer. Fremgangsmåten går ut på først å bestemme en sannsynlighetsfordeling og en variasjonsbredde for hver inndatafaktor. I SimLab er det mulig å legge inn åtte ulike typer fordelinger og det velges den som passer best for hver inndatafaktor. Deretter velges et ønsket antall simuleringer og en metode for å velge ut verdier fra sannsynlighetsfordelingene til en samplefil som benyttes som inndata til den modellen som skal evalueres. Samplemetoden man benytter er avgjørende for hvilken sensitivitetsanalyse man kan utføre senere. Algoritmen i SimLab til generering av samplene er basert på en såkalt "seed-verdi". Utvelgelsen av verdiene blir generert ved en hjelp av en iterativ funksjon basert på et brukerbestemt utgangspunkt. "Seed-verdien" er den primære verdi for denne prosedyre, hvor det anbefales å anvende store verdier (>7 sifre) for "seed-verdien". Størrelsen av sampelen må være på 1,5 gange antallet av inndata faktorer som benyttes, men det anbefales at størrelsen på samplen minst er 10 gange antallet av variable, for at sikre at samplen dekker hele variasjonsområdet for inndatafaktoren. (European Commission - IPSC, 2008) Det oppnås imidlertid stabile resultater etter 50-200 simuleringer (Saltelli, et al., 2004). Det skal i tillegg nevnes at SimLab anvender en spesiell form av latin hypercube, hvor det er mulig at korrelere inndatadataene, ellers er hovedregelen at inndatafaktorene i metoden skal være uavhengige av hverandre (European Commission - IPSC, 2008) (Helton, 1993).

Etter at multiple modellgjennomkjøringer er utført med ulike inndata for hver gjennomkjøring basert på samplefilen kan man danne en resultatfil i tekstformat som kan importeres til SimLab igjen. Utdataen danner da grunnlag for usikkerhets- og sensitivitetsanalysen. Utfyllende informasjon om SimLab presenteres i Vedlegg H.

4.3.2 SIMIEN

SIMIEN er et dataverktøy som utfører simuleringer av energi- og inneklimatilstanden til en bygningsmodell. SIMIEN bygger på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS 3031 og brukes til beregning av bygningers energibehov, validering av inn klima, evaluering mot tekniske forskrifter, energimerking, og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling (Standard Norge, 2007) (ProgramByggerne). I SIMIEN er det muligheter for å kjøre seks ulike simuleringer avhengig av behov; Årssimulering, dimensjonerende sommer- og vinterforhold, energimerking, evaluering mot byggeforskrifter og evaluering mot passivhuskriterier.

Bygningsmodellen bygges opp ved først å definere bygningstype, klimasted og energikilder. Deretter bygges modellen opp ved å inndele bygningen i soner, som for eksempel kan være en rom eller en del av bygningen. For hver sone beskrives bygningskroppen (vegger, tak, gulv, vinduer og dører), klimaanlegg, internlast (belysning, utstyr, personer) osv., med deres respektive inndataverdier. Deretter velges type simulering, for eksempel årssimulering som blant annet beregner bygningsmodellens energibehov.

SIMIEN er validert etter valideringsprosedyren beskrevet i NS-EN 15625:2007, som er en standardmetode for vurdering av nøyaktigheten til simuleringsprogrammer som beregner energibehovet til bygninger. En mer utfyllende beskrivelse av SIMIEN finnes i Vedlegg G.

4.3.3 AMSiS

AMSiS vil være et Microsoft Excel basert verktøy som ved hjelp av makroer i Visual Basic automatisk kjører mange simuleringer i SIMIEN med ulike inndata for brukerrelaterte inndatafaktorer ut i fra samplene som er dannet i SimLab. AMSiS vil i tillegg samle og behandle energi- og inneklimaresultatene fra SIMIEN og presentere de på en oversiktlig måte samt generere en tekstfil med resultatene som kan importeres til SimLab slik at man kan gjennomføre sensitivitets og usikkerhetsanalyser. Som nevnt tidligere er formålet med AMSiS at det skal kunne benyttes av norske rådgivende ingeniører innenfor energi- og inneklima og verktøyet skal derfor ha en enkel interface som gjør programmet brukervennlig. En mer detaljert beskrivelse av AMSiS vil bli gitt senere i denne prosjektrapporten.

KAPITTEL 5 - BESKRIVELSE AV STANDARD BYGNINGSMODELLER

I dette kapittelet beskrives to bygningsmodeller som i det videre benyttes til å illustrere hvordan brukeratferd kan implementeres i energiberegninger i SIMIEN.

Bygningsmodellene, en for småhus og en for blokkleiligheter, er utviklet av Sintef Byggforsk for å illustrere hvordan bygninger innenfor disse bygningskategoriene kan designes for å oppfylle norske forskriftskrav til energibruk. I Vedlegg I presenteres en gjennomgang av simuleringsresultater fra disse modellene når det benyttes standardverdier for brukerrelaterte inndatafaktorer for å se hvordan energibehovet er fordelt mellom ulike energiposter samt for å se hvordan termisk inneklima er i disse modellene.

5.1. BESKRIVELSE AV MODELLENE

Bygningsmodellene er begge utviklet av Sintef Byggforsk, Norges største private forskningsinstans. Modellene er bygget opp etter de energikrav som settes i Forskrift om krav til byggverk (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010).

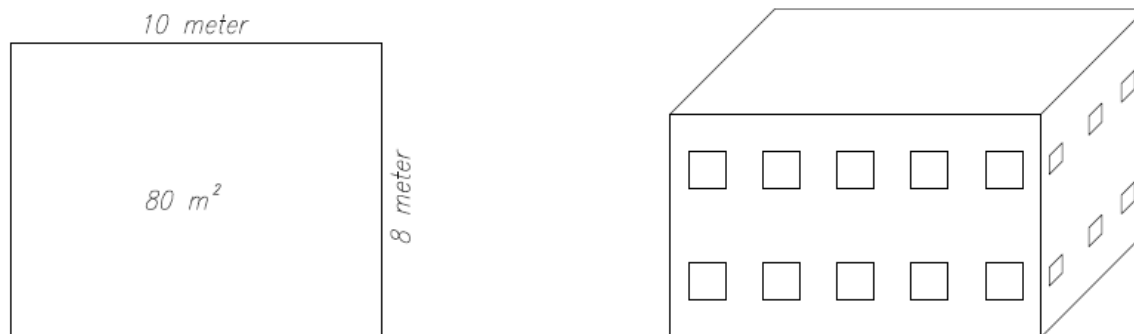
Utdrag fra Forskrift om krav til byggverk med de viktigste energikravene for boliger § 14-3, § 14-4, § 14-5 og § 14-7, samt de standardverdier som benyttes når en evaluerer en bolig mot forskriftskravene presenteres i Vedlegg D.

5.1.1 MODELL FOR SMÅHUS

Bygningsmodellen som benyttes beskriver en enebolig bygget i treverk, med to fulle etasjer på 80 m² som gir et oppvarmet bruksareal på 160 m² og med kaldt loft. Boligens etasjeskiller er har en effektiv varmekapasitet på 5 Wh/m²K og den innvendige romhøyden er på 2,75 m som gir et oppvarmet luftvolum 440 m³.

Modellen simuleres som en sone som befinner seg i Oslo klima. Oslo klima har blant annet en årsmiddeltemperatur på 6,3°C, årsmiddel vindhastighet på 2,2 m/s, årsmiddel relativ fuktighet på 72,8 % og en midlere horisontal solflux på 110,0W/m². Modellene har kun elektrisk energiforsyning. Det betyr at energi til varme og oppvarming av tappevann også baserer seg på elektrisitet.

Vindus og dørarealet tilsvarer nøyaktig 20 % av oppvarmet bruksareal. Vegger, gulv og tak har U-verdier i henhold til energitiltakene i TEK10 § 14-3. Lufttetthet og normalisert kuldebroverdi er også satt lik energitiltakene i TEK10 § 14-3. Boligen har 10 vinduer i nord- og sørfasaden og 6 vinduer i øst- og vestfasaden. Alle vinduene har en kvadratisk geometri på 1 m². Det er ikke lagt inn noen dører i modellen da det er forenklet slik at dette arealet inngår i vindusarealet. Dører har, etter energitiltakene i § 14-3 i TEK 10, samme U-verdikrav som vinduer. En illustrasjon av bygning fremkommer av Figur 5.1-1.



FIGUR 5.1-1:VISUALISERING AV BYGNINGSMODELLEN FOR SMÅHUS SETT FRA SØR OG PLANTEGNING OVER SONEN.

Som en ser av Figur 5.1-1 er modellen bygget opp som en kvadratisk boks. Sentrale inndata for bygningsmodellen er oppsummert i Tabell 5.1-1.

TABELL 5.1-1:OPPSUMMERING AV SENTRALE INNDATA FOR SMÅHUSMODELLEN.

Størrelser		Inndata
Arealer [m ²]	Yttervegger	160
	Tak	90
	Gulv	80
	Vinduer, dører og glassfelt	32
Oppvarmet bruksareal (BRA) (A_n) [m ²]		160
Oppvarmet luftvolum (V) [m ³]		440
Varmegjennomgangskoeffisient for bygningsdeler [W/m ² K] (U-verdi)	Yttervegger	0,18
	Tak	0,13
	Gulv	0,15
	Vinduer, dører og glassfelt	1,20
Areal for vinduer, dører og glassfelt i forhold til oppvarmet bruksareal (%)		20,0
Normalisert kuldebroverdi (ψ') [W/m ² K]		0,03
Lekkasjetall (n_{50}) [h ⁻¹]		2,50
Årsgjennomsnittlig virkningsgrad (η) for varmegjenvinner [%]		70,0 %
Gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde (V) i driftstiden [m ³ /(h·m ²)]		1,2
Ventilasjonsluftmengde (V) utenfor driftstiden[m ³ /(h·m ²)]		1,2
Tilluftstemperatur i driftstiden vinter/sommer [°C]		18/18
Spesifikk pumpeeffekt (SPP) [kW/m ³ /s]		0,00
Spesifikt effektbehov til belysning i driftstiden		2,0
Spesifikt effektbehov til utstyr i driftstiden [W/m ²]		4,0
Total solfaktor (g_i) for vinduer		0,52
Total solfaktor (g_i) for vinduer og glassfelt sammen med solskjerming		0,13
Avskjermingsfaktor for horisont, bygninger vegetasjon for ulike orienteringer		0,52

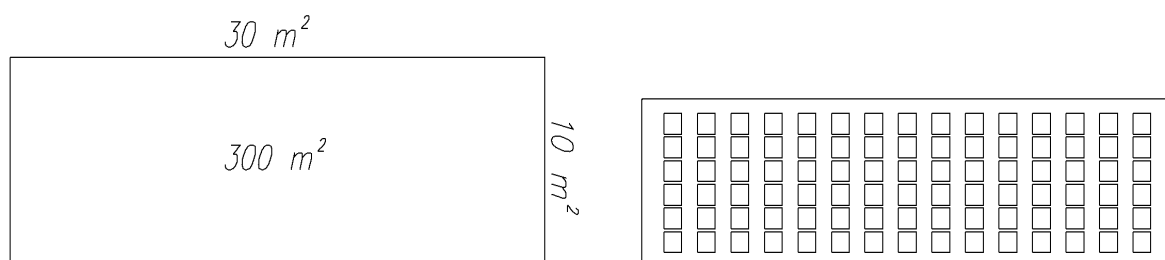
I Vedlegg I kan en se at bygningsmodellen tilfredsstiller byggeforskriftens energikrav, selv om modellen ikke oppfyller energirammen. Dette er fordi energirammen ikke trenger å være oppfylt så lenge energiltakspakken og minstekravene er innenfor kravene i TEK.

I Vedlegg I er det også gjort en evaluering av den termiske komforten i småhusmodellen. Den viser at innendørstemperaturen vil overskride $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 869 timer i driftstid, noe som er altfor høyt og indikerer at det termiske inneklima ikke er akseptabelt, samt at TEK10 § 13-4 som setter krav til timer med temperaturer over $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ikke er oppfylt. Dette er å anse som en svakhet for småhusmodellen.

5.1.2 MODELL FOR BOLIGBLOKK

Bygningsmodellen for boligblokk beskriver tre fulle etasjer på 300 m^2 som gir et oppvarmet bruksareal på til sammen 900 m^2 . Boligens etasjeskiller er antatt å ha en effektiv varmekapasitet på $10\text{ Wh/m}^2\text{K}$ og den innvendige romhøyden er på $2,28\text{ m}$ som gir et oppvarmet luftvolum 2052 m^3 .

Likt som for modellen på småhus, simuleres boligblokken som en sone som befinner seg i Oslo klima. Modellen har kun elektrisk energiforsyning. Vindus og dørarealet tilsvarer nøyaktig 20 % av oppvarmet BRA. Vegger, gulv og tak har U-verdier i henhold til energiltakene i TEK10 § 14-3. Det samme gjelder for lufttetthet og normalisert kuldebroverdi. Boligblokken har 90 vinduer i nord- og sørfasaden, mens øst- og vestfasaden er uten vinduer. Nord og sørfasaden har et utvendig areal på 239 m^2 , mens øst- og vestfasaden har et utvendig areal på 80 m^2 . Alle vinduene er like som for småhusmodellen. En illustrasjon av bygning fremkommer av Figur 5.1-2.



FIGUR 5.1-2: BYGNINGSMODELLEN FOR BOLIGBLOKKEN SETT FRA SØR OG PLANTEGNING OVER SONEN.

Sentrale inndata for bygningsmodellen er oppsummert i TABELL 5.1-2.

TABELL 5.1-2: OPPSUMMERING AV SENTRALE INNDATA FOR BOLIGBOLIGBLOKKMODELLEN.

Størrelser		Inndata
Arealer [m ²]	Yttervegger	458
	Tak	300
	Gulv	300
	Vinduer, dører og glassfelt	180
Oppvarmet bruksareal (BRA) (A_n) [m ²]		900
Oppvarmet luftvolum (V) [m ³]		440
Varmegjennomgangskoeffisient for bygningsdeler [W/m ² K] (U-verdi)	Yttervegger	0,18
	Tak	0,13
	Gulv	0,15
	Vinduer, dører og glassfelt	1,20
Areal for vinduer, dører og glassfelt i forhold til oppvarmet bruksareal (%)		20,0
Normalisert kuldebroverdi (ψ') [W/m ² K]		0,03
Lekkasjetall (n_{50}) [h ⁻¹]		2,50
Årsgjennomsnittlig virkningsgrad (η) for varmegjenvinner [%]		70,0
Gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde (V) i driftstiden [m ³ /(hm ²)]		1,5
Ventilasjonsluftmengde (V) utenfor driftstiden [m ³ /(hm ²)]		1,5
Tilluftstemperatur i driftstiden vinter/sommer [°C]		18/18
Årsgjennomsnittlig systemeffektfaktor for oppvarmingssystemet [-]		165,0
Spesifikt effektbehov til belysning i driftstiden		2,0
Spesifikt effektbehov til utstyr i driftstiden [W/m ²]		4,0
Total solfaktor (g_t) for vinduer		0,35
Total solfaktor (g_t) for vinduer og glassfelt sammen med solskjerming		0,35
Avskjermingsfaktor for horisont, bygninger vegetasjon for ulike orienteringer		0,70

I Vedlegg I kan en se at blokkmodellen tilfredsstiller de krav som stilles i § 14-3, § 14-4, § 14-5 og § 14-7 og dermed tilfredsstiller byggeforskriftens energikrav. Den operative temperaturen i boligblokken er over 26 °C i større perioder av året. Beregninger viser at temperaturen i boligblokken overskrider 26 °C og 27 °C henholdsvis 1434 timer og 911 timer i driftstiden. Dette må regnes som en stor svakhet ved modellen.

KAPITTEL 6 - SCREENINGANALYSE AV BRUKERRELATERT INNDATA I SIMIEN

I dette kapittelet vurderes samtlige av de brukerrelaterte faktorene som kan benyttes som inndata i SIMIEN som stokastiske variabler, dette utgjør totalt 20 variabler. Kapittelet begynner med en kortfattet redegjørelse for hvordan sannsynlighetsfordelinger for disse variablene er dannet. Deretter presenteres resultatene av *Elementareffektanalyser* mellom inndatafaktorene og totalt netto energibehov og gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for både småhusmodellen og boligblokkmodellen. Disse analysene gir så grunnlag for å si hvilke inndatafaktorer som har lite påvirkning på utdataen innenfor dens usikkerhetsintervall og hvilke som viser seg å være sensitive innenfor deres usikkerhetsintervall. Kapittelet avsluttes med en delkonklusjon som redegjør for hvilke faktorer som ansees som insensitive og dermed kan simuleres deterministisk i det videre uten at det reduserer nøyaktigheten i beregningen betraktelig og hvilke brukeravhengige inndatafaktorer som er sensitive innenfor dens usikkerhetsintervall og som må studeres mer i detalj.

6.1. SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR BRUKERRELATERT INNDATA

Dette avsnittet beskriver sannsynlighetsfordelingene for de brukeravhengige inndatafaktorer som skal anvendes i screeninganalysen. Vedlegg K presenterer en mer omfattende beskrivelse av grunnlaget for sannsynlighetsfordelingene som presenteres i dette kapittelet med forklaringer rundt vurderinger og forutsetninger som er gjort. I Vedlegg K presenteres også fordelingene grafisk. En oversikt over de inndatafaktorer som ansees som brukeravhengige er presentert i Vedlegg G.

6.1.1 SOLSKJERMING

Sannsynlighetsfordelingene for avskjermingsfaktoren til solskjerming er vurdert til en betafordeling, med et forventet intervall fra 0,15-1,00. En avskjermingsfaktor på 0,15 tilsvarer en utvending, lys solskjerming, mens en verdi på 1,00 svarer til ingen solskjerming (Aas, 2007). Det er valgt kun å lage en fordeling på avskjermingsfaktoren til solskjermingen og denne verdien multipliseres så med den deterministiske verdien av solfaktoren for glassruten for å estimere en tilnærmet verdi for total solfaktor. Når en multipliserer solfaktoren for glassruten med avskjermingsfaktoren får en ikke en korrekt verdi for total solskjerming, men tilnærmet verdi kalt g' . Utfyllende bakgrunnsinformasjon for valg sannsynlighetsfordeling for avskjermingsfaktoren presenteres i Vedlegg K.

6.1.2 VARMEAVGIVELSE FRA PERSONER

Varmeavgivelsen fra personer bestemmes ut i fra en sannsynlighetsfordeling for antall personer som oppholder seg i boligen, samt en antagelse om at hver person avgir 90 W ut ifra aktivitetsnivå og brukstid. Fordelingen for antall personer er bestemt med bakgrunn i den prosentvisfordelingen av antall personer per husholdning i Norge fra Statistisk sentralbyrå

(Standard Norge, 2010). Denne statistikken gir ikke noen prosentvis fordeling for husholdninger over fem personer og det er derfor gjort en skjønnsmessig vurdering av fordelingen opp til husholdningsstørrelse på ni personer. I Vedlegg K presenteres de forutsetninger som er gjort i forhold til varmeavgivelsen per person og vekten av antall personer per husholdning.

6.1.3 NATURLIG VENTILASJON

Fordelingene for naturlig ventilasjon i drift og utenfor drift tar utgangspunkt i fordelinger hentet fra artikkelen, *Application of Partial Safety Factor in Building Energy Performance Assessment* av Brohus et al. (2009). I denne artikkelen er det gitt ulike fordelinger for sommer/ vinter i drift/ikke drift basert på de verdier for naturlig ventilasjon gitt i veiledning til det danske beregningsprogrammet Be06. I betautgaven av SIMIEN med xml-funksjon som er benyttet i dette prosjektet er det ikke mulig å legge inn forskjellige luftmengder for sommer og vinter, kun gjennomsnittsverdier for hele året for henholdsvis drift/ ikke drift. Det vil derfor kjøres to sett med simuleringer for henholdsvis sommer og vinter, siden det ansees som sannsynlig at det luftes mer om sommeren enn om vinteren.

Fordelingen for starttidspunktet for naturlig ventilasjon er en antagelse, som tar utgangspunkt i normalfordelingen for boligens brukstid gitt i (Brohus, et al., 2009). Her er det, på bakgrunn av en spørreundersøkelse presentert i (Simonsen og Sørensen, 2007), antatt en forventningsverdi på 126 timer/uke og standardavvik på 14 timer/uke. Dette betyr at det kan forventes en brukstid på 18 timer/døgn med avvik på to timer/døgn. Videre er det antatt at ventilasjonen stanser kl.24.00 hver dag. Med en forventningsverdi på 18 timer betyr dette at det er forventet at ventilasjonen starter kl.06.00 hver dag, med standardavvik på to timer.

6.1.4 BELYSNING

Sannsynlighetsfordelingen for effektbehovet til belysning i driftstid er valgt som en normalfordeling som baser seg på standard inndataverdi for kontrollberegning mot norske forskriftskrav, gitt i vedlegg A i NS3031:2007 (Standard Norge, 2007) og en antatt variasjon på 30 %. Dette gir en forventningsverdi lik $2,9 \text{ W/m}^2$ og standardavvik på $0,87 \text{ W/m}^2$. Utenfor driftstid er det antatt en forventningsverdi på $0,1 \text{ W/m}^2$ siden det er vanlig å la for eksempel utendørsbelysning være tent også utenfor driftstiden samt at det vurderes ditt hen at nordmenn nødvendigvis ikke slukker all belysning utenfor driftstid siden det har visst seg å være kulturelle forskjeller relatert til dette og at nordmenn ofte bruker litt ekstra belysning sammenlignet med andre land (Wilhite, et al., 1996). Det er for belysning utenfor drift antatt en variasjon på 30 % fra forventningsverdien. Driftstiden for belysning er antatt å være en betafordeling over starttidspunktet fra kl.07.00 – 17.00, det vil si når på dagen belysningen slås på, og med en fast slukketid kl.24.00, se Vedlegg K. Dette er valgt fordi det i SIMIEN ikke bestemmes antall driftstimer, men klokkeslett for start og stopp. Ut ifra fordelingen vil eksempelvis belysning som starter kl.14. ha en driftstid på 10 timer.

6.1.5 TEKNISK UTSTYR

Sannsynlighetsfordelingen for effektbehovet til teknisk utstyr i driftstid er valgt som en normalfordeling som baser seg på standard inndataverdi ved kontrollberegning mot norske forskriftskrav, gitt i vedlegg A i NS3031:2007 (Standard Norge, 2007) og en antatt variasjon på 30 %. Dette gir en forventningsverdi lik 4 W/m^2 og standardavvik på $1,2 \text{ W/m}^2$. For effektbehov til teknisk utstyr utenfor driftstid benyttes samme sannsynlighetsfordeling som Brohus et al.

(2009) har bestemt ut i fra maksimum- og minimumsverdien for en antatt case. Fordelingen for starttidspunkt er den samme som for belysning, det vil si en betafordeling med fast stopp av utstyr kl.24.00

6.1.6 OPPVARMING AV TAPPEVANN

Fordelingen for effekt til oppvarming av tappevann er bestemt på bakgrunn av målinger presentert i flere forskjellige studier og undersøkelser. Målingene er sammenlignet med en normalfordeling og på bakgrunn av dette er det vurdert at normalfordelingen er en god tilnærming av virkeligheten. Effektbehovet er antatt konstant gjennom døgnet. I Vedlegg K er alle undersøkelser som ligger til grunn presentert.

6.1.7 SETTPUNKTTEMPERATUR FOR VARMEANLEGG

Sannsynlighetsfordelingen for settpunkttemperatur i driftstiden er bestemt på bakgrunn av temperaturmålinger presentert i flere ulike undersøkelser, beskrevet nærmere Vedlegg K. Måledata er sortert og sammenlignet med en normalfordeling som viste seg og være en god tilnærming. Forventningsverdien ble funnet til å være 21,5 °C med standardavvik på 1,6 °C. Fordelingen for settpunkttemperatur utenfor driftstid er skjønnsmessig vurdert og en antar at det er nattsinking av settpunkttemperaturen til 18 °C. Fordelingen for når varmeanlegget slår seg på er den samme som for naturlig ventilasjon, det vil si en normalfordeling med forventningsverdi lik et starttidspunkt kl.06.00 og et standardavvik på to timer.

6.2. OPPSUMMERING AV FORDELINGER

De sannsynlighetsfordelingene som er presentert i korthet i dette kapittelet er oppsummert i Tabell 6.2-1. Mer utfyllende informasjon om forutsetninger, målinger fra undersøkelser samt veilede verdier som ligger til grunn for valg av type fordeling, forventning og spredning kan som nevnt finnes i Vedlegg K.

TABELL 6.2-1: OPPSUMMERING AV SANNSYNLIGHETSFORDELINGER

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	μ	σ	Kommentar
Solskjerming (samme fordeling for alle fasader)	-	β			$\alpha=5.0$; $\beta=1.8$; $a=0.15$; $b=1.00$. Forutsetter at avskjermningsfaktoren multipliseres med solfaktoren for glassruten for å gi total solfaktor.
Naturlig ventilasjon - i drift	m ³ /hm ²	N	2,16	0,37	(Brohus, et al., 2009)
Naturlig ventilasjon - utenfor drift	m ³ /hm ²	N	1,80	0,34	(Brohus, et al., 2009)
Naturlig ventilasjon - start tidspunkt	klokkeslett	N	6,00	2,00	Stopper kl.24.00. Fordelingen fra Brohus et al. (2009)
Belysning - i drift	W/m ²	N	2,90	0,87	Veiledende verdi i NS3031 (Standard Norge, 2007) med en variasjonskoeffisient på 30%

β = betafordeling, N=normalfordeling, D= diskrete fordeling

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	μ	σ	Kommentar
Belysning - utenfor drift	W/m ²	N	0,10	0,03	Veiledende verdi i NS3031 (Standard Norge , 2007) med en variasjonskoeffisient på 30%
Belysning - starter kl.	klokkeslett	β	-	-	$\alpha=2.0$; $\beta=6.0$; $a=4$; $b=24$. Forutsetter at belysning alltid slukker kl.24:00.
Teknisk utstyr - i drift	W/m ²	N	4,00	1,20	Veiledende verdi i NS3031 (Standard Norge , 2007) med en variasjonskoeffisient på 30%
Teknisk utstyr - utenfor drift	W/m ²	N	0,60	0,20	(Brohus, et al., 2009)
Teknisk utstyr - starter kl.	klokkeslett	β	-	-	$\alpha=2.0$; $\beta=6.0$; $a=4$; $b=24$. Forutsetter at det tekniske utstyret alltid slukker kl.24:00.
Oppvarming av varmtvann, på	W/m ²	N	2,90	1,80	
Oppvarming av varmtvann, av	W/m ²	N	2,90	1,80	
Varmeavgivelse fra personer i drift	W/m ²	D	-	-	Fordelingen er på antall personer som er ganget med 90 W og delt på brutto areal etter forutsetning i Vedlegg K
Varmeavgivelse - timer/døgn	klokkeslett	N	6,00	2,00	
Settpunkttemperatur, i drift	°C	N	21,50	1,60	
Settpunkttemperatur, utenfor drift	°C	N	18,00		
Varme på	Klokkeslett	N	6,00	2,00	

β =betafordeling, N=normalfordeling, D= diskrete fordeling

6.3. RESULTATER AV SCREENINGANALYSE

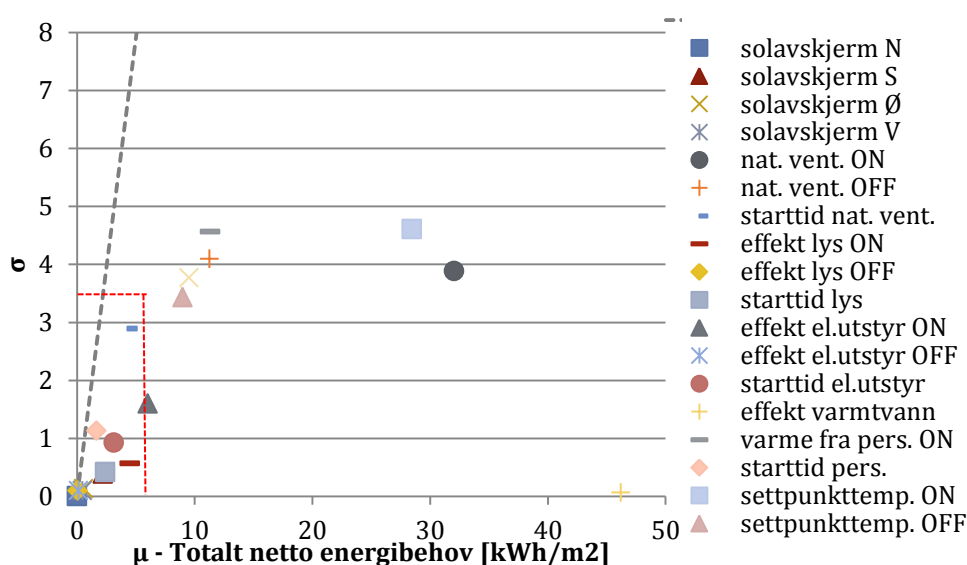
For å gjennomføre en screeninganalyse av de 20 brukeravhengige inndatafaktorene gitt i Tabell 6.2-1 på s.49 er det valgt å benytte Elementareffektmetoden som er beskrevet i avsnitt 4.1.2.1 på s.38 i Kapittel 4 og Vedlegg F. Det er valgt å benytte $p=4$ og $r=10$ i henhold til anbefalinger for minimumsverdier i (Satelli, et al., 2004b). Med dette valget genereres det 10 orienteringsmatriser med 21 faktorkombinasjoner og det kreves da 210 simuleringer for å gjennomføre en elementareffektanalyse. Screeninganalysen er utført på både småhusmodellen og boligblokkmodellen. Resultatene presenteres i diagrammer som viser elementareffektens standardavvik, σ , som funksjon av middelerdien, μ . En stor verdi for elementareffektens middelerdi indikerer at faktoren er viktig i hele dens variasjonsområde, mens en stor verdi for elementareffektens standardavvik indikerer at faktoren er ulineær og/eller i korrelasjon med andre faktorer. Den stiplede linjen representerer den veiledende grensen mellom lineærhet og ulineærhet/ korrelasjon og korresponderer med $\bar{\mu}_i = 2 SEM_i$, hvor SEM_i er Standard Error of Mean og kan bli estimert ut i fra $SEM_i = \sigma_i/\sqrt{r}$ (Morris, 1991).

6.3.1 SMÅHUSMODELLEN

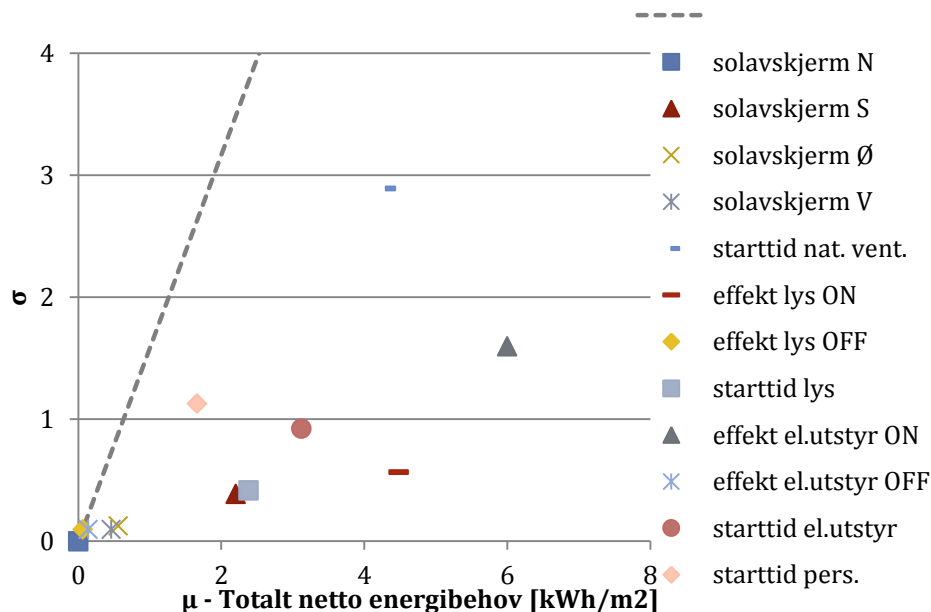
I det følgende gjennomgås resultatene av screeninganalysen for henholdsvis totalt netto energibehov og gjennomsnittlig innendørstemperatur i juli for småhusmodellen.

6.1.3.1 ENERGI

I det følgende gjennomgås screeninganalysen for energibehov. Figur 6.3-1 presenterer påvirkning på total netto energibehov fra samtlige brukeravhengige faktorer som benyttes som inndata i SIMIEN mens Figur 6.3-2 presenterer en evaluering av de mindre sensitive faktorene fra Figur 6.3-1 som er innrammet med rød stiplede linje. Fordelingene til alle faktorene er gitt i Tabell 6.2-1 på s. 49.



FIGUR 6.3-1: ESTIMERT GJENNOMSNIITT (μ) OG STANDARDAVVIK (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTENE FOR SAMTLIGE 20 BRUKERAVHENGIGE FAKTORER. STIPELET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2 SEM$ OG REPRERSENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTOR ER ULINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE. OMRÅDET INNENFOR DE RØDE STIPELEDE LINJENE ER PRESENTERT I STØRRE FORMAT I FIGUR 6.3-2.



FIGUR 6.3-2: ESTIMERT GJENNOMSNIITT (μ) OG STANDARDVARIASJON (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTENE FOR FAKTØRER SOM ER MINDRE SENSITIVE FRA FIGUR 6.3-1. STIPLET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2$ SEM OG REPRERSENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTØR ER ULINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE.

Ut i fra resultatene i Figur 6.3-1 og Figur 6.3-2 kan man rangere faktorene i henhold til hvilke faktorer som er mest sensitive, men man kan ikke si hvor mye mer sensitiv en faktor er i forhold til en annen.

Figur 6.3-1 indikerer at effektbehovet til oppvarming av tappevann er den mest sensitive faktoren blant de brukeravhengige inndatafaktorene for den gitte småhusmodellen i SIMIEN. Fordelingene for varmt forbruksvann må derfor undersøkes nærmere i en mer dyptgående evaluering av dataene til de mest sensitive faktorene. Videre kan en ut i fra Figur 6.3-1 se at naturlig ventilasjon i driftstid, settpunkttemperatur på varmeanlegget, varmetilskudd fra personer i driftstiden, naturlig ventilasjon utenfor driftstiden og starttidspunkt for varmeanlegget er blant de mest sensitive faktorene.

Figur 6.3-2 viser et utsnitt av de mindre sensitive brukeravhengige inndatafaktorene for den gitte modellen og en kan se at flere av faktorene ligger i samme området, noe som gjør det noe mer vanskelig å rangere disse faktorene. Man kan likevel se at solavskjermingsfaktor på nordfasaden, østfasaden og vestfasaden samt belysning utenfor driftstiden er nærmest ubetydelige faktorer, mens starttidspunkt for naturlig ventilasjon, effektbehovet til elektrisk utstyr og starttidspunkt for elektrisk utstyr er de viktigste av de mindre sensitive faktorene.

Det skal bemerkes at ingen av faktorene i Figur 6.3-1 og Figur 6.3-2 krysser SEM-linjen som er en veiledende grense mellom linearitet og ulinearitet/ korrelasjon, men i denne sammenheng er det viktig å legge merke til stikkordet *veiledende*. SEM-linjen skal ikke betraktes som en absolutt grense og de faktorene som opptrer nærme SEM-linjen i Figur 6.3-1 og Figur 6.3-2 bør vurderes ytterligere i forhold til ulinearitet og korrelasjoner. I Figur 6.3-1 kan man dog se at starttidspunkt for henholdsvis varmeavgivelse fra personer, belysning, elektrisk utstyr, naturlig ventilasjon og drift for varmeanlegget ligger nærme SEM-linjen. Det er klart at for eksempel

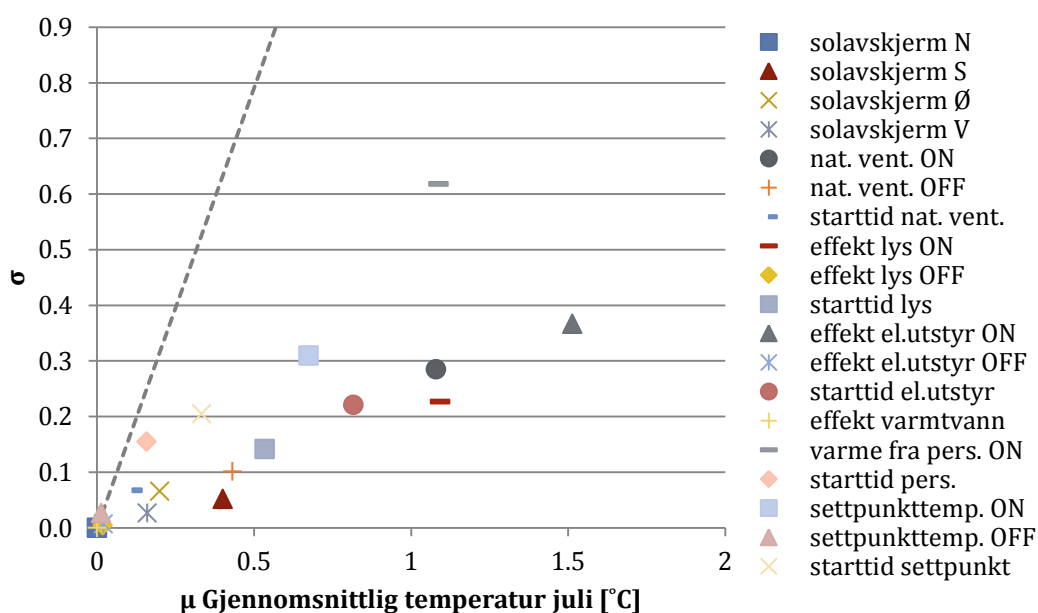
starttidspunkt for varmeanlegg i drift har betydning for hvor viktig settpunkttemperatur i drift er når sluttidspunkt er satt som en deterministisk faktor. Man kan også se at settpunkttemperatur i drift har et forholdsvis høyt standardavvik som kan indikere at den er i korrelasjon med andre faktorer som i denne situasjonen i det minste er starttidspunkt for varmeanlegg. Disse resultatene tyder på at elementareffektmetoden indikerer korrelasjoner mellom faktorer, men at man må være forsiktig med å bruke SEM-linjen som grenseverdi for korrelasjoner. Det antas at noen faktorer ville krysset SEM-linjen og tydelig avslørt korrelasjon dersom man hadde valgt å dele opp faktorenes variasjonsområde i flere deler, dvs. $p > 4$, og dermed kjørt flere simuleringer. Det ble derimot valgt å kjøre et begrenset antall simuleringer i denne screeninganalysen og analysere resultatene deretter. Det ansees at de oppnådde resultatene er representative siden inndatafaktorene som har størst påvirkning på utdataen stemmer godt overens med litteraturen som slår fast at settpunkttemperatur, naturlig ventilasjon og varmtvann er blant de mest sensitive faktorene i forhold til en boligs totale energibruk (Andersen, et al., 2009) (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) (Haas, et al., 1998) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Kempton, 1988) (Statens energimyndighet, 2009). Ved å vekte middelerdien høyere enn standardavviket for faktorene med mindre sensitivitet er faktorene i Figur 6.3-1 og Figur 6.3-2 rangert i Tabell 6.3-1.

TABELL 6.3-1: RANGERING AV SENSITIVE BRUKERAVHENGIGE INNDATAFAKTORER I FORHOLD TIL TOTALT NETTO ENERGIBEHOV VED HJELP AV ELEMENTAREFFEKTMETODEN.

Rang	Faktor	Middelerdi	Standardavvik
		μ	σ
1	Effekt varmtvann	46,20	0,06
2	Naturlig vent. i brukstid	32,02	3,88
3	Settpunkt varmeanlegg i driftstid	28,44	4,60
4	Varmebelastning fra personer i driftstid	11,32	4,56
5	Naturlig vent. utenfor driftstid	11,24	4,09
6	Starttidspunkt varmeanlegg	9,50	3,77
7	Settpunkt varmeanlegg utenfor driftstid	8,96	3,43
8	Effekt elektrisk utstyr i driftstid	6,00	1,60
9	Effekt belysning i driftstid	4,48	0,57
10	Starttidspunkt naturlig vent.	4,30	2,89
11	Starttidspunkt elektrisk utstyr	3,12	0,93
12	Starttidspunkt belysning	2,38	0,41
13	Solavskjermingsfaktor fasade sør	2,20	0,39
14	Starttidspunkt personer	1,66	1,13
15	Solavskjermingsfaktor fasade øst	0,56	0,13
16	Solavskjermingsfaktor fasade vest	0,46	0,10
17	Effekt elektrisk utstyr utenfor driftstid	0,14	0,10
18	Effekt belysning utenfor driftstid	0,06	0,10
19	Solavskjermingsfaktor fasade nord	0	0
20	Effekt varmtvann utenfor drift	0	0

6.2.3.1 TERMISK INNEKLIMA

I det følgende avsnitt gjennomgås screeninganalysen i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli, for å avgjøre hvilke brukeravhengige inndatafaktorer som påvirker variasjoner i termisk inneklima om sommeren. Figur 6.3-3 presenterer påvirkning på gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for småhusmodellen fra samtlige brukeravhengige faktorer som benyttes som inndata i SIMIEN. Fordelingene for inndatafaktorene er de samme som er benyttet som inndata i screeninganalysen for totalt netto energibehov og en oversikt over inndatafaktorene ble gitt i Tabell 6.2-1 på s. 49.



FIGUR 6.3-3: ESTIMERT GJENNOMSNIITT (μ) OG STANDARDVARIASJON (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTER FOR SAMTLIGE 20 BRUKERAVHENGIGE FAKTORER SOM BENYTTES SOM INNDATA I SIMIEN. STIPLET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2$ SEM OG REPRERENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTOR ER LINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE.

Figur 6.3-3 viser at interne varmelaster er sensitive faktorer i forhold til gjennomsnittlig temperatur i juli. Effektbehov til elektrisk utstyr og belysning samt varmeavgivelse fra personer i drift gjør seg gjeldende som de tre faktorene som bidrar mest til variasjonen i utdata. Deretter følger av naturlig ventilasjon i drift. Man kan også se at settpunkttemperatur i drift er blant de mest sensitive faktorene for gjennomsnittlig innendørstemperatur i juli. Dette kan tyde på at det forekommer tilfeller hvor innendørstemperaturen synker under settpunkttemperaturen og at varmeanlegget i disse situasjonene slår seg på. Fra Figur 6.3-3 kan man i tillegg se at blant annet solavskjerming på samtlige fasader har begrenset betydning i forhold til gjennomsnittlig innendørstemperatur i juli. Litteraturen har indikert at solavskjerming har stor innflytelse på termisk inneklima i lavenergihus (Brunsgaard, et al., 2010) (Thomsen, et al., 2005). Årsaken til at solavskjerming ikke viser seg som en sensitiv faktor i denne modellen kan komme av at modellen totalt sett har begrenset med glassareal og at det er 40 % mindre glassareal på øst og vestfasaden i forhold til nord og sørfasaden. Når det er gjennomsnittlig temperatur i juli som evalueres er det øst og vestfasaden som vil være kritiske fasader siden solen står såpass høyt på himmelen når den er i sør slik at soltilskuddet dermed blir begrenset gjennom sørfasaden. Ut i fra dette kan man fra Figur 6.3-3 se at det er flere av de samme inndatafaktorene som fra Tabell

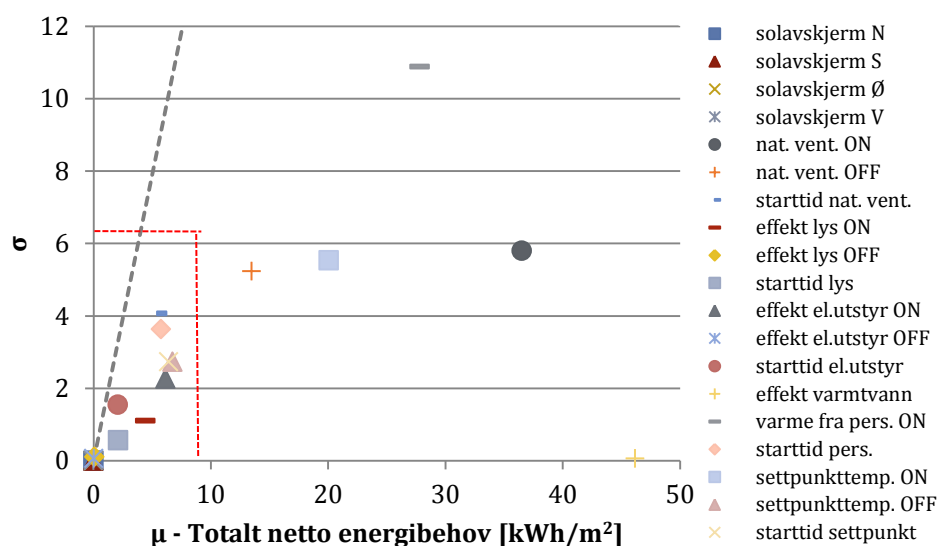
6.3-1. er rangert blant de 12 mest sensitive i forhold til totalt netto energibehov som også gjør seg gjeldende som mest sensitive i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli.

6.3.2 BOLIGBLOKKMODELLEN

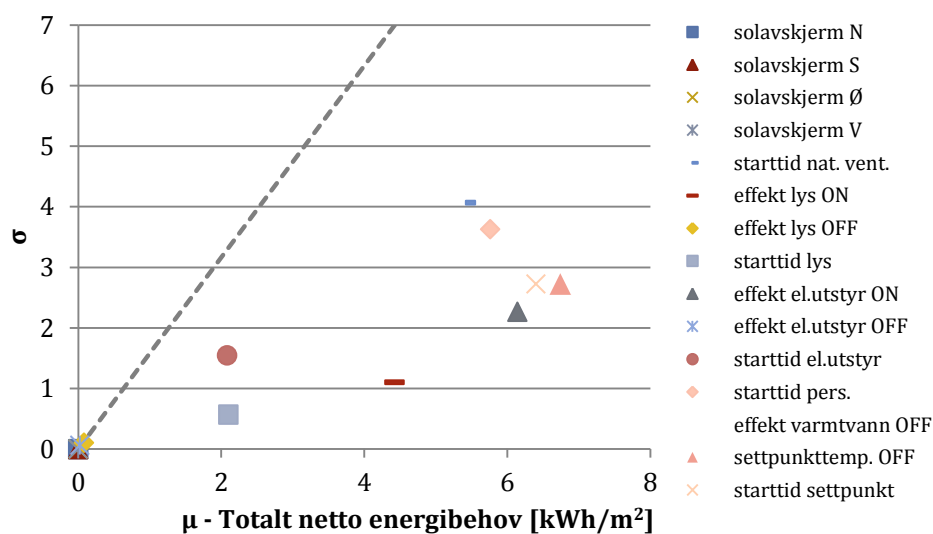
I det følgende gjennomgås screeninganalysen for henholdsvis totalt netto energibehov og gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for blokkhusmodellen.

6.1.3.2 ENERGI

I likhet med fremstillingen av resultatene for småhusmodellen presenterer Figur 6.3-4 påvirkning på totalt netto energibehov for boligblokkmodellen fra samtlige brukeravhengige faktorer som benyttes som inndata i SIMIEN mens Figur 6.3-5 presenterer en evaluering av de mindre sensitive faktorene fra Figur 6.3-4. Fordelingene til alle inndatafaktorene er de samme som for småhusmodellen og er gitt i Tabell 6.2-1 på s. 49.



FIGUR 6.3-4: ESTIMERT GJENNOMSNITT (μ) OG STANDARDVARIASJON (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTENE FOR SAMTLIGE 20 BRUKERAVHENGIGE FAKTORER SOM BENYTTES SOM INNDATA I SIMIEN I BOLIGBLOKKMODELLEN. STIPLET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2$ SEM OG REPRESENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTOR ER ULINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE. OMRÅDET INNENFOR DE RØDE STIPLEDE LINJENE ER PRESENTERT I STØRRE FORMAT I FIGUR 6.3-5.



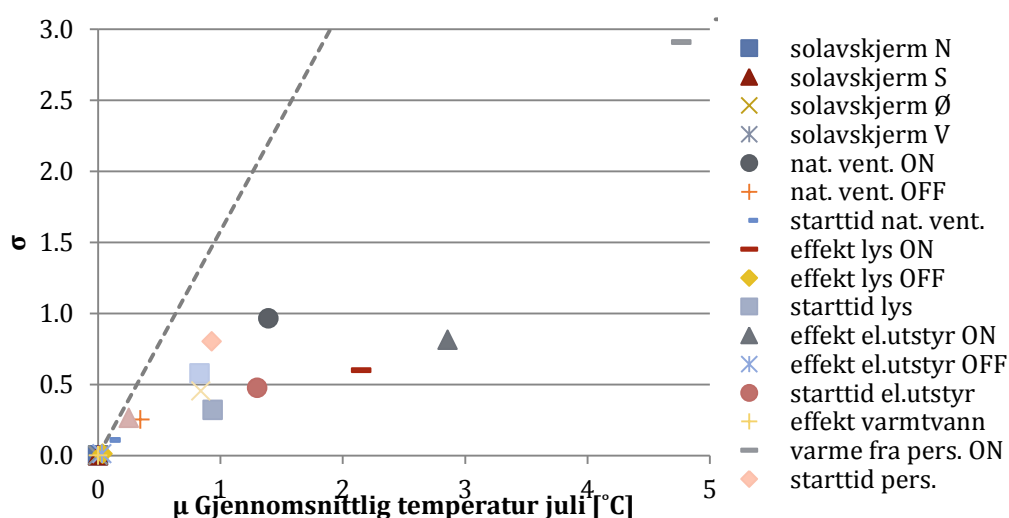
FIGUR 6.3-5: ESTIMERT GJENNOMSNITT (μ) OG STANDARDVARIASJON (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTENE FOR FAKTORER SOM ER MINDRE SENSITIVE FRA FIGUR 6.3-4. STIPLET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2$ SEM OG REPRERSENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTOR ER ULINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE.

Ved å sammenlikne Figur 6.3-1 som presenterer resultatene fra småhusmodellen og Figur 6.3-4 som presenterer resultatene fra boligblokkmodellen kan en se at effektbehovet til oppvarming av tappevann og naturlig ventilasjon i drift er de mest sensitive brukeravhengige inndatafaktorene i begge modellene. Videre kan man se at varmeavgivelse fra personer har en større betydning i boligblokkmodellen enn i småhusmodellen noe som fører til at starttid for personer også får en anelse større betydning i boligblokkmodellen enn småhusmodellen. Fra Figur 6.3-4 og Figur 6.3-5 kan en i tillegg se at settpunkttemperatur både i og utenfor drift samt starttid for settpunkttemperatur har mindre betydning i boligblokkmodellen enn i småhusmodellen. I likhet med det man så i forhold til resultatene for totalt netto energibehov fra småhusmodellen er det ingen av inndatafaktorene som krysser den veiledende SEM linjen i evalueringen av boligblokkmodellen. Man ser imidlertid at starttid for elektrisk utstyr, starttid for personer og starttid for naturligventilasjon i drift ligger forholdsvis nærme SEM-linjen og dette kan indikere at disse inndatafaktorene har ulineære egenskaper eller er i korrelasjon med andre faktorer. Ved å vekte middelerdien høyere enn standardavviket for faktorene med mindre sensitivitet er faktorene i Figur 6.3-4 og Figur 6.3-5 rangert i Tabell 6.3-2.

TABELL 6.3-2: RANGERING AV SENSITIVE BRUKERAVHENGIGE INNDATAFAKTORER I FORHOLD TIL TOTALT NETTO ENERGIBEHOV VED HJELP AV ELEMENTAREFFEKTMETODEN.

Rang	Faktor	Middelverdi	Standardavvik
		μ	σ
1	Effekt varmtvann	46,18	0,06
2	Naturlig vent. i brukstid	36,52	5,79
3	Varmebelastning fra personer i driftstid	27,82	10,88
4	Settpunkt varmeanlegg i driftstid	20,06	5,53
5	Naturlig vent. utenfor driftstid	13,48	5,23
6	Settpunkt varmeanlegg utenfor driftstid	6,74	2,73
7	Starttidspunkt varmeanlegg	6,40	2,73
8	Effekt elektrisk utstyr i driftstid	6,14	2,27
9	Starttidspunkt personer	5,76	3,63
10	Starttidspunkt naturlig vent.	5,42	4,07
11	Effekt belysning i driftstid	4,42	1,10
12	Starttidspunkt belysning	2,10	0,57
13	Starttidspunkt elektrisk utstyr	2,08	1,55
14	Effekt belysning utenfor driftstid	0,08	0,10
15	Effekt elektrisk utstyr utenfor driftstid	0,02	0,06
16	Solavskjermingsfaktor fasade vest	0	0
17	Solavskjermingsfaktor fasade sør	0	0
18	Solavskjermingsfaktor fasade øst	0	0
19	Solavskjermingsfaktor fasade nord	0	0
20	Effekt varmtvann utenfor drift	0	0

I likhet med småhusmodellen er det gjennomført en screening for gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for boligblokkmodellen, resultatene er fremstilt i Figur 6.3-6.



FIGUR 6.3-6: ESTIMERT GJENNOMSNIITT (μ) OG STANDARDAVVIK (σ) FOR DISTRIBUTJONEN AV ELEMENTAREFFEKTENE FOR SAMTLIGE 20 BRUKERAVHENGIGE FAKTORER SOM BENYTTES SOM INNDATA I SIMIEN. STIPLET LINJE KORRESPONDERER TIL $\mu=2$ SEM OG REPRERENTERER VEILEDENDE GRENSE FOR OM EN FAKTOR ER LINEÆR OG/ELLER I KORRELASJON MED ANDRE.

Fra Figur 6.3-6 kan en med likhet for det man så for totalt netto energibehov se at varmeavgivelse fra personer er en mer sensitiv faktor for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen også med hensyn til termisk inn klima. Figur 6.3-6 viser at det er varmeavgivelse fra personer som har det desidert største gjennomsnittlige innflytelse på gjennomsnittlig temperatur i juli, men det skal også bemerkes at innflytelsen av varmeavgivelse fra personer har høyt standardavvik noe som kan indikere at faktorene har ulineære effekter eller er i korrelasjon med andre inndatafaktorer. Generelt sett kan man se at interne varmelaster har en større påvirkning på gjennomsnittlig temperatur i juli for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen, men rangeringen av sensitive faktorer er forholdsvis liknende med unntak av at både varmeavgivelse fra personer og starttid for personer er rangert som viktigere faktorer i forhold til boligblokkmodellen.

6.4. DELDISKUSJON

Som nevnt tidligere er formålet med en screeninganalyse ofte å identifisere inndatafaktorene som man kan gi en fast verdi innenfor deres intervall for usikkerhet uten at det reduserer utdatavariasjonen vesentlig og dermed uten at man mister viktig informasjon i modellen (Saltelli, et al., 2004). Screeninganalysen er utført med 20 stokastiske brukeravhengige faktorer hvor fordelingene til faktorene er dannet på grunnlag av målinger, anbefalinger og norske standard verdier fra NS3031:2007.

Effekt til oppvarming av varmtvann, naturlig ventilasjon i drift, settpunkttemperatur i drift, varmeavgivelse fra personer og naturlig ventilasjon utenfor drift er rangert som de fem mest sensitive inndatafaktorene og har signifikant innflytelse på totalt energibehov innenfor deres usikkerhetsintervall både for småhusmodellen og boligblokkmodellen. Varmeavgivelse fra personer har større betydning for totalt netto energibehov for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen, noe som kan komme av at det er benyttet samme inndatafordelinger for analysene av de to modellene og at persontettheten dermed er større i boligblokkmodellen enn i småhusmodellen.

I forhold til screeninganalyse av brukeravhengige inndatafaktorers innflytelse på gjennomsnittlig operativ temperatur i juli ble det for begge modeller sett at de inndatafaktorene relatert til intern varmebelastning var de mest sensitive for begge modeller og en så at varmeavgivelse fra personer hadde større innflytelse på boligblokkmodellen enn på småhusmodellen. Det skal bemerkes at settpunkttemperatur i drift gjorde seg gjeldende som en sensitiv faktor for gjennomsnittlig innendørstemperatur i juli for begge modellene. Dette kan skyldes at innendørstemperatur synker under settpunkt og at varmeanlegget dermed slår seg på, men årsaken bør undersøkes nærmere. Flere av inndatafaktorene som viste seg å ha liten til ingen innflytelse på gjennomsnittlig operativ temperatur i juli var de samme som viste seg å være insensitive i forhold til totalt netto energibehov, for eksempel solavskjerming på samtlige fasader og effekt til elektrisk utstyr og belysning utenfor drift. Avgjørelse av hvilke faktorer som modelleres som stokastiske og deterministiske faktorer i videre analyse er dermed basert på sensitivitetsresultatene for totalt netto energibehov.

I forhold til totalt netto energibehov har faktorene som er rangert som nummer 13-20 for begge modeller så å si ingen innflytelse innenfor deres usikkerhetsintervall. Det er derimot vurdert at starttidspunkt for personer som er rangert som nummer 14 for småhusmodellen er korrelert

med varmeavgivelse fra personer i driftstid som er rangert som nummer 4 for samme modell, det er dermed valgt slik at starttidspunkt for personer behandles som en stokastisk variabel i videre modellering mens resten av faktorene som er rangert som 13 og 15-20 for småhusmodellen, som er de samme faktorene som rangeres som 14-20 for boligblokkmodellen, modelleres som deterministiske faktorer i det videre. Dette har redusert antallet av stokastiske variabler fra 20 til 13.

KAPITTEL 7 - MONTE CARLO ANALYSE AV BRUKERRELATERTE FAKTORER

Screeninganalysen viste at effektbehovet til varmtvann er den inndatafaktor med størst innflytelse innenfor dens usikkerhetsintervall på totalt energibruk både for småhusmodellen og boligblokkmodellen, etterfulgt av naturlig ventilasjon i brukstid, settpunkttemperatur for varmeanlegget i driftstid, varmebelastning fra personer i driftstid og naturlig ventilasjon utenfor driftstid. I dette kapitlet blir det gitt en beskrivelse av hvordan de mest sensitive faktorene fra screeninganalysen er studert nærmere for å forsøke å øke nøyaktigheten av deres estimering. Deretter presenteres resultater av usikkerhetsanalysene som er utført for å kvantifisere usikkerheten i estimatet av totalt netto energibehov og gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for både småhusmodellen og boligblokkmodellen. Deretter presenteres resultater av kvantitativ sensitivitetsanalyser som er utført for å kvantifisere hvor stor del av usikkerheten i utdata som kan tillegges de ulike inndatafaktorene innenfor deres intervall av usikkerhet. Kapitlet avsluttes med en deldiskusjon hvor resultatene av å inkludere brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger blir vurdert.

7.1. VIDEREUTVIKLING AV FORDELINGER

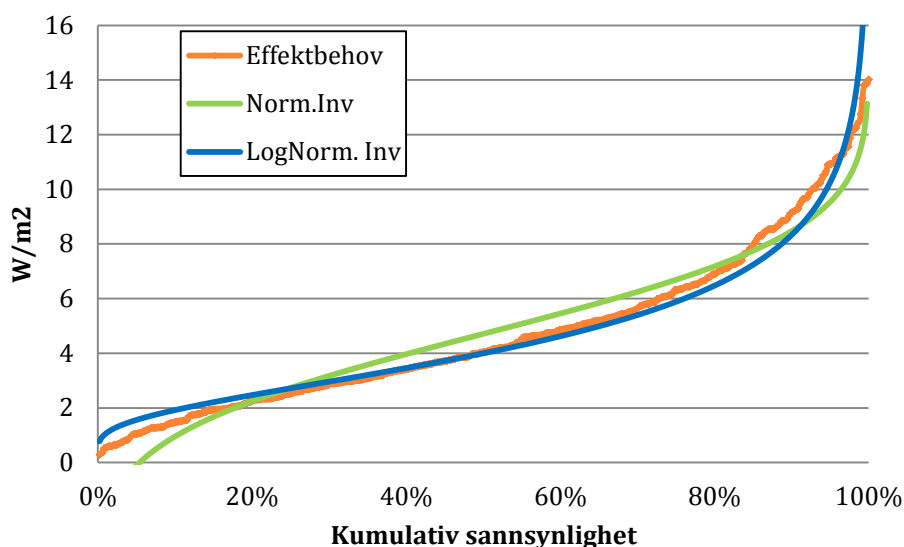
I dette avsnittet blir det gjort vurderinger og eventuelt videre studier av variablene som ble rangert som de mest sensitive i screeninganalysen. Målet med et ytterligere studium av disse sensitive inndatafaktorene er å øke nøyaktigheten av deres estimering for dermed å kunne redusere usikkerheten i beregnet netto energibehov.

7.1.1 OPPVARMING AV TAPPEVANN

Sannsynlighetsfordelingen for effektbehov til oppvarming av tappevann ble i screeninganalysen utarbeidet på bakgrunn av målinger presentert i ulike studier og undersøkelser. Siden effektbehov til oppvarming av tappevann viste seg som den inndatafaktoren med størst innflytelse på den totale energibruken er det valgt å studere denne faktoren videre.

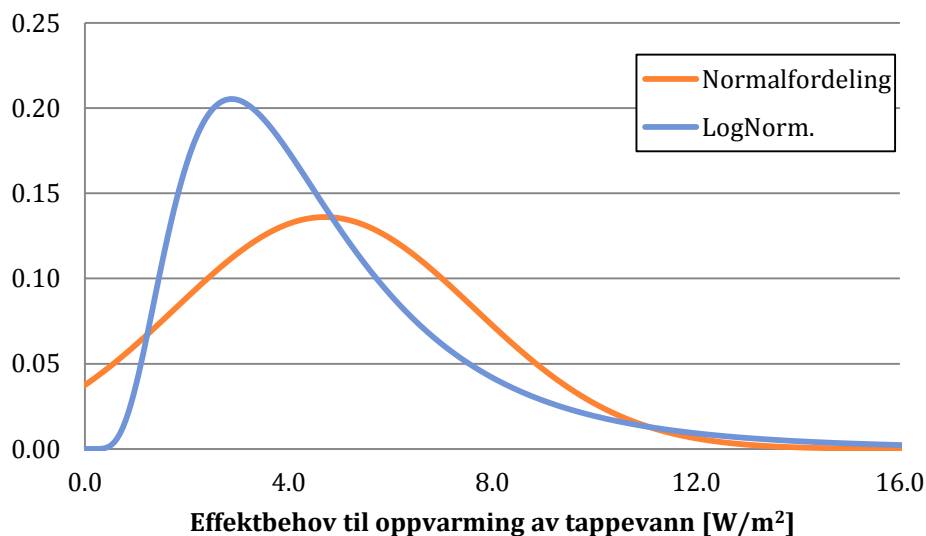
Videre litteratursøk etter flere studier som inkluderte faktiske målinger på varmtvannsforbruk ga ingen resultater. Det ble derfor valgt å gjennomføre noen beregninger basert på statistikk fra folkehelseinstituttets vannregister fra 2008 (Folkehelseinstituttet, 2011) samt statistisk sentralbyrås publisasjon over boligarealer fra 2010 (SSB, 2010). Statistikken fra vannregisteret inneholder tall på gjennomsnittlig vannforbruk per husholdning for de husholdningene som er tilknyttet kommunale vannverk for alle kommuner i Norge. Videre er det antatt at en tredjedel av vannforbruket blir varmet opp til varmt bruksvann. Antar man i tillegg noen temperaturer på vannet før og etter oppvarmingen kan en beregne energibruken per husholdning. Dividerer man denne energibruken på gjennomsnittlig boareal fra hver kommune fra Statistisk Sentralbyrå, finner man et gjennomsnittlig effektbehov per kommune. Vedlegg L presenterer et beregningseksempel med de forutsetninger som ligger de til grunn.

Resultater fra beregningene fra Folkehelseinstituttets vannregister benyttes videre som grunnlag for utarbeidelse av en ny sannsynlighetsfordeling sammen med de måldata som ga grunnlaget for sannsynlighetsfordelingen som ble benyttet i screeningen. Siden det var stor variasjon på de beregnede verdier fra vannregisteret ble det gjennomført en korrigering for uteliggere ved å ekskludere verdier som lå utenfor intervallet på gjennomsnittsverdi pluss/minus to ganger standardavvik (StatSoft - Electronic Statistics Textbook, 2011). Dette førte til en reduksjon av ytterligere syv verdier. Samling av beregnede verdier og målte verdier fra de studier som danner grunnlaget for sannsynlighetsfordelingen i screeninganalysen er sammenlignet med en invers normalfordeling og en invers logaritmisk normalfordeling, se Figur 7.1-1.



FIGUR 7.1-1: SAMMENLIGNING MELLOM INVERS NORMALFORDELING, EN INVERS LOGNORMALFORDELING OG EN KUMULATIV DISTRIBUSJON OVER MÅLTE OG BEREGNED VERDIER.

Fra Figur 7.1-1 kan en se at begge fordelinger gir en forholdsvis god overenstemmelse med den kumulative distribusjonen av datasettet, men at den logaritmiske distribusjonen ser ut til å være den beste tilnærmelsen av de faktiske forhold. Figur 7.1-2 viser en sannsynlighetsfordeling for effektbehovet til oppvarming av varmt tappevann både som en normalfordeling og som en logaritmisk normalfordeling.



FIGUR 7.1-2: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER EFFEKTBEHOVET TIL OPPVARMING AV TAPPEVANN BASERT PÅ MÅLEDATA OG BEREGNET EFFEKTBEHOV FOR NORSKE KOMMUNER. NORM: $\mu=4,71$ $\sigma=2,93$. LOG. NORM: $\mu_y=1,39$ $\sigma_y=0,57$.

Fra Figur 7.1-2 kan en se at det for normalfordelingen er sannsynlighet for å få verdier som er lavere enn null, noe som ikke er fysisk mulig. En logaritmisk normalfordeling derimot, kan aldri ha negative verdier. Sannsynlighetsfordelingen basert på den logaritmiske normalfordelingen er derfor ansett som best fysisk tilnærming av de målte verdiene.

7.1.2 NATURLIG VENTILASJON

Sannsynlighetsfordelingen for luftmengder på naturlig ventilasjon som ble brukt i screeninganalysen tok utgangspunkt i fordelinger fra (Brohus, et al., 2009). Screeninganalysens resultater viste at luftmengder til naturlig ventilasjon er viktig inndatafaktor og det er derfor valgt å studere denne ytterligere. Det har dog vært utfordrende å finne et dataunderlag basert på målinger av luftmengder til naturlig ventilasjon som kan brukes til å lage en sannsynlighetsfordeling.

Blom og Skaret (1995) presenterer en feltundersøkelse, samt en litteraturgjennomgang relatert til ventilasjon og luftkvalitet i småhus. I denne rapporten oppsummeres og refseres det til svenske, danske og finske undersøkelser i tillegg til de feltundersøkelsene de selv har gjennomført. Det har ikke lyktes å finne de originale undersøkelsene og de verdiene som oppsummeres i Blom og Skaret (1995) er kun gjennomsnittsverdier av luftmengdemålingene som presenteres for de ulike studiene. Disse er gjengitt Tabell 7.1-1.

TABELL 7.1-1: LUFTMENGDER TIL NATURLIG VENTILASJON I m^3/hm^2 , ETTER BLOM OG SKARET (1995).

Hustype	Ventilasjon i kubikkmeter pr. time og m^2				
	Sverige (N=1100)	Finland (N=251)	Danmark (N=251)	Norge (N=17)	Middel (N=1691)
Småhus	0,83	1,01	0,86	0,94	0,91
Flerbolighus	1,19	1,55	-	-	1,37

Tabell 7.1-1 viser at det er gjennomført 1100 målinger i Sverige, 251 i Danmark og Finland og 17 i Norge. De svenske målingene er alle gjennomført vinterstid. Av alle boligene det er målt på er 70 % bygget før 1960 og det viste seg at luftskifte er høyere i disse boligene. Dette skyldes trolig høyere infiltrasjon, siden byggeteknikken etter 1960 gir mer lufttette konstruksjoner (Blom og Skaret, 1995). I Danmark er alle boliger bygget etter 1982. Rapporten til Blom og Skaret (1995) sier dessverre ingenting om spredning og variasjon på målingene.

I Tabell 7.1-1 kan en se at luftmengdene til naturlig ventilasjon i flerbolighus er høyere enn for småhus. I følge Blom og Skaret (1995) gjelder dette på generelt basis. Ser en derimot på ventilasjonsmengden per person vil den være lik for de to boligtyper siden småhus har større areal per person.

Målingene oppsummert i Tabell 7.1-1 gir et lite dataunderlag siden de er presentert som gjennomsnittsverdier fra hver undersøkelse og det finnes i tillegg lite informasjon om når på året målingene er gjennomført, sett bort ifra de svenske målingene som fra vinterhalvåret. På bakgrunn av dette er det valgt å fortsette å benytte det dataunderlaget som ble benyttet i screeningen fra i Brohus et al. (2009). Fordelingen benyttet i screeningen av vintercasen er imidlertid revurdert siden det i likhet med varmt bruksvann var mulig å få negative verdier for naturlig ventilasjon om vinteren ved bruk normalfordeling. Logaritmisk normalfordeling er derfor ansett som den beste fysiske tilnærmingen for naturlig ventilasjon om vinteren.

7.1.3 SETTPUNKTTEMPERATUR PÅ VARMEANLEGG

Sannsynlighetsfordelingen som ble benyttet i screeninganalysen ble utarbeidet på bakgrunn målinger fra flere studier. Det ville vært ønskelig å basere en sannsynlighetsfordeling på flere måledata, helst fra norske undersøkelser. Det har imidlertid vist seg vanskelig å innhente ett større dataunderlag. Sannsynlighetsfordelingen som ble benyttet i screeningen, en normalfordeling med forventningsverdi på 21,5 °C og standardavvik på 1,6 °C må derfor kunne ansees som en god nok fordeling til å kunne benyttes i videre i den kvantitative analysen. Settpunkttemperaturen på 18 °C utenfor driftstid ble i screeningen skjønnsmessig vurdert med en forutsetning om nattsenkingen.

7.1.4 VARMEAVGIVELSEN FRA PERSONER I DRIFTSTID

I screeninganalysen ble det benyttet statistikk over antall personer i norske husholdninger fra Statistisk sentralbyrå og en antakelse om at gjennomsnittlig varmeavgivelse per person er på 90 W. Denne vurderingen av varmeavgivelse fra personer og persontetthet ansees som tilfredsstillende og representativ for norske husholdninger og i den kvantitative analysen benyttes derfor den samme diskrete fordelingen for varmeavgivelse fra personer som i screeningen.

Tabell 7.1-2 gir en oppsummering av samtlige fordelinger for brukerrelaterte inndatafaktorer som benyttes i kvantitativ sensitivitetsanalyse og videre i usikkerhetsanalyse av småhusmodellen og boligblokkmodellen.

TABELL 7.1-2: OPPSUMERING AV SANNSYNLIGHETSFORDELINGER

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	μ	Σ	Kommentar
Naturlig ventilasjon i drift vinter/ Naturlig ventilasjon i drift sommer	m ³ /hm ²	LN/ N	-0,877 / 2,04	0,485 / 0,27	(Brohus, et al., 2009)
Naturlig ventilasjon utenfor drift vinter/ Naturlig ventilasjon utenfor drift sommer	m ³ /hm ²	LN/N	-1,207/ 2,04	0,609/ 0,27	(Brohus, et al., 2009)
Naturlig ventilasjon start tidspunkt	klokkeslett	N	6,00	2,00	Stopper kl.24.00. Fordelingen fra: (Brohus, et al., 2009)
Belysning i drift	W/m ²	N	2,90	0,87	Veiledende verdi i NS3031:2007 (Standard Norge , 2007) med en variasjonskoeffisient på 30%
Belysning starter kl.	klokkeslett	β	-	-	$\alpha=2.0$; $\beta=6.0$; $a=4$; $b=24$. Forutsetter at belysning alltid slukker kl.24:00.
Teknisk utstyr i drift	W/m ²	N	4,00	1,20	Veiledende verdi i NS3031:2007 (Standard Norge , 2007) med en variasjonskoeffisient på 30%
Teknisk utstyr starter kl.	klokkeslett	β	-	-	$\alpha=2.0$; $\beta=6.0$; $a=4$; $b=24$. Forutsetter stans kl.24:00 for å få antall driftstimer.
Oppvarming av varmtvann	W/m ²	N	2,90	1,80	Fra målinger, se Vedlegg K
Varmeavgivelse fra personer i drift	W/m ²	D	-	-	Antall personer som er ganget med 90 W, dividert med m ² etter forutsetning i Vedlegg K.
Varmeavgivelse starter kl.	klokkeslett	N	6,00	2,00	Forutsetter at stans kl.24:00 for å få antall driftstimer
Settpunkttemperatur i drift	°C	N	21,50	1,60	Fra målinger, se Vedlegg K.
Settpunkttemperatur utenfor drift	°C	N	18,00	1,60	Forutsatt verdi
Varme på – starter kl.	Klokkeslett	N	6,00	2,00	Forutsetter at stans kl.24:00 for å få antall driftstimer

β =betafordeling, N=normalfordeling, U=uniform fordeling, D= diskrete fordeling

7.2. RESULTATER AV USIKKERHETSANALYSE

Fra screeninganalysen i Kapittel 6 så man hvilke inndatafaktorer som var sensitive i forhold til utdata og hvilke som var insensitive og dermed kunne gis en fast verdi uten å redusere nøyaktigheten av beregningen vesentlig. For å bestemme usikkerheten i estimatet av totalt netto energibehov og gjennomsnittlig temperatur i juli samt for å kvantifisere andelen av usikkerhet forårsaket av inndatafaktorene som viste seg å ha stor påvirkning på utdata fra screeninganalysen, er det valgt å kjøre Monte Carlo simuleringer hvor utvalget av verdier for simulering fra sannsynlighetsfordelingene er gjort ved hjelp av Latin Hypercube samplingmetode. Valg av samplingmetode er gjort for å sikre at hele variasjonsområdet for inndatafaktorene fra Tabell 7.1-2 på s. 64 blir dekket på den statistisk beste måten, ved færrest mulige sampler. Latin Hypercube er anbefalt som samplingmetode siden den tillater flere metoder for rangering av inndatafaktorene, inkludert den kraftige partielle rangeringskorrelasjonskoeffisienten (PRCC) (Iman, et al., 1988). Ved bruk av Latin Hypercube må man ha en sample på 1,5 ganger antallet av inndatafaktorer som benyttes, men det anbefales at størrelsen på sampelen er minst 10 ganger antallet av variabler, for å sikre at sampelen dekker hele variasjonsområdet for inndatafaktoren. (European Commissoin - IPSC, 2008) Det oppnås imidlertid stabile resultater etter 50-200 simuleringer (Saltelli, et al., 2004a). For den gjeldende analysen er det 13 stokastiske variabler, noe som tilsier at det bør være ca. 130 sampler. Det er imidlertid valgt å kjøre 200 simuleringer for å sikre at resultatene blir stabile.

Ut i fra samlingen av resultatene fra Monte Carlo simuleringene kan man gjennomføre en usikkerhetsanalyse. I usikkerhetsanalysen anvendes den sentrale grensesetning, som sier at det kumulative resultat av mange variabler, uavhengig av deres individuelle sannsynlighetsfordelinger, vil være karakterisert ved en normalfordeling. Usikkerhetsanalysen baserer seg derfor på middelerdien og standardavviket til den resulterende kumulative fordelingen (Macdonald, 2002). For å undersøke om de kumulative distribusjonene av totalt netto energibehov fra Monte Carlo simuleringene av småhusmodellen og boligblokken virkelig er normalfordelt er det gjennomført en Kolmogorov-Smirnov one-sample test hvor de kumulative distribusjonene fra simuleringresultatene sammenliknes med en kumulativ normalfordeling. Beregningene kan bli sett i Excel-filen *Kolmogorov-Smirnov på fordelinger fra SA* på vedlagt DVD i mappen *\Databehandling\Kolmogorov-Smirnov One-Sample test*.

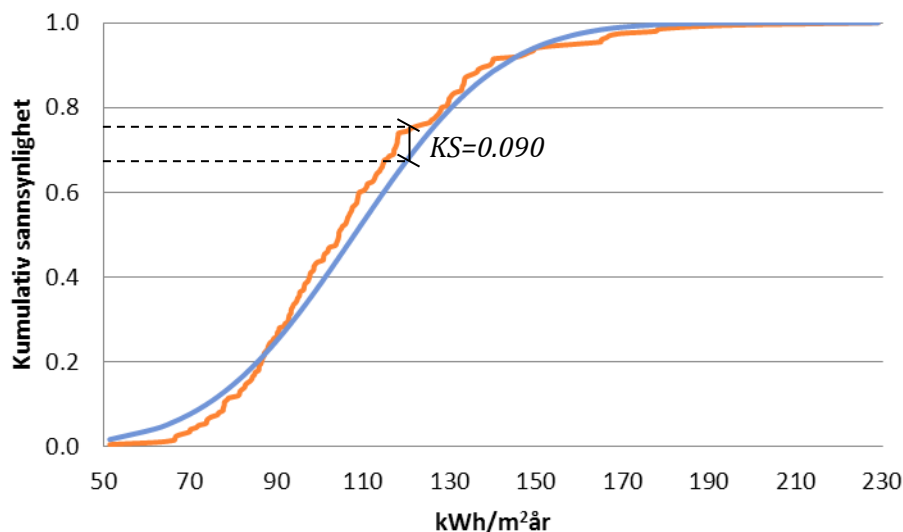
7.2.1 KOLMOGOROV-SMIRNOV ONE-SAMPLE TEST

Ved hjelp av Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test kan en med gitt signifikansnivå, α , si om datasettet stammer fra en normalfordelt populasjon med gjennomsnitt og standardavvik likt som for datasettet. Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test tar utgangspunkt i en nullhypotese:

H₀: De to distribusjoner stammer ikke fra samme populasjon.

Den maksimale absolutte avstanden mellom de to distribusjoner, KS , beregnes. Testens kristiskeverdi, KS_{α} , avgjør om nullhypotesen skal forkastes eller ikke. Hvis $KS < KS_{\alpha}$ forkastes nullhypotesen, hvis $KS \geq KS_{\alpha}$ aksepteres nullhypotesen. Utfyllende teori bak hypotesetesting og Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test med regneeksempel kan ses i Vedlegg M.

Figur 7.2-1 viser sammenligningen mellom normalfordeling og den kumulative fordelingen av energibehov per kvadratmeter per år for blokkhusmodellen.



FIGUR 7.2-1: SAMMENLIGNING AV NORMALFORDELING OG KUMULATIV FORDELING AV ENERGIBEHOVET FOR BLOKKHUSMODELLEN FRA MONTE CARLO SIMULERINGENE. $\mu=108,0$ og $\sigma=26,6$.

Som det fremkommer av Figur 7.2-1 er den maksimale absolutte avstand mellom de to distribusjoner funnet til å være, $KS=0,090$. Med signifikansnivå $\alpha=0,05$ og $n=200$ finnes den kritiske verdien til å være $KS_{\alpha}=0,096$, det vil si at nullhypotesen forkastes siden $KS < KS_{\alpha}$. Dette betyr at Kolmogorv-Smirnov One-Sample test gir grunnlag for å si med 95 % sikkerhet at energibehovet til blokkmodellen er normalfordelt med et gjennomsnitt på 108,0 kWh/m²år og standardavvik på 26,6 kWh/m²år.

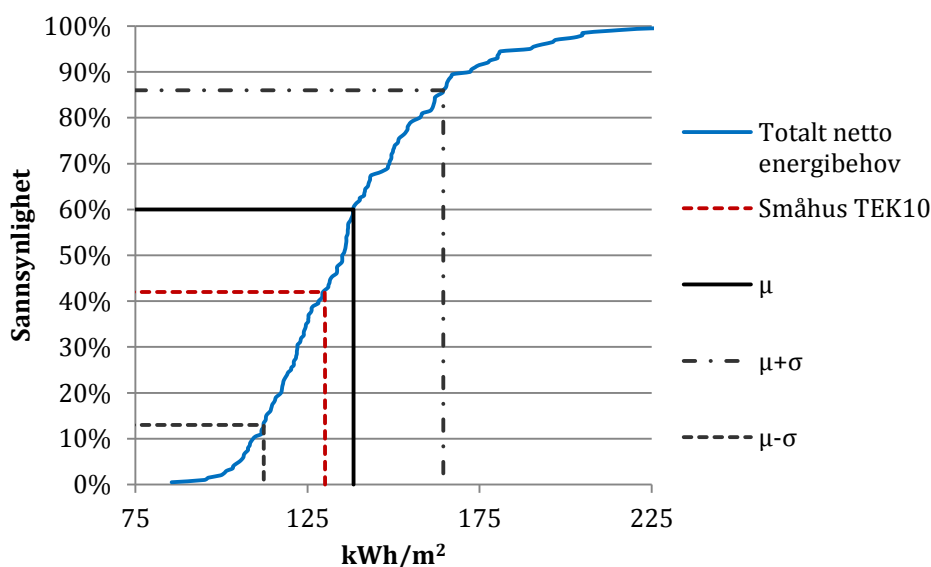
Tilsvarende test er gjort for småhusmodellen. Denne viste derimot at med signifikans på 0,05 er det ikke grunnlag for å konkludere at datasettet er normalfordelt. Med signifikansnivå på 0,1 kan en derimot forkaste H_0 og dermed ha grunnlag for å si med 90 % sikkerhet at datasettet er normalfordelt med et gjennomsnitt på 138,4 kWh/m²år og standardavvik på 26,2 kWh/m²år.

Ut i fra en sikkerhet på 90 % og 95 % om at samlingen av resultatene for totalt netto energibehov fra Monte Carlo simuleringene for henholdsvis småhusmodellen og boligblokkmodellen er normalfordelt, er det valgt å behandle de kumulative kurvene for totalt netto energibehov som normalfordelte og dermed benytte middelerverdi og standardavvik til å beskrive resultatene.

7.2.2 SMÅHUSMODELLEN

7.1.2.2 ENERGI

Figur 7.2-2 presenterer kumulativ fordeling av totalt netto energibehov for småhusmodellen med avmerking for myndighetskravene fra TEK10 for småhus samt avmerking av gjennomsnittsverdi og spredning.



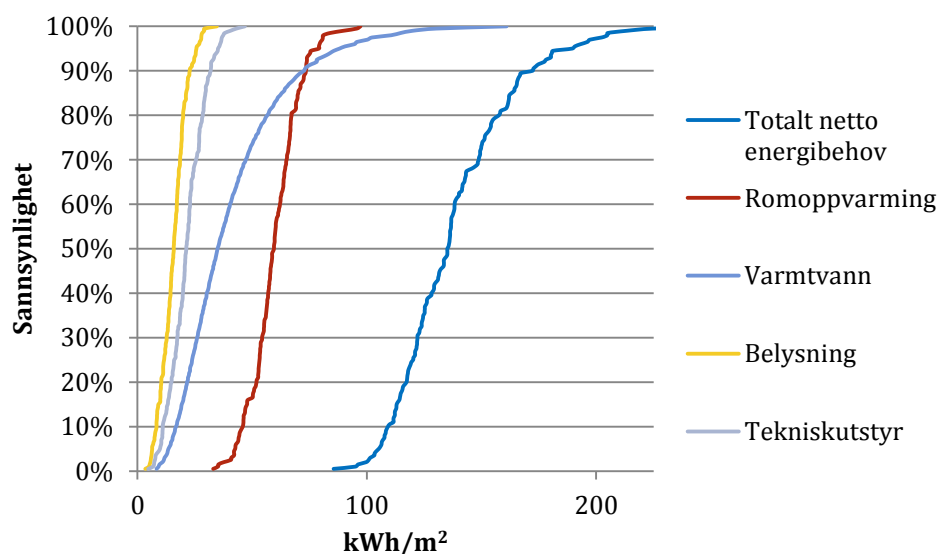
FIGUR 7.2-2: KUMULATIV KURVE OVER RESULTATER FRA MONTE CARLO SIMULERINGER FOR TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR SMÅHUSMODELLEN, $m=200$.

Fra Figur 7.2-2 kan en se at det er kun ca. 42 % sannsynlig at totalt netto årlig energibehov for småhusmodellen tilfredsstiller myndighetskravene i TEK10 som følge av variasjoner i energibruk forårsaket av brukeratferd. Gjennomsnittlig totalt netto energibehov for småhusmodellen ligger i henhold til Figur 7.2-2 på ca. 140 kWh/m² som dermed er 10 kWh/m² over myndighetskravet for en bolig på 160 m², hvilket illustrerer at det er 60 % sannsynlig at energibruket ligger under gjennomsnittet. Tabell 7.2-1 gir en oppsummering av sentrale statistiske mål for totalt netto energibehov for småhusmodellen tatt i betraktning variasjon i energibruk forårsaket av brukeratferd.

TABELL 7.2-1: OPPSUMMERING AV SENTRALE STATISTISKE MÅL AV TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR SMÅHUSMODELLEN

Totalt netto energibehov	
95 % konfidensintervall	[87,2 - 189,5]
Median	135,4
Gjennomsnitt	138,4
Standardavvik	26,1

Som en kan se fra Tabell 7.2-1 er det 95 % sikkert at det totale netto energibehovet til småhusmodellen ligger innenfor intervallet [87,2-189,5] når man inkluderer variasjoner forårsaket av brukeratferd i energiberegningen. Tabellen viser også at medianen for datasettet er 135 kWh/m² mens gjennomsnittet som sagt er 138 kWh/m². Dette underbygger antakelsen om at fordelingen av totalt netto energibehov er tilnærmet normalfordelt siden medianen og gjennomsnittet er tilnærmet like. Differansen mellom medianen og gjennomsnittet indikerer imidlertid at det er en enkelt eller noen få høye verdier som trekker opp gjennomsnittet en anelse. Standardavviket til datasettet er på 26.1 kWh/m² noe som fører til en variasjonskoeffisient $\delta \approx 20$ %. Figur 7.2-3 illustrerer hvilke energiposter som bidrar til spredning i totalt netto energibehov for småhusmodellen.

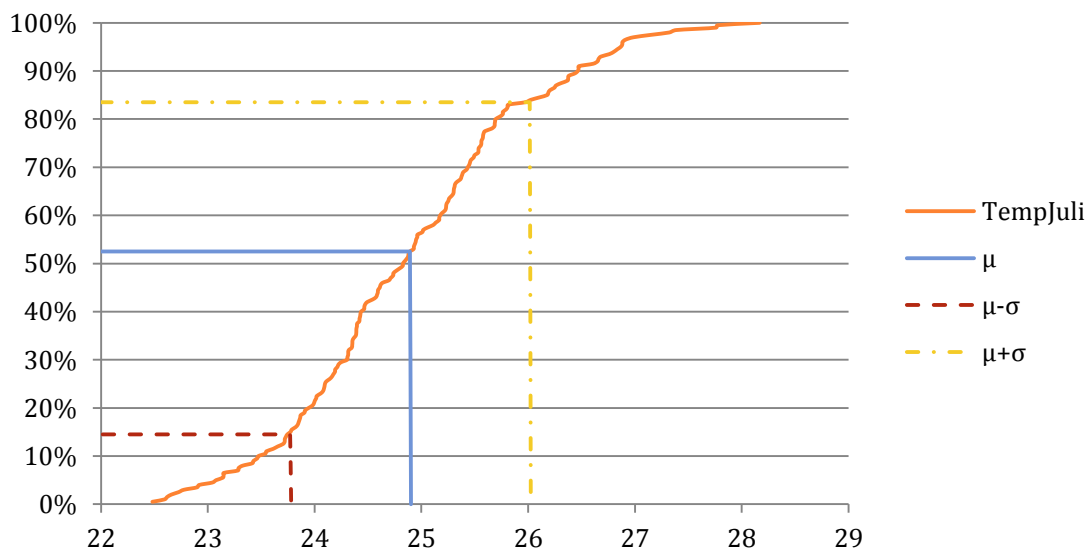


FIGUR 7.2-3: KUMULATIVE KURVER FOR BELYSNING, TEKNISK UTSTYR, VARMTVANN, ROMOPPVARMING OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR SMÅHUSMODELLEN.

De kumulative kurvene i Figur 7.2-3 illustrerer at variasjonen i energibehov til belysning, teknisk utstyr og romoppvarming er forholdsvis beskjedene mens variasjonen i forhold til energibehov til oppvarming av tappevann er noe mer betydelig og bidrar dermed mer til variasjon i totalt netto energibehov. Siden det kun er effektbehovet til oppvarming av tappevann som bidrar til energibehov til oppvarming av tappevann underbygger dette resultatene fra screeninganalysen hvor effektbehovet til oppvarming av tappevann ble sett å være den mest sensitive faktoren innenfor dens usikkerhetsintervall i forhold til totalt netto energibehov.

7.2.2.2 TERMISK

Figur 7.2-4 presenterer kumulativ kurve over gjennomsnittlig operativ temperaturer i juli. Som en kan se kan ulike brukeratferd føre til en viss spredning og for verdiene presentert i Figur 7.2-4 er variasjonskoeffisienten $\delta \approx 5\%$. Fra figuren kan en se at forventningsverdien er i underkant av 25°C og samlingen av resultater har en standard spredning som tilsier at temperaturen ligger mellom 23,8 °C og 26 °C over 60 % av tiden.



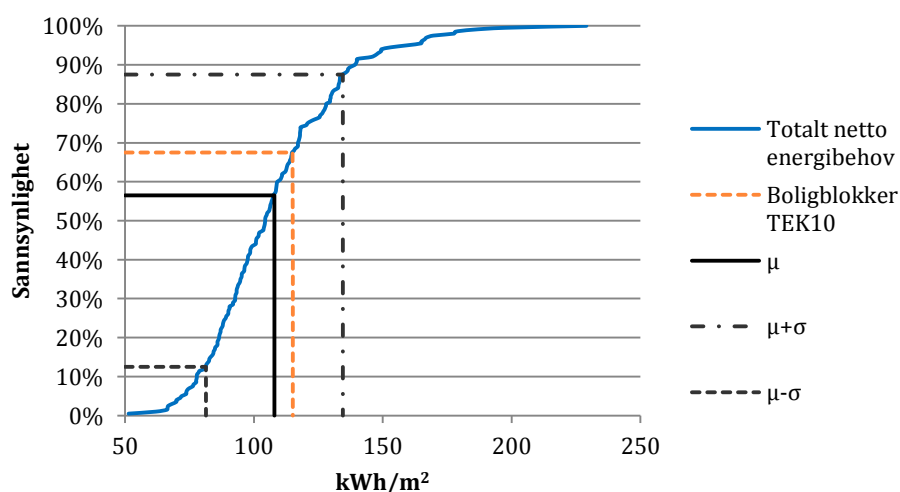
FIGUR 7.2-4: KUMULATIV FORDELING OVER GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI HVOR VARIASJON ER FORÅRSAKET AV BRUKERATFERD, $m=200$.

Gjennomsnittstemperaturene i Figur 7.2-4 tilsier at temperaturforholdene kan være forholdsvis høye i juli for noen av simuleringene. Dette kan komme av at modellen som benyttes ikke er helt velutviklet med tanke på termisk inneklimategning i juli, noe som ble nevnt i Kapittel 5 og illustrert i Vedlegg I.

7.2.3 BOLIGBLOKKMODELLEN

7.1.2.3 ENERGI

Kumulativ fordeling av totalt netto energibehov for boligblokkmodellen med avmerking for myndighetskravene fra TEK10 for boligblokk samt avmerking av gjennomsnittsverdi og spredning presenteres i Figur 7.2-5.



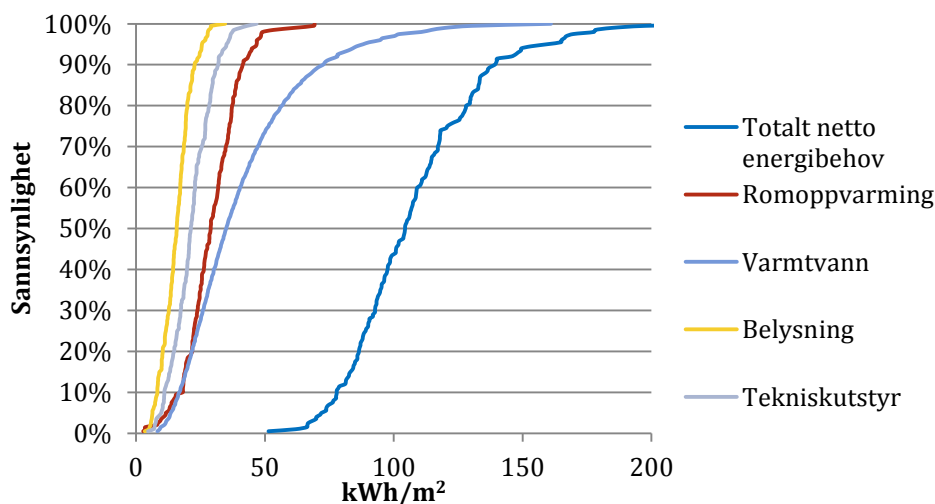
FIGUR 7.2-5: KUMULATIV KURVE OVER RESULTATER FRA MONTE CARLO SIMULERINGER FOR TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR BOLIGBLOKKMODELLEN, $m=200$.

Som en kan se fra Figur 7.2-5 er det ca. 68 % sannsynlig at myndighetskravet i TEK10 tilfredsstilles i boligblokkmodellen når man tar høyde for variasjoner i energibruk forårsaket av brukeratferd. Dette betyr at det er en noe høyere sannsynlighet for at myndighetskravet tilfredsstilles for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen med de gitte inndatafaktorene. En av årsakene til at det er større sannsynlighet for å tilfredsstille kravene i TEK10 for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen kan være at persontettheten og dermed varmeavgivelse fra personer per kvadratmeter er større i boligblokkmodellen og at dermed kreves mindre energi til romoppvarming i boligblokkmodellen. For boligblokkmodellen kan en se fra Figur 7.2-5 at gjennomsnittlig energibehov er ca. 110 kWh/m², som er 5 kWh/m² lavere enn myndighetskravet i TEK10, og en kan i tillegg se at det er ca. 57 % sannsynlig at det årlige energibehovet til en husholdning ligger under gjennomsnittet. Tabell 7.2-2 gir en oppsummering av sentrale statistiske mål for boligblokkmodellen.

TABELL 7.2-2: OPPSUMMERING AV SENTRALE STATISTISKE MÅL AV TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR BOLIGBLOKKMODELLEN

Totalt netto energibehov	
95 % konfidensintervall	[55,9 – 160,0]
Median	104,4
Gjennomsnitt	108,0
Standardavvik	26,6

Som en kan se fra Tabell 7.2-2 er det 95 % sannsynlig at totalt årlig netto energibehov for en husholdning i boligblokkmodellen ligger innenfor intervallet [55,9-160] kWh/m². I likhet med hva man så for småhusmodellen er medianen og gjennomsnittet tilnærmet like, med gjennomsnittverdi en anelse høyere enn medianen som indikerer at det er en enkelt eller noen få verdier som trekker opp gjennomsnittet. Standardavviket til resultatene av boligblokkmodellen er på 26,6 kWh/m² noe som fører til en variasjonskoeffisient $\delta \approx 25$ %. Dette er en noe større variasjonskoeffisient enn det man så for småhusmodellen. Figur 7.2-6 illustrerer hvilke energiposter som bidrar til spredning i totalt netto energibehov for boligblokkmodellen.

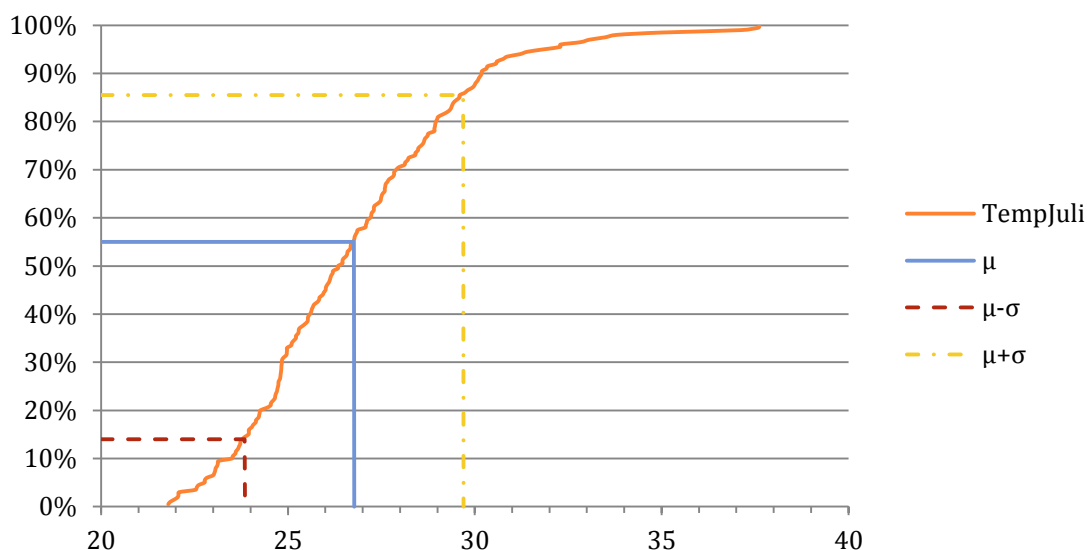


FIGUR 7.2-6: KUMULATIVE KURVER FOR BELYSNING, TEKNISK UTSTYR, VARMTVANN, ROMOPPVARMING OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR BOLIGBLOKKMODELLEN. $m=200$

Som en kan se fra Figur 7.2-6 er de kumulative kurvene for energibehov til belysning, teknisk utstyr og varmtvann identiske med det man så i Figur 7.2-3 for småhusmodellen. Energiforbruk til romoppvarming er imidlertid mindre for boligblokkmodellen som så sagt kan forklares av større persontetthet i boligblokkmodellen enn i småhusmodellen. Blokkmodellen har også et mindre fasadeareal per bruttoareal sammenlignet med småhusmodellen, hvilket bidrar til et mindre energibehov til romoppvarming.

7.2.2.3 TERMISK

Kumulativ fordeling av gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for boligblokkmodellen med avmerking av forventningsverdi og standard spredning er presentert i Figur 7.2-7.



FIGUR 7.2-7: KUMULATIV FORDELING OVER GJENNOMSNIITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI HVOR VARIASJON ER FORÅRSAKET AV BRUKERATFERD, $m=200$.

Som en kan se fra Figur 7.2-7 er det svært høye gjennomsnittstemperaturer som gjør seg gjeldende i juli for boligblokkmodellen. Mye av årsaken til de høye temperaturene er som sagt at

modellen som benyttes er lagd med henblikk på å tilfredsstille energikravene og at termisk inneklima er noe forsømt i denne sammenheng. Men selvfølgelig har det også stor påvirkning på temperaturforholdene at det i noen av simuleringene er meget store interne varmelaster og screeninganalysen i Kapittel 6 viste at varmeavgivelse fra personer var den mest sensitive brukerrelaterte faktoren for boligblokkmodellen. Man kan i tillegg se fra Figur 7.2-7 at det er større variasjon i temperaturforholdene for boligblokkmodellen enn hva som ble sett for småhusmodellen i Figur 7.2-4 og variasjonskoeffisienten for temperaturforholdene i boligblokkmodellen er 11 %.

7.3. RESULTATER AV KVANTITATIV SENSITIVITETSANALYSE

Når man benytter Latin Hypercube samplingmetode og kjører Monte Carlo simuleringer i SIMIEN kan man evaluere resultatene i SimLab ved hjelp av teknikker basert på regresjonsanalyse hvor SimLab blant annet beregner korrelasjonskoeffisientene PEAR, SRC og PCC og deres transformerte koeffisienter SPEA, SRRC og PRCC. Når variablene innenfor en sample er uavhengige vil PEAR og SRC gi samme resultat og det samme er gjeldende for de transformerte koeffisientene SPEA og SRRC (Helton, et al., 2003). Siden det i denne analysen ikke er lagt inn noen korrelasjoner for inndata er det derfor valgt kun å evaluere PEAR, PCC og deres transformerte koeffisienter. Monte Carlo, Latin Hypercube og de fire korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC ble kort beskrevet i Kapittel 4 og er mer utførlig beskrevet i Vedlegg E. En grafisk presentasjon av resultatene fra alle korrelasjonskoeffisientene og en mer detaljert analyse er gitt i Vedlegg N.

I henhold til (Hamby, 1994) er PRCC mye brukt i sensitivitetsanalyser (SA) og det er rapportert at det er et sterkt verktøy til å indikere sensitivitet for faktorer som er monotone, men ulineære. Det er gjennomført flere undersøkelser hvor ulike sensitivitetsmål er sammenliknet for å finne ut hvilke som gir pålitelige resultater. Saltelli og Marivoet (1990) har blant annet undersøkt noen utvalgte SA-metoder for å vurdere hvilke som gir best resultater for en ulineær modell. En av de konkluderende merknadene i (Saltelli, et al., 1990) var at ulike SA-teknikker kan generere ulikt resultat og rangering av sensitive faktorer også blant de som transformerte koeffisientene som skal være egnede for ikke-lineære modeller og at ulikhetene øker når samplestørrelsen reduseres. Dessuten konkluderte (Saltelli, et al., 1990) at estimatorene SRRC og PRCC generelt sett fremstår som de mest robuste og pålitelige indikatorene for ikke-lineære modeller. I følge (Helton, et al., 2003) gir SRRC og PRCC liknende, men ikke helt ekvivalente mål for variabelviktighet. Dette kommer av at SRRC karakteriserer effekten på utdata som et resultat av å påvirke en inndatafaktor med en fast fraksjon av dens standardavvik mens PRCC karakteriserer styrken av det lineære forholdet mellom inndata og utdata etter at en korreksjon er blitt gjennomført for de lineære effektene av andre inndatafaktorer (Helton, et al., 2003). Selv om SRRC og PRCC ikke er helt like vil bruk av deres absoluttverdier for å rangere faktorenes viktighet føre til identiske rangeringer når de individuelle inndatafaktorene er uavhengige (Helton, et al., 2003).

Det er nærliggende å tro at modellene som evalueres i dette prosjektet ikke er lineær på grunn av kompleksiteten i termodynamiske ligninger og det er dermed sannsynlig at de transformerte koeffisientene som er evaluert, SPEA og PRCC, gir et bedre mål på sensitivitet enn PEAR og PCC. På bakgrunn av indikasjonene fra (Hamby, 1994) om at PRCC er et mye bruk mål for sensitivitet og fra (Saltelli, et al., 1990) om at SRRC og PRCC er estimatorene som generelt ansees som mest

robuste og pålitelige for ikke-lineære modeller er det valgt å benytte PRCC som referanse ved oppsummering av de ulike inndatafaktorenes sensitivitet på totalt netto energibehov. Det skal likevel nevnes at siden det ikke er benyttet korrelasjoner mellom inndatafaktorene vil SPEA gi identiske resultater som SRRC og resultatene fra SPEA skal dermed også evalueres som robuste og pålitelige på samme linje med PRCC i denne analysen.

Fra de grafiske presentasjonene av resultatene i Vedlegg N kan man se at samtlige av estimatorenes korrelasjonskoeffisienter har noen underlige resultater for faktorer med ingen til lav sensitivitet i forhold til energi til varmtvann, belysning og teknisk utstyr. Dette problemet har blitt adressert i (Saltelli, et al., 1990) hvor det er forklart at dersom det er mange inndatafaktorer som ikke er korrelert med utdata, $y_i=0$, vil utdatavektoren Y bestå av mange nuller og dette vil resultere i et stort antall forbindelser når rangering blir gjort, noe som vil føre til problemer for de fleste av SA-teknikkene.

7.3.1 SMÅHUSMODELLEN

I det følgende gjennomgås den kvantitative sensitivitetsanalysen mellom brukerrelaterte inndatafaktorer og totalt netto energibehov og gjennomsnittlig innendørstemperatur i juli for småhusmodellen.

7.1.3.1 ENERGI

Fra screeninganalysen så en at effektbehov til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon i drift, settpunkttemperatur i drift og varmeavgivelse fra personer var de fire mest sensitive inndatafaktorene for småhusmodellen. Som tidligere nevnt ble det gjort vurderinger i forhold til å forbedre disse fordelingene og endringer i fordelingene for varmtvann og naturlig ventilasjon i og utenfor drift om vinteren ble utført.

I Tabell 7.3-1 fremkommer en oppsummering og rangering av resultatene fra den kvantitative analysen av totalt netto energibehov for de forskjellige metodene. Tabell 7.3-1 oppgir i tillegg en prosentvis andel av usikkerheten til totalt netto energibehov forårsaket av brukeratferd som kan tillegges de forskjellige inndatafaktorene for de ulike metodene. Korrelasjonskoeffisienter lik 0 er utelatt for å unngå ulik rangering av inndatafaktorer som ikke har noen betydning.

TABELL 7.3-1: RESULTERENDE KORRELASJONSKOEFFISIENTER MELLOM INNDATAFAKTORER OG TOTALT NETTO ENERGIBRUK FOR SMÅHUSMODELLEN. TABELLEN GIR RANGERING OG PROSENTVIS ANGIVELSE AV HVOR STOR DEL AV USIKKERHETENKNYTTET TIL BRUKERATFERD SOM KAN TILDELES DEN GITTE FAKTOR I HENHOLD TIL DE ULIKE METODENE. VERDIER MED KORRELASJON=0 ER UTELATT.

Inndatafaktor	PRCC			SPEA			PCC			PEAR		
	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang
Varmtvann	0,97	22 %	1	0,9	45 %	1	1	12 %	1	0,94	47 %	1
Settpunkttemp. ON	0,77	17 %	2	0,29	14 %	2	0,96	12 %	2	0,20	10 %	3
Naturlig vent. ON	0,57	13 %	3	0,25	12 %	3	0,9	11 %	3	0,23	11 %	2
Personer ON	-0,41	9 %	4	-0,14	7 %	4	-0,84	10 %	4	-0,15	7 %	5
Starttid settpunkttemp.	-0,30	7 %	5	-0,01	0 %	11	-0,59	7 %	8	-0,04	2 %	9
El. Utstyr ON	0,28	6 %	6	-0,06	3 %	8	0,75	9 %	5	-0,05	2 %	8
Starttid el. utstyr	-0,26	6 %	7	-0,12	6 %	5	-0,56	7 %	9	-0,17	8 %	4
Naturlig vent. OFF	0,25	6 %	8	0,11	5 %	6	0,63	8 %	7	0,07	3 %	6
Settpunkttemp. OFF	0,23	5 %	9	0,02	1 %	10	0,54	7 %	10	0,04	2 %	10
Belysning ON	0,22	5 %	10	0,01	0 %	12	0,66	8 %	6	0,02	1 %	12
Starttid naturlig vent.	-0,07	2 %	11	0	0 %	-	-0,16	2 %	12	0,01	0 %	13
Starttid belysning	-0,05	1 %	12	-0,06	3 %	7	-0,41	5 %	11	-0,06	3 %	7
Starttid personer	0,04	1 %	13	0,05	2 %	9	0,10	1 %	13	-0,03	1 %	11

Fra resultatene i Tabell 7.3-1 kan en se at det er godt samsvar mellom rangeringen av de fire mest innflytelsesrike faktorene varmtvann, settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer for alle estimatorene med unntak av rangeringen for PEAR. I Tabell 7.3-1 vises det at PEAR tillegger effektbehovet til oppvarming av tappevann 47 % av usikkerheten knyttet til totalt netto energibehov, noe som er over dobbel så stor andel som PRCC tillegger det samme effektbehovet. Dette kan muligens indikere at PEAR overestimerer korrelasjonen mellom effektbehov til oppvarming av tappevann og totalt netto energibehov. Man kan imidlertid også se at SPEA tilsier at effektbehov til oppvarming av tappevann kan forklare 45 % av variasjonen i energibehov forårsaket av brukeratferd og dermed er overestimeringen fra PEAR kanskje ikke så stor. Ved å studere verdiene i

mer inngående kan man se at effekt til elektrisk utstyr har positiv korrelasjon for PCC og PRCC, men negativ korrelasjon for SPEA og PEAR. Det er mest fornuftig at økt effektbehovet til elektrisk utstyr vil føre til økt effekt for totalt netto energibehov. Det er også nærliggende å tro at variasjon i effektbehovet til belysning vil bidra til variasjon i totalt netto energibehov, noe det ikke gjør i henhold til SPEA. Ut i fra dette er det antatt at PRCC gir de mest troverdige resultatene. I henhold til PRCC kan man se at de fire mest sensitive faktorene; effektbehov til oppvarming av tappevann, settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer utgjør over 60 % av usikkerheten i totalt netto energibehov forårsaket av brukeratferd.

7.2.3.1 TERMISK

Fra screeninganalysen husker vi at faktorer relatert til intern varmebelastning var rangert som de mest sensitive faktorene i forhold til gjennomsnittlig temperatur i juli etterfulgt av naturlig ventilasjon i drift. Man så imidlertid at settpunkttemperatur i drift også gjorde seg gjeldende som en av de sensitive faktorene i forhold til gjennomsnittlig temperatur i juli, noe som i grunnen er noe merkelig siden det ikke skal være nødvendig med oppvarming i juli. Ved å gjennomføre simuleringer med en fast settpunkttemperatur på 18 °C viste flere av simuleringsresultatene at temperaturene kunne synke til under 20 °C i løpet av natten noe som indikerer at varmeanlegget vil slå seg på dersom settpunkttemperaturen er høyere enn dette. Dette viste seg også gjeldende ved å gjennomføre en analyse med stokastiske verdier for settpunkttemperaturer og start av varmeanlegg hvor man så at settpunkttemperatur hadde en positiv korrelasjon med den gjennomsnittlige innendørstemperaturen i juli mens starttid for settpunkt i drift hadde en negativ korrelasjon. Resultatene fra denne undersøkelsen er vist grafisk i Vedlegg N. Det er imidlertid antatt at det er vanlig å ha varmeanlegget avslått i juli måned og den følgende kvantitative analysen er derfor utført på simuleringer uten stokastisk inndata for settpunkttemperatur og starttid for settpunkt samt uten oppvarming av tappevann som stokastisk inndata siden effektbehov til oppvarming av tappevann ikke skal ha noen innflytelse på innetemperaturen når man antar at alle varmtvannsledninger er godt isolerte slik at de ikke har noe varmetap. For de resterende brukeravhengige faktorene er inndata stokastisk i henhold til Tabell 7.1-2.

Korrelasjonskoeffisientene mellom inndatafaktorer og gjennomsnittlig temperatur i juli for PRCC, SPEA, PCC og PEAR er gitt i Tabell 7.3-2. I likhet med oversikten for energibruk er PRCC brukt som referanseestimator ved sammenlikning av resultatene for de ulike metodene.

Resulterende korrelasjonskoeffisienter for PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom inndatafaktorer og gjennomsnittlig temperatur i juli for småhusmodellen. Tabellen gir rangering av inndatafaktorene for de ulike metodene og prosentvis angivelse av hvor stor del av usikkerheten knyttet til brukeratferd som kan tildeles den gitte faktor i henhold til de ulike metodene.

TABELL 7.3-2: RESULTERENDE KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR PEAR, SPEA, PCC OG PRCC MELLOM INNDATAFAKTORER OG GJENNOMSNITTLIG INNENDØRSTEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. TABELLEN GIR RANGERING AV INNDATAFAKTORENE FOR DE ULIKE METODENE OG PROSENTVIS ANGIVELSE AV HVOR STOR DEL AV USIKKERHETEN KNYTTET TIL BRUKERATFERD SOM TILDELES DEN GITTE FAKTOR I HENHOLD TIL DE ULIKE METODENE.

Inndatafaktor	PRCC			SPEA			PCC			PEAR		
	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang	Verdi	%	Rang
El. utstyr ON	0,8	17 %	1	0,49	19 %	1	0,94	15 %	1	0,53	19 %	2
Personer	0,73	15 %	2	0,48	18 %	2	0,92	15 %	2	0,54	19 %	1
Starttid el. utstyr	-0,71	15 %	3	-0,41	16 %	3	-0,89	14 %	4	-0,42	15 %	3
Belysning ON	0,71	15 %	4	0,37	14 %	4	0,91	14 %	3	0,4	14 %	4
Naturlig vent. ON	-0,66	14 %	5	-0,32	12 %	5	-0,87	14 %	5	-0,34	12 %	5
Starttid belysning	-0,52	11 %	6	-0,27	10 %	6	0,79	12 %	6	-0,29	10 %	6
Naturlig vent. OFF	-0,27	6 %	7	-0,14	5 %	7	-0,56	9 %	7	-0,13	5 %	7
Starttid personer	0,25	5 %	8	0,08	3 %	8	0,29	5 %	8	0,06	2 %	8
Starttid naturlig vent.	0	0 %	9	0,04	2 %	9	0,11	2 %	9	0,06	2 %	9

Som en kan se fra Tabell 7.3-2 er det identisk rangering av faktorene mellom PRCC og SPEA og det er kun noen få avvikelser for PCC og PEAR. Den prosentvise andelen av usikkerhet som tillegges de ulike faktorene er i tillegg forholdsvis lik mellom de ulike estimatorene. Det antas imidlertid at PRCC gir best tilnærming av resultatene i denne analysen også, siden det faktisk er like fordelinger som benyttes for naturlig ventilasjon i drift og utenfor drift og at starttidspunkt for naturlig ventilasjon i drift dermed ikke skal ha noe noen betydning slik det gjenspeiles av PRCC. Årsaken til at ulik usikkerhet tillegges naturlig ventilasjon i drift og utenfor drift er imidlertid forårsaket at ulike tidsperioder for disse to faktorene. Ut i fra dette kan det sies at elektrisk utstyr i drift har størst innflytelse innenfor dens usikkerhetsintervall og kan tillegges å stå for 17 % av variasjonene i gjennomsnittlig temperatur i juli tett etterfulgt av varmeavgivelse fra personer, starttid for elektrisk utstyr, effekt til belysning og naturlig ventilasjon som hver står for ca. 15 % av variasjonene av gjennomsnittlig temperatur i juli.

7.3.2 BOLIGBLOKKMODELLEN

Samme oppsummerende analyse som er vist for småhusmodellen er også utført for boligblokkmodellen og kan sees i Vedlegg O. Resultatene viser i likhet med hva man så for småhusmodellen at de fire mest innflytelsesrike brukerrelaterte faktorene; effektbehovet til oppvarming av tappevann, varmeavgivelse fra personer, settpunkttemperatur i drift og naturlig ventilasjon i drift kan forklare over 60 % av variasjonen i totalt netto energibehov forårsaket av brukeratferd, men at varmeavgivelse fra personer er tillagt en større andel av usikkerheten for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen. For boligblokkmodellen kan man også se at varmeavgivelse fra personer er tillagt en større andel av usikkerheten i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli på 22 % i forhold til 15 % i småhusmodellen og er dermed rangert som den mest sensitive faktoren i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli. Effektbehovet til elektrisk utstyr og belysning samt naturlig ventilasjon i drift er faktorene med sterkest korrelasjon etter varmeavgivelse fra personer. Energibruk til elektrisk utstyr og belysning går over til varme og vil sammen med varmeavgivelsen fra personer bidra til økt innendørstemperatur, mens økte ventilasjonsmengder bidrar til redusert temperatur.

7.4. DELDISKUSJON

Siden effektbehovet til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon, varmeavgivelse fra personer og settpunkttemperatur for varmeanlegg i driftstid ble ansett som de viktigste sensitive faktorene i henhold til screeninganalysen ble det gjennomført et videre studium med mål om å forbedre estimeringen av disse faktorene. For samtlige faktorer var det vanskelig å finne mer data fra målinger i litteraturen. Ut i fra nøkkeltall fra vannregisteret til folkehelseinstituttet ble det beregnet effektbehov til oppvarming av tappevann ut i fra antakelse om at 1/3 av vannforbruket i en husholdning går til varmt forbruksvann. Fordelingen for naturlig ventilasjon i drift ble revurdert og logaritmisk normalfordeling ble ansett som en bedre fysisk tilnærkelse enn normalfordeling som var brukt under screeninganalysen. For settpunkttemperatur i drift og varmeavgivelse fra personer ble det valgt å benytte fordelingen fra screeninganalysen siden fordelingen for settpunkttemperatur var godt gjennomarbeidet før screeningen og varmeavgivelse per person på 90 W ansees som virkelighetsnær samt at antall personer belager seg på statistikk over husholdningsmedlemmer i norske husholdninger og ansees derfor som representativ for norske forhold.

Monte Carlo analyse basert på data utvalgt ved hjelp av Latin Hypercube samplingmetode ble benyttet for å kvantifisere usikkerheten knyttet til energibehov og termisk inneklima forårsaket av brukeratferd, samt kvantifisere hvor stor usikkerhet i utdata de ulike inndatafaktorene bidrar med ved hjelp av korrelasjonsanalyse. Usikkerhetsanalysen av resultatene for totalt netto energibehov viste at det var forholdsvis store variasjoner i energibehov forårsaket av brukeratferd for begge modellene med variasjonskoeffisienter på ca. 20 % og 25 % for henholdsvis småhusmodellen og boligblokkmodellen. Med 95 % sikkerhet kunne man si at det årlige totale netto energibehovet for småhusmodellen og boligblokkmodellen ligger mellom henholdsvis 87,2-189,5 kWh/m²år og 55,9-160,0 kWh/m²år. Ut i fra den kumulative fordelingen av resultatene kunne man se at det kun er en sannsynlighet for å tilfredsstille kravene i TEK10 på henholdsvis 42 % for småhusmodellen og 68 % for blokkmodellen når man tar variasjonene forårsaket av brukeratferd inn i betraktning. Dersom man i tillegg hadde betraktet usikkerhet i forhold til variasjoner i uteklimate og bygningskonstruksjonskvalitet kan man formode at det kun ville vært ca. 30 % og ca. 50 % sannsynlig å tilfredsstille kravene i TEK10 ut i fra antakelsen at brukeratferd utgjør ca. 70 % av usikkerheten av totalt netto energibehov og variasjoner i uteklimate og bygningskonstruksjonskvalitet utgjør de resterende 30 % av usikkerheten. Samtlige av inndatafordelingene er like for de to modellene som er evaluert i dette prosjektet, men årsaken til at det er større sannsynlighet for at boligblokkmodellen tilfredsstiller kravene i TEK10 enn det er for småhusmodellen er at varmeavgivelse fra personer som nevnt er større per kvadratmeter for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen noe som påvirker energi til romoppvarming og innetemperatur. I forhold til energibehov har større persontetthet dermed en positiv effekt ved at energibehov til oppvarming reduseres. Kumulative distribusjoner for gjennomsnittlig operativ temperatur i juli viste imidlertid at stor persontetthet hadde negativ effekt på termisk komfort ved at det var svært høye temperaturforhold for mange av simuleringene med boligblokkmodellen. Forventningsverdien for samlingen av resultatene var på 26 °C for boligblokkmodellen og i underkant av 25 °C for småhusmodellen. Variasjonskoeffisientene var på henholdsvis 11 % og 5 %. Det ble illustrert i Kapittel 5 at begge modellene som benyttes i dette prosjektet faktisk ikke er særlig gode i forhold til termisk inneklima ved at temperaturen er over 26 °C store deler av juli også når man benytter standard inndataverdier fra NS3031, se for øvrig Vedlegg I. Dette utgangspunktet setter begrensninger i

forhold til evaluering av termisk inneklima forårsaket av brukeratferd siden det da slett ikke bare er brukeratferd som forårsaker de høye temperaturene man ser. Man kan imidlertid se at variasjonene av gjennomsnittlig operativ temperatur i juli er mindre enn variasjonene man så at brukeratferd forårsaker for energibehovet. Dette kommer sannsynligvis av at temperaturforholdene om sommeren er sterkere korrelert til uteklima enn til brukeratferd.

Siden modellene som er evaluert i dette prosjektet er forholdsvis komplekse er det nærliggende og tro at transformerte koeffisienter er best egnet til å evaluere utdataresultatene. Ved å evaluere PRCC så man at effektbehovet til oppvarming av tappevann var rangert som den mest sensitive faktoren og den ble tillagt ca. 20 % av usikkerheten i estimatet av totalt netto energibehov for både småhusmodellen og boligblokkmodellen. Kumulative distribusjoner av energibehovet til varmtvann, romoppvarming, belysning, elektrisk utstyr og totalt energibehov som ble presentert i usikkerhetsanalysen kunne ansees som forklarende i forhold til resultatene fra sensitivitetsanalysene ved at man så at spredning av energibehov til varmtvann var forholdsvis mye større enn spredning av både energibehov til romoppvarming, belysning og elektrisk utstyr. Spredningen av energibehov til varmtvann er dermed avgjørende for spredning av totalt netto energibehov. Dette er også i overensstemmelse med resultater fra masteroppgaven til Oddvar Nesland (2010) hvor det ble observert til dels store variasjoner i energibruk mellom fem leiligheter bygget etter lavenergi- og passivhusstandard forårsaket av brukeratferd og at energibruket til varmt tappevann var blant energipostene som viste størst variasjoner. Årsaken til at forbruk av varmtvann har så mye å si for modellene som evalueres i dette prosjektet er at modellene er konstruert etter nye forskriftskrav i TEK10, det vil si at det er godt isolerte boliger med forholdsvis lite glassareal noe som fører til et forholdsvis lavt oppvarmingsbehov. I nye lavenergi- og passivhusboliger vil den relative innflytelsen av varmtvannforbruk på det totale netto energibehovet dermed være større enn for eldre boliger. For småhusmodellen var effektbehovet til oppvarming av tappevann etterfulgt av settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer sett å være de mest sensitive faktorene, mens for boligblokkmodellen ble varmeavgivelse fra personer rangert som den nest mest sensitive faktoren og etterfulgt av settpunkttemperatur i drift og naturlig ventilasjon i drift. For begge modellene ble de fire mest sensitive faktorene til sammen tillagt over 60 % av usikkerheten i totalt netto energibehov. I forhold til sensitive faktorer for gjennomsnittlig operativ temperatur i juli så man i likhet med screeninganalysen at varmeavgivelse fra personer var en noe mer sensitiv faktor i boligblokkmodellen enn småhusmodellen og den ble tillagt henholdsvis 22 % og 15 % av usikkerheten i gjennomsnittlig operativ temperatur i juli. Rangeringen av de tre mest sensitive faktorene i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli for boligblokkmodellen var varmeavgivelse fra personer, effektbehov til elektrisk utstyr i drift og effektbehov til belysning i drift, mens rangeringen for småhusmodellen var effektbehov til elektrisk utstyr i drift, varmeavgivelse fra personer og starttid elektrisk utstyr. Alle med en positiv korrelasjon til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli.

Generelt sett indikerer resultatene at brukeratferd fører til stor usikkerhet ved energi- og inneklimaberegninger. Analysen som er behandlet i dette kapittelet baserer seg imidlertid på data hentet fra Norge, Sverige, Danmark, Tyskland, Østerrike og Sveits og antakelser basert på norske standarder og dansk veiledning. Dette indikerer at det er et forholdsvis generelt dataunderlag. Litteraturen har indikert at sosiologiske og økonomiske faktorer kan ha stor innflytelse på en husholdnings energibruk. Dette kan tyde på at dersom man strukturerer

virkeligheten og grupperer husholdninger etter sosiologiske og økonomiske faktorer og danner sannsynlighetsfordelinger for brukerrelaterte faktorer på bakgrunn av disse grupperingene, kan man muligens oppnå mindre variasjoner og dermed mindre usikkerhet i forhold til beregning av energi- og inneklimategning for en gitt husholdning.

I tillegg indikerer resultatene at det bør legges fokus på å studere brukeratferd i forhold til varmtvannsforbruk, romoppvarming og ventileringsvaner samt benytte statistikk over antall personer for husholdninger som bor i henholdsvis hus og leiligheter ved beregninger av disse bygningskategoriene for å få et bedre estimat av varmeavgivelse fra personer. Det skal også nevnes at det er antatt at inndatafaktorene er uavhengige i de foregående analysene, noe de sannsynligvis ikke er i virkeligheten. Det bør derfor gjennomføres nærmere studier på korrelasjoner mellom inndata.

KAPITTEL 8 - BRUKERPROFILER

Fra Kapittel 7 så man at brukeratferd kan føre til store variasjoner i totalt netto energibehov for en husholdning og at det dermed er en forholdsvis stor usikkerheten knyttet til hva energibehovet til en husholdning vil være ved energiberegninger. I dette kapitlet vurderes det hvordan brukerprofiler for ulike husholdningstyper kan etableres for å redusere variasjonsbredden av beregnet energibehov for en gitt husholdning slik at det kan bli en mer nøyaktig beregning enn om man beregner ut i fra inndata som baserer seg på generelle målinger og antakelser ut i fra norske eller europeiske forhold. Begrepet brukerprofil benyttes i det følgende som en betegnelse for å beskrive grupperinger av husholdninger med lik sosiologisk og økonomisk karakteristikk. Kapitlet begynner med et kort avsnitt om hvorfor det er fordelaktig å danne brukerprofiler for ulike husholdninger. Deretter blir det gitt en vurdering av hvilken fremgangsmåte som ansees som egnet for å danne brukerprofiler for ulike husholdningstyper når brukerprofilens oppgave er å innfange husholdningens brukeratferd. Kapitlet avsluttes med et casestudie basert på målinger for husholdninger i Sverige som illustrerer hvordan brukerprofiler kan dannes ved hjelp av klyngeanalyse og helt avslutningsvis inneholder kapitlet en deldiskusjon som vurderer fremgangsmåten og resultatene oppnådd i casestudiet.

8.1. HVORFOR BRUKERPROFILER?

Det kan være en fordel å strukturere og forenkle virkeligheten ved å danne representative brukerprofiler som representerer ulike typer husholdninger med ulik sosiologisk og økonomisk karakteristikk siden man i Kapittel 1 så at både sosiologisk og økonomisk karakteristikk kan ha stor innflytelse på en husholdnings brukeratferd og dermed energibruk. Ved å beregne energibehovet til en gitt husholdning ut i fra data for en brukerprofil som er representativ for denne husholdningen kan man dermed sannsynligvis redusere intervallet det er sannsynlig at energibruket til den gitte husholdningen vil ligge innenfor i forhold til om man beregner energibruket med referanse til generell data fra Norge, Norden eller Nord-Europa slik det ble gjort i Kapittel 7. Benyttelse av brukerprofiler kan dermed redusere usikkerheten ved beregning av energibruk til en gitt husholdning.

Brukerprofiler bør bestemmes ved å analysere målinger og informasjon fra feltundersøkelser hvor påvirkningen fra den virkelige brukeratferd allerede er inkludert. Datasettet som legges til grunn for dannelse av brukerprofiler bør representere befolkningen på best mulig vis i forhold til demografiske parametere og inneholde målinger på energibruk, inn klima og sosiale og økonomiske faktorer siden litteraturen har vist at energibruk er sterkt knyttet til blant annet inntekt, boligareal, antall personer i husholdningen, alder på personer i husholdningen og preferanser til inn klima.

8.2. METODER FOR Å DANNE BRUKERPROFILER

I Vedlegg P er det gitt noen eksempler på hvordan tidligere studier har vurdert og strukturert brukerrelaterte faktorer og brukeratferd. Tabell 8.2-1 gir en kort oppsummering av fordeler og

ulempene ved de ulike utvalgte metodene beskrevet i Vedlegg P. Som en kan se fra Tabell 8.2-1 belager både faktoranalyse og predefinert brukermønstre seg til en viss grad på subjektive inndelinger som kan føre til bias. Klyngeanalyse og beslutningstremodell er imidlertid mer objektive, men begge metodene er avhengige av et stort datasett dersom formålet er å sikre at klyngene eller modellen representerer befolkningen. En stor fordel med klyngeanalyse er at metoden er forholdsvis enkel og gjennomføre og det er derfor besluttet å benytte klyngeanalyse for å forsøke å danne brukerprofiler i dette prosjektet.

TABELL 8.2-1: OPPDUMMERING AV FORDELER OG ULEMPER VED METODER SOM KAN BENYTTES TIL Å DANNE BRUKERPROFILER.

Metode	Fordeler	Ulemper
Klyngeanalyse	- Enkel å gjennomføre - Samler observasjoner med like egenskaper slik at det blir enklere å oppdage forskjeller og struktur i datasettet - Kan gi et raskt overblikk over data - God hvis det er mange grupper i dataen - God hvis dataen har likheter som er uvanlige - Kan være lett for brukere av metoden og vurdere om data er rett klassifisert	- Krever stort datasett - Det kan i virkeligheten være vanskelig å dele et datasett opp i distinkte grupper siden ett objekt gjerne kan ha likheter med flere grupper samtidig som det kun kan bli plassert i en gruppe. Dette kan føre til at analysen må gjentas flere ganger - Kan være sensitivt til valget av det første klyngesenter - En observasjon kan kun bli plassert i en klynge
Faktoranalyse	- Reduserer antallet variabler - Identifiserer struktur i datasettet og styrken på korrelasjoner mellom variabler - Forholdsvis lett og kostnadseffektiv å gjennomføre - Identifiserer grupper med sammenhørende variabler - Kan brukes til å identifisere skjulte konstruksjoner som ikke fremkommer fra direkte analyse	- Man må ha en formening om korrelasjon mellom variabler, noe som kan føre til bias. - Subjektiv prosess - Inndelingen i faktorer kan kreve en tilstrekkelig bakgrunnskunnskap av teorien, siden mange attributter kan være sterkt korrelert uten noen spesiell grunn.
Beslutningstre	- Visualiserer en algoritme slik at det blir enklere å forstå og tolke strukturen i datasettet samt forutsi hendelser - Har nytte, selv ved lite data - Kan bli kombinert med andre beslutningsteknikker - Trenger ingen antagelser om dataen - Kan benytte både numeriske og kategoriske datasett	- Belager seg kun på historisk data, ny teknologi kan dermed ikke modelleres i denne modellen. - Utdataattributt må være kategorisk - Begrenset til én utdataattributt - Beslutningstrealgoritmer er ustabile - Beslutningstrær laget med numeriske datasett kan være komplekse
Predefinerte brukermønstre	- Kan benyttes når for eksempel klyngeanalyse ikke fører til distinkte grupper.	- Skjønnsmessige utvelgelse av de variabler som danner grunnlaget for den binære rangeringen og videre gruppering av datasettet

8.3. UTARBEIDELSE AV BRUKERPROFILER VED HJELP AV KLYNGEANALYSE

I det følgende blir det gitt en beskrivelse av hvordan brukerprofiler for ulike husholdninger kan dannes ved hjelp av klyngeanalyse, dette er illustrert med en casestudie basert på målinger av husholdninger i Sverige. En mer detaljert beskrivelse med det matematiske grunnlaget er gitt i Vedlegg R og alle beregninger er lagt inn i mappen *Klyngeanalyse* på vedlagt DVD.

8.3.1 DATABASE

For å danne brukerprofiler for ulike brukeratferd som påvirker energibruken i en bolig er det i dette prosjektet benyttet et datasett mottatt av Energimyndigheten i Sverige fra prosjektet *End-use metering campaign in 400 households in Sweden*¹, denne databasen er nærmere beskrevet i Vedlegg Q. Den videre analysen belager seg på et utvalg av 122 husholdninger fra den totale databasen med 350 husholdninger med brukbar data. Det er den tidsmessige rammen på dette prosjektet som er årsaken til at den videre analyse kun belager seg på et utvalg av databasen. Utvalget på 122 husholdninger har god overensstemmelse med de originale dataene når det gjelder sosioøkonomiske forhold, noe som er evaluert i Vedlegg Q. For å undersøke om målingene fra Sverige er nogen lunde representative for norske forhold er det i tillegg gjort en enkel sammenligning mellom Norge og Sverige som kan sees i Vedlegg Q. Sammenligningen viste at klimatiske forhold, energirelaterte bygningskrav samt husholdningsstørrelse var forholdsvis like, mens priser på elektrisitet var høyere i Sverige enn i Norge i den perioden som målingene ble utført. Sammenligningen illustrer imidlertid ikke at test-casen kan generaliseres til å gjelde for Norge, men det indikerer at noen liknende grupper kanskje kan være mulig å identifisere dersom man behandler data fra Norge.

Datasettet inneholder kun målinger av sluttbruk av elektrisitet samt temperaturmålinger. I tillegg inneholder datasettet informasjon om antall husholdningsmedlemmer og alder på husholdningsmedlemmene, husholdningsinntekt, areal og boligtype. Parameterne som representerer sosiologiske og økonomiske faktorer og brukerrelatert karakteristik er identifisert i datasettet før klyngeanalysen gjennomføres, Tabell 8.3-1 gir en oversikt over disse parameterne som i det følgende kalles attributter.

¹ Betingelsene for å få tilgang til data fra Energimyndighetene i Sverige var at dataene ikke blir distribuert videre og at husholdningene skal være anonyme i presentasjon av data. Data er derfor ikke vedlagt rapporten.

TABELL 8.3-1: PARAMETERE SOM REPRESENTERER SOSIALE OG ØKONOMISKE FAKTORER I DATASETTET FRA *END-USE METERING CAMPAIGN IN 400 HOUSEHOLDS IN SWEDEN*.

Påvirkende faktorer	Representative parametere	Kategori	Enhet
Bygningsrelatert karakteristikk	Boligtype Areal	Kategorisk* Kategorisk**	m ²
Brukerrelatert karakteristikk	Antall husholdningsmedlemmer Antall tenåringer Alder på eldste husholdningsmedlem	Numerisk Numerisk Numerisk	
Økonomisk karakteristikk	Husholdningsinntekt	Kategorisk***	kr/mnd.

* Boligtype er kategorisert som 0 for leiligheter og 1 for hus.

**Areal er inndelt i <75 m², 75-100 m², 100-125 m² og >125 m²

***Inntekt er inndelt i <8.000, 8.000-17.000, 17.000-25.000, 25.000-33.000, 33.000-42.000. og >42.000 kr/mnd

8.3.2 FREMGANGSMÅTE

Fremgangsmåten for å gjennomføre klyngeanalyse i dette prosjektet bygger på metoden som er beskrevet i Yu et al. (2011). Før klyngeanalysen kan gjennomføres må dataene i datasettet forbehandles slik at man kan sammenlikne attributter med ulike enheter. I dette prosjektet er det benyttet datatransformasjontechnikken maks-min normalisering og det er spesifisert å transformere alle attributtverdiene slik at de ligger innenfor intervallet [0, 1], se beregning i Vedlegg R. Datatransformasjon er også nyttig i det den forhindrer at attributter med store intervaller blir vektet mer enn attributter med små intervaller (Yu, et al., 2011). Man må imidlertid ta hensyn til at noen attributter har større påvirkning på en boligs energibruk enn andre, dette er gjort ved å beregne grå relasjonsgrader, γ , som benyttes som vekningskoeffisienter som indikerer attributtenes påvirkning på elektrisitetsforbruket, se beregning i Vedlegg R. I henhold til (Fu, et al., 2001) kan man generelt si at $\gamma > 0.9$ indikerer en betydelig innflytelse, $\gamma > 0.8$ indikerer en relativ betydelig innflytelse, $\gamma > 0.7$ en merkbar innflytelse og $\gamma < 0.6$ en ubetydelig innflytelse. Siden det er flere husholdninger som ikke har måledata på for romoppvarming og oppvarming av varmtvann er det valgt å beregne grå relasjonsgrader med hensyn til elektrisitetsforbruk ekskludert energi til oppvarming og tappevann. Tabell 8.3-2 gir en oversikt over grå relasjonsgrader for de ulike attributtene i denne analysen.

TABELL 8.3-2: GRÅ RELASJONSGRADER FOR DE ULIKE ATTRIBUTTENE.

Ant. personer	Ant. tenåringer	Alder eldste person	Bygningstype	Inntekt	Bruksareal
0,74	0,74	0,63	0,61	0,53	0,62

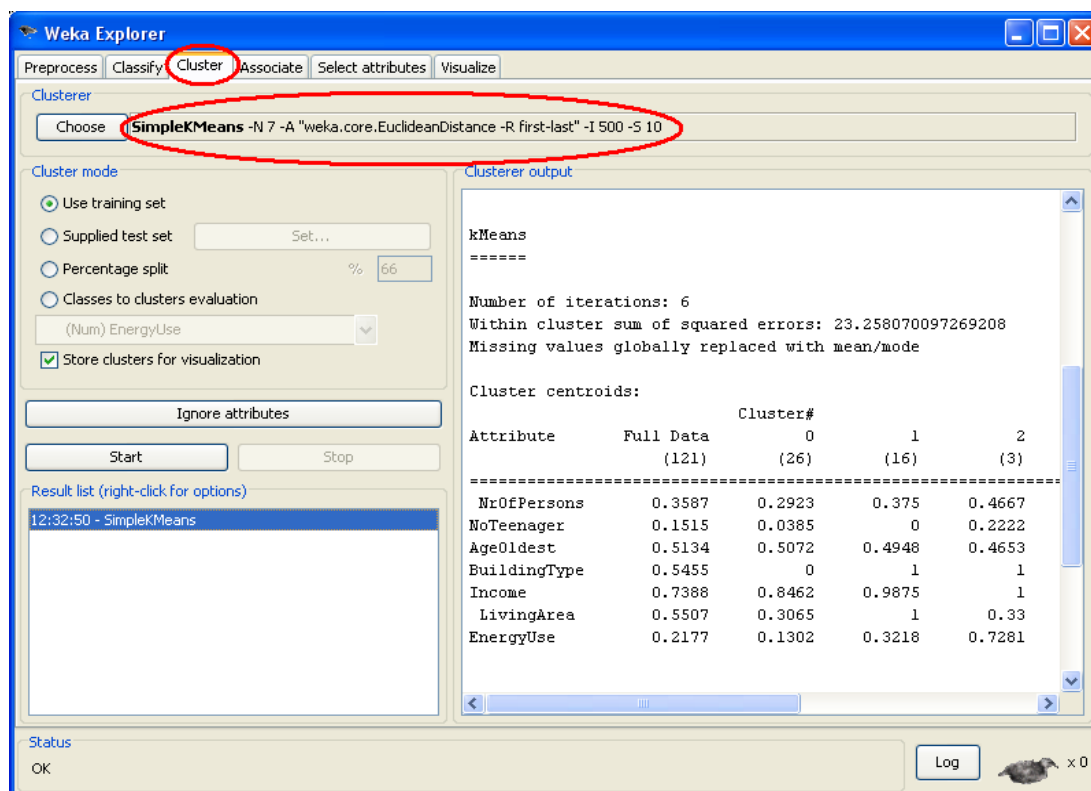
Ut i fra Tabell 8.3-2 kan man se at antall personer i husholdningen og antall tenåringer i husholdningen har en merkbar innflytelse på elektrisitetsforbruket til husholdningene i dette datasettet. Alder på eldste person i husholdningen, bygningstype og bruksareal har en innflytelse mens inntekt har en ubetydelig innflytelse. Litteraturen har imidlertid tidligere vist at inntekt er en faktor som har stor innflytelse på energibruk i boliger. Årsaken til at inntekt ikke viser seg som en betydelig innflytelsesrik faktor i denne sammenhengen kan være at den gjennomsnittlige inntekten i hele datasettet er høy og at man dermed ikke ser de store variasjonene i elektrisitetsforbruk forårsaket av forskjeller i inntekt. I tillegg skal det nevnes at

husholdningsinntekt kan være avgjørende for bygningstype og bruksareal samt at flere personer i husholdningen kan føre til høyere husholdningsinntekt og dermed kan inntekt faktisk ha mer å si enn hva de grå relasjonsgradene i denne analysen indikerer.

Når forbehandlingen med datatransformasjon og beregning av grå relasjonsgrader er utført kan klyngeanalysen gjennomføres. Til utføring av klyngeanalyse er det i denne studien valgt å benytte et åpent datagravingsprogram WEKA (Hall, et al., 2009). Se beskrivelse av WEKA i 0. WEKA er et vanlig benyttet verktøy i mange undersøkelser² innenfor mange fagfelt, og har tidligere blitt benyttet i undersøkelser relatert til brukerferds påvirkning på energibruk (Gram-Hanssen, 2005) (Yu, et al., 2011).

8.1.3.2 KLYNGEANALYSEALGORITME

Det er valgt å benytte *k-means* algoritmen til å gjennomføre klyngeanalysen. *k-means* algoritmen finnes implementert i WEKA og velges under *Clusterer*, se Figur 8.3-1. Det må også velges et distansemål som avgjør hvordan ulikheten mellom observasjoner i datasettet beregnes, i dette tilfellet er det valgt å benytte "*Euclidean distance*". "*Euclidean distance*" benytter den korteste avstanden mellom to punkter for å bestemme ulikheten og er et vanlig distansemål, se for øvrig Formel 24 i avsnitt R.2.1.3 i Vedlegg R. Klyngens senterverdi, som representerer gjennomsnittsverdien av alle instansene i klyngen, brukes til å karakterisere klyngen. I Figur 8.3-1 presenteres et screenshot av fanen Cluster, hvor gjennomføringen av klyngeanalysen gjøres. Resultatene av klyngeanalysen presenteres i området til høyre, kalt Cluster Output.



FIGUR 8.3-1: SCREENSHOT AV FANEN CLUSTER, HVOR EN KAN GJENNOMFØRINGE KLYNGEANALYSEN (HALL, ET AL., 2009) (WEKA, 2011)

² WEKA Software er blant annet benyttet i følgende undersøkelser; (Chan, et al., 2009) (Lievens, et al., 2010) (Mohammad, et al., 2011) (Xiaoyuan, et al., 2011) (Peng, et al., 2010) og mange flere.

8.3.3 ANTALL KLYNGER

For å benytte *k-means* algoritmen til inndeling av klynger må man spesifisere antall klynger man ønsker å danne. Et ideelt antall klynger er derimot en verdi det kan være vanskelig å bestemme og det er ikke engang opplagt at det finnes et ideelt antall klynger. Et feil antall klynger vil kunne gi dårligere resultater. En indikasjon på et fornuftig antall klynger kan bestemmes ved hjelp av forholdsvis komplekse algoritmer, som for eksempel ved v-fold cross-validation algoritmen³ (StatSoft, 2011). I WEKA er det dessverre ingen cross-validation algoritmer som kan benyttes i kombinasjon med *k-means* algoritmen. I dette tilfelle er det i som utgangspunkt valgt å benytte en tommelfingerregel til å bestemme antallet klynger som er gitt i Formel 1 (Mardia, et al., 1979)⁴.

FORMEL 1

$$k = \sqrt{\frac{n}{2}}$$

Hvor:

k	Antallet klynger
n	Antall observasjoner

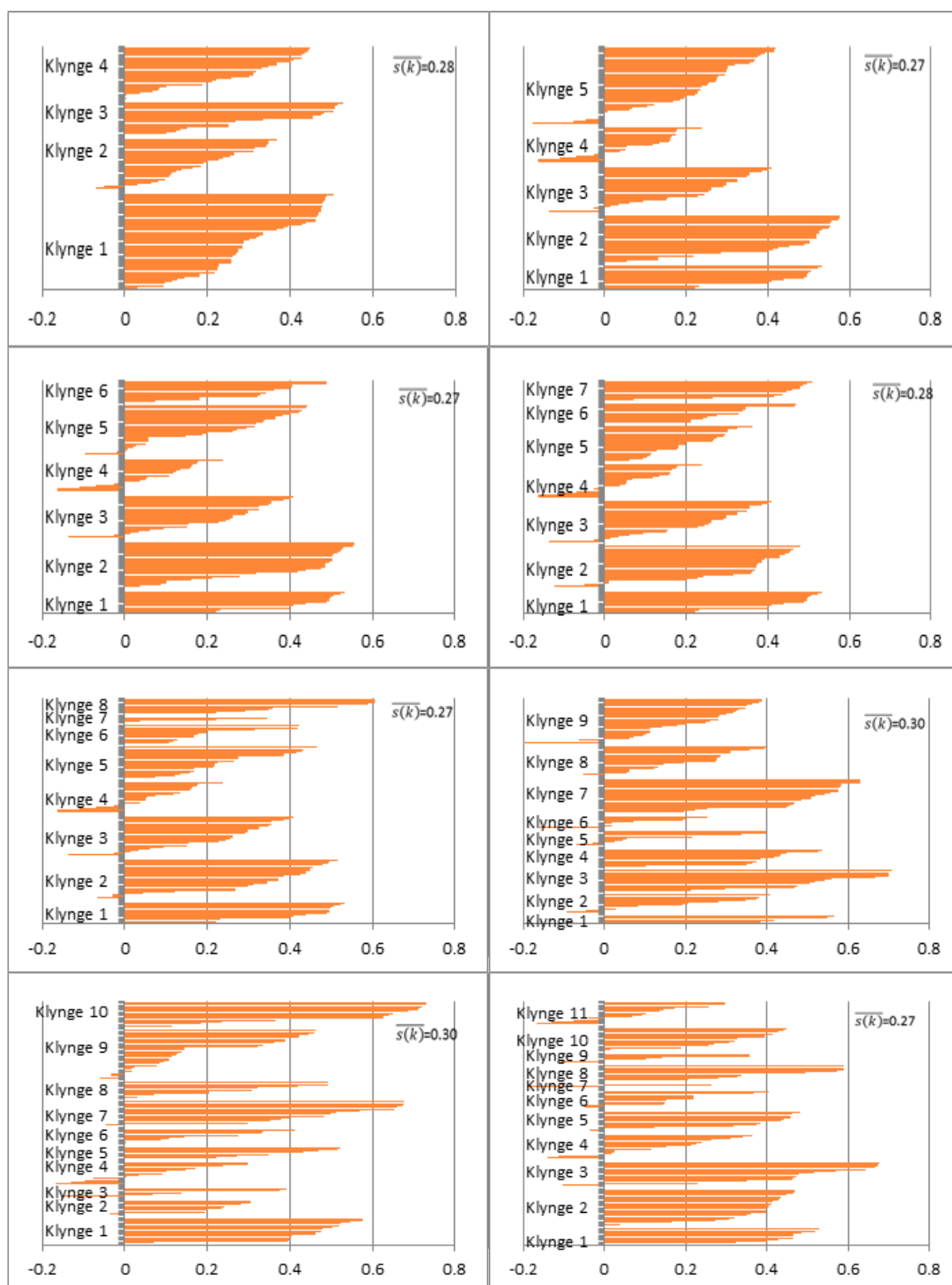
Observasjonene i datasettet på $n = 122$ husholdninger, gir i henhold til Formel 1 $7,8 \approx 8$ klynger. For å vurdere om dette antallet gir et tilfredsstillende resultat er det gjort analyser med 4-11 klynger ved hjelp av silhuetter som er foreslått av P. Rousseeuw (1987) som et valideringsmål for klyngeanalyse. Før beregning av silhuetter er det imidlertid gjennomført fem klyngeanalyser for hver spesifiserte antall klynger med ulik startbetingelse, *seed number*, siden *k-means* algoritmen kan være forholdsvis sensitiv i forhold til startbetingelse for klyngecenter. Den resulterende klyngeinndelingen for hver spesifiserte k med lavest *within sum of square error* (WSSE), som er avstanden mellom objekter innenfor samme klynge, er deretter benyttet i den videre analysen hvor det er beregnet silhuetter. Silhuettene er en grafisk presentasjon av hver klynge som baserer seg på å sammenlikne klyngenes tetthet og avskilling ut i fra silhuettverdien til hvert objekt i en klynge og den gjennomsnittlige silhuettvidden for klyngene (Rousseeuw, 1987). Silhuettverdien, $s(i)$, kan være en verdi mellom -1 til 1, hvor -1 indikerer at objektet er misssklassifisert, en silhuettverdi nær 0 indikerer at det er uklart hvilken gruppe objektet tilhører mens 1 indikerer at objektet er korrekt klassifisert og at det ikke er tvil om at objektet skal være i den klyngen (Rousseeuw, 1987). Gjennomsnittet av silhuettverdiene for alle objektene i samme klynge kalles klyngens silhuettvidde, $s(k)$ og en høy verdi av $s(k)$ indikerer at det er en sterk klynge. Den gjennomsnittlige silhuettvidden til alle klyngene, $\bar{s}(k)$, kan benyttes til å vurdere klyngenes validitet sett under ett og til å bestemme et passende antall klynger. En beskrivelse av hvordan silhuettanalyse gjennomføres er gitt i avsnitt R.2.1.6 i Vedlegg R og

³ v-fold cross-validation algoritmen deler opp et datasett i v deler hvor v-1 deler brukes som treningsdatasett og den siste delen brukes som testdatasett. Klyngeanalysen blir utført gjentakende ganger på ulike kombinasjoner av deler for treningsdatasettet og resulterende klynger blir anvendt på testdatasettet. Hver del blir brukt som testdata en gang og treningsdata v-1 gang. Metoden kan gi et estimat på hvor mange objekter i testdatasettet som blir misssklassifiserte og gjentakende prosedyre med ulike antall klynger vil gi en indikasjon på fornuftig antall klynger (StatSoft, 2011).

⁴ Tommelfingerregelen til å bestemme antall klynger er blant annet brukt i følgende litteratur: (Peng, et al., 2011) (Geel, et al., 2009).

beregning av silhuetter for alle objekter for 4-11 klynger er gitt i mappen
Klyngeanalyse\Validering av antall klynger.

Figur 8.3-2 viser resulterende silhuettplot for samtlige objekter i datasettet for $k=4$ til $k=11$. Som en kan se fra Figur 8.3-2 har svært mange av objektene i datasettet en lav silhuettverdi når datasettet kun deles inn i fire klynger. Ved å øke antall klynger øker også silhuettverdien til mange av objektene, men det fører også til at flere objekter blir misklassifiserte. Den gjennomsnittlige silhuettverdien for klyngene er forholdsvis lik for $k= 4, 5, 6, 7, 8$ og 11 , mens plottene med 9 og 10 klynger skiller seg ut med en noe høyere gjennomsnittlig silhuettverdi for klyngene. Ved å gå inn å evaluere verdiene ved beregning av silhuettene kan man imidlertid se at den gjennomsnittlige silhuettverdien for alle objektene samt den gjennomsnittlige silhuettverdien for klyngne er noe høyere for analysen med 9 klynger enn analysen med 10 klynger og det er derfor besluttet å benytte 9 klynger som grunnlag for brukerprofilene.



FIGUR 8.3-2: SILHUETTER FOR SAMTLIGE OBJEKTER $i=1$ TIL 122 FOR $k=4$ TIL 11 HVOR $\bar{s}(k)$ REPRESENTERER DEN GJENNOMSNITTLIGE SILHUETTVIDDEN FOR KLYNGENE.

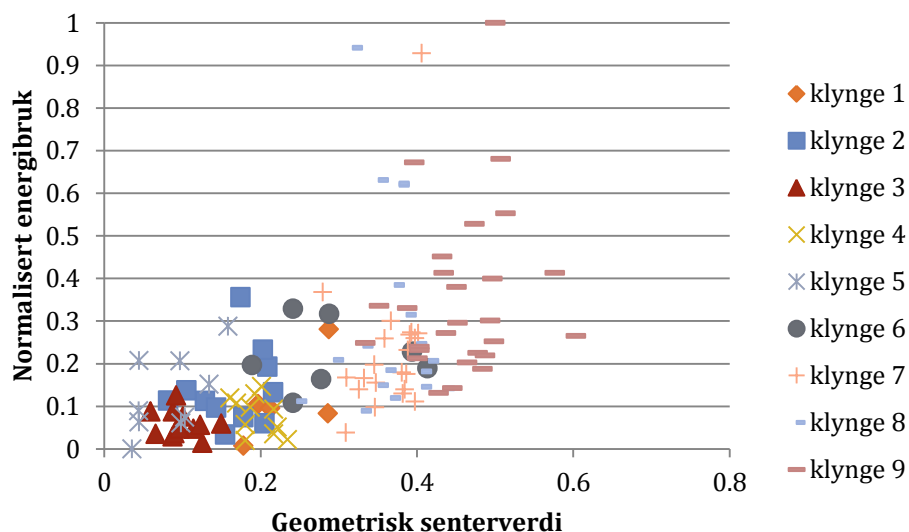
Resultatene av klyngeanalysen med 9 klynger er gitt i Tabell 8.3-3 hvor senterverdien for hver attributt er presentert.

TABELL 8.3-3: SENTERVERDI FOR HVER KLYNGE OG OVERSIKT OVER ANTALL HUSHOLDNINGER I HVER KLYNGE FRA KLYNGEANALYSE.

Atributt	Fult datasett (122)	Klynge								
		1 (5)	2 (11)	3 (13)	4 (11)	5 (9)	6 (7)	7 (21)	8 (18)	9 (27)
No.Pers	0,264	0,356	0,243	0,023	0,148	0,181	0,318	0,141	0,396	0,439
No.Ten.	0,111	0,441	0,022	0	0	0	0,140	0	0,136	0,281
AlderEldst	0,322	0,239	0,154	0,433	0,505	0,115	0,290	0,499	0,245	0,268
Byg.type	0,331	0	0	0	0	0	0	0,612	0,612	0,612
Inntekt	0,3863	0,274	0,430	0,138	0,411	0,117	0,496	0,391	0,450	0,514
Bruksareal	0,3412	0,083	0,131	0	0,112	0,092	0,507	0,536	0,336	0,625

Ved å sammenfatte resultatene fra Tabell 8.3-3 og Figur 8.3-2 kan man si noe om hva som kategoriserer klyngene ut i fra senterverdien til attributtene og hvor sterk klyngen er ut i fra silhuettvidden, $s(k)$, til klyngen. Klynge 1 kan for eksempel karakteriseres med at husholdningen består av ca. tre personer hvorav to personer er tenåringer. Den eldste personen er ca. 45 år. Familien bor i en leilighet med areal <75 m² og husholdningsinntekten er innenfor intervallet 25.000- 33.000 kr/mnd. Silhuettvidden for klynge 1 er i henhold til Figur 8.3-2 forholdsvis vid noe som indikerer at dette er en strek klynge, men den inneholder imidlertid kun fem husholdninger. Klynge 2 karakteriseres med at den består av ca. tre personer, ingen tenåringer og eldste person i husholdningen har en alder på ca. 35 år. Husholdningsinntekten er innenfor intervallet 33.000-42.000 kr/mnd. og husholdningen bor i en leilighet på 75-100 m². Fra Figur 8.3-2 kan man imidlertid se at det er to husholdninger som tilhører klynge 2 som har negativ silhuettverdi noe som indikerer at disse husholdningene er missplasserte i klynge 2. Bortsett fra de to husholdningene med negativ silhuettverdi har de resterende husholdningene i klynge 2 en silhuettverdi mellom 0,20 og 0,40 med unntak av to husholdninger som har silhuettverdi <0,10. Den gjennomsnittlige silhuettverdien for klynge 2 er 0,2 som indikerer at dette er en noe svak klynge, men ved å flytte de to husholdningene med negativ silhuett kan den gjennomsnittlige silhuettverdien for klynge 2 økes til nærmere 0,3. Klynge 3 har derimot en stor gjennomsnittlig silhuettverdi som indikerer at det er en sterk klynge. Klynge 3 kan karakteriseres med at husholdningen består av en enslig person i slutten av 50-årene som bor i en leilighet på <75 m² og med en inntekt på 8.000- 17.000 kr/mnd. En fullstendig oversikt over resulterende brukerprofiler som bygger på klyngene i Tabell 8.3-3 er gitt i Tabell 8.3-4.

I Figur 8.3-3 er maks-min normalisert elektrisitetsforbruk til samtlige husholdninger visualisert i forhold til den geometriske senterverdien til husholdningen. Den geometriske senterverdien til husholdningen tilsvarer gjennomsnittet av de normaliserte verdiene for attributtene til husholdningen. Fra figuren kan man se at noen av klyngene til dels overlapper hverandre, men man kan imidlertid også se at husholdninger i samme klynge ligger i nærheten av hverandre. Den største spredningen inntreffer for klynge 8 og 9 samt en uteligger med hensyn til energibruk for klynge 7. Årsaken til at nettopp disse klyngene har størst spredning kan skyldes at alle disse gruppene kategoriseres av husholdninger som bor i hus hvor mange av husene har bruksareal >125 m² og innenfor denne kategorien av bruksareal kan det for eksempel være boliger med 125,5 m² og boliger med 300 m² bruksareal. I tillegg er det større spredning av antall personer innenfor klynge 8 og klynge 9 enn for de andre klyngene.



FIGUR 8.3-3:MAKS-MIN NORMALISERT ENERGIBRUK SOM FUNKSJON AV GEOMETRISK SENTERVERDI FOR SAMTLIGE HUSHOLDNINGER I DET UTVALGTE DATASETTET, $m=122$.

8.3.4 RESULTERENDE BRUKERPROFILER

Ved å analysere hver enkelt klynge i detalj for å se på hvilken variasjon som er innenfor hver klynge og ved å flytte husholdninger som fra Figur 8.3-2 viste seg å ha negativ silhuett til en klynge som er mer passende er det dannet grunnlaget for ni brukerprofiler:

- | | | |
|---|---|-----------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Enslig • Enslig forsørger • Eldre par • Ung arbeiderklassefamilie • Ung middelklassefamilie • Etablert overklassefamilie | } | Leilighet |
| <ul style="list-style-type: none"> • Eldre par • Etablert middelklassefamilie • Etablert overklassefamilie | } | Hus |

Begrepene arbeiderklasse, middelklasse og overklasse refererer til inntekten til husholdningen. Arbeiderklasse tilsvarer en husholdningsinntekt innenfor de to laveste inntektsnivåene fra Tabell 8.3-1, dvs. <8.000-17.000 kr/mnd. mens overklasse tilsvarer en husholdningsinntekt i den øverste inntektskategorien, dvs. >42.000 kr/mnd., og middelklasse tilsvarer inntektsnivå mellom arbeiderklasse og overklasse. Som sagt vil brukerprofiler kun være en forenkling av virkeligheten. Hvis en husholdning ikke oppfyller de forutsetninger som en brukerprofil representerer, velges den brukerprofilen som anses som mest representativ for den gitte husholdning. Beregningsresultatet som baserer seg på valg av brukerprofil indikerer innenfor hvilket intervall energibruket for denne husholdning vil ligge. I Tabell 8.3-4 gis en kort forklaring på hva som kategoriserer de ulike brukerprofilene fra dette casestudiet.

TABELL 8.3-4: KARAKTERISTIKK FOR DE ULIKE BRUKERPROFILENE FOR CASESTUDIET.

Brukerprofil	Klynge	Ant. pers.	Ant. tenåringer	Alder eldste person [år]	Inntekt [kr/mnd]	Boligtype	Bruksareal [m ²]
Enslig	3	1	0	30-70	8.000-17.000	Leilighet	<75
Enslig forsørger	1	3	2	40-50	17.000-25.000	Leilighet	<75
Eldre par i leilighet	4	2	0	60-75	33.000-44.000	Leilighet	75-100
Ung arbeiderklasse familie	5	2-3	0	30-40	8.000-17.000	Leilighet	<75
Ung middelklasse-familie	2	2-4	0	30-40	33.000-42.000	Leilighet	75-100
Etablert overklasse-familie i leilighet	6	3-4	Opptil 2	45-55	>42.000	Leilighet	100-125
Eldre par i hus	7	2	0	60-75	33.000-42.000	Hus	>125
Etablert middelklasse-familie	8	3-5	Opptil 2	35-50	33.000-42.000	Hus	100-125
Etablert overklasse-familie i hus	9	4-6	1-3	35-60	>42.000	Hus	>125

8.4. SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR BRUKERPROFILER

Det er interessant å undersøke om brukerprofilene har forskjellige fordeling for driftstimer, effektbehov til de brukeravhengige energiformålene og innendørstemperatur som kan danne grunnlag for sannsynlighetsfordelinger som kan danne grunnlaget for ulikt energibruk for de ulike profilene. I dette avsnittet blir sannsynlighetsfordelinger for brukeravhengige inndatafaktorer fra de ni brukerprofiler som ble funnet i klyngeanalysen presentert, samt en validering for valg av type fordeling. Brukerprofilene ble dannet med måledata fra 122 husholdninger som i hovedsak også gir grunnlaget for sannsynlighetsfordelingene. Det er utarbeidet sannsynlighetsfordelinger for ventilasjon, oppvarming av varmtvann, effektbehov til teknisk utstyr og belysning, settpunkttemperatur for romoppvarming og varmeavgivelse fra personer. Bakgrunnen for sannsynlighetsfordelingene er beskrevet i korthet og gjengitt i tabellform. Ytterligere forklaring og bakgrunn for de valgene som er gjort under utarbeidelsen er gjengitt Vedlegg T. Her er det også presentert grafiske eksempler på fordelingene. Alle fordelinger kan for øvrig sees på vedlagt DVD i \Databehandling\fordelinger.

8.4.1 VURDERINGER OG ANTAKELSER

I SIMIEN legges driftstimer inn ved å bestemme tidspunkt for start og stopp. Fra måledataen er det observert at energibruken til de brukeravhengige faktorene som belysning og utstyr generelt går kraftig ned rundt midnatt. Forutsetningen som ble brukt i screeninganalysen og Monte Carlo

analysen om at utstyr, naturlig ventilasjon, belysning og varmeanlegg stanser hver dag ved midnatt og at det derfor er starttidspunktet som blir satt ut ifra sannsynlighetsfordelinger beholdes.

Enheten for inndata av effektbehovet i SIMIEN er Watt per kvadratmeter. I den originale databasen med måldata finnes boligarealet til hver husholdning registeret, men kun kategorisk og ikke med eksakt areal. Det er derfor gjort noen antagelser av boligarealene for hver kategori, se

TABELL 8.4-1: BAKGRUNN FOR VALG AV AREAL VED BEREGNING AV EFFEKTBEHOV PR. m².

Kategori	Antatt areal	Bakgrunn for valg verdi
<75,0 m ²	50,0 m ²	Skjønnsmessig vurdering som er ansett som representativ. Arealet tilsvarer en leilighet med et soverom, kjøkken, bad og stue.
75,0 – 100,0 m ²	87,5 m ²	Midtpunktet i intervallet. Hvis dataen er normalfordelt i intervallet vil arealer over under midtpunkt utjevne hverandre.
100,0 – 125,0 m ²	112,5 m ²	Midtpunktet i intervallet.
	160 m ²	Verdien er valgt siden den standard modellen som brukes i beregningene har et areal på 160m ² .

Når arealene for hver kategori er bestemt kan effektbehovet per kvadratmeter beregnes for inndatafaktorene belysning, teknisk utstyr og oppvarming av tappevann.

De målinger som er gjort på innetemperatur er også kun kategorisert med intervaller. Det er derfor gjort noen antagelser slik at disse målingene kan gi grunnlag for sannsynlighetsfordelinger for settpunkttemperaturer på varmeanlegget, se Tabell 8.4-2. Det finnes ingen informasjon om det er nattsenking i boligene. Det er imidlertid antatt nattsenking på 2 °C lavere enn settpunkt i driftstid.

TABELL 8.4-2: OVERSIKT OVER ANTATTE SETTPUNKTTEMPERATURER UT IFRA MÅLTE TEMPERATURINTERVALLER.

Temperaturintervall	Antatt settpunkttemperatur i driftstid	Antatt settpunkttemperatur utenfor driftstid
< 20 °C	19 °C	17 °C
20 – 22 °C	21 °C	19 °C
22 – 24 °C	23 °C	20 °C
24 – 26 °C	23 °C	21 °C
> 26 °C	Ikke medregnet ¹	Ikke medregnet ¹

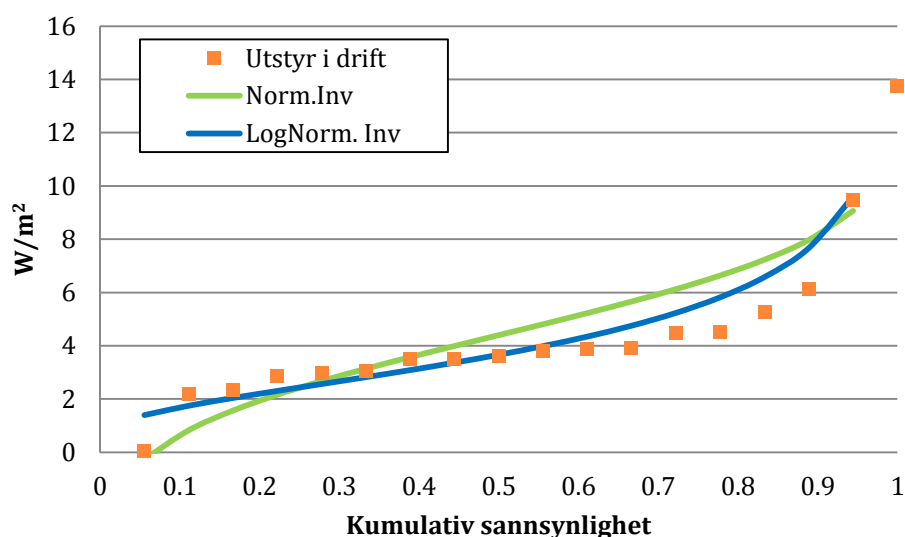
¹ Husholdningene med temperaturer over 26 °C var målt om sommeren og er derfor ekskludert.

Det er ingen tilgjengelig informasjon om driftstider for varmeanlegget, det er derfor valgt å benytte fordelingen for driftstimer som ble brukt i screening og Monte Carlo analysen.

For ikke å overestimere settpunkttemperaturen ble de målinger som var gjort gjennom en måned på sommeren ikke medregnet. For klynge 6 medførte dette at det ikke ble noen variasjon mellom husholdningene, noe som betyr et gjennomsnitt på 23 °C, med standardavvik lik 0 °C. For likevel å kunne vurdere denne inndatafaktoren stokastisk ble det derfor valgt å benytte sannsynlighetsfordelingen for klynge ni, siden disse klyngene har lignende karakteristikker. Klynge 6 er karakterisert som *etablert overklasse familie boende i leilighet*, mens klynge 9 er karakterisert som *etablert overklassefamilie boende i hus*.

8.4.2 VALIDERING AV VALG AV FORDELING

Siden sannsynlighetsfordelingene skal gjenspeile de virkelige forhold på en best mulig måte er kumulative distribusjoner over målt effektbehov og driftstimer sammenlignet med normalfordeling og logaritmisk normalfordeling. I Figur 8.4-1 presenteres et eksempel fra klynge 8 hvor fordelingen av effektbehovet til teknisk utstyr sammenlignes med kumulativ normalfordeling og en logaritmisk normalfordeling.



FIGUR 8.4-1: SAMMENLIGNING AV DEN KUMULATIVE FORDLINGEN OVER EFFEKTBEHOVET TIL TEKNISK UTSTYR I KLYNGE 8 MED NORMALFORDELING. NORM.: $\mu=4.40$, $\sigma=2.93$. LOGNORM.: $\mu_y=1.20$, $\sigma_y=0.61$.

Av sammenligningen presentert i Figur 8.4-1 anses den logaritmiske sannsynlighetsfordelingen å være best tilnærmet distribusjonen av målingene i dette tilfelle.

Tilsvarende visuelle valideringer ble gjort for alle de brukeravhengige inndatafaktorene for de ni brukerprofilene og type fordeling ble valgt på bakgrunn av dette. Sammenligningene finnes i mappen *\Databehandling\fordelinger* på vedlagt DVD. For alle sannsynlighetsfordelinger er normalfordeling eller logaritmisk normalfordeling ansett som en tilfredsstillende tilnærmelse av virkelige forhold i dette casestudiet.

8.4.3 SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR INNDATAFAKTORER

I dette avsnittet presenteres det i korthet hva som ligger til grunn for fordelingene av inndatafaktorene basert på de utvalgte husholdningene, utfyllende informasjon fremkommer av Vedlegg T. Alle fordelingene for hver brukerprofil er presentert i Tabell 8.4-3.

8.1.4.3 VENTILASJON

For mange av husholdningene er det enten et lite eller ingen energibruk til ventilasjon, hvilket kan gi en indikasjon på at det er naturlig ventilasjon i boligene og at det kun er målt på en avtrekksvifte eller lignende. På grunnlag av lite dataunderlag er det valgt å ikke lage sannsynlighetsdistribusjoner for ventilasjon ut ifra måledataene, men benytte de fordelinger som ble benyttet i Monte Carlo analysen i Kapittel 7 for alle klynger. Dette gjelder for naturlig ventilasjon i og utenfor drift, sommer og vinter, samt fordeling for driftstider.

8.2.4.3 OPPVARMING AV TAPPEVANN

For husholdningene som bor i hus finnes det målinger på effekt til oppvarming av varmt vann. Mens for mange av de leiligheter er det imidlertid ingen dataunderlag for oppvarming av varmtvann, noe som kan komme av at leilighetene muligens har en felles beholder tilknyttet fjernvarme. Det er derfor lagd sannsynlighetsfordelinger over effektbehovet til varmt tappevann for klynge 7, 8 og 9 basert på målinger, mens det for de resterende seks klynger er gjort en beregning på gjennomsnittlig effektbehov per person og kvadratmeter basert på statistikk over vannmengdeforbruk fra vannregisteret og gjennomsnittlig areal per husholdning for hver klynge. Se Vedlegg L for ytterligere informasjon og beregningseksempel.

8.3.4.3 EFFEKTBEHOV TIL BELYSNING OG TEKNISK UTSTYR

Det er laget sannsynlighetsfordelinger over belysning og teknisk utstyr i driftstid, samt en sannsynlighetsfordeling over driftstiden for hver brukerprofil. Med teknisk utstyr menes elektrisk utstyr som for eksempel TV, PC, fryser, kjøleskap etc. For å gjøre databehandlingen lettere er effektbehovet i driftstid satt til å tilsvare gjennomsnittlig energibruk gjennom døgnet delt på driftstimer for henholdsvis belysning og teknisk utstyr.

8.4.4.3 SETTPUNKTTEMPERATUR FOR ROMOPPVARMING

Det er antatt at målt innendørs temperatur i oppvarmingssesongen representerer settpunkttemperatur til de ulike husholdningene. Fordelingen for settpunkttemperaturer til varmeanlegget er dermed vurdert ut ifra målte temperaturintervaller, samt de forutsetninger som fremkom i Tabell 8.4-2. Settpunkttemperaturen utenfor driftstid er antatt til å være 2 °C lavere enn i driftstid.

8.5.4.3 VARMEAVGIVELSE FRA PERSONER

Varmeavgivelsen fra personer bestemmes ut i fra en diskret sannsynlighetsfordeling for antall personer i husholdningen for hver klynge, samt en antagelse om at hver person avgir 90 W.

Alle fordelinger for brukeravhengige inndatafaktorer for hver klynge fremkommer av Tabell 8.4-3, se neste side.

TABELL 8.4-3: OPPSUMMERING AV ALLE SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR DE BRUKERAVHENGIGE INNDATAFAKTORER LAGET FOR HVER BRUKERPROFIL.

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	Klynge nr.	μ	σ
Naturlig ventilasjon - i drift vinter/ Naturlig ventilasjon - i drift sommer	m^3/hm^2	LN/N	1	-0,877 / 2,04	0,485 / 0,27
			2		
			3		
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		
Naturlig ventilasjon - utenfor drift vinter/ Naturlig ventilasjon - utenfor drift sommer	m^3/hm^2	LN/N	1	-1,207 / 2,04	0,609 / 0,27
			2		
			3		
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		
Naturlig ventilasjon - start tidspunkt	Klokkeslett	N	1	6	2
			2		
			3		
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		

N=normalfordeling, LN=logaritmisk normalfordeling, D=diskrete fordeling μ =forventningsverdi (gjennomsnitt), σ =standardavvik. For lognorm. er det parameterne μ_y og σ_y .

Fortsetter neste side.

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	Klynge nr.	μ	σ
Belysning - i drift	W/m ²	LN	1	0,95	0,40
			2	0,58	0,49
			3	0,73	0,50
			4	0,43	0,61
			5	0,45	0,71
			6	0,55	0,65
			7	0,36	0,60
			8	0,46	0,58
			9	0,23	0,49
Belysning - starter kl.	Klokkeslett	N	1	16,70	0,94
			2	14,60	3,56
			3	15,50	2,10
			4	15,50	2,23
			5	12,40	3,20
			6	13,70	2,75
			7	13,90	3,47
			8	12,00	3,02
			9	11,30	3,08
Teknisk utstyr - i drift	W/m ²	LN	1	1,98	0,49
			2	1,60	0,37
			3	1,81	0,53
			4	1,76	0,58
			5	1,90	0,42
			6	1,52	0,64
			7	1,07	1,05
			8	1,61	0,54
			9	1,08	0,43
Teknisk utstyr - starter kl.	Klokkeslett	N	1	14,00	3,54
			2	12,80	1,99
			3	13,60	3,04
			4	14,50	2,15
			5	7,70	3,53
			6	11,30	2,29
			7	10,10	2,56
			8	9,80	3,32
			9	7,40	2,92

N=normalfordeling, LN=logaritmisk normalfordeling, D=diskrete fordeling μ =forventningsverdi (gjennomsnitt), σ =standardavvik. For lognorm. er det parameterne μ_y og σ_y .

Fortsetter neste side.

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	Klynge nr.	μ	σ
Oppvarming av varmtvann,	W/m ²	LN	1	0,21	0,83
			2	0,02	0,83
			3	0,42	0,83
			4	0,13	0,83
			5	0,19	0,83
			6	-0,53	0,83
			7	0,59	1,01
			8	0,07	0,79
			9	0,79	0,78
Varmeavgivelse fra personer i drift	Vektet antall	D	1	3 pers. = 1,00	
			2	1 pers. = 0,10 2 pers. = 0,30 3 pers. = 0,30 4 pers. = 0,30	
			3	1 pers. = 0,87 2 pers. = 0,13	
			4	2 pers. = 1,00	
			5	1 pers. = 0,22 2 pers. = 0,44 3 pers. = 0,22 4 pers. = 0,11	
			6	3 pers. = 0,33 4 pers. = 0,67	
			7	1 pers. = 0,09 2 pers. = 0,87 3 pers. = 0,04	
			8	2 pers. = 0,05 3 pers. = 0,39 4 pers. = 0,44 5 pers. = 0,06 6 pers. = 0,06	
			9	3 pers. = 0,20 4 pers. = 0,52 5 pers. = 0,24 6 pers. = 0,04	
Varmeavgivelse – starter kl.	klokkeslett	N	1	6,00	2,00
			2		
			3		
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		

N=normalfordeling, LN=logaritmisk normalfordeling, D=diskrete fordeling μ =forventningsverdi (gjennomsnitt), σ =standardavvik. For lognorm. er det parameterne μ_y og σ_y .

Inndatafaktor	Enhet	Fordeling	Klynge nr.	μ	σ
Settpunkttemperatur, i drift	°C	N	1	22,50	0,87
			2	22,71	1,67
			3	23,00	1,46
			4	23,55	1,23
			5	23,67	0,94
			6	22,52	1,53
			7	22,13	1,15
			8	23,00	1,15
			9	22,52	1,53
Settpunkttemperatur, utenfor drift	°C	N	1	20,50	0,87
			2	20,71	1,67
			3	21,00	1,46
			4	21,55	1,23
			5	21,67	0,94
			6	20,52	1,53
			7	20,13	1,15
			8	21,00	1,15
			9	20,52	1,53
Varme på - klokkeslett	Klokkeslett	N	1	6,00	2,00
			2		
			3		
			4		
			5		
			6		
			7		
			8		
			9		

N=normalfordeling, LN=logaritmisk normalfordeling, D=diskrete fordeling μ =forventningsverdi (gjennomsnitt), σ =standardavvik. For lognorm. er det parameterne μ_y og σ_y .

8.5. RESULTATER FRA SIMULERINGENE MED BRUKERPROFILER

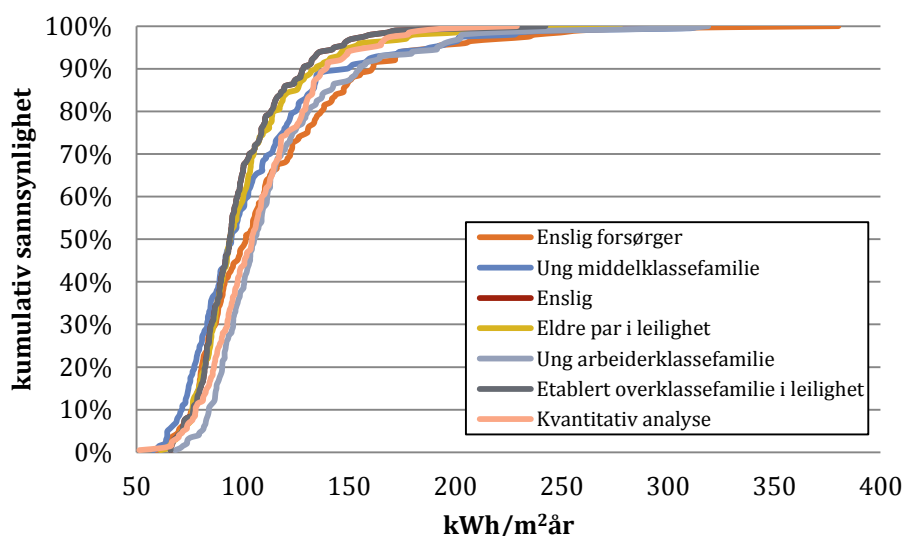
I dette avsnittet presenteres de sentrale energieresultatene fra Monte Carlo simuleringene for de ni brukerprofilene. Vi begrenser oss fra å evaluere inneklima i dette casestudiet både på grunn av at modellene som benyttes for småhus og boligblokk har vist seg å være lite tilfredsstillende til for evaluering av termisk inneklima om sommeren, noe som ble illustrert i Kapittel 6 og Kapittel 7, og på grunn av at det blant annet er benyttet samme fordelingen for naturlig ventilasjon for alle brukerprofilene grunnet mangel på data på luftskifte, samt at varmeanlegget har samme driftstid og det er forutsatt nattsinking. Resultatene i forhold til termisk inneklima er derfor ikke ansett å være representativt for de ulike brukerprofiler. På grunn av mangelen på data i forhold til de nevnte inndatafaktorene må energieresultatene i tillegg kun betraktes som indikatorer for casestudiet.

Antall simuleringer for hver brukerprofil er 200. Både det spesifikke energibehovet og det gjennomsnittlig årlige energibehovet for hver brukerprofil presenteres og betraktes. Resultatene kommenteres i korthet. Alle brukerprofilene med tilhørende karakteristikk fremkom av Tabell 8.3-4 på side 90. En utfyllende presentasjon og betraktning av resultatene er gjort i Vedlegg U.

8.5.1 SPESIFIKT ÅRLIG ENERGIBEHOV

8.1.5.1 LEILIGHET

Figur 8.5-1 presenterer kumulative kurver over resultatene fra SIMIEN av spesifikt totalt netto energibehov for brukerprofilene som bor i leilighet, det er i tillegg lagt inn den kumulative kurven av Monte Carlo analysen fra Kapittel 7.



FIGUR 8.5-1: KUMULATIV FREMSTILLING AV BEREGNET ÅRLIG SPESIFIKT ENERGIBEHOV FOR BRUKERPROFILENE FOR HUSHOLDNINGER BOSATT I LEILIGHETER.

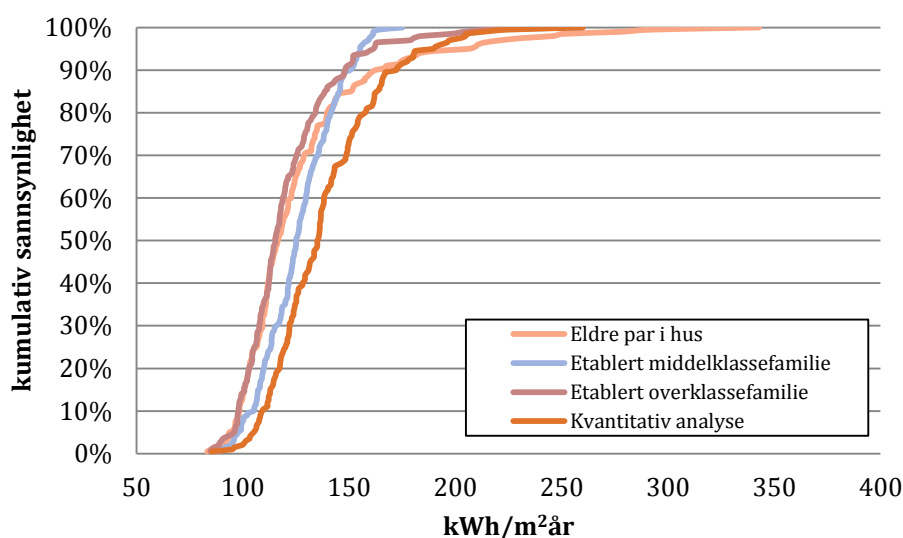
Fra Figur 8.5-1 kan en se at det er forholdsvis stor variasjon i det spesifikke energibehovet forårsaket av brukeratferd innenfor alle brukerprofiler bosatt i leiligheter. De største variasjonene kan observeres for *ung middelklassefamilie*, *ung arbeiderklassefamilie* og *enslig forsørger*. Det kan imidlertid ikke observeres de største differansene i det spesifikke energibehovet mellom brukerprofilene opp til 70 % fraktil, men over dette kan man se at differansene blir noe større og det er da *enslig forsørger*, *ung middelklassefamilie* og *ung arbeiderklassefamilie* som viser seg å ha det høyeste spesifikke energibehovet og dermed den største spredningen.

Videre kan en se at det estimerte spesifikke energibehovet fra simuleringene som ble benyttet i Monte Carlo analysen tilsvarer omtrent et gjennomsnittlig spesifikt energibehov mellom brukerprofilene. Dette indikerer at energibehovet funnet på bakgrunn av data fra litteraturen, beregninger og antagelser av variasjoner i forhold til standardverdier fra NS3031 gir et godt estimat av energibehovet til leiligheter generelt. Det skal imidlertid nevnes at sannsynlighetsfordelingene til inndata for naturlig ventilasjon er de samme i alle simuleringene. I Kapittel 7 og Vedlegg O viste det seg at inndatafaktorene relatert til naturlig ventilasjon (naturlig ventilasjon i drift, naturlig ventilasjon utenfor drift og starttid naturlig ventilasjon) var

blant de sensitive inndatafaktorene i forhold til totalt netto energibehov for blokkmodellen og disse faktorene ble til sammen tillagt 18 % av usikkerheten i utdata. I tillegg er fordelingene for varmtvann beregnet med utgangspunkt i samme dataunderlag som det som ble benyttet for Monte Carlo analysene i Kapittel 7, forskjellen er imidlertid at for analysen i Kapittel 7 ble fordelingen for effektbehovet til oppvarming av tappevann beregnet på bakgrunn av tall for gjennomsnittlig husholdning, mens det for brukerprofilene er benyttet effektbehov til oppvarming av tappevann basert på tall per person. Siden effekt til oppvarming av varmtvann ble tillagt ca. 20 % av usikkerheten i utdata for boligblokkmodellen ved Monte Carlo analysen i Kapittel 7 betyr det at inndatafaktorene som til sammen stod for ca. 40 % av usikkerheten i den kvantitative sensitivitetsanalysen er tilnærmet like for alle simuleringene i Figur 8.5-1, og dette er nok en av årsakene til at variasjonen mellom brukerprofilene er såpass begrenset.

8.2.5.1 Hus

I Figur 8.5-2 kan en se kumulative fordelinger for de spesifikke energibehovene til brukerprofilene for husholdninger bosatt i hus.



FIGUR 8.5-2: KUMULATIV FREMSTILLING AV BEREGNET ÅRLIG SPESIFIKT ENERGIBEHOV FOR BRUKERPROFILERNE MED HUSHOLDNINGER BOSATT I HUS.

Figur 8.5-2 viser at det for brukerprofilen *eldre par i hus* er forholdsvis stor variasjon i det beregnede årlige spesifikke energibehovet i likhet med hva vi så for samtlige av brukerprofilene i leilighet, variasjonene er imidlertid mindre for *etablert middelklassefamilie* og *etablert overklassefamilie*. En kan også se at husholdningene som bor i hus har høyere gjennomsnittlig energibehov per m² sammenlignet med de som bor i leiligheter. Dette gjenspeiler kravene i TEK10, hvor energirammen til boligblokker er strengere enn for småhus, noe som kommer av at fasadearealet per bruttoareal er større for småhus enn for boligblokker. I tillegg viser resultatene i Figur 8.5-2 at energibehovet fra Monte Carlo analysen i Kapittel 7 er noe overestimert for småhus i forhold til resultatene i dette casestudiet.

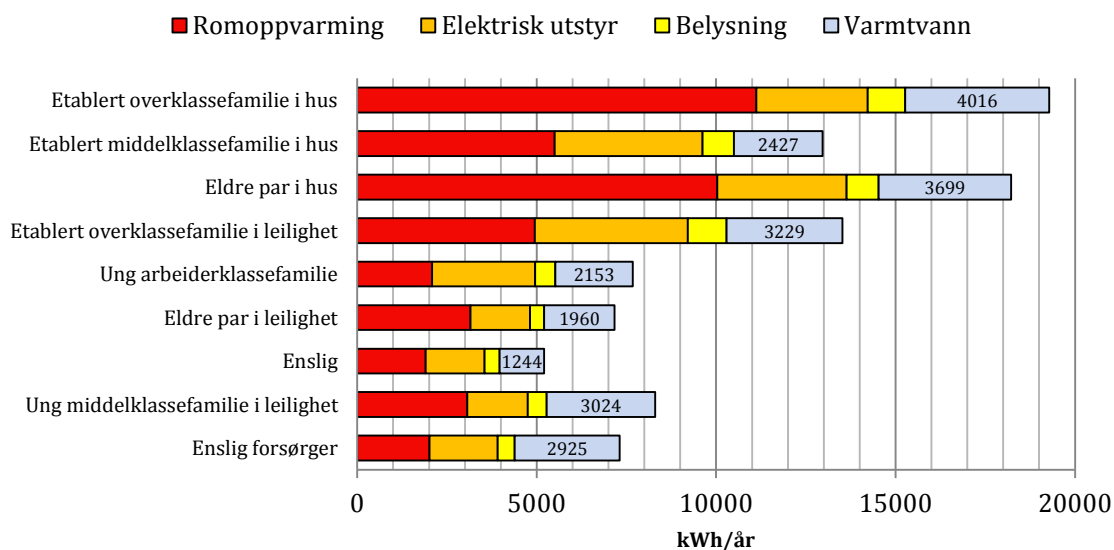
I likhet med hva man så for brukerprofilene i leilighet er det heller ikke de altfor store differansene i det spesifikke energibehovet mellom brukerprofilene bosatt i hus. For brukerprofilene i hus er fordelinger for effektbehov til oppvarming av tappevann basert på

målinger og det er kun naturlig ventilasjon og driftstid for varmeanlegget som bygger på samme dataunderlag som Monte Carlo analysen i Kapittel 7. Siden energibehovet fra Monte Carlo analysen i Kapittel 7 viser seg å være noe overestimert kan det muligens indikere at den beregnede effekten til oppvarming av varmtvann er noe overestimert. Siden effekt til oppvarming av varmtvann er beregnet på bakgrunn av samme dataunderlag for brukerprofilene som bor i leilighet som det som ble benyttet for Monte Carlo analysen i Kapittel 7, kan det være interessant å se om det er store differanser i det formålsdelte totale gjennomsnittlige energibehovet mellom brukerprofilene.

Det vil i tillegg være interessant å undersøke det totale gjennomsnittlige energibehovet siden flere av undersøkelsene fra litteraturen som er gjennomgått i litteraturstudiet i 0 og i bakgrunnen i Kapittel 1 evaluerer sosiologiske og økonomiske faktorer i forhold til totalt energibruk eller totalt elektrisitetsforbruk per husholdning, uavhengig av boligens bruksareal. I Vedlegg U blir det formålsdelte energibruket kommentert ytterligere.

8.5.2 ÅRLIG ENERGIBEHOV FOR HVER BRUKERPROFIL

For å illustrere formålsdelt spesifikt energibehov er det gjennomsnittlige energibehovet til romoppvarming, elektrisk utstyr, belysning og varmtvann multiplisert med det gjennomsnittlige bruksarealet for hver brukerprofil, resultatene er presentert i Figur 8.5-3. Dette gir kun en indikasjon på differansene av energibruk mellom brukerprofilene og man må være klar over at det er store variasjoner innenfor hver brukerprofil, som illustrert i Figur 8.5-1 og Figur 8.5-2.



FIGUR 8.5-3: GJENNOMSNIITTLIG ÅRLIG ENERGIBEHOV FOR BRUKERPROFILENE. TALLENE FOR ENERGIPOSTEN VARMTVANN INDIKERER DEN GJENNOMSNIITTLIG ENERGIBEHOV TIL VARMTVANN I kWh/ÅR.

Fra Figur 8.5-3 kan en nå se at det er store forskjeller i det totale gjennomsnittlige energibehovet mellom de ulike brukerprofilene. En ser at det er brukerprofilene hvor husholdningene er bosatt i hus og store leiligheter som har det største totale energibehovet. Disse har også det største energibehovet til romoppvarming. Dette gir en indikasjon på at boligareal har en signifikant påvirkning på energibruken for brukerprofilene noe som også ble indikert ved beregning av grå relasjonsgrader i avsnitt 8.3.2 som var beregnet på bakgrunn av elektrisitetsforbruket til de

ulike husholdningene. Bruksareal i flere undersøkelser også betraktet som den mest betydningsfulle faktor for en husholdnings energibruk (Yohanis, et al., 2008) (Bøeng, 2005) (Gram-Hanssen, 2005a).

I forhold til energibehovet til varmtvann indikerer resultatene i Figur 8.5-3 at man ikke kan konkludere med at det beregnede effektbehovet til oppvarming av varmtvann er overestimert siden eldre par i leilighet og eldre par i hus har svært lik karakteristikk med unntak av boligareal og bygningstype, men *eldre par i hus* har et gjennomsnittlig energibehov til oppvarming av varmtvann som er nesten 90 % høyere enn for *eldre par i leilighet*. Likeledes har *etablert middelklasse i hus* og *etablert overklasse i leilighet* liknende karakteristikk i forhold til antall husholdningsmedlemmer, men for disse to brukerprofilene er det gjennomsnittlige energibehovet til oppvarming av varmtvann ca. 30 % høyere for *etablert overklasse leilighet* enn for *etablert middelklasse i hus*. Fra disse resultatene er det ikke noen trend at det beregnede effektbehovet til oppvarming av varmtvann er høyere enn i virkeligheten. Resultatene kan imidlertid indikere at det kan være svært store spredninger i energibehov til oppvarming av varmtvann og dette er i overensstemmelse med resultatene vi så i den kvantitative sensitivitetsanalysen hvor effekt til oppvarming av varmtvann ble tillagt å stå for ca. 20 % av usikkerheten i totalt netto energibehov.

Videre kan en fra Figur 8.5-3 se at det er brukerprofilen *etablert overklassefamilie i hus* og *etablert overklassefamilie i leilighet* som har det største gjennomsnittlige energibehovet for henholdsvis hus og leiligheter. Disse brukerprofilene består av husholdninger med flest husholdningsmedlemmer og de er også blant brukerprofilene med flest tenåringer. Dette stemmer også godt overens med resultatene fra grå relasjonsgrader hvor man så at antall personer og antall tenåringer var attributtene som var høyest vektet i forhold til forbruk av elektrisitet. Undersøkelser i litteraturen slår også fast at antallet husholdningsmedlemmer har stor innflytelse på totalt energibruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) og nyere undersøkelser har også indikert at antall tenåringer fører til et høyere elektrisitetsforbruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Gram-Hanssen, 2005b) (Thøgersen, et al., 2010). Det skal også nevnes at *etablert overklasse i leilighet* og *etablert overklasse i hus* er de to brukerprofilene med høyest gjennomsnittlig månedlig inntekt og flere undersøkelser i litteraturen indikerer at inntekt har stor betydning for det elektriske forbruket til en husholdning (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) (Thøgersen, et al., 2010).

Undersøkelser har også vist at det er mest lønnsomt å bo flere i en husholdning (Gram-Hanssen, 2005a), hvilket kan komme av at noen av de grunnleggende behov for energi vil være det samme uavhengig av persontettheten til husholdningen. En kan se at *enslige* har det laveste energibehovet, men at den differansen som forekommer illustrerer at det er mer lønnsomt å bo flere sammen.

8.6. DELDISKUSJON

Siden man ut i fra Monte Carlo analysen Kapittel 7 så at brukeratferd kan føre til store variasjoner i totalt netto energibehov for en husholdning og at det dermed er en forholdsvis stor usikkerhet knyttet til hva energibehovet til en husholdning vil være ved energiberegninger, ble det vurdert om det kunne dannes brukerprofiler for ulike husholdningstyper. Det ble antatt at brukerprofiler kunne redusere variasjonsbredden av beregnet energibehov for en gitt husholdning slik at man kan gjennomføre en mer nøyaktig beregning enn om man beregner ut i fra inndata som baserer seg på generelle målinger og antakelser ut i fra norske og europeiske forhold. Siden problemanalysen hadde illustrert at sosiologiske og økonomiske faktorer hadde stor påvirkning på en husholdnings energibehov ble det ansett som fornuftig å prøve å strukturere husholdninger i henhold til disse faktorene. Vi fikk tilgang på et datasett fra Energimyndigheten i Sverige bestående av målinger av elektrisk sluttforbruk for 400 husholdninger i Sverige. Ulike metoder for strukturering av data ble vurdert; klyngeanalyse, faktoranalyse, beslutningstre og predefinert brukermønstre. Det ble vurdert dit hen at klyngeanalyse er en forholdsvis objektiv metode samt forholdsvis enkel å gjennomføre og det ble derfor besluttet å benytte klyngeanalyse på datasettet. Sosiologiske og økonomiske faktorer ble identifisert i datasettet og utgjorde attributtene som datasettet skulle deles inn etter. Attributtene var antall husholdningsmedlemmer, antall tenåringer, alder på eldste husholdningsmedlem, husholdningsinntekt, bygningstype og bruksareal. Siden de ulike attributtene har ulik påvirkning på en husholdnings energibehov ble det utført en grå relasjonsanalyse mellom attributtene og elektrisitetsforbruket til de ulike husholdningene, ekskludert elektrisitet til romoppvarming og oppvarming av tappevann siden det var mange av husholdningene som ikke hadde datagrunnlag for disse energiformålene. Grå relasjonsgrader som ble funnet i den grå relasjonsanalysen ble benyttet som vektingskoeffisienter for de ulike attributtene til klyngeanalysen. Ut i fra grå relasjonsgrader ble det indikert at antall husholdningsmedlemmer og antall tenåringer hadde størst innflytelse på elektrisitetsforbruk for husholdningene i datasettet. Datagravningsprogrammet WEKA ble benyttet for å gjennomføre klyngeanalysen og siden k-means algoritmen i kombinasjon med distanse målet Euclidean distance allerede var tilgjengelig i WEKA ble disse metodene benyttet. Klyngeanalyse med 4-11 klynger ble gjennomført og en validering av antall klynger ble gjort ved hjelp av silhuetter som gir et mål på klyngenes tetthet innad og avskilling fra andre klynger. Det ble ut i fra silhuetteanalysen antatt at ni klynger var det antallet som gav mest distinkte klynger. En grafisk presentasjon av normalisert energibruk for husholdningene på senterverdien av attributtene av hver husholdning viste imidlertid at klyngene ikke var spesielt adskilte, men heller at mange av klyngene overlappet hverandre. Dette illustrerer et at det i virkeligheten kan være vanskelig å oppnå distinkte klynger og at dette sannsynligvis kan være spesielt vanskelig når mennesker og brukeratferd er avgjørende for dataene som skal grupperes.

Det kunne vært interessant å gjennomføre klyngeanalyse med andre klyngeanalysealgoritmer på samme datasett for å evaluere om andre klyngeanalyser kunne gi bedre resultater. Man kunne også eventuelt benyttet andre grupperingsmetoder som for eksempel beslutningstremetoden og sett om det ville gruppert datasettet på en annen måte. I ettertid er det i tillegg vurdert dit hen at ni klynger kanskje er i meste laget, spesielt for et datasett med 122 husholdninger. Det hadde muligens vært bedre om det hadde blitt gjennomført en faktoranalyse på attributtene før de ble benyttet til inndeling av klynger siden det for eksempel kan være en korrelasjon mellom boligareal og inntekt og at disse to attributtene kunne utgjort én attributt.

Med færre attributter ville det sannsynligvis vist seg å være bedre med færre klynger og klyngene ville kanskje blitt mer distinkte.

Klyngeanalysen med ni klynger dannet imidlertid grunnlag for ni brukerprofiler; enslig, enslig forsørger, ung arbeiderklassefamilie, ung middelklassefamilie i leilighet, etablert overklassefamilie i leilighet, eldre par i leilighet, eldre par i hus, etablert middelklassefamilie i hus og etablert overklassefamilie i hus. Basert på datagrunnlaget av husholdningene som inngikk i klyngene ble det dannet sannsynlighetsfordelinger over effektbehov til belysning, effektbehov til elektrisk utstyr, driftstimer samt at det ble antatt at temperaturmålinger for de ulike husholdningene representerte settpunkt for varmeanlegget for målinger som var utført i oppvarmings sesongen og det ble ut i fra det dannet fordelinger for settpunkttemperaturer.

Ved å utføre simuleringer med disse sannsynlighetsfordelingene i SIMIEN med boligblokkmodellen for de brukerprofilene som representerte husholdninger i leiligheter og med småhusmodellen for de brukerprofilene som representerte husholdninger i hus kunne resultatene sammenliknes i henhold til spesifikt energibruk og totalt gjennomsnittlig energibruk for klyngene. I henhold til spesifikt energibehov så man at det faktisk ikke var så mye som skilte mellom de ulike brukerprofilene i leilighet og mellom de ulike brukerprofilene i hus. Generelt sett var det imidlertid stor spredning innad i brukerprofilene for leiligheter hvor forventningsverdiene lå mellom 99 kWh/m² år - 115 kWh/m² år med variasjonskoeffisienter mellom 24 % – 38 %. Forholdsvis stor variasjon i totalt netto energibehov gjorde seg også gjeldende for *eldre par i hus* med en forventningsverdi på 127 kWh/m² år og en variasjonskoeffisient på 29 %, mens det for *etablert middelklasse i hus* og *etablert overklasse i hus* var en noe mindre spredning med en forventningsverdi på henholdsvis 126 kWh/m² år og 120 kWh/m² år og variasjonskoeffisienter på 14 % og 19 %. *Etablert middelklasse i hus* og *etablert overklasse i hus* representerer to av brukerprofilene som er basert på målinger av flest husholdninger, dette indikerer at dersom alle brukerprofilene hadde vært basert på større datasett ville det sannsynligvis vært mindre variasjon innad i hver profil.

Den kumulative distribusjonen for resultatene fra Monte Carlo analysen i Kapittel 7 for boligblokkmodellen og småhusmodellen ble sammenliknet med de kumulative distribusjonene for brukerprofilene. Dette viste seg å være en relativt god tilnærming av energibehovet for de brukerprofiler hvor husholdningene bodde i leiligheter, men at distribusjonen for Monte Carlo analysen i Kapittel 7 var noe overestimert for brukerprofilene hvor husholdningene var bosatt i hus. Det skal imidlertid nevnes at fordelingene for naturlig ventilasjon og driftstimer for varmeanlegget er de samme for alle simuleringene samt at for leilighetene belager tall på effektbehov til tappevannsoppvarming seg på samme datagrunnlag som ble benyttet for Monte Carlo analysen i Kapittel 7.

Ved å beregne et gjennomsnittlig totalt energibehov for hver brukerprofil kunne man se at indikasjoner fra litteraturen gjorde seg gjeldende for brukerprofilene fra test-casen ved at man så at boligareal, antall husholdningsmedlemmer, antall tenåringer og inntekt viste seg som innflytelsesrike parametere på en husholdnings energibehov.

Resultatene indikerer at en ved å benytte brukerprofiler muligens kan oppnå en mer presis energiberegning, men forskjellene for det spesifikke energibehovet mellom brukerprofilene var ikke markant for dette casestudiet. Ved å benytte et større datasett kan brukerprofilene muligens bli mer distinkte og spredningen innenfor hver brukerprofil kan kanskje bli redusert.

Utarbeidelse av brukerprofiler er både kostbart og tidkrevende og en bør derfor overveie om det er hensiktsmessig. Uansett bør det imidlertid gjennomføres flere studier for å forsøke å øke nøyaktigheten av sensitive faktorer i forhold til energibehov og inneklima for i det minste å utarbeide en generell profil basert på virkelig brukeratferd. For rådgivende ingeniører i en travel hverdag hvor ressursene muligens er begrenset kan det hende at en energiberegning basert på en generell profil, lik den som ble benyttet i Monte Carlo analysen i Kapittel 7, kanskje gir en tilstrekkelig god estimering av energibehovet til en husholdning. Dersom det skal være gunstig med brukerprofiler for en rådgivende ingeniør, bør de i det minste være ferdig programmert inn i et simuleringsprogram eller regneverktøy. Og i likhet med hva som ble nevnt tidligere bør det for enkelhets skyld ikke være for mange brukerprofiler den rådgivende ingeniøren må forholde seg til siden det kanskje vil føre til mye forvirring og dermed være noe han eller hun ikke klarer å forholde seg til. Dette kan føre til en ytterligere usikkerhet.

KAPITTEL 9 – AMSiS

Dette kapittelet presenterer produktet AMSiS v 1.0 som er utviklet i dette prosjektet. Verktøyet er som nevnt tidligere rettet mot norske rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø. AMSiS står for *Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN* og er et regneverktøy som gjør det mulig å utføre en rekke simuleringer med ulike inndata i SIMIEN på en forholdsvis hurtig og enkel måte. Dette gjør det gjennomførbart å ta høyde for brukeratferd ved å modellere faktorene som fra screeninganalysen viste seg å ha stor innflytelse på utdata som stokastiske mens de faktorene som viste seg å være insensitive samt bygningsfysiske faktorer modelleres deterministisk. På bakgrunn av Kapittel 8 er det i tillegg lagt inn brukerprofiler fra casestudiet for å illustrere hvordan brukerprofiler kan ligge ferdig programmert inne i programmet slik at rådgivende ingeniører ved hjelp av enkle vurderinger kan velge en passende brukerprofil for en typisk husholdning som kan bo i boligen det skal beregnes energi og inneklima for. Dersom brukerprofilene i fremtiden utbedres vil den rådgivende ingeniøren ut i fra beregningene med benyttelse av brukerprofilene sannsynligvis oppnå resultater som gir en rimelig indikasjon på innenfor hvilket intervall energibruken til den gitte husholdningen vil ligge, samt hvilke inneklima som kan forventes. I det følgende forklares bakgrunnen for utvikling av AMSiS og deretter gis en kort innføring i hvordan AMSiS brukes. En utfyllende brukerveiledning til AMSiS finnes i Vedlegg V. Programmet ligger i mappen \AMSiS på vedlagt på DVD sammen med nødvendige installasjonsfiler med mer. Alle makroer som ligger det grunn for programmet ligger også vedlagt på DVD, i filen *Makroene til AMSiS fra Visuell Basic.pdf* i mappen \AMSiS.

9.1. BAKGRUNN FOR UTVIKLING AV AMSiS

Bakgrunnen for dette prosjektet er at studier har vist at det ofte er store forskjeller mellom beregnet energibruk og målt energibruk for boliger. Som litteraturen i Kapittel 1 indiker er brukeratferd ansett som en signifikant kilde til disse differansene. Et av formålene med dette prosjektet er som tidligere nevnt å utvikle en metode som gjør at norske rådgivende ingeniører kan ta høyde for virkelig brukeratferd ved utføring av energi- og inneklimaberegninger og på den måten oppnå resultater med en bedre tilnærming av faktiske forhold enn det som gjøres i dag. AMSiS er produktet som er utviklet og metoden som kan benyttes for å oppnå dette.

AMSiS er inspirert av det danske regneverktøyet *Be06 indata v2.3.xls* som er utviklet av Fredrik Winther (Winther, 2006). *Be06 indata v2.3.xls* automatiserer utførselen av et gitt antall simuleringer med ulike inndata og verktøyet er kompatibelt med det danske energiberegningsprogrammet Be06 (SBI). Vi fikk kjennskap til Winther sitt regneverktøy da vi ble introdusert for stokastisk modellering på 8.semester av Indeklima og Energi ved Aalborg Universitet. Vi så den gang hvilken stor nytte Winther sitt regneverktøy hadde i flere stadier i et byggeprosjekt. Ved hjelp av verktøyet kunne man utføre faktorvariasjoner for å gi råd til arkitekter omkring arkitekturens innflytelse på energiforbruket i bygget og i tillegg kunne man utføre supplerende beregninger for å gi råd til byggherren om brukernes innflytelse på det totale energiforbruket ved ulike bruk av bygget.

I likhet med *Be06 indata v2.3.xls* automatiserer AMSiS et gitt antall simuleringer med ulike inndata, men siden fokusområdet i dette prosjektet er brukeratferds påvirkning på energibruk og inneklima er det kun faktorer relatert til brukeratferd som ligger inne i programmet som stokastiske variabler mens faktorer relatert til bygningsfysikk modelleres som deterministiske faktorer. De brukerrelaterte stokastiske variablene som ligger inne i AMSiS er i hovedsak basert på målinger fra feltundersøkelser, men det har vært nødvendig å gjennomføre supplerende vurderinger og antakelser i forhold til faktorer hvor data fra målinger har vært vanskelig å oppdrive. Fordelinger for samtlige stokastiske variabler og forklaring til hvordan de er dannet er beskrevet i Kapittel 7 og Kapittel 8.

AMSiS er kompatibelt med det norske simuleringsprogrammet SIMIEN noe som gjør at hoveddelen av rådgivende ingeniører innenfor energi og miljø i bygg i Norge faller innenfor målgruppen til verktøyet siden man så i Kapittel 2 at de fleste rådgivende ingeniører benytter SIMIEN i deres energi- og inneklimaberegninger.

Siden rådgivende ingeniører er målgruppen for AMSiS, er det noen kriterier som ligger til grunn for utviklingen av verktøyet for å sikre at det kan bli benyttet i praksis:

- (i) Verktøyet må være enkelt i bruk.
- (ii) Verktøyet må være kostnadsmessig effektivt
- (iii) Verktøyet må gi en god fremstilling av resultatene.

En måte å forsikre seg om at verktøyet er enkelt i bruk er å ha en layout som er ryddig og oversiktlig. Dette er forsøkt å gjennomføre i AMSiS ved å lage et begrenset antall regneark som det er nødvendig at brukeren forholder seg til samt at de arkene brukerne må benytte er ryddig satt opp og utstyrt med deloverskrifter og eventuelt forklaringer til hva brukeren skal gjøre. Arket hvor brukerne skal angi inndata er i tillegg bygd opp slik at det er gjenkjennelig i forhold til SIMIEN ved at alle elementer legges inn i kronologisk rekkefølge i forhold til hvordan inndata angis i SIMIEN, dette gjenkjenningsmomentet kan bidra til at brukerne synes det er forholdsvis lett å benytte AMSiS.

Hele prosessen med å kjøre simuleringer, samle resultater og behandle resultater tar ca. 25 sekunder per case, noe som er svært tidsbesparende i forhold til å kjøre manuelle simuleringer, dette gjør at AMSiS er et svært kostnadseffektivt verktøy med tanke på tidsbruk.

AMSiS fremstiller energieresultater som kumulative kurver slik at man tydelig kan se hvordan ulike brukeratferd påvirker energibruken i boligen og slik at man kan anslå med hvor stor sannsynlighet det er at energibehovet er under gitte grenseverdier i TEK10 for småhus og boligblokker. I tillegg blir middelerdi og middelerdi +/- standardavvik for operative temperaturer for en vinterdag og en sommerdag presentert i tabellform og grafisk sammen med ePMV- og ePPD-indeks som illustrerer spredningen i temperaturforhold og tilfredshet med temperaturforholdene som kan forårsakes av ulike brukeratferd.

AMSiS har potensial til å bli utvidet slik at det kan modellere samtlige inndata faktorer som stokastiske variabler slik at det i likhet med *Be06 indata v2.3.xls* kan bli benyttet i flere trinn i et byggeprosjekt, men det er utenfor rammene til dette prosjektet og det er derfor noe vi begrenser oss fra å beskrive.

9.2. BRUK AV AMSiS

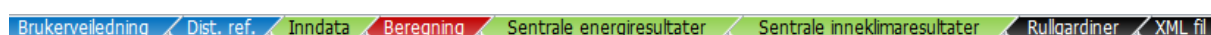
Den første versjonen av AMSiS som introduseres i dette prosjektet er hovedsakelig lagd for boliger og boligblokker og verktøyet kan simulere en sone av gangen. Dersom boligen/leiligheten må inndeles i flere soner i henhold til NS3031 (Standard Norge, 2007) må det utføres egne simuleringer for hver sone. Begrensningene i forhold til bygningskategori og antall soner er satt på grunn av tidsperspektivet i dette prosjektet. Det kan fint la seg gjøre å utvide programmet til å omfatte alle bygningskategorier i henhold til TEK10 (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) samt å oppdele bygget i et fritt antall soner, men dette er noe tidskrevende arbeid og det er i denne fasen valgt å demonstrere konseptet av programmet ved kun å benytte en sone og to bygningskategorier.

9.2.1 NØDVENDIG PROGRAMVARE

For å bruke AMSiS er det nødvendig å benytte operativsystemet Windows 7 i tillegg til å ha installert Microsoft Excel, SIMIEN 5.004 (ProgramByggerne ANS, 2010), Simlab (Joint Research Centre of the European Commission, 2011) og AutoIt 3.2.0.1 (Jonathan Bennet & AutoIt Team, 2010) på sin datamaskin. AMSiS er en makroaktivert Excelarbeidsbok som automatisk utfører multiple simuleringer i SIMIEN på bakgrunn av fordelinger generert i Simlab. AutoIt er et hjelpeprogram som automatisk åpner eksterne programmer som SIMIEN og SIMIENViewer ved hjelp av simulerte tastetrykk, musebevegelser og vindu/kontroll manipulering og utfører på den måten kommandoer som er nødvendige for å gjennomføre simuleringene. SimLab og SIMIEN er tidligere beskrevet i henholdsvis avsnitt 4.3.1 4.3.2 i Kapittel 4 samt at det er ytterligere beskrevet i Vedlegg H og Vedlegg G.

9.2.2 OPPBYGNING AV AMSiS

AMSiS består av 13 regneark, seks regneark som brukerne av programmet skal forholde seg til samt 7 syv som ikke skal redigeres. Regnearkene er merket med en fargekode som forteller brukeren hvilken adgang de har til ulike arkene. De ulike fargekodene er sort, blå, rød og grønn, se Figur 9.2-1.



FIGUR 9.2-1: FARGEKODER PÅ REGNEARK I AMSiS.

Grønn betyr at brukeren skal putte inn data eller hente ut data av regnearket.

Rødt regneark inneholder makroaktiverte knapper som må trykkes på for å laste inn utvalg fra SimLab og for å gjennomføre simuleringer og samle resultater.

Blå regneark er til informasjon for brukerne.

Sort regneark skal ikke endres av brukerne.

9.2.3 SENTRALE REGNEARK

Det er fire regneark som er mest sentrale for brukere av AMSiS, disse regnearkene er *Inndata*, *Beregning*, *Sentrale energieresultater* og *Sentrale innklimaresultater*. I det følgende gis en kort innføring i disse arkene, mer detaljerte beskrivelser kan finnes i brukerveiledningen i Vedlegg V.

9.1.2.3 INNDATA

Samtlige inndatafaktorer for en *base-case* simulering skal angis i de hvite cellene i det grønne regnearket *Inndata*. Nødvendig inndata for AMSiS er de samme som for SIMIEN som ble beskrevet på side 41 i Kapittel 4 samt er beskrevet mer i detalj i Vedlegg G. Som nevnt er målgruppen til AMSiS norske rådgivende ingeniører og det forventes derfor at brukerne av verktøyet har kjennskap til SIMIEN og inndatafaktorene som er nødvendige for å gjennomføre en SIMIEN simulering. Det er viktig at alle inndatafaktorene ligger innenfor gyldige intervaller for at det skal være mulig å gjennomføre vellykkede simuleringer i SIMIEN. Dersom en inndata er utenfor gyldig intervall vil simuleringen stoppe opp og dersom dette skjer ved bruk av AMSiS som kjører en rekke simuleringer av gangen vil hele simuleringsrekken stoppe opp og man må endre inndata og starte simuleringsrekken helt på nytt. For å få informasjon om gyldig område kan man sveipe musepekeren over det røde hjørnet øverst i enhetscellen til høyre for inndatacellen og en kommentar blir synlig som angir gyldig intervall for gjeldende faktor, se Figur 9.2-2. For hver inndatafaktor er det også lagt inn en kommentar i høyre hjørne som beskriver den spesifikke inndatafaktoren dersom brukeren skulle være i tvil om definisjonen på faktoren, kommentaren kommer til syne ved å sveipe musepekeren over det røde hjørnet, se Figur 9.2-2.

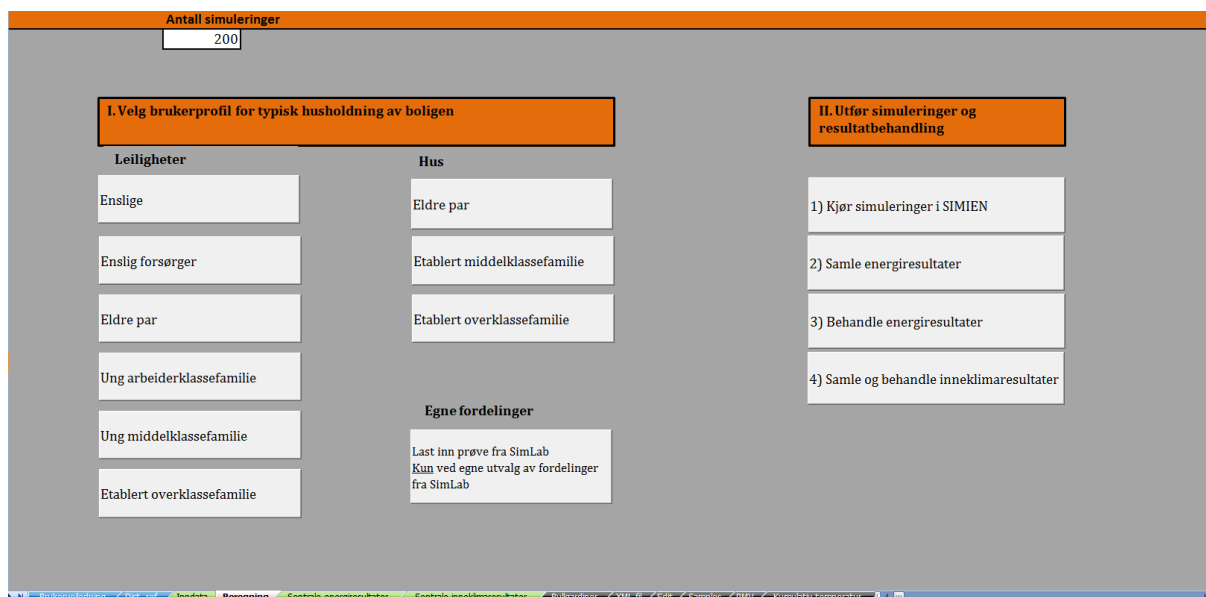
FASADE 1										
Navn fasade 1	fasade nord		Navn på vindu 1	vindu 1		Navn på vindu 2				
	Verdi	Enhet		Verdi	Enhet		Verdi	Enhet		
Areal	239	m ²	Antall	90	-	Antall				
U-verdi	0.18	W/m ² K	Høyde	1	m	Høyde		m		
Varmekapasitet	10	Wh/m ² K	Bredde	1	m	Bredde		m		
Himmelretning	0	-	Andel karm	0.2	-	Andel karm		-		
	sektor 1	9	U-verdi	1.2	W/m ² K			W/m ² K		
	sektor 2	9								
Horisont	sektor 3	9	Solfaktor	Total	0.35		Solfaktor	Total		
	sektor 4	9		Aktivert	0.35			Aktivert		
			Dybde overheng	0.1	m	Dybde overheng		m		
			Avstand til overheng	0.01	m	Avstand til overheng		m		
			Dybde venstre	0.1	m	Dybde venstre		m		
			Avstand venstre	0.01	m	Avstand venstre		m		
			Dybde høyre	0.1	m	Dybde høyre		m		
			Avnstand høyre	0.01	m	Avnstand høyre		m		

FIGUR 9.2-2: PRINTSCREEN AV INTERFACE FOR INNDATA I AMSiS SOM ILLUSTRERER KOMMENTAR OVER GYLDIG OMRÅDE/INTERVALL FOR INNDATAFAKTOR.

9.2.2.3 BEREGNING

I arket *Beregning* må man angi hvor mange simuleringer man skal kjøre, velge brukerprofil og trykke på makroaktiverte knapper som automatisk kjører simuleringer i SIMIEN, samler resultater og gjennomfører beregninger for resultatevaluering. Antall simuleringer angis i den hvite cellen C2, se Figur 9.2-3. Brukerprofiler⁵ velges ved å trykke på knappene som er plassert til venstre i arket, se Figur 9.2-3. Sannsynligvis kan det hende at en husholdning vil ligge mellom to eller flere av de oppstilte brukerprofilene, men da må man velge den brukerprofilen som er mest representativ for gjeldende husholdning. Når antall simuleringer er angitt og brukerprofiler er valgt kan man utføre simuleringene og resultatbehandlingen dette gjøres ved å trykke på knappene som er plassert til venstre for brukerprofilknappene, se Figur 9.2-3. Det er fire makroaktiverte knapper som er nummerert fra 1-4, disse skal trykkes på i kronologisk rekkefølge. Det er viktig at prosessen i foregående operasjon er fullført før du trykker på neste knapp siden operasjonene er avhengige av hverandre.

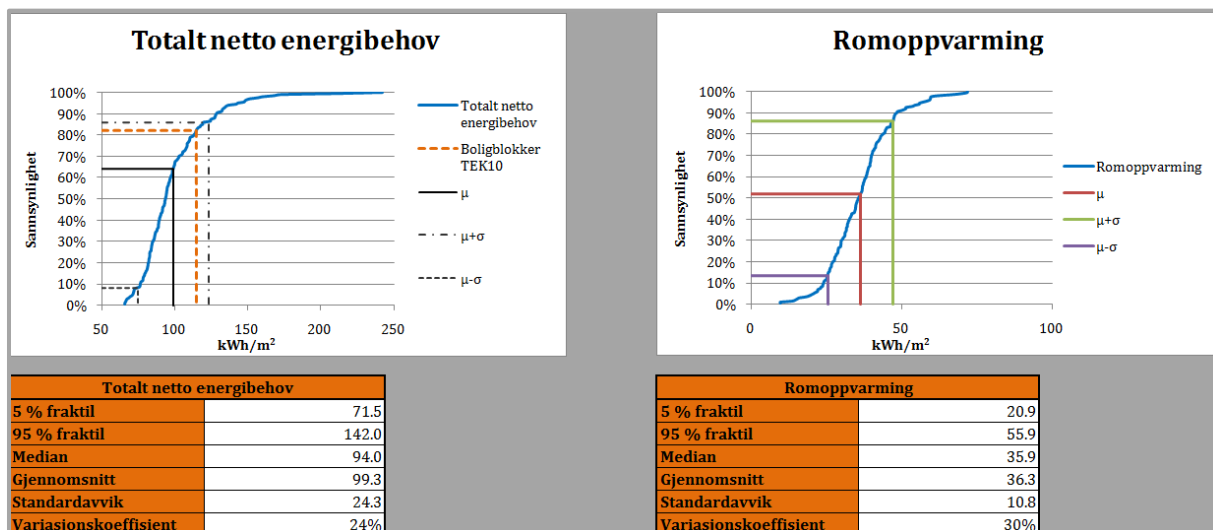
⁵ Brukerprofilene som er utviklet for AMSiS baser seg på case studiet som ble beskrevet i Kapittel 8. En videre utvikling av brukerprofilene bør gjennomføres i videre studier.



FIGUR 9.2-3: PRINTSCREEN AV INTERFACE TIL AMSIS AV REGNEARKET BEREGNING.

9.3.2.3 SENTRALE ENERGIRESULTATER

I arket *Sentrale energieresultater* fremstilles resultater for totalt netto energibruk, romoppvarming, oppvarming av varmt forbruksvann, belysning og teknisk/ el.utstyr som kumulative kurver, se utsnitt i Figur V.3-6. I diagrammet for totalt netto energibruk markeres myndighetskravene gitt i TEK10 på $120 + 1600/\text{m}^2 \text{ kWh}/\text{m}^2$ for småhus og $115 \text{ kWh}/\text{m}^2$ for boligblokker slik at man kan anslå med hvor stor sannsynlighet det er at energibehovet tilfredsstiller myndighetskravene. På samtlige av de kumulative energikurvene er det markert middelværdi og middelværdi $\pm$ standardavvik som illustrerer spredningen av energibruk innenfor de ulike postene ved ulik brukeratferd. I tillegg blir middelværdi, standardavvik, median, variasjonskoeffisient samt 5 % og 95 % fraktil gitt i tabellform under hver graf. Ved å sammenlikne median og middelværdi kan man vurdere om energibruket er forholdsvis jevnt fordelt eller om det er noen få verdier som trekker det gjennomsnittlige energibruket opp eller ned. I Figur 9.2-4 er det presentert et screenshot med utsnitt fra arket med de sentrale energieresultatene.



FIGUR 9.2-4: SCREENSHOT MED UTSNITT AV SENTRALE ENERGIRESULTATER FRA AMSiS.

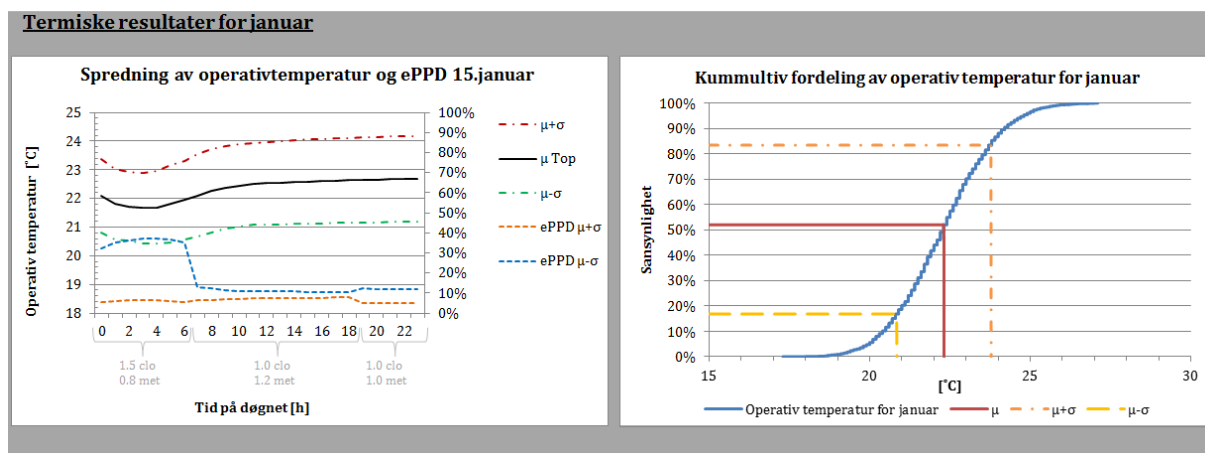
I Figur 9.2-4 kan en se et utsnitt av AMSiS med kumulative distribusjoner for resultatene av totalt netto energibehov og energibehovet til romoppvarming. Under grafene kan en se tabellene med sentrale statistiske mål for fordelingene.

9.4.2.3 SENTRALE INNEKLIMARESULTATER

I arket *Sentrale inneklimateberegninger* presenteres termiske resultater både grafisk og i tabellform. Det blir gitt grafisk presentasjon av kumulative kurver for operativ innetemperatur for januar og juli. Middelverdi og standardavvik av timesverdier for operativ temperatur blir gitt i tabellform for 15. januar og 15. juli i tillegg til at de blir grafisk fremstilt sammen med ePPD-indeks. ePMV-modellen er en utvidelse av PMV-modellen slik at indeksen er passende til bygninger som ikke er utstyrt med air-condition eller for bygninger som er lokalisert i varme klima (Fanger, et al., 2002). Faktoren e er forventningsfaktoren og er estimert til å variere mellom 0,5-1. Den er 1 for bygninger med air-condition, mens for bygninger uten air-condition er forventningsfaktoren antatt å være avhengig av lengden på varme perioder i løpet av året (Fanger, et al., 2002). I Norge er det kun korte perioder om sommeren som er varme og forventningsfaktoren er derfor satt til 0,9 dersom boligen som simuleres har naturlig ventilasjon eller avtrekksventilasjon og 1 dersom boligen har CAV- eller VAV-ventilasjon. De grafiske presentasjonene i arket *Sentrale inneklimateberegninger* viser hvilken spredning temperaturer og tilfredshet kan ha på bakgrunn av ulik brukeratferd, se eksempel i Figur 9.2-5 og Figur 9.2-6.

Vinterdag: 15.januar									
Time	0	1	2	3	4	5	6	7	8
μT_{op}	22.101	21.8085	21.7275	21.671	21.691	21.81	21.9365	22.107	22.26
σT_{op}	1.279329	1.23112	1.212412	1.22686	1.261418	1.345456	1.371284	1.439972	1.462908
$\mu + \sigma$	23.38033	23.03962	22.93991	22.89786	22.95242	23.15546	23.30778	23.54697	23.72291
$\mu - \sigma$	20.82167	20.57738	20.51509	20.44414	20.42958	20.46454	20.56522	20.66703	20.79709

FIGUR 9.2-5: UTSNITT AV ARKET SENTRALE INNEKLIMARESULTATER, TABELL OVER GJENNOMSNIITTLIG TERMISKE RESULTATER FOR JANUAR MED STANDARDAVVIK.



FIGUR 9.2-6: UTSNITT AV SENTRALE INNEKLIMARESLTATER, EVALUERING AV TERMISK KOMFORT I JANUAR OG KUMULATIV KURVE OVER TIMESVERDIER AV OPERATIV TEMPERATURER I JANUAR.

Årsaken til at det er valgt å benytte ePPD-indeks i AMSiS, er at flere undersøkelser har vist at den tradisjonelle PMV-modellen ofte forutsier varmere termisk fornemmelse enn brukerne faktisk føler i bygninger uten air-condition og bygninger lokalisert i varmt klima (Brager, et al., 1998) (Humphreys, et al., 2002) (Becker, et al., 2009) og at termisk komfort heller bør evalueres ut i fra en adaptiv modell som baserer seg på utendørs temperaturer (Nicol, et al., 2009). Kritikken mot PMV-modellen har ført til at deriblant ISO 7730:2005 anbefaler at man må være spesielt forsiktig med å benytte PMV- og PPD-indeksene for bygninger som er naturlig ventilerte, bygninger i varme klimaregioner eller i løpet av varme perioder eller i bygninger hvor de termiske forholdene er brukerkontrollerte siden brukere gjerne kan tilpasse seg omgivelsene i slike situasjoner og akseptere større variasjoner i de termiske forholdene og PMV- og PPD-indeksene kan dermed være misledende. P. O. Fanger som er hovedmannen bak den tradisjonelle PMV-modellen (Fanger, 1970) har på grunn av denne kritikken utviklet den utvidede ePMV-modellen i samarbeid med Jørn Toftum (Fanger, et al., 2002) som de mener kombinerer det beste fra PMV-modellen og adaptive modellen ved at den anerkjenner at forventning til innetemperaturer spiller en viktig rolle i forhold til termisk fornemmelse samtidig som modellen fortsatt baserer seg på et menneskes varmebalanse. Fanger og Toftum har testet den utvidede ePMV-modellen på et datasett med mer enn 3200 observasjoner fra feltundersøkelser fra naturlig ventilerte bygninger i varme klima og resultatene viste en god overensstemmelse mellom observert termisk fornemmelse og forventet termisk fornemmelse ut i fra ePMV-modellen (Fanger, et al., 2002). Norge er som kjent ikke lokalisert i en varm klimasone, men det er antatt at en forventningsfaktor på 0,9 er passende for naturlig ventilerte bygninger i Norge siden det da tas høyde for en større aksept til termisk miljø i naturlig ventilerte bygninger. Ut i fra (Fanger, et al., 2002) tilsvarer en forventningsfaktor på 0,9 en bygning hvor brukerne har høye forventninger til innendørs termisk komfort samtidig som bygningen er lokalisert i et område hvor det er vanlig med bygninger med air-condition og hvor varme perioder kun inntreffer korte tidsrom på sommeren, noe som passer til norske forhold.

ePMV-beregningene som gjennomføres i AMSiS baserer seg på antakelser om både aktivitetsnivå, bekledning, relativ lufthastighet og relativ fuktighet. Antakelsene i forhold til aktivitetsnivå og bekledningsisolans er markert i grå tekst under x-aksen på diagrammene som fremstiller ePMV og ePPD, se Figur 9.2-6. Disse antakelsene er nødvendigvis ikke helt korrekte i

forhold til virkeligheten. ePPD-indeksene som angis i diagrammene i arket *Sentrale inneklimaresultater* må derfor kun betraktes som veiledende.

I tillegg er det viktig å være klar over at ePMV- og ePPD-indeksene kun angir det termiske inneklimaets innflytelse på legemet som helhet. Selv om ePMV- indeksen tilsvarer termisk nøytralitet kan en person være utsatt for termisk disskomfort på grunn av uønsket oppvarming eller avkjøling av bestemte deler av kroppen. Simuleringsresultatene fra SIMIEN begrenser evaluering av lokal termisk disskomfort i AMSiS, noe som igjen underbygger at de beregnede ePMV- og ePPD-indeksene kun må benyttes som veiledende verdier for evaluering av termisk inneklima.

DEL 3

Denne delen inneholder diskusjon, konklusjon og perspektivering.

KAPITTEL 10 –DISKUSJON OG KONKLUSJON

Dette kapittelet oppsummerer, diskuterer og konkluderer rundt hovedmomentene som er gjennomgått i denne rapporten. Diskusjonene og konklusjonene legges til grunn for neste kapittel som er perspektivering hvor prosjektets problemstillinger og resultater betraktes med et utvidet fokus.

10.1. PROBLEM

Litteraturen har vist at det ofte er store differanser mellom teoretisk og faktisk energibehov for boliger. Indikasjoner tilsier at brukeratferd i mange tilfeller er ansett som en signifikant kilde til disse differansene. På bakgrunn av disse indikasjonene er fokuset i dette prosjektet brukeratferds påvirkning på energibruk og inneklima i boliger. Ved å implementere variasjoner forårsaket av brukeratferd i energiberegninger vil man kunne redusere differansen mellom teoretisk og faktisk energibruk, eller i det minste få kunnskap om hvilken usikkerhet man har å forholde seg til. Ved videre å kvantifisere usikkerheten i energibruk og inneklima forårsaket av ulike brukerrelaterte faktorer vil man oppnå kunnskap om hvordan virkeligheten henger sammen og dermed kunnskap om hvor man bør legge fokuset for å forsøke å redusere denne usikkerheten.

For å gjøre det mulig å ta høyde for brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger i Norge var et av formålene med dette prosjektet å utvikle et brukervennlig verktøy rettet mot norske rådgivende ingeniører som implementerer variasjoner i brukerrelaterte inndatafaktorer i et simuleringsprogram for energibehov og inneklima. For å utvikle et slikt verktøy var det i første omgang essensielt å besvare problemformuleringen som blant annet omfattet tre forskningsspørsmål. Spørsmålene ønsket besvart var:

- *Hvordan beregner norske rådgivende ingeniører energibruk og inneklima for boliger i dag?*
- *Blir det tatt hensyn til variasjoner i energibruk og inneklima forårsaket av brukeratferd?*
- *Hvis ikke; hvordan kan man i så fall utvikle et verktøy som på en enkel måte tar høyde for disse variasjonene?*

I det følgende blir problemet analysert og diskutert og det forsøkes å besvare de tre forskningsspørsmålene.

10.1.1 NØDVENDIG PROGRAMVARE

For å undersøke hvordan norske ingeniører innenfor fagfeltet energi og miljø utfører energi- og inneklimaberegninger ble det sendt et uformelt spørreskjema via e-post med fem spørsmål til 14 rådgivende ingeniørfirmaer, et forskningsinstitutt og to entreprenører i Norge. Besvarelsesraten var på 60 %. Svarene fra denne minispørreundersøkelsen ble oppsummert i Kapittel 2 hvor det som forventet ble bekreftet at alle de spurte rådgivende ingeniørene benytter simuleringsprogrammet SIMIEN i sine energi- og inneklimasimuleringer. SIMIEN er et norskutviklet dynamisk simuleringsprogram som bygger på beregningsmetoden beskrevet i Norsk Standard, NS3031. I tillegg viste svarene at det var uvanlig å gjøre noen spesielle overveielser i forhold til brukeratferd ved gjennomførelse av energi- og inneklimaberegninger og at de fleste kun benytter standard inndataverdier fra NS3031, siden det er dette som kreves

for å få myndighetsgodkjenning. Svarene viste imidlertid at flere av de spurte ingeniørene synes brukeratferds påvirkning på energi og inneklima var en spennende problemstilling og at det kunne være interessant å ta høyde for dette på en bedre måte enn det som gjøres i dag. Denne minispørreundersøkelsen viste dermed at det er en interesse i bransjen for å ta høyde for brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger og at det dermed kan være et marked for et regneverktøy som kan gjøre dette på en enkel måte. Svarene gav i tillegg en indikasjon på at et slikt verktøy bør være kompatibelt med SIMIEN.

En mer utfyllende e-post med tankene bak prosjektet ble sendt til utviklerne av SIMIEN med håp om å fange deres interesse. Her ble problemstillingen vår imidlertid utfordret i det vi ble informert om at det faktisk har eksistert en versjon av *Energi i Bygninger*, som var forløperne til SIMIEN, på slutten av 1990-tallet med mulighet til å legge inn faktorer som stokastiske variabler for å kunne vurdere variasjon i energibruk på bakgrunn av ulike inndata. Denne versjonen slo imidlertid aldri an, noe utviklerne mente at var på grunn av manglende forståelse for denne type modellering blant rådgivende ingeniører og at denne type modellering kanskje har mer akademisk interesse enn den er av interesse for bransjen. I denne versjonen hadde brukerne imidlertid kun mulighet til å legge inn uniforme fordelinger av inndatafaktorer og brukerne måtte selv vurdere fornuftige intervaller for fordelingene. Denne erfaringen kunne vi dra nytte av ved at den viste at et verktøy som belager seg på noen stokastiske inndatafaktorer bør være veldig enkelt og det kan være en fordel at fordelingene allerede ligger inne i programmet slik at brukerne ikke trenger å lage fordelinger og vurdere passende intervaller selv. Etter vår mening kan det dessuten ha skjedd endringer i bransjen i løpet av de siste 10-15 årene. Fra myndighetenes side har det helt klart blitt et meget større energifokus i løpet av denne tiden og dette har også ført til et allment fokus og kunnskapsforøkelse om energibruk. I tillegg ble det illustrert i Kapittel 1 at energiprisene i Norge har økt vesentlig siden tusenårsskiftet og dette tyder på at det i et økonomisk perspektiv vil det være av større interesse i dag å kunne estimere energibehov mer nøyaktig enn det var for 10-15 år siden. Det kan i tillegg hende at forståelsen og interessen for stokastisk modellering har økt blant dagens norske rådgivende ingeniører. Alle disse argumentene kan antyde at markedet i dag kanskje er klart for et verktøy som kan nærme seg virkeligheten ved å implementere virkelig brukeratferd i teoretiske beregninger.

10.1.2 UTVIKLINGEN AV ET VERKTØY SOM IMPLEMENTERER BRUKERATFERD

Kapittel 4 gav en beskrivelse av konseptet bak hvordan et regneverktøy på en enkel måte kan ta høyde for variasjoner i energibruk og inneklima i en bolig forårsaket av brukeratferd ved å modellere viktige sensitive brukerrelaterte faktorer som stokastiske variabler mens insensitive brukerrelaterte faktorer og faktorer relatert til bygningskonstruksjoner og tekniske systemer kan modelleres som deterministiske faktorer.

10.1.1.2 SIMULERINGSMODELLER

For å undersøke hvilke brukeravhengige faktorer som er sensitive og hvilke som er insensitive av inndata i SIMIEN samt for å illustrere hvordan man kan implementere brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger i boliger ble det valgt å benytte to standardmodeller utviklet av Sintef Byggforsk, en modell for småhus og en for boligblokker. Med originale inndataverdier tilfredsstiller disse to modellene tiltakspakken, § 14.3 i TEK10, for henholdsvis småhus og boligblokker. Ved evaluering av disse modellene viste det seg imidlertid at termisk inneklima er noe forsømt ved utvikling av modellene siden innendørs operativ temperatur oversteg 26 °C over større perioder av sommeren. Dette utgangspunktet gjorde det noe vanskelig når inneklima

forårsaket av brukeratferd skulle vurderes i de ulike analysene, det ble likevel valgt å benytte disse modellene i analysene siden det er velkjente modeller blant norske rådgivende ingeniører og siden de per dags dato er de mest representative modellene vi besitter med tanke på norske forhold og norske bygningskrav.

10.1.3 UTVIKLINGEN AV ET VERKTØY SOM IMPLEMENTERER BRUKERATFERD

Det ble identifisert 20 inndatafaktorer som ble ansett som brukeravhengige i SIMIEN i forhold til driftstimer, internlaster samt bruk av varmeanlegg og ventilasjon. Det er imidlertid forholdsvis beregningsmessig kostbart å modellere hele 20 inndatafaktorer som stokastiske og når et av formålene var at det skulle utvikles et *enkelt* regneverktøy for å sikre at det kan bli benyttet av rådgivende ingeniører i praksis, var det ønskelig å redusere dette antallet stokastiske variabler. Til screeningformål for å identifisere inndatafaktorene som kunne gis en fast verdi innenfor deres intervall for usikkerhet uten at det reduserte utdatavariasjonen vesentlig, ble det valgt å benytte Elementareffektmetoden siden dette er en av få globale screeningmetoder. Valg av metoder for sensitivitetsanalyse ble hovedsakelig basert på hvilke metoder som er implementert i SimLab, et dataverktøy utviklet for Monte Carlo basert sensitivitets- og usikkerhetsanalyse

I teorien bør sannsynlighetsfordelinger av brukerrelaterte faktorer være basert på målinger av et stort antall boliger fra feltundersøkelser hvor brukeratferden er implementert i måledataene og hvor de målte boligene gir et representativt bilde av befolkningen i forhold til demografiske forhold. Det viste seg derimot at det var begrenset med måledata å oppdrive fra litteraturen, særlig i forhold til bruk av solavskjerming, elektrisk utstyr, belysning, driftstimer og ventilasjon. På grunn av mangel på dataunderlag ble det avgjort å gjøre noen skjønnsmessige vurderinger i forhold til disse fordelingene. Vurderingene tok utgangspunkt i standardverdier fra NS3031 eller utgangspunkt i hva andre studier har antatt. Siden disse antakelsene ble gjort er det ikke korrekt å si at det er virkelig brukeratferd som analyseres. Det anses imidlertid som tilfredsstillende å utføre disse vurderingene i forhold til inndata i screeningen siden antakelsene betraktes som virkelighetsnære og formålet ved screeningen er å finne viktige sensitive og insensitive faktorer som dermed kan undersøkes nærmere. Tabell 6.2-1 på side 49 gav en oversikt over hvilke inndatadistribusjoner som ble brukt i screeninganalysen.

Resultatene fra screeninganalysen viste at effektbehov til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon i driftstid, settpunkttemperatur for varmeanlegg i driftstid og varmeavgivelse fra personer var de inndatafaktorene som førte til mest variasjon i utdata i forhold til totalt energibruk både i blokkmodellen og småhusmodellen, en oversikt over rangeringen av disse inndatafaktorene er vist i Tabell 10.1-1. I forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli var det først og fremst interne varmelaster som gjorde seg gjeldende som sensitive faktorer i tillegg til naturlig ventilasjon. Både i forhold til energi og termisk inn klima hadde varmeavgivelse fra personer større betydning for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen, noe som er illustrert i Tabell 10.1-1, dette skyldes sannsynligvis større persontetthet i boligblokkmodellen.

TABELL 10.1-1: OVERSIKT OVER DE FIRE MEST SENSITIVE INNDATAFAKTORENE FOR ENERGIBEHOV OG TERMISK INNEKLIMA FRA SCREENINGANALYSE, ALLE FAKTORENE ER REFERERT TIL DRIFTSTID

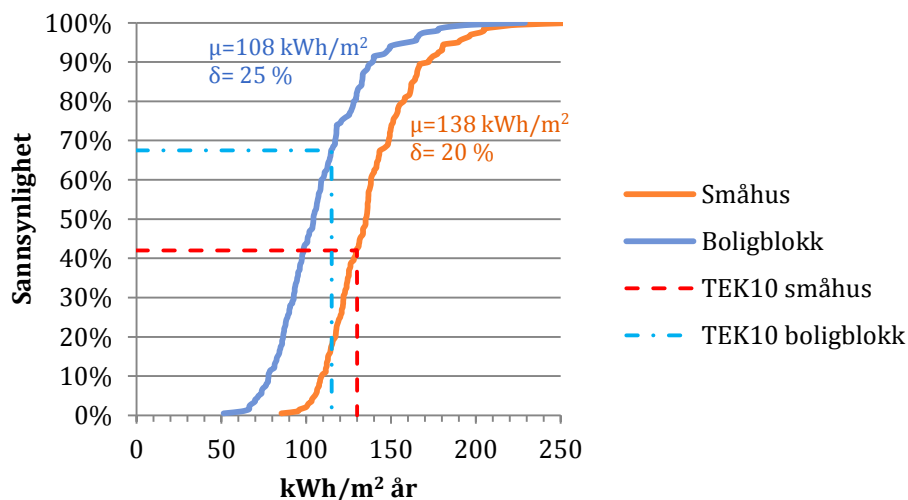
Rang	Småhusmodell Energi	Termisk	Boligblokkmodell Energi	Termisk
1	Varmtvann	Elektrisk utstyr	Varmtvann	Varmebelastning personer
2	Naturlig ventilasjon	Belysning	Naturlig ventilasjon	Elektrisk utstyr
3	Settpunkttemp. varmeanlegg	Varmebelastning personer	Varmebelastning personer	Belysning
4	Varmebelastning personer	Naturlig ventilasjon	Settpunkttemp. varmeanlegg	Naturlig ventilasjon

Solavskjerming på alle fasadene samt effekt til belysning og elektrisk utstyr utenfor drift viste seg å ha liten til ingen påvirkning i forhold til både totalt energibehov og termisk inneklima for begge modellene. Tidligere studier har imidlertid vist at solavskjerming kan være blant de sensitive faktorene for lavenergiboliger. Årsaken til at solavskjerming ikke viste seg å være viktig i denne sammenheng i forhold til termisk inneklima i juli kan blant annet være forårsaket av at glassarealet for både boligblokkmodellen og småhusmodellen kun tilsvarende 20 % av bruksarealet. For boligblokkmodellen er det i tillegg kun glassarealer som vender sør og nord og for småhusmodellen er det 40 % lavere glassareal som vender øst og vest enn det som vender nord og sør. Som referansetemperatur på termisk inneklima benyttes gjennomsnittlig operativ temperatur i juli. I juli er solen høyt på himmelen når solen står i sørlig himmelretning og varmetilskuddet fra solen blir dermed begrenset. Det skal imidlertid nevnes at soltilskuddet kan være større på våren og høsten når solen er lavere på himmelen. Det er derimot ikke undersøkt hvilken betydning solavskjerming vil ha i forhold til termisk inneklima for disse årstidene, men det er noe som kunne vært interessant å undersøke nærmere i en senere studie.

10.1.4 USIKKERHETSANALYSE OG KVANTITATIV SENSITIVITETSANALYSE

Ut i fra screeningresultatene ble de stokastiske inndatafaktorene redusert fra 20 til 13 ved at solavskjerming og effektbehov til belysning og elektrisk utstyr utenfor drift i det videre ble modellert som deterministiske faktorer. Det ble gjennomført en videre studie for å forsøke å forbedre estimeringen av de mest sensitive faktorene fra screeninganalysen. Fordelingene for effektbehov til oppvarming av tappevann og fordelinger for naturlig ventilasjon om vinteren ble forbedret.

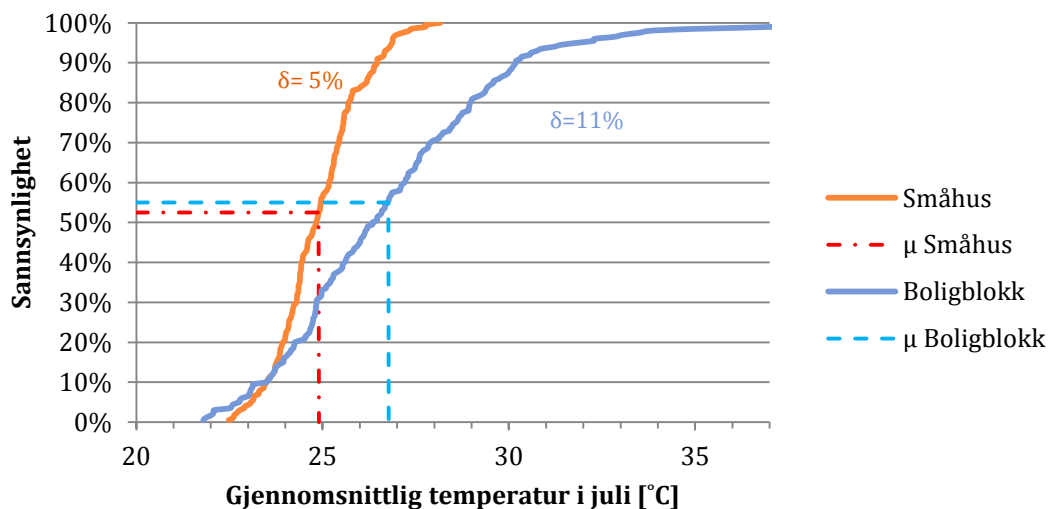
Monte Carlo analyse basert på data utvalgt ved hjelp av Latin Hypercube samplingmetode ble benyttet for å kvantifisere usikkerheten knyttet til energibehov og termisk inneklima forårsaket av brukeratferd, samt kvantifisere hvor stor usikkerhet i utdata de ulike inndatafaktorene bidrar med ved hjelp av korrelasjonsanalyse. Usikkerhetsanalysen av resultatene for totalt netto energibehov viste at det var forholdsvis store variasjoner i energibehov forårsaket av brukeratferd for begge modellene, noe som er illustrert i Figur 10.1-1.



FIGUR 10.1-1: KUMULATIVE KURVE OVER RESULTATENE FOR TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FRA MONTE CARLO ANALYSEN.

Som en kan se fra Figur 10.1-1 viste samlingen av resultater fra Monte Carlo analysen at forventningsverdien for småhus faktisk lå over TEK10 kravet som for et småhus på 160 m² er på 130 kWh/m² år. Ut i fra de kumulative fordelingene av resultatene som er gjengitt i Figur 10.1-1 kunne man i tillegg se at det kun var en sannsynlighet for å tilfredsstille kravene i TEK10 på henholdsvis 42 % for småhusmodellen og 68 % for blokkmodellen når man tok sannsynlige variasjonene forårsaket av brukeratferd inn i betraktning. Dersom man i tillegg hadde betraktet usikkerhet i forhold til variasjoner i uteklimate og bygningskonstruksjonskvalitet kan man formode at det kun ville vært ca. 30 % og ca. 50 % sannsynlig å tilfredsstille kravene i TEK10 dersom man tar utgangspunkt i at ca. 70 % av usikkerheten i energibehov skyldes variasjoner i brukeratferd mens variasjoner i uteklimate og kvalitet på bygningskonstruksjonene er avgjørende for de resterende 30 %, en fordeling som har vist seg gjeldende i (Pettersen, 1994). Den store sannsynligheten det er for at modellene faktisk *ikke* tilfredsstiller myndighetskravene når man implementerer sannsynlige variasjoner forårsaket av brukeratferd er med på å underbygge viktigheten av at brukeratferd bør implementeres i energi og inneklimateberegninger i Norge slik at rådgivende ingeniører faktisk kan dra mer virkelighetsnære konklusjoner ut av sine beregninger. Samtlige av inndatafordelingene er like for de to modellene som er evaluert i dette prosjektet. Årsaken til at det er større sannsynlighet for at boligblokkmodellen tilfredsstiller kravene i TEK10 enn det er for småhusmodellen er at varmeavgivelse fra personer er større per kvadratmeter for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen noe som påvirker energibehov til romoppvarming.

Kumulative distribusjoner for gjennomsnittlig operativ temperatur i juli viste imidlertid at stor persontetthet hadde negativ effekt på termisk komfort ved at det var svært høye temperaturforhold for mange av simuleringene med boligblokkmodellen, resultatene er gjengitt i Figur 10.1-2.



FIGUR 10.1-2: KUMULATIVE KURVER OVER RESULTATENE AV GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FRA MONTE CARLO ANALYSEN.

Forventningsverdien for samlingen av resultatene var på nærmere 27 °C for boligblokkmodellen og i underkant av 25 °C for småhusmodellen, som man kan se fra Figur 10.1-2. Som nevnt er ingen av modellene som benyttes i dette prosjektet særlig gode i forhold til termisk inneklimatest ved at temperaturen er over 26 °C store deler av juli også når man benytter standard inndataverdier fra NS3031. Med dette utgangspunktet er det derfor ikke kun brukeratferd som forårsaker de høye temperaturene man ser, men også designen av bygningene. Man kan imidlertid se at brukeratferd kan føre til betydelige variasjoner i termisk inneklimatest som kan føre til termisk utilfredshet hos brukerne, spesielt for boligblokkmodellen hvor varmeavgivelse fra personer som nevnt er større enn for småhusmodellen. I virkeligheten ville brukerne sannsynligvis gjort affære for og forhindret de høye temperaturforholdene man ser i Figur 10.1-2 ved å øke naturlig ventilasjon og redusere varmetilskudd fra interne laster siden det gjerne er dobbeltvirkninger mellom inneklimatest og brukeratferd, noe som ble illustrert i Kapittel 7. I denne analysen er det imidlertid kun sett på sannsynlige variasjoner brukeratferd innenfor rimelige intervaller. Store deler av temperaturforholdene som ble gjengitt i Figur 10.1-2 er imidlertid ansett som uakseptable, spesielt for boligblokkmodellen. Dette indikerer at det er viktig å ta hensyn til variasjoner i termisk inneklimatest forårsaket av brukeratferd dersom man skal sikre at man designer en bolig med akseptabelt inneklimatest og dette blir stadig mer nødvendig når man bygger tettere og bedre isolerte boliger.

I henhold til resultater fra kvantitativ sensitivitetsanalyse ble effektbehovet til oppvarming av tappevann i likhet med resultatene fra screeninganalysen rangert som den mest sensitive faktoren og den ble tillagt ca. 20 % av usikkerheten i estimatet av totalt netto energibehov for både småhusmodellen og boligblokkmodellen. Effektbehovet til oppvarming av tappevann var etterfulgt av settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer, hvor varmeavgivelse fra personer hadde en noe større betydning for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen. For begge modellene ble de fire mest sensitive faktorene til sammen tillagt over 60 % av usikkerheten i totalt netto energibehov. Årsaken til at forbruk av varmtvann har så mye å si for modellene som evalueres i dette prosjektet er at modellene er konstruert etter nye forskriftskrav i TEK10, det vil si at det er godt isolerte boliger

med forholdsvis lite glassareal noe som fører til et forholdsvis lavt oppvarmingsbehov. I nye lavenergi- og passivhusboliger vil den relative innflytelsen av varmtvannforbruk på det totale netto energibehovet dermed være større enn for eldre boliger. Disse resultatene er underbyggende for kravet i § 14.7.3 i TEK10 som sier at minst 40 % av *netto varmebehov* for bygninger inntil 500 m² BRA skal dekkes av annen energiforsyning enn direkte elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker. Oppvarming av tappevann går inn under netto varmebehov, noe som er vesentlig dersom man skal oppnå nullenergi- og nullutslippsbygninger i fremtiden. Resultatene fra denne og andre undersøkelser indikerer at det er nettopp energibruk til oppvarming av tappevann man må ha mer fokus på i fremtiden siden denne energiposten vil få en større relativ innflytelse når man kan minimere energibehov til romoppvarming ved hjelp av forbedret design av klimaskjermen.

I forhold til sensitive faktorer for gjennomsnittlig operativ temperatur i juli så man også i likhet med screeninganalysen at varmeavgivelse fra personer var en noe mer sensitiv faktor i boligblokkmodellen enn småhusmodellen og den ble tillagt henholdsvis 22 % og 15 % av usikkerheten i estimatet av gjennomsnittlig operativ temperatur i juli. Rangeringen av de fem mest sensitive faktorene i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli var varmeavgivelse fra personer, effektbehov til elektrisk utstyr i drift, effektbehov til belysning i drift, starttid elektrisk utstyr og naturlig ventilasjon i drift for boligblokkmodellen, mens rangeringen for småhusmodellen var effektbehov til elektrisk utstyr i drift, varmeavgivelse fra personer, starttid elektrisk utstyr, effektbehov til belysning og naturlig ventilasjon i drift. Alle de fem mest sensitive faktorene ble tillagt tilnærmet lik andel av usikkerheten av estimatet av gjennomsnittlig operativ temperatur i juli på mellom 14 % til 17 % for småhusmodellen og mellom 12 % til 17 % for faktorene rangert som 2 til 5 for boligblokkmodellen. Disse resultatene indikerer at det er svært viktig å ta høyde for interne varmelaster forårsaket av brukeratferd dersom man skal sikre at boligen får et akseptabelt termisk inneklima.

Det skal nevnes at det er antatt at inndatafaktorene i de foregående analysene er uavhengige, noe de sannsynligvis ikke er i virkeligheten. Det bør derfor gjennomføres nærmere studier på korrelasjoner mellom inndata.

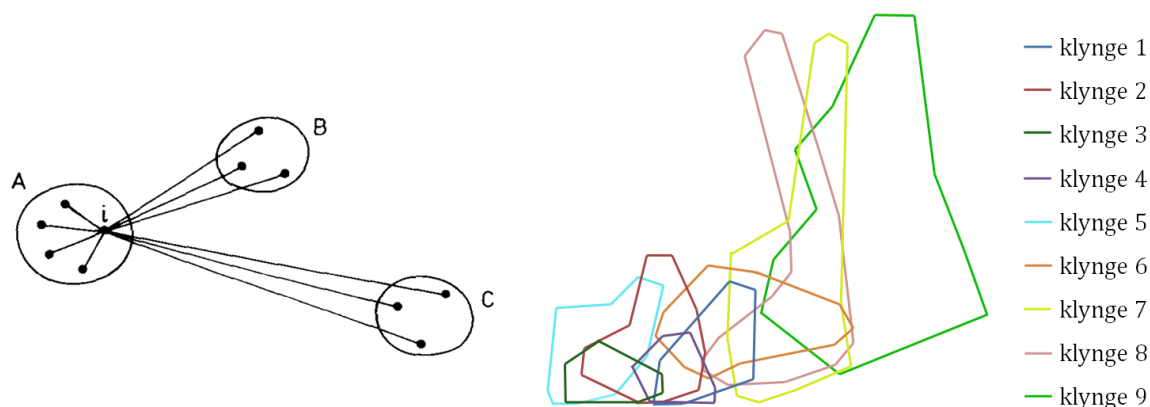
10.1.5 BRUKERPROFILER

Siden man ut i fra Monte Carlo analysen så at brukeratferd kan føre til forholdsvis store variasjoner i totalt netto energibehov for en husholdning og at det dermed er en forholdsvis stor usikkerhet knyttet til hva energibehovet til en husholdning vil være ved energiberegninger, ble det vurdert om det kunne dannes brukerprofiler for ulike husholdningstyper. Formålet med brukerprofiler i denne sammenheng var å redusere variasjonsbredden av beregnet energibehov for en gitt husholdning slik at man kan gjennomføre en mer nøyaktig beregning enn om man beregner ut i fra inndata som baserer seg på generelle målinger og antakelser ut i fra norske og europeiske forhold. Problemanalysen illustrerte at sosiologiske og økonomiske faktorer har stor påvirkning på en husholdnings energibehov og det ble derfor ansett som fornuftig å prøve å strukturere husholdninger i henhold til disse faktorene. Fordelen med brukerprofiler er at man forenkler virkeligheten og systematiserer hvordan ting henger sammen slik at man får et bedre overblikk. En ulempe med brukerprofiler er at virkeligheten er mer kompleks enn som så og med tanke på brukerprofiler i forhold til gruppering av husholdninger vil det være flere husholdninger som faktisk ikke passer inn i en kasse med en gitt merkelapp. Spesielt i dagens samfunn hvor det er mange ulike familiesammensetninger kan dette problemet vise seg

gjeldende. Ved å implementere brukerprofiler i et simuleringsprogram vil det i tillegg oppstå en usikkerhet som er vanskelig å kvantifisere i forhold til antakelser den rådgivende ingeniøren må gjøre i forhold til husholdningstype som skal bo i boligen det skal beregnes energi og inn klima for.

Vi fikk tilgang på et datasett fra Energimyndigheten i Sverige bestående av målinger av elektrisk sluttforbruk for 400 husholdninger i Sverige, og et utvalg på 122 husholdninger fra dette datasettet ble benyttet i en test-case for å illustrere hvordan brukerprofiler kan dannes. Det ble besluttet å benytte klyngeanalyse for å strukturere datasettet. Sosiologiske og økonomiske faktorer ble identifisert i datasettet og utgjorde attributtene som datasettet skulle deles inn etter. Attributtene var antall husholdningsmedlemmer, antall tenåringer, alder på eldste husholdningsmedlem, husholdningsinntekt, bygningstype og bruksareal.

Datagravningsprogrammet WEKA ble benyttet for å gjennomføre klyngeanalysen og siden k-means algoritmen i kombinasjon med distanse målet Euclidean distance allerede var tilgjengelig i WEKA ble disse metodene benyttet. Klyngeanalyse med 4-11 klynger ble gjennomført og ut i fra en silhuetteanalyse ble det antatt at ni klynger var det antallet som gav mest distinkte klynger. I teorien skal klyngeanalyse gjerne gi klare og distinkte klynger, men dette kan være verre å få til i virkeligheten, noe som er erfart i dette prosjektet. Figur 10.1-3 presenterer en sammenlikning av hvordan distinkte klynger i teorien utarter seg og en revidert versjon av Figur 8.3-3 som ble vist i Kapittel 8 over klyngene som ble dannet i denne analysen hvor det er laget et grovt omriss rundt punktene som tilhører hver klynge.



Figur 10.1-3: sammenlikning av klare og distinkte klynger fra teorien til venstre og grovt omriss over klyngene dannet i dette prosjektet til høyre.

Som en kan se fra Figur 10.1-3 kan ikke klyngene oppnådd i dette prosjektet kategoriseres som særlig klare og distinkte. Det kunne imidlertid vært interessant å gjennomføre klyngeanalyse med andre klyngeanalysealgoritmer på samme datasett for å evaluere om andre klyngeanalyser kunne gitt bedre resultater. Man kunne også eventuelt benyttet andre grupperingsmetoder som for eksempel beslutningstremetoden og sett om det ville gruppert datasettet på en annen måte. I tillegg er det i tillegg vurdert det hen at ni klynger kanskje er i meste laget, spesielt for et datasett med 122 husholdninger. Det hadde muligens vært bedre om det hadde blitt gjennomført en faktoranalyse på attributtene før de ble benyttet til inndeling av klynger siden det for eksempel kan være en korrelasjon mellom boligareal og inntekt og at disse to attributtene kunne utgjort én attributt. Med færre attributter ville det sannsynligvis vist seg å

være bedre med færre klynger og klyngene ville kanskje blitt mer distinkte. Klyngeanalysen med ni klynger fra test-casen dannet imidlertid grunnlag for ni brukerprofiler som er oppsummert i Tabell 10.1-2.

TABELL 10.1-2: OVERSIKT OVER BRUKERPROFILER FRA TEST-CASE

Leiligheter	Hus
Enslig	Eldre par i hus
Enslig forsørger	Etablert middelklassefamilie i hus
Ung arbeiderklassefamilie	Etabler overklassefamilie i hus
Ung middelklassefamilie	
Eldre par i leilighet	
Overklassefamilie i hus	

Basert på datagrunnlaget av husholdningene som inngikk i klyngene ble det dannet sannsynlighetsfordelinger over effektbehov til belysning, effektbehov til elektrisk utstyr, effektbehov til oppvarming av varmtvann (for brukerprofilene i hus), driftstimer samt settpunkttemperaturer ved at det ble antatt at temperaturmålinger som var utført i oppvarmingssesongen for de ulike husholdningene representerte settpunkt for varmeanlegget. Simuleringer med disse inndatafordelingene ble benyttet i småhusmodellen for brukerprofilene som representerer husholdninger i hus og i boligblokkmodellen for brukerprofilene som representerer husholdninger i leiligheter.

I henhold til spesifikt energibehov så man at det faktisk ikke var så mye som skilte mellom de ulike brukerprofilene i leilighet og mellom de ulike brukerprofilene i hus. Generelt sett var det imidlertid stor spredning innad i brukerprofilene for leiligheter hvor forventningsverdiene lå mellom 99 kWh/m² år - 115 kWh/m² år med variasjonskoeffisienter mellom 24 % – 38 %. For *etablert middelklasse i hus* og *etablert overklasse i hus* var det noe mindre spredning med en forventningsverdi på henholdsvis 126 kWh/m² år og 120 kWh/m² år og variasjonskoeffisienter på 14 % og 19 %. *Etablert middelklasse i hus* og *etablert overklasse i hus* representerer to av brukerprofilene som er basert på målinger av flest husholdninger. Dette indikerer at dersom alle brukerprofilene hadde vært basert på større datasett ville det sannsynligvis vært mindre variasjon innad i hver profil.

10.1.6 AMSiS

Det er illustrert hvordan det kan utvikles et regneverktøy som implementerer stokastisk brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger. Produktet som er utviklet i dette prosjektet er kalt AMSiS som er en forkortelse på *Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN*. Det er et Excel-basert verktøy som ved hjelp av makroer automatisk kjører et gitt antall simuleringer i SIMIEN med ulik inndata for de brukerrelaterte faktorene som viste seg å være sensitive i screeninganalysen.

Brukerprofilene fra test-casen er derfor lagt inn for å illustrere hvordan brukerprofiler kan ligge ferdig programmert inne i verktøyet slik at rådgivende ingeniører ved hjelp av enkle vurderinger kan velge en passende brukerprofil for en typisk husholdning som kan bo i boligen det skal beregnes energi og inneklima for. For enkelhets skyld bør det ikke være for mange brukerprofiler den rådgivende ingeniøren må forholde seg til siden det kanskje vil føre til mye

forvirring rundt hvilken brukerprofil som er mest representativ og dermed en ytterligere usikkerhet. Antall brukerprofiler bør kanskje vurderes på nytt i et senere studie.

Siden AMSiS er utviklet med tanke på at det skal være til nytte for rådgivende ingeniører er det lagt vekt på å ha en enkel og forståelig interface i tillegg til at resultatene som presenteres skal være informative. Utviklingen av AMSiS illustrerer at det er mulig for rådgivende ingeniører å ta høyde for brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger på en enkel og effektiv måte dersom de har riktig verktøy tilgjengelig

10.2. KONKLUDERENDE BEMERKNINGER

Totalt sett gir resultatene fra dette prosjektet et uttrykk for at det bør implementeres brukeratferd i energi- og inneklimaberegninger i Norge. Det er illustrert en fremgangsmåte for hvordan et regneverktøy som implementerer stokastisk brukeratferd kan utvikles. Ved å benytte et slikt verktøy kan rådgivende ingeniører trekke mer virkelighetsnære konklusjoner ut i fra sine beregninger, og det kan også føre til design av bygninger som er mer robuste i forhold til energibehov og termisk inneklima. Beregninger som utføres etter dagens metode med standardverdier for brukerrelaterte faktorer blir forholdsvis fiktive både med tanke på energibehov og termisk inneklima i boligene, men også med tanke på klimapåvirkningene forårsaket av energibruk i husholdningssektoren og i forhold til det økonomiske perspektivet dersom beregninger skal benyttes ved budsjettering av energikostnader.

Resultatene fra dette prosjektet indikerer at en ved å benytte brukerprofiler muligens kan oppnå en noe mer nøyaktig estimering av energibehovet til en gitt husholdning, men forskjellene for det spesifikke energibehovet mellom brukerprofilene var ikke markant for dette casestudiet. Ved å benytte et større datasett kan brukerprofilene muligens bli mer distinkte og spredningen innenfor hver brukerprofil kan kanskje bli redusert. Utarbeidelse av brukerprofiler er imidlertid både kostbart og tidkrevende og en bør derfor overveie om det er hensiktsmessig. For rådgivende ingeniører i en travel hverdag kan det hende at en energiberegning basert på en generell profil kanskje gir en tilstrekkelig god estimering av energibehovet til en husholdning.

Uansett bør det gjennomføres flere studier for å forsøke å øke nøyaktigheten av estimeringen av sensitive brukerrelaterte faktorer i forhold til energibehov og inneklima for i det minste å utarbeide en generell profil basert på virkelig brukeratferd. For boliger bygd etter nye bygningskrav gir resultatene i dette prosjektet en indikasjon på at sensitive brukerrelaterte faktorer i forhold til energibehov og termisk inneklima er :

- Energibehov
 - Effektbehov til oppvarming av varmtvann
 - Naturlig ventilasjon
 - Settpunkttemperatur
 - Varmedavivelse fra personer
- Termisk inneklima
 - Varmetilskudd fra elektrisk utstyr
 - Varmetilskudd fra belysning
 - Varmetilskudd fra personer
 - Naturlig ventilasjon

KAPITTEL 11 - PERSPEKTIVERING

I dette avsnittet betraktes emne brukeratferd og dens påvirkning på energibruken i bygninger med utvidet fokus basert på den kunnskap og erfaring som er tilegnet gjennom prosjektet. Ideer og tanker om fremtidig utvikling innenfor emne presenteres og betydningen av dette prosjektets konklusjoner vurderes. Problemstillinger som har oppstått underveis og som har falt utenfor prosjektets rammer tas opp igjen og det foreslås ideer til fremtidige prosjektemner.

11.1. INTERDISIPLINÆRT SAMARBEID

Fremtidig fokus for reduksjon av energibruk i boligsektoren må være relatert til brukeratferd. Dagens energiberegninger gir gode resultater for bygningskarakteristikker, mens det fortsatt er stor usikkerhet knyttet til brukeratferds påvirkning. Vi har sett at det er store forskjeller på hvordan teknologer og sosiologer behandler tema brukeratferd og deres påvirkning på energibruk. For å få en utvidet kunnskap må det i fremtiden være et tettere interdisiplinært samarbeid som benytter en integrert tankegang mellom sosiologiske og tekniske faktorer.

Vi tror en fremtidig metode for å få mer kunnskap om brukeratferd er å samle inn å behandle store datasett med både tekniske og sosiologiske faktorer. Det vil være en fordel at begge fagfelt involverer seg i like stor grad i studiene, både til innsamlingen og analysering av data.

11.2. ETABLERING AV EN OMFATTENDE NASJONAL DATABASE

Vi mener at det vil være viktig å gjennomføre omfattende registrering av de mest sensitive faktorer knyttet til energibruk sammen med sosiologiske parameter som kan knyttes til disse faktorene. Registreringene må samles og gjøres allmenn tilgjengelig, helst på tvers av land slik at alle kan dra nytte og erfaringer fra hverandre. Det må stilles krav til hvordan disse registreringene skal gjennomføres slik at det gir et grunnlag til en stor grad av sammenlignbarhet. Eksempelvis kunne det vært utviklet en felles målestandard for Europa, for eksempel gjennom EPBD, som setter krav til hva som skal måles og hvordan det skal bli gjort. Omfattende registreringer av både energirelaterte og sosiologiske faktorer er derimot kostbart og tidskrevende siden det krever en god planlegging, utførelse og behandling av data før analyser kan gjennomføres for å oppnå god informasjon.

Hvis det finnes en nasjonaldatabase med måledata vil disse sannsynlighetsfordelingene til en hver tid følge utviklingen og dataverktøy kan oppdateres fortløpende. I Norge er det foreslått at en nasjonal database med målinger og beregninger av levert energi og formålsdelt energibruk skal opprettes (Dokka, et al., 2011). Det er også foreslått at det utvikles en norsk standard for hvordan målingene skal gjennomføres, som eksempelvis kan være et tillegg til NS3031. Våres forslag er at det også settes krav til at sosiologiske faktorer som blant annet antall personer for boligen, alder på beboerne og inntektsnivå i husholdninger registreres, i tillegg til opplysninger om bygningen som byggeår, bruttoareal, geografisk beliggenhet, innetemperaturer, energiforsyning med virkningsgrader. Dette vil utvide databases anvendelighet og vil kunne gi

grunnlag for mer omfattende analyser. Det vil også kunne gi grunnlag for å si noe om typisk energibruk for ulike bygg og bygningskategorier.

En nasjonal database som inneholder målinger og beregninger av levert energi vil kunne gi en tilbakemelding til myndighetene om hvordan Norge ligger an i forhold til den nasjonale målsetningen om en halvering av landets energibruk innen 2040. Databasen vil også kunne gi en direkte tilbakemelding til myndighetene om effekten av ulike tiltak for å redusere energibruk i husholdningssektoren. Det vil også kunne gi en tilbakemelding på hvor man bør legge inn intensiver for ytterligere reduksjon. Hvis databasen i tillegg inneholder sosiologiske faktorer for husholdninger, som vi foreslår, vil også myndighetene ha muligheten til å se om det er ulike målgrupper i befolkningen en kan rette spesielt fokus mot for eksempel med energisparingskampanjer.

11.3. GRUPPERING AV DATA I BRUKERPROFILER

Store datamengder med målinger og registrering av sensitive faktorer krever at det gjennomføres en databehandling for lettere å kunne hente ut informasjon. En oppdeling kan gjennomføres på mange måter. Hvis en betrakter emne overordnet vil energibruk til husholdninger i verden kunnes inndeles per land eller region innad i hvert land og således sammenlignes. Det stilles derimot spørsmål til om denne oppdelingen er tilstrekkelig. Hvordan oppdelingen gjøres og i hvilken størrelsesorden vil være avhengig av hva som ønskes oppnådd. Hvis formålet med en gruppering er å gjøre energiberegningen så nøyaktig som mulig vil det kunne være hensiktsmessige å danne brukerprofiler. Disse brukerprofilene kan deretter sammenlignes for eksempel mellom skandinaviske land. I dette prosjektet ble det gjennomført en casestudie på hvordan klyngeanalyse kan benyttes til gruppering ut ifra sosiologiske forhold for å danne brukerprofiler. Det å bestemme et riktig antall klynger som bør dannes ut ifra datasettet er sett på som en viktig del i klyngeanalyse og det finnes mange metoder for å finne det antallet som er mest egnet. I dette prosjektet ble det dannet et ni klynger. Det viste seg imidlertid at det var store variasjoner innad i klyngene og det ble observerte indikasjoner på at større datasett muligens kan gi en mer distinkt inndeling. Dette må derimot testes.

Det foreslås at det gjennomføres et forprosjekt på et større datasett enn hva som er benyttet i dette prosjektet for å undersøke om inndeling i brukerprofiler vil gi store fordeler. En bør prøve ulike metoder for å bestemme antall klynger, samt ulike algoritmer for grupperingen av data inn i klyngene. Klyngeanalyse er kun én metode for gruppering av data og det vil derfor i fremtidige prosjekter kunne være interessant og benytte andre metoder for gruppering av data for så å sammenligne resultatene. Det vil være mest hensiktsmessige å benytte samme dataunderlag for å oppnå størst effekt av sammenligningen. Dette studiet kan gi indikasjoner på om store datasett kan gi distinkt inndeling av data i brukerprofiler og derav indikere om det er hensiktsmessig å gjennomføre mer omfattende innsamling av data i en nasjonal database.

11.4. UTVIKLE BEREGNINGSVERKTØY

Litteraturen viser eksempler på hele modeller basert på historiske datasett som inkluderer brukeratferd, hvor formålet til modellen er å forutsi fremtidig energibruk. Historisk data vil imidlertid være en kilde til usikkerhet, siden bruksmønster og vaner utvikler og forandrer seg

over tid. En modell bygget opp på historisk data innebærer derfor at hele modellen må oppdateres hvis en observerer endring. Vi mener derfor det er bedre å bruke datasettene til å etablere sannsynlighetsfordelinger over sensitive inndatafaktorer og at disse sannsynlighetsfordelingene kan implementeres inn i tekniske modeller. Hvis en observerer endringer i bruksmønster og vaner kan en dermed oppdatere sannsynlighetsfordelingene, men fortsatt bruke den samme modellen.

I utviklingen av nye beregningsverktøy tiltenkt ingeniører er det viktig at man har et praktisk fokus siden programmet skal kunne brukes i en travel hverdag og man bør at programmet kun er av akademisk interesse. Programmet må derfor ikke være for komplekst eller tidkrevende. Vi ser for oss at en riktig metode vil være å implementere stokastisk modellering inn i et kjent beregningsverktøy, som SIMIEN i Norge, hvor man velger en brukerprofil for den befolkningsgruppen som er lik eller ligger nærmest den man gjør beregning for. Programmet velger deretter de sannsynlighetsfordelinger som finnes for aktuell brukerprofil og gjennomfører energi- og inneklimaberegninger.

I tillegg til beregningsprogram som tar høyde for brukeratferd bør det også stilles krav til etterprøving av bygninger slik at det ikke lenger er holdbart å regne ut at boligen tilfredsstiller energirammen, men også at energibruken er innenfor et akseptabelt nivå i årene etter ferdigstillelse etc. I Sverige er det satt krav til at bygg skal etterprøves i løpet 24 måneder etter ferdigstillelse.

11.5. NORSK FORSKNING

Innenfor norsk forskning er det per dags dato, som nevnt i avsnitt 1.6. i Kapittel 1, flere ting som tyder på at variasjoner i energibruk forårsaket av brukeratferd er et av de store interesseområdene, noe som dermed indikerer at dette er noe bransjen må være forberedt på å måtte gjøre vurderinger på i fremtiden.

Sintef Energi har blant annet et fireårig langt prosjekt på gang hvor formålet er å øke kunnskapen om elektrisitetsforbruk blant ulike typer forbrukere, for eksempel husholdninger, industri, kontorbygg, både i forhold til ulikheter i totalt elektrisitetsforbruk og i forhold til sluttforbruk (Sæle, et al., 2010). I tillegg har Lavenergiprogrammet et prosjekt gående hvor bakgrunnen for prosjektet er at de mener det er behov for å øke kunnskapen om hva som faktisk påvirker energibruken i bygg, slik at norske beregningsstandarder og beregningsverktøy kan bli enda mer treffsikre og i enda større grad ta hensyn til bruk og driftsmessige forhold (Dokka, et al., 2011).

Zero Emission Buildings (ZEB), er et nasjonalt forskningssenter med mål om å plassere Norge i front innen forskning, innovasjon og implementering med henhold til bygninger med svært lavt energibehov og uten netto klimabelastninger (ZEB). ZEB har representanter fra norsk forskning og undervisning, norske eiendomsforvaltere samt hele den norske byggebransjen som for eksempel produsenter av byggeprodukter, rådgivende ingeniører, entreprenører og arkitekter. ZEB består av fire arbeidspakker hvorav den fjerde har som hovedmålsetning å tilegne ny kunnskap om energibruk i, og drift av bygninger. En av arbeidsoppgavene er å utvikle ny kunnskap om hvordan energien brukes og om det finnes trender, med andre ord; brukeratferd.

Norge tar også del i det internasjonale forskningsprogrammet The IEA ECBCS – Annex 53, som ble omtalt på side 15 i Kapittel 1, med representanter fra Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), Norsk Forskningsråd avd. for energi samt Sintef Energi. Disse tre instanser representerer alle en stor andel av de som forsker på bygningers energibruk i Norge og er sentrale i utviklingen av norske myndighetskrav. Annex 53 har et stort fokus på brukeratferds påvirkning på energibruken i bygninger.

Alle disse prosjektene gir en sterk indikasjon på at det er interesse for et regneprogram som implementerer virkelig brukeratferd i tegninger og at brukeratferd er et felt det ønskes mer kunnskap om.

11.6. FREMTIDIGE MYNDIGHETSKRAV

I Kapittel 3 så man at myndighetskravene til bygg i Norge har blitt kraftig skjerpet i løpet av de siste årene. Norske rådgivende ingeniører har derfor stramme rammer å forholde seg til ved prosjektering av bygg og boliger hvor de må overholde krav til enten energiramme eller energitiltak samtidig som det skal sikres et akseptabelt inneklimategning. Myndighetskravene til energibruk vil dessuten helt sikkert bli ytterligere skjerpet i nær fremtid siden Norge har vedtatt å implementere det europeiske bygningsdirektivet EPBD. EPBD-recast som kom i mai 2010 setter krav til at alle bygg skal være *nesten null-energi bygninger* i løpet av 2020. EPBD-recast definerer *nesten nullenergibygninger* som bygninger med høy energiytelse og hvor den lille energimengden som kreves i stor grad skal komme fra fornybare energikilder, inkludert energi fra fornybare kilder på stedet eller i nærheten (European Parliament and The Council of the European Union, 2010). Nettopp dette kravet er med på å underbygge viktigheten av å ta høyde for brukeratferd i energiberegninger. Dersom man skal prosjektere et nesten nullenergihus må man forsikre seg om at man designer et hus som krever lite energi til oppvarming samtidig som designen må tåle varmeavgivelse fra internlaster uten at det fører til overtemperaturer i huset. I tillegg kan den energien som skal komme fra fornybare energikilder på stedet eller i nærheten for eksempel komme fra et solcellepanel. Ved prosjektering av dette solcellepanelet må man dermed forsikre seg om at det er dimensjonert slik at det faktisk kan dekke energibehovet til huset og det vil derfor være viktig å ta hensyn det virkelige energibehovet som er inkludert de variasjoner som forårsakes av brukeratferd

11.7. HVA KAN PROSJEKTETS KONKLUSJON BRUKES TIL?

Bevisstgjøre norske rådgivende ingeniører om hva brukeratferd betyr for boligens energibruk og inspirere til at det i større grad tas høyde for i energi- og inneklimategninger av norske boliger.

Gi ideer, inspirasjon og ny kunnskap til utviklerne av beregningsverktøyer, som SIMIEN i Norge, slik at de kan utvikle seg mot en mer nøyaktig energiberegning, i det minste en beregning med en kjent usikkerhet. Med dette unngår de at bransjen begynner å se seg om etter andre beregningsverktøy som inkluderer disse usikkerhetene. Er de raskt ute med en implementering av usikkerheten knyttet til brukeratferd og i tillegg inkluderer usikkerhet på grunn av klimapåvirkning og ulik kvalitet på bygningskonstruksjoner kan de øke sin posisjon og sine markedsandeler.

Siden det er flere norske pågående prosjekter relatert til brukeratferd vil dette prosjektet, ikke bare konklusjonen, kunne bidra med arbeid, tanker og kunnskap som andre forskere kan dra nytte av. Dette er blant annet metoden for datagrupping ved hjelp av klyngeanalyse og konseptet for implementering av brukeratferd i beregninger.

11.8. VIDERE STUDIER

I videre studier kan det være interessant bruke flere metoder for gruppering av data inn i brukerprofiler. Det bør helst gjøres på samme datasett, eller datasett som deler de samme forutsetningene. Det kan også være interessant å gjøre dypere undersøkelser på hvilke sannsynlighetsfordelinger som bør benyttes for de ulike inndatafaktorer. Det bør benyttes større datasett til disse oppgavene.

Det vil også være interessant å gjøre studier på usikkerheten knyttet til kvalitet på bygningskonstruksjoner og relatert til uteklimate. Dette vil kunne gi en ennå mer presis energiberegning eller ytterligere kunnskap om usikkerheten knyttet til energibruk og inneklima i boliger. Det må derimot presiseres at usikkerheten relatert til brukeratferd er av mye større betydning og må derfor være kjent før studier på usikkerheten til bygningskonstruksjoner og uteklimate blir gjennomført.

BIBLIOGRAFI

- Liao, Huei-Chu and Chang, Tsai-Feng. 2002.** Space-heating and water-heating energy demands of the aged in the US. *Energy Economics*. 2002, 24 (2002) 267-284.
- Aakre, Bjørn and Falkanger, Thor. 2009.** Store Norske Leksikon. *Bygning - Retslige forhold og forvaltning*. [Online] 2009. [Cited: 13 04, 2011.] http://www.snl.no/bygging/rettslige_forhold_og_forvaltning.
- Aas, Kjell. 2007.** Solskjerming. *inneklima.com*. [Online] Norges Astma og Allergi Forbund, 2007. [Cited: 04 04, 2011.] <http://www.inneklima.com/index.asp?document=19&context=>.
- Aggerholm og Grau. 2005.** *Bygningers energibehov - Pc-program og beregningsvejledning*. Hørsholm : Statens Byggeforskningsinstitut, 2005.
- Al-Mumim, Adil, Khattab, Omar and Sridhar, Gopiseti. 2003.** Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences. *Energy and Buildings*. 2003, 35 (2003) 549-559.
- Andersen, Rune Vinther. 2009.** Occupant behaviour with regard to control of the indoor environment. s.l. : International Center for Indoor Environment and Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark,, May 2009. Ph.D. thesis.
- Andersen, Rune Vinther, et al. 2009.** Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings. *Energy and buildings*. 2009, 41 (2009) 11-16.
- Andersen, Ulrik. 2010.** Ingeniøren/byggeri. *Velfacs aktivhus bruger dobbelt så meget energi som forventet*. [Online] 10 06, 2010. [Cited: 04 03, 2011.] <http://ing.dk/artikel/112626-velfacs-aktivhus-bruger-dobbelt-saa-meget-energi-som-forventet>.
- Anne Marie Kanstrup and Ellen Christiansen. 2009.** *User-driven points for feedback motivated electricity savings in private households*. [http://vbn.aau.dk/files/19136715/KanstrupChristiansenJAOC_09.pdf] 2009. This paper is a part of the FEEDBACK-project supported by NOE Services.
- Arbeidsgruppe nedsatt av Kommunal- og regionaldepartementet. 2010.** *Energieffektivisering av bygg, En ambisiøs og realistisk plan mot 2040*. s.l. : Statens bygningstekniske etat, 2010. Kan lastes ned fra internett: http://www.regjeringen.no/upload/KRD/Vedlegg/BOBY/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf.
- Arlene Fink. Conducting Research Literature Reviews.** 3rd Edition. s.l. : SAGE Publications, Inc. ISBN 978-1-4129-7189-8 (pbk).
- ASHRAE. 2004.** *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta : ASHRAE, 2004.

Ayyub, Bilal M. and McCuen, Richard H. 2003. *Probability, statistics, and reliability for engineers and scientists*. s.l. : Chapman & Hall/ CRC Press LLC, 2003. ISBN 1-58488-286-7.

Bahaj, A. S. and James, P.A. B. 2007. Urban energy generation: The added value of photovoltaics in social housing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007, 11 (2007) 2121-2136.

Barr, Stewart, Gilg, Andrew W. and Ford, Nicholas. 2005. The household energy gap: examining the divide between habitual- and purchase-related conservation behaviours. *Energy Policy*. 2005, 33 (2005) 1425-1444.

Becker, R. and Paciuk, M. 2009. Thermal comfort in residential buildings -Failure to predict by Standard model. *Building and Environment*. 2009, 44 (2009) 948-960.

Blom og Skaret. 1995. *Ventilasjon og luftkvalitet i småhus*. Oslo : Norges byggforskningsinstitutt, 1995. ISBN 82-536-0478-5.

Bøeng, Ann Christin and Larsen, Bodil M. 2008. Husholdningers energibruk. *Vi bruker mindre energi i hjemmet enn før*. [Online] 2008. [Cited: 01 19, 2011.] <http://www.ssb.no/samfunnsspeilet/utg/200804/10/index.html>.

Bøeng, Ann Christin. 2005. *Energibruk i husholdninger 1930-2004 og forbruk etter husholdningstype*. Oslo - Kongsvinger : Statistisk sentralbyrå, 2005. ISBN 82-537-6912-2.

Bøhm, Benny, Schrøder, Flemming and Bergsøe, Niels C. 2009. *Varmt Brugsvand*. Hørsholm : SBI2009:10 Statens Byggeforskningsinstitutt, 2009. ISBN: 978-87-563-1372-8.

Bouckaert, Remco R., et al. 2010. *WEKA Manual for Version 3-6-4*. s.l. : University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2010.

Brager, Gail S. and de Dear, Richard J. 1998. Thermal adoption in the buildt environment: a literature review. *Energy and Buildings*. 1998, 27 (1998) 83-96.

Branco, G., et al. 2004. Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data. *Energy and Buildings*. 2004, 36 (2004) 543-555.

Brohus, Henrik, et al. 2009. Application of partial safety factors in building energy performance assessment. [ed.] Aalborg University DK. 27-30 07 2009. Conference article with peer review.

Brohus, Henrik, et al. 2010. Influence of occupants behaviour on the energy consumption of domestic buildings. [ed.] Aalborg University DK. 05 9-13, 2010. Conference article with peer review.

Brunsgaard, Camilla, et al. 2010. Kvantitativ og kvalitativ evaluering af indeklimaet i Komfort Husene (DK). Aalborg : s.n., 2010. Passivhus Norden.

Bull, Edvard and Tvedt, Knut Arne. Det Store Norske Leksikon. [Online] [Cited: 01 16, 2011.] http://www.snl.no/den_industrielle_revolution.

Campolongo, Francesca, Cariboni, Jessica and Saltelli, Andrea . 2007. An effective screening design for sensitivity analysis of large models. *Environmental Modelling & Software*. 2007, 22 (2007) 1509e1518.

CEN. 2007. *EN 15251:2007 -Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. s.l. : European committee for Standardisation, 2007.

—. **2008.** *Standard NS-EN ISO 13790:2008. Bygningers energiytelse - Beregninger av bygningers energibehov til oppvarming og kjøling*. s.l. : Standard Norge, 2008.

Chan, Christine W. and Wua, Yuxiang. 2009. Analysis of data for the carbon dioxide capture domain. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Volume 24, Issue 1, 2009, Vol. 2011, pp. 154 - 163.

de Dear, R. J. and Brager, G. S. 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings - revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*. 2002, 34 (6) (2002) 549-561.

DeCoster, Jamie. 2011. Overview of factor analysis. [Online] 2011. [Cited: 05 02, 2011.] <http://www.stat-help.com/factor.pdf>.

Deng, Julong. 1989. Introduction to the grey system. *Journal of Grey System* 1. 1989, Vol. 1989, 1, pp. 1-24.

Djongyang, Noël, Tchinda, René and Njomo, Donatien. 2010. Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14 (2010) 2626-2640.

Dokka, Tor Helge, et al. 2011. *Prosjektrapport 76: Energibruk i bygninger -Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk*. Oslo : Sintef Byggforsk, for Lavenergiprogrammet, 2011. ISBN: 978-82-536-1208-9.

Dokka, Tor Helge, et al. 2009. *Prosjektrapport nr. 42. Kriterier for passivhus- og lavenergibyggeryrkesbygg*. s.l. : SINTEF Byggforsk, 2009. ISBN 978-82-536-1107-5 (pdf).

ECBCS. Annex 53 Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods. [Online] The International Energy Agency. [Cited: 6 2, 2011.] <http://www.ecbcs.org/annexes/annex53.htm>.

EPA. 2009. *Guidance on the Development, Evaluation, and Application of Environmental Models*. Wasington DC : United States Environmental Protection Agency, Office of the Science Advisor, 2009. EPA/100/K-09/003 | March 2009.

Europa-Parlamentets og Rådet for den Europæiske Union. 2002. *Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2002/91/EF af 16.december 2002 om bygningers energimessige ydeevne*. s.l. : De Europæiske Fællesskabers Tidende, 2002.

European Comission, Eurostat. Table: Energy statistics - quantities: Final energy consumption by sector. [Online] [Cited: 01 21, 2011.] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables.

European Commission. 2010. *EU energy and transport in figures, Statistical pocketbook 2010*. Brussel : European Union, 2010. ISBN 978-92-79-13815-7 / ISSN 1725-1095.

—. **2010.** European Commision Climate Action. *The EU climate and energy package*. [Online] European Union, 10 18, 2010. [Cited: 10 22, 2010.]
http://ec.europa.eu/clima/policies/eu/package_en.htm.

European Commissoin - IPSC. 2008. *SimLab 2.2 Reference Manual*. s.l. : European Commission, 2008.

European Committee For Standardization. 2007. *NS-EN 13363-1:2003+A1:2007, Utstyr for solskjerming kombinert med glass, Beregning av sol- og lystransmisjon, Del 1: Forenklet metode*. s.l. : CEN/ Standard Norge, 2007. ICS 17.180.20;91.120.10.

European Parlament and The Council of the European Union. 2010. *Directive 2010/31/EU og the European Parlament and of The Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. s.l. : Official Journal of the European Union, 2010.

Fanger , P. O. 1970. *Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen : Danish Technical Press, 1970.

Fanger, P. Ole and Toftum, Jørn. 2002. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*. 2002, 34 (2002) 533-536.

Feist, Wolfgang, Peper, Søren and Görg, Manfred . 2001. *Final Technical Report July 2001*. Hannover : PASSIVHAUS INSTITUT, 2001.

Fisher, Corinna. 2008. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*. 1, 2008, DOI 10.1007/s12053-008-9009-7, pp. 79-104.

Folkehelseinstituttet. 2004. Vannforsyningens ABC. *Artikkel B; vannkvalitet*. [Online] 2004. [Cited: 03 28, 2011.]
http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3030:1:0:0:::0:0.

—. **2011.** Vannverksregisteret. [Online] 2011. [Cited: 4 15, 2011.]
http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,2873:1:0:0:::0:0.

fornybar.no. 2007. *Fornybarenergi 2007*. s.l. : www.fornybar.no, 2007. ISBN 978-82-410-0632-6.

Fu, Chaoyang, et al. 2001. Application of grey relational analysis for corrosion failure of oil tubes. *Corrosion Science*. 2001, 43 (2001) 881-889.

G. Mihalakakou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis,. 2002. On the energy consumption in residential buildings. *Energy and buildings*. 2002, 34 (2002) 727-736.

Geel , Regula and Backes-Gellner , Uschi. 2009. *Occupational Mobility Within and Between Skill Clusters: An Emprical Analysis Based on the Skill-Weights Approach*. Zürich : Universität Zürich, 2009. Leading House Working Paper No. 47.

Gill, Zachary M. , Tierney, Michael J. and Pegg, Ian M. 2011. Measured energy and water performance of an aspiring low energy/carbon affordable housing site in the UK. *Energy and Buildings* . 2011, 43 (2011) 117–125.

Google maps. Google maps. *Mälardalen region*. [Online] [Cited: 05 12, 2011.] <http://maps.google.com/>.

Gram-Hanssen, Kirsten. 2003. *Boligers energiforbrug – sociale og tekniske forklaringer på forskelle*. s.l. : By og Byg - Statens Byggeforskningsinstitut, 2003. ISBN: 87-563-1170-2.

— **2005a.** *Husholdningers elforbrug - hvem bruger hvor meget, til hvad og hvorfor?* 1.udgave. s.l. : Danish Building Research Institute, 2005a. p. 28. SBI 2005:12. ISBN 87-563-1235-0.

— **2005.** *Husholdningers elforbrug - hvem bruger hvor meget, til hvad og hvorfor?* 1.udgave. s.l. : Danish Building Research Institute, 2005. p. 28. SBI 2005:12. ISBN 87-563-1235-0.

— **2005b.** Teenage Consumption of Information and Communication Technology. [Online] 2005b. [Cited: 01 15, 2011.] Proceedings of the 2005 European Council for an Energy Efficient Economy.. <http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/livsstil-og-adferd/miljo-adferd-i-boligen-moderne-og-senmoderne-livsstilsbegrebers-forklaringskraft/teenage-consumption-of-information-and-communication-technology/?searchterm=None>.

Guerra-Santin, Olivia and Itard, Laure. 2010. Occupants' behaviour: determinants and effects on residential heating consumption. *Building Research & Information*. 38(3), 2010, pp. 318-338.

Guerra-Santin, Olivia, Itard, Laure and Visscher, Henk. 2009. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Building*. 2009, 41 (2009) 1223-1232.

Haas, Reinhard, Auer, Hans and Biermayr, Peter. 1998. The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. *Energy and Building*. 1998, 27 (1998) 195-205.

Hall, Mark , et al. 2009. The WEKA Data Mining Software: An Update;. *SIGKDD Explorations*. 2009. Volume 11, Issue 1.

Hamby, D. M. 1994. A review of techniques for parametr sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and assessment*. 1994, 32, pp. 135-154.

Han, Jiawei and Kamber, Micheline. 2006. *Data Mining: concepts and techniques*. s.l. : Elsevier Inc. , 2006. ISBN: 10: 1-55860-901-6.

Hansen, Eilif Hugo. 2009. Det Store Norske Leksikon. *Lyspære*. [Online] 12 22, 2009. [Cited: 01 16, 2011.] <http://www.snl.no/lysp%C3%A6re>.

Hansen, H. E., Kjerulf-Jensen, P. and Stampe, Ole B. 2006. *Varme- og Klimateknik, Grunbøg*. s.l. : Danvak ApS, 2006. ISBN: 87-982652-8-8.

Helle, Egil. 2009. Det Store Norske Leksikon. *Gro Harlem Brundtland – utdypning (NBL-artikkel)*. [Online] 2009. [Cited: 01 16, 2011.] http://www.snl.no/nbl_biografi/Gro_Harlem_Brundtland/utdypning.

- Helton, J.C. and Davis, F.J. 2003.** Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. *Reliability Engineering and System Safety*. 2003, 81 (2003) 23–69.
- Helton, Jon C. 1993.** Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal. *Reliability Engineering and System Safety*. 1993, 42 (1993) 327-367.
- Hitchcock, Guy . 1993.** An integrated framework for energy use and behaviour in domestic sector. *Energy and Buildings*. 20, 1993, Vol. 1993, 20 (1993) 151-157.
- Hoes, P., et al. 2008.** User Behavior in whole building simulation. *Energy and Buildings*. 2008, 41 (2009) 295-302.
- Hogeling, Jaap. 2006.** Information on standardisation P02. *EPBD Building Platform*. [Online] 04 11, 2006. [Cited: 02 10, 2011.] www.buildup.eu.
- Humphreys, Michael A. and Nicol, J. Fergus. 2002.** The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings*. 2002, 34 (2002) 667-684.
- Iman, R. L. and Helton, J. C. 1988.** An investigation of uncertainty and sensitivity. *Risk Analysis*. 1988, 8(1) (1988) 71-90.
- IPCC.** IPCC Publications and Data. [Online] [Cited: 01 17, 2011.] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.
- Isaksson, Charlotta and Karlson, Fredrik. 2006.** Indoor climate in low-energy houses - an interdisciplinary investigation. *Building and Environment*. 2006, 41 (2006) 1678-1690.
- Isaksson, Charlotta and Karlsson, Fredrik. 2006.** Indoor Climate in low-energy houses - an interdisciplinary investigation. *Building and Environment*. 2006.
- ISO. 2005.** *NS-EN ISO 7730:2006*. s.l. : Standard Norge, 2005. the International Organization for Standardization. ICS 13.180.
- Joint Research Centre of the European Commission. 2011.** SimLab v 2.2. *Software package for uncertainty and sensitivity analysis*. 2011. Downloadable for free at: <http://simlab.jrc.ec.europa.eu>. Serial No 2zzkxHVJD2.
- Jonathan Bennet & AutoIt Team. 2010.** AutoIt v3. [Freeware BASIC-like scripting language designed for automating the Windows GUI and general scripting]. 2010. Download for free at <http://www.autoitscript.com/site/autoit/downloads/>.
- Kalyani, S. and Swarup, K.S. 2011.** Particle swarm optimization based K-means clustering approach for security assessment in power systems. *Expert Systems with Applications*. 2011, 38 (2011) 10839–10846.
- Kempton, Willet. 1988.** Residential hot water: A Behaviorallydriven system. *Energy*. 1988, Vol. 13, No. 1, pp. 107-114,.

- Kommunal- og regionaldepartementet. 2010.** De viktigste endringene i ny Plan- og bygningslov. [Online] 2010. [Cited: 01 21, 2011.] http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/tema/bolig-_og_bygningspolitikk/ny-plan--og-bygningslov/faste-elementer/de-viktigste-endringene.html?id=505347.
- . **2010.** Forskrift om tekniske krav til byggverk. [Online] 07 01, 2010. [Cited: 01 14, 2011.] <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html#4-1>.
- . **2010.** Lovdata. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)- TEK 10.* [Online] 2010. [Cited: 31 03, 2011.] <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.
- Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet. 2010.** Lov om planlegging og byggesaksbehandling. [Online] 07 01, 2010. [Cited: 01 14, 2011.] <http://www.lovdata.no/all/nl-20080627-071.html>.
- Kristiansen, Finn. 2000.** *Lavenergirækkehuse, IEA - task 13, Målinger og beregninger.* København : Institut for bygninger og energi, Danmarks Tekniske Universitet, 2000. ISBN: 97-7877-045-9.
- L. Lutzenhiser. 1992.** A cultural model of household energy consumption. *Energy.* 1992, Vol. 17, No. 1, pp. 47-60.
- Lavenergiutvalget. 2009.** *Energieffektivisering Del 1, Hovedrapport.* s.l. : Olje- og energidepartementet, 2009. Internett: http://www.regjeringen.no/upload/OED/Rapporter/OED_Energieffektivisering_Lavopp.pdf.
- Lievens, Stijn and Baets, Bernard De. 2010.** Supervised ranking in the WEKA environment. *Information Sciences.* 180, desember 15, 2010, Vol. 2010, pp. 4763-4771.
- Lomas , Kevin J. and Eppel, Herbert . 1992.** Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings.* 1992, 19 (1992) 21-44.
- Løvås, Gunnar G. 2004.** *Statistikk for universiteter og høyskoler.* 2. s.l. : Universitetsforlaget AS, 2004. ISBN-13:978-82-15-00224-8.
- Lukas G. Swan and V. Ismet Ugursal. 2009.** Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2009, 13 (2009) 1819-1835.
- Lundberg, Nils H. and Hagland, Jan.** Det Store Norske Leksikon. *Petroleum – historikk.* [Online] [Cited: 01 14, 2011.] <http://www.snl.no/petroleum/historikk>.
- Lundberg, Nils H.** Det store norske leksikon. *Oljekrisen 1973-74.* [Online] [Cited: 01 19, 2011.] http://www.snl.no/oljekrisen_1973%E2%80%9374.
- Macdonald, I. A. 2002.** *Quantifying the Effects of Uncertainty in Building Simulation.* 2002. Ph.D. thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde.
- Mardia , K. V, Kent, J. T and Bibby, J.M. 1979.** *Multivariable Analysis.* s.l. : Academic Press, 1979. ISBN 9780124712522.

- Masos, O.T. and Grobler, L. J. . 2009.** The dark side of occupants' behaviour on energy use. *Energy and Buildings*. 2009, 42 (2010) 173-177.
- Mohammad, Muamer N., Sulaiman, Norrozila and Muhsin, Osama Abdulkarim. 2011.** A novel intrusion detection system by using intelligent data mining in wekaenvironment. *Procedia Computer Science*. Volume 3, 2011, Vol. 2011, pp. 1237-1242.
- Morris, Max D. 1991.** Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. *Technometrics*. No. 2, 1991, Vol. 33, pp. 161-174.
- Nesbakken, Runa. 2001.** Energy consumption for space heating: A discrete-continuous approach. *Scandinavian Journal of Economics* . 2001, 103 (1) (2001) 165–184.
- . **1999.** Price sensitivity of residential energy consumption in Norway. *Energy Economics*. 1999, 21 (1999) 493-515.
- Nesland , Oddvar. 2010.** *Energibruk og inneklima i passiv- og lavenergihus, Master i energi og miljø*. Trondheim : Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for energi- og prosesssteknikk, 2010.
- Nicol , Fergus and Parsons, Ken. 2002.** Editorial Special issue on thermal comfort standards. *Energy and Buildings*. 2002, 34 (2002) 529-532.
- Nicol, Fergus J. 2001.** Characterising occupant behaviour in buildings: towards a stochastic model of occupant use of window, lights, blinds, heaters and fans. Rio de Janeiro : s.n., 2001.
- Nicol, J. F. and Humphreys, M. A. 2009.** New standards for comfort and energy use in buildings. *Building Research & Information*. 2009, 37:1 68-73.
- Norsk meteorologisk institutt.** Eklima.no. [Online] [Cited: 5 20, 2011.] Man må logge inn (gratis) for å bestille denne typen data .. www.eklima.no.
- NVE. 2010.** NVE - Energimerking.no. *Karakterskalaen*. [Online] 05 14, 2010. [Cited: 01 03, 2011.] <http://energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/Energimerkeskalaen/>.
- Olerud, Kåre. 2009.** Det Store Norske Leksikon. *Klimakonvensjonen*. [Online] 10 07, 2009. [Cited: 01 17, 2011.] <http://www.snl.no/Klimakonvensjonen>.
- Olje- og energidepartementet. 2010.** Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg (energimerkeforskriften). [Online] 07 01, 2010. [Cited: 01 21, 2011.] <http://www.lovdata.no/for/sf/oe/xe-20091218-1665.html>.
- . **2010.** Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilooven). [Online] 07 01, 2010. [Cited: 01 21, 2011.] <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/all/nl-19900629-050.html&8-5>.
- Opplysningsutvalget VA-ledningsnett.** Fakta om VA-systemet i Norge. [Online] [Cited: 03 11, 02.] <http://www.ovalinfo.no/?cid=5#cid=5>.

- Oseland, N. A. 1994.** A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer. *Energy and Buildings*. 1994, 21 (1994) 45-54.
- Oseland, Nigel A. 1995.** Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes. *Energy and Buildings*. 1995, 23 (1995) 105-115.
- Page, J., et al. 2008.** A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence. *Energy and Buildings*. 2008, Vol. 2008, 40.
- Papadopoulou, Kyriaki, et al. 2009.** European projects P180. *Evaluation of the impact of national EPBD implementation in MS*. [Online] 12 18, 2009. [Cited: 02 14, 2011.] ASIEPI project. www.buildup.eu.
- Peng, Yi, et al. 2011.** An incident information management framework based on data integration, data mining, and multi-criteria decision making. *Decision Support Systems*. 51, 2011, 10.1016/j.dss.2010.11.02, pp. 316-327.
- Peng, Yi, Zhang, Yong and Li, Shiming. 2010.** An incident information management framework based on data integration, data mining, and multi-criteria decision making. *Decision Support Systems*. 51, 2010, Vol. 2011, 2, pp. 316-327.
- Petersen, Kristine Nærvig and Gram-Hanssen, Kirsten. 2005.** *Husholdingers energi- og vandforbrug - Avhængighed av socio-økonomiske baggrundsvariabler*. 1.udgave. s.l. : Statens Byggeforskningsinstitut, 2005. p. 77. SBI 2005:09. ISBN 87-563-1231-8.
- Pettersen, Trine Dyrstad. 1994.** Variation of energy consumption in dwellings due to climate, building and inhabitants. *Energy and Buildings*. 1994, 21 (1994) 209-218.
- ProgramByggerne ANS. 2010.** SIMIEN v 5.004. 2010. Simuleringsprogram for inneklima og energibruk i bygninger.
- ProgramByggerne.** ProgramByggerne. *SIMIEN*. [Online] ProgramByggerne. [Cited: 01 31, 2011.] <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN>.
- . ProgramByggerne. *SIMIEN Wiki - Bruk*. [Online] [Cited: 01 31, 2011.] <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/bruk>.
- Raaij, W. Fred van and Verhallen, Theo M. M. 1983a.** A behavioral model of residential energy use. *Journal of Economic Psychology*. 1983a, 3 (1983) 39-63.
- Raaij, W. Fred van and Verhallen, Theo M. M. 1983b.** Patterns of residential energy behavior. *Journal of Economic Psychology*. 1983b, 4 (1983) 85-106.
- Regeringen. 2009.** *Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger*. Erhvervs- og Byggestyrelsen. 2009. ISBN: 978-87-92480-15-6.
- Rijal, H. B., et al. 2007.** Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. *Energy and Buildings*. 2007, Vol. 2007, 39.

Rode, William and Isachsen, Olav K. 2008. Country review P85. *Implementation of the EPBD in Norway: Status June 2008*. [Online] 06 26, 2008. [Cited: 02 01, 2011.] EPBD Building Platform project. www.buildup.eu.

Rose, Jørgen. 2002. *Typehus svarende til BR-2005-Energikrav, Del 2: Måling af opvarmningsbehov for typehus*. København : Danmarks Tekniske Universitet, 2002. ISBN 87-7877-081-5.

Rousseeuw, Peter J. 1987. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 1987, 20 (1987) 53-65.

Sæle, Hanne, Rosenberg, Eva and Feilberg, Nicolai. 2010. *State-of-the-art Projects for estimating the electricity end-use demand*. Trondheim : SINTEF Energy Research, 2010. ISBN: 978-82-594-3445-6.

Saltelli, A. and Marivoet, J. . 1990. Non-parametric Statistics in Sensitivity Analysis for Model Output: A Comparison of Selected Techniques. *Reliability Engineering and System Safety*. 1990, 28 (1990) 229-253.

Saltelli, A., Chan, K. and Scott, E. M. 2004a. *Sensitivity Analysis*. s.l. : John Wiley & Sons Ltd, 2004a. ISBN 0-471-99892-3.

Saltelli, Andrea, et al. 2004. *Sensitivity Analysis in Practice*. s.l. : John Wiley & Sons Ltd, 2004. ISBN 13: 978-0470-87093-8 .

Sardianou, Eleni . 2007. Estimating energy conservation patterns of Greek households. *Energy Policy*. 2007, 35 (2007) 3778–3791.

—. **2008.** Estimating space heating determinants: An analysis of Greek households. *Energy and Buildings* . 2008, 40 (2008) 1084–1093.

Satelli, Andrea, et al. 2004b. *Sensitivity Analysis in Practice: A guide to assessing scientific models*. Ispra, Italy : John Wiley & Sons, Ltd, 2004b. ISBN 978-0-470-87093-8.

SBI. Be06. s.l., Danmark : Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitetet. Beregningsprogram til bygningers energibehov .

SCB. Energipriser på naturgas och el. [Online] Statistiska centralbyrån. [Cited: 5 22, 2011.] http://www.scb.se/Pages/TableAndChart___53602.aspx.

—. Hushåll (HEK) efter hushållsstorlek, boendeform, tid och tabelluppgift. [Online] [Cited: 5 22, 2011.] <http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/SaveShow.asp>.

—. Hushållsstorlek. [Online] Statistisk sentralbyrå. [Cited: 5 18, 2011.] <http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/SaveShow.asp>.

Schild, Peter G. 2010. European projects P170. *Norway: Impact, compliance and control of EPBD legislation*. [Online] 04 07, 2010. [Cited: 02 01, 2011.] ASIEPI project. www.buildup.eu.

Schild, Peter G., Klinski, Michael and Grini, Chatrine. 2010. *Prosjektrapport 55 - Analyse og sammenlikning av krav til energieffektivitet i bygg i Norden og Europa*. s.l. : SINTEF Byggforsk, 2010. ISBN 978-82-536-1146-4 (pdf).

Schniders, Jürgen and Hermelink, Andreas. 2004. CEPHEUS results; measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy* 34. 34, 2004, Vol. 2006.

SIGKDD. 2011. Special Interest Group of Knowledge Discovery and Data Mining - Service Award. [Online] 2011. [Cited: 05 12, 2011.] http://www.sigkdd.org/awards_service.php.

Simonsen og Sørensen. 2007. *Usikkerhed ved energiforbruget i Danmark*. Aalborg : Aalborg Universitet, 2007.

SINTEF Byggforsk AS. 2006. Tung og deilig-bruk av termisk masse i bygg. [Online] 06 06, 2006. [Cited: 04 28, 11.] <http://www.arkitektur.no/?nid=115363&iid=124198&pid=10005.-20201>.

Sintef Energi AS. Strømforbruk i husholdningene. [Online] [Cited: 6 02, 2011.] <http://www.sintef.no/Byggforsk/Nyheter/Eget-forskningssenter-for-klimavennlig-bygging/>.

SMHI. Dataserier 1961-2009. [Online] Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. [Cited: 5 20, 2011.] <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-2.1102>.

Smidsrød og Bryn. 2007. *Veileder for utforming av glassfasader*. s.l. : Statens Bygningstekniske Etat, 2007.

Sonderegger, Robert C. 1977/78. Movers and stayers: The resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating. *Energy and Buildings*. 1977/78, 1 (1977/78) 313-324.

SSB. 19 Fullførte bygg. Gjennomsnittleg bruksareal per leilegheit, i ulike bygningstypar. m2. 2000-2009. [Online] [Cited: 5 18, 2011.] http://www.ssb.no/emner/10/09/byggeareal_tab/t-19.html.

—. 2 Privathusholdninger og personer per privathusholdning, etter fylke. 1960, 1970, 1980, 1990, 2001 og 2010. [Online] [Cited: 5 18, 2011.]
Kilde:<http://www.ssb.no/emner/02/01/20/familie/tab-2010-04-08-02.html>.

—. 4 Privathusholdninger og personer i privathusholdninger. etter husholdningsstørrelse. fylke. kommune og bydel. 1. januar 2010. Prosent. [Online] [Cited: 5 22, 2011.]
<http://www.ssb.no/familie/tab-2010-04-08-04.html>.

—. **2011.** Befolkningsstatistikk. Berekna folkemengd, 1.januar 2011. [Online] 01 01, 2011. [Cited: 01 16, 2011.] <http://www.ssb.no/folkber/>.

—. **2010.** Bygg sette i gang og fullførte bygg. Bustader og bruksareal til bustad. Bruksareal til anna enn bustad. Kommune. 2010. [Online] 2010. [Cited: 4 15, 2011.]
http://www.ssb.no/emner/10/09/byggeareal_tab/t42.html.

—. **2010.** Byggearealstatistikk 2010. Tabellar. [Online] 2010. [Cited: 28 03, 2011.]
http://www.ssb.no/emner/10/09/byggeareal_tab/t-42.html.

- . **2010.** Energiregnskap og energibalanse. *Beregnete priser for nyttiggjort energi*. [Online] 2010. [Cited: 01 19, 2011.] <http://www.ssb.no/energiregn/tab-2010-11-25-22.html>.
- . **2010.** Energiregnskap og energibalanse. *Energiforbruk i husholdninger og fritidshus. 1990-2009. GWh*. [Online] 2010. [Cited: 01 10, 2011.] <http://www.ssb.no/energiregn/tab-2010-11-25-20.html>.
- . Statistisk Sentralbyrå - 02 befolkning - historisk statistikk. [Online] [Cited: 01 14, 2011.] <http://www.ssb.no/histstat/tabeller/3-13.html>.
- . Tidsserie over kvartalsvise og årlige priser på elektrisk kraft til husholdninger, inklusive avgifter1. Øre/kWh. [Online] Statistisk sentralbyrå. <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elkraftpris/arkiv/tab-2009-10-01-05.html>.
- Standard Norge . 2007.** *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. s.l. : Standard Norge, 2007. ICS 900.08.21; 91.120.10.
- Standard Norge. 2010.** *Norsk Standard NS3031:2007/A1:2010 - Endringsblad A1 - Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. s.l. : Standard Norge, 2010. ICS 01.040.91;91.120.10.
- . **2010.** *NS 3700 Norsk Standard for Passivhus*. s.l. : Standard Norge, 2010.
- . **2007.** *NS3031:2007. Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. [Online] 2007. [Cited: 01 21, 2011.] <http://www.standard.no/no/Sok-og-kjop/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductId=283488>.
- Statens Byggtekniske etat. 2011.** Veiledning om tekniske krav til byggverk. § 15-6. *Innvendig vanninstallasjon*. [Online] 2011. [Cited: 28 03, 2011.] <http://byggeregler.be.no/dxp/content/tekniskekrav/kap-15/6/>.
- Statens bygningstekniske etat. 2002.** Forskriftene fra 1924 til idag. [Online] 2002. [Cited: 02 08, 2011.] <http://www.be.no/beweb/regler/historien/forskrhistorikk.html#Byggeforskrift%201985>.
- . **2007.** Revisjon av Teknisk Forskrift 2007. *Nye energikrav*. [Online] 2007. [Cited: 21 01, 2011.] <http://www.be.no/beweb/info/energikurs07/Energi-veilederkurs/Foredrag/02NyeEnergiKrav.pdf>.
- . **2010.** Veiledning til Forskrift om tekniske krav til byggverk . [Online] 10 01, 2010. [Cited: 01 21, 2011.] <http://byggeregler.be.no/bin/tek10.pdf>.
- Statens energimyndighet. 2009.** *Mätning av kall- och varmvattenanvändningen i 44 hushåll*. Eskilstuna : Statens energimyndighet, 2009. ISSN 1403-1892.
- StatSoft - Electronic Statistics Textbook. 2011.** Basic Statistics. *Outliers*. [Online] 2011. [Cited: 05 19, 2011.] <http://www.statsoft.com/textbook/basic-statistics/#Correlationse>.
- . **2011.** StatSoft - Principal Components and Factor Analysis. [Online] 2011. [Cited: 05 02, 2011.] <http://www.statsoft.com/textbook/principal-components-factor-analysis/>.

- StatSoft. 2011.** Electronic Statistics Textbook. *StatSoft - Cluster Analysis*. [Online] 2011. [Cited: 04 18., 2011.] <http://www.statsoft.com/textbook/cluster-analysis/>.
- . **2011.** Electronic Statistics Textbook. *StatSoft - Cluster Analysis*. [Online] 2011. [Cited: 04 18., 2011.] <http://www.statsoft.com/textbook/cluster-analysis/>.
- Stensaas, Leif. 2000.** *Inneklimateknikk*. Trondheim : Gyldendal Norsk Forlag AS, 2000. ISBN 978-82-05-45173-0.
- Store Norske Leksikon. 2011.** Store Norske Leksikon. *EØS- avtalen*. [Online] 04 11, 2011. [Cited: 05 03, 2011.] <http://www.snl.no/.forside/EØS-avtalen>.
- Thøgersen, John and Grønhøj, Alice. 2010.** Electricity saving in households - A social cognitive approach. *Energy Policy*. 2010, 38 (2010) 7732-7743.
- Thomsen, K.E., Schultz, J.M. and Poel, B. 2005.** Measured performance of 12 demonstration projects—IEA Task 13 “advanced solar low energy buildings”. *Energy and Buildings*. 2005, 37 (2005) 111–119.
- Tommerup, H., Rose, J. and Svendsen, S. 2007.** Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced in Denmark in 2006. *Energy and Buildings*. 2007, 39 (2007) 1123-1130.
- Tommerup, Henrik. 2007.** *Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980*. København : Danmarks Tekniske Universitet, 2007. ISBN 9788778772404.
- . **2004a.** *Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav (R097)*. Department of Civil Engineering, DTU. København : Danmarks Tekniske Universitet, 2004a. ISBN 87-7877-162-5.
- . **2004b.** *Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav (R098)*. Department of Civil Engineering, DTU. København : Danmarks Tekniske Universitet, 2004b. ISBN 87-7877-163-3.
- UNFCCC.** United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol*. [Online] [Cited: 01 17, 2011.] http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php.
- Unit of Econometrics and Applied Statistics of the Joint Research Centre (European Commission).** SimLab. [Online] [Cited: 02 10, 2011.] <http://simlab.jrc.ec.europa.eu/>.
- Waikato, University of. 2011.** Weka 3: Data Mining Software in Java. [Online] 2011. <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/>.
- Wall, Maria. 2006.** Energy-efficient terrace houses in Sweden, simulations and measurements. *Energy and Buildings*. 38, 2006, Vol. 2006.
- Weber, Christoph and Perrels, Adriaan. 2000.** Modeling lifestyle effects on energy demand and related emissions. *Energy Policy*. 2000, 28 (2000) 549-566.
- WEKA . 2011.** Downloading and installing Weka. [Online] 2011. [Cited: 05 26, 2011.] http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index_downloading.html.

- Widén, Joakim and Wäckelgård, Ewa. 2009.** A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand. *Applied Energy*. 2009, 87 (2010) 1880-1892.
- Wilhite, Harold, et al. 1996.** A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway. *Energy Policy*. Vol. 24 No. 9, 1996, pp. pp. 795-803.
- Winther, Fredrik. 2006.** Be06 indata v 2.3.xls. 2006. Excelbasert regneverktøy kompatibelt med Be06.
- World Commission on Environment and Development. 1987.** *Our Common Future*. s.l. : World Commission on Environment and Development, 1987.
- Wu, Chien-Ho. 2007.** On the Application of Grey Relational Analysis and RIDIT Analysis to Likert Scale Surveys. *International Mathematical Forum*. 2007, Vol. 2007, 2.
- Xiaoyuan, Xie, et al. 2011.** Testing and validating machine learning classifiers by metamorphic testing. *The Journal of Systems and Software*. 84, 2011, Vol. 2011, 4, pp. 544-558.
- Yang, Jing. 2011.** Convergence and uncertainty analyses in Monte-Carlo based sensitivity analysis. *Environmental Modelling & Software*. 2011, 26 (2011) 444-457.
- Yohanis, Yigzaw G., et al. 2008.** Real-life energy use in the UK: How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy and Buildings*. 2008, 40 (2008) 1053-1059.
- Yu, Z., et al. 2010.** A decision tree method for building energy demand modeling. *Energy and Buildings*. 2010, doi:10.1016/j.enbuild.2010.04.006.
- Yu, Zhun, et al. 2011.** A Systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*. 2011, 43 (2011) 1409-1417.
- Zar, Jerrold. 1999.** *Biostatistical analysis*. New Jersey : Prentice Hall Inc., 1999. ISBN: 9780130815422.
- ZEB.** About ZEB. [Online] The Research Centre on Zero Emission Buildings. [Cited: 6 2, 2011.] <http://www.sintef.no/Projectweb/ZEB/About-ZEB/>.
- . 2010.** Zero Emission Buildings. [Online] 05 27, 2010. [Cited: 6 3, 2011.] <http://www.sintef.no/Projectweb/ZEB/About-ZEB/>.
- Zimmermann, Jean Paul . 2009.** *End-use metering campaign in 400 households In Sweden, Assessment of the Potential Electricity Savings*. s.l. : Energimyndigheten, Sverige, 2009.

VEDLEGG

Innholdsfortegnelse vedlegg

VEDLEGG A- Litteraturstudie	7
A.1 Summary	8
A.2 Introduction	9
A.3 Method	10
A.3.1 Procedure	10
A.3.1.1 Select research question:	10
A.3.1.2 Selecting bibliographic or article data bases and other sources:	11
A.3.1.3 Choosing search terms:	11
A.3.1.4 Practical screening of the data	11
A.3.1.5 Methodological quality screening	12
A.3.2 Data processing	13
A.4 Results	14
A.4.1 Technical studies	14
A.4.1.1 Technical models	14
A.4.2 Sociological studies	18
A.4.2.1 Influence of sociological parameters	18
A.4.2.2 Behavioural patterns	20
A.4.2.3 Comfortably living	22
A.4.2.4 Cultural variables	23
A.4.2.5 Energy Waste	24
A.4.2.6 Energy saving	24
A.4.3 Integrated studies	25
A.5 Discussion	26
VEDLEGG B – Begrensninger	30
B.1 Generelle	30
B.2 Software	30
B.3 Modell	30
B.4 Bestemmelse av parametervariasjoner og brukerprofiler	30
B.5 Evaluering av resultater	31
VEDLEGG C - spørreundersøkelse	32
C.1 undersøkelsen	32
C.2 Resultater	34

C.3 E-postkorrespondanse med utviklerne av SIMIEN	36
VEDLEGG D – Forskriftskrav og standardverdier	37
D.1 Energikrav.....	37
D.2 Standardverdier fra NS3031	38
D.2.1 Internlaster.....	38
D.2.2 Luftmengder	39
VEDLEGG E - Sensitivitets- og usikkerhetsanalyser	41
E.1 Screening.....	41
E.1.1 Spredningsplott	41
E.1.2 Sensitivitetsindeks.....	42
E.1.3 Elementareffektmetoden.....	43
E.2 Monte Carlo	43
E.2.1 Samplingsmetoder.....	43
E.2.1.1 Tilfeldig samplemetode.....	43
E.2.1.2 Lagdelt tilfeldig samplemetode.....	45
E.2.1.3 Latin hypercube samplingsmetode.....	46
E.2.2 Korrelasjonsmål.....	48
E.2.2.1 Pearson's r	48
E.2.2.2 Spearman's ρ	48
E.2.2.3 Partiell korrelasjon koeffisient	48
E.2.2.4 Rangeringstransformasjon	49
E.2.3 Usikkerhetsanalyse	49
VEDLEGG F - Elementareffektmetoden	50
VEDLEGG G – SIMIEN	53
G.1 Prosedyre.....	54
G.2 Soneinndeling	55
G.3 Algoritmer og beregningsmetoder.....	56
G.4 Validering.....	57
G.5 Versjon	57
G.6 Parametere som påvirkes av brukerne	58
VEDLEGG H – SimLab	60
H.1.1 Prosedyre.....	60
VEDLEGG I – Beregninger mot forskriftskrav for bygningsmodellene	64
I.1 Beregning med småhusmodellen.....	64
I.1.1 energiberegning.....	64

I.1.1.1 Inneklimategning.....	65
I.2 Tegning med boligblokkmodellen.....	68
I.2.1 Energitegning	68
I.2.1.1 Inneklimategning.....	69
VEDLEGG J – teori for benyttet statistikk.....	71
J.1 Sannsynlighetsdistribusjoner	71
J.1.1 Uniform sannsynlighetsfordeling	71
J.1.2 Normalfordeling.....	71
J.1.3 Log-normalfordeling	72
J.1.4 Beta-fordeling	73
VEDLEGG K – Sannsynlighetsfordelinger for screeninganalyse	74
K.1 Varmeavgivelse fra personer	75
K.1.1.1 antall personer	75
K.1.1.2 aktivitetsnivå og brukstid	76
K.2 Settpunkt på romoppvarming.....	77
K.2.1 Undersøkelser med målinger fra Danmark.....	77
K.2.2 CEPHEUS	79
K.2.3 Resultater fra undersøkelserne	79
K.3 Oppvarming av tappevann	82
K.3.1 Undersøkelser med målinger.....	82
K.3.2 Resultater fra alle målinger	83
K.4 Solskjerming.....	84
K.5 Ventilasjon.....	87
K.6 Starttidspunkt for belysning og teknisk utstyr	89
VEDLEGG L -Tegning av effektbehov til oppvarming av tappevann	91
L.1 Tegning av effektbehov per m ² fra vannregisteret.....	91
L.1.1.1 Tegningseksempel	92
L.2 Tegning av effektbehov per person fra vannregisteret.....	95
VEDLEGG M – Hypotesetesting.....	96
M.1.1.1 Sammenheng med konfidensintervaller.....	97
M.1.1.2 Empirisk fordelingsfunksjon	97
M.1.2 Kolmogorov-Smirnov hypotesetest	98
M.1.3 Regneeksempel.....	99
VEDLEGG N – Grafisk presentasjon av korrelasjonskoeff. for sensitivitetsanalyse.....	101
N.1 Småhusmodellen	101

N.1.1 Energibruk.....	101
N.1.2 termisk inn klima	104
N.2 boligblokkmodellen	109
N.2.1 energibruk.....	109
N.2.2 termisk inn klima	112
VEDLEGG O – resultater av kvantitativ sensitivitetsanalyse – boligblokk	116
O.1 Energi	116
O.2 Termisk.....	118
VEDLEGG P - Tidligere undersøkelser relatert til dannels e av brukerprofiler	119
P.1 Tidligere studier.....	119
P.1.1 Klyngeanalyse.....	119
P.1.2 Faktoranalyse	121
P.1.3 Beslutningstre	122
P.1.4 Predefinert brukermønster	123
VEDLEGG Q - Datagrunnlag for brukerprofiler	125
Q.1 database	125
Q.1.1 Beskrivelse av database	126
Q.1.2 Utvalg fra prøven	129
Q.2 Databehandling.....	130
Q.3 Sammenligning av norske og svenske husholdninger	131
Q.3.1 Klimatiske forhold.....	131
Q.3.2 Bygningskrav	131
Q.3.3 Sammenligning av priser på elektrisitet	132
Q.3.4 Husholdninger	132
VEDLEGG R – Fremgangsmåte for å danne Brukerprofiler	135
R.1 Database.....	135
R.2 Klyngeanalyse	135
R.2.1.1 Datatransformasjon.....	137
R.2.1.2 Grå relasjonsanalyse	137
R.2.1.3 Distansemål for klyngeanalyse	141
R.2.1.4 Klyngeanalysealgoritme	141
R.2.1.5 gjennomføring av klyngeanalysen.....	142
R.2.1.6 Silhuetter.....	142
R.3 Predefinerte brukermønstre – Alt. 2	144
VEDLEGG S - WEKA	146

S.1 Utvikling av WEKA	146
S.2 Oppbygning av program	146
VEDLEGG T - Sannsynlighetsfordelinger for brukerprofilene.....	150
T.1 ventilasjon	150
T.2 Oppvarming av tappevann	152
T.3 Effektbehov til teknisk utstyr	153
T.4 Effektbehov til belysning.....	155
T.5 Settpunkttemperatur for romoppvarming	156
T.6 Varmeavgivelse fra personer.....	156
VEDLEGG U - Resultater fra simuleringene med brukerprofiler.....	158
U.1 Variasjoner i energibehov.....	158
U.2 Energibehov til elektrisk utstyr og belysning.....	159
U.3 Energibehov til romoppvarming	161
U.4 Energibehovet til oppvarming av tappevann	164
U.5 Årlig energibehov per brukerprofil	166
VEDLEGG V Brukerveiledning til AMSiS.....	167
V.1 Nødvendig programvare	167
V.2 Mappesystem	167
V.3 AMSiS ark.....	168
V.3.1 Inndata	168
V.3.2 Beregning	170
V.3.2.1 Knapp 1 (kjør simulering)	171
V.3.2.2 Knapp 2 (samle resultater).....	171
V.3.2.3 Knapp 3 (behandling av energieresultater).....	171
V.3.2.4 Knapp 4 (samle og behandle inneklimaresultater).....	171
V.3.2.5 Utvidet bruk av AMSiS: stokastisk modellering av faktorer med egne utvalg	172
V.3.3 Rullgardiner	172
V.3.4 XML-fil og Edit.....	172
V.3.5 Samples	172
V.3.6 PMV	173
V.3.7 sentrale inneklimaresultater.....	173
V.3.8 sentrale energieresultater	174
V.3.9 Tillegg	175
V.3.9.1 Termisk komfort og PMV og PPD beregninger	175
VEDLEGG W - DVD	180

VEDLEGG A - LITTERATURSTUDIE

HOW DOES OCCUPANT BEHAVIOUR INFLUENCE THE ENERGY CONSUMPTION IN RESIDENTIAL BUILDINGS?

Dette litteraturstudiet ble utarbeidet som en del av et kurs, kalt *Forskning og Etikk*, som forfatterne gjennomførte i 9.semster ved Høgskolen i Oslo samt i den første måneden av arbeidet med denne prosjektoppgaven. Litteraturstudiet ble utviklet på et stadium hvor det ikke var avklart hvilket språk masteroppgaven skulle skrives på og det ble derfor besluttet å skrive litteraturstudiet på engelsk.

Litteraturstudiet forsøker å gi et overblikk over den kunnskap som finnes innenfor emne brukeratferds påvirkning på energibruken i boliger. Det var også et ønske at studiet skulle danne et grunnlag for utarbeidelsen av en problemstilling for masteroppgaven.

A.1 SUMMARY

Approximately 25 % of the total energy consumption in European countries is consumed by households. Consequently, it is vital that residential energy consumption can be predicted with a certain level of accuracy or at least with a known amount of uncertainty. However, it is seen that measured energy consumption in residential buildings may be more than twice as high as predicted energy consumption. Occupant behaviour is assessed as a significant source to these differences.

The present study was carried out as a literature review with the objective of obtaining an overview of what had already been uncovered in the field of occupants behaviour influence on energy consumption in residential buildings, finding voids in the research and at the end be able to formulate the research proposal for further study.

All the reviewed literature indicated that occupants behaviour in residential buildings have a major influence on the energy consumption. Behavioural patterns of an occupant may affect the energy consumption of a single room by up to 324 %. Occupants consume energy in their home in order to obtain required comfort and to support a certain level of living standard. In addition research indicated that occupant behaviour may lead to an enormous energy waste due to the fact that they leave light and equipment on during absence. Poor knowledge concerning energy consumption was seen to be one of the reasons for so called energy waste. Providing consumers with information in regard to their consumer actions could contribute to energy savings above 20 %, but with usual savings between 5-12 %.

Researchers agree that heating and ventilation behaviour are the most important consumer actions with regard to residential energy consumption. Sociological factors assessed to have significant influence on energy consumption of households were numbers of occupants, household income and dwelling size. In addition it was found that age and stage in the family life-cycle contributed to the energy use since the presence of elderly and children may require higher indoor temperature.

It was seen that technologists and sociologists treats the issue of occupant behaviour in relation to residential energy consumption in different ways. Technologists consider the variables which directly influenced the energy consumption with the aim of predict energy consumption for residential buildings with high level of accuracy or known amount of uncertainty. Sociologists consider for the most parameters which indirectly influenced the energy consumption with the purpose of providing information for policy making and energy conservation campaigns.

There is a great need for energy calculation tools which consider real occupant behaviour. A realistic approach may be to utilise stochastic modelling. Further research should focus on defining user profiles and probability distributions for stochastic variables that can help to predict energy consumption with known amount of uncertainty. Data of sensitive parameters from large representative samples have to be collected to provide reliable data of real occupant behaviour. The work should be carried out as interdisciplinary cooperation between sociologists and technologists.

A.2 INTRODUCTION

Official documents assert that operation of buildings account for approximately 40 % of the total energy consumption in Norway as well as in the rest of Europe (Arbeidsgruppe nedsatt av Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) (European Commission, 2010). Numbers from the European Commission indicates that households are responsible for consuming more than 60 % of this share (European Commission, 2010), i.e. approximately 25 % of the total energy consumption. Energy conservation in the residential sector is therefore an essential milestone in Norwegian and European energy policy.

The European Union's Climate and Energy Package require 20 % reduction in primary energy use by 2020 compared to projected levels; this should be accomplished by improving energy efficiency (European Commission, 2010). To reach this target, new building standards have been developed with stricter requirements for technical solutions of building physics and building services. However, building services are operated by humans and wrong or unpredicted operation may lead to failure in the mission of reducing energy consumption. This makes occupancy behaviour one of the weakest links concerning energy conservation.

When it comes to energy management it is important that energy assessments have a certain level of accuracy or at least a known uncertainty. This is for instance vital in energy planning, assessment of emission impact, determination of expected annual energy cost and for the basis of energy conservation campaigns. Unfortunately it is seen that theoretical energy consumption and actual energy consumption differ widely in many cases (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) (Hitchcock, 1993). Theoretical energy consumption is reckoned as energy calculations based on physical laws often with integrated standardized values for internal loads, while actual energy consumption is based on measurements. Actual energy consumption may be more than twice as high as theoretical energy consumption (Brohus, et al., 2010). Occupant behaviour is assessed as a significant source to these differences (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) and a sensitive factor concerning residential energy consumption (Weber, et al., 2000) (Bahaj, et al., 2007) (Guerra-Santin, et al., 2010). The field of occupant behaviour is a complex area where physical, sociological and technical variables have to be taken into account (Brohus, et al., 2010) (Hitchcock, 1993).

The present project will investigate how variation of occupant behaviour in residential buildings effects the fluctuation of energy consumption for the building. Fields of interest are; which consumer actions have significant influence on the energy consumption? Which factors cause variance in occupant behaviour? Are there differences in how sociologists and technicians treat the issue of occupants' behaviour influence on energy consumption of residential buildings? And, how far have the research emerge concerning integrating real occupant behaviour in theoretical energy calculations in order to predict actual energy consumptions for residential buildings with low degree of uncertainty?

The study will be carried out as a research literature review. The objective of the research literature review is to obtain an overview of what has already been uncovered in the field of occupant behaviours influence on energy consumption in residential buildings, finding voids in the research and at the end be able to formulate the research proposal for further study. The report is structured after the IMRAD approach which is common to apply in papers and short academic reports. In accordance with the IMRAD approach this report contains an introduction,

method, results and discussion chapter. The method chapter gives a description of how literature is found and treated. The result chapter presents the selected literature and the discussion chapter co-ordinate the information from the results in order to answer the research questions and fields of interests as stated above.

A.3 METHOD

The literature review will be conducted by finding and reading scientific documents, articles and surveys related to energy use and habitual behaviour in the residential sector. The literature will be analysed in the view of reliability, validity and relevance for our project. Focusing on high-quality original research is our only guarantee for obtaining accurate results. Critical analysis of the sources will therefore play a major part of the literature review. The procedure and data processing is described in detail in the following sections.

A.3.1 PROCEDURE

When conducting a research literature review it is important to systematically examine all sources and describe and justify what have been done. This enables other people to reproduce the method and to determine objectively if they will accept the results of the review. (Arlene Fink) [p.16]

To carry out the research literature review in a systematic manner, the main steps presented in “Conducting Research Literature Reviews” by Arlene Fink (Arlene Fink)[p.5] is followed.

A.3.1.1 SELECT RESEARCH QUESTION:

It is important to state the research question precisely in order to acquire literature needed and not just an unlimited number of articles. For the research literature review we aim to answer the following questions:

- Our main research question is
 - *“How does occupant behaviour influence the energy consumption of residential buildings?”*
- In addition we are interested in finding the answers to the sub questions
 - *“Are there differences in how sociologists and technicians treat the issue of occupants’ behaviour influence on energy consumption of residential buildings?”*
 - *“Which consumer actions have significant influence on the energy consumption?”*
 - *“Which factors cause variance in occupant behaviour?”*
 - *“How far has the research emerged concerning integrating occupant behaviour in theoretical energy calculations in order to predict actual energy consumptions for residential buildings with low degree of uncertainty?”*

A.3.1.2 SELECTING BIBLIOGRAPHIC OR ARTICLE DATA BASES AND OTHER SOURCES:

Reviews of the literature depend on data from five main sources; online public bibliographic or article databases, private bibliographic databases, specialized databases, manual or hand search of the references in articles and expert guidance. In our case we will utilise expert guidance, a private database, an online public database and manual search of the references in the articles we read;

- We will take advantage of the knowledge of our supervisor, Henrik Brohus (Ph.D.), who has exhaustive knowledge in the field of interest. Brohus has provided us with information both concerning published and unpublished articles and documents through his private database.
- We will utilise the online public article database Science Direct, which is a database that contains full version texts. Both Oslo University College and Aalborg University can provide full access to this database.
- When reading an article it will be important to track down sources of interest both to conduct a quality control of the article and to obtain knowledge of importance. Reviewing references in high-quality studies is one way to avoid missing out on important studies.

A.3.1.3 CHOOSING SEARCH TERMS:

A comprehensive search strategy in online databases may require combining key words and thesaurus terms. Since we are certain of our research questions and the variables of interest, the combining key words and thesaurus terms will hopefully lead to a relatively narrow range of articles. However, fewer articles are not always better since if the search is very narrow important ideas may be missed. The literature search has to balance specific research questions and justifiable restrictions. To ensure this balance the search terms have been compared to search terms and key words by other authors of articles we trust which have provided us with additional key words and thesaurus.

In the online search we have made use of the *Boolean operators*; AND, OR and NOT. In addition *Nesting* have been applied in the search which allows individual concept to enclosed in parenthesis and the terms inside the parenthesis will be processed as an unit.

The search term used for the literature search in the article database Science Direct was ("*energy consumption*" OR "*energy use*") AND "*occupant behaviour*" AND (*residential* OR *dwelling*.) This search term led to 228 hits.

A.3.1.4 PRACTICAL SCREENING OF THE DATA

A rough practical screening was conducted on the 228 articles found. The criteria for the screening were:

- *Publication language*: The article should be written in English.
- *Publication*: The article should be published by a respected publisher or it should be able to document that it has gone through careful quality assurance.

- *Content:* The article should have direct relevance to how user behaviour influences the energy consumption of residential buildings or how technical models treat the issue of occupant behaviour.
- *Date of publication:* In the screening only studies published from January 1st 1980 and up to the present date, October 2010, are included. This restriction is made due to the time limitations of the project and since it is considered that newer research in this field is more pertinent when assessing the behaviour of today's generation. However, if older research is frequently cited, these articles will be included in a later stage of the process when references are tracked down.
- *Research design:* The reviewed article should first and foremost be original research, but highly relevant reviews should be read and in that case sources can be tracked down to avoid missing out on important studies.

The practical screening was carried out by reading the headline of the articles and in cases of doubt reading the abstract. After conducting this screening the hit was shortened down to 15 articles. The massive cut-down from 228 to 15 articles is considered as adequate in this case with regard to the project frame and time perspective of the project. If some important articles are missed during this screening they will most likely be tracked down in the source tracking process which will be carried out during the reading and analyse of the relevant articles.

It was seen that 4 of the 15 articles from our own literature search overlapped with the literature received from our supervisor. In total we now have 24 high priority articles to read and analyse. In addition we have received 20 articles and documents from our supervisor which he assess as literature of a lower quality or less relevant to the research topic, this literature can therefore be roughly read to get some inspiration for further research.

A.3.1.5 METHODOLOGICAL QUALITY SCREENING

The methodological quality screening consists of setting standards for high quality studies. This refers to how well a study has been designed and implemented to achieve its objectives. Some sub questions have to be asked in order to analyse the literature in view of reliability, validity and practical relevance:

- Is this study's research designed internally and externally valid?
 - One of the most important questions to ask when reviewing the literature is if the study's design has internal validity, which means that it is free from nonrandom error or bias. The study design has to be internally valid in order to be externally valid.
- Are the data sources used in the study reliable and valid?
 - A reliable data collection method is one that is relatively free from measurements errors.
 - The validity of a data collection method refers to its accuracy.
- What methods were used to collect data?
- Are the analytic methods appropriate given the characteristics and quality of the study's data?
- Are the results meaningful in practical and statistical terms?

A.3.2 DATA PROCESSING

In order to organize the research literature, the articles will be printed out and stored in cabinets. This will be carried out since the reviewers think it is easier to read the article and make marks and notes when it is printed on paper. In addition a digital database will be established with all the research literature and a reference list will be created containing titles, authors, publication year and comment concerning the study.

For each article or document some sub questions have to be answered to systemize the literature and make the reviewing efficiently. The sub questions which need to be answered are:

- Source material; scientific article, newspaper, professional etc.
- Name of source
- Publication year
- Publication type; original research, review, comment etc.
- Objective of the literature
- Method
- Result
- Does this literature have relevance for us?
- Does the study have any shortcomings?
- How can we take advantage of this literature?

When these sub questions are answered for all the literature it will be easier to compare the sources and establish potential holes in this specific research field. The intention of this system is to make the literature review as effective and systematic as feasible.

A.4 RESULTS

Occupants consume energy in residential buildings to support the living standard and to achieve required comfort. The interest in the subject is growing since the occupants' behaviour relative influence on the residential energy consumption have increased due to the better insulated and tighter houses and higher performance of building services. At the present time literature can provide a high quantity of information concerning occupant behaviour in residential buildings.

In the following a literature review is conducted with the purpose of answering the research questions stated in section A.3.1.1. It is impossible to cover all the literature regarding the issue and due to the restricted time perspective of the present project only a selected set of literature is presented.

The reviewed literature may roughly be divided into technical, sociological and integrated studies. The technical studies focus on how to predict the energy consumption for residential buildings with acceptable accuracy. The sociological studies focus on which sociological parameters leads to different energy behaviour whereas the integrated studies try to combine the technical and sociological aspects.

A.4.1 TECHNICAL STUDIES

Andersen (Andersen, 2009) has conducted a Ph.D. thesis on the topic occupant behaviour with regard to control of the indoor environment in Danish dwellings. In order to investigate the extent to which occupant behaviour influence the building energy consumption he made a simulation case containing one room with one occupant. The occupant could adjust the environment by controlling heating, window opening, table fan, and blinds, and adjust to the environment by regulating clothing insulation and metabolic rate. The simulations were conducted with the control criteria of satisfying predefined PMV values in accordance with CR 1752 (1998). The results showed that occupant behaviour affected the energy consumption by up to 330 %. Behavioural patterns and control criteria influenced the energy consumption of the room by up to 324 % and 117 % respectively. It was seen that the heating was the most influencing parameter.

A.4.1.1 TECHNICAL MODELS

The technical research investigated below has a focus towards energy modelling which take occupant behaviour into account. The researchers collect data, conduct case studies or larger household surveys with the purpose of establish a model to quantify energy consumption as a function of input parameters.

Swan and Ugursal (2009) have recently conducted a good literature review of the various modelling techniques used for modelling residential sector energy consumption. They identified two distinct approaches which they termed "top-down" and "bottom-up" models. The terminology was made with reference to the hierarchal position of input data as compared to the residential sector as a whole. Top-down models treats the residential sector as a whole and does not distinguish energy consumption for different end-use. As the researchers emphasize, this is one of the shortcomings of these models since it eliminates the capability of identifying improvement areas for energy reduction. Top-down models are primarily used to determine supply requirements. The bottom-up contains models which use input data from a hierarchal level less than that of the sector as a whole. The bottom-up models may be used to predict

energy consumption of individual dwellings or groups of houses and then these results can be extrapolated to be representative of the regional or national building stock. Within the bottom-up models it is distinguished between statistical techniques and engineering methods. Models based on statistical techniques can utilize macroeconomic, energy price and income and other regional or national indicators. One of the benefits with this approach is that it includes behavioural aspects, on the negative side it relies on historical consumption information and large survey samples are needed to represent the variety of the population. The engineering method models rely on information of the dwelling characteristics and assumed occupant behaviour and end-use. The assumption of the latter parameters is assessed as a drawback by the researchers since the effect of occupant behaviour can significantly impact the energy consumption and these inputs should not be made just out of assumption. One benefit of the engineering method models is the capability to determine impact new technologies without historical data. Studies categorized as bottom-up research is reviewed in the following.

TECHNICAL MODELS ESTABLISHED WITH USE OF HISTORICAL DATA

Mihalakakou et al. (2002) examined the ability of neural network systems (NNS) to estimate hourly values of energy consumption of a residential building using measurements of meteorological parameters as inputs. A neural network approach is a data-driven approach that simulates the structure and the function of biological neurons. The base of the study was a building located in Athens, Greece. An artificial NNS based on back-propagation learning procedure was designed for estimating the buildings energy consumption for heating and cooling. Hourly measured values of air temperature, solar radiation and energy consumption was provided for a period of six years where five years of data was used for training the NNS and one year was used for testing the model. The study showed that the predicted and measured data was in a good agreement with resulting correlation coefficients equal 0.98 and 0.96 for the month of July and January respectively. According to the reviewers one of the drawbacks of NNS is its dependency of historical data.

Zhun et al. (2010) developed a model for predicting building energy demand based on the decision tree method. The decision tree is able to show how the value of a target variable may be predicted by using predictor variables. The generation of the model was split into two steps; learning process and classification. In the learning process data from 67 dwellings in Japan was utilized to train (55 data sets) and test (12 data sets) the model. The data contained monthly average outdoor temperature, energy end-use consumption, indoor environment parameters, household characteristics and other information such as occupant behaviour and energy saving measures. The data sets were divided into categories since the decision tree method is more appropriate for prediction of categorical variables. Due to the small database a two grade descending scale was considered appropriate, low energy use intensity and high energy use intensity (EUI). Ten parameters from the database were used as input parameters containing climate conditions, building characteristics, household characteristics and household appliance energy source. It was seen that 93 % of the training data were correctly classified. High EUI was more prone to be misclassified, probably due to the fact that the database contained more of low EUI than high EUI which made the decision tree more sensitive to this class. For the twelve test data records it was seen that 92 % was classified correctly. One huge advantage of the model is that it is simple in use. In addition useful information can be extracted from the model to help understanding energy consumption and for instance optimize a building design. The study indicates that the outdoor temperature is the most important determinant of energy demand

among the parameters investigated since the root node of the decision tree contains the variable outdoor temperature. On the negative side, the model has similar drawback as seen for the neural network model (G. Mihalakakou, 2002) with reliance on historical data.

TECHNICAL MODELS WITH PROBABILITY ESTIMATIONS

Brohus et al. (2010) investigated the influence of occupants' behaviour on the energy consumption of domestic buildings in Denmark. The base of the study was eight similar semi-detached dwellings located in the western part of Denmark. The research was carried out by theoretical and empirical studies; calculated energy consumption by the thermal building simulation program BSim was compared with measured energy consumption. Uncertainty in the theoretical calculations was determined by stochastic modelling. Probabilistic distributions of 13 input parameters were determined using a combination of measurements, questionnaires of the occupants, literature, theoretical considerations and educated guesses. Screening sensitivity analysis based on 140 sampling was carried out with the method of elementary effect. The five most sensitive parameters from the screening sensitivity analysis were investigated further with quantitative sensitivity analysis based on regression analysis. Parameters correlated to occupant behaviour were found to be most sensitive, i.e. that the output uncertainty was apportioned most on these input parameters. Set-point of space heating and occupant heat load was ranked as the two most sensitive parameters. Monte Carlo analysis was used to establish the cumulative distribution function for yearly energy consumption and to obtain detail information of the energy consumption distribution.

The research found that there was relatively good agreement between measured and simulated energy consumption. Yet, large deviations may occur since the simulation results only can be determined with a certain probability. The authors give a clear description of the method applied. According to the reviewers' opinion, this research create a foundation to realistic future energy modelling since humans behave in different ways which only can be predicted with a certain probability. However, there is a weak point in the description of establishing distributions for input parameters; the researcher does not inform where use of educated guesses occur, which is a methodology that may be related to bias. In addition, as Brohus et al. emphasize, further research should be carried out to evaluate correlations between input parameters which is ignored in this study.

Another study by Brohus et al. (2009) presents a similar though more comprehensive investigation than the above mentioned study. Input distributions of 57 parameters were investigated with both screening and quantitative sensitivity analysis. It was found that the three most sensitive parameters for energy consumption were set point for space heating, natural ventilation in the winter and hot water consumption, which are all strongly related to occupant behaviour. These three parameters were responsible for approximately 70 % of the variation of energy consumption. In addition the researchers found that 10 stochastic parameters and 500-1000 realisations gave satisfying results compared to the reference case with 57 stochastic parameters and 5000 realisations. The discrepancy of sensitive parameters seen between the two studies by Brohus et al., (Brohus, et al., 2010) and (Brohus, et al., 2009), may be explained by investigation of different input parameters, study (Brohus, et al., 2010) did not consider ventilation in the winter and hot water consumption.

In (Brohus, et al., 2009), Brohus et al. presents an additional approach to consider the uncertainty and the spread of energy consumption calculations in practise; a safety factor

approach. The aim of the safety factor was to develop a simple and robust method which indirectly consider the spread in energy consumption as well as ensure reasonably high probability of not exceeding the energy requirements of the building code. The authors explain the introduction of a partial safety factor for energy calculations by drawing parallels to structural building design. In building structure design partial safety factors are applied to ensure low probability of the construction to break down. In practise this means that the safety factors are multiplied into the calculations to decrease the strength of the construction and increase the load. The researchers suggest that the same procedure should be carried out in the field of energy calculations where the allowed energy consumption ought to be reduced according to spread and probability of exceeding predefined limits. The safety factor approach assumes normally distributed energy consumption, which was verified in the study to be a good description of the energy consumption. The researchers emphasise that the safety factor approach is a pilot study and that more research is needed. The reviewers think the safety factor approach may be a promising method in the future which may be especially applicable as a simple method for consulting engineers to indirectly take occupant behaviour into account.

Andersen (2009) assess in his Ph.d. that the definition of some standard behaviour which can be implemented in simulation programs would improve the validity of the simulation results. Such standard behaviour need to be based on real occupant behaviour. The main parameters investigated in his study was window opening/closing and heating on/off in addition to some focus on the use of solar shading and use of artificial lighting. Andersen et al. (2009) conducted a survey of occupant behaviour and control of indoor environment by sending out a questionnaire to a sample of Danish dwellings in the late summer 2006 and the winter of 2007. The sample was selected in the view of being representative of the Danish housing stock. 933 and 636 respondents completed the questionnaire for the late summer and winter survey respectively. Metrological data was obtained from 25 measuring stations in Denmark. The survey showed that both the window opening/closing and the use of heating systems were strongly correlated to the outdoor temperature which is in agreement with the findings of Zhun et al. (2010) who showed that outdoor temperature was the most important determinant of energy consumption. In addition Andersen et al. (2009) found that the presence of a wood burning stove had an extensive influence on use of the heating system. The perception of indoor air quality and illumination also affected the window opening/closing and use of the heating system. The use of lighting was strongly correlated to the solar radiation, perceived illumination and outdoor temperature. The average age of the inhabitants also influenced the use of artificial lighting, which is in accordance with the findings of Gram-Hanssen (2005a). Gram-Hanssen investigated how different parameters in Danish residential influence their electricity consumption. The survey of Gram-Hanssen is discussed further later in this report.

Andersen et al. (2009) suggest that the results from the survey may be transformed into probability distributions of different behaviour taking place, which can be utilized in building simulation programs. In case of deterministic simulation programs the result may be applicable by choosing a cut-off point in the probabilistic model and for instance define that the window is open when the probability for open window exceeds 60 % and closes when the probability is below 40 %. The reviewers agree with Andersen that some standard behaviour should be defined based on real occupant behaviour. The research by Andersen et al. aim at the same objective as the research conducted by Brohus et al. (Brohus, et al., 2009), (Brohus, et al., 2010) and as mentioned above this is considered as a realistic modelling approach for the future from

the reviewers point of view. The suggestion of a cut-of point may in addition increase the penetration of the approach since most simulation programs are based on a deterministic approach.

A.4.2 SOCIOLOGICAL STUDIES

Several sociologists have studied occupant behaviour in residential dwellings and tried to expound the reason for different energy behaviour and different energy consumption. In the following the influence of sociological parameters, behavioural patterns, cultural variables, energy waste and energy saving is considered.

A.4.2.1 INFLUENCE OF SOCIOLOGICAL PARAMETERS

Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) established a model of energy consumption in residential buildings with the purpose of collect and structure all the determinants of residential energy consumption in order to provide information useful for energy conservation campaigns. From the model it is seen that climate, season, weather, characteristics of home and appliances, and energy related behaviour have a direct influence on the energy use, while several sociological variables have an indirect influence on the energy use, e.g. socio-demographic variables, life-style, social-cultural environment, energy price and information concerning energy use. When looking into the sociological parameters, household income was assessed as one of the most important factors for energy use. The researchers state that family size and composition, presence or absence from home has a direct effect on energy consumption. Combination of age and household composition was expressed as the family life-cycle and was used to explain how energy use tends to fluctuate during life; young households without children and both partners working outside home have low energy consumption. Households with children have higher energy consumption. The energy consumption decrease when children leave home but tend to increase with age since older persons need a higher temperature. Other variables which is assessed to contribute to energy use are e.g. life-style, energy price, energy related attitude, social references and feedback to influence the energy consumption of a household. Raaij and Verhallen give a good overview of determinants of residential energy use. One shortcoming is that they do not refer to any empirical survey to base the model on. The article contains however a literature review which underpins some parts of the model.

The shortcoming of the study by Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) was taken up by Gram-Hanssen (Gram-Hanssen, 2005a) who conducted a comprehensive survey in 2005 based on empirical data. Gram-Hanssen investigated several parameters influence on electricity consumption in Danish dwellings; number of occupants, income, building size, age, gender, education and nationality. The purpose of the investigation was to find correlations between the sociological parameters and electrical energy consumption which may be useful knowledge for energy consultants. In order to ensure detailed and valid knowledge the investigated sample contained information about above 50 000 households.

It was seen that both the average electricity consumption and the spread of electricity consumption was highly correlated to number of occupants in the household. Yet, the researcher underlines the energy economic aspects of living together due to the high energy consumption for appliances like refrigerator and freezers, which is supported by measurements by Tommerup et al. (Tommerup, et al., 2007) who have revealed that electricity consumption for white goods account for 25-36 % of the total electricity consumption in typical single family

houses in Denmark depending on the efficiency of the appliances. The second and third parameter with the most influence in (Gram-Hanssen, 2005a) on electricity consumption was seen to be the household income and living area respectively for single-family houses and vice versa for apartments.

The survey showed that the electricity consumption per person is increasing from the beginning of the age of 20 to the mid-50s and after that it slightly decreases until the age of 80. The age of the oldest household member may therefore be used as an indicator of where in the life-cycle the household might be. The decrease of energy consumption from the mid-50s to the age of 80 is in disagreement with the findings of Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) who stated that the energy consumption tend to increase with age since older persons need a higher temperature. However, this divergence may be explained by the fact that Gram-Hanssen did not consider dwellings with electrical heating. Households with teenagers was found to have a higher electricity demand since teenagers consume 30-40 % more electricity than an average adult person. It was seen that education, nationality and gender did not have any significant influence on the electricity consumption. However, higher education often leads to higher income which was range to be the second or third most important parameter for electricity consumption. The researcher also mentioned that the portion of non-Danish nationalities was small.

The energy consumption data was provided by a power plant, information of the type of house was provided by a Danish official database (BBR-registret) while the information concerning number of occupants and socio economic data was provided by Statistics Denmark. As the author point out, errors may occur among the data, but this kind of data is on a general basis more valid than questionnaires (Petersen, et al., 2005). The method applied for data analysis is described in detail in (Petersen, et al., 2005). Generally statistically OLS-regression was used, which consider the influence of one variable at a time while all other variables are kept fixed. This method ignore the correlation between variables, which may be the explanation for why education is not considered as important contributor to energy use even though household income is assessed as the second or third most important variable. This is the survey with the largest sample among the literature investigated. As for the results they are assessed as valid for composition of the population and lifestyle similar to Danish inhabitants. In addition to provide knowledge, the reviewers assess that the results may be utilized to create user-profiles and probability distributions for the purpose of energy simulation.

Yohanis et al. (Yohanis, et al., 2008) investigated how occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use in the UK. 27 homes were investigated which could represent the population in Northern Ireland. Electricity loads were measured during half-hour periods. The homes were divided into four categories; detach house, semi-detach house, terraced and bungalows. A clear correlation was found between average annual electricity consumption and floor area. Large variations were seen on monthly electricity consumption. Some residents consumed more than 800 kWh/ month while other residents consumed less than 200 kWh/ month. However, the study indicates that the average electricity consumption on a per m² basis is the same irrespective of the type of house. It was seen that the electricity consumption per person decrease as the number of occupants increase which corresponds with the results from Gram-Hanssen (Gram-Hanssen, 2005a). In general it was seen that income had a great impact on the electricity consumption. The households with large income used 2.5 and 1.5 times as much electricity on average in the evening and day respectively compared with low income

households. The large deviation can generally be explained by the fact that the larger income households usually have larger dwellings and a higher number of occupants than low income households.

A.4.2.2 BEHAVIOURAL PATTERNS

In the beginning of the 1980's Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983b) investigated the energy-related behavioural patterns of dwellings in the Netherlands based on self-reported behaviours of 145 households. The survey was carried out with the object of providing useful information for energy conservation campaigns and energy policy decisions. The aim was to determine if there exist patterns of the energy behaviour with regard to home temperature and ventilation, if different behaviour patterns lead to significant differences in the energy use and if households with different behavioural energy patterns differ in their socio-economic characteristics and energy-related attitudes.

Neither cluster algorithms nor pattern analysis lead to natural groupings. The respondents were instead grouped in predefined behavioural patterns based on four variables; home temperature while home, home temperature during absence, airing of rooms, use of hall door. Five distinct behavioural patterns of energy use was obtained; conservers, spenders, cool, warm and average. Characteristics of the conservers was low temperature and low ventilation rate, spenders was characterized by high temperature and high ventilation rate, the cool was characterized by average to high ventilation rate and low temperature, the warm had average to high temperature and low ventilation rate while the average had average scores on both ventilation rate and temperature. Difference in average energy use of 31 % was observed between conservers and spenders.

No significant differences were seen between the clusters for income and occupational level of the husband. Both household income and presence have been seen to be important variables by Gram-Hanssen (Gram-Hanssen, 2005a), in another study by Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) and by Guerra-Santin and Itard (Guerra-Santin, et al., 2010). The reason why these variables were not seen as significant with regard to energy consumption in this study may be because of the small sample of 145 households where income of the husbands may be similar. As for the presence, this study only consider the presence of the husband and it is assumed by the reviewers that if presence for the whole household was taken into account this variable may have been more crucial. The age of the warm residents was higher than the age of the residents of the other clusters, which is in accordance with the earlier mentioned study by Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) and Guerra-Santin and Itard (Guerra-Santin, et al., 2010). The family size of the conservers was seen to be smaller than the family size of the other groups, which may lead to the conclusion that number of occupants is significant for energy consumption. Attitudinal differences were seen between the clusters and comfort was assessed as the most important attitudinal element. In general it was found that high levels of energy use was characteristic of some stages in the family life cycle, the presence of a baby or young children required for instance higher temperatures which leads to higher energy consumption. Low levels of energy use were characteristic for families with teenagers and a working wife; this is in disagreement with the findings of Gram-Hanssen (Gram-Hanssen, 2005a) who mentioned that teenagers consume more energy than an average adult. It should in this case be noted that the investigation of Raaij and Verhallen was carried out in the beginning of the 1980's when

teenagers usually did not have their own television, computer, stereo etc., while the investigation of Gram-Hanssen was carried out in 2005 when these were common belongings for teenagers.

Raaij and Verhallen describe well how the clustering was made and how the results emerged. However, it is important to remember that the survey only is accomplished by use of questionnaires which may reduce the reliability of the results since the responders may answer in a more energy conscious way than they in reality behave due to the code of practice in the society of having an environmental conscious.

Guerra-Satin et al. (Guerra-Santin, et al., 2009) investigated the effect of building characteristics, household characteristics and occupant behaviour on energy consumption for space and water heating in the Netherlands. Data containing a sample of 15 000 households across the Netherlands was utilised in the study. Multiple regression analysis was used in order to determine the influence of individual parameters on the energy consumption. Detached dwellings and flats was seen to have highest and lowest energy consumption respectively. Useful living area was found to be the most important predictor for energy use for space heating. Income was seen to be positively correlated to energy use. The study showed that temperature settings are important in determining energy use and that the use of thermostats for temperature control was shown to increase the energy consumption for space heating. Guerra-Satin et al. suggest that the effect of thermostats and temperature preferences should be further studied in detail. The results showed that 42 % of the variation in energy consumption for heating can be attributed to building characteristics and that 4,2 % can be accounted for by occupant characteristic and behaviour. However, some results indicated that some occupant behaviour is determined by the type of dwelling and HVAC systems and the effect of household characteristics such as income or number of occupants might therefore be larger than expected since these determine type of dwelling.

A later study by Guerra-Satin and Itard (Guerra-Santin, et al., 2010) investigated the importance of occupant behaviour with regard to energy consumption for dwellings build after 1995 in the Netherlands. A survey was conducted by sending out questionnaires to 7000 households. However, only 5 % answered due to the length and detail of the questionnaire. The low response rates lead to just 313 usable samples. Use of heating and ventilation, showering and bathing frequency and energy consumption was treated in the questionnaire. In addition the survey took household characteristic into account including household income, education level, household size, presence of elderly or children and the type of previous house. The survey was conducted in the autumn and the occupant should account for behaviour during summer and winter periods without extreme weather.

Small variance was seen in highest chosen temperature and 74.4 % preferred highest setting on 19-20°C. In all cases a programmable thermostat was associated with more hours of open radiators. Most occupants notified that they kept the window in the living room open for a few hours a day during the winter and it was seen that it was common to always keep the windows open in bedrooms, attic and bathrooms. More than 50 % of the households kept the grills open in the living room and bedroom at all times.

Household size and income did not seem to have any significant influence on the behaviour defined for the use of heating and ventilation systems. However, these two parameters were seen to have an influence on the energy consumption. The presence of elderly persons was

related to more hours using the heating system and fewer hours of opening windows per day. Presence of children was related to keeping windows closed in the living room, but did not appear to have influence on use of the heating system. Type of previous house was associated with the hours the radiators were on. In all cases, households that had previously lived in a single family dwelling were more likely to keep the radiators open for a longer time.

Guarra-Satin and Itard compared their survey with a database of the Dutch Ministry of Housing, which was assumed to be representative for the whole housing stock of the Netherlands. Some differences were seen between the two datasets, most likely due to different method of data collection. However, the principal line in the results was similar. The results from both surveys indicate the fact that use of programmable thermostats is related to longer hours on the use of heating system and more rooms being heated compared to use of manual thermostats or manual radiator valves and this was seen to have a significant effect on the energy use. Low correlations were found between energy consumption and ventilation systems which were explained by the fact that households kept the ventilation off or at the lowest level. Window and grille ventilation was seen to have stronger influence on energy consumption.

The reviewers think the researchers utilise an interesting methodology by comparing a small sample survey to a large sample survey. This gives the opportunity to assess if the findings have a local or more global characterisation. However, the researchers should have design their survey in a more comparative way with regard to the database of the Dutch Ministry of Housing to make the comparison easier.

A.4.2.3 COMFORTABLY LIVING

As mentioned earlier occupants consume energy in residential buildings to support the living standard and to achieve required comfort. Comfort is often associated with e.g. comfortably indoor temperature. Tommerup et al. (Tommerup, et al., 2007) found that average measured indoor temperature in three Danish households during autumn, winter and spring was 22-23°C, which is higher than the typical design temperature of 20°C. According to calculations the space heating consumption in these dwellings could be reduced approximately 10 % per degree reduced indoor temperature. However, it was found that the high temperature level was not caused by abnormal use of the houses or HVAC systems, but rather that the comfort level was higher than normally assumed.

Charlotta Isaksson and Fredrik Karlsson (Isaksson, et al., 2006) conducted an interdisciplinary investigation of the thermal environment and the space heating of 20 low-energy terraced houses in Sweden. One of their findings was that most of the households mentioned in interviews that they preferred an indoor temperature of about 20-21°C while temperature measurements reveal that the mean indoor temperature for all houses exceeded 23°C, this results indicate that the common inhabitant do not have real perception of temperature ranges, but that they keep an indoor temperature which they think is comfortable.

Branco et al. (Branco, et al., 2004) studied predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on data from a 3-year monitoring period. It was initially predicted that the heating energy consumption would be 160 MJ/m² per year of gas, but measurements showed a consumption of 246 MJ/m² per year of gas, e.g. 53 % higher heating energy consumption than predicted. A large portion of the deviation, 40 MJ/m² per year, was explained by the temperature setting. The measurement revealed an average temperature

during the heating season of 22.5°C while the design temperature of the energy prediction was 20°C. This study underlines the importance of using realistic design temperatures in energy calculations in order to obtain higher accuracy in energy predictions.

A.4.2.4 CULTURAL VARIABLES

Researchers in the fields of e.g. psychology, economy, sociology, architect and engineering are all interested in understanding occupant behaviour and driving forces behind these actions. However, according to Lutzenhiser (L. Lutzenhiser, 1992) there are some key differences between these research fields when modelling energy behaviour. He compiles the above mentioned fields in a complex chart-map and structure the parameters considered in the different fields. In the chart-map it is seen that engineers consider operations research, material sciences, technology and society in addition to human factors and ergonomics, while psychologists consider the latter parameters in addition to consumer psychology and social psychology. He suggests that an interdisciplinary cultural model of household energy consumption ought to emerge.

A detailed description is given of how the model may be created and five subcultures is suggested; (i) Retired working class couples (ii) Middle-aged couples (iii) Low income rural families (iv) Suburban executive families (v) Young urban families. However, Lutzenhiser conclude that more research is needed concerning various consumption subcultures in order to execute the model. One of the shortcomings of the research is that it does not consider any form of empirical investigation concerning energy consumption for the proposed cultural groups and their energy consumption and way of living may therefore only be provided out of educated guesses. In addition, the way of living only refer to typical US lifestyle which restrict the penetration of the model, but the model description may be considered as an inspiration to carry out cultural models. The researcher claim that the model stands out from other models for its cultural point of view, but according to the reviewers the main parameters considered have similarities that is recognizable from sociological models; income, family size, age, children, big spenders/low spenders. Yet, the reviewers agree that information concerning these sociological or cultural variables is essential in achieving better predictions of the actual energy consumption of households.

The importance of correct cultural variables was assert seen in the research of Al-Mumin et al. (Al-Mumim, et al., 2003) who investigated how occupants' behaviour and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences. They conducted a survey on 30 Kuwaiti households of university students and used their results as input in a thermal simulation program to replace its default data which was primarily based on the Western lifestyle and not developing countries like Kuwait. The survey investigated e.g. activity patterns, schedule profiles of light and electrical appliance and thermostat settings on the air condition (A/C). The new input data resulted in an increase of the annual electricity consumption of 21 %. As the authors point out the data collection of students households will likely lead to a sample that may be biased towards educated families with householders in their 40s and 50s and the results cannot represent the Kuwaiti population as a whole. Their research concluded that regional data representative for the specific culture should be used for energy simulation purpose. One shortcoming of the research is that the authors do not emphasise the cultural link for the variables investigated. From the reviewers opinion the divergence of 21 % may be the result of input parameters based on real occupant behaviour and input parameters based on

standardised values. This underpins the importance of conduct energy calculations of residential households on real occupant behaviour.

A.4.2.5 ENERGY WASTE

Al-Mumin et al. (Al-Mumim, et al., 2003) found additionally that energy waste was a common problem for the Kuwaiti dwellings investigated. They saw that occupants tended to leave lights on in unoccupied rooms and cool down rooms more than necessary by use of A/C. By conducting a simulation case with light schedules based on occupant pattern and increased set point for A/C to 24°C instead of 22°C it was found that electricity consumption would decrease with 39 %. Energy waste by e.g. leaving the lights on in unoccupied rooms is presumed by the reviewers to be a disperse problem not only valid for the Kuwaiti residents.

Masos and Grobler (Masos, et al., 2009) have recently investigated the quantities of energy wasted during non-occupied hours in six commercial buildings located in Botswana and South Africa. Sub-hourly electricity consumption was logged for heating, ventilation, air-conditioning, office equipment and lighting. On average it was seen that 56 % of the total electricity consumption for the buildings was used during non-working hours which was explained by the fact that building service systems, equipment and light were left running during non-occupied hours. Average power recorded outside working hours was 18 W/m², while the total power required for equipment that needs to run all day was seen to be 5 W/m². The researchers point out that the habits developed in office buildings can affect practice in other sectors as for instance in residential buildings. As for building simulation, energy consumption profiles with implemented energy waste may contribute to the improvement of simulation accuracy. As for policy making and energy conservation campaigns the research defines the large energy potential which lies in behavioural change. Information of energy waste may be used to change behaviour directly without changing attitude first.

A.4.2.6 ENERGY SAVING

Barr et al. (Barr, et al., 2005) examined the conceptual divide between energy saving behaviour in residents related to purchase behaviour and habitual conservation behaviour. A detailed questionnaire was hand-delivered to 1600 randomly picked households. The response was 1265 useable questionnaires with a demographically good represented population. By using factor analysis on behavioural data they examined energy conservation activities that could be grouped together. Results showed that energy saving behaviour could be grouped into consumption oriented behaviour which considered actions outside the home and habitual activity which considered behaviour within the household. Frequency information concerning the behaviours undertaken in the two factors indicated on an overall basis that green consumption practices were less undertaken than habitual activities. However, some variations were seen between different habitual actions; reducing showers was for instance an unpopular action, while turning off lights in unused room was usually undertaken. By use of cluster analysis the researchers identified energy saver levels with demographic profiles; committed environmentalists, mainstream environmentalists, occasional environmentalists and non-environmentalists. It was seen that the mean age of the committed environmentalists was highest, while the mean age of the non-environmentalists was lowest. There were significantly more males in the non-environmentalists cluster than in the other clusters. Non-environmentalists were most likely to be on low income and in addition they were least likely to own their own home. Ownership seems to engender a sense of belonging and personal control that motivates to save energy.

Barr et al. stated that energy saving should be placed within the context of environmental actions and suggested that policy makers should encourage sustainable consumption for all the clusters. In addition they state that policy makers should have a great focus on young people on low income, who tend to rent rather than own since these were seen to be least engaged to energy saving. Like many other sociological surveys, this research relay merely on self-reported data which is assessed to reduce the reliability of the survey.

Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) indicated in their study that there is a lack of knowledge on the energy use of certain behaviours. This may be the reason for why people do not act in a more energy conserving way. They defined five factors which may be utilised in energy conservation campaigns to influence the energy consumption for households; general information, specific information and behavioural advice, subsidies and energy prices, building and design requirements, and feedback information. General information was assessed as the least effective factor while feedback was assessed as one of the most effective factors.

FEEDBACK

Feedback is reckoned as a way to encourage energy conservation behaviour. Feedback is information about energy use in a particular period, for a particular activity or momentary energy use. Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983a) contended that feedback is effective to teach consumers which consequences their behaviours have on the energy consumption. They ascribed feedback as a promising method for behavioural change and meant that the shorter the feedback period, the more effective the feedback would be. However, research has shown that there is not just the frequency of feedback that influence occupants, but also how and where the information is provided.

Fisher (Fisher, 2008) conducted a comprehensive research literature review on the subject of feedback to investigate which kind of feedback is most successful. One unanimous finding was that households in all countries appreciate detailed feedback which is closely linked to their consumption actions and end-use. In addition the research stresses the importance of clear and understandable information. Successful feedback has to capture the attention of the consumer and the literature indicates that immediate feedback can be very helpful in achieving energy conservation. The research finds that those who discuss actually savings states that the savings range from 1.1 % to above 20 % and that usual savings is found to be between 5 %- 12 %.

Kanstrup and Christiansen (2009) presented a feedback method termed *ecological feedback* which they define as feedback with the right information, at the right time and at the right place. They conducted a survey where the interaction with the participants played a major part. As a consequence of the fact that occupants need to be in control at home, it was seen that the design and location of the feedback system had to be carried out in cooperation with the occupiers in order to ensure that the feedback motivating electricity conservation.

A.4.3 INTEGRATED STUDIES

Guy Hitchcock (Hitchcock, 1993) discussed the importance of regard both social science and engineering research to meet the target of estimating correct actual energy consumption in the domestic sector. He presents a simple system-based framework containing three main systems which have an impact on the energy consumption; the physical system, the human system and the environment. According to Hitchcock's definitions the physical system contains the physical parameters building size, materials, heating system and stock appliances in addition to the

physical variables internal temperatures, ventilation rates and amount of hot water. The human system contains of the biophysical variables; metabolic rate, respiration and clothing, the demographic variables; household income, social status and number of occupants, and the psychological variables; beliefs, attitudes, knowledge and personalities. The environmental system consists of the outdoor weather conditions. All system components interact to determine the energy use of a household. The research concludes that technical and sociological models have to be applied together in order to obtain a complete understanding of energy consumption. Hitchcock gives a good overview of variables influencing the energy consumption of dwellings. One of the benefits with the research is the presentation of the interface for the field of engineering and the field of social science which may contribute to divide tasks between the professions in order to take the advantage of both fields.

A.5 DISCUSSION

The aim of the present study was to obtain an overview of what have been uncovered in the field of occupants' behaviour influence on energy consumption in residential buildings. The questions to answer were *"How does occupants' behaviour influence the energy consumption of residential buildings?"*, *"Which consumer actions have significant influence on the energy consumption?"*, *"Which factors cause variance in occupant behaviour?"*, *"Are there differences in how sociologists and technicians treat the issue of occupants' behaviour influence on energy consumption of residential buildings?"*, *"How far have the research emerge concerning integrating occupant behaviour in theoretical energy calculations in order to predict actual energy consumptions for residential buildings with low degree of uncertainty?"*.

Chapter A.4 gave an outline of selected research literature conducted during the last decades. In the following results found in the literature will be discussed with a view to the above mentioned questions. In addition the reviewers will try to identify gap in the research with the purpose of recommend future research focus and a research proposal for our final thesis.

All the reviewed literature indicate that occupants behaviour in residential buildings have a major influence on the energy consumption. Results extracted from Andersen's Ph.d. thesis (Andersen, 2009) showed that the behavioural patterns of an occupant affected the energy consumption of a single room by up to 324 %. Occupants consume energy in their home in order to obtain required comfort and to support a certain level of living standard. In addition it was indicated that occupant behaviour may lead to an enormous energy waste due to the fact that they leave light and equipment on during absence. A survey conducted by Masos and Grobler (Masos, et al., 2009) revealed that on average 56 % of the total energy consumption in office building was consumed during non-working hours due to this kind of energy waste. Results from investigation by Al-Mumin et al. (Al-Mumim, et al., 2003) showed that similar energy waste is valid for residential dwellings as well. Poor knowledge concerning energy consumption is one of the reasons for so called energy waste. Providing consumers with information in regard to their consumer actions may contribute to energy savings. Barr et al. (Barr, et al., 2005) found that suggestion of for instance reducing showers was an unpopular action, while turning off lights in unused room usually was undertaken. Fisher (Fisher, 2008) found that feedback on energy consumption may lead to savings above 20 %, but with usual savings between 5-12 %.

Andersen (Andersen, 2009), Andersen et al. (Andersen, et al., 2009), Brohus et al. (Brohus, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010), Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983b) and Guerra- Saint and Itard (Guerra-Santin, et al., 2010) all indicate that heating and ventilation behaviour are the most important consumer action with regard to residential energy consumption. Raaij and Verhallen (Raaij, et al., 1983b) found differences in average energy use of 31 % between conservers and spenders who were characterized by low temperature and low ventilation rate and high temperature and high ventilation rate respectively. Results from Brohus et al. (Brohus, et al., 2009) showed that the influence of set point for heating, natural ventilation in winter and hot water consumption were responsible for explaining approximately 70 % of the variation of energy consumption in a residential dwelling.

Research has shown that there are large variations in how occupants behave in their own homes. Humans act in different ways which cannot be explained by simple rules or formulas. However, as literature have exemplified, researchers attempt to address different behaviours to sociological factors. It is seen that numbers of occupants, household income and dwelling size have significant influence on energy consumption of the household (Guerra-Santin, et al., 2010) (Gram-Hanssen, 2005a) (Raaij, et al., 1983a). In addition it has been found that age and stage in the family life-cycle contribute to the energy use since the presence of elderly and children may require higher indoor temperature (Guerra-Santin, et al., 2010) (Raaij, et al., 1983a) (Raaij, et al., 1983b). The importance of cultural variables has been stressed by Lutzenhiser (L. Lutzenhiser, 1992) and Al-Mumin et al. (Al-Mumim, et al., 2003). However, the reviewers assess the variables considered in these two investigations to have great similarities with socialistic variables. Yet, regional differences are important to regard in case of energy predictions and energy modelling.

One of the weak points in several of the sociological studies is their reliance on questionnaires which may reduce the reliability of the study. In addition there is a lack of well documented studies considering large samples which can provide reliable data on which sociological variables that on a general basis is significant for residential energy consumption. For future research the reviewers suggest that surveys with similarities to the survey by Gram-Hanssen (Gram-Hanssen, 2005a) should be conducted. She investigated a large sample and obtained data of energy consumption, building characteristics and household characteristics from power plants and national registers. Such studies should cover a representative sample of households and have a focus of being international comparative to see if the findings have general or local characteristics.

As for the question if there exist differences in how technologists and sociologists treat the issue of occupant behaviour in relation to residential energy consumption, the answer is yes. Technologists consider the variables which directly influence the energy consumption; building characteristics, appliance characteristics, climatic conditions and the action in occupants' behaviour. Sociologists on the other hand are more absorbed about giving explanations for various energy consumptions and consider for the most parameters which indirectly influence the energy consumption. It is also observed that the main part of the sociological investigations is conducted with the purpose of providing information for policy making and energy conservation campaigns. While research conducted in the field of technology is more focused on provide information with the aim of be able to predict energy consumption for residential buildings with high level of accuracy or known amount of uncertainty.

In the treated literature, several researchers try to provide an integrated thinking when considering occupants' behaviour in relation to energy consumption of residential buildings. However, the majority of the studies have displacement either towards technical or sociological fields and conclude that more investigation is needed on the topic. Guy Hitchcock (Hitchcock, 1993) stressed the importance of regard both social science and engineering research to meet the target of estimating correct actual energy consumption in the domestic sector. He presented an interface for the field of engineering and the field of social science which may contribute to divide tasks between the professions in order to take advantage of both fields. The reviewers think interdisciplinary cooperation should have higher priority in future research and Hitchcock's work may be used as a guideline for this collaboration.

Since residential households consume a considerable amount of the total energy, it is vital to be able to predict this part with an acceptable accuracy or at least with a known amount of uncertainty. Researchers in the field of technology have taken up this task. Section A.4.1.1 gave examples of models based on historical data and models with probability estimations. It was seen that both of the investigated models based on historical data, neural network approach (G. Mihalakakou, 2002) and decision tree approach (Yu, et al., 2010), had great success in predicting future residential energy consumption according to test data. However, the reviewers assess that dependence on historical data is a substantial drawback for these models. In the society of today the technology is developing fast and a model based on historical data cannot take this development into account and may therefore only be valid for a restricted period of time. With regard to future modelling the reviewers have considerably more believe in the modelling approach based on probability estimations. It is assessed as a realistic approach to give the energy consumption as a probabilistic distribution, since occupant behaviour never can be determined with a 100 % certainty in advance. The suggestion by Andersen et al. (Andersen, et al., 2009) to use cut-off point in distributions of stochastic variables in order to transform probabilistic occupant behaviour into deterministic simulation programs is assessed as a potential future modelling approach. The safety factor approach suggested by Brohus et al. (Brohus, et al., 2009) is also considered to have potential in the future, especially as a simple interface for consulting engineers when comparing calculated energy consumption to the building regulations.

Further research should focus on defining user profiles and probability distributions for stochastic variables that can help to predict energy consumption with known amount of uncertainty. Data from large representative samples have to be collected to provide reliable data of real occupant behaviour. However, too much data is resource demanding to analyse. Data collection should therefore focus on aspects of sensitive parameters for the total energy consumption. In addition correlations between variables should be investigated in order to assess if it is crucial to assume that the variables are independent.

As a research proposal for our final thesis we would like to develop a user-friendly calculation tool which takes real occupant behaviour into account by use of stochastic modelling. Consulting engineers will be the target group of the tool. The interface of the program will for instance be three predefined groups; spenders, average and conservers. When the consulting engineer choose one of these groups the tool automatically run simulations with stochastic variables fit for the respective group. The calculation tool will be based on predefined sensitive stochastic input parameters and by use of Monte Carlo analysis results will be given as a probability

distribution of the total energy consumption. The idea is that the calculation tool can be combined with the Norwegian energy simulation program SIMIEN or the Danish calculation program Be06.

VEDLEGG B – BEGRENSNINGER

Dette vedlegget beskriver begrensninger av prosjektet både i forhold til å avgrense forskningsområdet samt i forhold til begrensninger som har gjort seg gjeldende underveis.

B.1 GENERELLE

- Det er ikke gjennomført dyptgående studier knyttet til variasjoner uteklima eller kvalitet på bygningskonstruksjoner. Det er kun sett på usikkerhet til brukeratferd.
- Det vil kun bli sett på brukeratferd i boliger i dette prosjektet.
- Stokastisk modellering og sensitivitetsanalyser er et stort felt og det er i dette prosjektet valgt å benytte metoder som er beskrevet som forholdsvis enkle i litteraturen. Valg av metoder er hovedsakelig basert på hvilke metoder som er implementert i SimLab.

B.2 SOFTWARE

- SIMIEN vil sette begrensninger for hvilke parametervariasjoner som kan inkluderes, hvilken enhet inndata skal angis i, hvordan modellen bygges opp og hvilke resultater som kan evalueres.
- Betaversjonen av SIMIEN med import av xml funksjon har ikke innlagte koder for vinduslufting og sesongstyrt ventilasjons- og oppvarmingsanlegg, disse funksjonene som vanligvis eksisterer i SIMIEN kan derfor ikke benyttes i dette prosjektet. For å evaluere termisk inneklima om sommeren har det derfor vært nødvendig å gjennomføre egne simuleringer siden det er antatt at naturlig ventilasjonsmengder er større om sommeren enn vinteren.
- Simlab vil sette begrensninger i forhold til hvilke sannsynlighetsfordelinger som kan benyttes og hvilke metoder som kan benyttes for å danne samples og analysere data.

B.3 MODELL

Modellene som benyttes er utviklet av Sintef Byggforsk og representerer modeller av bygningskategoriene småhus og boligblokk som tilfredsstiller energikravene i TEK10. En evaluering av termisk inneklima for modellene har imidlertid vist at det er store perioder hvor innetemperaturen overstiger 26 °C, dette fører også til at resultatene med implementert brukeratferd kan få noe høye temperaturforhold som fører til en begrensning av realiteten i resultatene og man kan ikke relatere høye temperaturforhold kun til brukeratferd.

B.4 BESTEMMELSE AV PARAMETERVARIASJONER OG BRUKERPROFILER

- Data for kartlegging av brukeratferds innflytelse på parametervariasjoner og eventuelt data for brukerprofiler hentes fra litteraturen. Litteratur av nyere dato vil vektlegges mer enn eldre litteratur pga. sosiologisk og teknologisk utvikling.
- Det vil sannsynligvis ikke være nok datagrunnlag å oppspore fra Norge, så resultater fra internasjonale studier vil være nødvendig å benytte for å bestemme

parametervariasjoner og eventuelt brukerprofiler. Data fra vestlige land og i første rekke vestlige land med kaldt klima vil vektlegges siden det antas at det vil være mest representativt med hensyn på norske forhold.

- Kunnskap om usikkerhet til inndata vil være begrenset i forhold til hva som beskrives i litteraturen inndataene hentes fra.
- Resultater vil begrenses av hvilke inndata som er tilgjengelig.
- Det er valgt å begrense oppgaven fra å implementere mekanisk kjøling og mekanisk balansert ventilasjon, siden det per dags dato er uvanlig å ha mekanisk kjøling i boliger samt at det kun er forholdsvis nye boliger som har installert balansert ventilasjon og datagrunnlaget på dette området derfor er svært begrenset.

B.5 EVALUERING AV RESULTATER

Det er valgt å begrense oss til kun å evaluere termisk inneklima siden erfaringer har vist at de hyppigste inneklimaproblemene er relatert til termisk inneklima samt at brukeratferd kan ha forholdsvis stor innvirkning på termisk inneklima. Atmosfærisk inneklima vil kun for eksempel være avhengig av antall personer i husholdningen, som ansees som forurensningskilde, i tillegg til luftskifte og det ville da vært unødvendig å utføre dyptgående parameterstudier på andre parametere enn disse.

VEDLEGG C - SPØRREUNDERSØKELSE

I dette vedlegget gjennomgås spørreundersøkelsen med tilhørende besvarelser som ble gjennomført i utarbeidelsen av prosjektets problemanalyse.

C.1 UNDERSØKELSEN

I forbindelse med utarbeidelsen av prosjektets problemanalyse var det ønskelig å kartlegge behovet for et energiregneverktøy som inkluderer brukernes atferd blant norske rådgivende ingeniører, samt få innsikt og erfaringer om dagens metode for energiberegninger. Fem spørsmål ble sendt ut med en oppfordring om å svare utfyllende.

Følgene minispørreundersøkelse ble sendt til aktører i bransjen:

- Hvordan gjøres energiberegninger hos dere i dag?
- Har dere noen erfaringer på beregnet vs. faktisk energibruk?
- Tar dere noen høyde for differansen/variasjonen mellom beregnet energibruk og faktisk energibruk relatert til brukeratferd?
- Gjør dere noen vurderinger på sensitive parametere og deres påvirkning på energibruket til bygget?
- Er brukeratferd noen som kan være ønskelig å integrere i energiberegninger i større grad enn det gjøres i dag?

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 14 rådgivende ingeniørfirmaer i Norge, hvorav 10 er medlem av Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF). RIF er en frittstående bransjeforening for kunnskapsbedrifter med virksomhet innenfor rådgivning, planlegging og prosjektledelse i bygg- og anleggsektoren. Firmaene er både tverrfaglig, det vil si at de jobber med mange områder innen bygg- og anlegg, og mer spesifiserte på VVS, inneklima og energi. Firmaene som ble spurt har enten en avdeling eller er et firma som kun jobber med VVS, inneklima og energi. I tillegg til de rådgivende selskapene ble undersøkelsen sendt ut til energiavdelingene hos to store entreprenører som hovedsakelig jobber med energieffektiviseringstiltak av bygg samt en stor forskningsinstans innen bygg og infrastruktur, avdelingen for arkitektur og energi. Tabell C.1-1 på neste side gir oversikt over de ulike selskaper med arbeidsområder og antall ansatte. Undersøkelsen var konfidensiell, det vil si at ingen av firmanavne vil bli nevnt i denne rapporten.

TABELL C.1-1: OVERSIKT OVER FIRMAER MED TILHØRENDE INFORMASJON

Arbeidsområde	Forretningsområde	Tilhørighet	Antall ansatte	Antall ansatte i Norge
Forskning	Bygg og infrastruktur	Norge	2100	2100
Entreprenør	Tverrfaglig	Norge/ Sverige/ Russland	2100	Ikke opplyst
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Internasjonalt	1750	1450
Rådgivende ingeniører	Inneklima og energi	Norden	1400	Ikke opplyst
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Internasjonalt	9000	1100
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Internasjonalt	1100	Ikke opplyst
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Internasjonalt	5200	900
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Internasjonalt	6000	800
Rådgivende ingeniører	Energi og miljø, infrastruktur og industri	Internasjonalt	4000	140
Rådgivende ingeniører	Tverrfaglig	Norge	140	140
Rådgivende ingeniører	VVS, klima, kulde og energi	Norge	70	70
Rådgivende ingeniører	VVS og energi	Norge	22	22
Rådgivende ingeniører	VVS og energi	Norge	18	18
Rådgivende ingeniører	VVS og energi	Norge	15	15
Energirådgivere	Energi	Norge	8	8
Entreprenør	Tverrfaglig	Norge/ Sverige/ Polen/ Kina	2000	ikke opplyst
Rådgivende ingeniører	Energidesign og tekniske systemer	Norge/ Danmark	50	ikke opplyst

C.2 RESULTATER

Av de 17 spurte firmaer var det 10 som innsendte svar, med andre ord en oppslutning lik 60 %. Det var åtte rådgivere, en entreprenør og fra forskningsinstansen. De fleste av deltagende arbeider hovedsakelig opp mot yrkesbygg, men også større boligprosjekter. De store tverrfaglige firmaene arbeider over hele Norge ved siden av sin internasjonale virksomhet. De mindre selskapene som er spurt arbeider alle i østlandsområdet, i og rundt Oslo.

Resultatene fra spørreundersøkelsen fremkommer i Tabell C.2-1 og er kommentert ytterligere under tabellen.

TABELL C.2-1: RESULTATER FRA SPØRREUNDERSØKELSEN

Spørsmål	Antall	Kommentar
Benytter SIMIEN til energiberegninger	10/10	Forskningsinstansen har ingen standardmetode, men opplyser at de gjerne benytter SIMIEN ved enkle energiberegninger.
Har erfaringer på faktisk energibruk er større enn beregnet energibruk	7/10	Seks rådgivere og forskeren
Tar høyde for variasjonen mellom beregnet og faktisk energibruk	0/10	Ikke annet enn å opplyse om at det kan være differenser mellom beregnet og målt.
Gjør vurderinger av sensitive parametere	3/10	I den grad det vurderes gjøres det ved å utføre flere simuleringer med ulike inputdata for å vurdere påvirkningen på den totale energibruken.
Ønsker å integrere brukeratferd i større grad	9/10	

Tabell C.2-1 viser at alle de som har svart benytter SIMIEN i energiberegninger. Bruksområdet for SIMIEN er evaluering mot byggeforskrifter, energimerking, beregning av energibehov, validering av inneklima og dimensjonering av kjøling- og oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling. Simuleringene bygger på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS 3031. Ytterligere informasjon om simuleringsprogrammet finnes i Vedlegg G. I en av besvarelsene opplyses det om at i tillegg til SIMIEN benyttes andre metoder for beregninger av mer kompliserte tekniske løsninger for å komplimentere/ korrigere beregningene gjort i SIMIEN. Det sies ingenting om hvilke metoder. Entreprenørfirmaet som har svart opplyser om at de benytter til SIMIEN til å utføre energimerking, men denne metoden inkluderer kun de deterministiske parameterne i et bygg. Når de ønsker å estimere endringer i energibruk ved gitte tiltak har de en egen modell for dette. Denne modellen blir ikke beskrevet ytterligere.

7/10 har i henhold til Tabell C.2-1 erfaringer på at beregnet energibruk ofte er lavere enn faktisk energibruk. Flere av rådgiverne svarer at de ved bruk av reelle inputverdier oppnår resultater som indikerer den faktiske energibruken bedre. Luftmengder til ventilasjon nevnes av flere som en parameter der standard verdier ofte avviker fra virkelige verdier. En av deltakerne svarer at de har registrert store variasjoner når de i forbindelse med energimerking av bygg

sammenligner målt energibruk med deres tidligere energiberegninger. Disse variasjonene relateres hovedsakelig til feil drifting av anlegg og brukernes vaner samt feil dimensjonering. En annen svarer at de ofte har sett at energibruken ikke reduseres like mye som antatt ved implementering av ulike energiltak. Dette relateres til at bruksmønsteret også endres siden brukeren lett kan tenke at han kan bruke litt mer energi siden han har så gode/ effektive systemer. Samme rådgiver svarer at de også har sett at felles oppvarmingsanlegg og varmtvannsanlegg påvirker energibruken vesentlig. Det er imidlertid ingen av de spurte som besitter tall på sammenligninger mellom beregnet og målt energibruk. En av rådgiverne nevner at han er involvert i et prosjekt som arbeider med å opprette en formålsdelt database med data på målt og beregnet energibruk. I besvarelsen til forskningsinstansen nevnes det at flere prosjekter dreier seg om dette, men at det er relativt få som har faktiske målinger/evalueringer. Noen kontaktpersoner nevnes likevel for ytterligere informasjon.

I Tabell C.2-1 fremkommer det at det sjeldent gjøres vurderinger på parameteres sensitivitet. En av rådgiverne svarer at de i forbindelse med energieffektiviseringstiltak ser på størrelsen av ulike bidrag på netto energibruk og sammenstiller disse for å finne hvilke tiltak som er mest lønnsomme. Mange gir eksempler på sensitive parametere og opplyser at de oppgir disse som usikkerhetsfaktorer i energiberegningene deres. Sensitive parametere som nevnes fremkommer i Tabell C.2-2.

TABELL C.2-2: OVERSIKT OVER DE SENSITIVE PARAMETERE SOM NEVNES I BESVARELSENE

Parameter	Kommentar
Settpunkt på temperatur	Driftes med høyere temperatur enn beregnet
Oppvarming av varmt bruksvann	Spesielt i boliger
Luftmengder til ventilasjon	Spesielt store variasjoner mellom standardverdier fra NS3031 og faktiske verdier
Utstyr i standby	TV, PC osv.
Solskjerming	Benyttes mindre i virkeligheten enn den bruken som er lagt til grunn i beregningen
Dagslys	Lys slås ikke av i ubetjente rom eller når det er nok dagslys
Virkningsgrader	Vifter, pumper, varmegjenvinner
Driftstid	Unødvendig lange driftstider

En av rådgiverne simulerer ulike scenarioer for å illustrere de sensitive parameterens påvirkning på energibruken. En svarer også at det er enkelt å gjøre følsomhetsanalyser for å vurdere parameterens sensitivitet, men at gjennomføringen av slike analyser avhenger av prosjektenes omfang.

På spørsmål om det kan være ønskelig å integrere brukeratferd i energiberegninger i større grad enn det gjøres i dag er stor enighet om at dette er ønskelig og at det er et behov for dette. To av deltakerne uttrykker spesielt at de ser på brukeratferds påvirkning på energibruk som et tidsriktig og viktig tema for bransjen.

Besvarelsene på spørreundersøkelsen har gitt en bekreftelse på at SIMIEN er det mest brukte simuleringsprogram blant norske rådgivere. Svarene har også gitt innsikt i bransjens holdninger og erfaringer relatert til dette tema. Spørreundersøkelsen viser at det er behov for et regneverktøy som inkluderer brukeratferds påvirkning på energibruken i et bygg, noe deltakerne også bekrefter. Dette gir motivasjon til å komme i gang med prosjektet. Besvarelsene viste seg å være nyttig for dette prosjektet i den forstand at den har gitt flere navn på kontaktpersoner og fagfolk som vil benyttes.

C.3 E-POSTKORRESPONDANSE MED UTVIKLERNE AV SIMIEN

I etterkant av spørreundersøkelsen ble det sendt e-post til utviklerne av SIMIEN hvor tanker om prosjektet og bakgrunn for prosjektet ble presentert. Epost ble sendt ut til både ansvarlig for programutvikling, brukerstøtte og daglig drift, samt ansvarlig for utviklingen av algoritmer, modeller og faglig brukerstøtte. Ønske var at presentasjonen av våres prosjekt skulle vekke interesse hos utviklerne. Det ble i tillegg til å presentere prosjektet stilt spørsmål relatert til programmets muligheter for tekstimport som kunne gi muligheter for å lage en automatisering av inndataimport. Resultatet av dette ble tilgangen til en betaversjon av programmet, med muligheter tekstimport. Det ble også opplyst om at utviklerne mot slutten av nittitallet var med i et prosjekt hvor det ble utviklet et regneprogram med muligheten for stokastisk modellering. Erfaringen den gangen viste imidlertid at det var liten interesse for dette utenfor akademiske miljøer.

VEDLEGG D – FORSKRIFTSKRAV OG STANDARDVERDIER

I dette vedlegget presenteres de energikrav som stilles i Forskrift om krav til byggverk fra, TEK10, (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010), samt de standardverdier fra NS3031:2007 og NS3031:2007/A1:2010 som er utviklet for å imøtekomme energikravene.

D.1 ENERGIKRAV

Kapittel 14 i TEK10 omhandler energi. De viktigste punktene i paragrafene under dette kapittelet oppsummeres i det følgende.

§ 14-3. Energiltakene (energiltakspakken)

I. Bygning skal ha følgende energikvaliteter:

- a) Transmisjonsvarmetap:
 1. Andel vindus- og dørareal ≤ 20 % av oppvarmet BRA
 2. U-verdi yttervegg $\leq 0,18$ W/(m² K)
 3. U-verdi tak $\leq 0,13$ W/(m² K)
 4. U-verdi gulv $\leq 0,15$ W/(m² K)
 5. U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme $\leq 1,2$ W/(m² K)
 6. Normalisert kuldebroverdi, der m² angis i oppvarmet BRA:
 - småhus $\leq 0,03$ W/(m² K)
 - øvrige bygninger $\leq 0,06$ W/(m² K)
- b) Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap:
 1. Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell:
 - småhus $\leq 2,5$ luftvekslinger pr. time
 - øvrige bygninger $\leq 1,5$ luftvekslinger pr. time.

§ 14-4. Energirammen

Boligen skal ikke ha et større energibehov enn energirammen presentert i Tabell D.1-1.

TABELL D.1-1: ENERGIRAMMEN TIL SMÅHUS OG BOLIBLOKK FRA TEK10

Bygningskategori	Totalt netto energibehov (kWh/m ² oppvarmet BRA pr. år)
Småhus	20+ 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk	115

§ 14-5. Minstekrav

Minstekravene presentert i Tabell D.1-2 må overholdes.

TABELL D.1-2: MINSTEKRAV I HENHOLD TIL TEK10.

U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling pr. time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,6	≤ 3,0

§ 14-7. Energiforsyning

- Det er ikke tillatt å installere oljekjel for fossilt brensel som grunnlast.
- Av boligens varmebehov må 40 % skal dekkes med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker.

D.2 STANDARDVERDIER FRA NS3031

Beregninger med standardverdier gitt i NS3031:2007 med endringsbladet NS3031/A1:2010 (Standard Norge, 2010) benyttes til å dokumentere at boligen tilfredsstiller energikrav som er gitt i Forskrift om krav til byggverk, TEK10 (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010).

Endringsbladet NS3031:2007/A1:2010 omfatter de endringer som er gjort for å tilpasse standarden NS3031:2007 til de nye energikrav i TEK10 som trådte i kraft 1.7.2010. TEK10 § 17-2 gir overgangsbestemmelser som frem til 1.7.2011 tillater valget mellom energikravene i TEK10 og TEK07. Endringsbladet vil bli innarbeidet i NS3031 når overgangsbestemmelsene i TEK10 er utgått.

D.2.1 INTERNLASTER

Tabeller med standardverdier for belysning, utstyr og varmtvann som er et utdrag fra standarden NS3031:2007 (Standard Norge, 2007) og endringsbladet NS3031:2007/A1:2010 (Standard Norge, 2010) er gjengitt i dette vedlegget for småhus og boligblokker.

I fremkommer standardverdier for effektbehov og årlig energibehov til belysning, utstyr og varmtvann fra NS3031:2007.

TABELL D.2-1 NETTO EFFEKT – STANDARDVERDIER FOR GJENNOMSNITTLIG EFFEKTBEHOV I DRIFTSTIDEN OG ÅRLIG ENERGIBEHOV FOR BELYSNING, UTSTYR OG VARMTVANN FRA NS3031:2007.

Bygningskategori	Belysning		Utstyr		Varmtvann	
	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/m ² år	W/m ²	kWh/(m ² år)
Småhus	2,9	16,9	4,0	23,4	5,1	29,8
Boligblokk	2,9	16,9	4,0	23,4	5,1	29,8

I Tabell D.2-1 og Tabell D.2-2 fremkommer standardverdier for effektbehov og årlig energibehov til belysning, utstyr og varmt vann fra NS3031:2007/A1:2010.

TABELL D.2-2: NETTO EFFEKT – STANDARDVERDIER FOR GJENNOMSNIITTLIG EFFEKTBEHOV I DRIFTSTIDEN OG ÅRLIG ENERGIBEHOV FOR BELYSNING, UTSTYR OG VARMTVANN FRA ENDRINGSBLADET NS3031:2007/A1:2010.

Bygningskategori	Belysning		Utstyr		Varmtvann	
	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/m ² år	W/m ²	kWh/(m ² år)
Småhus	1,95	11,4	3,0	17,5	5,1	29,8
Boligblokk	1,95	11,4	3,0	17,5	5,1	29,8

Verdiene i Tabell D.2-1 og Tabell D.2-2 er utarbeidet for kontrollberegninger mot offentlige krav og representerer nødvendigvis ikke reelle forhold. Årlig energibehov for belysning og utstyr er gitt som gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden, multiplisert med driftstiden som er gitt i Tabell D.2-3. Driftstiden er lik for både standarden og endringsbladet.

TABELL D.2-3: STANDARDVERDIER FOR DRIFTSTIMER FOR OPPVARMING, BELYSNING, UTSTYR OG VENTILSJON MED SETTPUNKTTEMPERATUR FOR ROMOPPVARMING I OG UTENFOR DRIFTSTIDEN.

Bygningskategori	Driftstid (timer/døgn/uker)			Settpunkttemperatur for oppvarming [°C]	
	Belysning og utstyr	ventilasjon	personer	I driftstiden	utenfor driftstiden
Småhus	16/7/52	24/7/52	24/7/52	21	19
Boligblokk	16/7/52	24/7/52	24/7/52	21	19

D.2.2 LUFTMENGDER

I Tabell D.2-4 presenteres minste tillatte luftmengder fra NS3031:2007 når en beregner mot forskriftskrav.

TABELL D.2-4: MINSTE TILLATTE LUFTMENGDER BRUKT VED KONTROLLBEREGNING MOT OFFENTLIGE KRAV

Bygningskategori	Spesifikk luftmengde [m ³ /m ² h]		Spesifikk vifteeffekt SFP [kW/(m ³ /s)]	
	I driftstid	Utenfor driftstid	I driftstiden	utenfor driftstiden
Småhus	1,2	1,2	2,5	2,5
Boligblokk	1,7	1,7	2,5	2,5

I Tabell D.2-5 presenteres minste tillatte luftmengder fra NS3031:2007/A1:2010 når en beregner mot forskriftskrav.

TABELL D.2-5: MINSTE TILLATTE LUFTMENGDER BRUKT VED KONTROLLBEREGNING MOT OFFENTLIGE KRAV I HENHOLD TIL NS3031:2007/A1:2010.

Bygningskategori		Minste spesifikke luftmengde [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]	
		I driftstid	Utenfor driftstid
Småhus og boligblokk	Boenheter der $A_{fi} < 110\text{m}^2$	$1,6 - 0,07 \times (A_{fi} - 50)$	$1,6 - 0,07 \times (A_{fi} - 50)$
	Boenheter der $A_{fi} \geq 110\text{m}^2$	1,2	1,2

VEDLEGG E - SENSITIVITETS- OG USIKKERHETSANALYSER

Det finnes mange ulike sensitivitetsanalyseteknikker og bruk av ulike teknikker kan generere en anelse ulik sensitivitetsrangering av inndatafaktorene. Den faktiske rangeringen er ikke like viktig som spesifiseringen av hvilke faktorer som er øverst og nederst på rangeringen. (Hamby, 1994) SA teknikker kan bli kategorisert på ulike måter, men basert på faktorområdet av interesse kan SA teknikkene deles i to hovedgrupper: lokal SA og global SA (Yang, 2011). Lokale sensitivitetsteknikker er ofte derivatbaserte og hører til gruppen av one-faktor-at-a-time (OAT) metoder hvor en faktor blir endret av gangen mens alle de andre faktorene holdes konstant og effekten av den endrede faktoren blir evaluert. Lokale sensitivitetsteknikker er beregningsmessig enkle, men kan dessverre føre til feiltolkning i forhold til ikke-lineære modeller (Yang, 2011) eller i modeller som inneholder faktorer med globale egenskaper. Mange globale sensitivitetsteknikker er Monte-Carlo baserte (Yang, 2011).

Ved en modellering bør man i første omgang benytte forholdsvis enkle SA teknikker for å identifisere inndata som genererer mest sensitivitet og som er viktige. Deretter kan man benytte mer avanserte metoder for å analysere disse inndatafaktorene mer dyptgående. (EPA, 2009)[s.71] I det følgende presenteres sensitivitetsanalyseteknikker som kan benyttes til kvalitativ og/ eller kvantitativ analyse av inndata på utdata.

E.1 SCREENING

Screeningmetoder er forholdsvis enkle metoder som ofte fremskaffer kun kvalitative sensitivitetsmål, dvs. at den kan rangere inndatafaktorene i forhold til hvor viktige de er, men gir ingen kvantitative mål på hvor mye viktigere én faktor er i forhold til en annen (Saltelli, et al., 2004)[s.92].

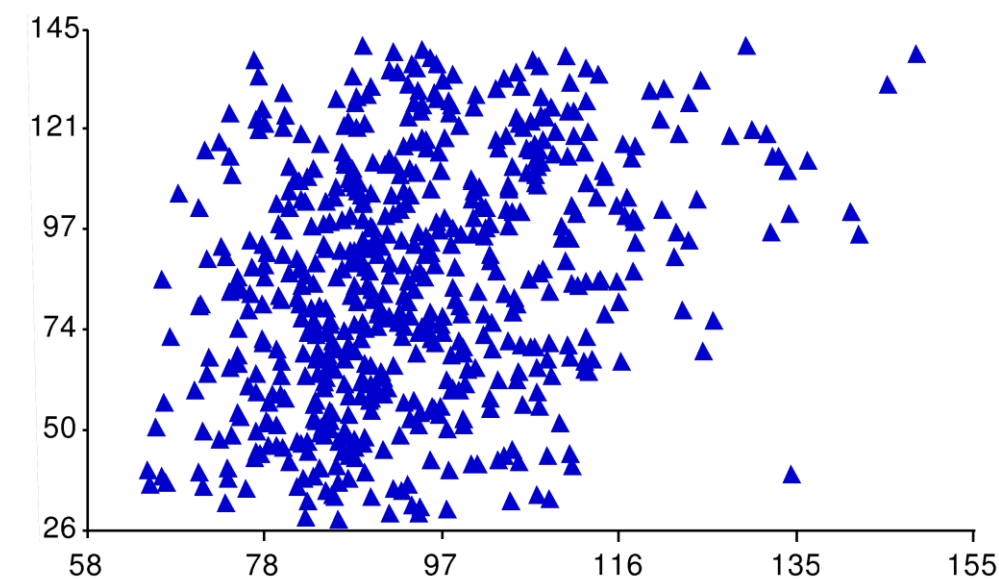
Formålet med en screeninganalyse er ofte å identifisere inndatafaktorene som man kan gi en fast verdi innenfor deres intervall for usikkerhet uten at det reduserer utdatavariasjonen vesentlig og dermed uten at man mister viktig informasjon i modellen. (Saltelli, et al., 2004) [s.54] Screening analyser fungerer best når antallet av viktige faktorer er få i forhold til det totale antallet av inndatafaktorer (Saltelli, et al., 2004) [s.92]. Screening brukes likevel mest som en enkel metode for å identifisere sensitive og viktige faktorer når antallet inndatafaktorer er relativt stort.

E.1.1 SPREDNINGSPLOTT

For å se sammenhenger mellom variabler kan et spredningsplott benyttes. Spredningsplott lages vanligvis for to variabler om gangen hvor hver gjennomføring eller enhet svarer til et punkt i et xy-diagram. Spredningen på punktene kan da antyde om det er sammenheng mellom dataene eller ikke, selv om tilfeldigheter kan skape mønstre som kanskje ikke er gyldig for hele populasjonen (Løvås, 2004).

Spredningsplott kan brukes som en screeningmetode ved å visualisere en valgt inndataparameters påvirkning på utdataen. En gjennomfører et beskjedent antall

modellevalueringer med ulike inndataverdier for en parameter, mens de andre inndataparameterne holdes uendret. Deretter visualiserer man resultatene, med utdata på en akse og valgt inndatafaktor på den andre aksen, se eksempel i Figur E.1-1



FIGUR E.1-1: EKSEMPEL PÅ SPREDNINGSPLOTT.

Spredningsplott av inndata med hensyn på utdata kan brukes til å bestemme graden av korrelasjon og lineariteten av forholdet mellom inndata og utdata. Dette kan avdekke uventede forhold mellom inndata og utdata, for eksempel korrelasjoner, som kan indikere om andre undersøkelser bør gjennomføres, for eksempel regresjonsanalyse. Spredningsplott for alle modellens inndataparametere mot modellens utdata er også en effektiv metode for å finne hvilke inndataparameter som kan være sensitiv. (Hamby, 1994)

E.1.2 SENSITIVITETSIDEKSE

Sensitivitetsindeksen, SI, unytter hele variasjonsbredden av mulige inndataverdier for en parameter for å vurdere dens sensitivitet. Dette gjøres ved å beregne den prosentvise differansen på utdata når en varierer inndata fra minimum- til maksimumsverdi (Hamby, 1994). Sensitivitetsindeksen beregnes etter Formel 2.

FORMEL 2

$$SI = \frac{D_{maks} - D_{min}}{D_{maks}}$$

Hvor:

D_{min} : minimumsverdien til utdataen
 D_{maks} : maksimumsverdien til utdataen

Både D_{min} og D_{maks} er verdier for utdataen når inndataen er variert over hele variasjonsbredden til parameteren (Hamby, 1994).

E.1.3 ELEMENTAREFFEKTMETODEN

Elementareffektmetoden er en Monte Carlo basert global screening metode foreslått av Morris (Morris, 1991). Metoden er basert på at lokale sensitivitetsmål, elementareffekter, er beregnet for hver faktor etter OAT-prinsippet. Elementareffektmetoden er beskrevet i detalj i Vedlegg F.

E.2 MONTE CARLO

I henhold til Helton (1993) er en Monte Carlo analyse basert på å utføre multiple modellevalueringer med ulik inndata valgt ut fra sannsynlighetsfordelinger hvor resultatene av evalueringene benyttes til å bestemme både usikkerheten i modell forutsigelsene samt hvilke inndatavariabler som bidrar mest til denne usikkerheten.

Utvalget av inndataverdier skjer enten tilfeldig eller ved hjelp av diverse stikkprøvemetoder. Deretter utføres et passende antall simuleringer med forskjellige inndatakombinasjoner. Nøyaktigheten av den totale usikkerheten er kun påvirket av antallet av simuleringer. (Lomas, et al., 1992)

I (Macdonald, 2002) er det vist at den sentrale grenseverdisetning gjelder for en MCA. Det vil si at ved utførelse av et tilstrekkelig antall simuleringer medfører dette at det kumulative resultat for simuleringene vil være normalfordelt uavhengig av de enkelte sannsynlighetsfordelingene til inndatafaktorene. Til evaluering av resultatene er det mulig å anvende en usikkerhetsanalyse og en sensitivitetsanalyse. Usikkerhetsanalysen anvendes til å kvantifisere en modells samlede usikkerhet, mens sensitivitetsanalysen anvendes til å identifisere det enkelte inndatas innflytelse på modellens samlede usikkerhet. Videre er det mulig for enkelte sensitivitetsanalysemetoder å kvantifisere innflytelsen av ulike inndatafaktorer på modellens samlede usikkerhet. Det første som skal overveies i en MCA er hvilken samplingsmetode som skal benyttes, i tillegg må korrelasjon mellom de enkelte inndata vurderes. I det følgende vil forskjellige samplingsmetoder bli beskrevet.

E.2.1 SAMPLINGSMETODER

Samplingsmetoder brukes til å velge ut inndataverdier fra de enkelte sannsynlighetsfordelingene. Det finnes flere forskjellige samplingsmetoder, men den generelle forutsetning for å anvende en metode er å sikre at de utvalgte verdiene representerer faktorenes sannsynlighetsfordelinger på beste statiske måte ved bruk av færrest mulige samples. I det følgende beskrives tre vanlig benyttede metoder (Helton, 1993) og hvordan utvelgelsen finner sted i hver metode:

- Tilfeldig samplemetode
- Lagdelt tilfeldig samplemetode
- Latin Hypercube samplemetode

E.2.1.1 TILFELDIG SAMPLEMETODE

Ved anvendelse av en tilfeldig samplemetode skjer utvelgelsen tilfeldig på baggrund av de enkelte fordelinger, uavhengig av de foregående samples. Dvs. at første sample genereres ved å velge en tilfeldig verdi fra de forskjellige sannsynlighetsfordelingene for de respektive variable, deretter genereres andre sample ved å velge en tilfeldig verdi fra sannsynlighetsfordelingene uavhengig av den foregående sample. Denne fremgangsmåten fortsettes inntil den ønskede

samplestørrelse er oppnådd. Ved anvendelse av denne fremgangsmåte oppnås et resultat av middelverdien, μ , og standardavviket, σ , som er uten forut antagelser. (Saltelli, et al., 2004a) Notasjonsformen for den tilfeldige samplingsmetoden er vist i Formel 3.

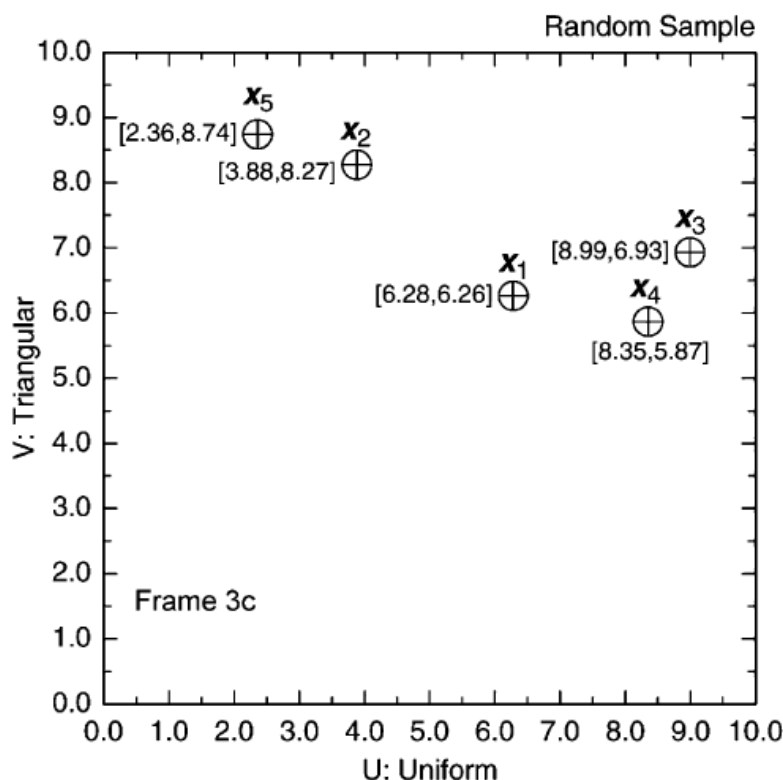
FORMEL 3

$$\bar{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], \quad i = 1, \dots, m$$

Hvor:

n	Antallet av faktorer
m	Samplestørrelse

Den tilfeldige samplemetode sikrer ikke at verdiene vil bli valgt ut fra en gitt del av fordelingsområdet, men sikrer utelukkende at utvelgelsen skjer i sammenheng med de respektive sannsynlighetene for de gitte verdiene. Dette medfører, at den resulterende middelverdien og standardavviket ikke blir påvirket av måten utvelgelsen skjer. Ulempen ved denne metode er imidlertid at samplestørrelse kan bli uhensiktsmessig stor for å sikre at samplene dekker hele sannsynlighetsfordelingen. (Helton, 1993) European Commission - IPSC (2008) anbefaler at størrelsen av sampelen ikke blir mindre enn 1,5 ganger antallet av variablene, men foreslår at størrelsen på samplene er minst 10 ganger antallet av variablene for å sikre at sampelen dekker hele variasjonsområdet for inndatafaktoren. Der oppnås imidlertid stabile resultater etter 50-200 simuleringer (Saltelli, et al., 2004a). Figur E.2-1 viser en tilfeldig sample for $\bar{x} = [U, V]$ og $m = 5$.



FIGUR E.2-1: TILFELDIG SAMPLE, FRA (HELTON, ET AL., 2003).

Algoritmen i SimLab til generering av samplene er basert på en såkalt "seed-verdi". Utvelgelsen av verdiene blir genererte ved en hjelp av en iterativ funksjon basert på et brukerbestemt utgangspunkt. "Seed-verdien" er den primære verdi for denne prosedyre, hvor det anbefales at anvende store verdier (>7 sifre) for "seed-verdien". (European Commissoin - IPSC, 2008)

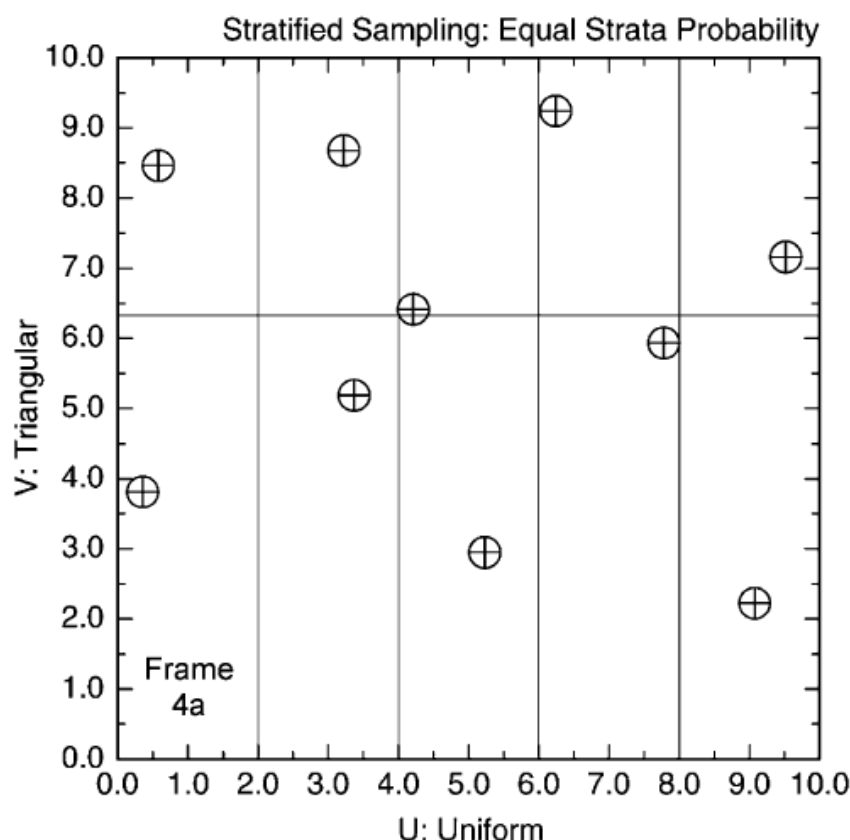
E.2.1.2 LAGDELT TILFELDIG SAMPLEMETODE

Lagdelt tilfeldig samplemetode anvendes for at sikre at hele fordelingsområdet for variablene blir dekket. Dette gjøres ved å gjennomtvinge en systematisk dekning av spesifikke delområder i sannsynlighetsfordelingene. Variasjonsområdet for inndatafaktoren, S , for inndatavektoren $\bar{X}$, oppdeles i nS separate lag; $S_j, j = 1, \dots, nS$. Det skal bemerkes at hvert lag har forskjellige sannsynligheter som er gitt ved; $p_j = P(\bar{X} \in S_j)$. Hvis det kun velges et lag, vil det svare til en tilfeldig samplingsmetode beskrevet i foregående avsnitt. [Helton, 1993] Den enkelte inndatavektor kan uttrykkes ved:

FORMEL 4

$$\bar{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], \quad i = 1, \dots, \sum_{j=1}^{nS} (m_j)$$

Denne metode anvendes ofte for å sikre at enkelte samplerom blir inkludert i analysen. Verdiene i disse samplerommene er ofte innflytelsesrike, men har liten sannsynlighet for å inntreffe. Figur E.2-2 viser en lagdelt tilfeldig sample for $\bar{x} = [U, V]$ med 10 lag og én tilfeldig verdi i hvert lag.



FIGUR E.2-2: LAGDELT SAMPLE MED 10 LAG OG EN TILFELIG VERDI INNENFOR HVERT LAG ETTER (HELTON, ET AL., 2003).

Hvis et bestemt område skal dekket intensivt, kan dette gjøres ved å velge flere tilfeldige verdier i dette laget. Det skal bemerkes, at denne egenskapen ikke skal ha innflytelse på det samlede resultatet siden det foretas en vekting av lagenes sannsynlighet og antallet av samples i hvert lag. Denne vektingen betyr en endring av beregningen av det samlede resultats middelværdi og standardavvik. Såfremt lagdelt tilfeldig samplemetode anvendes, er det viktig å anvende formel Formel 5 og Formel 6 til beregning av henholdsvis middelværdien og standardavviket og ikke Formel 9 og Formel 10. (Saltelli, et al., 2004a)

FORMEL 5

$$\bar{Z} = \sum_{i=1}^{mS} (p_i \cdot \bar{Z}_i)$$

FORMEL 6

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{mS} (p_i^2 \cdot s_i^2)}$$

Hvor:

$\bar{Z}_i$	Middelværdi av resultatet i det enkelte lag
p_i	Sannsynligheten for det enkelte lag
s	Standardavvik av resultatet av det enkelte lag

Største fordel ved denne metode er at områder med lav sannsynlighet kan tvinges igjennom en analyse. Imidlertid kan bestemmelsen av antallet av forskjellige lag og sannsynligheten av disse være komplisert. (Saltelli, et al., 2004a)

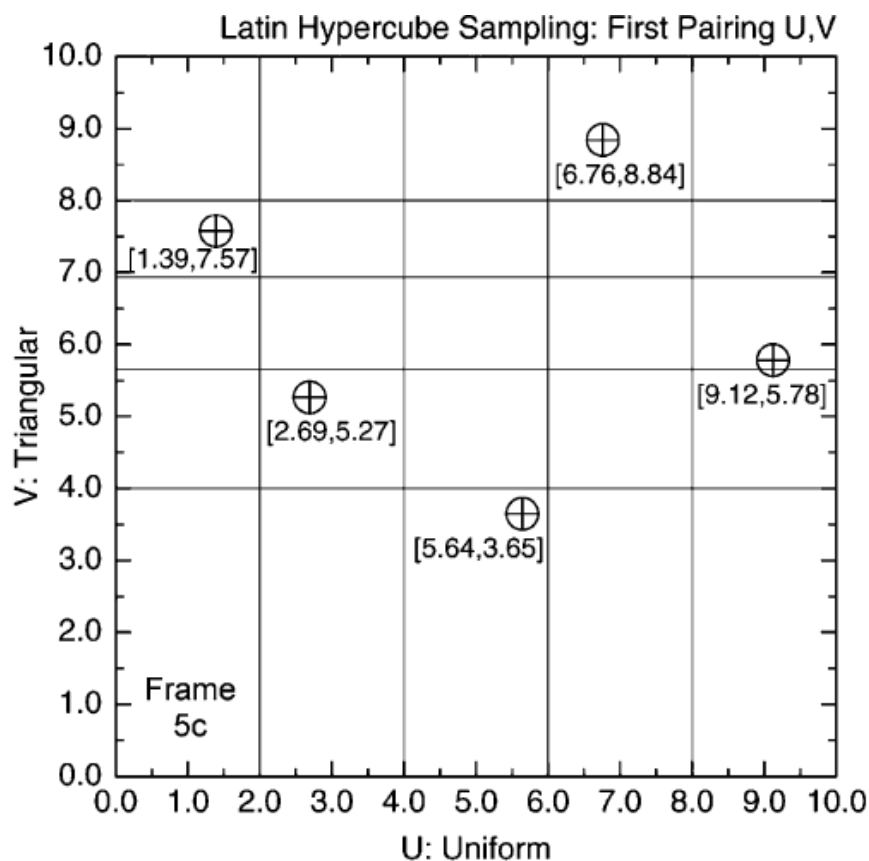
E.2.1.3 LATIN HYPERCUBE SAMPLINGSMETODE

Latin hypercube er en videreutvikling av lagdelt tilfeldig samplingsmetode, hvor enkelte egenskaper er tilføyd til metoden som fører til en systematisk utvelgelse av punkter. Metoden er utviklet for å sikre at hele variasjonsområdet for inndatafaktoren blir dekket på den statistisk beste måten, ved færrest mulige sampler. (Saltelli, et al., 2004a) Hver inndatafaktor i modellen, $\bar{x}_j, j = 1, \dots, n$, inndeles i m intervaller med like stor sannsynlighet, $1/m$. Det skal bemerkes at m er lik antallet av samples. Den tilfeldige samplingsmetode anvendes nå i hvert intervall for hver faktor for å utvelge inndataverdiene for de respektive faktorer i de enkelte lag. En vilkårlig verdi, utvalgt fra faktor x_1 , sammensettes med en vilkårlig verdi fra faktor x_2 opp til faktor x_n . Den første samlingen av verdier utgjør derved den første sample og samme prosedyre gjentas inntil m sampler er utført: (Helton, 1993)

FORMEL 7

$$\bar{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], \quad i = 1, \dots, m$$

Figur E.2-3 illustrerer et eksempel på en latin hypercube sample hvor $\bar{x} = [U; V]$ og $m = 5$.



FIGUR E.2-3: LATIN HYPERCUBE SAMPLE, FRA (HELTON, ET AL., 2003).

Ved anvendelse av latin hypercube samplingsmetoden, sammenlignet med de forrige beskrevne metoder, oppnås det en bedre dekning av hele variasjonsområdet for de forskjellige inndatafaktorene uavhengig av hvilke faktorer som viser seg å være innflytelsesrike. Dette er spesielt gjeldende, når utdata er dominert av et lavt antall inndatafaktorer. Ytterligere gir latin hypercube et bedre estimat av det endelige resultats middelerverdi samt en lavere varians. Variansens kan imidlertid være en smule forvrengt, men denne forvrengningen har vist seg å være liten. (Saltelli, et al., 2004a)

Algoritmen i SimLab til generering av samplene er basert på en såkalt "seed-verdi". Utvelgelsen av verdiene blir generert ved en hjelp av en iterativ funksjon basert på et brukerbestemt utgangspunkt. "Seed-verdien" er den primære verdi for denne prosedyre, hvor det anbefales å anvende store verdier (>7 sifre) for "seed-verdien". Det foreskrives, at en sample på 1,5 gange antallet av inndata faktorer benyttes, men foreslår at størrelsen på samplen minst er 10 gange antallet av variable, for at sikre at samplen dekker hele variasjonsområdet for inndatafaktoren. (European Commissoin - IPSC, 2008) Det oppnås imidlertid stabile resultater etter 50-200 simuleringer (Saltelli, et al., 2004a). Det skal i tillegg nevnes at SimLlab anvender en spesiell form av latin hypercube, hvor det er mulig å korrelere inndatadataene, ellers er hovedregelen at inndatafaktorene i metoden skal være uavhengige av hverandre (European Commissoin - IPSC, 2008) (Helton, 1993).

E.2.2 KORRELASJONSMÅL

E.2.2.1 PEARSON'S r

Pearson's produkt moment korrelasjonskoeffisient, r (PEAR), er et mål på korrelasjon mellom to variabler X og Y , for eksempel en inndatafaktor og utdata. Desto høyere absoluttverdien av r er desto sterkere lineært forhold er det mellom de to variablene. En negativ verdi av r indikerer en invers relasjon mellom X og Y . r defineres i henhold til (Hamby, 1994) som:

FORMEL 8

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)(Y_j - \bar{Y})}{\left[\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}}$$

En stor svakhet ved å benytte korrelasjonskoeffisienten r for sensitivitetsrangering er at man må anta et lineært forhold mellom inndata og utdata. I tillegg kreves det mange simuleringer for å evaluere korrelasjonskoeffisienten.

E.2.2.2 SPEARMAN'S ρ

Spearman's koeffisient ρ (SPEA) er et mål for korrelasjon i ikke-lineære modeller. SPEA beregnes i prinsippet på samme måte som r , men den bruker rangering av både Y og X_j i stedet for rådata (European Commissoin - IPSC, 2008). Det er to underliggende antakelser ved benyttelse av SPEA:

1. Både x_{ij} og y_i er vilkårlige verdier fra deres respektive fordelinger
2. Måleskalaen for begge variablene er ordenstall.

Rangeringstransformasjon transformerer rådata til rangeringsverdier og dette har vist seg å fungere bra hvis den avhengige variabelen er en ensformig funksjon av de uavhengige variablene. Rangeringstransformasjon lineæriserer ensformige ikke-lineære relasjoner mellom variablene og reduserer effekten av ekstremverdier (Hamby, 1994).

E.2.2.3 PARTIELL KORRELASJON KOEFFISIENT

Et annet nyttig mål for å beskrive en inndatafaktors viktighet er gitt ved partielle korrelasjonskoeffisienter (*Partielle Correlation Coefficients, PCCs*). Disse koeffisientene baserer seg på konseptet om korrelasjon og partiell korrelasjon. Partiell korrelasjonskoeffisienter kan benyttes når en betrakter mer enn en inndatafaktor og en ønsker å gi et mål på det lineære forholdet mellom utdatavariabelen y og den individuelle inndatavariabelen X_j . Den partielle korrelasjonskoeffisienten mellom utdatavariabelen Y og inndatavariabelen X_j er oppnådd ved å bruke deler av regressionsmodeller. Først dannes det to modeller,

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{h \neq j} b_h x_h \quad \hat{X}_j = c_0 + \sum_{h \neq j} c_h x_h$$

Så blir resultatene av disse to regresjonene brukt til å definere nye variabler, $Y - \hat{Y}$ og $X_j - \hat{X}_j$. Den partielle korrelasjonskoeffisienten mellom Y og X_j er definert som korrelasjonskoeffisienten mellom $Y - \hat{Y}$ og $X_j - \hat{X}_j$. Med dette gir partiell korrelasjonskoeffisienten et mål på styrken på den lineære relasjonen mellom to variabler etter at en korreksjon for de lineære effektene til andre variabler i analysen har blitt gjennomført. Eller sagt med andre ord, den partielle korrelasjonskoeffisienten gir styrken av korrelasjonen mellom utdataen Y og en gitt

inndatafaktor X_j etter en justering for effekten som skyldes korrelasjon mellom X_j og andre inndatafaktorer. (Saltelli, et al., 2004a)

Partielle korrelasjonskoeffisienter gir et mål på viktigheten til en variabel som har en tendens til å ekskludere effekten av andre variabler.

E.2.2.4 RANGERINGS-TRANSFORMASJON

Siden regresjonsanalyser baserer seg på lineære forhold, fungerer de ofte dårlig når forholdet mellom inndatavariablene ikke er lineært. Dette problemet kan bli unngått ved å bruke rangeringstransformasjon. Rangeringstransformasjon er en prosedyre hvor man erstatter data med deres respektive rangering. Eksempelvis kan en gi rangeringen 1 til den minste observasjonen og fortsette til rangeringen N for den største observasjonen. Partiell korrelasjonskoeffisienten kan bli benyttet på rangering (*Partielle Rank Correlation Coefficient, PRCC*). PRCC fungerer godt når utdata fra modellen varierer lineært eller ensformig med hver selvstendige inndatafaktor. Varierer derimot utdataen ikke ensformig vil ikke PRCC gi tilfredsstillende resultater. (Saltelli, et al., 2004a)

E.2.3 USIKKERHETSANALYSE

Som beskrevet tidligere er formålet med en usikkerhetsanalyse at kvantifisere en modells samlede usikkerhet. I usikkerhetsanalysen benyttes den sentrale grenseverdisetningen, som sier at det kumulative resultatet ved anvendelse av mange variabler, uavhengig av deres individuelle sannsynlighetsfordelinger, vil være karakterisert ved en normalfordeling. Usikkerhetsanalysen baseres derfor på middelveiden, Formel 9, og standardavviket, Formel 10, til den resulterende fordelingen av resultatene fra Monte Carlo simuleringene (Macdonald, 2002) som beskriver forventningsverdi og spredningen i det samlede resultatet.

FORMEL 9

$$\bar{Z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (Z_i)$$

FORMEL 10

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

Hvor:

Z_i	Den simulerte verdi
$\bar{Z}_i$	Middelveiden av de simulerte verdiene
m	Antall simuleringer

VEDLEGG F - ELEMENTAREFFEKTMETODEN

Dette vedlegget gir det matematiske grunnlaget for Elementareffektmetoden og er supplerende informasjon til den generelle beskrivelsen av Elementareffektmetoden som ble gitt i hovedrapporten i Kapittel 4. Der annet ikke er oppgitt i dette vedlegget er materialet hentet fra boken *Sensitivity analysis in practice – A guide to assessing scientific models* (Satelli, et al., 2004b)

Elementareffektmetoden er en Monte Carlo basert global screening metode (Yang, 2011). For hver faktor defineres det en fordeling av inndataverdier. Hver inndatafaktor kan anta et diskret antall verdier p , kalt nivåer, som er valgt innenfor faktorens fordeling. Dersom fordelingen ikke er diskret defineres p ut i fra fraktiler. Metoden foreslått av Morris (Morris, 1991) er basert på at lokale sensitivitetsmål, elementareffekter, er beregnet for hver faktor etter OAT-prinsippet. For en gitt verdi $\mathbf{x}$, av den k -dimensjonale vektoren $\mathbf{X}$ for modellinndata, kan elementareffekten av den i 'te inndatafaktoren beregnes ut i fra Formel 11:

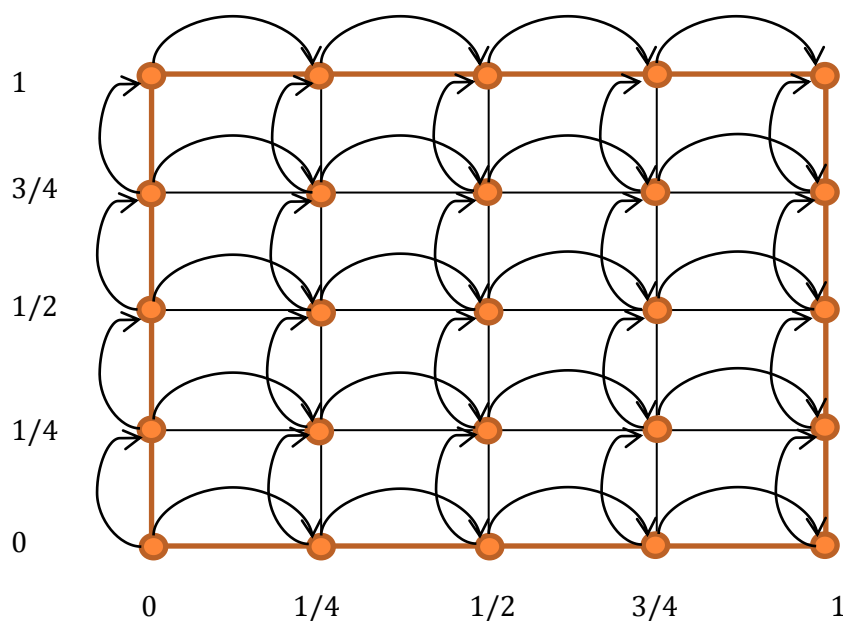
FORMEL 11

$$d_i(\mathbf{x}) = \frac{[y(x_1, \dots, x_{i-1} + \Delta, x_{i+1}, \dots, x_n) - y(\mathbf{x})]}{\Delta}$$

Hvor:

$d_i(\mathbf{x})$	Elementareffekten for $i, i= 1, 2, \dots, n$
$y(\mathbf{x})$	Utdata
$\mathbf{x}$	$(x_1, x_2, \dots, x_n)$ valgt verdi innenfor Ω slik at det transformerte punktet også er innenfor Ω
Δ	Forhåndsbestemt økning
Ω	Området av interesse, k -dimensjonalt p -nivå gitter.

For et to-dimensjonalt inndatarom ($k=2$) blir hver elementareffekt relativ til en faktor i beregnet ved hjelp av to punkter med en relativ avstand Δ i koordinat X_i , dette er vist i Figur E.2-4.



FIGUR E.2-4: REPRESENTASJON AV ET TO-DIMENSJONALT GITTER ($k=2$) BESTÅENDE AV FEM NIVÅER ($p=5$) HVOR $\Delta = 1/4$. HVER PIL ANGIR DE TO PUNKTENE SOM ER NØDVENDIGE FOR Å BEREKNE ÉN ELEMENTAREFFEKT.

Flere elementareffekter er beregnet for hver inndatafaktor. Den endelige fordelingen av elementareffektene tilknyttet den i 'te inndatafaktoren får man ved å ta vilkårlige samplinger av forskjellig $\mathbf{x}$ fra Ω , og denne fordelingen er betegnet F_i . Antall elementer for hver F_i er gitt ved Formel 12 hvor man kan se at antall elementer er avhengig av både nivåer p og dimensjoner k .

FORMEL 12

$$n_{F_i} = p^{k-1}[p - \Delta(p - 1)]$$

Hvor:

n_{F_i}	Antall elementer i hver F_i
p	Nivåer
k	Dimensjoner av inndatarommet

Morris definerer *økonomien av en design* som antall elementareffekter produsert av designen dividert med antall modellutførsler som er nødvendig for å produsere elementareffektene. En design med høy økonomisk verdi er effektiv med hensyn på å frembringe informasjon om sensitivitet. Den enkleste formen av Elementareffektmetoden har en økonomisk verdi på $\frac{1}{2}$, siden antall elementareffekter produsert av designen er rn , hvor r er antall elementareffekter fra F_i og n er antall inndatafaktorer, og hver elementareffekt krever en evaluering av utdata, y , to ganger slik at den totale beregningskraften for en vilkårlig sampling av r verdier fra hver F_i dermed er $2rn$, dvs. at designens økonomi er $rn/2rn = 1/2$.

Morris foreslo en mer effektiv design basert på konstruksjon av en $\mathbf{B}^*$ matrise, med dimensjonene k -av- $(n+1)$ med rader som presenterer inndatavektorene $\mathbf{x}_s$, som gir n elementareffekter, en for hver inndatafaktor, fra $(n+1)$ kjøringer. Økonomien av denne designen er økt til $n/(n+1)$. Et fornuftig valg av verdier for parameterne p og Δ for denne designen er at p er partall og Δ er $p/2(p-1)$ siden dette fører til at hver av elementareffektene av den i 'te inndatafaktoren har lik sannsynlighet for å bli valgt.

Morrisdesignen starter med å velge en baseverdi $\mathbf{x}^*$ for vektor $\mathbf{X}$. Hver komponent x_i er samlet fra settet $\{0, 1/(p-1), 2/(p-1), \dots, 1\}$. Vektoren $\mathbf{x}^*$ blir brukt til å generere samplingpunkter, men inngår ikke selv blant samplingpunktene. Det første samplingpunktet, $\mathbf{x}^{(1)}$, får man ved å øke en eller flere komponenter av $\mathbf{x}^*$ med Δ . Valget av komponenter fra $\mathbf{x}^*$ som skal økes er begrenset av at $\mathbf{x}^{(1)}$ fremdeles skal være innenfor Ω . Det andre samplingpunktet er generert fra $\mathbf{x}^*$ med egenskapen at den varierer fra $\mathbf{x}^{(1)}$ for komponent i som enten er økt eller redusert med Δ . Det tredje samplingpunktet genereres igjen fra $\mathbf{x}^*$ med egenskapen at $\mathbf{x}^{(3)}$ varierer fra $\mathbf{x}^{(2)}$ for kun én komponent j , for hvilken som helst $j \neq i$. Slik blir det generert samplingpunkt helt frem til $\mathbf{x}^{(n+1)}$ med hovedegenskapen at to påfølgende punkter varierer med kun en komponent i tillegg til at alle komponentene i av $\mathbf{x}^*$ har blitt økt med Δ minst en gang slik at det kan beregnes en elementareffekt for hver faktor.

En rekke av samplingpunkter $\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(n+1)}$, definerer en bane i inndatarommet og gir matrisen $\mathbf{B}^*$, orienteringsmatrisen, med dimensjonene $(n+1) \times n$, hvor radene er vektorene $\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \dots, \mathbf{x}^{(n+1)}$. $\mathbf{B}^*$ fremskaffer én elementareffekt per inndatafaktor. Fra hver F_i må det utvelges r elementer for å estimere sensitivitetsmålene μ og σ , det kreves derfor at det konstrueres r orienteringsmatriser som er individuelt generert og som definerer ulike baner i inndatarommet. Undersøkelser har vist at et valg av $p=4$ og $r=10$ har produsert verdifulle resultater. I praksis krever anvendelsen av Elementareffektmetoden et antall, N , simuleringer gitt ved Formel 13:

$$N = (n + 1) \cdot r$$

Hvor:

N	Antall simuleringer
n	Antall inndatafaktorer
r	Sampelstørrelse

Målet med Morrisdesignen er som nevnt å estimere de to sensitivitetsmålene μ og σ for hver inndatafaktor. μ er et estimat av gjennomsnittet av distribusjonen F_i og en stor verdi av μ indikerer at inndatafaktoren har en stor total innflytelse på utdata. σ er et estimat av standardavviket i F_i og en stor verdi av σ indikerer at det er en faktor som er i samspill med andre faktorer eller at faktoren har effekter som er ikke-lineære. Campolongo et al. (Campolongo, et al., 2007) har foreslått et tredje sensitivitetsmål μ^* som er et estimat av gjennomsnittet for distribusjonen for *absoluttverdiene* av elementareffekter, G_i . I følge Campolongo et al. er μ^* bedre egnet til rangering av inndatafaktorer i forhold til deres viktighet enn Morris sin μ . Dette utsagnet kommer av at distribusjonen F_i kan inneholde elementareffekter med både positivt og negativt fortegn dersom modellen ikke er monoton og dette kan føre til at effekter kan eliminere hverandre. I slike tilfeller kan en viktig faktor feilaktig bli ansett som neglisjerbar. (Campolongo, et al., 2007)

Morris foreslår en grafisk presentasjon av resultatene for å tolke de to sensitivitetsmålene μ / μ^* og σ på samme tid. De plottede verdiene kan da i tillegg bli undersøkt i forhold til hverandre for å gi en indikasjon på hvilke inndatafaktorer som er viktigst.

VEDLEGG G - SIMIEN

SIMIEN er et simuleringsprogram som utfører simuleringer av energi- og inneklimatilstanden til bygninger. SIMIEN bygger på dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS 3031, presentert på side 24 i Kapittel 3 i hovedrapporten. Bruksområdet for simuleringsprogrammet er beregning av bygningers energibehov, validering av inneklima, evaluering mot tekniske forskrifter, energimerking, og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling (ProgramByggerne). I SIMIEN er det muligheter for å kjøre seks ulike simuleringer avhengig av behov. Tabell E.2-1 presenterer de ulike simuleringsalternativer.

TABELL E.2-1: SIMULERINGSALTERNATIVER OG BRUKSOMRÅDER FOR SIMIEN

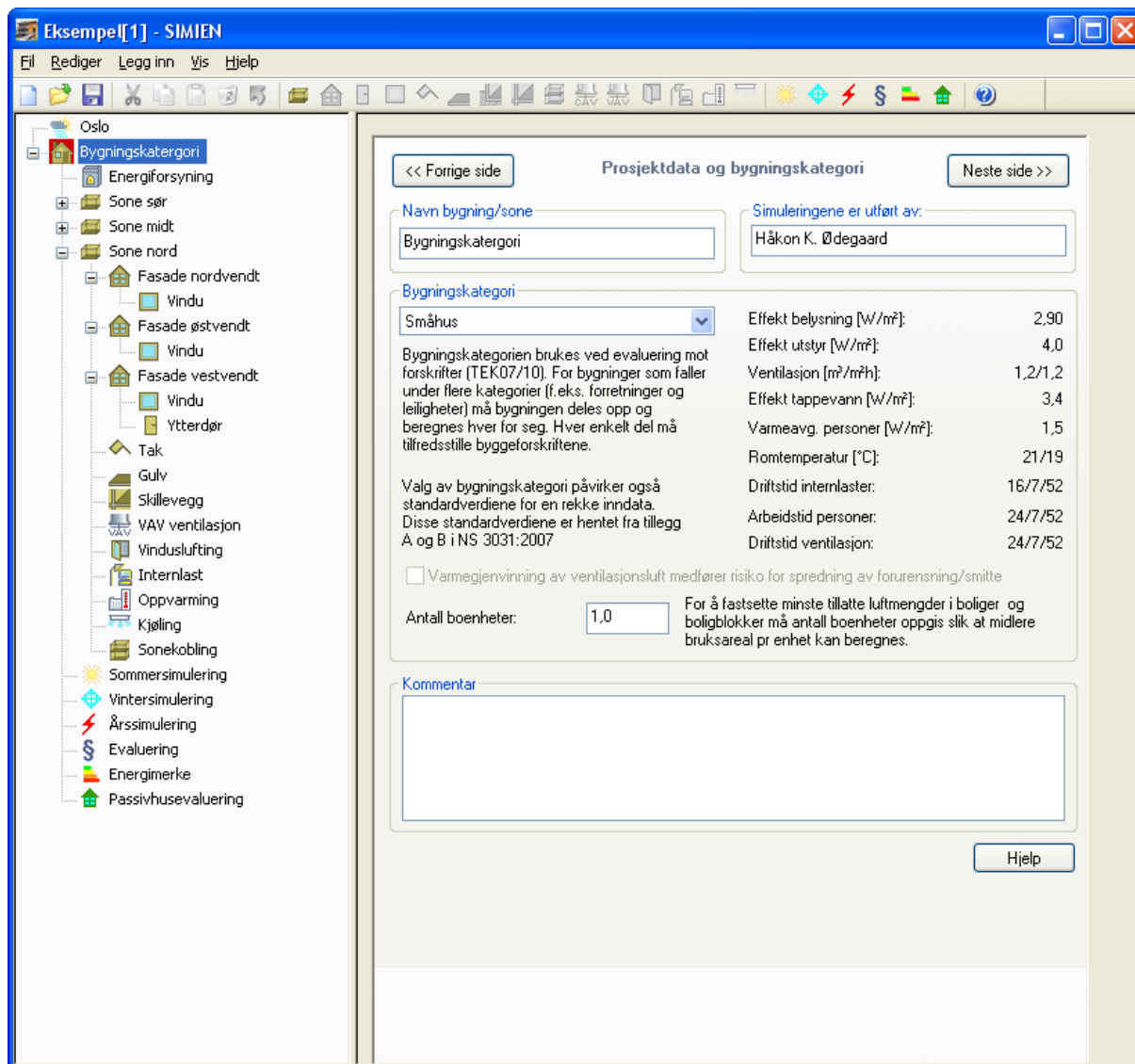
Simuleringsalternativ	Bruksområde
Årssimulering	Simulering av et helt kalenderår. Beregner netto energibruk (energibehov) og levert energi til bygningen. Varighetskurver for temperatur og effekt oppvarming/kjøling vises også.
Dimensjonerende vinterforhold	Simulering av 1-30 døgn i vinterhalvåret. Brukes vanligvis for å finne nødvendig effekt for romoppvarmingen og varmekabler i ventilasjonsanlegget.
Dimensjonerende sommerforhold	Simulering av 1-30 døgn i sommerhalvåret. Brukes vanligvis for å validere inneklima ved dimensjonerende sommerforhold samt dimensjonering av ventilasjonsanlegg og eventuell romkjøling.
Evaluering mot forskrifter	Bygningen sammenlignes mot teknisk forskrift (TEK). Det evalueres mot energiltak, energirammer og minstekrav.
Energimerking	Levert energi beregnes og bygningen gis en karakter (A-G). Resultatene benyttes for å få en offisiell energiattest
Passivhus/lavenergi	Bygningen evalueres mot lavenergi/passivhuskriterier. Evalueringen bygger på NS 3700 for boligbygninger og Prosjektrapport 42 for yrkesbygg. Standard for yrkesbygg er under utarbeidelse.

Kilde: (ProgramByggerne)

For å utføre simuleringene beskrevet i Tabell E.2-1 må man først bygge opp en modell som beskriver den bygningen, rommet eller sonen man ønsker å simulere tilstanden til. Dette er beskrevet i korte trekk i den følgende tekst.

G.1 PROSEDYRE

Det første man må gjøre er å opprette et nytt prosjekt, velge klimasted (eks. Oslo) og bygningstype (eks. bolig). Deretter velger man hvilke energikilder som dekker energibehovet til bygningen (eks. fjernvarme og el.). Når dette er gjort kan bygningsfysikken beskrives. Dette gjøres ved at man oppretter en ny sone som kan være et rom, flere rom eller hele bygning, se ytterligere forklaring på soneinndeling under. Det første man må definere er skjermingsklasse som beskriver i hvilken grad bygningen blir skjermet av vegetasjon og omliggende bygninger, samt fasadesituasjonen som man definerer om det er en eller flere vindusatte fasader. For hver sone må man beskrive bygningskroppen (vegger, tak, gulv, vinduer og dører), klimaanlegg, internlaster (belysning, utstyr, personer). Her legger man også inn bruttoareal (BRA), volum, lekkasjetall, møbleringsgrad, driftstid (dager/timer). For hver sone må også fasadene beskrives i detalj. For hver fasade legges det inn areal, himmelretning, varmelagringsevne, U-verdier, normalisert kuldebroverdi osv. I tillegg må fasadens vinduer og dører legges inn med tilhørende spesifikasjoner som areal (glass/karm), U-verdier, g-verdi (med og uten solskjerming) med mer. Klimaanleggene beskrives også detaljert med virkningsgrader, driftstider, effekter osv. Hvis det flere soner må man også legge inn sonekoblinger som beskriver den konstruksjonen som skiller to soner, gulv, vegg eller tak. I Figur G.1-1 presenteres et *screenshot* av programmet som viser et eksempel på en modell.



FIGUR G.1-1: SCREENSHOT FRA SIMIEN.

Til venstre i Figur G.1-1 kan man se trestrukturen over modellen som beskriver bygningen. Trestrukturen begynner øverst med klimasted, bygningskategori og energiforsyning. Under følger sonene med deres inndata. I dette eksemplet er bygget delt inn i tre soner; sør, midt, nord. Når modellen som beskriver bygget er ferdig kan man gjennomføre simuleringsalternativene beskrevet i Tabell E.2-1. Disse er nederst i trestrukturen til venstre.

G.2 SONEINNDELING

Med soneinndeling menes det at bygningen som ønskes simulert deles opp i rom eller soner. En sone kan være flere rom, en etasje, bygningsdeler med ulike klimainstallasjoner etc. Tilstanden i hver enkelt rom/soner beregnes med intervaller på 15 minutter (ProgramByggerne).

Inndeling av bygningen i soner gjøres etter metode beskrevet i kapittel 4.3 i NS 3031:2007 (Standard Norge , 2007). Her settes det krav om at bygningen deles inn etter følgende forhold:

- Flerfunksjonsbygninger
- Ulike tekniske installasjonssystemer som betjener forskjellige deler av bygningen
- Ulikt soltilskudd i forskjellige deler av bygningen
- Ulike interne varmetilskudd i forskjellige deler av bygningen

Dette betyr at hvis man ønsker å evaluere inneklima, dimensjonere klimaanleggene i tillegg til å beregne årlig energibruk bør man lage flere modeller med ulik soneinndeling. Som et minimum bør det simuleres et eller flere utsatte rom relatert til oppvarming om vinter og kjøling om sommer. Typiske rom vil da være nordvendt med store ytterflater for dimensjonering av varmeanlegg og sørvendt med store vindusarealer for kjøling. Simulering av utsatte rom vil også gi grunnlag for å vurdere inneklima. For vurdering av energibehovet til bygningen kan det være tilstrekkelig å simulere bygget som en sone. Dette vil ikke være tilstrekkelig hvis ulike klimasystemer betjener forskjellige deler av bygningen eller det er store forskjeller på internlaster/ soltilskudd i ulike deler av bygning (ProgramByggerne).

Mellom sonene bør det legges inn en sonekobling som beskriver hvordan sonene er koblet med hverandre. Det kan for eksempel være vegg, tak eller gulv som skiller de ulike sonene. For sonekoblinger må det også legges inn et akkumulerende sjikt. Hvis det finnes åpninger mellom sonene må disse også beskrives. Dette gjelder for våde permanente åpninger og dører/vinduer. For dører/vinduer må det anslås hvor mye de er åpne og tidsintervall for åpningen. Det er også mulighet for å legge inn et anslag av infiltrasjon, det vil si luftskifte mellom sonene på grunn av utettheter og lignende.

G.3 ALGORITMER OG BEREGNINGSMETODER

Algoritmer og beregningsmetoder baserer seg på metode beskrevet i NS3031 (Standard Norge , 2007). Dynamiske beregningsmetoder simulerer temperaturer, effektbehov og finner energibehovet ved å summere effektbehovet over en tidsperiode. I forhold til månedsstasjonære beregningsprogrammet kan derfor dynamiske beregningsmetoder simulere tidsavhengige prosesser som nattsinking, vinduslufting, automatisk solskjerming, behovsstyrt belysning osv. med tidskritt på for eksempel en time eller mindre. Behovsstyrte ventilasjonsanlegg, automatisk solskjerming osv. beregnes ut ifra belastning eller pådrag i hvert tidskritt.

Uteklima er forhåndsdefinert i programmet for ulike klimasteder, hvilket betyr at det ikke muligheter for å legge inn egne værdatafiler. For månedsstasjonær kontrollberegning mot offentlige krav benytter klimadata for et standardreferanseår som tilsvarer Oslo klima. For dynamiske beregninger benyttes lokale klimadata med timesverdier for utetemperatur, relativ fuktighet, vindhastighet, vindretning, direkte normal strålingsfluks, diffus horisontal strålingsfluks (Standard Norge , 2007). Lokal klimadata er forhåndsdefinert for utvalgte steder i Norge, samt noen i Danmark.

For å kunne vurdere inneklima blir utvalgte inneklimaparametere beregnet.

Inneklimaparameterne er lufttemperatur, operativ temperatur, CO₂-konsentrasjonen, relativ fuktighet. I tillegg blir PPD indeksen beregnet. PPD-indeksen baserer seg på inndataverdiene for

met- og clo-verdiene som legges inn under en egen fane kalt inneklima for sommer/vintersimuleringene.

G.4 VALIDERING

SIMIEN er validert etter valideringsprosedyren beskrevet i NS-EN 15625:2007. Dette er en standardmetode for å vurdere nøyaktigheten til dataprogrammer som beregner energibehovet til bygninger (ProgramByggerne).

Valideringsprosedyren består av å beregne romoppvarming og romkjøling for 12 cases. Resultatene sammenlignes med referanseverdier for hver enkelt case og det beregnes avvik ut i fra en gitt metode. Avhengig av størrelsen på avviket kan programmet oppnå karakter A, B eller C, hvor C er det laveste kravet. Kravet til dynamiske beregningsprogrammer som benytter metodene beskrevet i NS 3031:2007 er minimum C, det vil si det laveste kravet. For alle 12 cases oppnår SIMIEN B eller bedre (ProgramByggerne).

G.5 VERSJON

I dette prosjektet er det benyttet en uregistrert kopi (en demo) av versjon 5.004. I denne versjonen er det mulig å benytte en xml-fil (tekstfil) som inndata-fil. Dette har ikke vært mulig i tidligere versjoner. Versjon 5.004 er foreløpig bare en betaversjon, hvilket betyr at feil kan forekomme. Det ble gitt tilgang til denne versjonen av ProgramByggerne som er utviklerne av programvaren.

G.6 PARAMETERE SOM PÅVIRKES AV BRUKERNE

I SIMIEN er det over hundre inputparametere. Flere av disse er deterministiske verdier som for eksempel U-verdier. I Tabell G.6-1 presenteres stokastiske verdier som kan bli påvirket av brukerne.

TABELL G.6-1: OVERSIKT OVER PARAMETERE SOM PÅVIKES AV BRUKERNE

Områder	Inndatafaktor	Beskrivelse
Vindu	solar_factor	Total solskjerming for glassrute og eventuell solskjerming.
	solar_factor_shaded	Solfaktor når solskjermingen er aktivert. Brukes for dynamisk solskjerming. Verdien over angir da solfaktor når solskjermingen ikke er aktivert.
Ventilasjon	supply_air_on	Tilluft i driftstiden. Oppgis i kubikkmeter pr time pr oppv. gulvareal. Brukes bare for anlegg av typen Balansert.
	supply_air_off	Tilluft utenfor driftstiden.
	supply_air_holiday	Tilluft på dager uten drift.
	extract_air_on	Avtrekksmengde i driftstiden.
	extract_air_off	Avtrekksmengde utenfor driftstiden.
	extract_air_holiday	Avtrekksmengde på dager uten drift (helg, ferie)
	max_airflow	Maksimal luftmengde i driftstiden. Brukes bare ved anlegg av type VAV.
	min_airflow	Minimal luftmengde i driftstiden. Brukes bare ved VAV
	airflow_holiday	Luftmengde på dager uten drift (helg/ferie). Bare VAV
	airflow_outside	Luftmengde utenfor driftstiden (gjelder VAV)
	room_temp	Ønsket romtemperatur, når denne overskrides økes luftmengdene. Brukes bare ved anlegg av type VAV.
	CO ₂ _level	Maksimal ønsket CO ₂ -innhold i romluft, når denne overskrides økes luftmengdene. Brukes bare ved VAV
	supply_temp	Ønsket temperatur for tilluft.
	start_time	Starttidspunkt for drift ventilasjon.
	end_time	Sluttidspunktet for drift ventilasjonen.
Internlaster	power_lighting_on	Gjennomsnittlig effekt belysning i driftstiden. Det er effekt pr kvadratmeter oppvarmet gulvareal som skal oppgis.
	power_lighting_off	Gjennomsnittlig effekt belysning utenfor driftstiden.

	power_lighting_holiday	Gjennomsnittlig effekt belysning på dager uten drift.
	gain_lighting_on	Varmetilskudd belysning i driftstiden. Oppgis som en prosentandel av effekt belysning .
	gain_lighting_off	Varmetilskudd belysning utenfor driftstiden.
	gain_lighting_holiday	Varmetilskudd belysning på dager uten drift.
	lighting_on_time	Starttidspunkt for drift belysning
	lighting_off_time	Sluttidspunkt for drift belysning
	power_equipment_on	Gjennomsnittlig effekt utstyr i driftstiden.
	power_equipment_off	Gjennomsnittlig effekt utstyr utenfor driftstiden.
	power_equipment_holiday	Gjennomsnittlig effekt utstyr på dager uten drift.
	gain_equipment_on	Varmetilskudd utstyr i driftstiden.
	gain_equipment_off	Varmetilskudd utstyr utenfor driftstiden.
	gain_equipment_holiday	Varmetilskudd utstyr på dager uten drift.
	equipment_on_time	Starttidspunkt for drift utstyr
	equipment_off_time	Sluttidspunkt for drift utstyr
	power_tap_water_on	Gjennomsnittlig effekt for oppvarming av tappevann på driftsdager.
	power_tap_water_off	Gjennomsnittlig effekt for oppvarming av tappevann på dager uten drift.
	gain_tap_water_on	Varmetilskudd oppvarming av tappevann i driftstiden.
	gain_tap_water_off	Varmetilskudd oppv. av tappevann på dager uten drift.
	gain_persons_on	Varmetilskudd fra personer i arbeidstiden. Enheten er Watt per kvadratmeter oppvarmet gulvareal.
	gain_persons_off	Varmetilskudd fra personer utenfor arbeidstiden.
	gain_persons_holiday	Varmetilskudd fra personer på dager uten drift.
	gain-persons_on_time	Start arbeidstid.
	persons_off_time	Slutt arbeidstid.
heating	setpoint_temp_on	Ønsket romtemperatur i driftstiden.
	setpoint_temp_off	Ønsket romtemperatur utenfor driftstiden.
	on_time	Start driftstid.
	off_time	Slutt driftstid.
cooling	setpoint_temp	Ønsket romtemperatur i driftstiden.
	on_time	Start driftstid.
	off_time	Slutt driftstid.

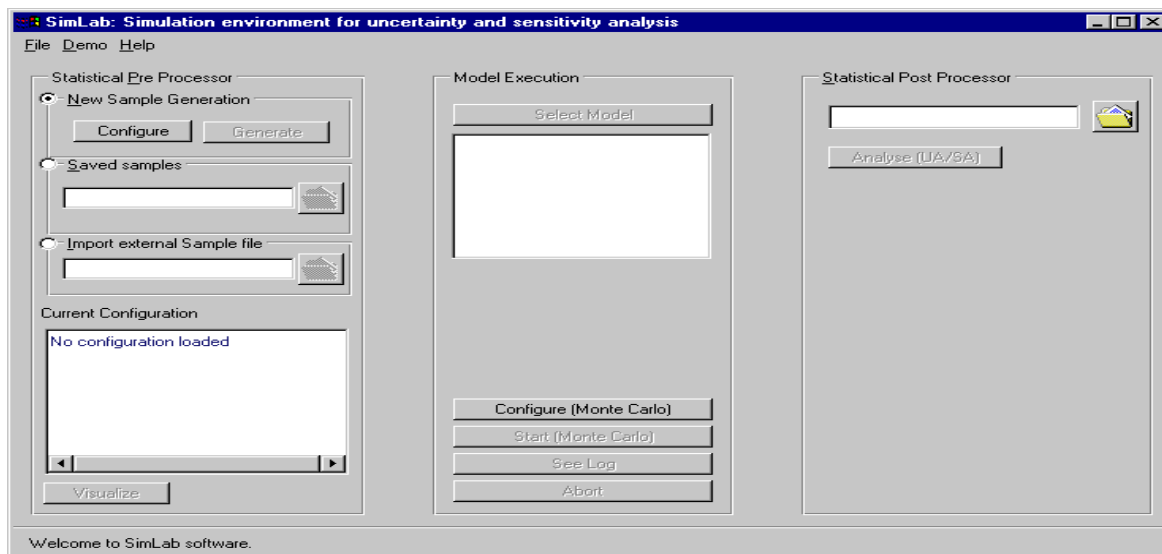
VEDLEGG H – SIMLAB

SimLab er et proffesjonelt hjelpeverktøy tiltenkt forskere, teknologer, økonomer og andre for å lære, bruke og utnytte teknikker for global usikkerhets- og sensitivitetsanalyse basert på Monte Carlo simuleringer. Monte Carlo baserte usikkerhets- og sensitivitetsanalyser gjennomfører gjentakende modellevalueringer med inndataparametere valgt fra sannsynlighetsdistribusjoner. Resultatene av modellevalueringene brukes til å bestemme usikkerheten i modellens forutsigelse (prediksjon) og bestemme hvilke inndatavariabler som ga denne usikkerheten. SimLab er finansiert og utviklet av enheten for økonometri og anvendt statistikk som er en del av EU-komisjonens forskningssenter (Unit of Econometrics and Applied Statistics of the Joint Research Centre (European Commission))

H.1.1 PROSEDYRE

Bruk av SimLab involverer fem steg (European Commissoin - IPSC, 2008) (Saltelli, et al., 2004).

- A. Først må det velges en variasjonsbredde og en sannsynlighetsdistribusjon for hver inndatavariabel. Det er viktig å benytte best mulig tilgjengelig data i dette steget da det vil ha stor innflytelse på resultatet av analysene.
- B. Det må lages en *sample* som er et utvalg av verdier hentet fra sannsynlighetsdistribusjonene for hver inndataparameter. Verdiene for inndataparameterne velges ut ifra antall modellevalueringer som skal kjøres og ved hjelp av ulike utvelgelsesmetoder som for eksempel Latin Hypercube, Morris, Random med fler. Det velges en verdi for hver inndataparameter til hver modellevaluering. Utvelgelsen av inndataverdier avhenger av hvilken utvelgelsesmetode som velges.
- C. Verdiene fra utvalget i steg B benyttes som inndata i modellen som produserer utdata. Modellen kjøres flere ganger med ulike inndata fra utvalget for hver gjennomkjøring slik at det også dannes ulike utdataverdier.
- D. Utdataverdiene funnet i steg C danner grunnlaget for usikkerhetsanalysen. Usikkerheten kan karakteriseres med for eksempel middelerdi og varians.
- E. Utdataverdiene funnet i steg C danner grunnlaget for sensitivitetsanalysen



Statistical Pre Processor
module

Model Execution
module

Statistical Post Processor
module

FIGUR G.6-1: SCREENSHOT AV DE TRE MODULER I SIMLAB 2.2 INTERFACE.

I SimLab er det tre moduler som dekker alle de fem stegene presentert over. I Figur G.6-1 ser man et *screenshot* av de tre modulene fra SimLab interface. Disse modulene er:

1. *The Statistical Pre Processor module*

Denne modulen dekker steg A og B. Her må distribusjonene og deres variasjonsbredde defineres og utvelgelsesmetode velges. Det dannes så et utvalg av verdier for inndataparameterne som benyttes videre.

2. *The Model Execution module*

Denne modulen kjører modellen for alle verdiene i utvalget av inndataparametere, som er steg C.

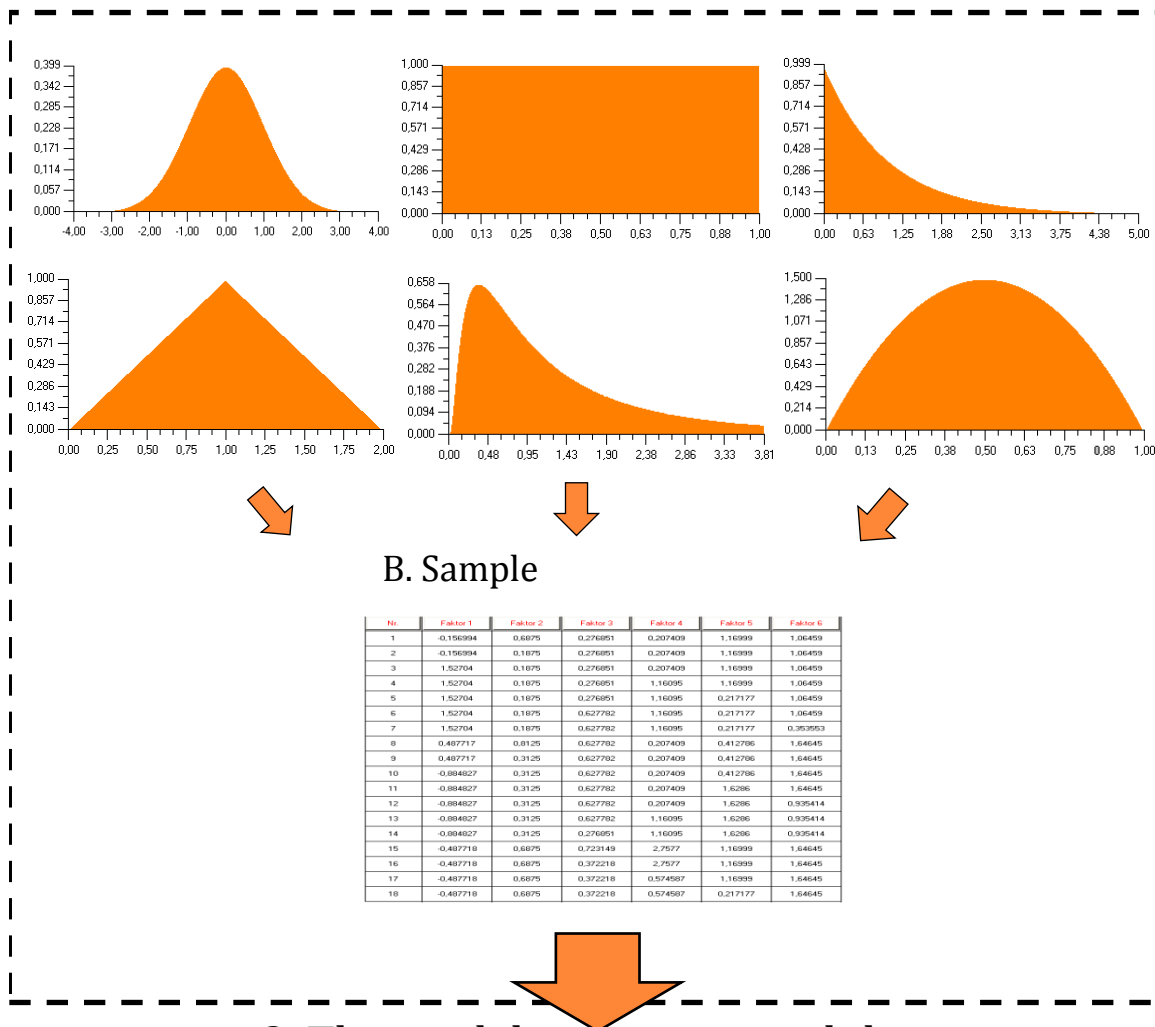
3. *The Statistical Post Process module*

I denne modulen gjennomføres usikkerhets- og sensitivitetsanalysene.

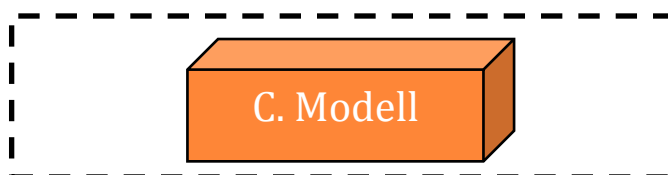
I Figur G.6-2 illustreres prosedyren for bruk av SimLab 2.2 med de tre moduler som inngår og de fem stegene som beskriver fremgangsmåten.

The Statistical Pre Processor module

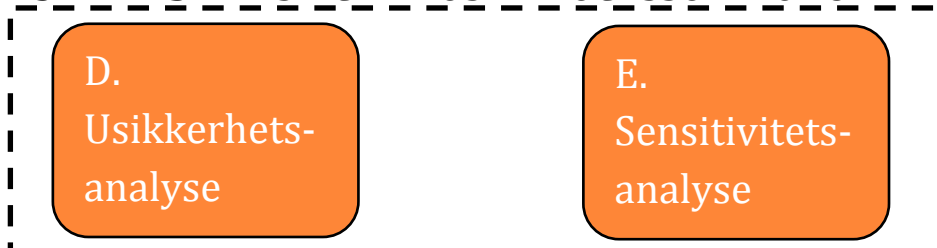
A. Sannsynlighetsdistribusjoner



2. The model execution module



3. THE STATISTICAL POST PROCESSOR MODULE



FIGUR G.6-2: PRINSIPPSKISSE OVER FREMGANGSMÅTEN I SIMLAB.

I Simlab har vi mulighet til å bruke følgende fordelinger:

- Normalfordeling
- LogNormal
- Uniform
- LogUniform
- Weibull
- Constant
- Exponetial
- Gamma
- Beta
- Triangulær
- Relation
- Diskrete

VEDLEGG I – BEREGNINGER MOT FORSKRIFTSKRAV FOR BYGNINGSMODELLENE

I dette vedlegget gjøres energi- og inneklimaberegninger som evalueres mot norske forskriftskrav. Beregninger mot forskriftskrav innebærer at en benytter de krav som stilles i Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10), samt de standardverdier som er gitt for å imøtekomme energikravene i TEK10 presentert i NS3031:2007/A1:2010, se Vedlegg D.

I.1 BEREGNING MED SMÅHUSMODELLEN

I.1.1 ENERGIBEREGNING

Figur I.1-1 er hentet fra SIMIEN og dokumenterer at småhusmodellen tilfredsstiller tiltakspakken i § 14-3 i TEK10.

Energitiltak (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	20,0	20,0
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,18	0,18
U-verdi tak [W/m²K]	0,13	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m²K]	0,15	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m²K]	1,20	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]	0,03	0,03
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	2,50	2,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	70	70
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m³/s]:	2,50	2,50

FIGUR I.1-1: INNDATAVERDIER FOR ENERGITILTAKENE I SAMMENLIGNET MED KRAVENE I TEK10.

Energigrammen med energibehov for ulike energiposter fremkommer av Figur I.1-2.

Energigramme (§14-4, samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	59,7 kWh/m²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	6,2 kWh/m²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m²
3a Beregnet energibehov vifter	7,3 kWh/m²
3b Beregnet energibehov pumper	0,0 kWh/m²
4 Beregnet energibehov belysning	11,4 kWh/m²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	17,5 kWh/m²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,0 kWh/m²
Totalt beregnet energibehov, sum 1-6	131,8 kWh/m²
Forskriftskrav netto energibehov	130,0 kWh/m²

FIGUR I.1-2: OVERSIKT OVER ENERGIBEHOV FOR ULIKE ENERGIFORMÅL. NEDERST KAN EN SE DET TOTALE ENERGIBEHOVET FOR HELE BYGNING.

Som en ser av Figur I.1-2 tilfredsstiller ikke småhusmodellen energirammen gitt i TEK10, siden det totalt beregnede energibehovet er 131,8 kWh/m²år mens forskriftskravet er 130,0 kWh/m²år for en bolig på 160 m². I Figur I.1-3 kan en se inndataverdier for småhusmodellens konstruksjoner sammenlignet med minstekravene i forskrift.

Minstekrav (§14-5)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,15	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,20	1,60
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	2,50	3,00

FIGUR I.1-3: VERDIER FOR MINSTEKRAV TIL BYGNINGSKONSTRUKSJONER

Som en ser i Figur I.1-3 er verdiene i småhusmodellen lavere enn minstekravene i TEK10. Figur I.1-1 - Figur I.1-3 viser at småhusmodellen oppfyller kravene i energitiltakspakken samt minstekravene, men at energirammen ikke er oppfylt. Figur I.1-4 gir en samlet oversikt over resultatene fra evaluering.

Resultater av evalueringen	
Evaluerings av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstiller kravene til energiltak i paragraf §14-3
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller ikke energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstiller krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav

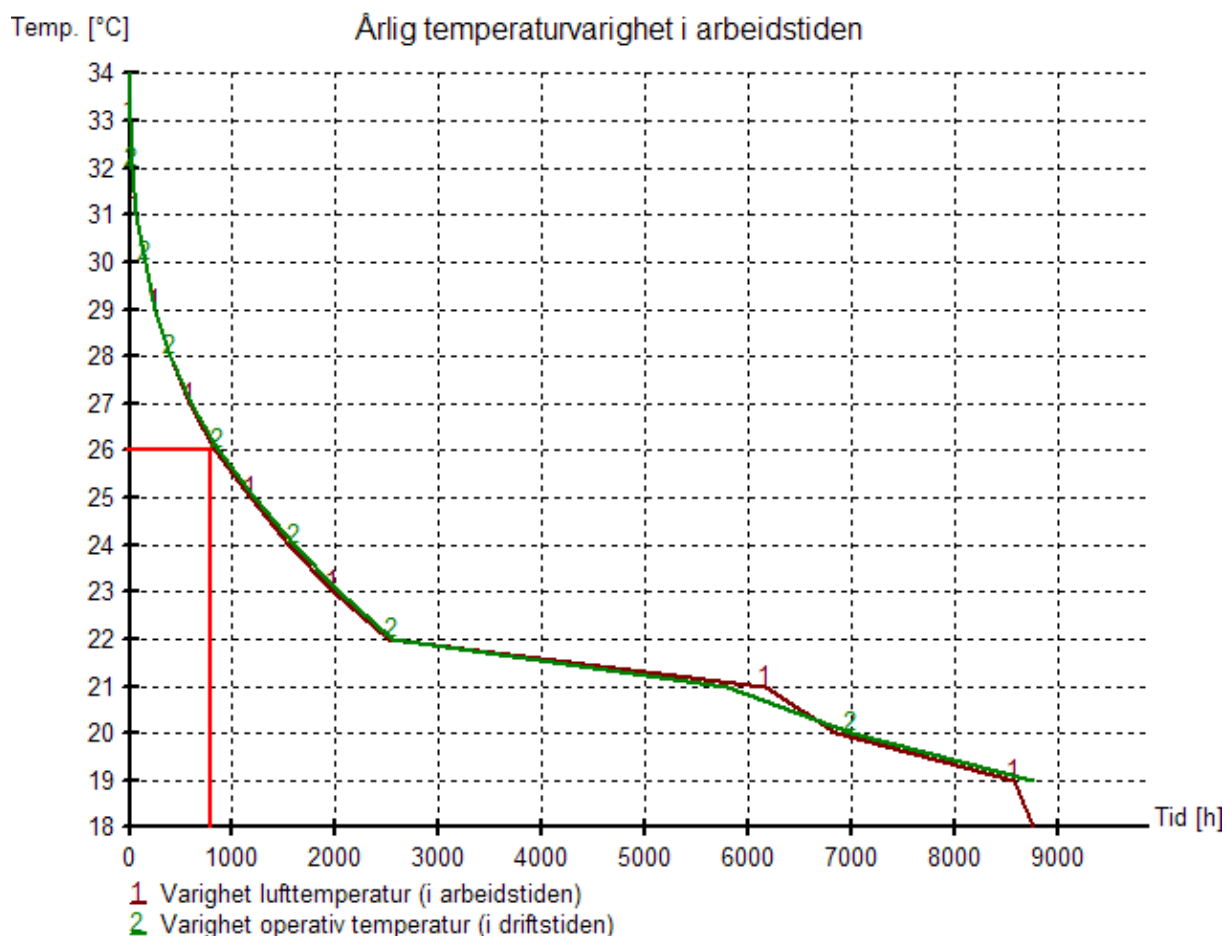
FIGUR I.1-4: RESULTATER AV EVALUERINGEN MOT NORSKE FORSKRIFTSKRAV.

Fra Figur I.1-4 kan en se at bygningsmodellen tilfredsstiller byggeforskriftens energikrav, selv om modellen ikke oppfyller energirammen. Dette er fordi energirammen ikke trenger å være oppfylt så lenge energitiltakspakken og minstekravene er innenfor kravene i TEK. Energirammen overskrider imidlertid kun med 1,8 kWh/m²år.

I.1.1.1 INNEKLIMABEREGNING

SIMIEN gjør beregninger av termiske forhold med operativ temperatur i sonen, samt atmosfæriske forhold med CO₂-konsentrasjon som en indikator.

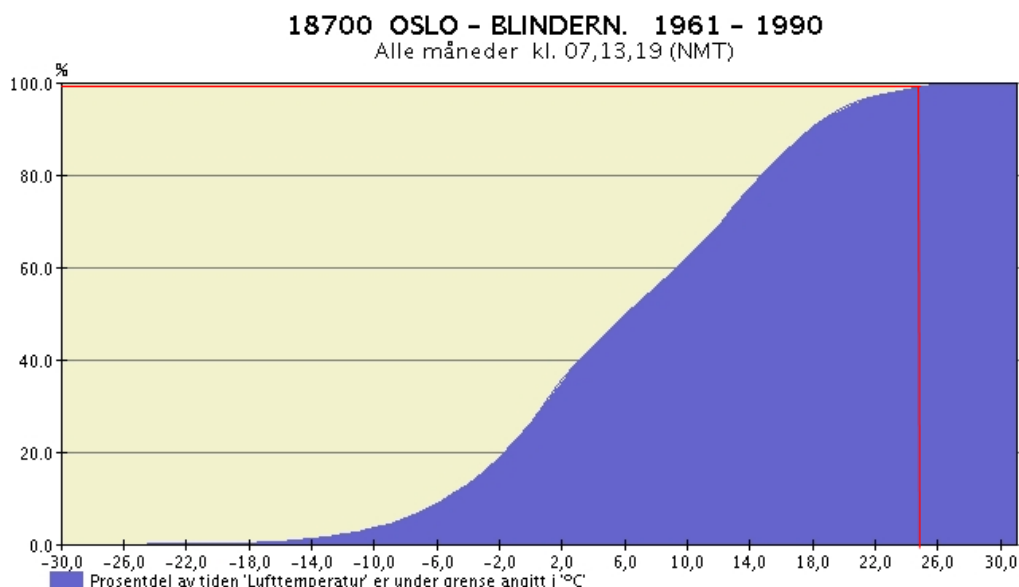
Da det ble gjennomført en evaluering mot forskriftene informerte SIMIEN at temperaturene i boligen ble over 26 °C i perioden og at en nærmere undersøkelse relatert til inneklima burde gjennomføres. Figur I.1-5 gir en kumulativ fremstilling av temperaturvarigheten i driftstiden for småhusmodellen.



FIGUR I.1-5: ÅRLIG TEMPERATURVARIGHET I DRIFTSTIDEN FOR SMÅHUSMODELLEN.

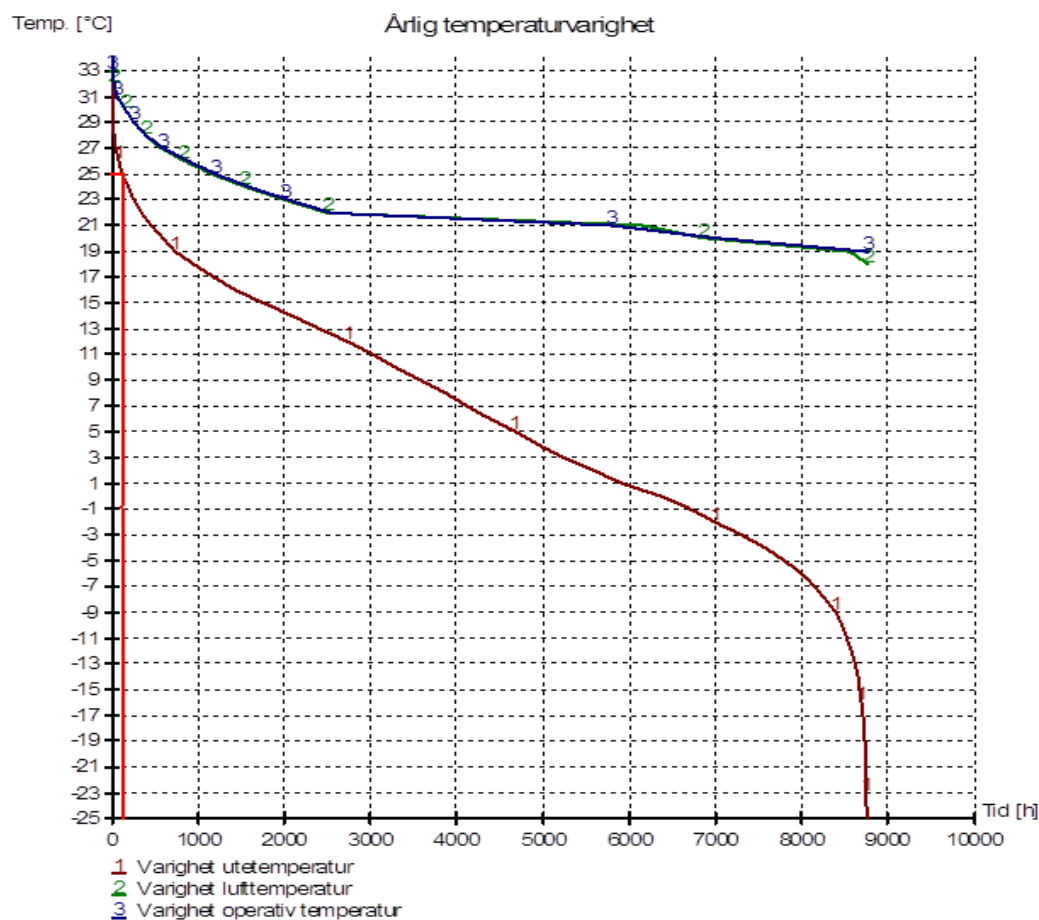
Som det fremkommer av Figur I.1-5 vil temperaturen bli høy i driftstiden i perioder av året. Den operative temperaturen bør ikke overskride 26 °C i driftstiden, men i småhusmodellen viser årssimuleringen derimot at den operative temperaturen vil overskride 26 °C og 27 °C i henholdsvis 869 timer og 598 timer i driftstiden for et simuleringsår.

I følge TEK10 § 13-4 bør overskridelsen av en operativ temperatur på 26 °C kunne aksepteres i sommerperioder med utelufttemperatur over den som overskrider med 50 timer i et normalår. Fra metrologisk institutt kan man bestille værdata fra gjeldende normalperiode 1961-1990. Problemet er at når man bestiller en kumulativ kurve for lufttemperatur over normalperioden for Oslo er det kun tre målepunkter per døgn tilgjengelig, henholdsvis kl. 07.00, 13.00 og 19.00. Det er likevel valgt å benytte disse dataene som en indikasjon på hvilken utetemperatur som overskrider med 50 timer i et normalår. Figur I.1-6 viser den kumulative lufttemperaturkurven over gjeldende normalperiode.



FIGUR I.1-6: KUMULATIV TEMPERATURKURVE OVER GJELDENDE NORMALPERIODE 1961-1990.

50 timer tilsvarer 0,6 % av tiden i et år og ut i fra den kumulative fordelingen i Figur I.1-6 kan man se at temperaturen er over ca. 25 °C for 0,6 % av tiden. Dette kan sammenlignes med den kumulative temperaturfordelingen for et simuleringsår i SIMIEN som er presentert i Figur I.1-7.



FIGUR I.1-7: KUMULATIV UTENDØRSTEMPERATURFORDELING FRA SIMIEN.

Figur I.1-7 viser at utetemperaturen for årssimuleringen i SIMIEN overskrider 25 °C i 128 timer i løpet av et år. Dette indikerer at utetemperaturen i SIMIEN kan være høyere i enkelte perioder enn for et normalår. Det er ikke tatt høyde for at disse timene er i boligens driftstid. En overskridelse av 26 °C for 869 timer i driftstid er likevel for høyt og indikerer at det termiske inn klima ikke er akseptabelt, samt at TEK10 § 13-4 som setter krav til timer med temperaturer over 26 °C ikke er oppfylt. Dette er å anse som en svakhet for modellen som blir benyttet.

I.2 BEREGNING MED BOLIGBLOKKMODELLEN

I.2.1 ENERGIBEREGNING

Figur I.2-1 er hentet fra SIMIEN og dokumenterer at blokkhusmodellen tilfredsstiller tiltakspakken i § 14-3 i TEK10.

Energitiltak (§14-3)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	20,0	20,0
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,18	0,18
U-verdi tak [W/m²K]	0,13	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m²K]	0,15	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m²K]	1,20	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]	0,06	0,06
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	1,50	1,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	70	70
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m³/s]:	2,50	2,50

FIGUR I.2-1: BOLIGBLOKKMODELLENS INNDATA FOR ENERGILTAK, JF. §14-3. I TEK10.

I Figur I.2-2 kan en se resultatet av beregnet energibehov for bygning og for ulike energiformål.

Energiramme (§14-4, samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	36,3 kWh/m²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	7,2 kWh/m²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m²
3a Beregnet energibehov vifter	8,9 kWh/m²
3b Beregnet energibehov pumper	0,0 kWh/m²
4 Beregnet energibehov belysning	11,4 kWh/m²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	17,5 kWh/m²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,0 kWh/m²
Totalt beregnet energibehov, sum 1-6	111,1 kWh/m²
Forskriftskrav netto energibehov	115,0 kWh/m²

FIGUR I.2-2: OVERSIKT OVER ENERGIBEHOV FOR ULIKE ENERGIFORMÅL. NEDERST KAN EN SE DET TOTALE ENERGIBEHOVET FOR HELE BYGNING.

Som en ser av Figur I.2-2 er energibehovet til bygningen 111,1 kWh/m²år, som betyr at bygningen tilfredsstiller energirammen siden forskriftskravet er på 115 kWh/m²år. I Figur I.2-3 dokumenteres det at minstekravene som er gitt i TEK10 er overholdt.

Minstekrav (§14-5)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,15	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,20	1,60
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	1,50	3,00
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,24	0,24

FIGUR I.2-3: VERDIER FOR MINSTEKRAV I BOLIGBLOKKMODELLEN.

Det fremkommer av Figur I.2-3 at boligblokken har lavere eller like verdier som minstekravene i TEK10.

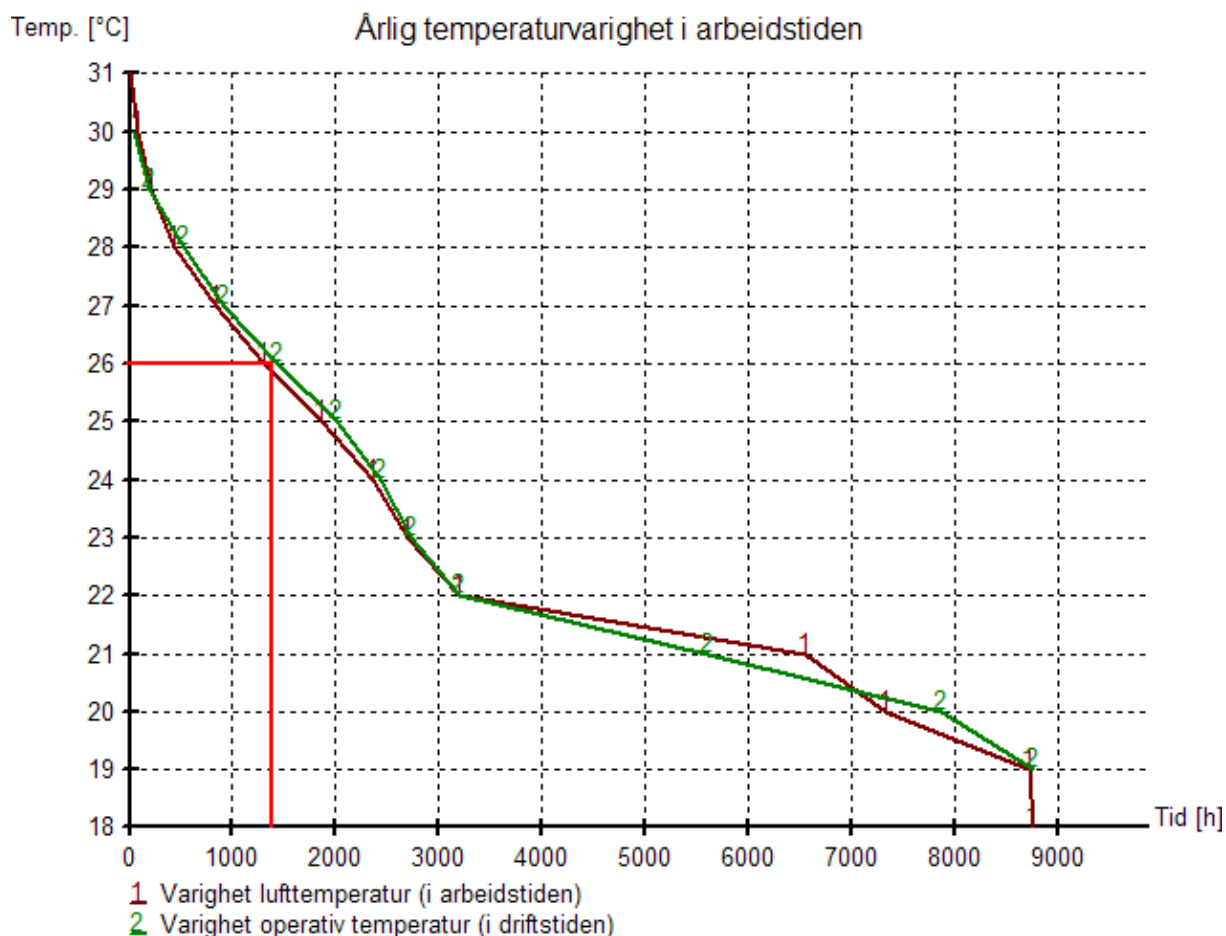
Som vi har sett fra Figur I.2-1 - Figur I.2-3 er det dokumentert at bygningsmodellen tilfredsstiller de krav som stilles i § 14-3, § 14-4, § 14-5 og § 14-7. Dette oppsummeres i Figur I.2-4: resultater fra evaluering mot forskriftskrav og krav til luftmengder, samt en samlet evaluering. Figur I.2-4 hvor en fra den samlede evaluering (nederst) ser at bygningen tilfredsstiller byggeforskriftens energikrav.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstiller kravene til energiltak i paragraf §14-3
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller omfordeling energiltak (varmetapstall) iht. §14-3
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller energirammen iht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstiller krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftens energikrav

FIGUR I.2-4: RESULTATER FRA EVALUERING MOT FORSKRIFTSKRAV OG KRAV TIL LUFTMENGDER, SAMT EN SAMLET EVALUERING.

I.2.1.1 INNEKLIMATESTREGNING

Det viste seg også da det ble gjennomført en evaluering mot forskriftene for boligblokkmodellen at temperaturene i boligen ble over 26 °C i perioden og at en nærmere undersøkelse relatert til inneklimatestregning burde gjennomføres. Figur I.2-5 gir en kumulativ fremstilling av temperaturvarigheten i driftstiden for boligblokkmodellen.



FIGUR I.2-5: ÅRLIG TEMPERATURVARIGHET I DRIFTSTIDEN FOR BOLIBLOKKMODELLEN.

Som en ser av Figur I.2-5 overskrider den operative temperaturen i boligblokken 26 °C i større perioder av året. Beregninger viser at temperaturen i boligblokken overskrider 26 °C og 27 °C henholdsvis 1434 timer og 911 timer i driftstiden.

VEDLEGG J – TEORI FOR BENYTTET STATISTIKK

J.1 SANNSYNLIGHETSDISTRIBUSJONER

Sannsynlighetsfordelinger brukes til å beskrive hvordan stokastiske variabler, eksempelvis tilfeldige utvalg fordeler seg. Et enkelt utvalg kan ikke forutsies, men en sannsynlighetsfordeling sier noe om sannsynligheten for at utfallet vil inntreffe og hvordan verdiene i et større utvalg normalt vil fordele seg.

Hvilken som helst funksjon som oppfyller

En tetthetsfunksjon til en kontinuerlig stokastisk variabel beskriver sannsynligheten for at en variabel skal anta verdien mellom a og b gjennom formelen.

J.1.1 UNIFORM SANNSYNLIGHETSFORDELING

En uniform sannsynlighetsfordeling er en fordeling hvor alle utfall er like sannsynlige. Tetthetsfunksjonen til en uniform fordeling av en stokastisk variabel er gitt ved (Ayyub, et al., 2003),

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} \\ 0 \end{cases}$$

For $a \leq x \leq b$ eller lik null og hvor a og b er virkelige verdier og $a < b$. Tetthetsfunksjonen til en uniform fordeling har en konstant verdi lik $\frac{1}{b-a}$, som betyr at arealet under tetthetsfunksjonen er lik en. Forventningsverdien og standardavviket er gitt ved,

$$\mu_x = \frac{a+b}{2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(b-a)^2}{12}}$$

J.1.2 NORMALFORDELING

Normalfordelingen til en variabel antar en verdi som ligger nær middelveiden, sjelden med stor avvikelse. En normalfordeling angis ved forventningsverdien, μ , og standardavviket, σ . Variasjonskoeffisienten beskriver variasjonen i forhold til forventningsverdien er gitt ved,

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu}$$

Tetthetsfunksjonen til en normalfordeling av en stokastisk variabel er gitt ved (Ayyub, et al., 2003),

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right)$$

For $-\infty < x < \infty$. En vanlig notasjon for normalfordelingen er $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ som beskriver at den stokastiske variabelen X er normalfordelt med middelværdien μ , og variansen σ^2 .

J.1.3 LOG-NORMALFORDELING

Logaritmisk normalfordeling brukes på asymmetriske datasett med kun positive verdier. En vilkårlig variabel er antatt å ha en log-normalfordeling hvis $Y = \ln(x)$ har en normal sannsynlighetsfordeling, hvor $\ln(x)$ er den naturlige logaritmen til basen e . Tetthetsfunksjonen til en log-normalfordeling er gitt ved (Ayyub, et al., 2003),

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_Y}{\sigma_Y}\right]^2\right)$$

For $0 < x < \infty$, hvor μ_Y og σ_Y er parameterne. En vanlig notasjon er $X \sim \text{LN}(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ som beskriver at den stokastiske variabelen X er log-normalfordelt med parameterene μ_Y og σ_Y^2 .

Forutsetninger for log-normalfordelingen er:

1. Alle verdiene for den stokastiske variabelen X er positive
2. $f_x(x)$ er ikke en symmetrisk tetthetsfunksjon om middelværdien μ_x .
3. Middelværdien μ_x , og variansen σ_x^2 er ikke lik parameterne til fordelingen (μ_Y og σ_Y^2), men de må være relatert etter følgende forutsetninger,

$$\sigma_Y^2 = \ln\left[1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right]$$

$$\mu_Y = \ln(\mu_x) - \frac{1}{2}\sigma_Y^2$$

Som kan bli invertert til følgende uttrykk,

$$\mu_x = \exp\left(\mu_Y + \frac{1}{2}\sigma_Y^2\right)$$

$$\sigma_x = \mu_x^2 [\exp(\sigma_Y^2) - 1]$$

J.1.4 BETA-FORDELING

Tetthetsfunksjonen til en beta fordeling er gitt ved (Ayyub, et al., 2003) ,

$$f_x(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \cdot \frac{1}{b-a} \cdot \left[\frac{x-a}{b-a} \right]^{\alpha-1} \cdot \left[\frac{b-x}{b-a} \right]^{\beta-1}$$

Hvor middelveiden og standardavviket er gitt ved (Ayyub, et al., 2003),

$$\mu_x = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \cdot (b - a)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta + 1) \cdot (\alpha + \beta)^2} \cdot (b - a)^2}$$

VEDLEGG K – SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR SCREENINGANALYSE

Energibruken til en bolig vil alltid variere på grunn av påvirkning fra stokastiske variabler. Det vil være seg klimatiske forhold, beboernes bruksmønster, variasjoner i konstruksjoner knyttet til blant annet varierende kvalitet i håndverk, osv.

De klimatiske forholdene som påvirker energibruken blir tatt høyde for i beregningene ved de ulike værdataene som benyttes i beregningen. I SIMIEN er det mulighet for å velge flere klimasteder for beregningene, men det er ikke muligheter for å legge inn egne værdatafiler.

Variasjoner i konstruksjonsrelaterte forhold, som for eksempel u-verdier, vil påvirke energibruken. Variasjoner som skyldes forhold som ikke påvirkes av brukerne ligger utenfor dette prosjektets rammer og vil derfor behandles som deterministiske verdier.

Sannsynlighetsfordelinger av ulike brukeravhengige stokastiske inndatafaktorer gir grunnlaget for simulering av brukeratferds påvirkning på en boligs energibruk. I dette vedlegget presenteres de valgte inndatafaktorenes fordelinger samt de undersøkelser og målinger som ligger til grunn for utarbeidelsen av fordelingene. Anskaffelse av relevant underlagsdata har vært utfordrende fordi det rett og slett finnes lite målinger, både fra Norge og land med lignende forutsetninger. De sannsynlighetsfordelinger som utarbeides i det påfølgende kapittelet velges etter beste skjønn ut ifra litteratur, erfaringer og forutsetninger som er kjent.

De sannsynlighetsfordelinger som utarbeides i dette vedlegget vil danne grunnlag for en screeninganalyse. Fordelingene vil legges inn i Simlab for å generere ulike samples som benyttes som inndata til simuleringene i SIMIEN. Det er derfor viktig at de sannsynlighetsfordelinger som velges samsvarer med en av de 12 fordelingsalternativer som finnes i Simlab. Ytterligere undersøkelser vil være nødvendig etter screeninganalysen når de sensitive inndatafaktorer er avdekket.

K.1 VARMEAVGIVELSE FRA PERSONER

Varmeavgivelse fra personer påvirker energibalansen i en bolig samt det termiske inn klima. I SIMIEN kan dette varmetilskuddet legges inn per kvadratmeter bruttoareal (BRA), som W/m^2 . Størrelsesordenen på varmetilskuddet fra personer i en bolig avhenger av antallet personer og deres gjennomsnittlige aktivitetsnivå i brukstiden.

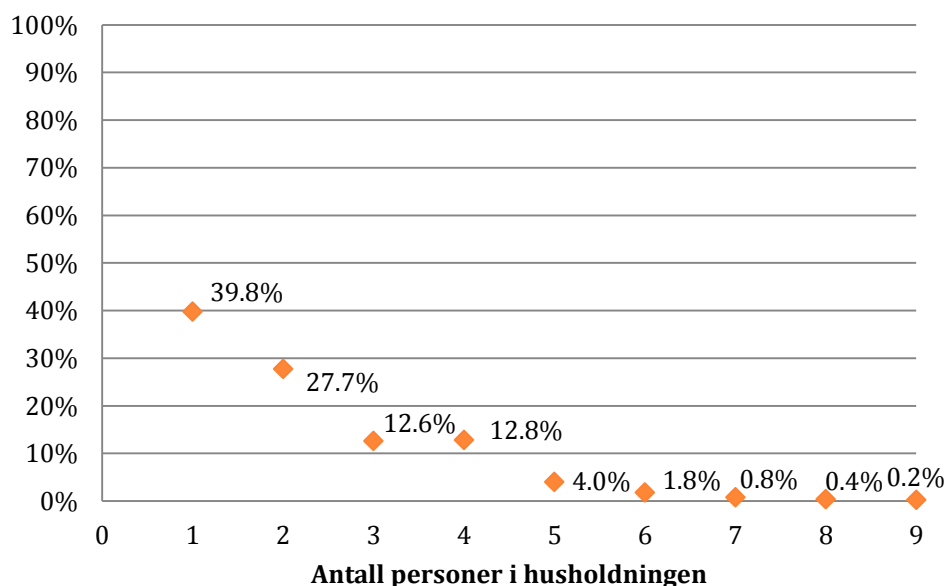
K.1.1.1 ANTALL PERSONER

I henholdt til Statistisk Sentralbyrå var det den 01.01.10 gjennomsnittlig 2,2 personer per privathusholdning i Norge (Standard Norge, 2010). Den prosentvisfordeling fremkommer i Tabell K.1-1.

TABELL K.1-1: PRIVATHUSHOLDNINGER OG PERSONER I PRIVATHUSHOLDNING I NORGE ETTER HUSHOLDNINGSSTØRRELSE (STANDARD NORGE, 2010).

Husholdningsstørrelse	Andel av Norges befolkning	Andel av alle privathusholdninger i Norge
1 person	17,9 %	39,8 %
2 personer	25,0 %	27,7 %
3 personer	17,0 %	12,6 %
4 personer	23,0 %	12,8 %
5 personer eller flere	17,1 %	7,2 %

Det kan ses av Tabell K.1-1 at det ikke foreligger noen tilgjengelig prosentvis fordeling over de husholdninger med flere enn fem beboere. Det er derfor antatt en fordeling for de husholdninger som er større enn fem opp til 9 personer per husholdning. Denne fordelingen kommer frem av den diskrete fordelingen i Figur K.1-1.



FIGUR K.1-1: DISKRETE FORDELING AV HUSHOLDNINGSSTØRRELSENE I NORGE.

Fordelingen i Figur K.1-1 vil benyttes videre som underlag for beregning av inndatafaktoren for varmeavgivelsen fra personer. Det vurderes at en diskret fordeling gir mest korrekt gjengivelse av de faktiske forhold sammenlignet med en simultan fordeling, siden det ved en simultanfordeling kan velges verdier som ikke er heltall.

K.1.1.2 AKTIVITETSNIVÅ OG BRUKSTID

Aktivitetsnivået er avgjørende for varmeproduksjonen i kroppen og derav for varmeavgivelsen. I en bolig utføres mange aktiviteter med svært ulikt aktivitetsnivå. Aktivitetsnivået angis i den relative enheten *met*, som er uttrykk for stoffskifte (metabolismen, *M*) i menneskekroppen per kroppsoverflateareal (Hansen, et al., 2006). 1 *met* = 58,15 W/m². Metabolismen er gitt ved Formel 14.

FORMEL 14

$$M = met \cdot 58,15$$

Eksempelvis tilsvarer kontorarbeid 1,2 *met* som svarer til en varmeavgivelse 70 W/m², eller ca. 126W for en voksen person som har et kroppsoverflateareal (*Du-Bois-Areal*) på ca. 1,8m². Aktivitetsnivå i en bolig strekker seg fra typisk 0,8 *met* (liggende, sovende) til 2,0 *met* (husarbeid), som for en voksen person tilsvarer et intervall henholdsvis fra 83-208 W/person. I NS3031 benyttes 1,5 W/m² oppvarmet BRA når det gjøres kontrollberegninger mot offentlige krav i Norge (Standard Norge, 2007). Hvis en tar utgangspunkt i en bolig på 160 m² og gjennomsnittlig husholdningsstørrelse på 2,2 personer tilsvarer dette 1.04 *met* for en voksen person.

Standard driftstid for personer er i henholdt til tabell A.3 i NS3031:2007/A1:2010 (Standard Norge, 2007) 24 timer i døgnet, hele året for småhus og boligblokker. Dette representerer nok i de fleste sammenhenger ikke de faktiske forhold. Resultatene av en spørreundersøkelse presentert i rapporten *Usikkerhet ved energibruket i Danmark* (Simonsen og Sørensen, 2007) viser at beboerne i åtte boliger fra samme boligområde i Holstebro i Danmark har en varierende brukstid av boligen på 10-18 timer i døgnet.

Det gjennomsnittlige aktivitetsnivået gjennom en dag kan, med utgangspunkt i en brukstid på 12 timer, være tilsvarende eksempelet i Tabell K.1-2.

TABELL K.1-2: EKSEMPEL PÅ BRUKSTID OG AKTIVITETSNIVÅ GJENNOM ET DØGN

Aktiviteter	timer	met	W/m ² kroppsoverflateareal	W
Ikke hjemme (jobb, skole aktiviteter)	10			
Sov	8	0,80	46	83
Sittende, avslappet	2	1,00	58	104
Sittende, rolig aktivitet	2	1,20	70	126
Stående, aktivitet (husarbeid)	2	2,00	118	212
Vektet gjennomsnitt		1,06	61	111

Hvis en igjen tar utgangspunkt i en bolig på 160 m² og en gjennomsnittlig husholdningsstørrelse på 2,2 personer, i tillegg til å vekte avgitt effekt med brukstiden på 14 timer vil eksempelet presentert i Tabell K.1-2 tilsvare 1,5 W/m² BRA.

Inndata til SIMIEN for varmeavgivelsen fra personer kan beregnes med utgangspunkt i Formel 14 og antall personer fra fordelingen i Figur K.1-1 samt boligens BRA,

$$\phi = \frac{M \cdot A_{DU} \cdot pers.}{A_{BRA}}$$

hvor,

M	Metabolismen, [W/m ²], ($met \cdot 58,15$) W/m ²
A_{du}	Du-Bois-areal, [m ²], for en voksen person $A_{du} \approx 1,8$ m ²
$pers.$	Antall personer, [-]
A_{BRA}	Bruttoareal, [m ²]

Siden det i standarden antas en brukstid på 24 timer i døgnet, mens det i realiteten sannsynligvis er lavere i mange tilfeller er det valgt å bruke en avgitt effekt på 90W per person som inndata i SIMIEN for screeninganalysen. Dette tilsvarer ca. 0,86 met for en voksen person eller 1,24 W/m² BRA hvis en tar utgangspunkt i en bolig på 160 m² og en husholdningsstørrelse på 2,2 personer.

K.2 SETTPUNKT PÅ ROMOPPVARMING

Romoppvarming er en sentral post i en boligs energibudsjett og settpunkttemperaturen er derfor en signifikant inndatafaktor ved beregning av boligens totale energibruk. I tabell A.3 i NS3031 angis standardverdier for settpunkttemperaturen til henholdsvis 21°C i driftstiden og 19°C utenfor driftstid når det gjøres kontrollberegninger mot offentlige krav i Norge (Standard Norge, 2007). Disse settpunkttemperaturene representerer nødvendigvis ikke realistiske verdier.

Fordelingen for settpunkt på romoppvarming utarbeides med bakgrunn i målinger av innetemperatur fra flere måleprosjekter. Det er dessverre ikke lyktes å fremskaffe måledata fra norske boliger, men det foreligger måledata fra undersøkelser i Danmark, Sverige, Tyskland, Østerrike og Sveits. Måledataen strekker seg over et stort geografisk område, men det anses likevel representativt siden alle målinger av innendørstemperaturen som ligger til grunn er gjennomført i perioder med oppvarmingsbehov for de respektive steder. I tillegg er velstandsnivået i de landene hvor målingene er gjennomført på høyde med Norges, samt at de økonomiske og sosiale forhold er tilsvarende. Kravene til termisk komfort bør derfor kunne sammenlignes med nordmenns komfortkrav.

K.2.1 UNDERSØKELSER MED MÅLINGER FRA DANMARK

I SBI – rapport 29 (Gram-Hanssen, 2003), *Boligers energiforbrug – sociale og tekniske forklaringer på forskelle*, er det målinger av romtemperatur i 32 rekkehus i Albertslund Kommune i Danmark, henholdsvis i boligområdene Stadionparken og VA Rækkehusene. Stadionparken består av toetasjes rekkehusbebyggelse fra 1970-tallet. Alle boenhetene har et areal på ca. 170 m² inkludert kjeller. Beboerne er hovedsakelig middelaldrene ektepar med barn

som har flyttet hjemmefra. VA Rækkehusene er elementbygg som er blitt renoveret flere ganger siden de ble bygget på starten av 1960-tallet. Alle rekkehusleilighetene er identiske med et areal på 98 m². Boligområdet regnes som et sosialt belastet område. De 32 boenhetene det er gjort målinger på er valgt slik at det er et vidt spenn på forbruket av varme. Målingene er foretatt med et tidsintervall på en halvtime i en to ukers måleperiode. Min.-, maks.-, og gjennomsnittstemperaturen i første etasje for alle boenhetene samt standardavviket er presentert i Tabell K.2-1.

TABELL K.2-1: INNTEMPEARTURER I 1. ETASJE FOR ALLE BOENHETER

Verdi	Stadionparken °C	VA-rækkehuse °C
Gjennomsnitt	20.2	20.9
Minimum	18.5	18.9
Maksimum	22.4	22.6
Std. avvik	1.1	1.1

I rapporten R025 (Kristiansen, 2000), *Lavenergirækkehuse IEA – Task 13 Målinger og beregninger*, er det gjennomført temperaturmålinger på to lavenergiboliger som ligger i Kolding Kommune i Danmark. De to boligene som har et areal på 87 og 89 m² for henholdsvis nr.34 og nr.56 i boligområdet som består av rekkehus. Det var 2-3 beboere i nr.34 under måleperioden, mens det var to beboere i nr.56. Det er utført lufttemperaturmålinger i 10 forskjellige steder i rekkehusene i henholdsvis desember 1997 og februar 1998. Gjennomsnittstemperaturen fra alle målepunkter i en kortere periode hvor utendørstemperaturen har vært stabil og solinnskuddet minimalt blir ansett å være lik settpunkttemperaturen for romoppvarmingen i de to boligene. Settpunktene ble funnet til å være 22,5 °C og 23,6 °C for henholdsvis nr.34 og nr.56.

I tre prosjekter rapportert fra Danmarks Tekniske Universitet, DTU, er det gjennomført målinger på høyisolerte enfamiliehus. I prosjektene *BYG-DTU R023* (Rose, 2002), *BYG-DTU R097* (Tommerup, 2004a) og *BYG-DTU R098* (Tommerup, 2004b) er det gjennomført temperaturmålinger i 10 målepunkter i hver av de utvalgte eneboliger. Gjennomsnittstemperaturen for de 10 målepunkter i måleperiodene ble funnet til å være henholdsvis 21,7 °C, 22,8 °C og 23,1 °C. Et tilsvarende prosjekt, *BYG-DTU R166* (Tommerup, 2007), er utført av samme fakultet hvor temperaturmålinger er gjort før og etter energirenovering av en enebolig. Gjennomsnittstemperaturen i huset før energirenoveringen var 20,1 °C, mens den etter energirenoveringen var 21,9 °C.

I (Simonsen og Sørensen, 2007), er det gjort målinger av temperatur er gjort på åtte utvalgte rekkehus i Holsterbro i Danmark fra uke 37 i 2006 til uke 17 i 2007. Det er gjort temperaturmålinger i flere rom og det viser seg at det generelt er en temperaturdifferanse på 3-4 °C i mellom rommene i boligen. Settpunkttemperaturen til oppvarmingssystemet er funnet ved å omregne alle målinger til en temperaturfordeling av ukemiddeltemperaturen og så tatt middeltemperaturen av denne fordelingen.

Det Grønne Hus har i samarbeid med SBI gjennomført målinger på ni paracelhus i Køge Kommune i forbindelse med erfaringsoppfølging på lavenergibygget i Danmark. Tabell K.2-2 viser gjennomsnittstemperatur for de ni husene for månedene oktober-desember 2009.

TABELL K.2-2: MÅLINGER AV TEMPERATUR I NI PARACELHUS I DANMARK

	hus 1	hus 2	hus 3	hus 4	hus 5	hus 6	hus 7	hus 8	hus 9
Middel	21,0	22,7	21,6	22,8	22,1	22,0	20,5	21,1	21,5
Min	19,0	20,3	20,1	21,0	20,5	20,2	19,2	19,7	21,1
Maks	22,4	24,1	22,5	23,7	23,3	23,4	21,3	22,1	21,7
Std,av,	1,5	1,7	1,0	1,2	1,2	1,3	0,9	1,0	0,3

I en svensk undersøkelse om inneklima i lavenergiboliger er det gjennomført målinger av innendørstemperatur i 20 terrasseboliger sør for Gøteborg (Isaksson, et al., 2006). Innendørstemperaturen reguleres automatisk etter en individuell settpunktemperatur for hver boenhet. Temperaturmålingene er gjort i en periode med oppvarmingsbehov. Det er gjort målinger flere steder for begge etasjer i hver boenhet. I denne rapporten velges det å benytte et gjennomsnitt for alle målepunkter i hver boenhet, som fremkommer som middeltemperaturen i Tabell K.2-2.

K.2.2 CEPHEUS

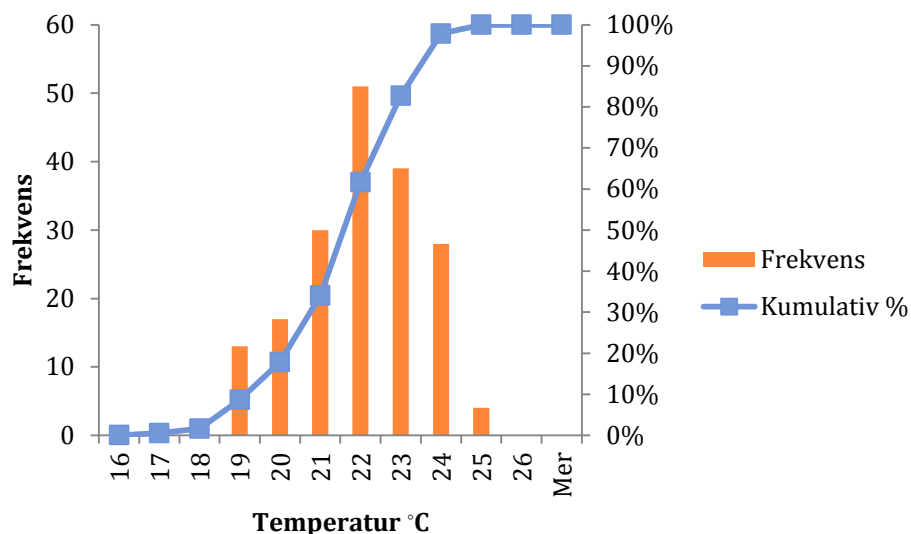
Et EU-finansiert demonstrasjonsprosjekt kalt *CEPHEUS* (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) (Feist, et al., 2001) (Schniders, et al., 2004) gjennomførte i 2000-2002 detaljerte målinger av 11 passivhusprosjekter som til sammen teller 110 boenheter i Tyskland, Østerrike og Sveits. Målingene innebar blant annet innetemperatur målt gjennom den første perioden med varmebehov for hver bolig. Gjennomsnittstemperaturene for hver bolig er avlest fra en grafisk fremstilling presentert i (Feist, et al., 2001). Gjennomsnittsverdi, standardavvik og spredning fra disse avlesningene fremkommer av Tabell K.2-3.

TABELL K.2-3: STATISTIKK FRA 108 GJENNOMSNIITTSTEMPERATURER

Statistikk	Verdi
Min.	13.4
Maks	24.8
GNS	21.5
Std.av.	1.8

K.2.3 RESULTATER FRA UNDERSØKELSENE

Gjennomsnittstemperaturer fra samtlige husstander hentet fra undersøkelsene som er omtalt ovenfor presenteres i et histogram i Figur K.2-1. Frekvensen forteller hvor mange tilfeller det finnes av hvert temperaturintervall som er 1°C.

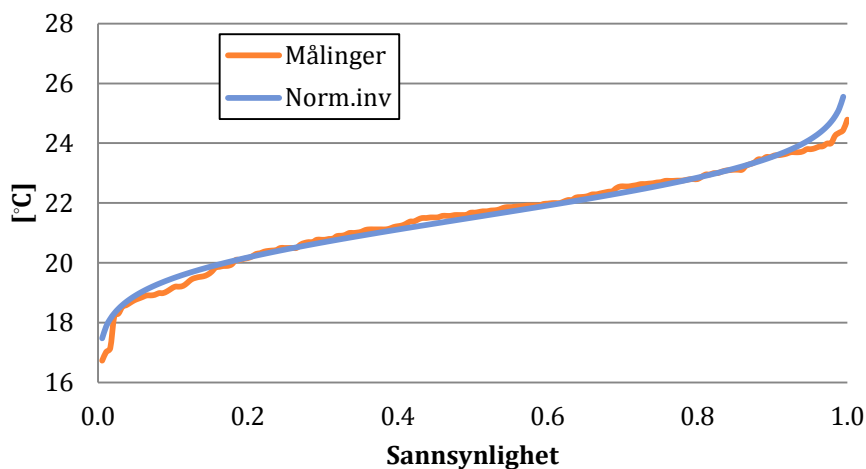


FIGUR K.2-1: KUMULATIV FORDELING OVER INNDØRSETEMPERATUR FRA MÅLINGER

Fra Figur K.2-1 fremkommer det at innetemperaturen fra målingene ligger innenfor variasjonsområde 16 - 26 °C. Det fremkommer tydelig av Figur K.2-1 at innetemperaturen har høyest frekvens rundt 21-22 °C. gjennomsnittstemperaturen for alle målingene er funnet til 21,5 °C, med standardavvik på 1,6 °C.

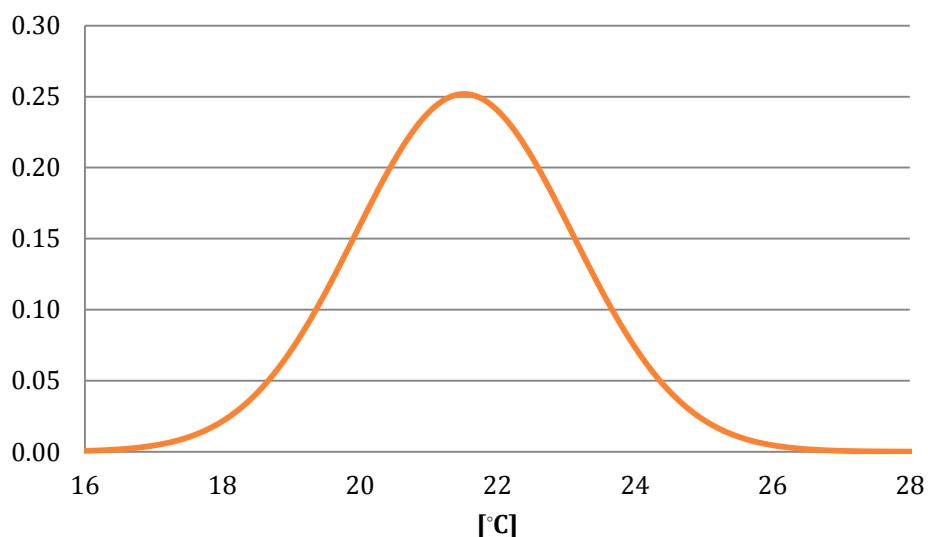
Innetemperaturene presentert i Figur K.2-1 må i denne sammenheng anses å være lik settpunkttemperaturen for romoppvarmingen. Settpunkttemperaturen for romoppvarmingen er en inndatafaktor som avhenger av hvilken innetemperatur brukeren selv ønsker. Variasjonsområde som kan observeres i Figur K.2-1 vil derfor kunne gi store utslag totalt sett for energibruken til en bolig. For å ta høyde for dette må det velges en sannsynlighetsfordeling som strekker seg over hele variasjonsområde for inndatafaktoren.

I Figur K.2-2 er gjennomsnittstemperaturen for alle husstander fra alle undersøkelsene samlet og presentert som en kumulativ kurve som sammenlignes med en kumulativ normalfordeling.



FIGUR K.2-2: KUMULATIV FORDELING AV INNENDØRSTEMPERATURER FRA MÅLINGER SAMMENLIGNET MED EN KUMULATIV NORMALFORDELING.

Det fremkommer av Figur K.2-2 at den kumulative normalfordeling gir en god tilnærming av settpunkttemperaturene fra målingene. Det må påpekes at antallet av målinger statistisk sett kunne vært høyere og at det som nevnt ikke foreligger datamateriale fra Norge. Et høyere antall målepunkter ville antagelig gitt en enda bedre tilnærming av den kumulative normalfordelingen. Figur K.2-3 presenterer en normalfordeling for alle temperaturmålingene som vil benyttes som inndata i SIMIEN.



FIGUR K.2-3: NORMALFORDELING OVER TEMPERATURMÅLINGER. $\mu=21,5$ og $\sigma=1,6$, SOM ER ENS MED DEN GJENNOMSNITTSVERDIEN OG STANDARDAVVIKET OBSERVERT FOR ALLE MÅLEPUNKTER PRESENTERT I FIGUR K.2-1 OG FIGUR K.2-2.

K.3 OPPVARMING AV TAPPEVANN

Energibruk til oppvarming av tappevann utgjør en betydelig del av boligens totale energibruk spesielt i nye og godt isolerte boliger. I SIMIEN legges effektbehovet til oppvarming av tappevann inn per kvadratmeter bruttoareal. Dette betyr at det er gunstig å benytte målinger av energibruken til tappevannsoppvarming, hvor det foreligger areal av boligen, som underlag.

K.3.1 UNDERSØKELSER MED MÅLINGER

I Danmark har Statens Byggeforskningsinstitutt, Aalborg Universitet gjort målinger på varmtvannsforbruket til flere bygninger blant annet to eneboliger og 12 boligkomplekser som er presentert i rapporten *Varmt brugsvann* (Bøhm, et al., 2009). For boligkompleksene er det måleresultater på blant annet varmtvannsforbruk i kubikk og totalt energibruk til varmtvann for hele boligblokken, men det er ikke spesifisert per arealenhet eller per person. For de to eneboligene er effekten til oppvarming av tappevann målt til å være henholdsvis $6,3 \text{ W/m}^2$ og $4,6 \text{ W/m}^2$.

Målinger av formålsdelt energibruk er gjort på 20 lavenergi terrasseleiligheter i Lindås utenfor Göteborg, Sverige. Resultat fra målingene er gjengitt i (Wall, 2006) som gjennomsnitt per kvadratmeter samlet for alle leiligheter. Målingene viser at effektbehovet til oppvarming av tappevann i gjennomsnitt var $2,8 \text{ W/m}^2$.

I (Kristiansen, 2000) er det gjort målinger på formålsdelt energibruk i to lavenergirekkehus. Disse har et effektbehov til oppvarming av tappevann på henholdsvis $2,3 \text{ W/m}^2$ og $1,2 \text{ W/m}^2$. Det bemerkes at det er installert vannbesparende armaturer og at varmetapet fra varmtvannsberederne er lavt.

En svensk undersøkelse gjennomført av Statens Energimyndighet har gjort målinger på varmtvannsforbruket i 9 leiligheter i Göteborg og 35 småhus i Stockholmsområdet (Statens energimyndighet, 2009). Boligene er valgt ut slik at de skal representere størst mulig spredning av den svenske befolkning. Boligene er målt over en tidsperiode på en måned hver i perioden november 2007 til juni 2008. Gjennomsnittverdien og standardavvik fra målingene var henholdsvis $2,4 \text{ W/m}^2$ og $1,4 \text{ W/m}^2$.

De samme studiene som er omtalt for innetemperaturemålinger fra DTU på energibruken til tre lavenergi paracelhus ga resultater som tilsvarer et effektbehov til oppvarming av tappevann på henholdsvis $1,6 \text{ W/m}^2$, $1,3 \text{ W/m}^2$ og $1,1 \text{ W/m}^2$ (Tommerup, 2007) (Tommerup, 2004a) (Tommerup, 2004b). Energibruken som er målt er ekskludert varmetap fra bereder.

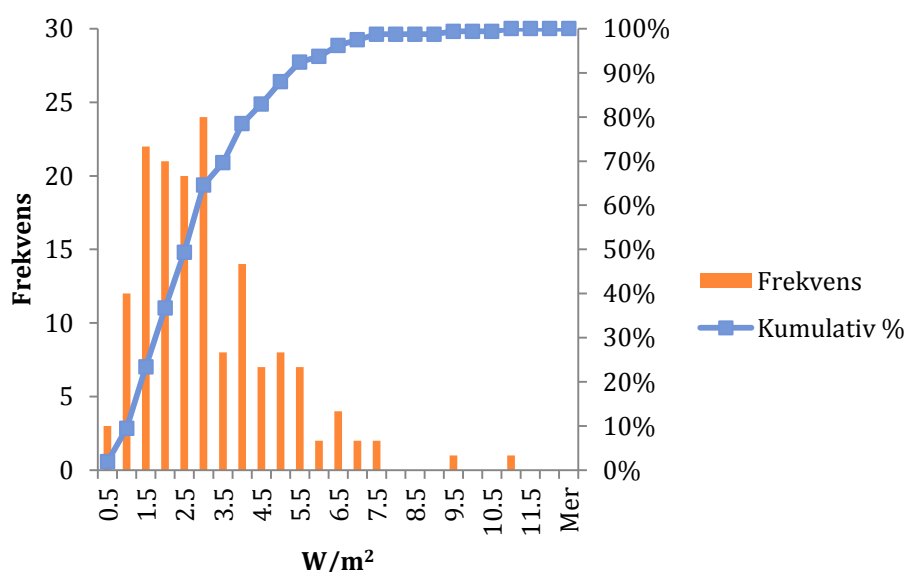
Energibruk per kvadratmeter til oppvarming av tappevann er også avlest fra en grafisk fremstilling presentert i rapporten til demonstrasjonsprosjektet *CEPHEUS* (Feist, et al., 2001) for 110 passivhusene i Østerrike, Sveits og Tyskland. Energibruken er omregnet til effektbehov per kvadratmeter. Gjennomsnittsverdi samt spredningsmål fremkommer av

TABELL K.3-1: EFFEKT TIL OPPVARMING AV TAPPVANN FRA CEPHEUS-UNDERSØKELSENE

Statistikk	Verdi [W/m^2]
Min.	0,3
Maks	10,9
GNS	3,1
Std. av.	1,8

K.3.2 RESULTATER FRA ALLE MÅLINGER

Effektbehovet per kvadratmeter er beregnet fra målt energibruk til oppvarming av tappevann i de omtalte undersøkelser og presentert i Figur K.3-1.



FIGUR K.3-1: KUMULATIV FORDELING OG FREKVENNS PER INTERVALL AV ALLE MÅLEPUNKTER FRA OMTALTE UNDERSØKELSER

Det fremkommer av histogrammet i Figur K.3-1 at frekvensen av effektbehovet er størst i intervallet 2,5-3,0 W/m^2 . Variasjonsområdet fra undersøkelsene ligger innenfor intervallet 0,3 - 10,9 W/m^2 , men en gjennomsnittsverdi 2,9 W/m^2 på og standardavvik på 1,8 W/m^2 .

Vedlegg A i NS3031, Standardiserte inndata for kontrollberegning, er det gjennomsnittlige effektbehovet til oppvarming av tappevann satt til 5,1 W/m^2 for småhus, noe som er høyere enn gjennomsnittsverdien fra innsamlet måledata. De verdier som finnes i standarden er standardiserte inndataverdiene som er utarbeidet for kontroll beregning mot offentlige krav og representerer nødvendigvis ikke reelle forhold.

K.4 SOLSKJERMING

Fasaden til en bolig utveksler energi med omgivelsene, noe som påvirker temperaturen, dagslysforholdene og energibruken til en bolig. En optimal fasade med hensyn på energibruk, har et ideelt krysningspunkt der hvor det er tilfredsstillende dagslysforhold og inneklimate, samtidig som boligen har et lavt energibruk. Mengden energi som utveksles gjennom vinduene er avhengig av vinduets areal, u-verdi, og transmisjonen. Soltransmisjonen bestemmes av den samlede solfaktor, også kalt g-verdi, for glassrute og solskjerming, $g_{\text{tot-system}}$ (Smidsrød og Bryn, 2007). Den totale solfaktoren for vindussystemet beskriver den prosentvise andelen av sollyset som treffer vinduets ytterflate som transmitteres gjennom vindussystemet. En solfaktor lik 1 svarer til full transmisjon, mens en solfaktor lik 0 svarer til ingen transmisjon.

I teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven, TEK10 § 14-5 angis det at minstekrav til total solfaktor for vindussystem skal være mindre enn 0,15 på solbelastet fasade, med mindre det kan dokumenteres at bygningen ikke har kjølebehov. Dette stiller krav til både glassrute og solskjerming. Minstekravet gjelder dog ikke for småhus. Den totale solfaktoren for glassrute og solskjerming kan beregnes etter metode beskrevet i NS-EN13363-1:2003+A12007 (European Committee For Standardization, 2007).

Tillegg E i NS3031:2007 (Standard Norge, 2007) omhandler beregning av total solfaktor for glass og solskjerming. Det blir påpekt at beregning av solfaktor innebærer en rekke faktorer og at den best beregnes av egnede beregningsverktøy. I tabellene E.1 – E.3 i NS3031 er det presentert flere vanlig forekommende solfaktorer for noen persiennesystemer, screensystemer og markisesystemer for alle fasadeorienteringer og for breddegrader fra 58° til 72°. I Tabell K.4-1 er total solfaktor gjengitt for de tre typene av vanlige solskjermingssystemer (både glassrute og avskjerming) som står i NS3031 med intervaller fra innvendig avskjerming (maks) til utvendig avskjerming (min).

TABELL K.4-1: VANLIGE VERDIER FOR TOTAL SOLFAKTORER FOR SYSTEMER

Avskjermingstype	Solfaktor
Persiennesystemer	0,04 - 0,38
Screensystemer	0,03 - 0,43
Markisesystemer	0,09 - 0,29

I NS3031 er verdier presentert for total solfaktor for systemet, det vil si når solavskjermingen er aktivert. Dette er ikke alltid tilfelle og i SBI anvisning 213, *Bygningers energibehov – Beregningsvejledning* (Aggerholm og Grau, 2005), er det angitt typiske solfaktorverdier for kun glassruter, se Tabell K.4-2-

TABELL K.4-2: TYPISKE G-VERDIER FOR GLASSRUTER

Glasstype	Solfaktor
1-lags klart glass	0,85
2-lags klart glass	0,75
3-lags klart glas	0,65
2-lags energiglass	0,60 - 0,65
3-lags energiglass	0,50 - 0,55
Solavskjermende glass	0,25 - 0,50

Tabell K.4-2 viser at det er store forskjeller i en glassrutes transmisjon, men at det typisk ligger innenfor intervallet $g_{\text{tot, glassrute}}=0,25 - 0,85$. I Tabell K.4-3 er det oppgitt typiske verdier for avskjermingsfaktoren til ulike typer solskjerming (Aas, 2007).

TABELL K.4-3: TYPISKE VERDIER FOR AVSKJERMINGSFAKTOREN TIL SOLSKJERMING

Solavskjermings-type	Avskjermingsfaktor
Lyse utvendige persienner	0,15
Lyse utvendige markiser	0,18
Mørke utvendige markiser	0,22
Solreflekterende film	0,1-0,3
Solavskjermende glass	0,1-0,3
Lyse persienner mellom glassene	0,31
Lyse innvendige persienner	0,53
Lyse innvendige gardiner	0,67

I rapporten, *Veileder for utforming av glassfasader* (Smidsrød og Bryn, 2007), er det gitt eksempler på total solfaktor med ulike former for glassruter og solskjerming, gjengitt i Tabell K.4-4.

TABELL K.4-4: EKSEMPLER PÅ G-VERDIER MED ULIKE GLASSRUTER OG SOLSKJERMING

Glasstype	Solskjerming	$g_{\text{tot, system}}$
Energiglass	ingen	0,72
	innvendig	0,50
	mellomliggende	0,27
	utvendig	0,09
Solbeskyttende glass	ingen	0,25
	innvendig	0,19
	mellomliggende	0,16
	utvendig	0,04

På bakgrunn av intervallene presentert i for typiske g-verdier for glassruter, solavskjerming og totalt for systemene kan det beregnes et typisk intervallområde for den totale samlede solfaktor for vindussystemet, etter forenklet metode beskrevet i NS-EN13363-1:2003+A12007.

En kan tydelig lese ut av Tabell K.4-1 - Tabell K.4-4 at innvendig solskjerming gir en høyere g-verdi enn utvendig. I tillegg til den direkte soltransmisjonen bidrar innvendig solskjerming med absorbert varme som avgis til rommet som varmestråling. Det antas at det i norske boliger i stor grad benyttes innvendig solskjerming i form av gardiner, persiennner, etc. For innvendige manuelt styrte gardiner kan det forventes en avskjermingsfaktor på 0,8 i henhold til (Aggerholm og Grau, 2005).

Usikkerheten for total solfaktor knyttes til hvordan solskjermingen anvendes av brukerne. I forbindelse med et måleprosjekt på et aktivhus i Danmark ble det avdekket at beboernes ønske om utsikt forårsaket høyere energibruk til varme (Andersen, 2010). Grunnen til dette var at huset hadde aktive fasader som aktiverte solskjermingen hvis temperaturen blir over 24°C. Den automatiske aktiveringen av solskjermingen ble ofte overstyrt av beboerne som deaktiverte solskjermingen etter ønske om utsikt. Dette førte til at temperaturen i huset ble høy, som igjen førte til at beboerne åpnet dører og vinduer og dermed aktiverte varmeanlegget som hadde et settpunkt på 22-23°C. Hvis en skal anta at fenomenet som ble omtalt i (Andersen, 2010) for aktivhuset i Danmark er vanlig, betyr dette at solavskjermingen ofte står i inaktivert stilling.

I følge Fergus J. Nicol (2001) blir persiennner og gardiner brukt til å forhindre bledning fra vinduene og bidrar lite til å kontrollere inneklimate i boliger, selv om det finnes indikasjoner på at det oftere brukes av beboere i varmere klima.

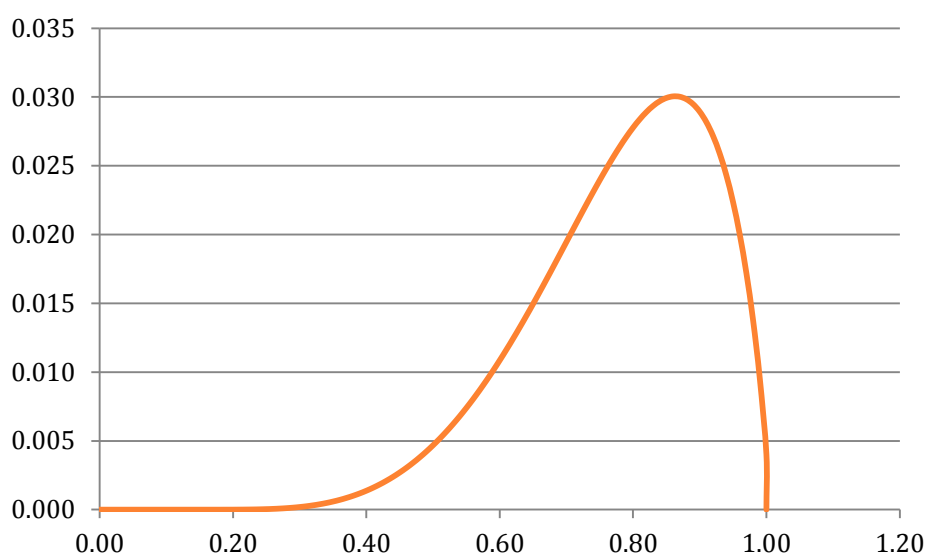
I SIMIEN bestemmer man en total samlet solfaktor enten ved å velge en glasstype og en solskjerming (evt. ingen solskjerming) fra en ferdig definert liste, eller en egendefinert verdi for glassrute og solskjerming. Hvis det er bevegelig solskjerming må en legge inn en verdi for solfaktoren for både aktivert og inaktivert stilling. Ved en dynamisk beregning benyttes så tidsvariablene for når solskjermingen er på eller av som er presentert i tabell E.4 – E.5 i NS3031. For automatisk bevegelig solskjerming regnes det ut ifra at solskjermingen aktiveres når solfluksen utvendig på fasaden overstiger 175 W/m². For manuell bevegelig solskjerming er det antatt at solskjerming går på når solinnstrålingen overstiger 100 W/m² i vinterhalvåret (oktober – mars) og når den overstiger 250 W/m² i sommerhalvåret (april – september) (Standard Norge , 2007).

En sannsynlighetsfordeling for total solfaktor vil begrense seg til avskjermningsfaktoren for solskjermingen. Solfaktoren for glassruten oppgis av glassprodusenten og vil sannsynligvis være en kjent verdi ved en energiberegning. Det vil i det videre antas at en solfaktor for glassruten er en kjent inndatafaktor, mens avskjermningsfaktoren for solskjermingen vil implementeres fra en sannsynlighetsfordeling for så å multipliseres med solfaktoren for glassruten. Når en multipliserer solfaktoren for glassruten med avskjermningsfaktoren får en ikke en korrekt verdi for total solskjerming, men tilnærmet verdi. Usikkerheten rundt valg av solskjerming og den brukerrelaterte usikkerheten tas høyde for i sannsynlighetsfordelingen.

Artikkelen, *Application of Partial Safety Factor in Building Energy Performance Assessment* presenterer 57 fordelinger for mange inndatafaktorer til energisimuleringer (Brohus, et al.,

2009). Sannsynlighetsfordelingen for avskjermingsfaktoren er her vurdert som en logaritmisk normalfordeling med et intervall fra 0,2 – 0,9 og en forventningsverdi på 0,8.

En sannsynlighetsfordeling over avskjermingsfaktoren for beregning av inndata til SIMIEN vurderes på bakgrunn av de typiske verdier som er presentert i Tabell K.4-1 - Tabell K.4-4, antagelsen om at det i norske boliger hovedsakelig er innvendig manuellstyrt solskjerming, samt den sannsynlighetsfordeling som er presentert i (Brohus, et al., 2009) (Aggerholm og Grau, 2005). Fordelingen velges til å være en betafordeling med et variasjonsområde for avskjermingsfaktoren fra $a = 0,15$ til $b = 1,00$ samt en α -verdi og β -verdi på henholdsvis 5,0 og 1,8, se Figur K.4-1.



FIGUR K.4-1: BETAFORDELING FOR AVSKJERMINGSFAKTOR, $A=0,15$, $B=1,00$, $\text{ALFA}=5$ OG $\text{BETA}=1,8$.

K.5 VENTILASJON

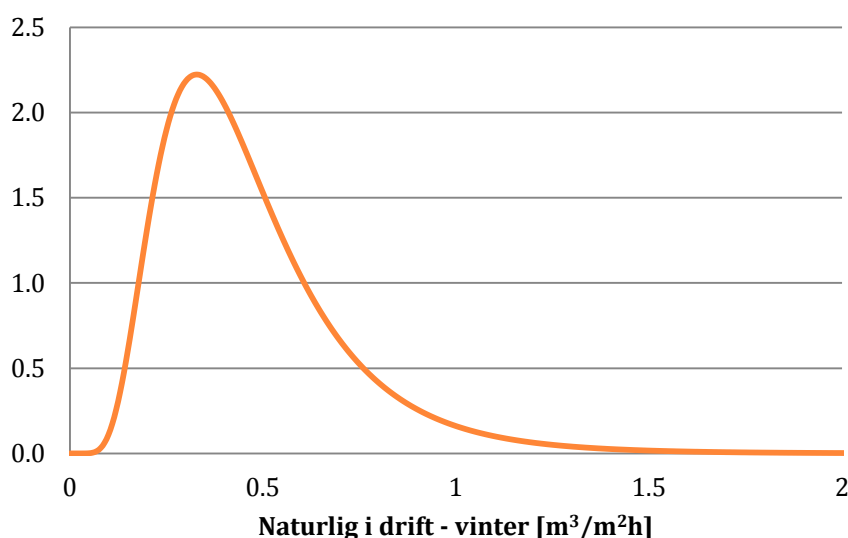
Det er avgjørende for energibruken til en bolig hvordan den blir ventilert og i hvilken størrelsesorden. Hvis den tilførte uteluften tilføres bygget med en undertemperatur i forhold til innendørstemperaturen vil det gå med energi til oppvarming av ventilasjonsluften. I SIMIEN er det muligheter for å velge mekanisk ventilasjon med konstante og variable luftmengder, naturlig ventilasjon og avtrekksventilasjon som inndata. Enheten for inndata er m^3/hm^2 .

I byggeteknisk forskrift til Plan- og bygningsloven, TEK10 (Statens Byggtekniske etat, 2011), står det følgende spesifikke krav til ventilasjon i boenhet i tillegg til de generelle krav:

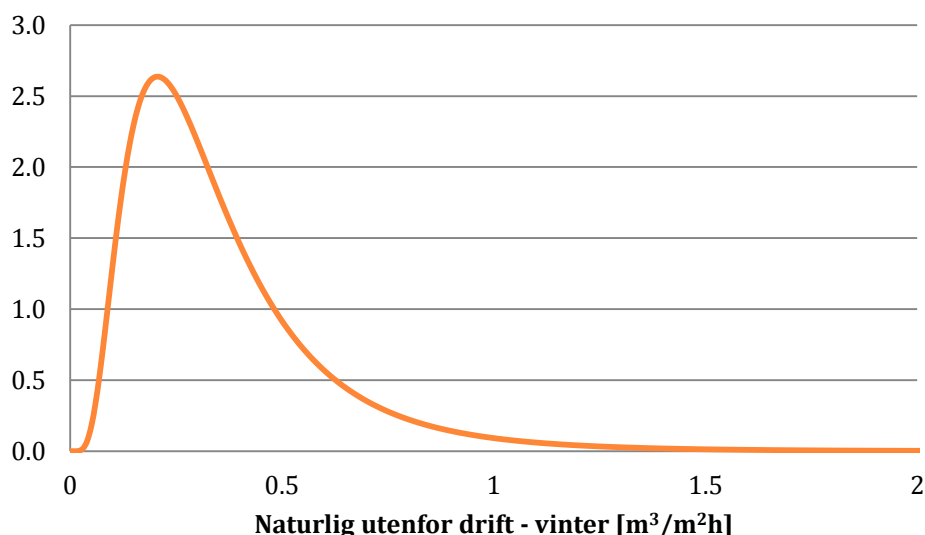
(1) I boenhet skal rom for varig opphold ha ventilasjon som sikrer frisklufttilførsel på minimum $1,2 \text{ m}^3$ pr. time pr. m^2 gulvareal når rommene eller boenheten er i bruk og minimum $0,7 \text{ m}^3$ pr. time pr. m^2 gulvareal når rommene eller boenheten ikke er i bruk.

(2) Soverom skal tilføres minimum 26 m^3 friskluft pr. time pr. sengeplass når rommet eller boenheten er i bruk. Rom som ikke er beregnet for varig opphold skal ha ventilasjon som sikrer $0,7 \text{ m}^3$ friskluft pr. time pr. m^2 gulvareal. Kjøkken, sanitærrom og våtrom skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet.

I simuleringene som blir lagt til grunn for screeninganalysen vil kun naturlig ventilasjon bli benyttet. Fordelingene for naturlig ventilasjon i drift og utenfor drift tar utgangspunkt i fordelinger hentet fra artikkelen, *Application of Partial Safety Factor in Building Energy Performance Assessment* (Brohus, et al., 2009). Siden det finnes forskjellige luftmengder for sommer og vinter er det derfor valgt å kjøre en simulering for sommer og en for vinter. Sannsynlighetsfordelingen i og utenfor drift om vinteren fremkommer av Figur K.5-1 og Figur K.5-2.

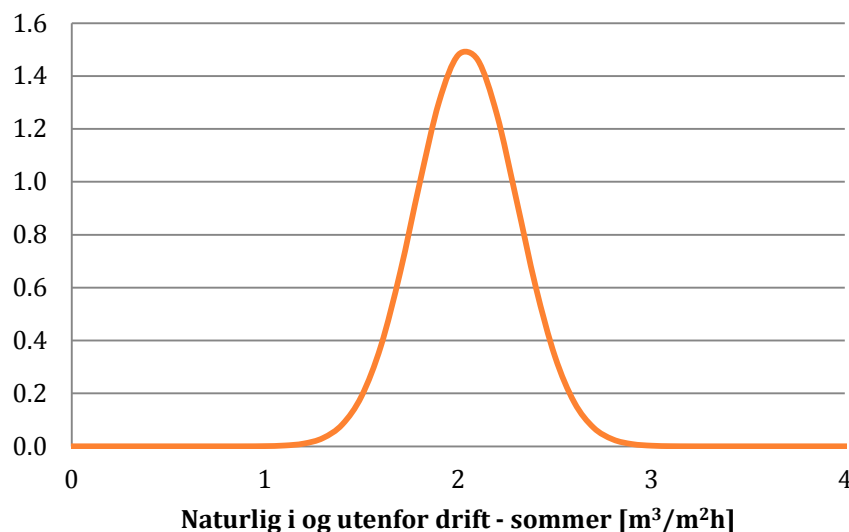


FIGUR K.5-1: LOGARITMISK NORMALFORDELING FOR NATURLIG VENTILASJON I DRIFT VINTER. $\mu_y = -0,877$, $\sigma_y = 0,485 \text{ m}^3/\text{hm}^2$



FIGUR K.5-2: LOGARITMISK NORMALFORDELING FOR NATURLIG VENTILASJON UTENFOR DRIFT VINTER. $\mu_y = -0,877$, $\sigma_y = 0,485 \text{ m}^3/\text{hm}^2$

Sannsynlighetsfordelingen i og utenfor driftstid på sommeren er imidlertid den samme og fremkommer av Figur K.5-3.



FIGUR K.5-3: NORMALFORDELING FOR NATURLIG VENTILSJON I OG UTENFOR DRIFTSTID.

Som en kan se av Figur K.5-3 er luftmengden til naturlig ventilasjon større om sommeren enn på vinteren. Dette skyldes at det om sommeren luftes i mye større grad enn om vinteren.

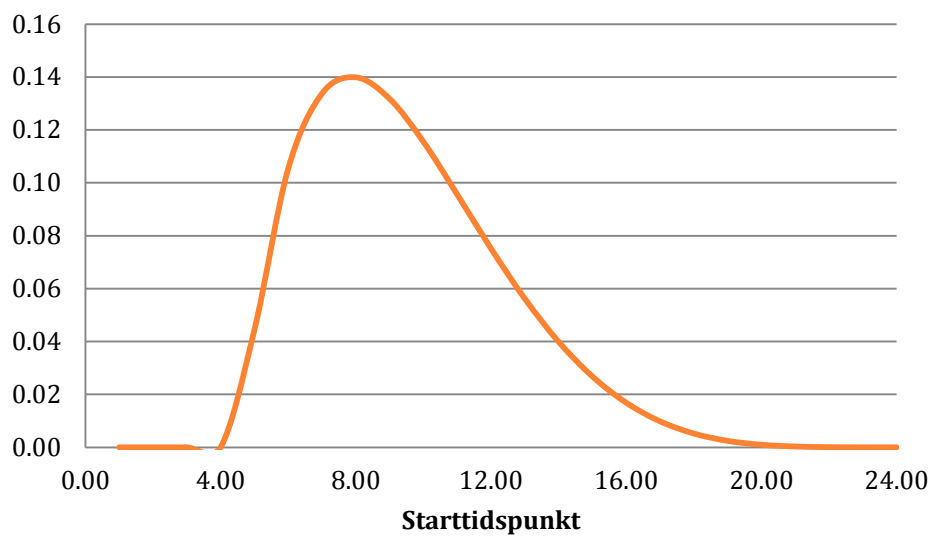
Luftmengde om vinteren som fremkommer av Figur K.5-1 og Figur K.5-2 er noe mindre enn det som er gitt som minimumsluftmengde i henhold til standardverdiene NS3031 på $1,2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, mens den på sommeren er noe høyere. Fordelingene over luftmengdene anses som representative, det nevnes at fordelingene ikke baserer seg på målinger og det bør vurderes å studere inndatafaktorene ytterligere for å få en mer bedre fordeling

K.6 STARTTIDSPUNKT FOR BELYSNING OG TEKNISK UTSTYR

Når en skal legge inn driftstid for belysning og teknisk utstyr i SIMIEN bestemmer en starttidspunkt og slukketidspunkt for døgnet. Når en skal lage en fordeling for driftstid er det derfor valgt å sette et fast slukketidspunkt til klokken 24:00, og videre lage en fordeling på starttidspunktet. Variasjonen i starttidspunkt bestemmer da antall timer i døgnet hvor belysningen eller det tekniske utstyret er slått på.

Tabell A.3 i tillegg A i NS3031 (Standard Norge, 2007) er det definert standard driftstider for teknisk utstyr og belysning som skal benyttes som inndata for kontrollberegninger mot forskrifter. For småhus og boligblokker er standard driftstid satt til 16 timer i døgnet, 7 dager i uken, 52 dager i året. En driftstid på 16 timer vil derfor bety et starttidspunkt kl.08:00 hvis en forutsetter at slukketiden er kl.24:00. Med utgangspunkt i dette kan vi lage en fordeling hvor frekvensen er høyest for kl.08:00.

Med bakgrunn i dette er det derfor valgt å benytte en betafordeling med en $\alpha=2,0$, $\beta=6,0$, $a=04:00$, $b=24:00$ presentert i Figur K.6-1 som inndatafordeling for starttidspunkt for belysning og teknisk utstyr.



FIGUR K.6-1: BETAFORDELING FOR STARTTIDSPUNKTET PÅ TEKNISK UTSTYR OG BELYSNING.

VEDLEGG L -BEREGNING AV EFFEKTBEHOV TIL OPPVARMING AV TAPPEVANN

I dette vedlegget presenteres et beregningseksempel på effektbehovet til oppvarming av tappevann per kvadratmeter og et beregningseksempel for effektbehovet til oppvarming per person. Disse beregningseksemplene illustrerer fremgangsmåten for beregningene som er gjort for å danne et dataunderlag på effektbehov til oppvarming av tappevann som benyttes til utviklingen av sannsynlighetsfordelinger til SIMIEN.

L.1 BEREGNING AV EFFEKTBEHOV PER m^2 FRA VANNREGISTERET

I Kapittel 7 ble det nevnt at det finnes lite målinger av energibruk til oppvarming av tappevann i Norge. Fordelingen for effektbehov per kvadratmeter som er presentert kan ikke umiddelbart si seg gjeldene for norske husholdninger. Det er derfor valgt å sammenligne statistiske data fra Norge med målingene.

Hvis en kjenner forbruket av varmt tappevann i kubikkmeter for en husholdning samt temperaturen for både det kalde tappevannet og det oppvarmede bruksvannet kan energibruken som går med til oppvarmingen finnes ved en enkel beregning. Kjenner en i tillegg arealet til boligen kan effektbehovet per kvadratmeter følgelig beregnes.

Resultatene fra målingene som ble gjennomført av de svenske energimyndighetene (Statens energimyndighet, 2009) viste at cirka en tredjedel av tappevannsforbruket til en husholdning blir til varmt bruksvann, noe som (Bøhm, et al., 2009) også hevder. Det Norske Folkehelseinstituttet offentliggjør hvert år statistikk fra de kommunale vannverkene i Norge, *Grunntall fra vannregisteret* (Folkehelseinstituttet, 2011). Denne statistikken presenterer blant annet tappevannsforbruket i kubikkmeter per husholdning og antall husholdninger som er tilkoblet til de kommunale vannverkene for hver kommune. En tredjedel av denne vannmengden kan derfor antas å gå varmt bruksvann.

En gunstig temperatur på drikkevann er 2-10°C. Temperaturen på tappevann avhenger både av klimatiske forhold (årstider, beliggenhet, osv.), men også valg av drikkevannskilde. I Norge hentes råvann ofte fra bunnen på dype tjern hvor temperaturen er stabil gjennom året eller fra grunnen hvor temperaturen er stabil på 6-8 °C (Folkehelseinstituttet, 2004). Veiledning til de norske byggreglene for innvendige vanninstallasjoner anbefaler at maksimumstemperaturen for varmtvann ikke bør overstige 55°C for å unngå skolding (Statens Byggetekniske etat, 2011). Hos Statistisk Sentralbyrå finnes det statistikk over gjennomsnittlig boareal for ferdigstilte og påbegynte byggeprosjekter av boliger i hver kommune (SSB, 2010).

På bakgrunn av nevnte faktorer kan et gjennomsnittlig effektbehov til oppvarming av tappevann per kvadratmeter beregnes for alle husholdninger som er tilknyttet de kommunale vannverkene for hver norske kommune. Vannforsyningen i Norge fordeler seg slik at kommunale vannverk står for 71 % av forsyningen til befolkningen i vannverksregisterets statistikk, interkommunale vannverk står for 24 % og private vannverk forsyner 5 % (Opplysningsutvalget VA-ledningsnett). I neste avsnitt presenteres et regneeksempel.

L.1.1.1 BEREGNINGSEKSEMPEL

Vi tar utgangspunkt i Oslo Kommune. I 2008 var det 310 000 husstander tilknyttet det kommunale vannforsyningsnettet og det gjennomsnittlige vannforbruket per husstand var 438 m³. Det gjennomsnittlige boarealet for de husstander som var tilknyttet vannforsyningsnettet 122 m².

Energibruk til oppvarming av varmtvann kan beregnes etter følgende formel,

$$Q = \frac{q_v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{vv} - T_{kv})}{3600}$$

hvor,

q_v	Varmtvannsmengde [m ³]
ρ	Tetthet [kg/ m ³]
C_p	Spesifikk varmekapasitet, [kJ/kgK]
T_{vv}	Temperatur varmtvann [K]
T_{kv}	Temperatur kaldtvann[K]

Det forutsettes en varmtvannstemperatur på 55°C, som er anbefalt maksimaltemperatur i blandevannsarmaturen, og en kaldtvannstemperatur på 7°C. Kaldtvannet vil kunne være noe kaldere om vinteren og noe varmere om sommeren og det antas derfor som en akseptabel årsmiddel.

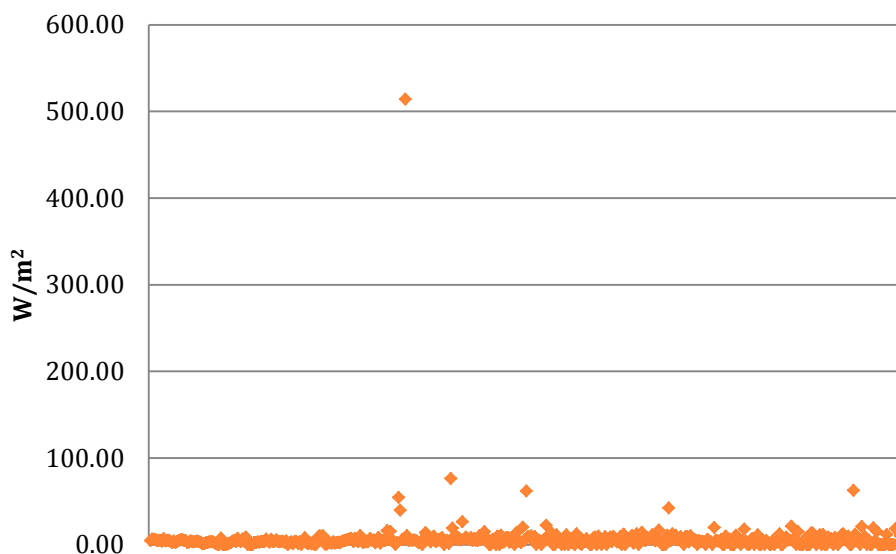
Gjennomsnittlig årlig energibruk til oppvarming av varmtvann per husstand finnes,

$$Q = \frac{\frac{1}{3} \cdot 438 \text{ m}^3 / \text{hus} \cdot \text{år} \cdot 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot (55 - 7) \text{ K}}{3600 \text{ s} / \text{h}} = 8137 \text{ kWh} / \text{hus} \cdot \text{år}$$

Gjennomsnittlig effektbehovet til oppvarming av tappevann for Oslo finnes da til å være,

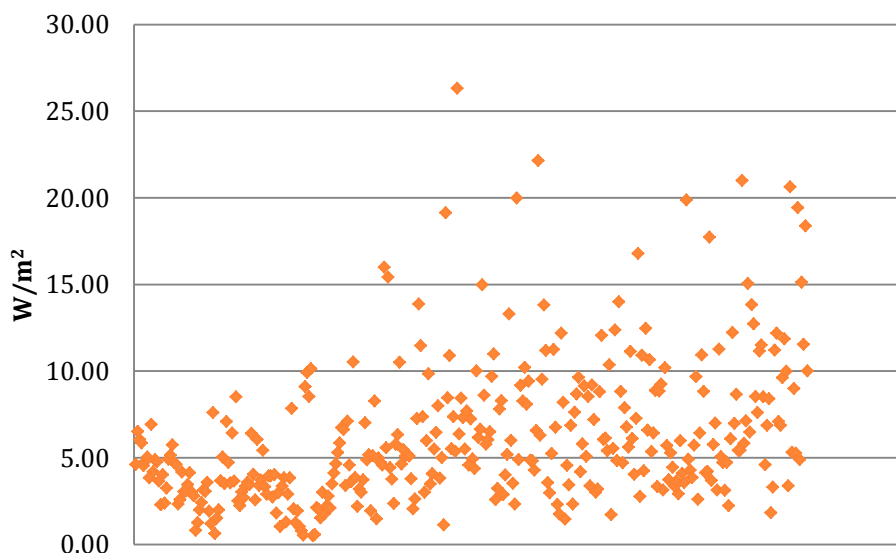
$$Q = \frac{8137 \text{ kWh} / \text{hus} \cdot \text{år} \cdot 1000}{8760 \text{ h} / \text{år} \cdot 122 \text{ m}^2} = 7,61 \text{ W} / \text{m}^2$$

Tilsvarende beregninger er gjort for alle kommuner i Norge. Resultatene fra beregningene fremkommer i Figur L.1-1.



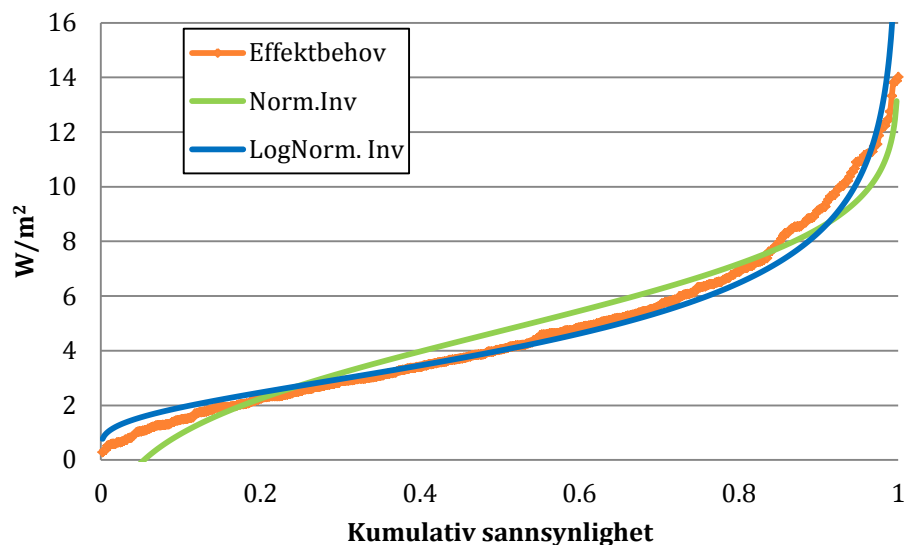
FIGUR L.1-1: RESULTATER FRA BEREGNINGENE FOR EFFEKTBEHOV PER KVADRATMETER UT I FRA STATISTIKK OG ANTAGELSER, FOR HVER KOMMUNE I NORGE.

Resultatene presentert i Figur L.1-1 viser at det er verdier som avviker klart fra trenden og som kan karakteriseres som uteliggere. Det var også noen av beregningene som ga et effektbehov lik null samt at det for noen kommuner ikke var tilgjengelig statistikk over gjennomsnittlig boareal. Uteliggere og nullverdier ble slettet fra datasettet samt verdier fra kommuner uten statistikk på gjennomsnittlig boareal. Resultatene etter elimineringen fremkommer av Figur L.1-2.



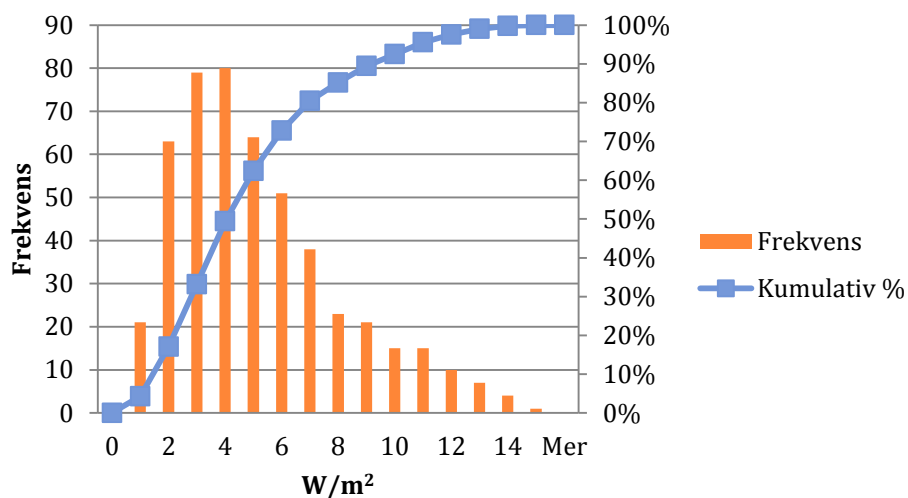
FIGUR L.1-2: RESULTATER FRA BEREGNINGENE FOR EFFEKTBEHOV PER KVADRATMETER UT I FRA STATISTIKK OG ANTAGELSER FOR HVER KOMMUNE I NORGE UTEN UTELIGGERE,

Resultatene fra beregningene som fremkommer i Figur L.1-2 er videre sortert og sammenlignet med en kumulativ normalfordeling og en kumulativ logaritmisk normalfordeling som er vist i Figur L.1-3. Gjennomsnittsverdi og standardavvik er funnet til henholdsvis $\mu=6,2$ og $\sigma=4,0$ for normalfordelingen og $\mu_y=1,39$ og $\sigma_y=0,57$ for den logaritmiske normalfordelingen.



FIGUR L.1-3: SAMMENLIGNING AV RESULTATER FRA BEREGNINGER MED EN KUMULATIV NORMALFORDELING OG KUMULATIV LOGARITMISK NORMALFORDELING.

Figur L.1-3 viser at en kumulativ logaritmisk normalfordeling passer godt overens med beregningene. I Figur L.1-4 har beregningene en frekvens for hvert intervall på 1 W/m².



FIGUR L.1-4: KUMULATIV FORDELING OG FREKVENSS PER INTERVALL

Det fremkommer av Figur L.1-4 at det er høyest frekvens i intervallet mellom 3-4 W/m².

L.2 BEREGNING AV EFFEKTBEHOV PER PERSON FRA VANNREGISTERET

Dette beregningseksemplet er likt det som er presentert for effektbehov per kvadratmeter, men tar utgangspunkt i statistikk fra vannregisteret over liter vannforbruk per person per døgn fra alle de kommunale vannverkene i Norge. Beregningseksemplet gjøres for Oppegård kommune, hvor gjennomsnittlig vannforbruk per person er 311 liter per person per døgn, eller 113 kubikk per person per år.

Dette multipliseres så med en tredjedel som er antatt som den andel som går med til varmt bruksvann. Det forutsettes også her en varmtvannstemperatur på 55 °C og en kaldtvannstemperatur på 7 °C.

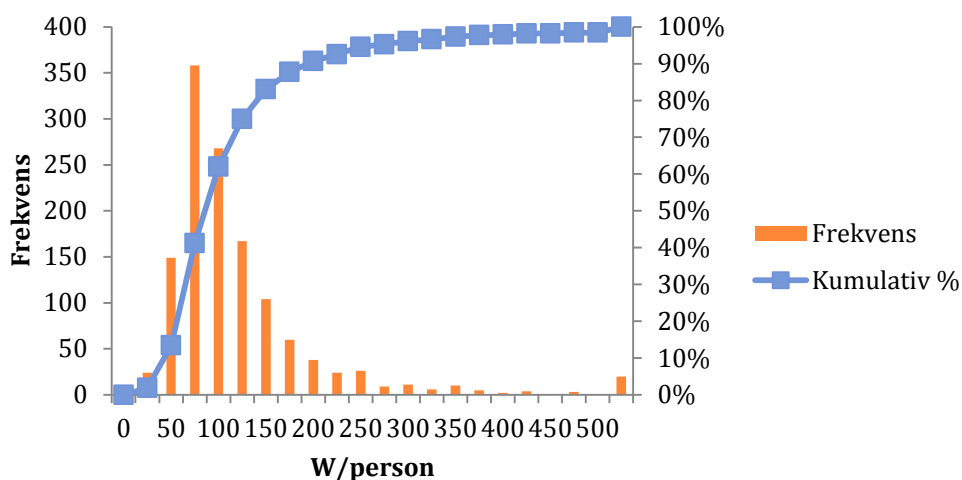
Gjennomsnittlig årlig energibruk til oppvarming av varmtvann per husstand finnes,

$$Q = \frac{\frac{1}{3} \cdot 113 \text{ m}^3 / \text{person} \cdot \text{år} \cdot 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 4,183 \text{ kJ} / \text{kgK} \cdot (55 - 7) \text{ K}}{3600 \text{ s} / \text{h}} = 1977 \text{ kWh} / \text{person} \cdot \text{år}$$

Gjennomsnittlig effektbehovet til oppvarming av tappevann per person for Oppegård kommune finnes da til å være,

$$Q = \frac{1977 \text{ kWh} / \text{hus} \cdot \text{år} \cdot 1000}{8760 \text{ h} / \text{år}} = 226 \text{ W} / \text{person}$$

Gjennomsnittlig effektbehov per person kan deretter multipliseres med antall personer i husholdningen og divideres på boligarealet for å få effektbehovet per kvadratmeter for hver husholdning. Dette kan benyttes som inndata for de ulike brukerprofilene som ikke har målinger for varmt bruksvann. Fra Figur L.2-1 kan en se et histogram over de beregnede verdier med et intervall på 25 W/person.



FIGUR L.2-1: BEREGNET GJENNOMSNITTLIG EFFEKTBEHOV PER PERSON FOR NORSKE KOMMUNALE VANNVERK.

VEDLEGG M - HYPOTSETESTING

Dette vedlegget beskriver grunnleggende teori om prinsippet og fremgangsmåten for å gjennomføre hypotesetesting, samt teori om Kolmogorov-Smirnov test.

Hypotesetesting gjennomføres når en vil gjennomføre en vitenskapelig prøve av sannheten til en påstand, kalt nullhypotese, basert på innsamlet datamateriale. En hypotesetest konstrueres slik at man undersøker om datamaterialet gir grunnlag for å forkaste nullhypotesen, H_0 , med høy grad av sikkerhet, for derved å sannsynliggjøre sannheten av en alternativ hypotese. Teksten i det følgende avsnittet baserer seg på (Løvås, 2004), med mindre andre kilder er oppgitt.

Først etableres en modell og stokastiske variabler og deres sannsynlighetsfordeling indentifiseres. Sannsynlighetsfordelingen defineres blant annet med en ukjent parameter, θ , og hensikten med datainnsamlingen er å ta stilling til en påstand om verdien av denne parameteren. Den alternative hypotesen, H_1 , er den påstanden som krever bevis og den som ønskes testet. Nullhypotesen velges som den motsatte hypotesen. Begge hypotesene knyttes til θ . Det finnes to mulige konklusjoner i en hypotesetest, men det er alltid en viss fare for å trekke feil konklusjon og det finnes følgelig to feil (I og II). Tabell L.2-1 presenterer de to mulige konklusjoner, samt de to mulige feilkonklusjoner.

TABELL L.2-1: TO TYPER MULIGEKONKLUSJONER OG TO TYPER FEILKONKLUSJONER (LØVÅS, 2004).

Beslutning	H_0 er sann	H_1 er sann
Behold H_0	Riktig konklusjon! Beholder H_0 fordi det ikke finnes tilstrekkelig bevis om at H_1 er riktig	Feil konklusjon! Vi beholder H_0 , selv om den er feil (type II feil - godtakningsfeil).
Forkast H_0	Feil konklusjon! Forkaste H_0 , selv om den er riktig (type I feil - forkastningsfeil).	Riktig konklusjon! Forkaster H_0 og konkluderer med at H_1 er riktig

Det finnes i tre ulike måter å formulere hypoteser på som presentert i Tabell L.2-2.

TABELL L.2-2: ALTERNATIVER FOR FORMULERING AV HYPOTESER (LØVÅS, 2004).

Alternativ	H_0	H_1	Type test
1	$\theta \leq \theta_0$	$\theta > \theta_0$	Ensidig
2	$\theta \geq \theta_0$	$\theta < \theta_0$	Ensidig
3	$\theta = \theta_0$	$\theta \neq \theta_0$	Tosidig

Verdien θ_0 tilsvarer grenseverdien mellom de to hypotesenes gyldighetsområde. Ensidige tester benyttes når det er en bestemt mistanke som ønskes testet.

For å basere en beslutning må det identifiseres en stokastisk variabel knyttet til datasamlingen, som kalles en testobservator. Sannsynlighetsfordelingen til testobservatoren må beskrives av parameteren θ . Det defineres for hvilke verdier (store/små eller store og små) av testobservatoren som skal lede til forkasting av nullhypotesen. Disse verdiene kalles testens forkastningsområde. Formen på forkastningsområdet avhenger av hvordan hypotesen er formulert. Det finnes tre måter å formulere forkastningsområdets form:

- | | |
|---------------|---|
| Alternativ 1: | Forkast H_0 hvis testobservatoren er stor ($\geq \theta_0$) |
| Alternativ 2: | Forkast H_0 hvis testobservatoren er liten ($\leq \theta_0$) |
| Alternativ 3: | Forkast H_0 hvis testobservatoren er liten ($\leq \theta_{0,1}$) eller stor ($\geq \theta_{0,2}$) |

Tabell L.2-1 presenterte to typer feil som kan gjøres når en skal konkludere om en skal beholde eller forkaste H_0 . Type I feil anses som mest alvorlig og sannsynligheten for at denne inntreffer bør derfor være liten. Testens signifikansnivå, α , er et uttrykk for stor sjanse man ønsker å ta for feilaktig å forkaste en gyldig nullhypotese. Vanlig brukte signifikansnivåer er 0,05 (5 %), 0,01 (1 %) eller 0,001 (0,1 %). Signifikansnivået sier kun noe om hvor stor sannsynlighet for forkastningsfeil det kan aksepteres. Det sier derimot ingenting om sannsynligheten for at nullhypotesen er riktig eller gal.

For å avgjøre om H_0 skal forkastes eller beholdes må forkastningsområdet spesifiseres. Dette kan gjøres ved å beregne forkastningsområdets kritiske verdi som er en direkte konsekvens av signifikansnivået. For tosidige hypotesetester må vi fastlegge to kritiske verdier, øvre og nedre verdi.

Når testobservatøren er valgt og forkastningsområdets form og kritiske verdier er spesifisert er hypotesetesten også fullstendig spesifisert. Avhengig av testens resultat kan det konkluderes med at enten H_0 forkastes på signifikansnivå α eller at H_0 ikke forkastes på signifikansnivå α .

M.1.1.1 SAMMENHENG MED KONFIDENSINTERVALLER

Det er nøye sammenhenger mellom konfidensintervaller og hypotesetester. Når en har et konfidensintervall for parameteren θ , kan det benyttes til å ta stilling til hypotesene.

Grenseverdien θ_0 skiller hypotesens gyldighetsområde hvilket betyr at hvis θ_0 befinner seg innfor grensene til konfidensintervallet kan det ikke utelukkes at θ_0 er den sanne verdien som igjen betyr at det ikke kan utelukkes at H_0 er sann. H_0 må da beholdes på signifikansnivå α . Hvis θ_0 derimot er utenfor konfidensintervallets grenser kan vi forkaste H_0 på signifikansnivå α . Disse sammenhengende gjelder teoretisk kun for tosidige tester, men kan i praksis også benyttes for ensidige tester.

M.1.1.2 EMPIRISK FORDELINGSFUNKSJON

Hvis en har et stort antall observasjoner av en stokastisk variabel kan fordelingsfunksjonen estimeres. Den fordelingen en kan finne fra datamaterialet, kalles den empiriske fordelingsfunksjonen og er definert som antall observasjoner som er mindre eller lik x delt på totalt antall observasjoner.

M.1.2 KOLMOGOROV-SMIRNOV HYPOTHESETEST

Kolmogorov-Smirnov hypotesetest brukes til å sammenligne et datasett med en referanse eller sammenligne to datasett. Datasettene oppdeles i empiriske distribusjoner og testen tallfester den maksimale vertikale avstanden mellom distribusjonene, det vil si de to distribusjoners konvergens.

Kolmogorov-Smirnov test sammenligner de empiriske distribusjoner mot en nullhypotese, H_0 , som antar at datasettene stammer fra samme populasjon slik at variansen og formen på distribusjoner er også lik (Hamby, 1994). En alternativ hypotese, H_1 , antar at de to datasettene ikke stammer fra samme populasjon. Kolmogorov-Smirnov hypotesetest avgjør nå om H_0 skal forkastes eller aksepteres. Hvis H_0 forkastes må H_1 aksepteres.

For å avgjøre om nullhypotesen skal forkastes må det defineres en kritisk verdi for testen som kalles Kolmogorov-Smirnovs tall, KS_α . KS_α avhenger av et valgt signifikansnivå α . Den kritiske verdi, KS_α , for testen er gitt ved Formel 15 (Ayyub, et al., 2003).

FORMEL 15

$$KS_\alpha = \frac{c(\alpha)}{\sqrt{n}}$$

hvor,

$c(\alpha)$: koeffisient avhengig av signifikansnivå

n : størrelse på prøve (antall forsøk i datasettet)

Vanlige signifikansnivå med tilhørende koeffisienter er gjengitt i Tabell L.2-3 (Ayyub, et al., 2003).

TABELL L.2-3: KOEFFISIENTER AVHENGIG AV SIGNIFIKANSNIVÅ

α	
$c(\alpha)$	1,36 1,63

Den maksimale avstanden mellom de to datasett som sammenlignes finnes Formel 16. (Ayyub, et al., 2003)

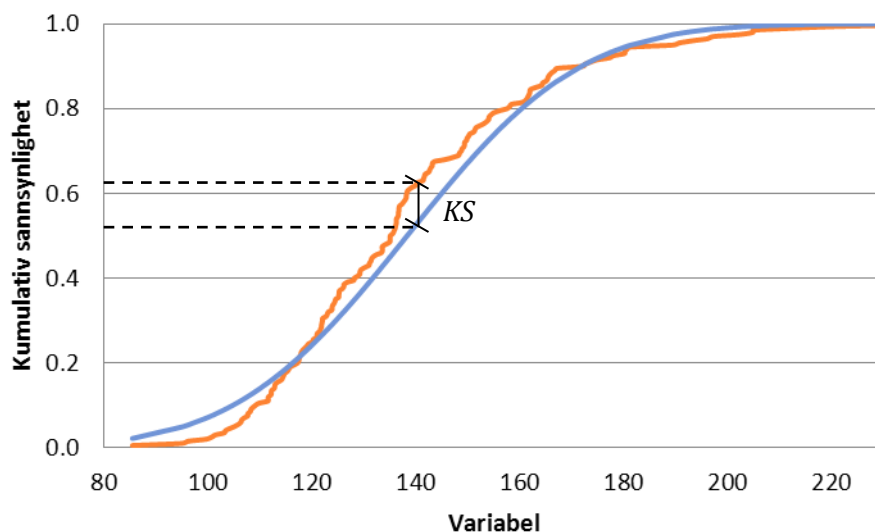
FORMEL 16

$$KS = \max |F_x(x) - F_s(x)|,$$

hvor,

$\max$		maksimal avstand mellom de to funksjoner
$F_x(x)$		funksjonen til datasett 1
$F_s(x)$		funksjonen til datasett 2

I Figur L.2-2 presenteres et eksempel av et plot hvor den maksimal vertikale avstanden KS kan sees mellom to empiriske distribusjoner.



FIGUR L.2-2: EKSEMPEL PÅ PLOT AV DEN MAKSIMALE AVSTANDEN MELLOM TO DISTRIBUTJONER.

Den maksimale vertikale avstanden, KS , som beregnes etter Formel 16 må være mindre enn den kritiske verdi for Kolmogorov-Smirnovs tall, KS_α , for at nullhypotesen skal forkastes,

$$KS \leq KS_\alpha \Rightarrow H_0 \text{ forkastes}$$

$$KS > KS_\alpha \Rightarrow H_0 \text{ aksepteres}$$

Kolmogorov-Smirnov testen kan brukes som en *goodness of the fit test*. Verdier fra datasettet kan sammenlignes med en standard normalfordeling med varians og middelerdi fra datasettet for å avgjøre om dataene kan gjengis som en normalfordeling. Kolmogorov-Smirnov One-Sample-Test kan brukes også når det er små datasett.

M.1.3 REGNEEKSEMPEL

Dette regneeksemplet tar utgangspunkt i en kumulativ distribusjon av energibruken per kvadratmeter per år for et bolighus, basert på Monte Carlo simuleringer. Kolmogorov-Smirnov One-sample Test benyttes for å undersøke om energibruken til bygningen er normalfordelt med samme gjennomsnittsverdi og standardavviket som datasettet for energibruken boligen.

Først defineres hypotesene,

- H_0 datasettet med simuleringer av energibruk kan ikke gjengis som en normalfordeling
 H_1 datasettet med simuleringer av energibruk kan gjengis som en normalfordeling

Deretter må en beregne den maksimale absolutte avstanden, KS , mellom den kumulative distribusjonen til datasettet, F_s , og den kumulative distribusjonen av normalfordelingen, F_x , gitt ved,

$$KS = \max\{|F_x(x_1) - F_s(x_0)|, |F_x(x_1) - F_s(x_1)|, |F_x(x_1) - F_s(x_1)|, |F_x(x_1) - F_s(x_1)| \text{ osv.}$$

KS er funnet ved å beregne maksverdien av alle avstandene mellom punktene i de to siste kolonnene i Tabell L.2-4.

TABELL L.2-4: BEREGNINGSEKSEMPEL AV DEN ABSOLUTTE AVSTANDEN MELLOM DISTRIBUTUSJONENE

Rank, i	x_i	$F_s(x_i)$	$x_i - \bar{X}/S$	$F_x(x_i)$	$ F_x(x_i) - F_s(x_{i-1}) $	$ F_x(x_i) - F_s(x_i) $
1	85,5	0,005	-2,0210	0,021638	0,02163766	0,01663766
2	95,0	0,010	-1,6579	0,048670	0,04366986	0,03866986
3	96,2	0,015	-1,6120	0,053479	0,04347903	0,03847903
4	99,7	0,020	-1,4782	0,069674	0,05467384	0,04967384
5	100,8	0,025	-1,4362	0,075476	0,05547624	0,05047624
6	101,5	0,030	-1,4094	0,079356	0,05435601	0,04935601
7	103,2	0,035	-1,3444	0,089404	0,05940448	0,05440448
8	103,4	0,040	-1,3368	0,090646	0,05564626	0,05064626
9	104,2	0,045	-1,3062	0,095741	0,05574149	0,05074149
10	105,2	0,050	-1,2680	0,102403	0,05740291	0,05240291
...	...	...	...	...	...	...
199	224,8	0,995	3,3039	0,999523	0,00952330	0,00452330
200	260,0	1,000	4,6495	0,999998	0,00499834	0,00000166

Den maksimale absolutte avstanden finnes til å være $KS=0,105$.

For å sjekke om H_0 kan forkastes eller beholdes, beregnes den kritiske verdi, KS_α , etter signifikansnivå på 0,01.

$$KS_\alpha = \frac{c(\alpha)}{\sqrt{n}} = \frac{1.63}{\sqrt{200}} = 0,115$$

Som en kan se er $KS \leq KS_\alpha$ noe som betyr at H_0 kan forkastes med signifikans på 10 %.

VEDLEGG N – GRAFISK PRESENTASJON AV KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR SENSITIVITETSANALYSE

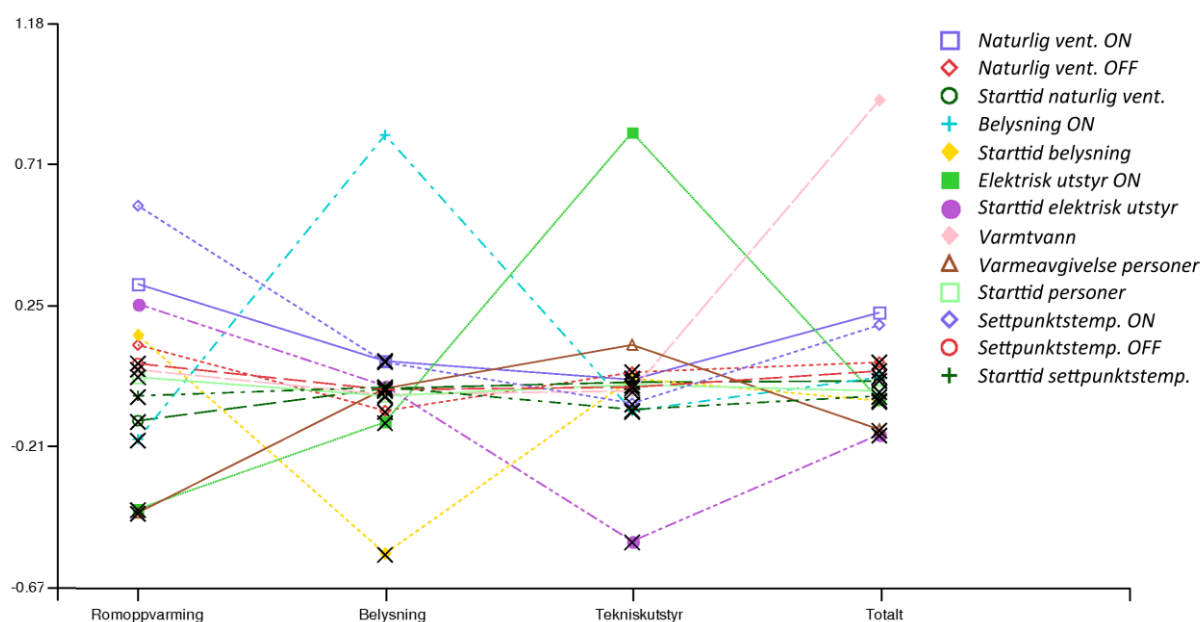
Dette vedlegget gir grafisk presentasjon av de resulterende korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC for småhusmodellen og boligblokkmodellen.

Korrelasjonskoeffisientene er beregnet i SimLab på bakgrunn av Monte Carlo simuleringer av de stokastiske inndatafaktorene beskrevet i Kapittel 7. Utvalget av inndatafaktorer er gjort ved hjelp av Latin Hypercube samplingmetode i SimLab. Teorien bak de ulike korrelasjonskoeffisientene er gitt i Vedlegg E.

N.1 SMÅHUSMODELLEN

N.1.1 ENERGIBRUK

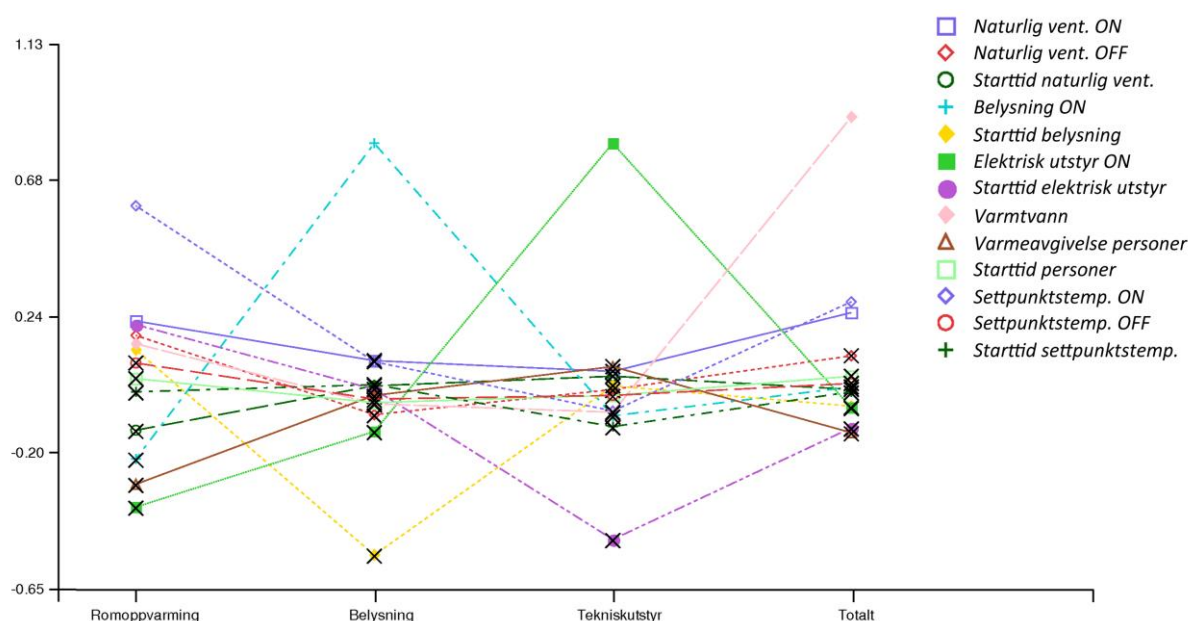
Figur N.1-1-Figur N.1-4 viser plot for korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom inndatafaktorer og totalt netto energibehov for småhusmodellen.



FIGUR N.1-1: PEAR KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Som en ser fra Figur N.1-1 rangerer PEAR settpunkttemperatur i drift som den mest sensitive inndatafaktoren i forhold til energi til romoppvarming med en koeffisient på ca. 0,6. Den andre og tredje mest sensitive faktoren for romoppvarming er varmeavgivelse fra personer og effekt fra elektrisk utstyr i drift med en koeffisient på ca. -0,4. I forhold til energi til varmtvann, belysning og elektrisk utstyr kan en se at effekt til varmtvann har en korrelasjonskoeffisient på 1

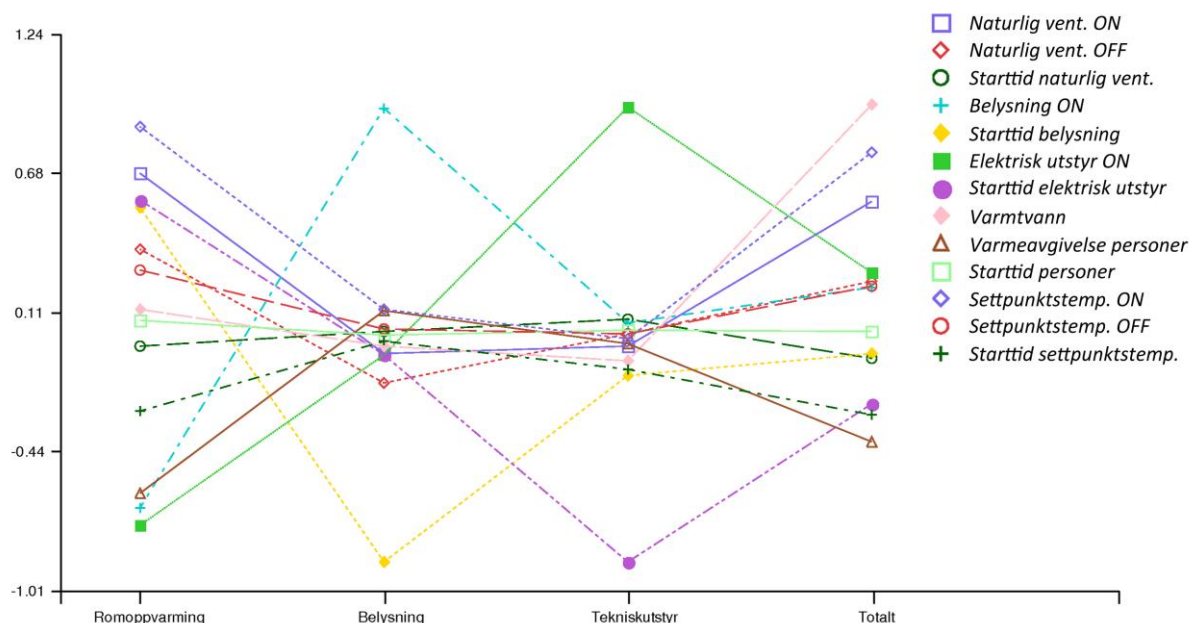
med hensyn til energi til varmtvann, effekt til belysning i drift og starttid for belysning har korrelasjonskoeffisienter på henholdsvis ca. 0,8 og -0,6 i forhold til energi til belysning mens effekt til elektrisk utstyr i drift og starttid for elektrisk utstyr har en korrelasjon med energi til teknisk utstyr på henholdsvis 0,8 og -0,5. Med hensyn til totalt netto energibehov kan man se at effekt til varmtvann er den inndatafaktoren med desidert størst innflytelse på utdata i henhold til PEAR. Figur N.1-1 viser imidlertid at samtlige inndatafaktorer har en liten innflytelse på både energi til varmtvann, belysning og teknisk utstyr. Det virker litt merkverdig at for eksempel naturligventilasjon i drift har innflytelse på energibruk til teknisk utstyr. Disse merkverdige resultatene kan dog komme av at PEAR er egnet for å evaluere lineære modeller, mens det antas at den termodynamiske modellen som evalueres i dette tilfellet ikke er lineær. I henhold til (European Commissoin - IPSC, 2008) er SPEA et foretrukket mål for korrelasjon for ikke-lineære modeller, og SPEA koeffisientene er presentert i Figur N.1-2.



FIGUR N.1-2: SPEA KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Figur N.1-2 presenterer resulterende SPEA korrelasjonskoeffisienter. Som en kan se er de oppnådde resultatene med SPEA imidlertid svært liknende resultatene oppnådd med PEAR som ble vist i Figur N.1-1, hvor settpunkttemperatur i drift fremdeles viser seg å ha den største korrelasjonen med energi til romoppvarming og effekt til varmtvann fremdeles er den desidert viktigste inndatafaktoren i forhold til totalt netto energibehov. Det er imidlertid noe forskjell i forhold til de nest mest sensitive inndatafaktorene med tanke på energi til romoppvarming og totalt netto energibehov hvor PEAR viste at varmeavgivelse fra personer og effekt til elektrisk utstyr var henholdsvis den andre og tredje mest sensitive faktorene og at naturlig ventilasjon i drift og settpunkttemperatur i drift var andre og tredje mest sensitive faktorer i forhold til totalt netto energibehov mens Figur N.1-2 viser at det er vis versa for SPEA. Det er imidlertid svært små forskjeller det er snakk om mellom korrelasjonene av PEAR og SPEA. I likhet med PEAR resulterer også SPEA i lave korrelasjoner for samtlige inndatafaktorer i forhold til energi til varmtvann, belysning og teknisk utstyr. Faktorene med lav korrelasjonskoeffisient i forhold til

netto energibehov virker heller ikke helt realistiske siden blant annet effekt til elektrisk utstyr i drift har en liten negativ korrelasjon noe som ut i fra en tolkning av korrelasjonskoeffisienten betyr at en forøkelse i effekt til elektrisk utstyr i drift vil føre til reduksjon i totalt netto energibehov, noe som ikke virker helt reelt. Dette kan tyde på at det oppstår en numerisk forvrengning i SimLab i forhold til faktorer med lav korrelasjon.

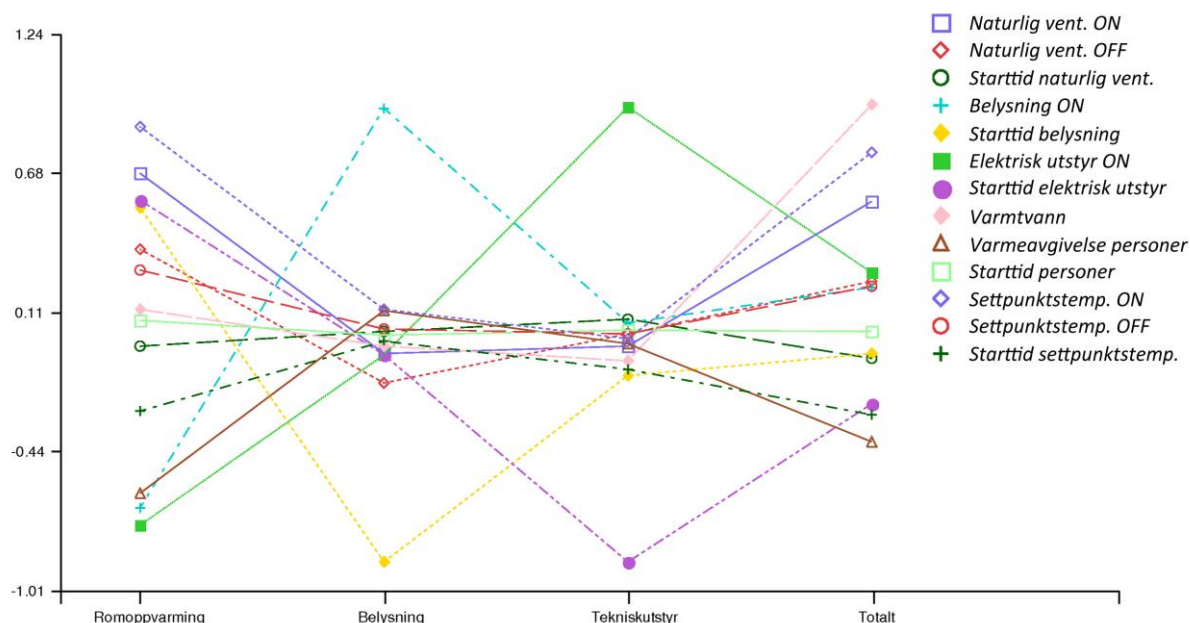


FIGUR N.1-3: PCC KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Figur N.1-3 presenterer resulterende PCC korrelasjonskoeffisienter som angir styrken av korrelasjonen mellom inndata og utdata rensset for korrelasjoner mellom inndata for lineære modeller (Saltelli, et al., 2004a). Sammenliknet med PEAR i Figur N.1-1 som også er egnet for lineære modeller kan man se at PCC indikerer at det er flere inndatafaktorer som har en sterkere korrelasjon til utdata for både romoppvarming og totalt netto energibehov. I forhold til energi til romoppvarming kan man se fra Figur N.1-3 at settpunkttemperatur i drift har den sterkeste korrelasjonen, tett etterfulgt av naturlig ventilasjon i drift, starttid for elektrisk utstyr og starttid for belysning med positiv korrelasjoner og effekt til elektrisk utstyr og belysning samt varmeavgivelse fra personer med negativ korrelasjon. Med tanke på totalt netto energibehov ser man at effekt til varmtvann fremdeles har den sterkeste korrelasjonen, men den er ikke fullt så distinkt som den man så for PEAR i Figur N.1-1. I henhold til PCC har settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer nesten like sterk korrelasjon som effekt til varmtvann. Det samme underlige fenomenet med at samtlige inndatafaktorer viser en liten positiv eller negativ korrelasjon med utdata for energi til varmtvann, belysning og teknisk utstyr som man så for PEAR og SPEA viser seg også gjeldende for PCC, dette kan tyde på at man skal være forsiktig med å evaluere inndatafaktorene med lav korrelasjon til utdata. Dette problemet har blitt adressert i (Saltelli, et al., 1990) hvor det er forklart at dersom det er mange inndatafaktorer som ikke er korrelert med utdata, $y_i=0$, vil utdatavektoren Y bestå av mange

nuller og dette vil resultere i et stort antall forbindelser når rangering blir gjort noe som vil føre til problemer for de fleste av SA teknikkene.

I henhold til (Saltelli, et al., 2004b) kan regresjonsanalyser imidlertid fungere dårlig når modellen som evalueres er ulineær, men dette problemet kan ofte bli unngått ved å benytte rangeringstransformerte koeffisienter og den transformerte koeffisienten av PCC er vist i Figur N.1-4.



FIGUR N.1-4: PRCC KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

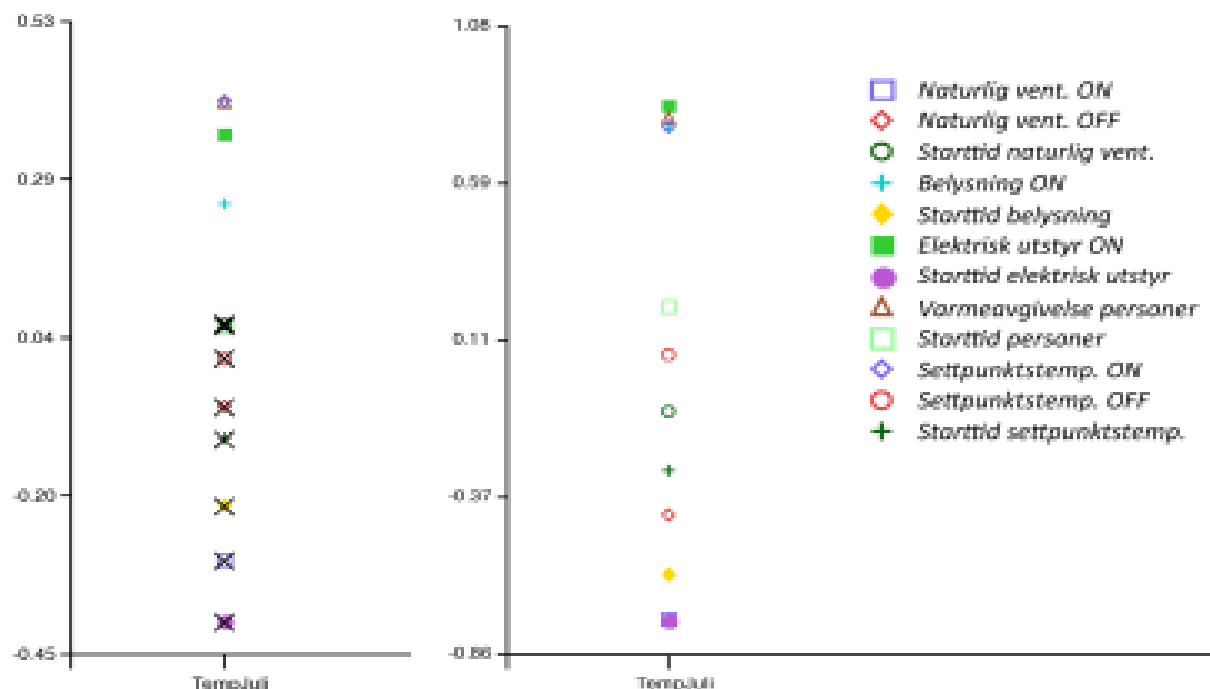
Som en kan se av Figur N.1-4 er resultatene av PRCC meget like resultatene av PCC i Figur N.1-3 med unntak av at det er blitt litt mer spredning mellom faktorene som i Figur N.1-3 viste største positiv og negativ korrelasjon i forhold til energi til romoppvarming og totalt netto energibehov, det vil si at man for eksempel tydelig kan se at det er effekt til oppvarming av varmtvann som har den sterkeste korrelasjonen med totalt netto energibehov mens den andre, tredje og fjerde sterkeste korrelasjonene er knyttet til henholdsvis settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og varmeavgivelse fra personer.

I henhold til litteraturen (Hamby, 1994) er PRCC et mye brukt mål på sensitivitet, og PRCC har vist seg å være en av de mest robuste og pålitelige målene på sensitivitet i forhold til ikke-lineære modeller (Saltelli, et al., 1990). Som nevnt er det antatt at modellen som evalueres ikke er lineær på grunn av kompleksiteten i de termodynamiske likningene som inngår i modellen. Ut i fra Figur N.1-1-Figur N.1-4 anses resultatene i Figur N.1-4 som mest fornuftige.

N.1.2 TERMISK INNEKLIMA

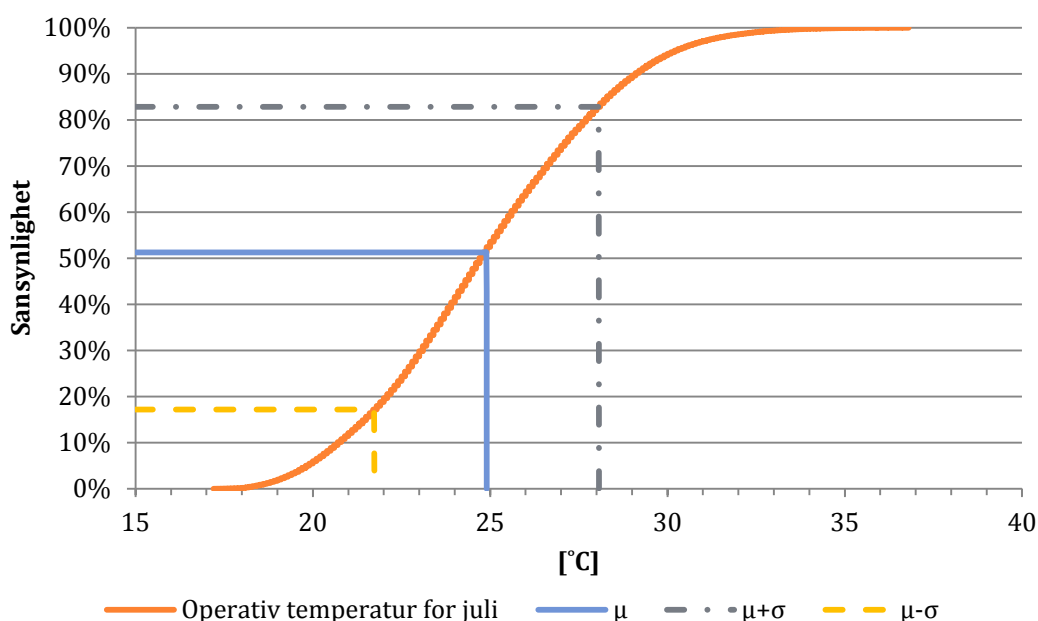
Fra screeninganalysen i Kapittel 6 så en at settpunkttemperatur i drift gjorde seg gjeldende som en av de sensitive faktorene i forhold til gjennomsnittlig temperatur i juli, noe som i grunnen er noe merkelig siden det ikke skal være nødvendig med oppvarming i juli. Dette gjorde seg imidlertid gjeldende i den kvantitative analysen også. Figur N.1-5 viser plot for

korrelasjonskoeffisientene PEAR og PCC mellom inndatafaktorer og gjennomsnittlig temperatur for småhusmodellen når settpunkttemperaturer og starttid for settpunkt i drift modelleres som stokastiske variabler i likhet med hva som ble gjort i screeninganalysen.



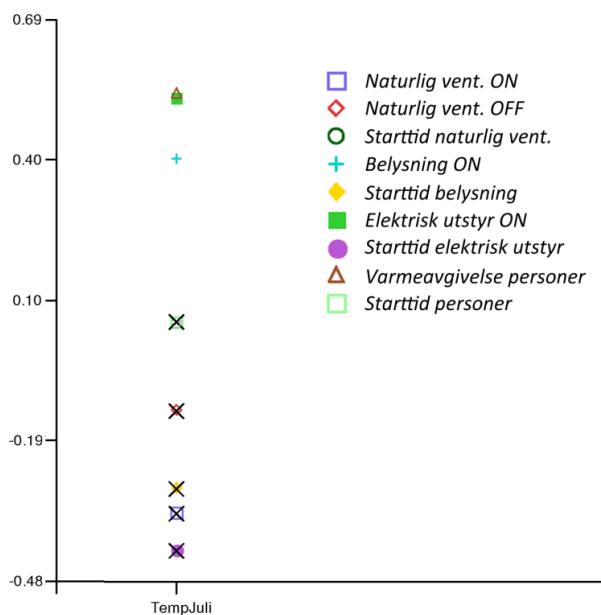
FIGUR N.1-5: KORRELASJONSKOEFFISIENTER MED HENSYN PÅ GJENNOMSNIITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. PEAR TIL VENSTRE OG PCC TIL HØYRE ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Fra Figur N.1-5 kan en se at settpunkttemperatur i drift er en av de mest sensitive faktorene både i forhold til PEAR og PCC når settpunkttemperatur er en stokastisk variabel i henhold til Tabell 7.1-2. I tillegg er naturligventilasjon utenfor drift en sensitiv faktor med negativ korrelasjon i henhold til PCC. Dette tyder på at varmeanlegget faktisk slår seg på om morgenen i noen situasjoner og at dette kan skyldes at naturlig ventilasjon utenfor drift har kjølt ned boligen til under settpunkttemperatur for drift og at det oppstår en konflikt i de situasjonene hvor starttid for settpunkttemperatur i drift er tidlig og mengde av luft i naturlig ventilasjon utenfor drift er høy. Det er imidlertid antatt at det er vanlig å ha varmeanlegget avslått i juli måned. Ved å gjennomføre simuleringer med en fast settpunkttemperatur på 18 °C viste flere av simuleringsresultatene at temperaturene kunne synke til under 20 °C i løpet av juli, se Figur N.1-6, noe som indikerer at varmeanlegget vil slå seg på dersom settpunkttemperaturen er høyere enn dette. Det er da ikke så merkelig at settpunkttemperatur gjør seg gjeldende som en sensitiv faktor når den som stokastisk variabel har en forventningsverdi på 21,5 °C og standardavvik på 1,6, noe som tilsier at innenfor standard spredning kan settpunkttemperaturen være oppe i 23,1°C.

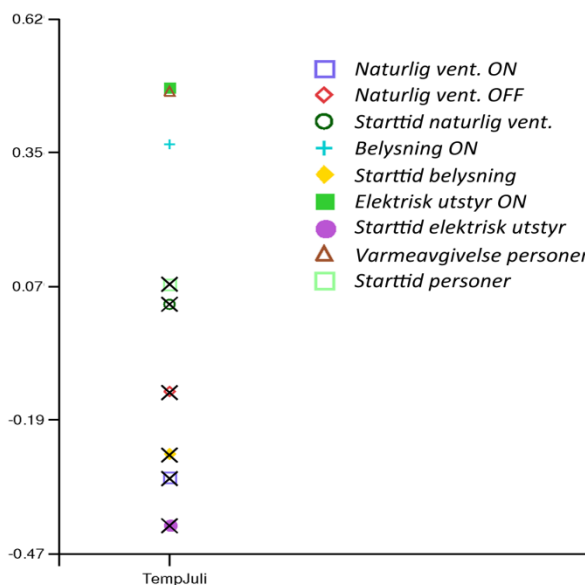
FIGUR N.1-6: KUMMULATIV FORDELING AV OPERATIV TEMPERATUR FOR JULI, $m=200$

Det antas imidlertid at det er sannsynlig å ha varmeanlegget slukket i sommer perioden. I SIMIEN er det mulig å legge inn egen sommerstrategi for oppvarming, men denne muligheten er ennå ikke lagt inn som koder i xml og det har derfor ikke vært mulig å benytte denne funksjonen i dette prosjektet. Den følgende kvantitative analysen er derfor utført med simuleringer uten stokastisk inndata for settpunkttemperatur og starttid for settpunkt samt uten varmtvann som stokastisk inndata siden effekt til oppvarming av varmtvann ikke skal ha noen innflytelse på innnetemperaturen når man antar at alle varmtvannsledninger er godt isolerte slik at de ikke har noe varmetap. Dette gjelder for både småhusmodellen og boligblokkmodellen. For de resterende brukeravhengige faktorene er inndata stokastisk i henhold Tabell 7.1-2 i Kapittel 7.

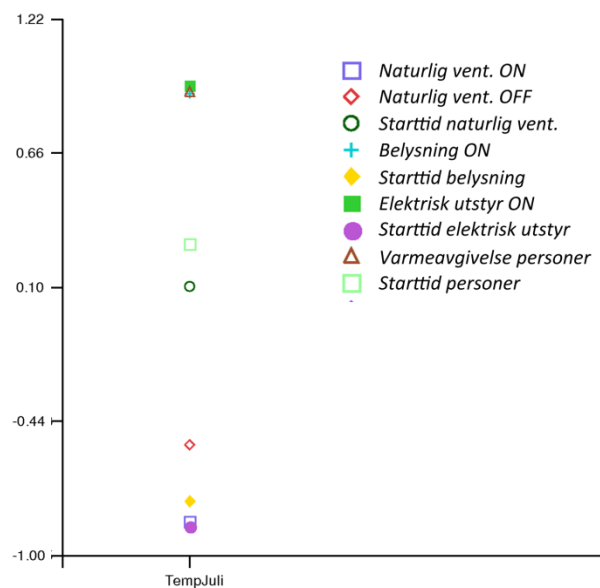
Figur N.1-7-Figur N.1-10 viser plot for korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom brukerrelaterte inndatafaktorer, med unntak av settpunkttemperaturer og starttid for settpunkt i drift, i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli.



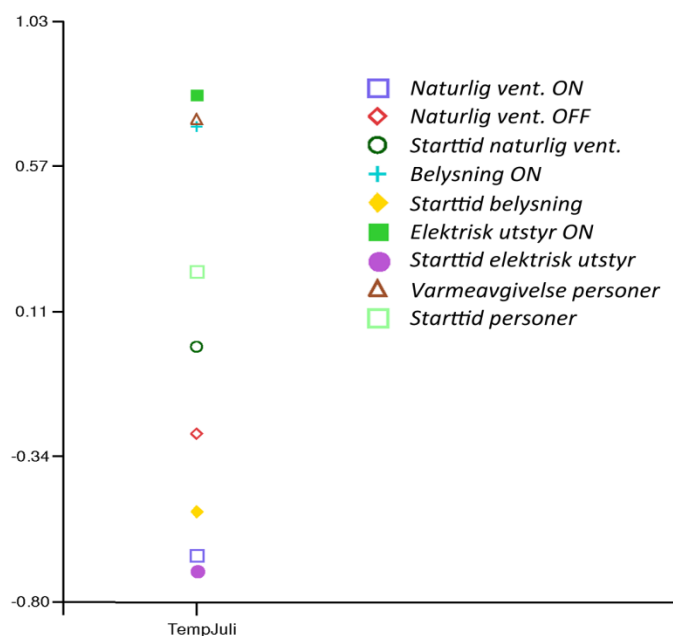
FIGUR N.1-7: PEAR KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.



FIGUR N.1-8: SPEA KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.



FIGUR N.1-9: PCC KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.



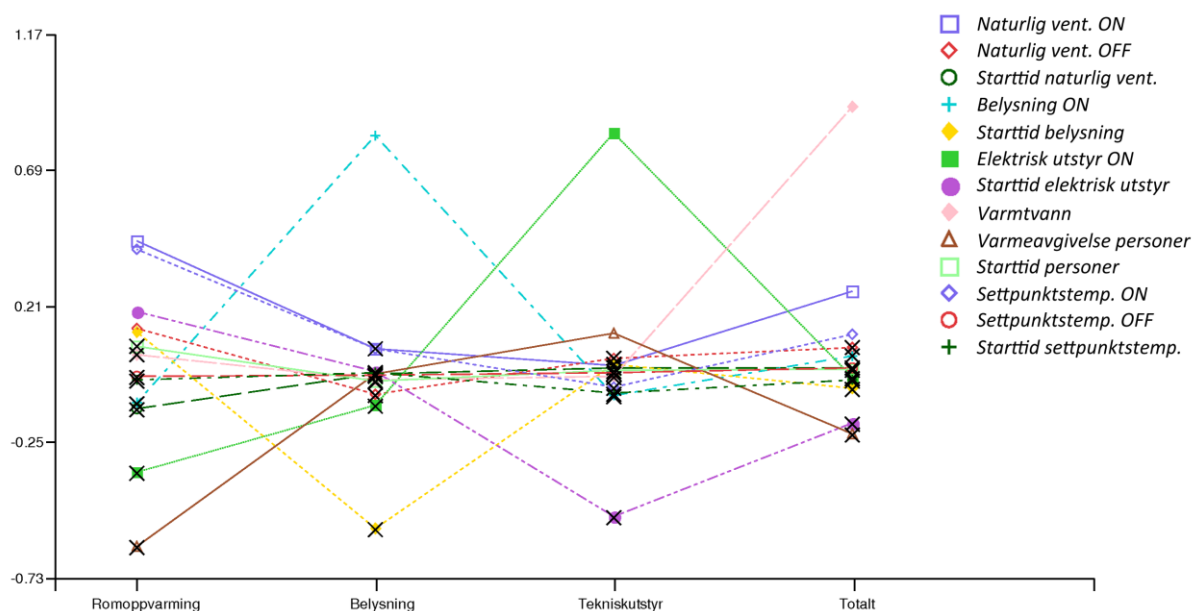
FIGUR N.1-10: PRCC KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR SMÅHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Fra Figur N.1-7 til Figur N.1-10 kan en se at alle korrelasjonsestimatorene rangerer effekt til elektrisk utstyr, varmeavgivelse fra personer, starttid for elektrisk utstyr og naturlig ventilasjon i drift som de fire mest sensitive inndatafaktorene i forhold til gjennomsnittlig operativ temperatur i juli. Som en kan se har effekt til elektrisk utstyr og varmeavgivelse fra personer positiv korrelasjon og starttid for elektrisk utstyr og naturlig ventilasjon i drift negativ korrelasjon. Dette betyr blant annet at en økning i effekt til elektrisk utstyr vil føre til høyere temperatur, noe som er fornuftig siden det antas at ca. 100 % av effekten til elektrisk utstyr går over til varme. I tillegg viser det at en økning i starttidspunktet til elektrisk utstyr vil redusere gjennomsnittlig operativ temperatur i juli.

N.2 BOLIGBLOKKMODELLEN

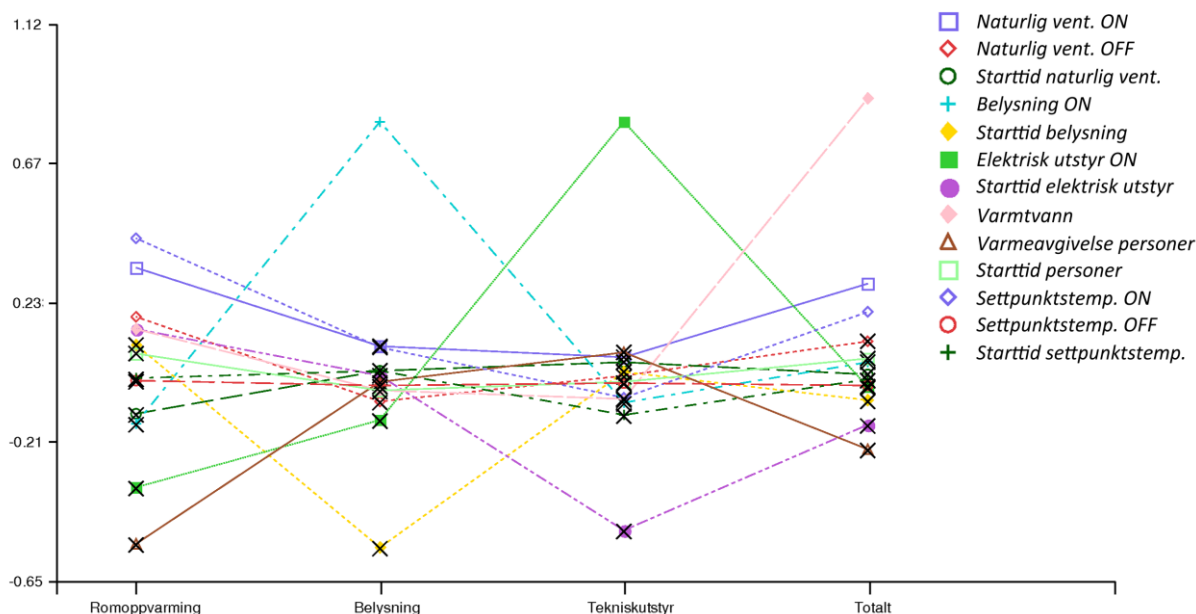
N.2.1 ENERGIBRUK

Figur N.2-1 til Figur N.2-4 viser plot for korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom inndatafaktorer og totalt netto energibehov for boligblokkmodellen.



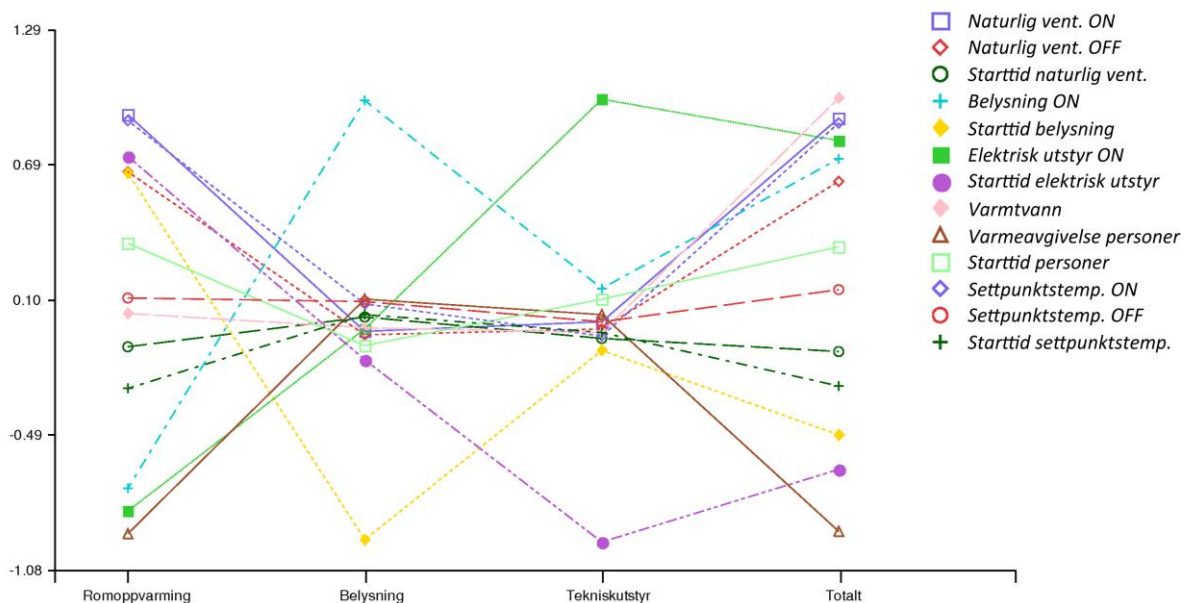
FIGUR N.2-1: PEAR KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Som en kan se fra Figur N.2-1 er resulterende PEAR korrelasjonskoeffisienter for boligblokkmodellen meget like PEAR for småhusmodellen som ble vist i Figur N.1-1. For boligblokkmodellen har imidlertid varmeavgivelse fra personer og naturlig ventilasjon i drift større betydning spesielt i forhold til romoppvarming enn det disse faktorene hadde for småhusmodellen. I forhold til romoppvarming viser Figur N.2-1 at det faktisk er varmeavgivelse fra personer som er den mest sensitive faktoren med en negativ korrelasjon på ca. -0.6.



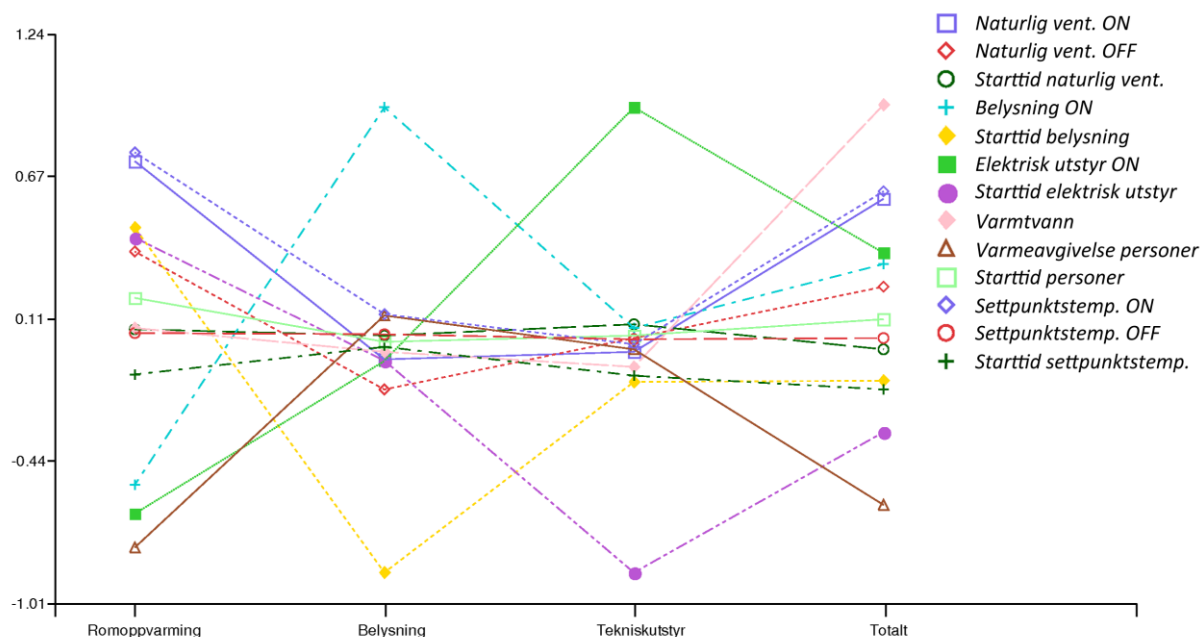
FIGUR N.2-2: SPEA KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Figur N.2-2 viser SPEA korrelasjonskoeffisienter mellom inndatafaktorer og energibruk for boligblokkmodellen og i likhet med det man så for småhusmodellen er det stor likhet mellom PEAR korrelasjonskoeffisientene og SPEA korrelasjonskoeffisientene for boligblokkmodellen. For SPEA koeffisientene har derimot settpunkttemperatur i drift noe høyere sensitivitet både med hensyn til romoppvarming og med hensyn til totalt netto energibehov enn det man så for PEAR i Figur N.2-1. SPEA indikerer at det er settpunkttemperatur i drift som er den nest mest sensitive faktorene i forhold til romoppvarming i boligblokkmodellen etter varmeavgivelse fra personer.



FIGUR N.2-3: PCC KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Figur N.2-3 presenterer PCC korrelasjonskoeffisienter for boligblokkmodellen og i likhet med det man så for småhusmodellen indikerer PCC at det er flere inndatafaktorer som har en sterkere korrelasjon til utdata for både romoppvarming og totalt netto energibehov enn det PEAR og SPEA indikerer. Som nevnt er PCC i likhet med PEAR egnet for lineære modeller mens den transformerte koeffisienten av PCC, PRCC, er bedre egnet til ulineære modeller. PRCC koeffisientene mellom inndatafaktorene og energibruk for boligblokkmodellen er illustrert i Figur N.2-4.



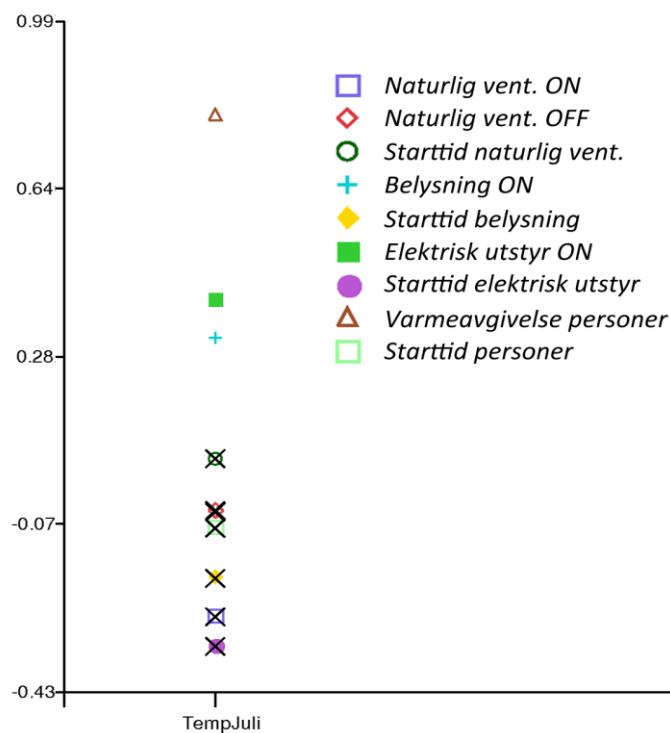
FIGUR N.2-4 PRCC KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR ROMOPPVARMING, BELYSNING, TEKNISK UTSTYR OG TOTALT NETTO ENERGIBEHOV. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Som en kan se av Figur N.2-4 er resultatene av PRCC meget like resultatene av PCC i Figur N.2-3 med unntak av at det er blitt litt mer spredning mellom faktorene som i Figur N.2-3 viste største positiv og negativ korrelasjon i forhold til energi til romoppvarming og totalt netto energibehov, dette er det samme som gjorde seg gjeldende mellom PCC og PRCC for småhusmodellen.

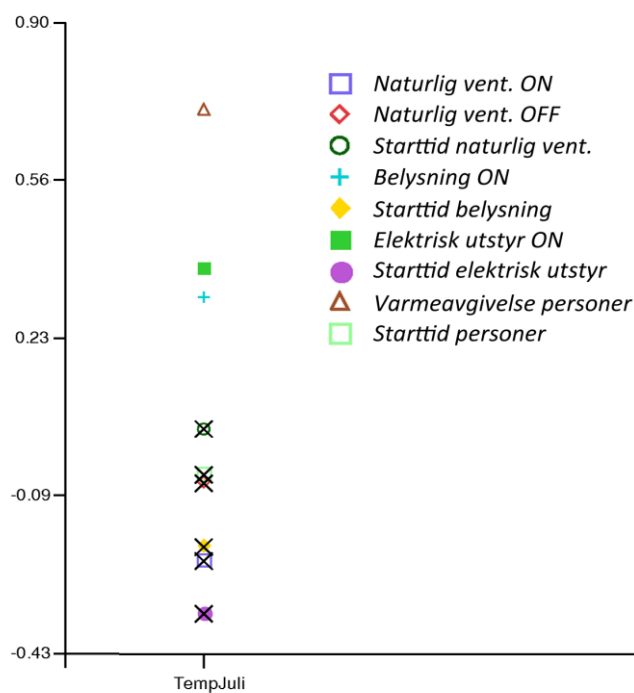
Generelt sett kan man ut i fra alle korrelasjonskoeffisientene se at varmeavgivelse fra personer har større betydning i boligblokkmodellen enn småhusmodellen. Siden det er brukt samme inndatafordelinger for de stokastiske variablene er det en naturlig konsekvens at varmeavgivelse får større betydning i boligblokkmodellen siden persontettheten i denne modellen blir større enn i småhusmodellen når inndata for antall personer er dividert med et areal på 160 m² for småhusmodellen og 65 m² for boligblokkmodellen. Siden varmeavgivelsen i boligblokkmodellen er større per kvadratmeter enn i småhusmodellen fører det også til at settpunkttemperatur i drift får en noe mindre betydning i forhold til energibruk til romoppvarming og på totalt netto energibruk siden det trengs mindre varme fra varmeanlegget for å oppnå ønsket innnetemperatur i oppvarmingssesongen. Det forventes dermed også at varmeavgivelse fra personer får en høyere betydning for gjennomsnittlig temperatur i juli for boligblokkmodellen enn den man så for småhusmodellen, dette er vurdert i neste avsnitt.

N.2.2 TERMISK INNEKLIMA

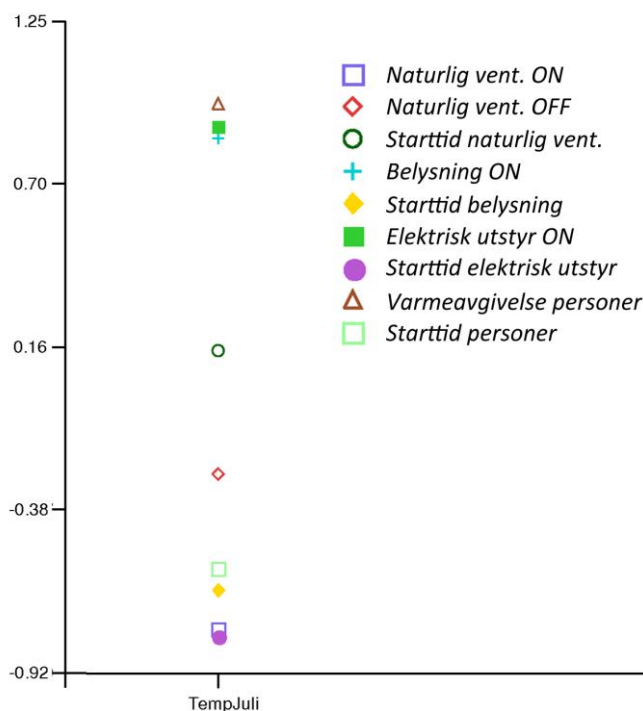
Figur N.2-5-Figur N.2-8 viser plot for korrelasjonskoeffisientene PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom inndatafaktorer og gjennomsnittlig temperatur for boligblokkmodellen. I likhet med hva som ble gjort for boligblokkmodellen kjøres simuleringen i boligblokkmodellen med deterministisk verdi for settpunkttemperaturer og starttidspunkt for settpunkttemperatur i drift mens alle andre brukerrelaterte inndatafaktorer modelleres stokastisk med fordelingene gitt i Tabell 7.1-2 i Kapittel 7.



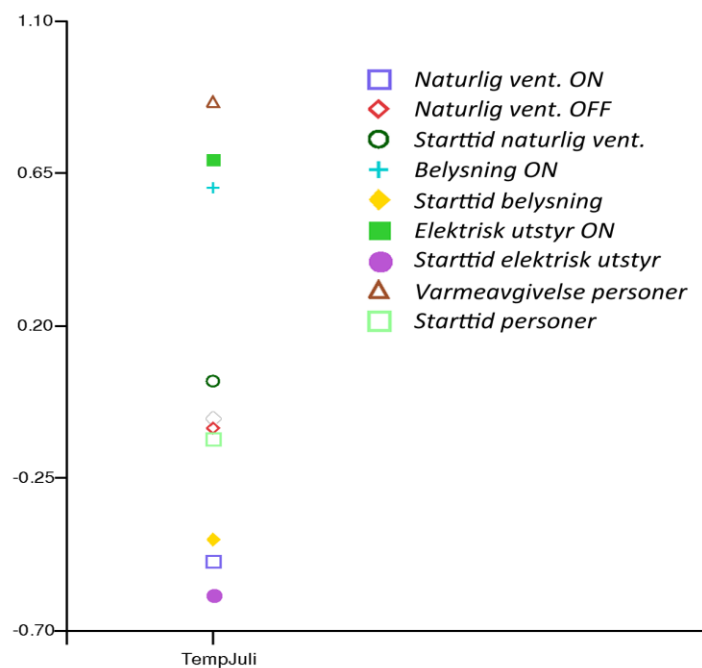
FIGUR N.2-5: PEAR KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR BLOKKHUSMODELLEN. ON=I DRIFT, OFF=UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT



FIGUR N.2-6: SPEA KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR BLOKKHUS. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.



FIGUR N.2-7 PCC KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR BLOKKHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.



FIGUR N.2-8: PRCC KORRELASJONSKOEFFISIENT I FORHOLD TIL GJENNOMSNITTLIG OPERATIV TEMPERATUR I JULI FOR BLOKKHUSMODELLEN. ON= I DRIFT, OFF= UTENFOR DRIFT, STARTTID REFERERER TIL STARTTID FOR DRIFT.

Figur N.2-5-Figur N.2-8 kan man se at alle de estimerte korrelasjonskoeffisientene viser størst korrelasjon mellom varmeavgivelse fra personer og gjennomsnittlig operativ temperatur i juli, noe som betyr at varmeavgivelse fra personer rangeres som den mest sensitive faktoren av både PEAR, SPEA, PCC og PRCC. Dette betyr at varmeavgivelse fra personer i likhet med hva man så i forhold til totalt netto energibehov har større innflytelse for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen som så sagt kommer av at det er benyttet samme inndatadistribusjon i de to modellene og at persontettheten dermed er større i boligblokkmodellen. Videre kan man fra Figur N.2-5-Figur N.2-8 se at effekt til elektrisk utstyr og belysning er blant de mest innflytelsesrike inndatafaktorene med positiv korrelasjon etterfulgt av naturlig ventilasjon i drift med negativ korrelasjon.

VEDLEGG O – RESULTATER AV KVANTITATIV SENSITIVITETSANALYSE – BOLIGBLOKK

Dette vedlegget oppsummerer og analyserer resulterende korrelasjonskoeffisienter for PEAR, SPEA, PCC og PRCC oppnådd ved Monte Carlo simuleringer av sensitive brukerrelaterte inndatafaktorer i boligblokkmodellen og kvantifiserer usikkerheten som kan tillegges de ulike inndatafaktorene. Alle resultatene er grafisk fremstilt i Vedlegg N.

0.1 ENERGI

Resulterende korrelasjonskoeffisienter for PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom inndatafaktorer og totalt netto energibruk for boligblokkmodellen er gitt i Tabell O.1-1.

TABELL O.1-1: RESULTERENDE KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR PEAR, SPEA, PCC OG PRCC MELLOM INNDATAFAKTORER OG TOTALT NETTO ENERGIBRUK FOR BOLIGBLOKKMODELLEN. TABELLEN GIR RANGERINGS AV INNDATAFAKTORENE FOR DE ULIKE METODENE OG PROSENTVIS ANGIVELSE AV HVOR STOR DEL AV USIKKERHETEN KNYTTET TIL BRUKERATFERD SOM KAN TILDELES DEN GITTE FAKTOR I HENHOLD TIL DE ULIKE METODENE. VERDIER SOM ANSEES SOM IKKE SIGNIFIKANTE ER UTELATT.

Inndatafaktor	PRCC			SPEA			PCC			PEAR		
	verdi	%	rang	verdi	%	rang	verdi	%	rang	verdi	%	rang
Varmtvann	0,96	21 %	1	0,89	41 %	1	1	13 %	1	0,92	45 %	1
Personer ON	-0,63	14 %	2	-0,24	11 %	3	-0,92	12 %	2	-0,23	11 %	3
Settpunkttemp. ON	0,62	14 %	3	0,21	10 %	4	0,88	11 %	4	0,13	6 %	5
Naturlig vent. ON	0,59	13 %	4	0,29	13 %	2	0,9	11 %	3	0,28	14 %	2
El. utstyr ON	0,38	8 %	5	-0,04	2 %	7	0,8	10 %	5	-0,03	1 %	6
Starttid el.utstyr	-0,34	7 %	6	-0,16	7 %	5	-0,65	8 %	7	-0,19	9 %	4
Belysning ON	0,33	7 %	7	0,05	2 %	8	0,73	9 %	6	0,05	2 %	7
Naturlig vent. OFF	0,24	5 %	8	0,11	5 %	6	0,62	8 %	8	0,08	4 %	8
Starttid settpunkttemp.	-0,17	4 %	9	-0,01	0 %	9	-0,28	4 %	11	-0,04	2 %	9
Starttid belysning	-0,13	3 %	10	-0,08	4 %	10	-0,49	6 %	9	-0,07	3 %	10
Starttid personer	0,11	2 %	11	0,06	3 %	11	0,34	4 %	10	0	0 %	11
Settpunkttemp. OFF	0,04	1 %	12	-0,03	1 %	12	0,15	2 %	12	0,01	0 %	12
Starttid naturlig vent.	-0,01	0 %	13	0,01	0 %	13	-0,13	2 %	13	0	0 %	13

Som en kan se fra tabellen er resultatene for boligblokkmodellen svært liknende resultatene fra småhusmodellen i forhold til hvilke faktorer som tillegges en stor del av usikkerheten i utdata og hvilke som har begrenset betydning for utdata. For boligblokkmodellen er det imidlertid noen uoverensstemmelser i rangeringen av de fire mest sensitive faktorene. Man kan se at PRCC og PCC rangerer varmeavgivelse fra personer høyere enn SPEA og PEAR, men den prosentvise andelen av usikkerhet i utdata som tillegges varmeavgivelse fra personer av PRCC og PCC er ikke så mye større enn av SPEA og PEAR. Fra samtlige av estimatorene rangeres varmeavgivelse fra personer høyere for boligblokkmodellen enn for småhusmodellen, dette er en naturlig konsekvens siden det er benyttet samme inndatafordelinger i de to modellene og

persontettheten i boligblokkmodellen dermed blir større enn i småhusmodellen. I likhet med korrelasjonene for småhusmodellen ser man både at SPEA og PEAR legger effekt til oppvarming av varmtvann betydelig større andel av usikkerheten i utdata enn PRCC og PCC og at effekt til elektrisk utstyr i drift har en negativ korrelasjon i forhold til totalt netto energibehov for boligblokkmodellen. Dersom man dermed i likhet med hva som ble gjort for småhusmodellen går ut i fra at PRCC representerer de mest representative resultatene, kan man ut i fra Tabell 0.1-1 se at de fire mest innflytelsesrike brukerrelaterte faktorene; effekt til varmtvann, varmeavgivelse fra personer, settpunkttemperatur i drift og naturlig ventilasjon i drift kan forklare over 60 % av variasjonen i totalt netto energibruk forårsaket av brukeratferd.

Fra Tabell 0.1-1 kan en se at det er svært små korrelasjoner som gjør seg gjeldende for noen av de mindre sensitive faktorene. For å kvantifisere hvilken tiltro man kan sette til korrelasjonene mellom inndata og utdata er det utført en hypotesetest i forhold til SPEA verdiene. Den følgende hypotesen er formulert:

H_0 : Ingen korrelasjon eksisterer mellom Y og X_j .

I forhold til hypotesetesten må man velge et signifikansnivå, α , som indikerer sannsynligheten for feilaktig å forkaste hypotesen, som i denne situasjonen vil si sannsynligheten for at testen indikerer korrelasjon når Y og X_j i virkeligheten ikke er korrelerte. Hypotesen blir forkastet dersom SPEA enten er lavere enn $W(\alpha/2)$ eller høyere enn $W(1-\alpha/2)$, hvor W er fraktilene av testdistribusjonen (Saltelli, et al., 1990) (European Commission - IPSC, 2008). Med et signifikansnivå $\alpha = 0,05$ og $m=200$ forkastes H_0 dersom SPEA er utenfor intervallet $[-0,14; 0,14]$ ⁶. Fra Tabell 0.1-1 kan en se at det kun er effekt til oppvarming av varmtvann, varmeavgivelse fra personer, settpunkttemperatur i drift, naturlig ventilasjon i drift og starttid for elektrisk utstyr man kan si med 95 % sikkerhet at har en korrelasjon med utdata i forhold til SPEA. Dette betyr at den negative korrelasjonen man så mellom effekt til elektrisk utstyr og totalt netto energibehov sannsynligvis ikke er reell. Selv om man i henhold til hypotesetesten med SPEA kun kan si at det eksisterer en korrelasjon mellom utdata og de fem nevnte faktorene med 95 % sikkerhet er det viktigste ved å analysere en modell likevel å forstå hva som skjer i modellen og ha en formening om hva som er fornuftig eller ikke. Siden alle korrelasjonene i forhold til PRCC virker fornuftige er det imidlertid valgt å vurdere alle korrelasjonene oppnådd med PRCC som reelle og fastholde ved resultatene oppsummert ovenfor.

⁶ Verdiene leses av i tabell i for eksempel (Zar, 1999)

0.2 TERMISK

Korrelasjonskoeffisientene for PEAR, SPEA, PCC og PRCC mellom brukerrelatert inndata og gjennomsnittlig temperatur i juli for boligblokkmodellen er presentert i Tabell 0.2-1.

TABELL 0.2-1: RESULTERENDE KORRELASJONSKOEFFISIENTER FOR PEAR, SPEA, PCC OG PRCC MELLOM INNDATAFAKTORER OG GJENNOMSNIITTLIG TEMPERATUR I JULI FOR BOLIGBLOKKMODELLEN. TABELLEN GIR RANGERING AV INNDATAFAKTORENE FOR DE ULIKE METODENE OG PROSENTVIS ANGIVELSE AV HVOR STOR DEL AV USIKKERHETENKNYTTET TIL BRUKERATFERD SOM KAN TILDELES DEN GITTE FAKTOR I HENHOLD TIL DE ULIKE METODENE

Inndatafaktor	PRCC Verdi	%	Rang	SPEA Verdi	%	Rang	PCC Verdi	%	Rang	PEAR Verdi	%	Rang
Personer	0,87	22 %	1	0,72	30 %	1	0,97	16 %	1	0,8	32 %	1
El. utstyr ON	0,7	17 %	2	0,39	16 %	2	0,9	15 %	2	0,41	16 %	2
Belysning ON	0,61	15 %	3	0,32	14 %	4	0,86	14 %	3	0,32	13 %	4
Starttid el. utstyr	-0,6	15 %	4	-0,35	15 %	3	-0,81	14 %	4	-0,34	13 %	3
Naturlig vent. ON	-0,5	12 %	5	-0,23	10 %	5	-0,79	13 %	5	-0,27	11 %	5
Starttid belysning	-0,44	11 %	6	-0,2	8 %	6	-0,65	11 %	6	-0,19	8 %	6
Starttid personer	-0,14	3 %	7	-0,05	2 %	8	-0,58	10 %	7	-0,08	3 %	7
Naturlig vent. OFF	-0,11	3 %	8	-0,07	3 %	7	-0,27	5 %	8	-0,05	2 %	9
Starttid naturlig vent.	0,04	1 %	9	0,04	2 %	9	0,15	3 %	9	0,06	2 %	8

Fra screeninganalysen av boligblokkmodellen for gjennomsnittlig temperatur i juli så man at varmeavgivelse fra personer hadde det desidert største estimerte gjennomsnittet av elementareffekter og det største standardavviket for elementareffektene, varmeavgivelse fra personer var dermed rangert som den mest sensitive inndatafaktoren. Fra Tabell 0.2-1 kan man se at alle estimatorene PRCC, SPEA, PCC og PEAR også rangerer varmeavgivelse fra personer innenfor sitt usikkerhetsintervall som den mest innflytelsesrike faktoren på utdata. Det varierer imidlertid hvor stor andel av usikkerheten i utdata som tillegges varmeavgivelse fra personer, PRCC tillegger denne faktoren 22 %, SPEA 30 %, PCC 16 % og PEAR 32 %. I likhet med hva man så for totalt netto energibehov for boligblokkmodellen er det noen uoverensstemmelser blant rangeringen av de mest sensitive faktorene, men den prosentvise andelen som tillegges de fire nest mest sensitive faktorene er begrenset. Ved å evaluere resultatene i henhold til PRCC kan en si at de tre mest sensitive faktorene varmeavgivelse fra personer, varmeavgivelse fra elektrisk utstyr og varmeavgivelse fra belysning som alle går inn under intern varmebelastning utgjør over 50 % av usikkerheten knyttet til gjennomsnittlig temperatur i juli forårsaket av brukeratferd.

VEDLEGG P - TIDLIGERE UNDERSØKELSER RELATERT TIL DANNELSE AV BRUKERPROFILER

Dette vedlegget gir noen få eksempler på hvordan tidligere undersøkelser har tatt høyde for faktorer som påvirker energibruk og metoder som er brukt for å danne brukerprofiler.

P.1 TIDLIGERE STUDIER

Flere studier har i senere tid forsøkt å etablere og utvikle modeller som implementerer brukeratferd i energiberegninger. Widén og Wäckelgård (2009) presenterer en modell for å inkludere brukermønster av elektrisk utstyr i boliger. Page et al. (2008) har utviklet en algoritme for tilstedeværelse av brukere. Flere undersøkelser tar for seg brukeratferd relatert til åpning og lukking av vinduer, samt bruk av lys, solskjerming, varme og ventilasjon (Andersen, et al., 2009) (Nicol, 2001) (Rijal, et al., 2007). Nevnte studier fokuserer imidlertid kun på enkelte aktiviteter og inndatafaktorer i energiberegningene, men påvirkningen på energibruk som forårsakes av brukere er mer komplekst enn som så, noe som ble illustrert i Figur 1.4-2 på side 13 i hovedrapporten.

Litteraturen har derimot vist eksempler på ulike fremgangsmåter for å danne grupperinger av blant annet ulike bygninger, holdninger til energibruk eller preferanser til inneklimategninger for å kunne si noe om variasjon i energibruk. Slike grupperingsmetoder vil være anvendelig å benytte til å danne brukerprofiler. I det følgende er det gitt fire eksempler på metoder som ansees som egnede for å etablere brukerprofiler; klyngeanalyse, faktoranalyse, beslutningstre og predefinerte brukermønstre.

P.1.1 KLYNGEANALYSE

Yu et al. (2011) har benyttet klyngeanalyse for å identifisere effekten av brukeratferds påvirkning på en bygnings energibruk. Klyngeanalyse (fra engelsk; "cluster analysis") har som formål å inndeles observasjoner/objekter i et datasett i klynger/ grupper ettersom hvor like egenskaper de har, slik at observasjonene innenfor en klynge har størst mulig grad av like egenskaper, mens observasjonene mellom klyngene i størst mulig grad har ulike egenskaper (StatSoft, 2011) (Yu, et al., 2011). Et viktig steg i klyngeanalyse er derfor å bestemme et distanse mål som avgjør likheten/ ulikheten mellom egenskapene til observasjonene. Et eksempel på et distanse mål er "Euclidean distance", som egentlig bare er den virkelige geometriske avstanden i det flerdimensjonale rommet mellom to punkter og kan identifiseres ved hjelp av Pythagoras (StatSoft, 2011), se for øvrig Vedlegg R. Inndelingen av observasjonene i datasettet gjøres deretter ved hjelp av algoritmer som bestemmer hvilke egenskaper hos observasjonene som skal puttes inn i de forskjellige klyngene. Eksempel på en algoritme er *k-means* algoritmen. *k-means* algoritmen inndeles observasjonene slik at de tilhører den klyngen med nærmest senterverdi, senterverdien til en klynge er den gjennomsnittlige posisjonen til alle objektene i den klyngen (StatSoft, 2011) (Yu, et al., 2011), se for øvrig Vedlegg R.

Klyngeanalyse kan gi en bedre visualisering av et datasett samt muligheten til å si noe om sammenhenger og struktur i datasettet. Figur P.1-1 viser et eksempel på hvordan en kan inndelegere observasjoner fra et teoretisk datasett i klynger på bakgrunn av deres egenskaper. Et teoretisk datasett består av målinger og bygningsdata fra n antall boliger, med m antall variabler som har påvirkning på boligens energibruk. Observasjonene som i dette tilfelle er *boligene* er listet opp i radene fra 1 til n og egenskapene som i dette tilfelle er *attributter* som påvirker energibruken til boligene (klimaparametere, tekniske systemer etc.) er listet bortover i kolonene fra 1 til m . Et distanse mål avgjør likheten mellom variablene og observasjonene deles deretter inn i w klynger etter deres egenskaper ved hjelp av en algoritme. Hver klynge kan nå analyseres og likheter/ulikheter, strukturer og mønstre kan nå identifiseres. Ytterligere informasjon om klyngeanalyse, med påfølgende eksempel finnes i Vedlegg R.

m antall attributter med påvirkning på energibruk


	Observasjoner	Variabel 1 (settpunkttemp.)	...	Variabel m (u-verdi vegg)
Klynge 1	Bolig 1	21,5	X	0,17
	...	21,2	X	0,18
	Bolig i	22,0	X	0,18
	...	...	...	...
Klynge w	Bolig j	18,5	X	0,30
	...	19,0	X	0,33
	Bolig n	18,7	X	0,35



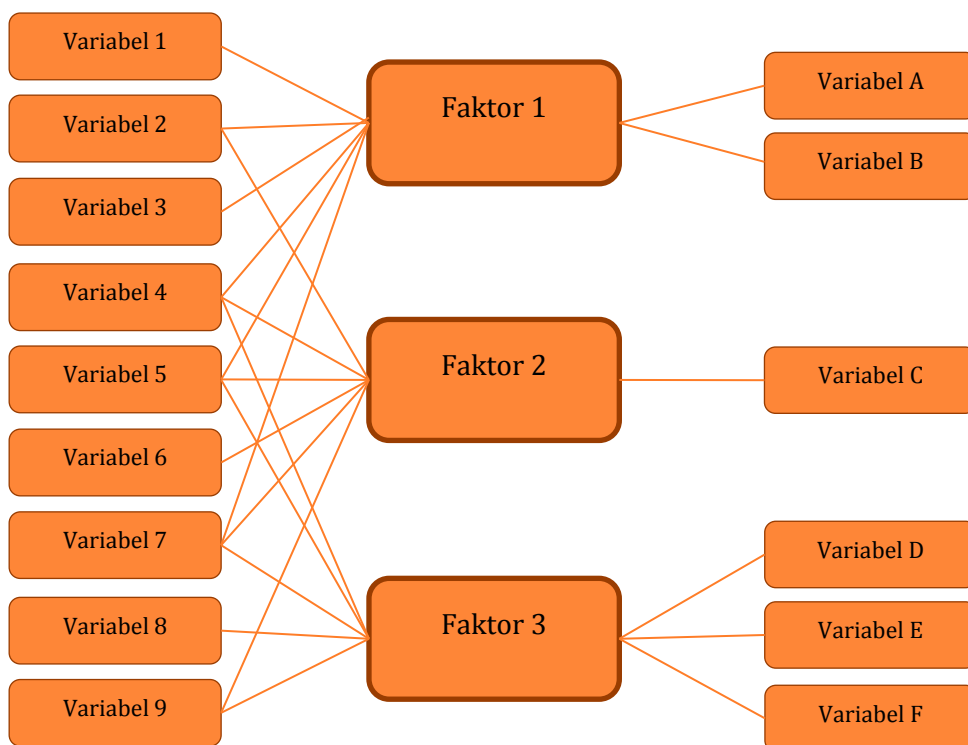
FIGUR P.1-1: EKSEMPEL PÅ KLYNGESKJEMA HVOR OBSERVASJONENE ER BOLIGER OG EGENSKAPENE ER VARIABLER SOM PÅVIRKER ENERGIBRUKEN TIL EN BOLIG, ETTER (YU, ET AL., 2011).

Yu et al. (2011) benyttet klyngeanalyse til å gruppere boliger etter de faktorene som ikke er relatert til brukeratferd; klima, bygningskarakteristikk, tekniske systemer og brukerkarakteristikk som ikke relateres sosiale og økonomiske faktorer. Forutsatt at det er et tilstrekkelig stort utvalg av bygninger og at bygningene har store forskjeller mellom de fire faktorene som er urelatert til brukeratferd medfører denne metoden at den fulle effekten av de fire faktorene i hver gruppe er tilstrekkelig liknende, energibruk differansene mellom bygninger i samme gruppe kan dermed evalueres som at det er forårsaket av kun brukeratferd.

Yu et al. (2011) testet metoden på en case-studie. Dataunderlaget var energirelaterte målinger og registreringer fra 67 boliger fordelt på seks ulike distrikter i Japan. Boligens karakteristikk ga grunnlag for tolv representative variabler for hver bygning innenfor de faktorene som ikke er relatert til brukeratferd. Dette resulterte i at fire klynger ble identifisert. For alle fire klyngene ble boligens energibruk undersøkt ned til sluttbruk og variasjonene i sluttbruket over tid forårsaket av beboernes atferd ble analysert og sammenlignet med en referansebolig for hver klynge. I tilfellet til Yu et al. (2011) kunne metoden benyttes til å fortelle om energisparingspotensialet for boligene samt til å gi bedre innsikt i hvordan boligens energisluttbruk kan forklares med brukeratferd.

P.1.2 FAKTORANALYSE

Barr et al. (2009) har benyttet faktoranalyse til å undersøke hvordan energibesparende atferd kan knyttes til andre miljømessige tiltak og i hvilket omfang energiøkonomiserende tiltak kan grupperes sammen. Faktoranalyse er en statistisk metode som i hovedsak benyttes på et datasett for å utføre to ting; redusere antallet variabler ved å gruppere de i et mindre antall faktorer og til å identifisere struktur i forholdet mellom variablene, (StatSoft - Electronic Statistics Textbook, 2011). Faktoranalyse kan illustreres i Figur P.1-2 hvor faktorene 1-3 alle er påvirket av både felles variabler (1-9) og unike variabler (A-F). Styrken på koblingen mellom hver variabel og hver faktor varierer, det vil si at noen variabler er av større betydning enn andre (DeCoster, 2011).



FIGUR P.1-2: ILLUSTRASJON AV REDUKSJON FRA SEKS VARIABLER TIL TO FAKTORER.

Faktoranalyse brukes blant annet til å gruppere svar fra spørreundersøkelser for videre å undersøke om variablene er korrelerte (DeCoster, 2011) (Barr, et al., 2005). Faktoranalyse gjennomføres ved å samle inn variabler, for eksempel svar fra en spørreundersøkelse. Korrelasjonene mellom svarene må beholdes eller dannes før antallet faktorer bestemmes. Variablene sorteres i faktorer etter hvor sterke korrelasjonene mellom variablene er.

Barr et al. (2009) benyttet faktoranalyse på resultater fra en spørreundersøkelse som blant annet omhandlet atferd, handlinger og holdninger til miljø. Fra faktoranalysen fremkom det tre faktorer som variablene fra spørreundersøkelsen kunne grupperes under; *kjøpsbeslutninger*, *vaner* og *gjenvinning*.

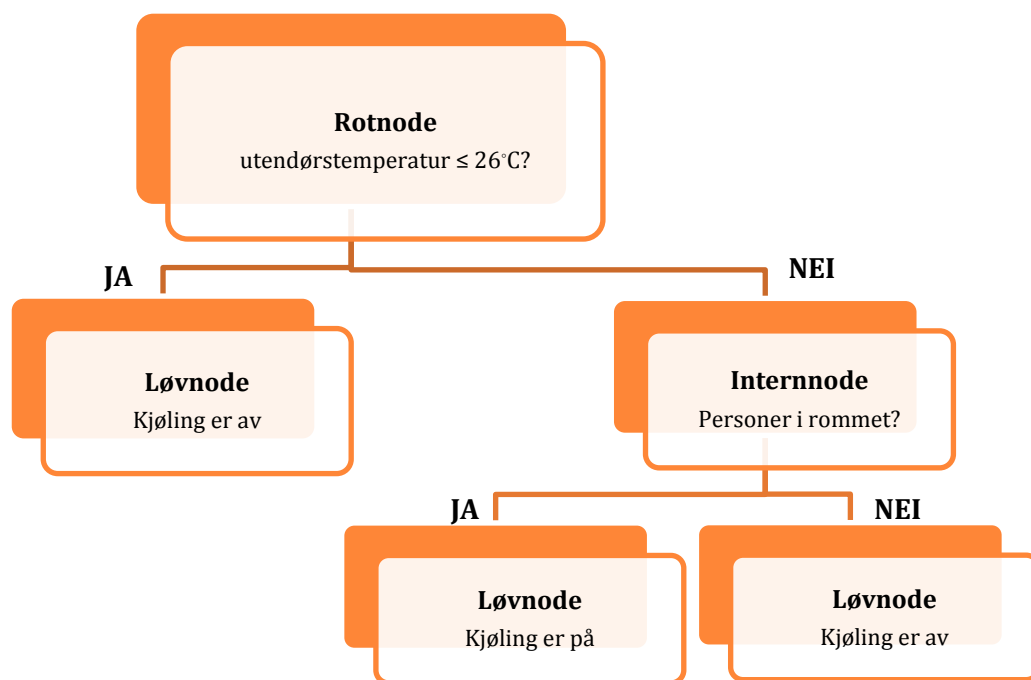
Videre gjennomførte Barr et al. (2009) en klyngeanalyse på variablene som var relatert til *vaner*, hvor ønske var å undersøke om det lot seg indentifisere spesielle typer for individuell atferd relatert til energisparing. Fire klynger, som hver representerte en gruppe for individuell atferd, ble indentifisert; *engasjerte miljøvernere*, *vanlig miljøvernere*, *sporadiske miljøvernere* og *ikke-*

miljøvernere. For hver av disse gruppene ble detaljert demografisk informasjon sammenlignet og forskjeller mellom *ikke-miljøvernere* og resten av de tre gruppene ble observert. Blant annet viste den demografiske profilen at *miljøvernere* ofte var eldre personer som eide sin bolig, gjerne i rekkehus. De var politisk liberale og ofte medlem av organisasjoner i nærmiljøet. Den demografiske profilen til gruppen *ikke-miljøvernere* viste derimot en tendens til at den besto av yngre personer, gjerne menn, med lav inntekt og uten noen formel utdanning. De var sjeldent involvert i lokalmiljøet og de var gjerne politisk likegyldig.

Barr et al. (2009) har ved hjelp av faktoranalyse og klyngeanalyse vist at ulike grupper kan assosieres med forskjellig interesse for miljøtiltak, samt at det for disse gruppene er store forskjeller i demografisk sammensetning.

P.1.3 BESLUTNINGSTRE

Yu et al. (2005) har utviklet en beslutningstremodell for å forutsi energibehovet til en bygning. Beslutningstre (fra engelsk; “decision tree”) er en modelleringsteknikk som bruker et flytskjema med en tre-lignende struktur over valg og deres mulige konsekvenser som benyttes til å klassifisere data med den hensikt å beskrive, kategorisere og generalisere et gitt datasett (Gram-Hanssen, 2005). Beslutningstre er en måte å visualisere en algoritme slik at det blir enklere å forstå og tolke strukturen samt forutsi hendelser. Et eksempel på en enkelt beslutningstremodell for drift av kjølemaskinen i et rom fremkommer i Figur P.1-3.



FIGUR P.1-3: BESLUTNINGSTRE MED ATRIBUTTENE UTENDØRSTEMPERATUR, TILSTEDEVÆRELSE OG KONTROLL AV KJØLING.

Beslutningstremodellen utviklet av Yu et al. (2005) gir blant annet muligheten til å trekke ut nyttig informasjon om faktorer som påvirker energibruken til bygning. Modellen demonstreres ved å benytte et datasett som inneholder informasjon om 67 boliger fra forskjellige distrikter i Japan. Resultatene viste at beslutningstremetoden kunne klassifisere og forutsi energibehovet

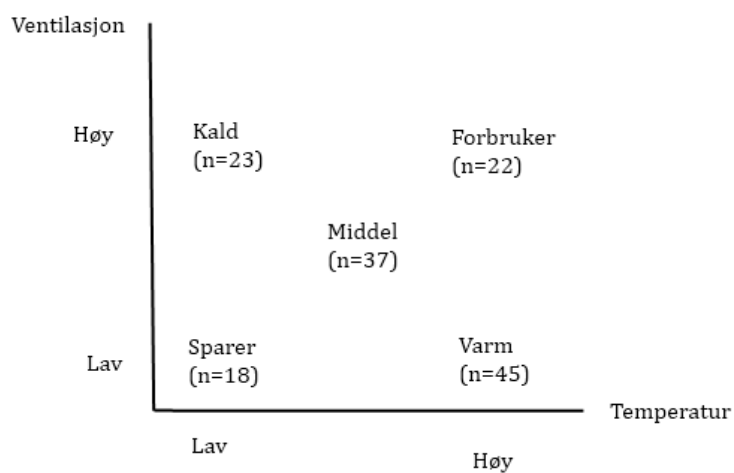
med god nøyaktighet samt indentifisere og rangere påvirkende faktorer. Undersøkelsen er beskrevet mer utfyllende i litteraturstudie, se 0.

P.1.4 PREDEFINERT BRUKERMØNSTER

Van Raaij og Verhallen (1983b) ønsket å undersøke om det kunne identifiseres mønstre i atferd relatert til energibruk som kunne knyttes til temperatur og ventilasjon og i tilfelle om disse brukermønstrene førte til store variasjoner i energibruken. De ønsket også å undersøke om ulike bruksmønstre relatert til energibruk kunne avdekke forskjeller i sosioøkonomiske forhold og holdninger til energibruk. Beboere i 145 boliger rapporterte om 17 typer for energirelatert atferd knyttet til energibruk, som for eksempel settpunkttemperatur på varme, bruk av ventilasjonsåpninger, bruk av radiatorer i soverommet etc. I tillegg til at deres sosioøkonomiske profil ble kartlagt.

Dataunderlaget ble behandlet med en klyngeanalyse og mønsteranalyse uten at dette ga noen naturlig gruppering av tilgjengelig data. Van Raaij og Verhallen (1983b) predefinerte derfor fire brukermønstre som husholdningene i dataunderlaget kunne grupperes under baserte på variablene; innetemperatur ved tilstedeværelse, innetemperatur ved fravær, lufting av rom og bruk av entredøren. Årsaken til at disse fire variablene ble benyttet til grupperingen var at de forklarte over halvparten av variasjonene som de 17 typene av energirelatert atferd i undersøkelsen forårsaket, samt at tidligere undersøkelser har underbygd at temperatur og ventilasjon er viktige faktorer i forhold til den totale energibruken i boliger.

De fire variablene ble videre dikotomisert, hvilket betyr at man koder om en variabel til enten 0 eller 1 (binært rang) svarende til høy eller lav verdi. Deretter ble variablene gruppert i fem grupper som er illustrert i Figur P.1-4.



FIGUR P.1-4: GRUPPERING AV HUSHOLDNINGER ETTER PREDEFINERTE BRUKERMØNSTRE (RAAIJ, ET AL., 1983B)

De fem gruppene av brukermønstre i Figur P.1-4 utgjør en base for oppdelingen av befolkningen og hver gruppe kan bli karakterisert med noen sosiologiske og demografiske egenskaper og energiatferd eller holdninger til energibruk. *Sparere* er for eksempel kategorisert med et høyt utdanningsnivå, få husholdningsmedlemmer og ofte en kone som er yrkesaktiv. De har en positiv holdning til energisparing og har ofte lav innendørs temperatur og lavt nivå av ventilasjon i

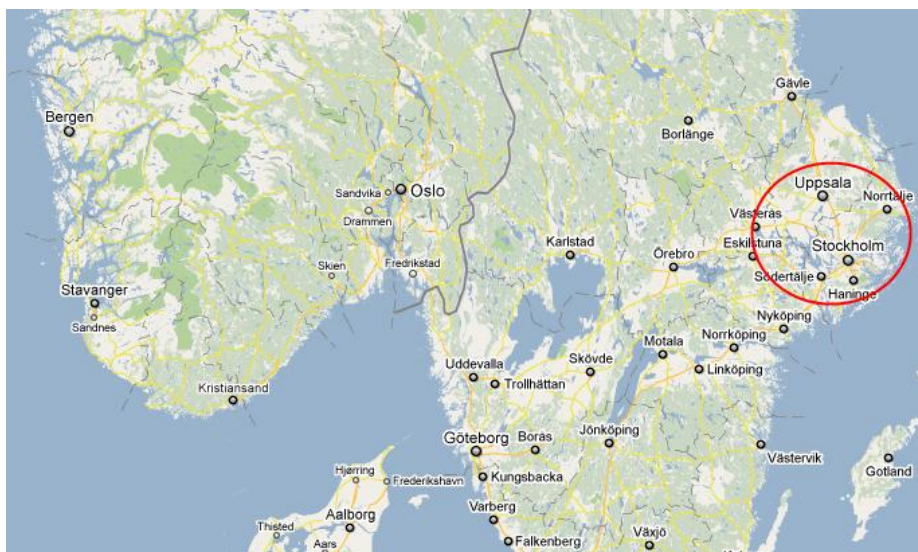
oppvarmingssesongen. (Raaij, et al., 1983b) mener at oppdelingsmåten basert på brukermønstre bidrar til innsikt i samspillet mellom energiatferd, holdninger, husholdningskarakteristikk og demografi.

VEDLEGG Q - DATAGRUNNLAG FOR BRUKERPROFILER

For å danne brukerprofiler for ulike brukeratferd som påvirker energibruken i en bolig er det i dette prosjektet benyttet et datasett mottatt av Energimyndigheten i Sverige fra prosjektet *End-use metering campaign in 400 households in Sweden*. En forutsetning for at vi fikk tilgang til denne dataen var at dataen ikke skulle bli distribuert videre og at husholdningene skulle være anonymisert i fremstillinger av resultater fra dataene. Av den grunn er datagrunnlaget for brukerprofilene ikke vedlagt denne rapporten. Energimyndighetene i Sverige har imidlertid utgitt en rapport som inneholder sentrale resultater fra prosjektet og beskrivelse av hvordan målekampanjen er gjennomført, se (Zimmermann, 2009), i det følgende er det derfor gitt en beskrivelse av målekampanjen basert på informasjon fra (Zimmermann, 2009).

Q.1 DATABASE

Målekampanjen *End-use metering campaign in 400 households in Sweden* foregikk i tidsrommet august 2005 til august 2008. Målinger av elektrisk sluttbruk ble foretatt på 400 husholdninger, hvorav 40 husholdninger ble målt over ett år mens de resterende 360 ble målt i løpet av én måned. De fleste av husholdningene som ble målt over ett år var lokalisert i Mälardalen region i området rundt Stockholm sørøst i Sverige, se Figur Q.1-1, med unntak av to husholdninger hvorav en var lokalisert i nord i Sverige mens den siste var lokalisert i sør i Sverige. Av husholdningene som ble målt over en måned var ni husholdninger lokalisert nord i Sverige, ni sør i Sverige og resten i Mälardalen region. Data mottatt fra Energimyndigheten i Sverige var korrigert for sesongvariasjoner mellom husholdningene i forhold til romoppvarming. Utvalget av husholdningene til målekampanjen ble gjort av Energimyndigheten i Sverige med henblikk på å gi en god presentasjon av ulike typer husholdninger som finnes i Sverige (Zimmermann, 2009).



FIGUR Q.1-1: RØD MARKERING LOKALISERER MÄLARDALEN REGION I SVERIGE (GOOGLE MAPS).

Ulike typer måleinstrumenter ble benyttet for å gjennomføre målekampanjen. Alle lyskilder som trakk konstant effekt (glødepærer, CFL/"sparepærer" (compact fluorescent lamp) osv.) ble målt med lampmeter som består av en optisk sensor som sikrer detektering av brukstid for lyskildene mens effekten ble manuelt avlest under installasjon av lampmeterne. For halogenlyskilder som ikke trekker konstant effekt ble effekten målt med Wattmeter koblet i serie med lyskilden. For annet elektrisk utstyr ble forbruket målt med Wattmeter koblet i serie med utstyret mens for noe utstyr, for eksempel romoppvarming og varmtvannsberedere, ble effekten målt direkte på kursen i sikringsskapet. Tabell Q.1-1 gir en komplett oversikt over maksimalt antall måleutstyr per husholdning og hva det måler.

TABELL Q.1-1: MAKSIMALT ANTALL MÅLEUTSTYR PER HUSHOLDNING, ETTER (ZIMMERMANN, 2009).

Målepunkt	Wattmeter i serie	Wattmeter med amperemeter tang	Lampmeter	Temperatursensor
Generelt meter		3		
Romoppvarming		3		
Varmtvannsbereder		1		
Komfyr		3		
Diverse		3		
Vaskemaskin		1		
Oppvaskmaskin	1			
Tørketrommel		1		
TV	3			
Lyd og bilde	2			
Computer	3			
Kjøleapparater	2.5			
Mikrobølgeovn	1			
Motorvarmer	1			
Ventilasjonssystem	1			
Belysning	1		25	
Diverse	2			
Temperatur				2
TOTALT:	17.5	15	25	2

Ved målekampanjens slutt ble all måledata kontrollert og tvilsom og upålitelig data ble fjernet, dette førte til en reduksjon av husholdninger fra 400 til 390. Data ble lagret i fire ulike databaser; utstyr målt over en måned (54 millioner data), belysning målt over en måned (53 millioner data), utstyr målt over ett år (55 millioner data) og belysning målt over ett år (54 millioner data) (Zimmermann, 2009).

I tillegg til målt elektrisitetsforbruk måtte husholdningene fylle ut et skjema for å gi informasjon om husholdningen. Denne informasjonen omfattet blant annet antall personer og alder på samtlige personer, husholdningsinntekt per måned (kategorisk fra <8 000 kr/mnd. til >42 000 kr/mnd.) og bruksareal (kategorisk fra <75 m² til >125 m²).

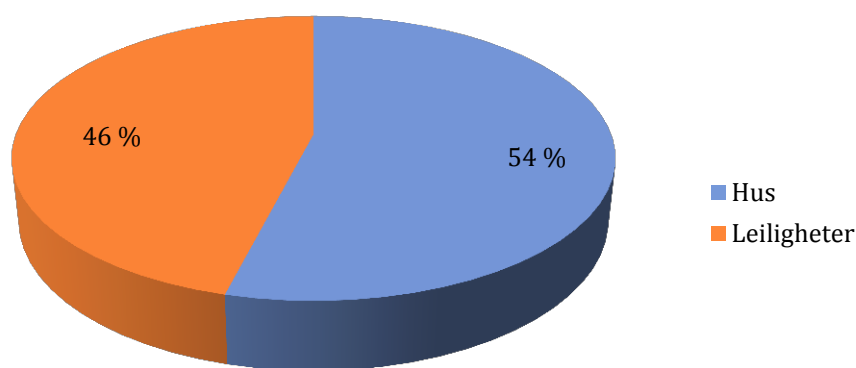
Q.1.1 BESKRIVELSE AV DATABASE

I dette prosjektet er et av formålene å integrere sosioøkonomiske- og ingeniøraspekter i en modell for best mulig å ta høyde for brukeratferd i energi og inneklimategninger. I dette

perspektivet var det ønskelig å vurdere om det var mulig å kategorisere husholdninger ut i fra deres sammensetning og sosioøkonomiske situasjon og se om dette kunne forklare ulike brukermønstre for energibruk og inneklimategninger.

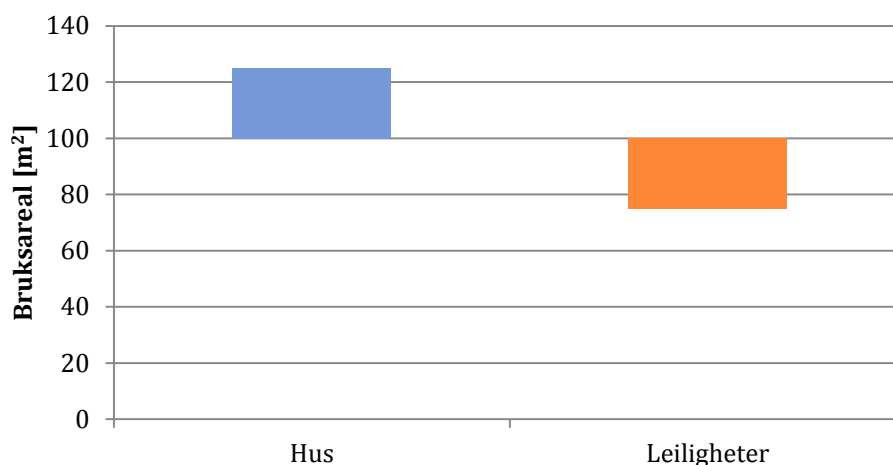
Fra den originale databasen på 390 husholdninger var det flere husholdninger det manglet informasjon om i forhold til sosioøkonomiske parametere, ved å fjerne disse husholdningene ble databasen redusert fra 390 til 350 brukbare husholdninger. Beskrivelse av denne prøven på 350 husholdninger er gitt i det følgende.

Figur Q.1-2 illustrerer hvordan husholdningene er fordelt mellom hus og leiligheter, og som en kan se fra Figur Q.1-2 er det noen flere hus i den brukbare prøven på 350 husholdninger enn det er leiligheter, henholdsvis 54 % hus og 46 % leiligheter.



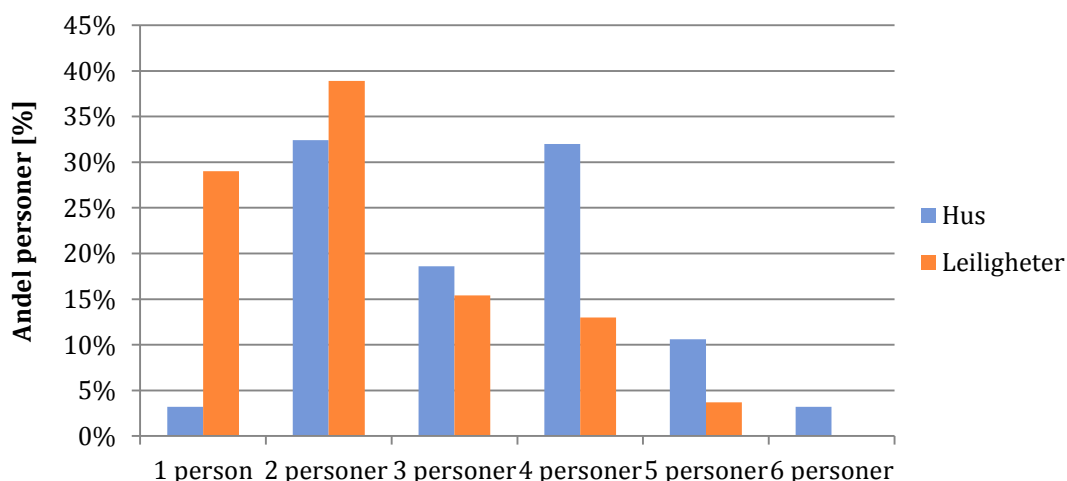
FIGUR Q.1-2: PROSENTVIS FORDELING AV HUSHOLDNINGER MELLOM LEILIGHETER OG HUS FOR HUSHOLDNINGENE I DATASETTET AV BRUKBARE HUSHOLDNINGER PÅ 350.

I Figur Q.1-3 viser gjennomsnittlig bruksareal for hus og leiligheter blant de 350 husholdningene i prøven. Som en kan se ligger gjennomsnittlig bruksareal for hus noe høyere enn for leiligheter.



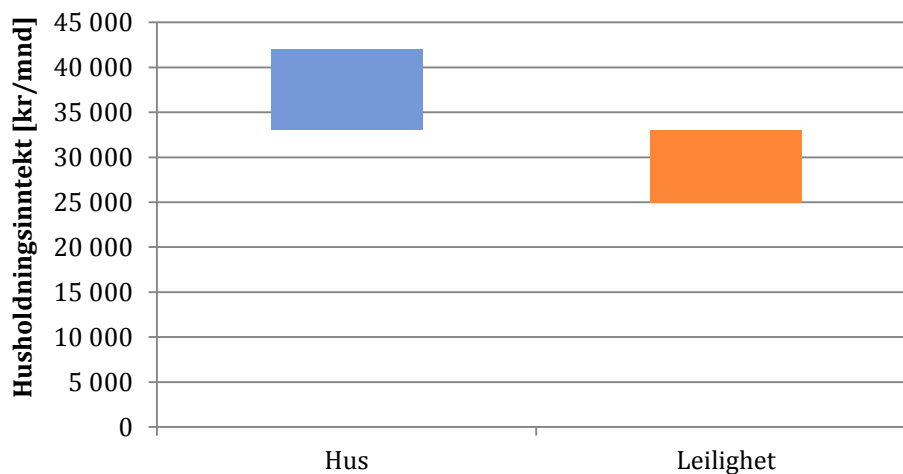
FIGUR Q.1-3: GJENNOMSNITTLIG BRUKSAREAL FOR HUS OG LEILIGHETER.

I Figur Q.1-4 er det gitt en presentasjon av hvordan antall personer per husholdning er fordelt for hus og leiligheter. Som en kan se er det en høyere andel av husholdninger med en og to personer blant leilighetene enn blant husholdningene som bor i hus. For husholdningene som bor i hus er det en større andel av husholdningene som består av to eller fire personer.



FIGUR Q.1-4: PROSENTVIS FORDELING AV ANTALL PERSONER PER HUSHOLDNING FOR DE TO BYGNINGSKATEGORIENE HUS OG LEILIGHET.

I Figur Q.1-5 vises gjennomsnittlig månedlig husholdningsinntekt for husholdninger som bor i hus og husholdninger som bor i leilighet. Figuren viser at den gjennomsnittlige inntekten til husholdningene som bor i hus er høyere enn for husholdningene som bor i leilighet, og de gjennomsnittlige inntektsintervallene er henholdsvis mellom 33 000-42 000 kr/mnd. for husholdninger som bor i hus og mellom 25 000-33 000 kr/mnd. for husholdninger som bor i leilighet. Dette kan ha en sammenheng med resultatene fra Figur Q.1-4 hvor en så at det er en større andel av husholdningen som bor i leilighet som kun består av en person og dermed kun har en inntekt mens for husholdningene som bor i hus er det større andel som består av to til fire personer og det er da sannsynlig at husholdningsinntekten består av mins to inntekter.



FIGUR Q.1-5: GJENNOMSNITTLIG MÅNEDLIG HUSHOLDNINGSINNTÉKT FOR HUSHOLDNINGENE SOM BOR I HUS OG HUSHOLDNINGENE SOM BOR I LEILIGHET.

Q.1.2 UTVALG FRA PRØVEN

På grunn av tidsperspektivet i dette prosjektet ble det nødvendig å redusere utvalget fra databasen til ca. 1/3 (122 husholdninger) siden den totale databasen som sagt inneholdt mer enn 200 millioner målepunkter og behandling av data for hver husholdning dermed tok forholdsvis lang tid. Utvalget fra databasen ble gjort med henblikk på å representere den brukbare prøven på 350 husholdninger fra den originale databasen på best mulig vis. Tabell Q.1-2 gir et sammendrag av sosioøkonomiske parametere for utvalget som benyttes i den videre analysen og en sammenlikning med de 350 husholdningene med brukbar data fra den originale databasen. Som en kan se er det god overensstemmelse mellom utvalget og den originale databasen. De eneste uoverensstemmelsene som er i forhold til gjennomsnittlig antall tenåringer per husholdning hvor den relative differansen mellom databasen og dette prosjektets utvalg er på henholdsvis +2 % for hus og +9 % for leiligheter.

TABELL Q.1-2: SAMMENLIKNING AV UTVALG AV DATABASEN OG DE 350 HUSHOLDNINGENE MED BRUKBAR DATA FRA DEN ORIGINALE DATABASEN.

	Hus utvalg	Hus database	Leilighet utvalg	Leilighet database
Andel	54 %	54 %	46 %	46 %
Gjennomsnittlig bruksareal	100-125 m ²	100-125 m ²	75-100 m ²	75-100 m ²
1 person	3 %	3 %	29 %	29 %
2 personer	32 %	32 %	39 %	39 %
3 personer	19 %	19 %	15 %	15 %
4 personer	32 %	32 %	13 %	13 %
5 personer	11 %	11 %	4 %	4 %
6 personer	3 %	3 %		
Gjennomsnittlig månedlig inntekt	33 000 - 42 000	33 000 - 42 000	25 000 - 33 000	25 000 - 33 000
Gjennomsnittlig antall tenåringer/husholdning	0,59	0,58	0,25	0,23

Q.2 DATABASEHANDLING

Målinger fra de 122 husholdningene ble eksportert ut av den originale databasen i tekstfiler og ble videre behandlet. Tekstfilene som inneholdt rådataen ble først delt opp i mindre filer slik at det lot seg gjøre å behandle de i Microsoft Excel. Det var ønskelig å gjennomføre en formålsinndeling av dataen, samt redusere antallet datapunkter. Data fra hver husholdning ble derfor samlet i egne Excelark og deretter inndelt i belysning, varme, varmtvann, ventilasjon, elektrisk utstyr og totalt energibruk. Rådataen inneholdt målinger av energibruk i Watt-timer. Reduksjonen av datapunkter ble gjort ved å beregne en gjennomsnittlig timesverdi for hvert energiformål, slik at det ble 24 datapunkter per døgn per energiformål.

Siden det var uoverensstemmelser i måleperioder mellom de ulike husholdningene ble det besluttet å beregne energibruk for en gjennomsnittlig dag per husholdning. Først ble timesverdiene summert for hvert døgn for hele måleperioden til husholdningene for å få energibruken gjennom døgnet for hvert energiformål. Det ble gjennomført en korrigering for uteliggere ved å ekskludere målepunkter som lå utenfor intervallet på gjennomsnittsverdi pluss/minus to ganger standardavviket (StatSoft - Electronic Statistics Textbook, 2011). Deretter ble det beregnet gjennomsnittlig energibruk per døgn per husholdning på bakgrunn av de døgnene som ble ansett for ikke å være uteliggere. Formålet med å fjerne uteliggere var å ekskludere perioder hvor boligen ikke har vært i bruk. Det er ikke gjort noen videre studie på uteliggere. I et videre arbeid kunne det vært en fordel å gjøre en grundigere utvelgelse av uteliggere, men det ligger utenfor tidsrammen for dette prosjektet.

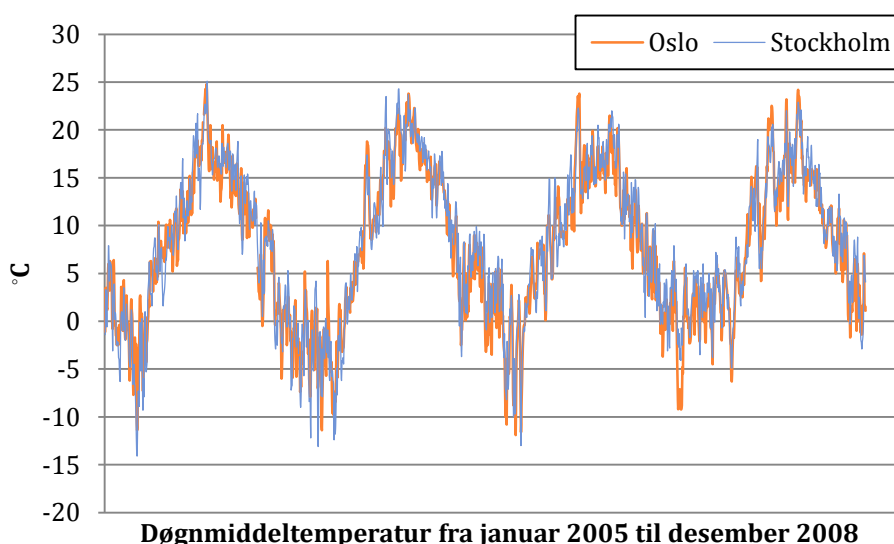
For å kunne anslå antall driftstimer og beregne effektbehovet for belysning og teknisk utstyr i driftstiden for hver husholdning ble gjennomsnittlige energibruk per time beregnet. Antallet driftstimer ble så anslått ved å analysere de gjennomsnittlige timesverdiene. Den totale energibruken ble deretter delt på antallet driftstimer for å finne effektbehovet i driftstiden. Effektbehovet utenfor driftstid ble derfor antatt til å være null. Ved å gjøre dette er en sikret at all målt energibruk blir inkludert i videre analyse og at effektbehovet ikke underestimeres for de husholdningene som har et stort effektbehov også utenfor driftstiden. Det estimerte effektbehovet som nå ble funnet for belysning og teknisk utstyr ble brukt videre i utarbeidelsen av sannsynlighetsfordelinger for hver brukerprofil.

Q.3 SAMMENLIGNING AV NORSKE OG SVENSKES HUSHOLDNINGER

Det å benytte måledata av energibruk i husholdninger fra en svensk undersøkelse i en analyse som omhandler norske husholdningers energibruk kan være en kilde til en ukjent usikkerhet. I dette avsnittet sammenlignes norske husholdninger med de svenske husholdninger med det formål å minske usikkerheten eller i det minste gjøre usikkerheten mer kjent.

Q.3.1 KLIMATISKE FORHOLD

Det geografiske området hvor energimålingene for de utvalgte husholdningene er gjennomført er Mälardalen utenfor Stockholm, men unntak av en husholdning fra nord i Sverige. Målingene er utført i tidsperioden 2005-2008. Figur Q.3-1 viser en sammenligning av utendørs døgnmiddeltemperatur mellom Oslo og Stockholm, henholdsvis fra målestasjonene Blindern og Bromma, for den perioden hvor energimålingene ble utført. Oslo og Stockholm ligger på samme breddegrad, Oslo – Blindern på breddegrad 59°56 N og Stockholm Bromma på breddegrad 59°35 N.



FIGUR Q.3-1: SAMMENLIGNING AV DØGNMIDDELTEMPERATUR MELLOM OSLO (BLINDERN) OG STOCKHOLM (BROMMA) I PERIODEN JANUAR 2005 – DESEMBER 2008.

Det fremkommer av Figur Q.3-1 at Oslo og Stockholm har forholdsvis lik døgnmiddeltemperatur i perioden. Dette kan indikere at Oslo og Stockholm har nokså like klimatiske forhold.

Data fra Norge er hentet fra eklimate.no (Norsk meteorologisk institutt), som er en web-basert tjeneste levert av Norges meteorologiske institutt hvor en kan bestille historisk klimadata. Data fra Sverige er hentet fra Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, dataserier fra 1961-2009 (SMHI).

Q.3.2 BYGNINGSKRAV

BYGNINGSKONSTRUKSJONER HAR, SOM NEVNT I KAPITTEL 1, STOR INNFLYTELSE PÅ ENERGIBRUKEN TIL EN BOLIG. I

Tabell Q.3-1 er det sammenlignet forskrift og minstekrav til U-verdier for bygningskonstruksjoner fra 2007 mellom Norge og Sverige (Schild, et al., 2010).

TABELL Q.3-1: KRAV TIL U-VERDIER FOR BYGNINGSKONSTRUKSJONER I NORGE OG SVERIGE ANNO 2007

	Forskriftskrav				Minstekrav			
	vegg	tak	gulv	vindu	vegg	tak	gulv	vindu
Norge	0,18	0,13	0,15	1,2	0,18	0,13	0,15	-
Sverige	0,18	0,13	0,15	1,2	0,22	0,18	0,18	1,6

SOM DET FREMKOMMER AV

Tabell Q.3-1 er kravene til U-verdi svært like. Ideelt sett skulle det vært historiske tall i stedet for tall fra 2007, men det kan likevel indikere at de bygningsmessige kravene er like.

Q.3.3 SAMMENLIGNING AV PRISER PÅ ELEKTRISITET

I Norge er nesten all elektrisitetsproduksjonen basert på vannkraft, noe som gjør at elektrisitet er billig. I Sverige utgjør vannkraft omtrent halvparten av elektrisitetsproduksjonen, mens resten hovedsakelig består av kjernekraft samt noe biobrensel og fossilt brensel. Tabell Q.3-2 viser en sammenligning av priser på elektrisitet i øre/kWh.

TABELL Q.3-2: PRISER PÅ ELEKTRISITET I NORGE OG SVERIGE I ØRE/KWH. ALLE SKATTER, AVGIFTER OG NETTLEIE ER INKLUDERT I PRISENE.

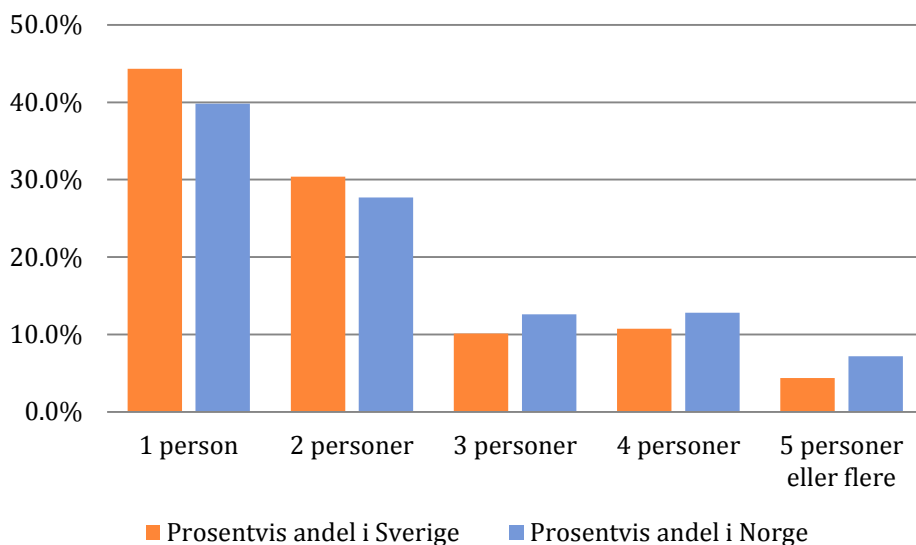
	2004	2005	2006	2007
Norge	75,6	74,8	91,5	75,0
Sverige (hus med el. oppvarming) ¹	111,9	108,1	113,9	129,2
Sverige (Leiligheter) ¹	131,6	126,4	133,6	155,6

¹ I Sverige er det et flerprissystem der prisene avhenger av forbruk, hustype og kontraktstype. Prisene i tabellen gjelder for normalprisavtale, som ca. 60 % av befolkningen har (Bøeng, 2005) (SCB) (SSB).

En ser av Tabell Q.3-2 at Sverige har høyere priser på elektrisitet enn Norge.

Q.3.4 HUSHOLDNINGER

I Figur 1.2-3 i Kapittel 1 så en at andelen levert energi per person til husholdninger er tilnærmet lik mellom Norge og Sverige. Husholdningsstørrelse har, som nevnt i Kapittel 1, en innvirkning på husholdningens energibruk. Figur Q.3-1 viser en sammenligning mellom husholdningsstørrelsen mellom de landene.



FIGUR Q.3-2: SAMMENLIGNING AV HUSHOLDNINGSSTØRRELSE. (SSB) (SCB)

Som en kan se av Figur Q.3-1 er husholdningsstørrelsen lik mellom Norge og Sverige og en kan se at i begge landene er husholdninger med kun en beboer det vanligste. Gjennomsnittlig antall personer per husholdning fremkommer av Tabell Q.3-3.

TABELL Q.3-3: GJENNOMSNIITTLIG HUSHOLDNINGSSTØRRELSE (SSB) (SCB)

Land	År	Antall pers./hush.
Sverige	1991	2.05
	2000	2.01
	2009	1.95
Norge	1990	2.40
	2001	2.30
	2010	2.20

Tabell Q.3-3 viser at det er litt flere personer per husholdning i Norge enn i Sverige, men forskjellen er liten. Det gjennomsnittlige arealet per person fremkommer av Tabell Q.3-4.

TABELL Q.3-4: GJENNOMSNIITTLIG BOAREAL PER PERSON (SSB) (SCB)

Land	År	m ² per. person
Sverige	2006	56.00
	2007	56.00
	2008	56.00
Norge	2006	59.00
	2007	59.00
	2008	58.00

Som en ser av Tabell Q.3-4 er boarealet per person omtrent likt i begge land, men med en litt høyere arealandel per person i Norge enn i Sverige. Dette viser at størrelsen på boligene er nokså like mellom de to landene.

Sammenligning av klimatiske forhold, bygningskrav, priser på elektrisitet samt husholdningsstørrelse og boareal har vist at de to landene er like og det er blir derfor ansett som akseptabelt å benytte svenske måledata for energibruk.

VEDLEGG R – FREMGANGSMÅTE FOR Å DANNE BRUKERPROFILER

I dette vedlegget presenteres fremgangsmåten som er benyttet til å danne brukerprofiler for ulike atferdsmønstre til forskjellige husholdninger. Fremgangsmåten baserer seg på klyngeanalyse og den blir illustrert med en casestudie hvor datagrunnlaget er målinger av boliger i Sverige.

R.1 DATABASE

For å danne brukerprofiler for ulike brukeratferd som påvirker energibruken i en bolig er det i dette prosjektet benyttet et datasett mottatt av Energimyndigheten i Sverige fra prosjektet *End-use metering campaign in 400 households in Sweden* (Zimmermann, 2009). Denne databasen er nærmere beskrevet i Vedlegg Q. Den videre analysen belager seg på et utvalg av 122 husholdninger fra den totale databasen med 350 husholdninger med brukbar data. Utvalget på 122 husholdninger har god overensstemmelse med de originale dataene når det gjelder sosioøkonomiske forhold, noe som er evaluert i Vedlegg Q.

R.2 KLYNGEANALYSE

Fremgangsmåten bygger på metoden som er beskrevet i Yu et al. (2011) som baserer seg på datagravningsteknikken klyngeanalyse. Klyngeanalyse er en metode for å dele observasjoner i et datasett i klynger etter hvor like egenskaper de har. Ideelt sett skal observasjonene innenfor hver klynge har stor grad av likhet, mens observasjonene mellom klyngene har lav grad av likhet (Yu, et al., 2011). Yu et al. (2011) benyttet metoden til å undersøke innflytelsen av brukeratferd på boligers energibruk. De grupperte bygninger med liknende karakteristikk av faktorer som er urelatert til brukeratferd; utendørs klima, bygningskarakteristikk, tekniske systemer og brukerrelatertkarakteristikk utenom sosiologiske og økonomiske faktorer. Forutsatt at det er et tilstrekkelig stort utvalg av bygninger og at bygningene har store forskjeller mellom de fire faktorene som er urelatert til brukeratferd medfører denne metoden at den fulle effekten av de fire faktorene i hver gruppe er tilstrekkelig liknende, energibruk differansene mellom bygninger i samme gruppe kan dermed evalueres som at det er forårsaket av kun brukeratferd. Resultatene i (Yu, et al., 2011)indikerte at brukeratferden til brukerne i de ulike gruppene var liknende spesielt i forhold til bruk av belysning, og elektrisk utstyr som kjøleutstyr, lyd og bilde, kjøkken utstyr og varmtvannsforbruk, mens bruk av kjøling og oppvarming viste større forskjeller mellom gruppene noe som kunne indikere at utendørs klima påvirket brukeratferden i forhold til disse sluttbrukene.

I våres tilfelle er det ønskelig å benytte metoden til å gruppere husholdninger etter sosiale og økonomiske faktorer samt brukerrelatert karakteristikk som litteraturen har vist at har betydning for energibruk og brukeratferd i boliger. Denne grupperingen vil forhåpentlig resultere i ulike brukeratferdsmønstre mellom de ulike gruppene. Datasettet som brukes i analysen er som nevnt på 122 husholdninger og kan dermed kategoriseres som forholdsvis lite, men forhåpentlig vil det kunne gi en indikasjon på gruppering av sosioøkonomiske faktorer.

Siden datasettet kun inneholder målinger på elektrisk sluttbruk er det mange husholdninger datasettet ikke har informasjon om i forhold til forbruk av energi til romoppvarming og varmtvann siden dette energibruket for mange husholdninger er knyttet til fjernvarme eller sentralfyring. I første omgang er det derfor valgt å utføre klyngeanalysen med referanse til elektriskforbruk ekskludert romoppvarming og varmtvann for samtlige husholdninger. Det skal i denne sammenheng nevnes at det kan hende at klyngeanalysen ville generert andre resultater hvis informasjon om romoppvarming og oppvarming av varmt forbruksvann også var inkludert.

Ideelt sett skulle klyngeanalysen blitt utført på faktorer både relatert til utendørs klima, bygningskarakteristikk, brukerkarakteristikk, tekniske systemer, sosiologi og økonomi. Det gjeldende datasettet har dog kun begrenset informasjon om bygningskarakteristikk, brukerkarakteristikk og økonomisk karakteristikk i tillegg til målinger på energibruk. Siden klyngeanalysen likevel kun utføres med hensyn til elektrisitetsforbruk ekskludert romoppvarming og varmtvann er informasjonen i datasettet imidlertid ansett som tilfredsstillende siden faktorer som blant annet U-verdier, kuldebroverdier og utendørs temperatur først og fremst påvirker energibruk til oppvarming. Parameterne som representerer sosiologiske og økonomiske faktorer og brukerrelatert karakteristikk er identifisert i datasettet før klyngeanalysen gjennomføres, Tabell 8.3-1 gir en oversikt over disse parameterne. Som en kan se er det informasjon om boligtype, bruksareal, antall husholdningsmedlemmer, alder på husholdningsmedlemmene og husholdningsinntekt. Boligtype, bruksareal og husholdningsinntekt er imidlertid kun oppgitt som kategoriske variabler, hvor kategoriene er gitt under Tabell R.2-1. I forhold til alder til husholdningsmedlemmene er antall tenåringer og alder på eldste person i husholdningen trukket ut som nyttig informasjon av databasen siden nyere litteratur har vist at tenåringer bruker mer elektrisitet enn en gjennomsnittlig voksen person (Gram-Hanssen, 2005a) (Gram-Hanssen, 2005b) samt at alder på eldste husholdningsmedlem kan gi en indikasjon på hvor i livssyklusen husholdningen befinner seg som også har vist seg å være avgjørende for en husholdnings energibruk (Raaij, et al., 1983a) (Raaij, et al., 1983b) (Gram-Hanssen, 2005a).

TABELL R.2-1: PARAMETERE SOM REPRESENTERER SOSIALE OG ØKONOMISKE FAKTORER I DATASETET FRA *END-USE METERING CAMPAIGN IN 400 HOUSEHOLDS IN SWEDEN*.

Påvirkende faktorer	Representative parametere	Kategori	Enhet
Bygningsrelatert karakteristikk	Boligtype	Kategorisk*	
	Bruksareal	Kategorisk**	m ²
Brukerrelatert karakteristikk	Antall husholdningsmedlemmer	Numerisk	
	Antall tenåringer	Numerisk	
	Alder på eldste husholdningsmedlem	Numerisk	
Økonomisk karakteristikk	Husholdningsinntekt	Kategorisk***	kr/mnd.

* Boligtype er kategorisert som 0 for leiligheter og 1 for hus.

**Areal er inndelt i <75 m², 75-100 m², 100-125 m² og >125 m²

***Husholdningsinntekt er inndelt i <8.000 kr/mnd. 8.000-17.000 kr/mnd., 17.000-25.000 kr/mnd., 25.000-33.000 kr/mnd., 33.000-42.000 kr/mnd. og >42.000 kr/mnd.

De representative parameterne i Tabell R.2-1 kalles også attributter og påvirker energibruken til en bolig. Siden det blant annet kan være uoverensstemmelse mellom enheter for ulike energirelaterte attributter må det gjennomføres en datatransformasjon før man kan foreta klyngeanalysen. Ved hjelp av datatransformasjon kan man forhindre at attributter med stor

variasjonsbredde får større betydning enn attributter med små variasjoner. Man må likevel huske at ulike attributter kan ha svært ulik innflytelse på en boligs energibruk. I metoden av Yu et al. (2011) er grå relasjonsanalyse benyttet for å identifisere ulik vektning av påvirkning på energibruk fra ulike attributter og denne metoden er også benyttet i dette prosjektet og fremgangsmåten er beskrevet mer i detalj i eget avsnitt lenger ned.

R.2.1.1 DATATRANSFORMASJON

Det er benyttet maks-min normalisering for å skalere verdier innenfor et gitt intervall ved hjelp av Formel 17 (Han, et al., 2006). I denne undersøkelsen er det gitte intervallet, $[x'_{\min}, x'_{\max}] = [0,1]$.

FORMEL 17

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (x'_{\max} - x'_{\min}) + x'_{\min}$$

Hvor:

$x_{\max}$	Original maksimumsverdi for en numerisk attributt
$x_{\min}$	Original minimumsverdi for en numerisk attributt
$(x'_{\max} - x'_{\min})$	Spesifisert intervall

I datasettet er for eksempel minimum og maksimum verdi for antall tenåringer i en husholdning henholdsvis 0 og 3. Ved min-maks transformasjon vil en verdi på antall tenåringer i en husholdning på 2 transformeres til $\frac{2-0}{3-0} (1 - 0) + 0 = 0.67$ når intervallet som sagt er bestemt til, $[x'_{\min}, x'_{\max}] = [0,1]$.

For kategoriske attributter med flere verdier enn to, og som har en implisitt rang, er det ofte nødvendig å rangere kategoriene først og deretter definere den oppnådde rangeringen til $[0,1]$ ved hjelp av Formel 18 (Yu, et al., 2011).

FORMEL 18

$$x'_i = \frac{rang_i - 1}{rang_{\max} - 1}$$

Hvor:

x'_i	Transformert verdi
$rang_i$	Tilhørende rang
$rang_{\max}$	Maksimal rang

Med implisitt rang menes en kjent rangering av de kategoriske attributter. Eksempelvis er boligareal i datasettet gitt som kategoriene $<75 \text{ m}^2$, $75\text{-}100 \text{ m}^2$, $100\text{-}125 \text{ m}^2$ og $>125 \text{ m}^2$, her kan kategoriene rangeres fra 1 til 4 hvor 4 representerer det største arealet, ved hjelp av Formel 18 vil denne rangeringen transformeres til $[0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1]$.

R.2.1.2 GRÅ RELASJONSANALYSE

Et system hvor ikke all informasjon er kjent kan kalles et grått system. Teorien om grå systemer kan relateres til at svart representerer at ingen informasjon er kjent, mens hvit representerer at all informasjon er kjent. Systemer relatert til atferd, menneskekroppen, økonomi er alle grå

systemer. Målet med grå systemer og deres anvendelse er å lage en link mellom samfunnsvitenskap og naturvitenskap og brukes blant annet for å analysere integrerte systemer (Deng, 1989). En av fordelene med grå relasjonsanalyse er at metoden ikke er avhengig av fordelingen av populasjonen og variansen av prøven analysen utføres på, i tillegg er metoden relativt simpel og kan utføres på små datasett (Yu, et al., 2011) (Wu, 2007).

Grå relasjonsanalyse (GRA) er i dette prosjektet gjennomført med formålet å identifisere grå relasjonsgrader. De grå relasjonsgradene rangeres og benyttes til å beskrive forholdet mellom relaterte variabler y_i og hvor sterk påvirkning de har på en forhåndsdefinert faktor y_0 (Deng, 1989) (Yu, et al., 2011). I denne sammenheng er elektrisitetsforbruket til boligen den forhåndsdefinerte faktoren y_0 og GRA kan gi grå relasjonsgrader for attributtene y_i som påvirker energibruken.

Prosedyren for å gjennomføre en grå relasjonsanalyse består av fire steg:

1. Normaliser rådata (for eksempel ved hjelp av maks-min normalisering)
2. Beregne grå relasjonskoeffisienter (ved hjelp av Formel 19-Formel 22 (Deng, 1989) (Wu, 2007) (Yu, et al., 2011))
3. Beregne grå relasjonsgrader (ved hjelp av Formel 23 (Deng, 1989) (Wu, 2007) (Yu, et al., 2011))
4. Ranger de grå relasjonsgradene slik at grå relasjonsorden kan bli identifisert

$$\Delta_i = (|y_{01}(k) - y_{i1}(k)|, |y_{02}(k) - y_{i2}(k)|, \dots, |y_{0n}(k) - y_{in}(k)|) \quad \text{FORMEL 19}$$

$$\Delta_{maks} = \max_{\forall i}(\max \Delta_i) \quad \text{FORMEL 20}$$

$$\Delta_{min} = \min_{\forall i}(\min \Delta_i) \quad \text{FORMEL 21}$$

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \alpha \Delta_{maks}}{\Delta_i + \alpha \Delta_{maks}} \quad \text{FORMEL 22}$$

$$\gamma(y_0, y_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad \text{FORMEL 23}$$

Hvor:

i	1, 2, ..., m , hvor m =antall attributter
k	1, 2, ..., n , hvor n = antall observasjoner, i dette tilfellet antall husholdninger
Δ_i	Differanse mellom forhåndsdefinert målgruppefaktor og attributt i en dataserie
y_0	Målt data for målgruppefaktor
y_i	Målt data for attributt
$\Delta_{maks/min}$	Største/ minste globale differanse mellom forhåndsdefinert målgruppefaktor og attributt i datasettet
$\xi_i(k)$	Grå relasjonskoeffisient mellom y_0 og y_i
α	Adskillingskoeffisient for å kompensere for at den globale maksimale differansen er en ekstremverdi i datasettet, normalt $\alpha=0,5$
$\gamma(y_0, y_i)$	Grå relasjonsgrad [0,1]

Grå relasjonskoeffisienter er beregnet for alle husholdningene. I Tabell R.2-2 vises et utdrag av tabellen med maks-min normalisering av elektrisitetsbruk per dag og attributtene antall personer, antall tenåringer, alder på eldste person, bygningstype, inntekt og bruksareal. Fullstendig tabell finnes på DVD i filen *Grå relasjonsanalyse i mappen Klyngeanalyse*.

TABELL R.2-2: UTDARAG AV TABELLEN MED MAKS-MIN NORMALISERING AV FORHÅNDSDEFINERT MÅLGRUPPEFAKTOR ELEKTRISITETSBRUK PER DAG OG ATTRIBUTTENE..

0. El.forbruk/ dag	1. Ant. Personer	2. Ant. Tenåringer	3. Alder på eldste person	4. Bygnings- type	5. Inntekt	6. Bruks- areal
0,10	0,00	0,00	1,00	1,00	0,40	1,00
0,17	0,20	0,00	0,92	1,00	0,60	0,33
0,14	0,20	0,00	0,90	1,00	0,40	0,67
0,26	0,20	0,00	0,88	1,00	0,80	0,67
0,40	0,60	0,33	0,83	1,00	1,00	1,00
0,23	0,20	0,00	0,83	1,00	0,80	1,00
0,93	0,20	0,00	0,83	1,00	1,00	1,00
0,04	0,00	0,00	0,81	1,00	0,20	1,00
0,30	0,20	0,00	0,79	1,00	0,60	1,00
0,37	0,20	0,00	0,79	1,00	0,40	0,33
0,14	0,20	0,00	0,79	1,00	0,80	1,00
...	...	...	...	...	...	...

Δ_i finnes for alle verdiene i Tabell 8.3-1 ut i fra Formel 19, for eksempel er $\Delta_1(1) = |0.1 - 0| = 0.1$. Resultatene av Δ_i for alle verdiene i Tabell R.2-2 er presentert i Tabell R.2-3, fullstendig tabell finnes på DVD i filen *Grå relasjonsanalyse i mappen Klyngeanalyse*.

TABELL R.2-3: Δ_i -FORSKJELL MELLOM REFERANSEVERDI ELEKTRISITETSFORBRUK OG DE ULIKE ATTRIBUTTENE SOM PÅVIRKER ELEKTRISITETSFORBRUKET.

Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5	Δ_6
0,10	0,10	0,90	0,90	0,30	0,90
0,03	0,17	0,75	0,83	0,43	0,16
0,06	0,14	0,76	0,86	0,26	0,53
0,06	0,26	0,62	0,74	0,54	0,41
0,20	0,07	0,43	0,60	0,60	0,60
0,03	0,23	0,60	0,77	0,57	0,77
0,73	0,93	0,10	0,07	0,07	0,07
0,04	0,04	0,77	0,96	0,16	0,96
0,10	0,30	0,49	0,70	0,30	0,70
0,17	0,37	0,42	0,63	0,03	0,04
0,06	0,14	0,65	0,86	0,66	0,86
...	...	...	...	...	...

Ut i fra det totale datasettet er den minste og største globale forskjellen mellom elektrisitetsforbruk og attributtene funnet til å være:

$$\Delta_{min} = 0$$

$$\Delta_{maks} = 0.98$$

Verdiene i Tabell R.2-3 kan dermed bli beregnet om til grå relasjonskoeffisienter ved hjelp av Formel 22 og resultatene av denne beregningen er vist i Tabell R.2-4.

TABELL R.2-4: GRÅ RELASJONSKOEFSIENTER

ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6
0,83	0,83	0,35	0,35	0,62	0,35
0,94	0,74	0,40	0,37	0,53	0,75
0,89	0,78	0,39	0,36	0,65	0,48
0,89	0,65	0,44	0,40	0,48	0,54
0,71	0,88	0,53	0,45	0,45	0,45
0,94	0,68	0,45	0,39	0,46	0,39
0,40	0,34	0,84	0,87	0,87	0,87
0,93	0,93	0,39	0,34	0,75	0,34
0,83	0,62	0,50	0,41	0,62	0,41
0,74	0,57	0,54	0,44	0,94	0,93
0,89	0,78	0,43	0,36	0,43	0,36
...	...	...	...	...	...

Grå relasjonskoeffisienter er beregnet for alle boligene og ved hjelp av Formel 23 kan grå relasjonsgrader beregnes. Resultatene av grå relasjonsgrader er gitt i Tabell 8.3-2. I henhold til (Fu, et al., 2001) kan man generelt si at $Y > 0.9$ indikerer en betydelig innflytelse, $Y > 0.8$ indikerer en relativ betydelig innflytelse, $Y > 0.7$ en merkbar innflytelse og $Y < 0.6$ en ubetydelig innflytelse. Ut i fra det kan man fra resultatene i Tabell 8.3-2 si at antall personer i husholdningen og antall tenåringer i husholdningen har en merkbar innflytelse på elektrisitetsforbruket til husholdningene i dette datasettet. Alder på eldste person i husholdningen, bygningstype og bruksareal har en innflytelse mens inntekt har en ubetydelig innflytelse. Litteraturen har imidlertid tidligere vist at inntekt er en faktor som har stor innflytelse på energibruk i boliger. Årsaken til at inntekt ikke viser seg som en betydelig innflytelsesrik faktor i denne sammenhengen kan være at den gjennomsnittlige inntekten i hele datasettet er høy og at man dermed ikke ser de store variasjonene i elektrisitetsforbruk forårsaket av forskjeller i inntekt.

TABELL R.2-5: GRÅ RELASJONSGRADER FOR DE ULIKE ATTRIBUTTENE.

Ant. Personer	Ant. Tenåringer	Alder eldste person	bygningstype	Inntekt	Bruksareal
0,74	0,74	0,63	0,61	0,53	0,62

Etter forbehandling av data ved datatransformasjonen maks-min normalisering og beregning av vektingskoeffisienter, dvs. grå relasjonsgrader, for attributtene i Tabell 8.3-1 kan klyngeanalysen gjennomføres.

R.2.1.3 DISTANSEMÅL FOR KLYNGEANALYSE

Et viktig steg i alle klyngeanalyser er å bestemme et distansemål som avgjør hvordan likheten mellom observasjoner i datasettet beregnes. Et vanlig distansemål er "Euclidean distance" som bruker den virkelige avstanden mellom to punkter til å bestemme likheten av observasjonene. Denne avstanden er gitt ved (StatSoft, 2011),

FORMEL 24

$$\text{dist.}(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Euclidean distance er benyttet i dette prosjektet siden dette distanse målet ligger programmert i kombinasjon med klyngeanalysealgoritmen *k-means* i datagravningsprogrammet WEKA (Hall, et al., 2009) som vil bli benyttet til å gjennomføre klyngeanalysen.

R.2.1.4 KLYNGEANALYSEALGORITME

Klyngeanalyse benytter ulike metoder og algoritmer til inndeling av observasjonene i klynger. Algoritmene bestemmer hvilke egenskaper hos observasjonene som puttes i de ulike klyngene. Eksempler på algoritmer er hierarkiske algoritmer som inndeler observasjonene i klynger etter den forrige etablerte klyngen eller ved partisjonsalgoritmer som bestemmer alle klyngene på engang (StatSoft, 2011).

I dette prosjektet er det valgt å benytte *k-means* algoritmen til inndeling av klyngene siden dette er en enkel og mye benyttet klyngeanalysealgoritme (StatSoft, 2011). *k-means* algoritmen prøver å finne klyngesentrene ($c_1, c_2, \dots, c_K$) slik at *sum of square error*, også kalt *Distortion*, for hvert datapunkt (x_i) til dens nærmeste klyngesenter (c_K) blir så liten som mulig ut i fra Formel 25.

FORMEL 25

$$\text{Distortion}, D = \sum_{i=1}^n \left[\min_{k=1,2,\dots,K} d(x_i, c_k) \right]^2$$

Hvor:

d	Distansemål, for eksempel Euclidean distance
x_i	Senterverdi for objekt i
c_k	Klyngesenter for klynge k
K	Antall klynger

k-means algoritmen kan benyttes på et datasett D med to forutsetninger; (1) sentrum i hver klynge er gjennomsnittsverdien for alle objektene i klyngen, (2) alle objekter har blitt utvalgt til den klyngen med nærmest senter. Algoritmens steg er som følger (Yu, et al., 2011) (Kalyani, et al., 2011):

1. Bestem antall klynger K og fastsett startbetingelsene for lokasjon av senterverdi ($c_1^{(0)}, c_2^{(0)}, \dots, c_K^{(0)}$) for hver klynge ved å velge k observasjoner fra datasettet D til å representere startbetingelsene
2. Beregne avstanden (Euclidean distance) mellom de gjenværende observasjonene i datasettet D og de valgte startbetingelsene for senterverdier i hver klynge
3. Fordel observasjonene i den klynge som har den nærmeste senterverdi
4. Beregne middelerverdiene, dvs. klyngecenter, for de nye klyngene nå som observasjonene er fordelt i klynger
5. Gjenta steg 2-4 til algoritmen konvergerer, dvs. senterverdien ikke endres

Som man ser fra de overstående stegene for *k-means* algoritmen er det nødvendig å bestemme antall klynger før klyngeanalysen gjennomføres, dette er en av de største svakhetene med *k-means* algoritmen.

R.2.1.5 GJENNOMFØRING AV KLYNGEANALYSEN

Når datatransformasjonen og grå relasjonsgrader er beregnet kan klyngeanalysen gjennomføres ved hjelp av dataprogrammet WEKA (Hall, et al., 2009). En beskrivelse av dataprogrammet WEKA er gitt i 0. Som sagt må man spesifisere antall klynger man ønsker å danne når man skal benytte *k-means* algoritmen. Et ideelt antall klynger er derimot en verdi det kan være vanskelig å bestemme og det er ikke engang opplagt at det finnes et ideelt antall klynger. Et feil antall klynger vil kunne gi dårligere resultater. I dette tilfelle er det i som utgangspunkt valgt å benytte en tommelfingerregel til å bestemme antallet klynger som er gitt i Formel 26 (Mardia, et al., 1979),

FORMEL 26

$$k = \sqrt{\frac{n}{2}}$$

Hvor:

k	Antallet klynger
n	Antall observasjoner

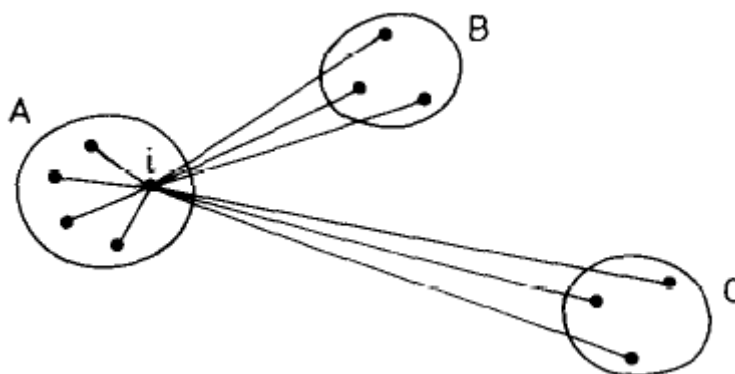
Observasjonene i datasettet på $n = 122$ husholdninger, gir i henhold Formel 26 $7,8 \approx 8$ klynger. For å vurdere om dette antallet gir et tilfredsstillende resultat er det gjort analyser med 4-11 klynger ved hjelp av silhuetter som er foreslått av P. Rousseeuw (1987) som et valideringsmål for klyngeanalyse. Før beregning av silhuetter er det imidlertid gjennomført fem klyngeanalyser for hver spesifiserte antall klynger med ulike startbetingelse, seed number, siden *k-means* algoritmen kan være forholdsvis sensitiv i forhold til startbetingelse for klyngecenter. Den resulterende klyngeinndelingen for hver spesifiserte k med lavest *Distortion* er deretter benyttet i den videre analysen hvor det er beregnet silhuetter.

R.2.1.6 SILHUETTER

Silhuetter en grafisk fremstilling av klynger fra en klyngeanalyse for å si noe om klyngene er klare og distinkte eller om det er overlapping mellom klyngene og objekter dermed kunne vært oppdelt i klynger på en annen måte. For å konstruere silhuetter trenger man den inndelingen man har oppnådd ved hjelp av klyngeanalyse samt alle avstandene mellom objektene i datasettet (Rousseeuw, 1987). For hvert objekt i blir det beregnet en silhuettverdi, $s(i)$, som gir en

indikasjon på om objektet har stor likhet med de andre objektene i samme klynge eller om objektet burde vært plassert i en annen klynge. En samling av silhuettverdiene for alle objektene i en klynge presenteres grafisk og danner silhuetten til klyngen. Fremgangsmåten for å danne silhuetter illustreres i det følgende med et lite eksempel.

Hvis objekt i er et hvilket som helst objekt i datasettet og dette objektet tilhører klynge A, se Figur R.2-1, kan man først beregne $a(i)$ som er gjennomsnittlig avstand mellom i og alle andre objekter i klynge A, i Figur R.2-1 er dette presentert med den gjennomsnittlige lengden av alle linjene innenfor A. Deretter kan man beregne $d(i, C)$ og $d(i, B)$ som er den gjennomsnittlige avstanden fra i til alle objektene i henholdsvis klynge C og B. I Figur R.2-1 er dette den gjennomsnittlige lengden av alle linjene som går fra i til objektene i klynge C og B.



FIGUR R.2-1: EN ILLUSTRASJON AV ELEMENTENE SOM ER MED I BEREKNING AV $s(i)$, HVOR OBJEKTET i HØRER TIL KLYNGE A, $a(i)$ ER DEN GJENNOMSNIITTLIGE AVSTANDEN FRA i TIL ALLE DE ANDRE OBJEKTENE I KLYNGE A OG $b(i)$ ER DEN GJENNOMSNIITTLIGE AVSTANDEN FRA i TIL ALLE OBJEKTENE I B SOM ER NABOKLYNGEN TIL OBJEKT i . FIGUREN ER GJENGITT ETTER (ROUSSEEUW, 1987).

Når man har beregnet $d(i, k)$ for alle klyngene $k \neq A$ velger man den minste av disse verdiene og betegner den som $b(i)$ som kan betegnes som naboklyngen til objekt i . I Figur R.2-1 er $d(i, B) = b(i)$ og klynge B kalles dermed nabo av objekt i . Klynge B er dermed det nest beste valget for plassering av objekt i . Når $a(i)$ og $b(i)$ er kjent kan man beregne $s(i)$ på følgende vis (Rousseeuw, 1987):

FORMEL 27

$$s(i) = \begin{cases} 1 - \frac{a(i)}{b(i)} & \text{hvis } a(i) < b(i) \\ 0 & \text{hvis } a(i) = b(i) \\ \frac{b(i)}{a(i)} - 1 & \text{hvis } a(i) > b(i) \end{cases}$$

Hvor:

$s(i)$	Silhuett verdi
$a(i)$	Gjennomsnittlig ulikhet for i til alle andre objekter i klynge A
$b(i)$	Minimum gjennomsnittlig ulikhet for i til alle objekter i klynge $k \neq A$

Formel 27 kan omskrives til:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

Fra Formel 28 kan man se at $s(i)$ kan være i intervallet

$$-1 \leq s(i) \leq 1$$

Dette vil si at når $s(i)$ er nærme 1 er ulikheten for i innenfor klynge A veldig liten i forhold til ulikheten med naboklyngen og man kan si at i er velplassert. Dersom $s(i)$ derimot er nærme 0 vil det si at $a(i)$ og $b(i)$ er nesten like og det er dermed ikke helt klart at objekt i skulle vært plassert i klynge A fremfor klynge B, dersom B betegnelsen er naboklyngen. Med $s(i)$ nærmere -1 vil det si at $a(i)$ er mye større enn $b(i)$ og at objekt i gjennomsnittlig ligger nærmere klynge B enn klynge A, og dette tyder på at objekt i er misssklassifisert. Ved å flytte objekt i fra en klynge til en annen vil man konvertere $s(i)$ til $-s(i)$. For hver klynge kan man i tillegg definere en gjennomsnittlig silhuettvidde $s(k)$ som kan hjelpe til å skille mellom sterke og svake klynger. Man kan også betrakte den totale gjennomsnittlige silhuettvidden for et helt plott som er gjennomsnittet av $s(i)$ for alle objektene i datasettet. I tillegg kan man vurdere gjennomsnittet av silhuettene for alle klyngene $\bar{s}(k)$ og en måte å velge passende antall klynger er å velge det antallet hvor $\bar{s}(k)$ er så stor som mulig (Rousseeuw, 1987).

Beregninger av silhuetter for alle $k=4$ til $k=11$ finnes på DVD i mappen *Klyngeanalyse\Validering av antall klynger*. Resultatene viser at den gjennomsnittlige silhuettverdien for klyngene er forholdsvis lik for $k=4, 5, 6, 7, 8$ og 11 , mens plottene med 9 og 10 klynger skiller seg ut med en noe høyere gjennomsnittlig silhuettverdi for klyngene. Ved å gå inn å evaluere verdiene ved beregning av silhuettene kan man imidlertid se at den gjennomsnittlige silhuettverdien for alle objektene samt den gjennomsnittlige silhuettverdien for klyngene er noe høyere for analysen med 9 klynger enn analysen med 10 klynger og det er derfor besluttet å benytte 9 klynger som grunnlag for brukerprofilene.

R.3 PREDEFINERTE BRUKERMØNSTRE – ALT. 2

En alternativ metode kan være å bruke predefinere bruksmønster, lik den metoden presentert i Raaij og Verhallen (1983b) omtalt i Vedlegg 1 og i kapittelet om brukerprofiler, dog basert på følgende variabler;

- Settpunkttemperatur for romoppvarming
- Brukstid for varme
- Lufting
- Mekanisk avtrekk

Høy settpunkttemperatur på varmeanlegget er i litteraturen ansett som en av de største bidragsyterne til energibruk (Guerra-Santin, et al., 2010) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Brohus, et al., 2010) (Brohus, et al., 2009). Studier hevder også brukstiden for varmeanlegget er av stor signifikans (Guerra-Santin, et al., 2010) (Raaij, et al., 1983b). Begge variablene er derfor inkludert. Lufting og mekanisk avtrekk er variabler som bidrar sterkt til energibruk (Brohus, et al., 2010) (Brohus, et al., 2009). Disse variablene er alle relatert til temperatur og ventilasjon slik som i studiet til Raaij og Verhallen (1983b) og de samme bruksmønstrene kan derfor benyttes.

Studiet til Verhallen og Raaij (1983b) strekker seg 28 år tilbake i tid og det vil derfor interessant å benytte denne metoden på et nytt datasett. Oppdelingen av befolkningen og gruppene karakteriseres fortsatt med sosiologiske, økonomiske og demografiske faktorer samt holdninger til energibruk, men sammensetningen av hver gruppe kan ha endret seg.

VEDLEGG S - WEKA

Dette vedlegget gir en kort innføring i datagravningsprogrammet WEKA som er benyttet i dette prosjektet for å gjennomføre klyngeanalyse.

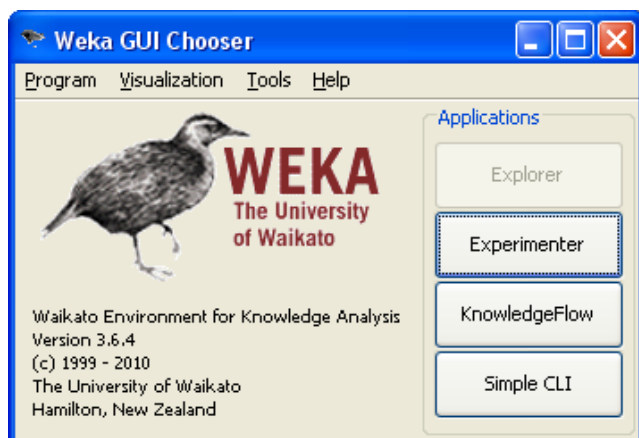
S.1 UTVIKLING AV WEKA

The Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) (Hall, et al., 2009) er et datagravningsverktøy skrevet i Java som er utviklet ved Universitetet i Waikato, New Zealand. Verktøyet er gratis nedlastbart fra programmets hjemmeside⁷, (Waikato, 2011). Datagraving benyttes til å studere eller lete etter struktur og ofte meninger i store mengder med ustrukturerte data. WEKA er en samling av algoritmer til å utføre datagravningsoppgaver og kan benyttes til forbehandling av data, klassifisering, regresjon, klyngedannelse, visualisering av data, med mer (Hall, et al., 2009).

Utviklingen av WEKA startet i 1993 da regjeringen i New Zealand bevilget penger til et prosjekt som hadde som mål å utarbeide et hjelpeverktøy til som skulle bidra til å utvikle nye effektive maskinlæringsteknikker, hovedsakelig for bruk i økonomi og landbruk (Hall, et al., 2009) (SIGKDD, 2011). Den første offentlige lanseringen var i 1996, mens den javabaserte utgaven kom i 1999. I perioden april 2000 til 2009 har programmet blitt lastet ned over 1,4 millioner ganger og i 2005 mottok utviklerne av programmet prisen “*Data Mining and Discovering Service Award*” som deles ut av organisasjonen “*Spesial Interest Group on Knowledge Discovery and Data Mining*” (SIGKDD, 2011). WEKA høster nå utbredt aksept både innen akademiske miljøer og innen business (Hall, et al., 2009).

S.2 OPPBYGNING AV PROGRAM

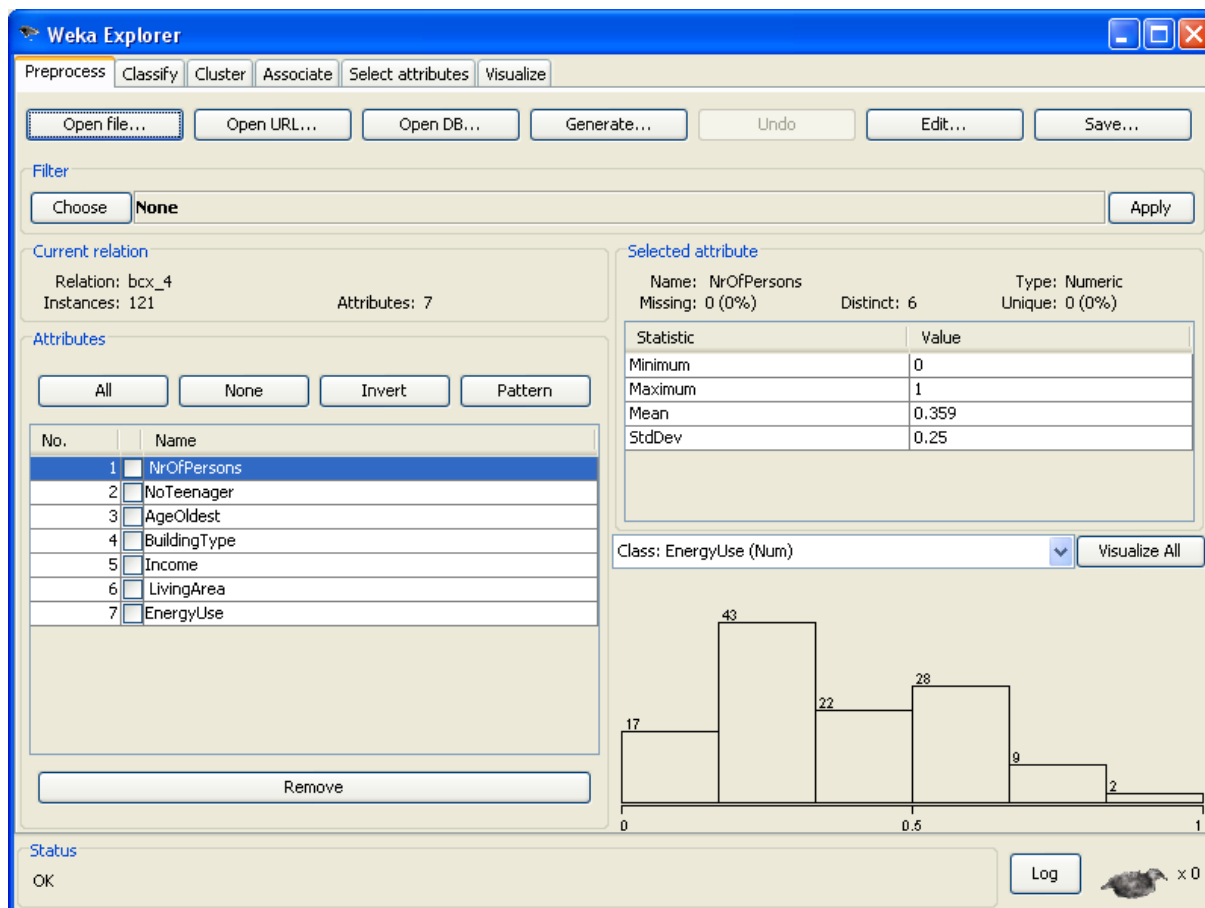
Programmet har fire valgmuligheter (interfaces) med underliggende funksjoner; *Explorer*, *Experimenter*, *Knowledgeflow* og *Simple CLI*, se Figur S.2-1.



FIGUR S.2-1: PROGRAMMETS INTERFACE, WEKA GUI CHOOSER, MED FIRE VALG (WEKA , 2011) (HALL, ET AL., 2009).

⁷ <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

I Simple CLI (simple command line) kan det skrives inn kommandoer for oppgaver en vil skal utføres i programmet. I knowledgeflow kan en blant annet lage grafiske fremstillinger av data og i Experiment kan man lage, kjøre, modifisere og analysere på en mer praktisk måte (Hall, et al., 2009) (Bouckaert, et al., 2010). Programmets hovedinterface, som er vist i Figur S.2-2, er kalt “Explorer” og består av seks faner som alle representerer ulike datagravningsteknikker; Preprocessing tools, classify, clustering, associate, select attributes og visualize.



FIGUR S.2-2: SCREENSHOT AV INTERFACE I WEKA VERSJON 3.6.4 (WEKA , 2011).

I “Preprocess” fanen gjøres sortering og forbehandling av data og det er her datasettet som skal undersøkes lastes inn. WEKA aksepterer flere filformater og kildeformater som, CSV, C4.5s formater, LibSVMs formater og programmets egne formater ARFF, XRFF (Hall, et al., 2009). I “Classify” fanen finnes algoritmer for regresjon og klassifisering av data. Fanen “Cluster” benyttes hvis en ønsker å trene et datasett, for så å inndeile det i klynger. “Associate” brukes for å lære forbindelser mellom data. “Attributes” behandler data med den intensjonen om å finne de viktigste attributtene i datasettet. I “Visualize” vises interaktive 2D-plot av dataen.

WEKA er et vanlig benyttet verktøy i mange undersøkelser⁸ innenfor mange fagfelt, og har tidligere blitt benyttet i undersøkelser relatert til brukerferds påvirkning på energibruk (Yu, et al., 2010) (Yu, et al., 2011).

⁸ WEKA Software er blant annet benyttet i følgende undersøkelser; (Chan, et al., 2009) (Lievens, et al., 2010) (Mohammad, et al., 2011) (Xiaoyuan, et al., 2011) (Peng, et al., 2010) og mange flere.

I dette prosjektet benyttes WEKA til gjennomføring av en klyngeanalyse. I det videre beskrives det hvordan det er gjort for å komme frem til resultatene for klyngeanalysen.

Etter databehandlingen av måleresultater, min-maks normaliseringen og beregningen av grå relasjonskoeffisienter, ble resultatene lagret i en fil med CSV-format (Comma Separated Values format) ved hjelp av Microsoft Excel. CSV-filer kjennetegnes ved at den øverste raden beskriver datasettets attributter som skilles med komma, verdiene i datasettet følger på de neste radene, også adskilt med komma, se eksempel fra datasettet i Figur S.2-3.

```
NrOfPersons,NoTeenager,AgeOldest,BuildingType,Income,LivingArea,EnergyUse
0.2,0,1,0,0.6,0.33,0.0357366771159875
0,0,1,1,0.4,1,0.0980146290491118
0.2,0,0.9375,0,0.4,0.33,0.12957157784744
0.2,0,0.916666666666667,1,0.6,0.33,0.167816091954023
0,0,0.895833333333333,1,0.6,1,0.0819226750261233
```

FIGUR S.2-3: EKSEMPEL PÅ DATASETT I CSV-FORMAT.

Som en kan se er attributtene og verdiene i datasettet skilt med komma. Tall må derfor skrives med engelsk skrivemåte som benytter punktum som desimalskille. CSV-filer kan i utgangspunktet integreres rett i WEKA, men man kan også konvertere CSV-filen over til WEKA sine egne filformater .arff eller .xrff. Det finnes egne konvertere i WEKA, men det er ikke mulig å konvertere direkte fra CSV til XML. En må først konvertere CSV-filen til filformatet ARFF (*Attribute-Relation File Format*), for deretter å konvertere til XRFF. En kan benytte konverterne i WEKA ved å gå inn i Simple CLI å skrive følgende i kommandolinjen,

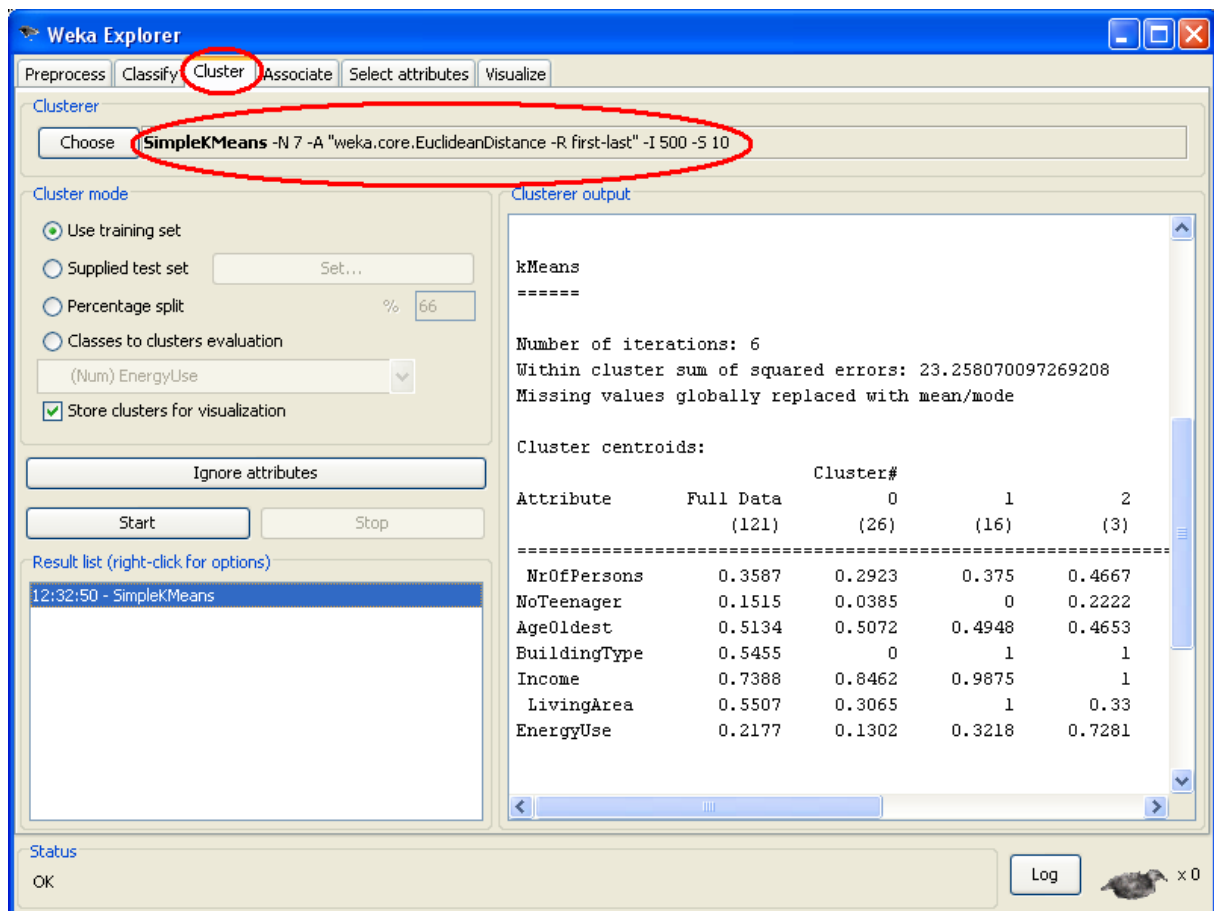
konvertere fra CSV til ARFF:

```
Java weka.core.converters.CSVLoader filnavn.csv > filnavn.arff
```

konvertere videre fra ARFF til XRFF:

```
Java weka.core.converters.XRFFSaver -i filnavn.arff -o filnavn.csv
```

Når dataene er konvertert til ønsket filformat kan inndatafilen åpnes i *Explorer* under fanen *PreProcess*. Her kan dataen forbehandles om nødvendig, attributter velges osv. I dette tilfelle ble alle attributter valgt siden det allerede var gjort en databehandling før filen ble importert til WEKA. Betingelsene for klyngeanalysen bestemmes i fanen *Cluster*, se Figur S.2-4. Vedlegg R presenterer forøvrig fremgangsmåten for en klyngeanalyse mer detalj.



FIGUR S.2-4: SCREENSHOT AV FANEN CLUSTER, HVOR EN KAN GJENNOMFØRINGE KLYNGEANALYSEN (WEKA , 2011).

VEDLEGG T -

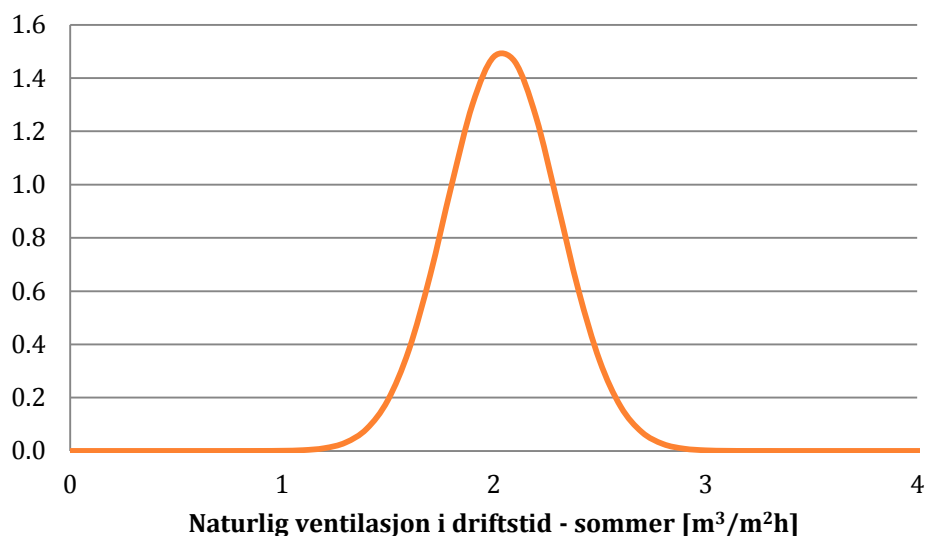
SANNSYNLIGHETSFORDELINGER FOR

BRUKERPROFILENE

I dette vedlegget blir det gitt en beskrivelse av hvordan det er utarbeidet sannsynlighetsfordelinger som benyttes som inndata til stokastisk modellering av brukeravhengige faktorer for de ulike brukerprofilene. Brukerprofilene er kun utarbeidet som et casestudium med et dataunderlag på 122 husholdninger utvalgt fra en større database, som beskrevet i Vedlegg Q. Det er lagd sannsynlighetsfordelinger for ventilasjon, oppvarming av tappevann, effektbehov til teknisk utstyr og belysning, settpunkttemperatur for romoppvarming og varmeavgivelse fra personer. Det er presentert eksempler på fordelinger for hver inndatafaktor. Resten av fordelingene kan sees grafisk på vedlagt i filene under mappen */Databehandling/Fordelinger*.

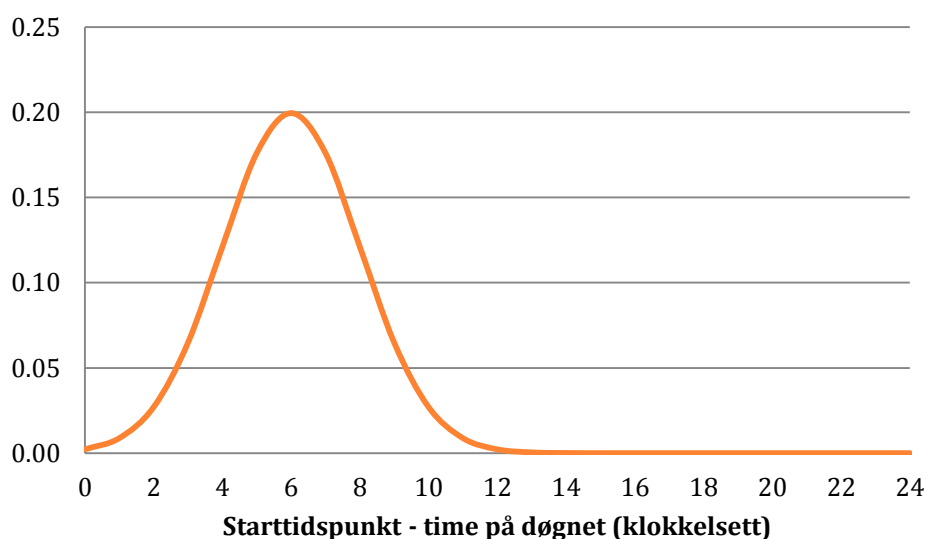
T.1 VENTILASJON

For mange av husholdningene er det enten et lite eller ingen energibruk til ventilasjon, noe som kan gi en indikasjon på at det er naturlig ventilasjon i boligene og at det kun er målt på en avtrekksvifte. De målingene som er gjort er kun på elektrisk energi og ikke på luftmengder som er enheten for inndata i SIMIEN. Overslag, med en forutsatt spesifikk vifte effekt (Specific Fan Power, SFP) på 2,5 kW/m³, viste at den energien som var målt for ventilasjon tilsvarte en luftmengde på ca. 10-15 l/s som kan anses som kapasiteten til en avtrekksvifte på bad eller kjøkken. På grunnlag av lite dataunderlag og at omregning til luftmengder fra elektrisk energi blant annet vil innebære en usikkerhet rundt forutsetning av SFP er det valgt og ikke lage sannsynlighetsdistribusjoner for ventilasjon ut ifra måledataene, men benytte de fordelinger som er beskrevet i Brohus et al (Brohus, et al., 2009) for alle klynger. Dette gjelder for naturlig ventilasjon i og utenfor drift, sommer og vinter, samt fordeling for driftstider. I Figur T.1-1 kan en se sannsynlighetsfordelingen for naturlig ventilasjon i driftstid på sommeren.



FIGUR T.1-1: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER LUFTMENGDEN TIL NATURLIG VENTILASJON OM SOMMEREN SOM BEYNTTES FOR ALLE KLYNGER. NORMALFORDELING MED $\mu=2.04$, $\sigma=0.24$.

Som det fremkommer av Figur T.1-1 er det forholdsvis lite variasjon på luftmengdene til naturlig ventilasjon i driftstiden. Figur T.1-2 viser starttidspunktet for den naturlige ventilasjonen. Dette starttidspunktet forutsetter at ventilasjonen stopper kl. 24.00. Den samme driftstiden benyttes sommer og vinter.

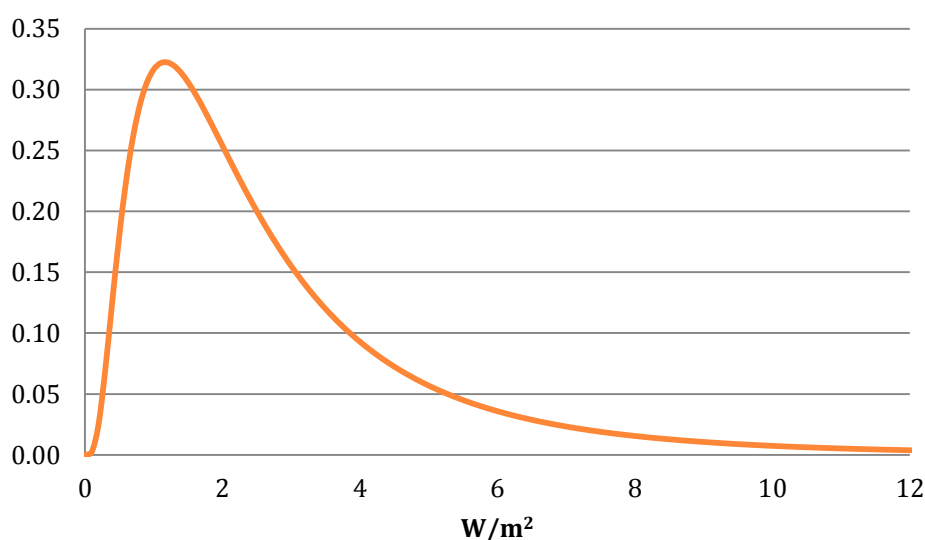


FIGUR T.1-2: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER STARTTIDSPUNKT TIL NATURLIG VENTILASJON FOR ALLE KLYNGER SOMMER OG VINTER. NORMALFORDELING MED $\mu=6.0$, $\sigma=2.0$.

Som en kan se av Figur T.1-2 er det størst sannsynlighet for at ventilasjonen starter kl.06.00, som tilsvarer en driftstid på 18 timer.

T.2 OPPVARMING AV TAPPEVANN

Mange av de leiligheter som det finnes dataunderlag for har ikke individuell oppvarming av tappevann, siden mange har en felles beholder tilknyttet fjernvarme. Det er heller ingen tilgjengelig informasjon om vanntemperaturer eller vannmengdeforbruk, noe som gjør det vanskelig å lage noen sannsynlighetsfordelinger over effektbehovet. Det er lagd sannsynlighetsfordelinger over effektbehovet til varmt tappevann for klynge 7, 8 og 9 som består av husholdninger som bor i hus. Sannsynlighetsfordelingene for disse brukerprofilene er lagd med utgangspunkt i at effektbehovet er konstant gjennom døgnet, med andre ord er det konstant driftstid. Dette er gjort fordi inndataen i SIMIEN ikke gir mulighet til å bestemme effektbehovet for varmt tappevann utenfor driftstid. Sannsynlighetsfordelingen for varmt tappevann fra brukerprofil 9 er presentert i Figur T.2-1.



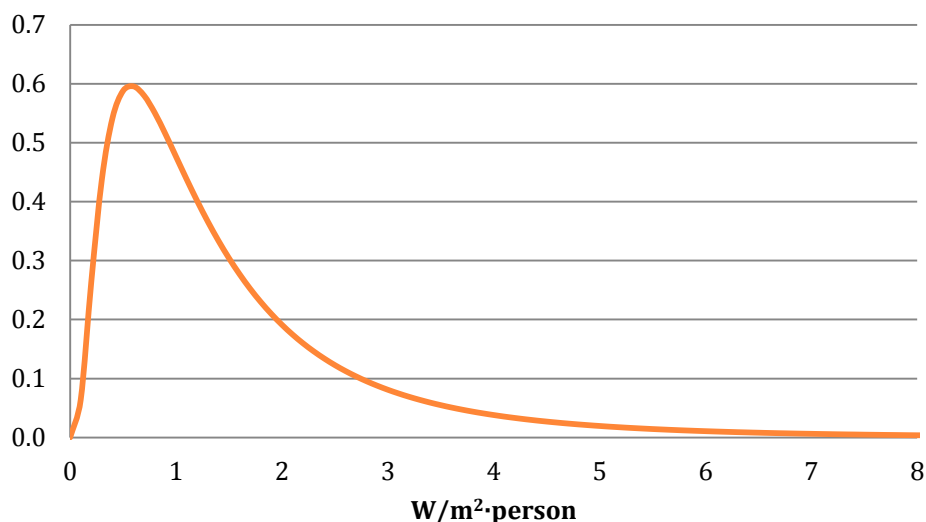
FIGUR T.2-1: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER EFFEKTBEHOVET TIL VARMT TAPPEVANN FOR KLYNGE 9. LOGARITMISK NORMALFORDELING MED. $\mu_y=0,76$, $\sigma_y=0,74$.

I Figur T.2-1 ser en at effektbehovet til varmt tappevann har et sannsynlighetsintervall på over 10 W/m² for brukerprofil 9, men at sannsynligheten er størst for et effektbehov rundt 2 W/m². De standardiserte inndata fra NS3031 som benyttes i kontrollberegninger mot norske forskrifter som sier 5,1 W/m², se Vedlegg D.

For de resterende klyngene (nr.1-6) er det gjort en beregning på gjennomsnittlig effektbehov per person og kvadratmeter basert på statistikk over vannmengdeforbruk fra vannregisteret og gjennomsnittlig areal per husholdning for hver klynge.

For hvert vannverk i Norge er det registret vannforbruket i liter per person per døgn. Med en forutsetning på at en tredjedel av vannforbruket går til varmt bruksvann og en antatt temperaturforskjell på vannet, kan energibruken beregnes per person per år. Fullstendig beregningseksempel med forutsetninger kan sees i Vedlegg D.

Logaritmisk normalfordeling ble funnet til å være den fordelingen som gir den beste tilnærmelsen av de beregnet gjennomsnittlig vannforbruk per person og kvadratmeter for hver klynge. Figur T.2-2 viser sannsynlighetsfordelingen over effektbehovet per person for klynge 5.

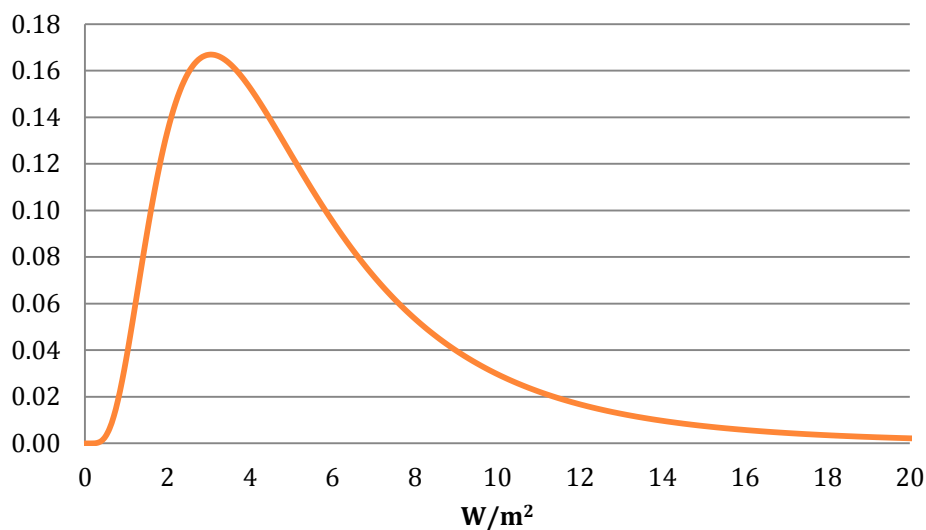


FIGUR T.2-2:EFFEKTBEHOV PER PERSON PER KVADRATMETER FOR KLYNGE 5 BASERT PÅ STATISTIKK FRA VANNREGISTERET OG GJENNOMSNITTLIG BOAREAL FOR KLYNGEN. LOG. NORM. $\mu_y=0,19$, $\sigma_y=0,83$.

Figur T.2-2 gir effektbehovet per person for klynge 5. Effektbehovet må multipliseres med antall personer i husholdningen før den benyttes som inndata i SIMIEN. Tilsvarende fordelinger finnes for klynge nr.1-6.

T.3 EFFEKTBEHOV TIL TEKNISK UTSTYR

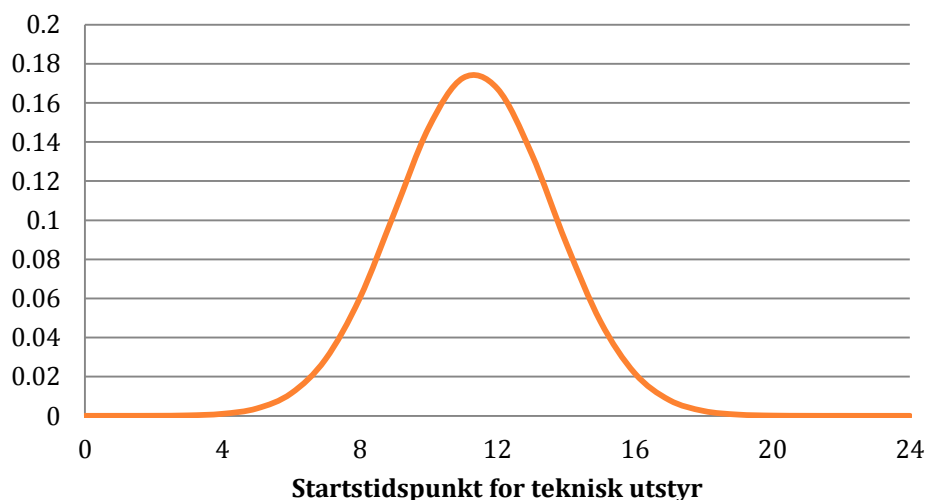
Det er laget sannsynlighetsfordelinger over teknisk utstyr i driftstid, samt en sannsynlighetsfordeling over driftstiden for hver brukerprofil. Med teknisk utstyr menes elektrisk utstyr som for eksempel TV, PC, fryser, kjøleskap etc. For lettere databehandling er effektbehovet i driftstid satt til å tilsvare gjennomsnittlig energibruk gjennom døgnet delt på driftstimer. Ved å gjøre dette er en sikret at effektbehovet til teknisk utstyr ikke underestimeres for de husholdningene som har et stort effektbehov også utenfor drift. I Figur T.3-1 presenteres sannsynlighetsfordelingen over effektbehovet til teknisk utstyr i driftstid for klynge 6.



FIGUR T.3-1: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER EFFEKTBEHOVET TIL TEKNISK UTSTYR FOR KLYNGE 5. LOGARITMISK NORMALFORDELING MED $\mu_y=1,52$, $\sigma_y=0,64$, $N=6$.

Fra Figur T.3-1 kan en se at effektbehovet til teknisk utstyr i driftstid for klynge 6 har et sannsynlighetsintervall på ca. 0-20 W/m² med høyest sannsynlighet rundt 3-4 W/m². Dette passer godt overens med standardisert inndataverdi for teknisk utstyr i NS3031:2007/A1:2010 som er 3 W/m² (4 W/m² i NS3031:2007), se Vedlegg D.

I NS3031 er standard driftstid for belysning og utstyr i småhus og boligblokker 16 timer i døgnet, 7 dager i uka, 52 uker i året. Ut ifra målingene er det antatt sannsynlighetsfordelinger for driftstider på elektrisk utstyr for hver brukerprofil. Siden det, som tidligere nevnt, ikke er mulighet til å legge inn antall driftstimer i SIMIEN, men start og sluttidspunkt er det derfor laget fordelinger over starttidspunkt med en forutsetning om utstyret stopper k.24.00. Figur T.3-2 viser fordeling over starttidspunktet for teknisk utstyr for klynge 6.

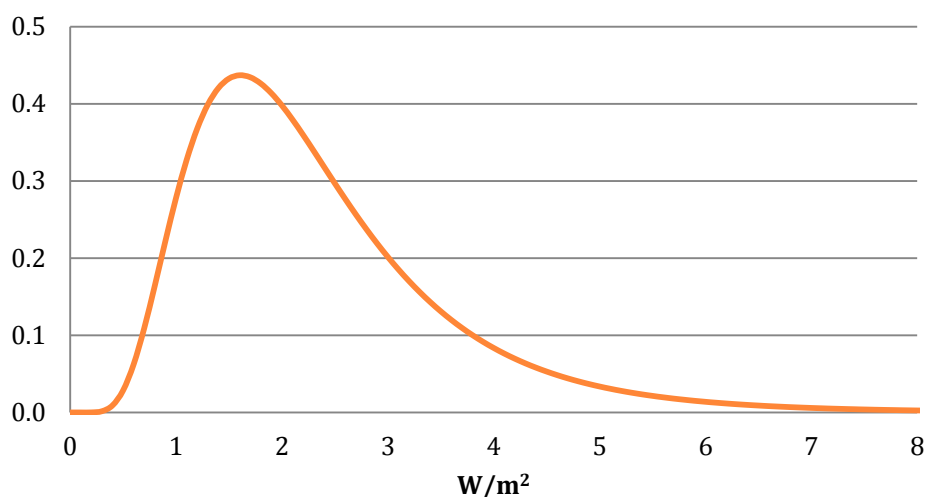


FIGUR T.3-2: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER STARTTIDSPUNKT TIL TEKNISK UTSTYR FOR KLYNGE 6. NORMALFORDELING MED $\mu=11,33$, $\sigma=2,29$, $N=6$.

Fra Figur T.3-2 kan en se at driftsstart på teknisk utstyr er fordelt rundt kl.12,00 som tilsvarer 12 timers driftstid som er lavere enn standardverdi for driftstid fra NS3031 som sier 16 timer, se Vedlegg D.

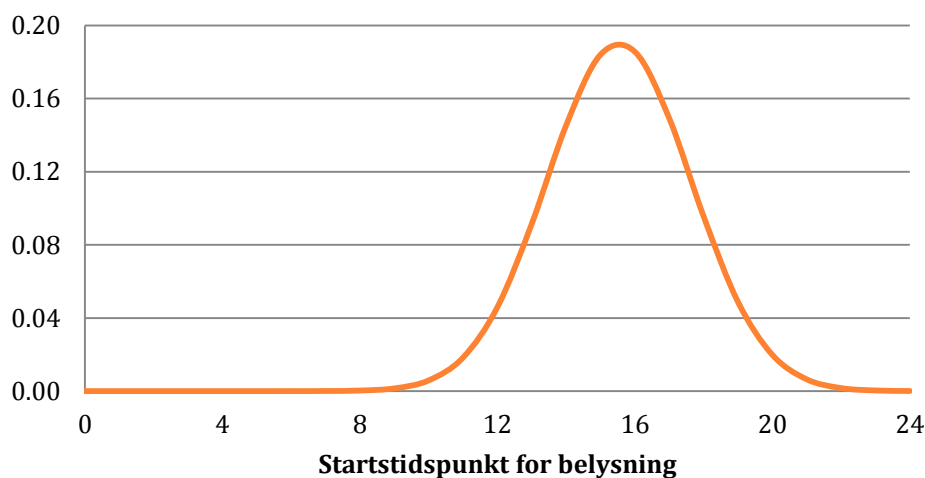
T.4 EFFEKTBEHOV TIL BELYSNING

Sannsynlighetsfordelinger over effektbehovet til belysning i driftstid er laget på samme grunnlag som for teknisk utstyr. I Figur T.4-1 presenteres et eksempel på sannsynlighetsfordelingen over effektbehovet til belysning i driftstid for klynge 3.



FIGUR T.4-1: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER EFFEKTBEHOVET TIL BELYSNING I DRIFTSTID FOR KLYNGE 3. LOGARITMISK NORMALFORDELING MED $\mu_y=0,73$, $\sigma_y=0,50$, $N=14$.

I Figur T.4-1 ser en at sannsynlig effektbehov til belysning i driftstid for klynge 3 strekker seg fra ca.0,5-7,0 W/m². Standardverdi fra NS3031:2007/A1:2010 er 1,95 W/m². Starttidspunktet for belysning i klynge 3 ses av Figur T.4-2, forutsatt at belysningen slukker kl.24.00.

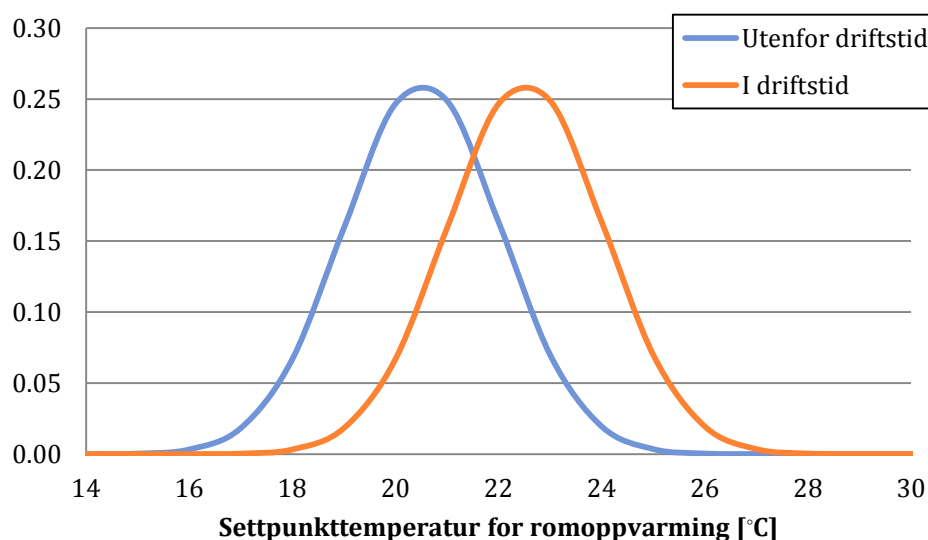


FIGUR T.4-2: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER DRIFTSTIMER TIL BELYSNING I KLYNGE 3. NORMALFORDELING MED $\mu=15,5$, $\sigma=2,1$, $N=14$.

Fra Figur T.4-2 ser vi at sannsynligheten er høyest for at belysningen starter i døgnetts 16. time i klynge 3, noe som tilsvarer 8 driftstimer, som er lavere en standard inndataverdi i NS3031 på 16 driftstimer.

T.5 SETTPUNKTTEMPERATUR FOR ROMOPPVARMING

Fordelingen for settpunkttemperaturer til varmeanlegget er vurdert ut ifra målte temperaturintervaller, som omtalt i side 90 i Kapittel 8. Settpunkttemperaturen utenfor driftstid er antatt til å være 2 °C lavere enn i driftstid. I Figur T.5-1 presenteres sannsynlighetsfordelingenes for settpunkttemperaturer, både i og utenfor driftstid for klynge 9.

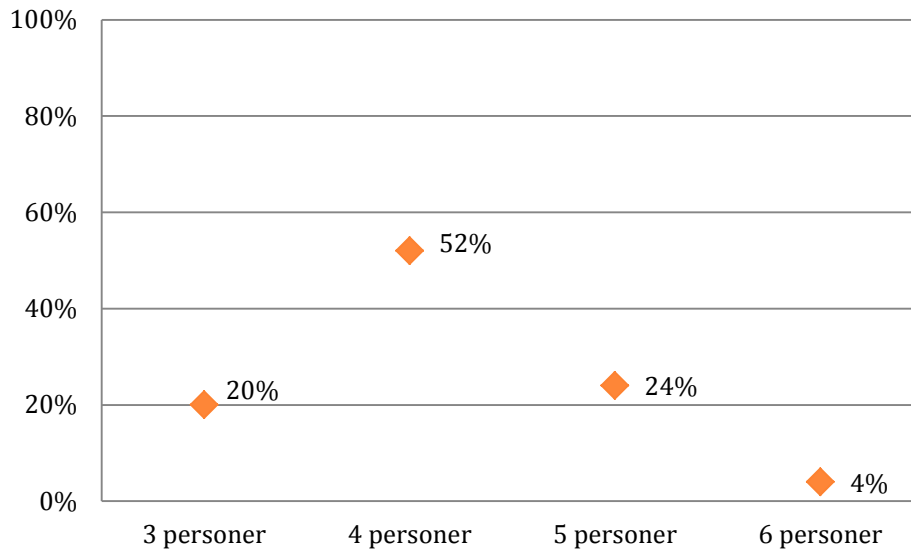


FIGUR T.5-1: SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER SETTPUNKTTEMPERATURER I OG UTENFOR DRIFTSTID I KLYNGE 9. BEGGE ER NORMALFORDELT. I DRIFT: $\mu=22,5$, $\sigma=1,5$, $N=25$. UTENFOR DRIFT: $\mu=20,5$, $\sigma=1,5$, $N=25$.

Av Figur T.5-1 fremkommer det at den samme fordeling er gitt for settpunkttemperaturen i og utenfor driftstid, men med en forskyvning på 2 °C. Starttidspunktet for varmeanlegget er den samme som for naturlig ventilasjon, se Figur T.1-2.

T.6 VARMEAVGIVELSE FRA PERSONER

Varmeavgivelsen fra personer bestemmes ut i fra en diskret sannsynlighetsfordeling for antall personer i husholdningen for hver klynge, samt en antagelse om at hver person avgir 90 W. Sannsynligheten for antall personer legges inn som fordelinger mens forbehandling beregner varmeavgivelsen i W/m². Figur T.6-1 viser sannsynlighetsfordelingen antallet personer i klynge 9.



FIGUR T.6-1: DISKRETE SANNSYNLIGHETSFORDELING OVER ANTALLET PERSONER I BRUKERPROFIL 9. N=25.

Som kan sees av Figur T.6-1 er det ingen husholdninger med færre enn 3 personer i klynge 9. Alle brukerprofilene har forskjellige fordeling av antall personer i husholdningene.

VEDLEGG U - RESULTATER FRA SIMULERINGENE MED BRUKERPROFILER

I dette vedlegget presenteres resultater fra energiberegningene som er gjort ved hjelp av Monte Carlo simuleringene for de ni brukerprofiler funnet i klyngeanalysen. Resultatene kommenteres og relateres opp mot litteraturen presentert i bakgrunnen og i litteraturstudiet i 0. Alle brukerprofilene med tilhørende karakteristikk fremkommer av Tabell 8.3-4 på side 90 i Kapittel 8. Det vil kun bli fokusert på energibruk og vi begrenser oss derfor fra å evaluere inneklimate for de ulike brukerprofiler for dette casestudiet. Dette er blant annet fordi det er benyttet samme ventilasjon for alle brukerprofiler, varmeanlegget har samme driftstid og det er forutsatt nattsinking. Antall simuleringer for hver brukerprofil er 200.

U.1 VARIASJONER I ENERGIBEHOV

Sentrale statistiske mål for årlig spesifikt energibehov for alle ni brukerprofiler for samlingen av resultatene av simuleringer i SIMIEN fremkommer av Tabell U.1-1.

TABELL U.1-1: TOTALT NETTO ENERGIBEHOV FOR HVER BRUKERPROFIL

Brukerprofil ¹	Totalt netto energibehov [kWh/m²år]								
	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
5 % fraktil	69,9	64,6	71,5	71,3	80,7	71,5	93,8	97,8	96,0
95 % fraktil	183,4	184,7	142,0	147,4	191,2	142,0	190,5	155,2	159,5
Median	101,5	94,7	93,95	94,1	105,7	93,95	116,7	125,15	115,3
Gjennomsnitt	112,5	105,4	99,3	101,7	115,0	99,3	127,1	126,2	120,5
Standard-avvik	43,0	39,6	24,2	28,4	36,2	24,2	36,4	17,2	23,4
Variasjons-koeffisient	0,38	0,38	0,24	0,28	0,31	0,24	0,29	0,14	0,19

¹Lys gråfarge representerer husholdninger bosatt i leiligheter, mørk grå representerer de i hus. Dette gjelder hele vedlegget.

Fra Tabell U.1-1 kan en se at husholdningene som bor i hus har høyest gjennomsnittlig energibehov per m². Dette gjenspeiler kravene i TEK10, hvor energirammen til boligblokker er strengere enn for småhus, siden fasadearealet per bruttoareal er større for småhus enn for boligblokker. Det kan observeres fra Tabell U.1-1 at det ikke er de altfor store forskjeller i gjennomsnittlig spesifikt energibehov mellom de ulike brukerprofilene for henholdsvis leiligheter og hus.

Flere av de undersøkelser fra litteraturen som er gjennomgått i litteraturstudiet i 0 og i bakgrunnen i Kapittel 1 evaluerer elektrisk forbruk per husholdning opp mot sosiologiske og økonomiske faktorer, det vil si uavhengig av boligens areal. Dette gjør det derfor interessant å se på energibehovet til elektrisk utstyr og belysning for hver brukerprofil.

U.2 ENERGIBEHOV TIL ELEKTRISK UTSTYR OG BELYSNING

Energibehovet til elektrisk utstyr og belysning er avhengig av brukernes atferd og det er derfor interessant å studere dette for hver brukerprofil. I Tabell U.2-1 fremkommer variasjonen i spesifikt energibehov for elektrisk utstyr for brukerprofilene.

TABELL U.2-1: VARIASJONER I ÅRLIG SPESIFIKT ENERGIBEHOV TIL TEKNISK UTSTYR

	Elektrisk utstyr [kWh/m ² år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
5 % fraktil	7,0	10,1	13,4	6,8	16,9	13,4	2,4	11,9	8,0
95 % fraktil	62,9	36,8	50,3	50,4	80,5	50,3	78,3	73,7	35,7
Median	25,05	20,6	29,85	19,55	38,8	29,85	14,95	38,7	17,55
Gjennomsnitt	29,2	21,4	31,3	23,6	43,1	31,3	25,1	40,1	19,4
Standard-avvik	18,6	8,9	13,6	15,9	21,3	13,6	33,0	19,2	9,4
Variasjons-koeffisient	0,64	0,42	0,43	0,67	0,49	0,43	1,31	0,48	0,48

Tabell U.2-1 viser at gjennomsnittlig spesifikt energibehov til elektrisk utstyr generelt er mye høyere enn det energibehovet som finnes ved å benytte standardverdi for effektbehov til elektrisk utstyr i NS3031:2007/A1:2010 på 3 W/m² som fører til et energibehov på 17,5 kWh/m²år. I Tabell U.2-2 kan en se variasjoner i årlig energibruk til belysning for brukerprofilene.

TABELL U.2-2: VARIASJONER I ÅRLIG ENERGIBEHOV TIL BELYSNING

	Belysning [kWh/m ² år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
5 % fraktil	3,2	1,9	1,8	1,4	1,7	1,8	1,3	1,1	2,1

95 % fraktil	13,1	14,5	18,4	13,7	22,2	18,4	14,8	19,1	13,4
Median	7,0	5,8	6,25	4,6	6,3	6,25	5,1	8,0	5,65
Gjennomsnitt	7,3	6,7	7,9	5,6	8,4	7,9	6,2	8,5	6,5
Standard-avvik	3,2	4,4	5,6	4,0	7,0	5,6	4,5	5,4	3,7
Variasjons-koeffisient	0,44	0,66	0,71	0,71	0,83	0,71	0,73	0,64	0,57

Av Tabell U.2-2 kan en se at gjennomsnittlig spesifikt energibehovet til belysning er forholdsvis likt for alle brukerprofiler. Spesifikt energibehov til belysning er i gjennomsnitt betydelig lavere for alle brukerprofiler enn det energibehovet som finnes ved å benytte effektbehovet som er standard inndataverdi i NS3031:2007/A1:2010 på 1,95 W/m² som gir et energibehov på 11,4 kWh/m²år.

Generelt kan man fra Tabell U.2-1 og Tabell U.2-2 se at variasjonene i spesifikt energibehov til både elektrisk utstyr og belysning ikke har de største differansene mellom brukerprofilene og det er derfor vanskelig å redegjøre for distinkte forskjeller. I litteraturen relaterer mange undersøkelser påvirkningen av sosiologiske og økonomiske faktorer til totalt energibruk for en husholdning uavhengig av boligstørrelsen. Boligareal er derimot sett på som en av de mest signifikante faktorene som påvirker energibruk (Yohanis, et al., 2008) (Bøeng, 2005) (Gram-Hanssen, 2005a). Det vil derfor være interessant å se på det totale energibehovet for hver brukerprofil fremfor det spesifikke energibehovet. Gjennomsnittlig spesifikt energibehov til elektrisk utstyr og belysning for hver brukerprofil er multiplisert med gjennomsnittlig bruksareal for hver brukerprofil og presentert i Tabell U.2-3.

TABELL U.2-3: GJENNOMSNIITTLIG TOTALT ENERGIBEHOV TIL ELEKTRISK UTSTYR OG BELYSNING FOR HVER BRUKERPROFIL.

	Elektrisk utstyr og belysning [kWh/år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
Gjennomsnitt	2372.5	2212.9	2058.0	2058.6	3433.5	5341.0	4487.5	4995.1	4144.0

Som en kan se av Tabell U.2-3 er det nå enklere å se forskjeller mellom brukerprofilene og en kan lettere relatere energibehovet til litteraturen. Det skal imidlertid understrekkes at det er en usikkerhet knyttet til arealene siden disse er antatt ut ifra den kategoriske inndelingen som var tilgjengelig i databasen med måldataen som ga grunnlaget for brukerprofilene, se Tabell 8.4-1 på side 91 i hovedrapporten. Dette gir likevel en god indikasjon på forskjellene mellom husholdningene.

Det fremkommer tydelig av Tabell U.2-3 at husholdninger som har større boligarealer har et større energibehov til elektrisk utstyr og belysning. Fra Tabell U.2-3 kan en se at det er *enslige* og *eldre par* som har minst energibehov til elektrisk utstyr for de brukerprofiler hvor husholdningene bor leiligheter. *Enslige* bruker likevel ikke signifikant mindre elektrisitet til utstyr og belysning, hvilket underbygger at det er mer økonomisk å bo flere sammen (Gram-Hanssen, 2005a).

En kan også se at *etablert overklassefamilie i leilighet* og *etablert overklassefamilie i hus* har et høyt energibehov til elektrisk utstyr og belysning. En av årsakene til dette kan være at de har en høyere husholdningsinntekt sammenlignet med de andre brukerprofilene. Flere undersøkelser slår fast at inntekten har stor påvirkning på elektrisitetsforbruket til en husholdning (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) (Thøgersen, et al., 2010). En annen årsak til at disse har et høyere energibehov kan være tilstedeværelsen av tenåringer. Undersøkelser viser at tenåringer bruker mer elektrisitet enn en gjennomsnittlig voksen person (Gram-Hanssen, 2005a) (Gram-Hanssen, 2005b) (Thøgersen, et al., 2010). *Etablert overklassefamilie i leilighet* er karakterisert med opptil 2 tenåringer i husholdningen, mens *etablert overklassefamilie i hus* har 1-3 tenåringer.

Brukerprofilen *ung arbeiderklassefamilie* har høyt energibehov til belysning og elektrisk utstyr sammenlignet med for eksempel *ung middelklassefamilie i leilighet* som har mye av de samme karakteristikken. Dette er vanskelig å forklare ut ifra litteraturen siden boligareal og inntekt er ansett som signifikante faktorer som påvirker energibruk. Høy inntekt gir mulighet til større boligareal med mer elektrisk utstyr (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) (Thøgersen, et al., 2010). Brukerprofilen *ung arbeiderklassefamilie* er derimot karakterisert ved lav inntekt og et boligareal under 75m². Det skal nevnes at disse brukerprofilene kun er laget ut ifra et test-case med forholdsvis få samples som igjen betyr at resultatene kan være utsatt for tilfeldigheter.

Husholdninger som bruker mye elektrisk utstyr og belysning får følgelig et stort varmetilskudd, som igjen kan påvirke energibehovet til romoppvarming. Det er derfor nærliggende og tro at husholdningene med lavt energibehov til elektrisk utstyr og belysning dermed får større energibehov til romoppvarming.

U.3 ENERGIBEHOV TIL ROMOPPVARMING

Energibehovet til romoppvarming er avhengig av settpunkttemperaturen til varmeanlegget. Settpunkttemperaturen i driftstid ble i Monte Carlo analysen ansett som en av de fire mest sensitive faktorene på det totale energibehovet. I Tabell U.3-1 er spesifikt energibehov til romoppvarming for brukerprofilene presentert.

TABELL U.3-1: SPESIFIKT ENERGIBEHOV TIL ROMOPPVARMING

	Romoppvarming [kWh/m ² år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie	Etablert overklasse-familie i hus
5 % fraktil	14,6	24,6	20,9	25,2	9,5	20,9	38,0	29,4	51,4
95 % fraktil	46,2	52,2	55,9	62,5	51,6	55,9	91,1	74,8	87,9
Median	32,0	38,95	35,9	44,45	30,7	35,9	74,05	53,25	68,6
Gjennomsnitt	31,0	38,9	36,3	44,7	31,3	36,3	70,0	53,5	69,5
Standard-avvik	10,5	9,5	10,8	11,8	12,8	10,8	17,6	13,9	10,8
Variasjons-koeffisient	0,34	0,24	0,30	0,26	0,41	0,30	0,25	0,26	0,16

Tabell U.3-1 aviser at det spesifikke energibehovet til oppvarming er høyere for de brukerprofilene som bor i hus. En kan ved å sammenligne spesifikt energibehov til oppvarming med det totale spesifikke energibehovet kan en se at oppvarming utgjør en betydelig andel av det totale energibehovet, noe som underbygger Monte Carlo analysens resultater i forhold til oppvarming.

Det er også for romoppvarmingen interessant å multiplisere det gjennomsnittlige spesifikke energibehovet med gjennomsnittsarealet for brukerprofilen for å få en indikasjon på det totale energibehovet for husholdningene i hver brukerprofil. I Tabell U.3-2 er det totale gjennomsnittlige energibehovet til hver brukerprofil presentert.

TABELL U.3-2: TOTALT ENERGIBEHOV TIL ROMOPPVARMING FOR HVER HUSHOLDNING

	Romoppvarming[kWh/år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
Gjennomsnitt	2015.0	3063.4	1905.8	3151.4	2086.8	4945.9	10035.9	5498.7	11120.0

Som en kan se av Tabell U.3-2 er energibehovet til romoppvarming betydelig større for de brukerprofilene hvor husholdningene bor i hus. Dette kan som tidligere nevnt forklares med at småhus har et større fasadeareal per bruttoareal og dermed et større varmetap enn leiligheter. For de tre husholdningene bosatt i hus kan en se at brukerprofilene *eldre par i hus* og *etablert overklassefamilie i hus* har størst energibehov til oppvarming, som kan skyldes at disse har størst

boligareal⁹. Et høyere energibehov for de husene med størst areal stemmer også godt overens med litteraturen siden undersøkelser har vist, som tidligere nevnt, at boligareal er en signifikant faktor som fører til høyere totalt energibruk for en husholdning (Gram-Hanssen, 2005b) (Sardianou, 2007) (Sardianou, 2008) (Guerra-Santin, et al., 2009).

En annen årsak til at brukerprofilen *eldre i hus* har et høyt energibehov til oppvarming kan være at eldre ofte liker å ha en høyere innendørstemperatur og dermed bruker mer energi til romoppvarming i tillegg til at de tilbringer mer tid i innendørs enn yrkesaktive personer (Gram-Hanssen, 2005) (Nesbakken, 2001) (Liao, et al., 2002) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010). Et nærmere kikk på sannsynlighetsfordelingen til settpunkttemperaturen til romoppvarming viser derimot at denne brukerprofilen ikke har høyere settpunkttemperatur sammenlignet med de andre brukerprofilene i hus. Husholdningene består derimot kun av to personer, hvilket betyr at de har et mindre varmetilskudd sammenlignet med husholdninger med flere husholdningsmedlemmer. Fra Monte Carlo analysen ble det sett at varmeavgivelse fra personer har en signifikant påvirkning på energibehovet til oppvarming.

For brukerprofilen *etablert overklassefamilie i hus* kan det høye energibehovet til oppvarming i tillegg til boligarealet muligens relateres til at høy inntekt har vist seg som en signifikant parameter i forhold til energibehov til romoppvarming (Dokka, et al., 2009) (Nesbakken, 2001) (Sardianou, 2008) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010). Dette kan komme av at personer med høy inntekt setter komfort foran energisparing. Fra sannsynlighetsfordelingene for settpunkttemperatur kan en se at denne brukerprofilen har et forventet settpunkt på romoppvarming på 22,52 °C med standardavvik på 1,53 °C, noe som ikke utmerker seg i forhold til de andre brukerprofilene. Dette indikerer at det høye energibehovet til oppvarming skyldes boligarealet.

For de husholdningene som bor i leilighet kan en fra Tabell U.3-2 gjøre samme observasjoner som for hus, nemlig at brukerprofilene *eldre i leilighet* og *etablert overklasse i leilighet* har størst gjennomsnittlig energibehov til romoppvarmingen.

For *eldre i leilighet* kan en mulig årsak til energibehovet relateres til det samme som nevnt for *eldre i hus*, nemlig at eldre personer ofte foretrekker en høyere innendørstemperatur. Fra sannsynlighetsfordelingene for settpunkttemperatur for denne brukerprofilen, se Tabell 8.4-3 på side 94 i rapporten, kan en se at forventningsverdien er 23,55 °C med standardavvik på 1,23 °C. Dette betyr at denne brukerprofilen har nest høyest forventningsverdi for settpunkttemperatur. Husholdningene består også kun av 2 personer hvilket gir et lavere varmetilskudd fra personer sammenlignet med husholdninger med flere husholdningsmedlemmer hvilket fører til et høyere effektbehov til varmeanlegget for å oppnå ønsket innendørstemperatur.

For etablert overklassefamilie i leilighet kan også de samme faktorene som for etablert overklasse i hus være mulige årsaker, nemlig større areal sammenlignet med øvrige husholdninger bosatt i leiligheter, samt at personer med høyere inntekt bruker mer energi til

⁹ Boligareal til brukerprofilene *eldre i hus* og *etablert overklasse i hus* er det knyttet størst usikkerhet til, siden det fra databasen med måledata kun var opplyst at disse husholdningene har et areal over 125 m² og arealet på bakgrunn av dette er antatt til 160m², som det fremkommer av Tabell 8.4-1 på side 98 i rapporten. Det faktiske arealet for husholdningene kan imidlertid avvike vesentlig fra dette i både positiv og negativ retning.

oppvarming. Dette gjenspeiles derimot ikke av sannsynlighetsfordelingen for settpunkttemperaturen, hvilket betyr at arealet mest sannsynlig er den avgjørende faktoren.

Fra Tabell U.3-2 kan en se at brukerprofilen *ung middelklassefamilie i leilighet* har et forholdsvis høyt energibehov til romoppvarming sammenlignet med *enslige* og *enslig forsørger*. Denne brukerprofilen er karakterisert ved at husholdningene består av et ungt par med 1-2 barn. Undersøkelser har vist at tilstedeværelse av småbarn fører til et høyere energibruk til romoppvarming (Gram-Hanssen, 2005) (Nesbakken, 2001) (Liao, et al., 2002) (Guerra-Santin, et al., 2009) (Guerra-Santin, et al., 2010) siden familier med småbarn, i likhet med eldre, ofte ønsker en høyere innendørstemperatur i tillegg til at de gjerne tilbringer mer tid hjemme enn yrkesaktive personer. Fra sannsynlighetsfordelingene i som fremkommer av Tabell 8.4-3 på side 94 kan en derimot se at forventningsverdien til settpunkttemperaturen for denne brukerprofilen ikke er av de høyeste med en forventningsverdi 22,71 °C og standardavvik på 1,67 °C. En mulig forklaring kan derfor være at denne brukerprofilen har et større boligareal. Det ble også sett at brukerprofilen *ung middelklassefamilie i leilighet* har et lavere energibehov til elektrisk utstyr og belysning, sammenlignet med blant annet *ung arbeiderklassefamilie*. Dette betyr at varmetilskuddet fra internlaster er lavere som igjen gir et større energibehov til romoppvarming.

U.4 ENERGIBEHOVET TIL OPPVARMING AV TAPPEVANN

Energibehovet til oppvarming av tappevann ble funnet som den inndatafaktoren med størst korrelasjon til det totale energibruket. Det spesifikke energibehovet til oppvarming av tappevann fremkommer av Tabell U.4-1.

TABELL U.4-1: SPESIFIKT ENERGIØRBEHOV TIL OPPVARMING AV TAPPEVANN

	Oppvarming av tappevann [kWh/m ² år]								
Brukerprofil	Enslig forsørger	Ung middelklassefamilie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklassefamilie	Etablert overklassefamilie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklassefamilie	Etablert overklassefamilie i hus
5 % fraktil	8,1	5,8	4,6	5,1	4,3	4,6	3,0	4,1	5,2
95 % fraktil	118,4	115,2	67,2	73,2	82,1	67,2	76,7	44,2	63,5
Median	32,3	25,55	15,85	19,75	22,4	15,85	15,8	23,75	18,7
Gjennomsnitt	45,0	38,4	23,7	27,8	32,3	23,7	25,8	24,1	25,1
Standardavvik	41,2	39,0	22,4	25,7	32,5	22,4	30,4	12,4	21,5
Variasjonskoeffisient	0,92	1,02	0,95	0,92	1,01	0,95	1,18	0,51	0,86

Av Tabell U.4-1 kan en se at gjennomsnittlig spesifikt energibehovet til oppvarming av tappevann er i forholdsvis godt samsvar med det energibehovet til varmtvann som er beskrevet i NS3031:2007/A1:2010, på 29,8 kWh/m²år, men at det er stor variasjon.

For brukerprofilene som bor i leilighet ble det i utarbeidelsen av sannsynlighetsfordelinger imidlertid konkludert med at det var for få målinger av energibruken til oppvarming av tappevann til at en kunne basere sannsynlighetsfordelinger på måldata. Inndataverdiene for effektbehovet til oppvarming av tappevann baserer seg derfor på beregnede verdier ut ifra forutsetning om at en tredjedel av det totale vannforbruket til en husholdning går til varmt bruksvann. Energibehovet til oppvarming av tappevann er derfor avhengig av antall personer i husholdningen og resultatene vil derfor være preget av bias. Tabell U.4-1 viser at verdiene virker fornuftig og de kan derfor gi en indikasjon på energibehovet til oppvarming av tappevann for leilighetene, men kommentarene må anses som veiledende.

Ut i fra Tabell U.4-1 kan en se at gjennomsnittlig energibruk til varmtvann er forholdsvis likt for de tre brukerprofilene hvor husholdningene bor i hus og hvor inndataen er basert på målinger. Man kan imidlertid se at spredningen er spesielt stor for eldre par hvor standardavviket er på hele 30,4 kWh/m². En sammenligning av medianen og gjennomsnittet viser at det for denne brukerprofilen er noen få husholdninger som trekker gjennomsnittet opp siden medianen kun er på 15,8 kWh/m².

Siden verdiene for det spesifikke energibehovet i Tabell U.4-1 er forholdsvis likt vil det også for oppvarming av tappevann vil det være interessant å multiplisere med gjennomsnittsarealet for brukerprofilen for å få en indikasjon på forskjellen mellom de ulike brukerprofiler. I Tabell U.4-2 kan en se det totale energibehovet for en gjennomsnittlig husholdning for hver brukerprofil.

TABELL U.4-2: TOTALT ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING AV TAPPEVANN FOR BRUKERPROFILENE.

Brukerprofil	Oppvarming av tappevann [kWh/år]								
	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
Gjennomsnitt	2925,0	3024,0	1244,3	1959,9	2153,4	3229,1	3698,9	2477,0	4016,0

Fra Tabell U.4-2 kan en nå se forskjellene mellom brukerprofilene kommer tydelig frem. En ser også at de beregnede verdiene fortsatt kan anses som fornuftige og derfor kan gi en indikasjon på energibehovet.

Brukerprofilen *etablert overklassefamilie i hus* har det høyeste energibehovet til tappevannsoppvarming blant husholdningene bosatt i hus. Denne brukerprofilen har det høyeste antallet av husholdningsmedlemmer, noe som kan være en av årsakene til det høye energibehovet til tappevannsoppvarming. Undersøkelser slår fast at antallet av husholdningsmedlemmer har stor innflytelse på totalt energibruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008). *Etablert overklassefamilie i hus* er også den brukerprofilen

blant de som er bosatt i hus som har høyest inntekt, samt brukerprofilen med flest husholdningsmedlemmer.

U.5 ÅRLIG ENERGIBEHOV PER BRUKERPROFIL

Til nå er det spesifikke energibehovet for brukerprofilene samt en indikasjon på det totale energibehovet per brukerprofil studert for ulike energiformål. For å oppsummere resultatene fra Monte Carlo simuleringene for de ni brukerprofiler er det totale spesifikke energibehovet for hver brukerprofil, presentert i Tabell U.1-1, multiplisert med det gjennomsnittlige boligarealet for hver brukerprofil og fremkommer av Tabell U.5-1.

TABELL U.5-1: TOTALT ÅRLIG ENERGIBEHOV PER BRUKERPROFIL

Brukerprofil	Årlig energibehov [kWh/år]								
	Enslig forsørger	Ung middelklasse-familie	Enslig	Eldre par i leilighet	Ung arbeiderklasse-familie	Etablert overklasse-familie i leil.	Eldre par i hus	Etablert middelklasse-familie i hus	Etablert overklasse-familie i hus
Gjennomsnitt	7312,5	8300,3	5213,3	7169,9	7667,1	13529,6	18222,3	12970,8	19280,0

Tabell U.5-1 viser at det er store forskjeller i det totale energibehovet for de ulike brukerprofilene. En ser at det er husholdningene bosatt i hus og store leiligheter som har det største energibehovet. En kan med bakgrunn av dette, samt det som er observert for de ulike energiformålene, anta at boligareal har en signifikant påvirkning på energibruken for brukerprofilene, siden forskjellene i energibehovet kommer tydelig frem når det gjennomsnittlige spesifikke energibehovet blir multiplisert med det gjennomsnittlige arealet for hver brukerprofil. En har også sett indikasjoner på at inntekt har en påvirkning, sammen med tilstedeværelse av tenåringer og antallet husholdningsmedlemmer. Disse observasjonene stemmer godt overens med andre studier, hvor bruksareal, inntekt, alder og stadiet i livssyklusen har vist seg å være betydningsfullt for husholdningens energibruk (Gram-Hanssen, 2005a) (Bøeng, 2005) (Yohanis, et al., 2008) (Thøgersen, et al., 2010).

VEDLEGG V BRUKERVEILEDNING TIL AMSiS

V.1 NØDVENDIG PROGRAMVARE

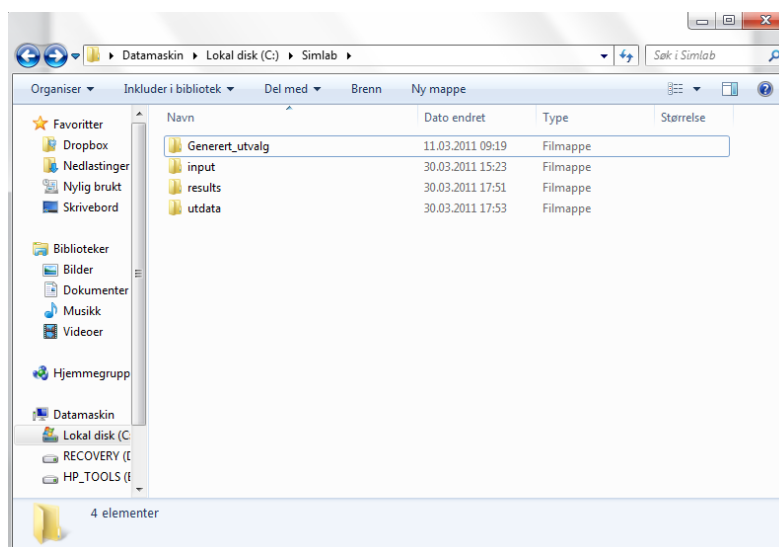
For å bruke AMSiS er det nødvendig å benytte operativsystemet Windows 7 i tillegg til å ha installert Microsoft Excel, SIMIEN 5.004 (ProgramByggerne ANS, 2010), Simlab (Joint Research Centre of the European Commission, 2011) og AutoIt 3.2.0.1 (Jonathan Bennet & AutoIt Team, 2010) på din datamaskin. AMSiS er en makroaktivert Excelarbeidsbok som automatisk utfører multiple simuleringer i SIMIEN på bakgrunn av fordelinger generert i SimLab. AutoIt er et hjelpeprogram som automatisk åpner eksterne programmer som SIMIEN og SIMIENViewer ved hjelp av simulerte tastetrykk, musebevegelser og vindu/kontroll manipulering og utfører på den måten kommandoer som er nødvendige for å gjennomføre simuleringene.



FIGUR V.1-1: NØDVENDIGE PROGRAMVARER FOR Å BRUKE AMSiS SIMLAB (JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2011) OG AUTOIT 3.2.0.1 (JONATHAN BENNET & AUTOIT TEAM, 2010), SIMIEN 5.004 (PROGRAMBYGGERNE ANS, 2010), MICROSOFT EXCEL.

V.2 MAPPESYSTEM

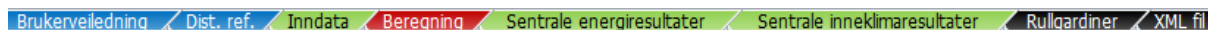
Mappen Simlab som følger med AMSiS må legges på C:\. Denne mappen inneholder mappene Genererte_utvalg, input, results og utdata som alle må eksistere for at AMSiS skal fungere.



FIGUR V.2-1: MAPPESYSTEM FOR AMSiS.

V.3 AMSIS ARK

AMSiS består av 13 regneark, seks regneark som brukerne av programmet skal forholde seg til samt 7 syv som ikke skal redigeres. Regnearkene er merket med en fargekode som forteller hvilken adgang du har til de ulike arkene. De ulike fargekodene er sort, blå, rød og grønn, se Figur 9.2-1.



FIGUR V.3-1: FARGEKODER PÅ REGNEARK I AMSIS.

Grønn betyr at brukeren skal putte inn data eller hente ut data av regnearket.

Rødt regneark inneholder makroaktiverte knapper som må trykkes på for å gjennomføre simuleringer og samle resultater.

Blå regneark er til informasjon for brukerne.

Sort regneark skal ikke endres av brukerne.

V.3.1 INNDATA

Inndataarket er bygd opp kronologisk etter hvordan en modell bygges opp i SIMIEN. Alle hvite celler i Inndataarket til elementer som ønskes brukt i modellen må fylles ut.

1. Angi prosjektets navn og hvem som er ansvarlig for simuleringen og velg bygningskategori og klimasted øverst i regnearket, se øverst i Figur V.3-2.
2. **ENERGIKILDE:** Velg energikilde ved å huke av boksene for ønsket energikilder, se Figur V.3-2. Det er mulig og velge maksimalt 3 energikilder samtidig. Deretter må du angi systemvirkningsgrader for oppvarming og kjøling for valgt energikilde i cellene under avhukingsboksene, vanlige systemvirkningsgrader for ulike systemer er gitt i kommentarboksen som kommer frem ved å sveipe musepekeren over det røde hjørnet i cellen til venstre for den hvite inndatacellen. Informasjon om hvor stor andel energikilden utgjør i forhold til romoppvarming, oppvarming av tappevann, varme- og kjølebatteri til ventilasjon, lokal kjøling og el. spesifikt energibehov må også angis. Total dekningsgrad for valgte energikilder beregnes ute til høyre i kolonne S og du må kontrollere at total dekningsgrad er 100 % for de tekniske systemene du ønsker å installere i bygningen. Energipris og CO₂-utslipp oppgis automatisk i forhold til ønsket energikilde og cellene for disse parameterne er markert lys grå og skal ikke endres.

Inndata for SIMIEN
Prosjektnavn:
Prosjekt nr:
Ansvarlig:
Date:
Bygningstype:
Klimastad:

ENERGIKILDER

☒ Elektrisitet
☐ Olje
☐ Kjølevann
☐ Solfanger
☐ Biobrensel
☐ Gass
☐ Annen

Max 3 energikilder

Parameter el	Verdi	Enhet	Parameter fjernvarme	Verdi	Enhet	Parameter VELG ENERGIKILDE	Verdi	Enhet
Systemvirkningsgrad oppvarming	1	-	Systemvirkningsgrad oppvarming	0.84	-	Systemvirkningsgrad oppvarming	-	-
Systemeffektfaktor kjøling	2.5	-	Systemeffektfaktor kjøling	-	-	Systemeffektfaktor kjøling	-	-
Energi pris	0.8	kr/kWh	Energi pris	0.75	kr/kWh	Energi pris	-	-
CO ₂ -utslipp	355	g/kWh	CO ₂ -utslipp	231	g/kWh	CO ₂ -utslipp	-	-
Romoppvarming	50	[%]	Romoppvarming	50	[%]	Romoppvarming	0	[%]
Oppvarming av tappetvann	100	[%]	Oppvarming av tappetvann	0	[%]	Oppvarming av tappetvann	0	[%]
Varmebatterier ventilasjon	100	[%]	Varmebatterier ventilasjon	0	[%]	Varmebatterier ventilasjon	0	[%]
Kjølebatterier ventilasjon	100	[%]	Kjølebatterier ventilasjon	0	[%]	Kjølebatterier ventilasjon	0	[%]
Lokal kjøling	100	[%]	Lokal kjøling	0	[%]	Lokal kjøling	0	[%]
Elsesifikk energibehov	100	[%]	Elsesifikk energibehov	0	[%]	Elsesifikk energibehov	0	[%]

Total dekningsgrad

Romoppvarming	100	[%]
Tappetvann	100	[%]
Varmebatterier	100	[%]
Kjølebatterier	100	[%]
Lokal kjøling	100	[%]
Elsesifikk	100	[%]

ROM/ SONE
Navn:
Møbleringsgrad:
Driftsdager:
Parameter:
Areal:
Volum:
n50:
Normalisert kuldebroverdi:

FIGUR V.3-2: PROSJEKTINFORMASJON OG INNDATA FOR ENERGIKILDER.

- ROM/ SONE: Angi et unikt navn på sonen, velg møbleringsgrad og driftsdager og angi bruttoareal (BRA), oppvarmet luftvolum, lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell over klimaskjermen og normalisert kuldebroverdi.
- BYGNINGSKONSTRUKSJONER: Angi informasjon om de elementene du ønsker å benytte for modellens bygningskonstruksjoner; fasade, takkonstruksjon, gulvkonstruksjon, kjellerkonstruksjon og skillekonstruksjon, se utsnitt i Figur V.3-3. Det er mulig å legge inn maksimalt fire fasadekonstruksjoner og hver fasadekonstruksjon kan inneholde to ulike typer vinduer og én type dør. Dersom det ikke er noe overheng eller utspring fra vinduene skal de hvite inndatacellene for disse parameterne være blanke (dette er unntaket og ikke regelen) ellers må ALLE hvite celler for ønskede elementer fylles ut og det er viktig at hvert element har fått et unikt navn for at elementet skal inkluderes i simuleringen. Dersom to elementer får samme navn vil kun det første elementet bli tatt med i simuleringen i SIMIEN.

Inndata for SIMIEN
FASADE 1
Navn fasade 1:

Verdi
Enhet

239
m²

Verdi
Enhet

0.18
W/m²K

Verdi
Enhet

10
Wh/m²K

Verdi
Enhet

0

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

FASADE 2
Navn fasade 2:

Verdi
Enhet

239
m²

Verdi
Enhet

0.18
W/m²K

Verdi
Enhet

10
Wh/m²K

Verdi
Enhet

0

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

9

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

90
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

1
m

Verdi
Enhet

0.2

Verdi
Enhet

1.2
W/m²K

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.35

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

Verdi
Enhet

0.1
m

Verdi
Enhet

0.01
m

FIGUR V.3-3: UTSNITT FRA INNDATAARK FOR FASADEKONSTRUKSJONER.

5. VENTILASJON: for elementet ventilasjon kan du velge mellom VAV, CAV, avtrekk- og naturligventilasjon i rullgardinmenyen i celle D219, for ønsket valg kommer det opp de parameterne du må angi informasjon om. Luftmengder i og utenfor driftstid og brukstid ligger det fordelinger inne for i AMSiS og disse faktorene modelleres som stokastiske variabler og trengs derfor ikke bestemmes i Inndataarket
6. INTERNLASTER: Angivelsen "PÅ" og "AV" under internlaster står for i og utenfor driftstid. Effekter i og utenfor driftstid og brukstid ligger det fordelinger inne for i AMSiS og disse faktorene modelleres som stokastiske variabler og trengs derfor ikke bestemmes i Inndataarket.
7. ROMOPPVARMING: Det eneste du behøver å angi informasjon om i forhold til romoppvarming er et unikt navn på elementet og kapasitet på varmeanlegget. Setpunkt temperaturer og tidspunkter ligger inne som fordelinger i programmet og beregnes som stokastiske variabler.

OBS!

Det er svært viktig at du skriver inn et unikt navn for hvert element du ønsker å benytte i din modell. Dersom det er et element du ikke ønsker å benytte skal navnecellen være blank.

V.3.2 BEREKNING

I dette arket angir du hvor mange simuleringer du vil kjøre, velger brukerprofil for typisk husholdning for boligen og trykker på de makroaktiverte knappene som automatisk kjører simuleringer i SIMIEN, samler resultater og gjennomfører beregninger for resultatevaluering, se Figur V.3-4. Antall simuleringer oppgis i den hvite cellen 'Beregning!C2 "Antall simuleringer". Vær oppmerksom på at dersom du ønsker å evaluere simuleringsresultatene i SimLab senere må antall simuleringer være likt antall utvalg som ligger inne i arket *Samples*. Det anbefales å kjøre 200 simuleringer siden studier har vist at resultatene da blir stabile (Saltelli, et al., 2004a). I Figur V.3-4 er det vist et screenshot av arket *Beregninger* fra AMSiS.



FIGUR V.3-4: SCREENSHOT AV INTERFACE FRA AMSiS FOR ARKET *BEREGNING*.

Brukerprofil velger du i henhold til hvilken profil som er mest representativ for en typisk husholdning som kan bo i boligen du skal gjennomføre simulering for. Sannsynligvis vil en husholdning ligge mellom to eller flere brukerprofiler, men du må velge den brukerprofilen som er mest representativ for en typisk husholdning. Det er ni brukerprofiler som ligger inne i AMSiS, seks til leiligheter og tre til småhus. Hver brukerprofil har hver sin knapp som er plassert til venstre i arket, se Figur V.3-4. Det må gjøres oppmerksom på at de brukerprofilene som er utviklet for AMSiS baserer seg på et casestudium. En videreutvikling av brukerprofilene bør derfor være en oppgave for fremtidige studier.

Det er fire makroaktiverte knapper for å kjøre simuleringer og gjennomføre resultatbehandling som er nummerert fra 1-4, se til høyre Figur V.3-4. Disse knappene skal trykkes på i kronologisk rekkefølge. Det er viktig at prosessen i foregående operasjon er fullført før du trykker på neste knapp siden operasjonene er avhengige av hverandre.

V.3.2.1 KNAPP 1 (KJØR SIMULERING)

Knapp 1 er merket "Kjør simulering i SIMIEN". Makroen for denne knappen utfører automatisk et gitt antall simuleringer i SIMIEN med ulike verdier for faktorer relatert til brukeratferd, alle andre faktorer holdes konstant lik med verdiene i *base-case* scenarioet som du har oppgitt i regnearket *Inndata*. Alle simuleringsfilene og resultatfilene fra SIMIEN lagres i resultatmappen som ligger på C:\Simlab\results.

V.3.2.2 KNAPP 2 (SAMLE RESULTATER)

Når simuleringen er gjennomført kan du samle alle energieresultatene i en egen Excelarbeidsbok "results.xls" som ligger på C:\Simlab\results ved å trykke på den makroaktiverte knapp 2 "Samle energieresultater". I "results.xls" kan du gå inn å se resultater for samtlige simuleringer hver for seg ved at hver simulering har sitt eget Excelark som er nummerert i henhold til simuleringsnummer.

OBS!

Dersom AutoIt vinduet ikke lukker seg automatisk når du trykker på knapp 1 eller knapp 2 må du fysisk lukke dette vinduet for at operasjonene skal fortsette.

V.3.2.3 KNAPP 3 (BEHANDLING AV ENERGIRESULTATER)

Knapp 3 "Behandling av energieresultater" henter resultatene for hver simulering og samler det i ett Excelark i Excelboken "Modellutdata" som ligger på C:\Simlab\utdata, ut fra dette excelarket genereres det en tekstfil som kan benyttes for å analysere resultatene i SimLab. Resultatene kopieres videre over til AMSiS og arket "Sentrale energieresultater" der resultatene blir sortert og presentert i tabellform og skjematisk fremstilling i form av kumulative distribusjoner for totalt netto energibehov, energi til romoppvarming, energi til belysning, energi til varmtvann og energi til teknisk utstyr/ el. utstyr.

V.3.2.4 KNAPP 4 (SAMLE OG BEHANDLE INNEKLIMARESLTATER)

Knapp 4 "Samle og behandle inneklimatestater" samler først alle tekstresultatene man får fra SIMIEN i én Excelarbeidsbok "tekstresultater.xls" som ligger på C:\Simlab\results. Deretter

henter makroen ut timesverdier for operativ temperatur for en vinterdag og en sommerdag for alle simuleringene, henholdsvis 15. januar og 15. juli, og setter disse verdiene inn i Excelarbeidsboken "temputdata.xls" som ligger på C:\Simlab\utdata. Middelerverdi for hver time finnes og kopieres over til AMSiS arket "Sentrale innelimaresultater" og presenteres i tabellform. AMSiS arket "PMV" utfører PMV og PPD beregninger av maks og min temperatur for hver time og spredningen av lufttemperatur, PMV og PPD presenteres grafisk i AMSiS arket "Sentrale innelimaresultater".

V.3.2.5 UTVIDET BRUK AV AMSiS: STOKASTISK MODELLERING AV FAKTORER MED EGNE UTVALG

- Kun hvis du har laget egne fordelinger og utvalg i SimLab

I arket *Beregning* kan du laste inn egne genererte utvalg av fordelinger fra SimLab fra en tekstfil og inn i Excelarbeidsboken, dette gjøres ved å trykke på knappen "Last inn utvalg fra Simlab". For å gjennomføre denne operasjonen må du ha lagt tekstfilen fra SimLab inn i mappen C:\Simlab\Generert_utvalg og kalt tekstfilen samples.sam. Dersom du har lastet inn egne utvalg av fordelinger må du informere AMSiS om hvilke faktorer du har lastet inn utvalg for, dette gjøres ved å taste inn et ID-nummer som er unikt for hver faktor i de hvite cellene i rad 2 i regnearket *Beregning*, oversikt over faktorer og ID-nummer finnes i regnearket *Dist.ref.*. I tillegg må du da informere om hvor mange utvalg prøven fra Simlab inneholder, dette antallet skal være likt med antall simuleringer som skal kjøres og denne verdien skal testes inn i den hvite cellen C2 "Antall simuleringer". Når denne informasjonen er gitt er du klar til å gjennomføre Monte Carlo simuleringer.

V.3.3 RULLGARDINER

I Rullgardiner-arket ligger alle referansene til valgene man kan gjøre ved hjelp av rullgardinlistene og avhukingsboksene i Inndata-arket. Rullgardiner-arket skal du ikke gjøre noe med da det kan føre til at simuleringen ender opp med feil inndata i forhold til hva du har angitt i Inndata-arket.

V.3.4 XML-FIL OG EDIT

Disse arkene er bakgrunnen for XML-filene som genereres og som kan benyttes som inndatafiler i SIMIEN. I XML-fil arket kodes all inndata i henhold til kodespråket utf-8 (Unicode Transformation Format-8). XML-fil arket inneholder referanser til Inndata-arket, Rullgardiner-arket og Dist.ref.-arket for å hente inn samtlige inndataverdier for både deterministiske verdier og stokastiske variabler. Det første som skjer når man trykker på knapp 1 "Kjør simuleringer i SIMIEN" i arket *Beregning* er at teksten i XML-fil arket kopieres over i Edit arket der teksten blir redigert slik at alle mellomrom slettes. Deretter konverteres teksten til XML-fil ved hjelp av *konverter.bat* som ligger i mappen C:\Simlab\input og hver XML-fil lagres i mappen C:\Simlab\input med navnet *i.xml* hvor *i*=1 til antall gitte simuleringer fra celle C2 i arket *Beregning*.

V.3.5 SAMPLES

I arket samples legges utvalget inn for alle fordelingene som er generert i SimLab. Celle A2 i arket Samples angir hvor mange utvalg det er fra hver fordeling og celle A3 angir hvor mange faktorer utvalgene gjelder for.

V.3.6 PMV

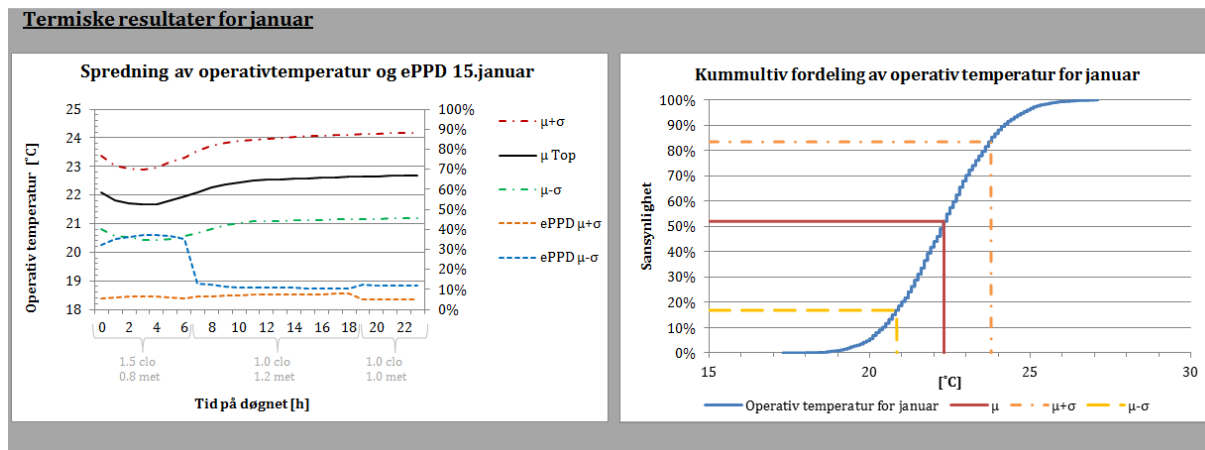
I arket PMV gjennomføres PMV beregninger i henhold til likningene angitt på side 3-4 i NS-EN ISO 7730 (2005). Beregningene gjennomføres for resulterende middeltemperaturer +/- standardavvik fra SIMIEN simuleringene for en vinterdag og en sommerdag i løpet av året, henholdsvis 15. januar og 15.juli. Når PMV beregningene er fullført multipliseres det inn en forventningsfaktor e som tilsvarer 1 dersom boligen har balansert ventilasjon og 0,9 dersom boligen har naturlig ventilasjon eller avtrekksventilasjon. Forventningsfaktoren multipliseres inn for å ta høyde for at brukere kan ha ulik forventning til naturlig ventilerte bygninger og air-conditioned bygninger siden litteraturen har vist at brukere av naturlig ventilerte bygninger har større toleranse for variasjoner i innendørs termiske forhold hvis de kan ha kontroll over forholdene (Brager, et al., 1998). Ut i fra ePMV beregnes ePPD i henhold til likningen for PPD i ISO 7730 (2005). Det matematiske grunnlaget for ePMV beregningene og mer utfyllende teori om termisk komfort er gitt i tillegg på slutten av denne brukerveiledningen.

For å utføre PMV beregningene må man ta noen antakelser i forhold til brukernes aktivitetsnivå og bekleddningsisolans. Beregningene i PMV arket baserer seg på antatt bekleddningsisolans for 15. januar på 1,5 clo om natten (kl. 00-07) og 1,0 clo om dagen (kl. 07-24), som ut i fra tabell C.1 og C.2 i NS-EN ISO 7730 (2005) omlag tilsvarer tykk vinterdyne og nattøy med et tillegg for sengen på ca. 0,15 clo om natten og daglig innendørs vinterbekledning om dagen. For 15. juli er det antatt bekleddningsisolans på 1 om natten som tilsvarer lett sommerdyne om natten med et tillegg på 0,15 clo for sengen og 0,5 clo om dagen som tilsvarer lett daglig sommerbekledning. Aktivitetsnivået for både 15. januar og 15. juli er satt til 0,8 met om natten (kl. 00-07), 1,2 met om dagen (kl. 07-19) og 1,0 met om kvelden (kl. 19-24), som i henhold til tabell B.1 i NS-EN ISO 7730 (2005) tilsvarer henholdsvis aktivitetene sove, stillesittende og avslappet sittestillende.

Resultatene av ePMV og ePPD beregningene fremstilles grafisk i diagrammer i regneark *Sentrale inneklimategninger*. Det er mulig å endre forutsetningene i forhold til aktivitetsnivå og bekleddning for ePMV beregningene i PMV arket, men du må da passe på å endre teksten i diagrammene i *Sentrale inneklimategninger* slik at teksten gir informasjon om det antatte aktivitetsnivået og antatte bekleddningsisolansen du velger.

V.3.7 SENTRALE INNEKLIMATEGNINGER

I arket Sentrale inneklimategninger presenteres middelveier og standardavvik for operativ temperatur i tabellform for 15. januar og 15. juli og grafisk sammen med ePPD- indekser. Det blir også presentert kumulative operative temperaturer for januar og juli måned i grafisk format. De grafiske presentasjonene viser hvilken spredning temperaturer og tilfredshet kan ha på bakgrunn av ulik brukeratferd, se eksempel i Figur 9.2-5. Diagrammene kan kopieres og limes inn i et tekstbehandlingsprogram, det er imidlertid viktig at du IKKE klipper ut figuren siden formateringen benyttes for å lage figurer automatisk for senere simuleringer.



FIGUR V.3-5: UTSNITT AV ARKET SENTRALE INNEKLIMARESLTATER, MIDDELTEMPERATURER $\pm \sigma$ OG ePPD-INDEKSER FOR JANUAR I DIAGRAMMET TIL VENSTRE OG KUMMULATIV DISTRIBUTJON OVER TIDSVARDIER FOR OPERATIV TEMPERATURER I JANUAR I DIAGRAMMET TIL HØYRE.

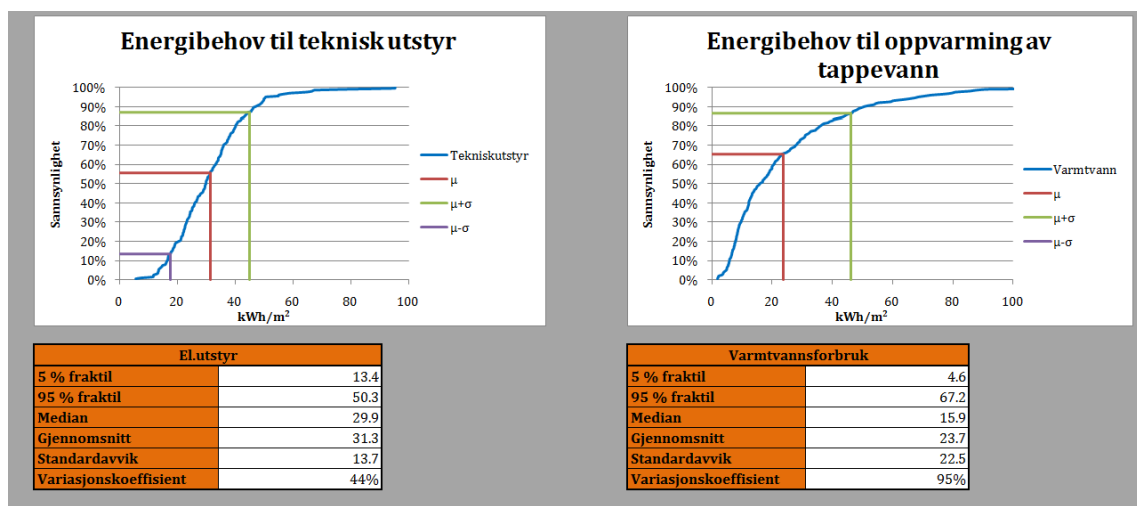
For ePMV-beregningene som gjennomføres i AMSiS er det tatt antakelser i forhold til både aktivitetsnivå, bekledning, relativ lufthastighet og relativ fuktighet og disse antakelsene er nødvendigvis ikke helt korrekte i forhold til virkeligheten. ePPD-indeksene som angis i diagrammene i arket *Sentrale inneklimareresultater* må derfor kun betraktes som veiledende.

I tillegg må du være klar over at PMV- og PPD-indeksene kun angir det termiske inneklimaets innflytelse på legemet som helhet. Selv om PMV- indeksen tilsvarer termisk nøytralitet kan en person være utsatt for termisk disskomfort på grunn av uønsket oppvarming eller avkjøling av bestemte deler av kroppen. Termisk disskomfort kan ofte være forårsaket av trekk, for stor strålingsassymetri, kalde/varme gulv eller store forskjeller mellom vertikale lufttemperaturer. Det er først og fremst personer med lavt aktivitetsnivå som blir påvirket av termisk disskomfort og ISO 7730 (2009) setter krav til komfortgrenser for stillesittende arbeid.

Simuleringsresultatene fra SIMIEN begrenser evaluering av lokal termisk disskomfort i AMSiS, noe som igjen underbygger at de beregnede PMV- og PPD-indeksene kun må benyttes som veiledende verdier for evaluering av termisk inneklima.

V.3.8 SENTRALE ENERGIRESLTATER

I arket *Sentrale energireresultater* fremstilles resultater for totalt netto energibruk, romoppvarming, oppvarming av varmt forbruksvann, belysning og teknisk/ el.utstyr som kumulative kurver med middelerdi og middelerdi $\pm$ standardavvik markert som illustrerer spredningen av energibruk innenfor de ulike postene ved ulike brukeratferd, se Figur V.3-6. I diagrammet for totalt netto energibruk markeres myndighetskravene gitt i TEK10 på 120 + 1600/m² kWh/m² for småhus og 115 kWh/m² for boligblokker slik at du kan anslå med hvor stor sannsynlighet det er at energibehovet tilfredsstiller myndighetskravene. Under hvert diagram er det gitt en tabell som oppgir middelerdi, standardavvik, median, variasjonskoeffisient samt 5 % og 95 % fraktil. Ved å sammenlikne middelerdi og median kan du se om det er verdiene er noenlunde jevnt fordelt eller om det er noen få verdier som trekker middelerdien opp eller ned. Diagrammene og tabellene kan kopieres og limes inn i et tekstbehandlingsprogram, det er dog viktig at du IKKE klipper ut figuren da formateringen benyttes for å lage figurer automatisk for senere simuleringer.



FIGUR V.3-6: UTSNITT AV REGNEARKET SENTRALE ENERGIRESULTATER.

Figur V.3-6 viser et utsnitt fra arket med sentrale energieresultater fra AMSiS. Som en kan se blir det presentert kumulative distribusjoner for energibehovet til teknisk utstyr og oppvarming av tappevann. Under grafene fremkommer tabeller med sentrale mål for distribusjonene.

V.3.9 TILLEGG

V.3.9.1 TERMISK KOMFORT OG PMV OG PPD BEREKNINGER

Per dags dato finnes det to hovedretninger for vitenskapen om termisk komfort (Nicol, et al., 2002) (Djongyang, et al., 2010). Den ene retningen baserer seg på teorier om fysiologi og varmebalansen mellom mennesket og dets omgivelser og den andre retningen bygger på teorier om at mennesker er tilpasningsdyktige i forhold til de termiske omgivelsene de befinner seg i.

P. O. Fanger har vært en av frontfigurene for varmebalanse retningen, og arbeidet hans har dannet grunnlag for dagens mest brukte standarder i forhold til termisk komfort, ISO 7730 (2009) og ASHRAE 55 (2004). Både ISO 7730 (2009) og ASHRAE 55 (2004) inneholder PMV/PPD modellen som benyttes til å designe og evaluere innendørs termisk komfort i bygninger. Fanger (Fanger, 1970) stilte opp likningene for PMV- og PPD-indeksene ut i fra en stasjonær varmetransport modell kalibrert ved hjelp av statistisk utledede parameter fra eksperimenter utført i kontrollerte klimarom av mennesker med standardisert bekledning som utførte standardiserte aktiviteter mens de var utsatt for ulike termiske forhold.

PMV står for Predicted Mean Vote og angir en gjennomsnittsvurdering av inneklimaet blant et stort antall mennesker på en 7-trinns termisk fornemmelsesskala fra -3 til 3 hvor -3 tilsvarer kaldt, 0 tilsvarer nøytralt og 3 tilsvarer hett. For å forutsi termisk komfort kombinerer PMV modellen fire fysiske variabler (lufttemperatur, middelstråletemperatur, relativ lufthastighet og relativ luftfuktighet) og to personlige variabler (aktivitetsnivå og bekledning). Som nevnt bygger Fanger sin PMV modell på termoregulering- og varmebalanseteorier. Formålet med varmebalansen og menneskets termoreguleringssystem er å opprettholde en noenlunde konstant temperaturinternt i legemet (Hansen, et al., 2006). Det er nødvendig at varmebalansen er tilfredsstillende for å oppnå følelsen av termisk nøytralitet, men det er ingen tilstrekkelig betingelse. Det er i tillegg en betingelse at hudtemperaturen og svettereaksjonen ved det gjeldende stoffskiftet har verdier som føles nøytrale (Hansen, et al., 2006). Det anbefales at PMV

indeksen kun benyttes for PMV-verdier mellom -2 til 2 og når aktivitetsnivået ligger mellom 0,8-2 met, bekleddningsisolansen er mellom 0-2 clo, lufttemperaturen ligger mellom 10-30°C, middelstråletemperaturen ligger mellom 10-40°C, den relative lufthastigheten ligger mellom 0-1 m/s og vanndampens partialtrykk ligger mellom 0-2700 Pa (Dokka, et al., 2009).

PPD står for Predicted Percentage of Dissatisfied og PPD-indeksen angir en kvantitativ antagelse av hvor stor andel i prosent av personene i et rom som vil være misfornøyd med de termiske forholdene. Det finnes ikke noen tilstand hvor PPD-indeksen er lik 0 og den laveste verdien av PPD er 5 % som tilsvarer en PMV på 0. ISO 7730 (2009) definerer termisk misfornøyd som de som vurderer inneklimateet som hett (3), varmt (2), kjølig (-2) eller kaldt (-3).

Siden publiseringen av PMV-likningen for over 40 år siden har det blitt gjennomført mange undersøkelser for å teste eller validere PMV-modellen for mennesker i hverdagslivet (Humphreys, et al., 2002). Noen studier viser til resultater som støtter PMV-modellen mens andre studier viser til resultater som er i uoverensstemmelse med PMV-modellen (Oseland, 1994) (Oseland, 1995) (Humphreys, et al., 2002) (Becker, et al., 2009). Brager og de Dear (Brager, et al., 1998) bemerker at en stor begrensning ved bruk av varmembalanse modellene, spesielt ved design av bygninger, er at man må anta aktivitetsnivå og bekleddningsisolans og at dette kan være en av årsakene til at studier viser uoverensstemmelser med PMV-modellen. Selv ved ferdigstilte bygninger hvor man kan observere bekleddning og aktivitet mislykkes ofte varmembalanse modellen i å beskrive forventet termisk komfort nøyaktig. I mange felt studier har en i henhold til (Brager, et al., 1998) sett at PMV har en tendens til å overestimere termisk nøytralitet og dette kan komme av blant annet feil antatt bekleddningsisolans i tillegg til at man ofte unnlater den termiske effekten av stoler for sittende brukere hvor f. eks. en vanlig kontorstol har vist seg å ha en effekt på ca. 0,15 clo i tillegg til brukerens bekleddning. Virkelig forhold i bygninger er ofte mer dynamiske i med tanke på termiske forhold og brukernes aktivitetsnivå, mens PMV modellen baserer seg på stasjonære forhold. I tillegg kan ikke-termiske faktorer som demografi, bygningstype og samspill med øvrig inneklimate ha innflytelse på opplevelsen av termiske forhold. I studien av Brager og de Dear (Brager, et al., 1998) vises det i tillegg at det kan være forskjell på tilbakemeldinger om termisk komfort mellom naturlig ventilerte bygninger og bygninger med air-condition. Resultatene fra bygninger med air-condition passer for det meste godt overens med resultater fra PMV-modellen mens brukere av naturlig ventilerte bygninger har større toleranse for variasjoner i innendørs termiske forhold hvis de kan ha kontroll over forholdene. Dette støtter opp om den adaptive retningen innenfor termisk komfort som bygger på teorier om at mennesker er tilpasningsdyktige i forhold til de termiske omgivelsene de befinner seg i. Tredje versjon av ISO 7730 (2005) har tilføyd et kapittel med informasjon om adaptasjon som sier at videre rammer for termiske forhold i bygget enn de som beregnes ut i fra PMV-modellen kan benyttes for bygninger som er brukerkontrollerte, naturlig ventilerte eller bygninger i varme klimaregioner eller i løpet av varme perioder.

P. O. Fanger har på grunn av kritikken mot PMV modellen utviklet den utvidede ePMV-modellen i samarbeid med Jørn Toftum (Fanger, et al., 2002). De mener at ePMV-modellen kombinerer det beste fra PMV-modellen og adaptive modellen ved at den anerkjenner at forventning til innetemperaturen spiller en viktig rolle i forhold til termisk fornemmelse samtidig som modellen fortsatt baserer seg på et menneskes varmembalanse. Fanger og Toftum har testet den utvidede ePMV-modellen på et datasett med mer enn 3200 observasjoner fra feltundersøkelser fra naturlig ventilerte bygninger i varme klima og resultatene viste en god overensstemmelse

mellom observert termisk fornemmelse og forventet termisk fornemmelse ut i fra ePMV-modellen (Fanger, et al., 2002). Norge er som kjent ikke lokalisert i en varm klimasone, men det er antatt at en forventningsfaktor på 0,9 er passende for naturlig ventilerte bygninger i Norge siden det da tas høyde for en større aksept til termisk miljø i naturlig ventilerte bygninger. Ut i fra (Fanger, et al., 2002) tilsvarer en forventningsfaktor på 0,9 en bygning hvor brukerne har høye forventninger til innendørs termisk komfort samtidig som bygningen er lokalisert i et område hvor det er vanlig med bygninger med air-condition og hvor varme perioder kun inntreffer korte tidsrom på sommeren, noe som passer til norske forhold.

På bakgrunn av den overstående teorien er det besluttet å implementere den utvidede ePMV-modellen i AMSiS til vurdering av termisk inneklima. Det matematiske grunnlaget for denne beregningen er gitt i det følgende. Formel 29-Formel 33 er hentet fra side 3-4 i NS-EN ISO 7730 (2005).

FORMEL 29

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

FORMEL 30

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

FORMEL 31

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

FORMEL 32

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

FORMEL 33

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,033\,53 \cdot PMV^4 - 0,217\,9 \cdot PMV^2)$$

Hvor:

<i>PMV</i>	Predicted Mean Vote	-
<i>PPD</i>	Predicted percentage dissatisfied	[%]
<i>M</i>	Aktivitetsnivå	[W/m ²]
<i>W</i>	Ytre arbeid, tilført effekt	[W/m ²]
<i>I_{cl}</i>	Bekledningsisolans	[m ² K/W]
<i>f_{cl}</i>	Bekledningsoverflatearealfaktor	-
<i>t_a</i>	Lufttemperatur	[°C]
<i>t_r</i>	Strålingstemperatur	[°C]
<i>v_{ar}</i>	Relativ lufthastighet	[m/s]
<i>p_a</i>	Vanndamppartialtrykk	[Pa]
<i>h_c</i>	Konvektiv varmeovergangs koef.	[W/m ² K]
<i>t_{cl}</i>	Overflatetemperatur for bekledning	[°C]

Middelstrålingstemperatur finnes ut i fra resulterende operativ temperatur fra SIMIEN ved hjelp av Formel 34.

FORMEL 34

$$t_{op} = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r}$$

Hvor:

h_c	Varmeovergangskoeff. ved konveksjon	[W/m ² K]
h_r	Varmeovergangskoeff. ved stråling	[W/m ² K]

Varmeovergangskoeffisientene ved konveksjon og stråling har ofte nokså lik verdi så lenge den relative lufthastigheten er <0,2 m/s (Stensaas, 2000) (Hansen, et al., 2006), $h_c \approx h_r$, og Formel 34 går da over til

FORMEL 35

$$t_{op} = \frac{t_a + \bar{t}_r}{2} \rightarrow \bar{t}_r = 2 \cdot t_{op} - t_a$$

Beregningene i PMV arket baserer seg på antatt bekleddningsisolans for 15. januar på 1,5 clo om natten (kl. 00-07) og 1,0 clo om dagen (kl. 07-24), som ut i fra tabell C.1 og C.2 i NS-EN ISO 7730 (2005) omlag tilsvarer tykk vinterdyne og nattøy med et tillegg for sengen på ca. 0,15 clo om natten og daglig innendørs vinterbekledning om dagen. For 15. juli er det antatt bekleddningsisolans på 1 om natten som tilsvarer lett sommerdyne om natten med et tillegg på 0,15 clo for sengen og 0,5 clo om dagen som tilsvarer lett daglig sommerbekledning. Aktivitetsnivået for både 15. januar og 15. juli er satt til 0,8 met om natten (kl. 00-07), 1,2 met om dagen (kl. 07-19) og 1,0 met om kvelden (kl. 19-24), som i henhold til tabell B.1 i NS-EN ISO 7730 (2005) tilsvarer henholdsvis aktivitetene sove, stillesittende og avslappet sittestillende. Det er antatt en relativ fuktighet innendørs på 20 % om vinteren og 60 % om sommeren. Vanndampens partialtrykk finnes ved først å finne trykk for mettet vanndamp ut i fra Formel 36 og deretter beregne vanndampens partialtrykk ved hjelp av Formel 37, begge formlene er hentet fra Danvak Grundbog (Hansen, et al., 2006)[s.142, s.504].

FORMEL 36

$$p_{dm} = e^{23,5771 - \frac{4042,9}{T - 37,58}}$$

FORMEL 37

$$p_d = \varphi \cdot p_{dm}$$

Hvor:

p_{dm}	Trykk mettet vanndamp	[Pa]
p_d	Partialtrykk vanndamp	[Pa]
φ	Relativ luftfuktighet	-

Relativ lufthastighet både sommer og vinter er antatt å være 0,1 m/s. Overflatetemperaturen på klærne, t_{cl} , som i henhold til NS-EN ISO 7730 (2005) kan finnes ved hjelp av iterasjon finnes i PMV regnearket ved hjelp av funksjonen *Målsøking* i Excel ut i fra fremgangsmåten i Figur V.3-7.

M22		=35.7-0.028*(M\$4-M\$7)-M\$2*((0.0000000396)*M\$10*((M21+273)^4-(M18+273)^4)+M\$10*M24*(M21-M17))-M21									
	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
14	Vinterdag: 15.januar										
15											
16	Time				0						
17	Maks luft temperatur		t _a [°C]		21.2						
18	Maks middelstråletemperatur		t _r [°C]		22.4						
19	absolutt maks lufttemp		t _{aa} [K]		294.2						
20	absolutt maks strålingstemp		t _{ra} [K]		295.4						
21	Overflatetemp. Klær		t _{cl}		25.758751						
22			t _{cl} -målsøking		0.0006699						
23	Varmeovergangskoeff. naturlig konv.		h _{cn}		3.4776705						
24	Konvektiv varmeovergangskoeff.		h _c		3.826356						
25	Vanddampens partiastrykk		P _{dm}		2495.8992						
26											
27											
28			PMV maks temp.		-0.5598097	-0.6679521	-0.7483297	-0.827734	-0.9078407	-0.9612493	
29											
30			PPD maks temp.		0.1156243	0.1437441	0.1679241	0.1945272	0.2240418	0.245168	
31											
32											

$t_{cl, \text{målsøking}} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} - t_{cl}$
 Bruker funksjonen **Målsøking** og søker etter å sette celle **M22(t_{cl}, målsøking)=0** ved å endre celle **M21(t_{cl})**, celle M22 gir da en god tilnærming til t_{cl} som benyttes i PMV beregningen.

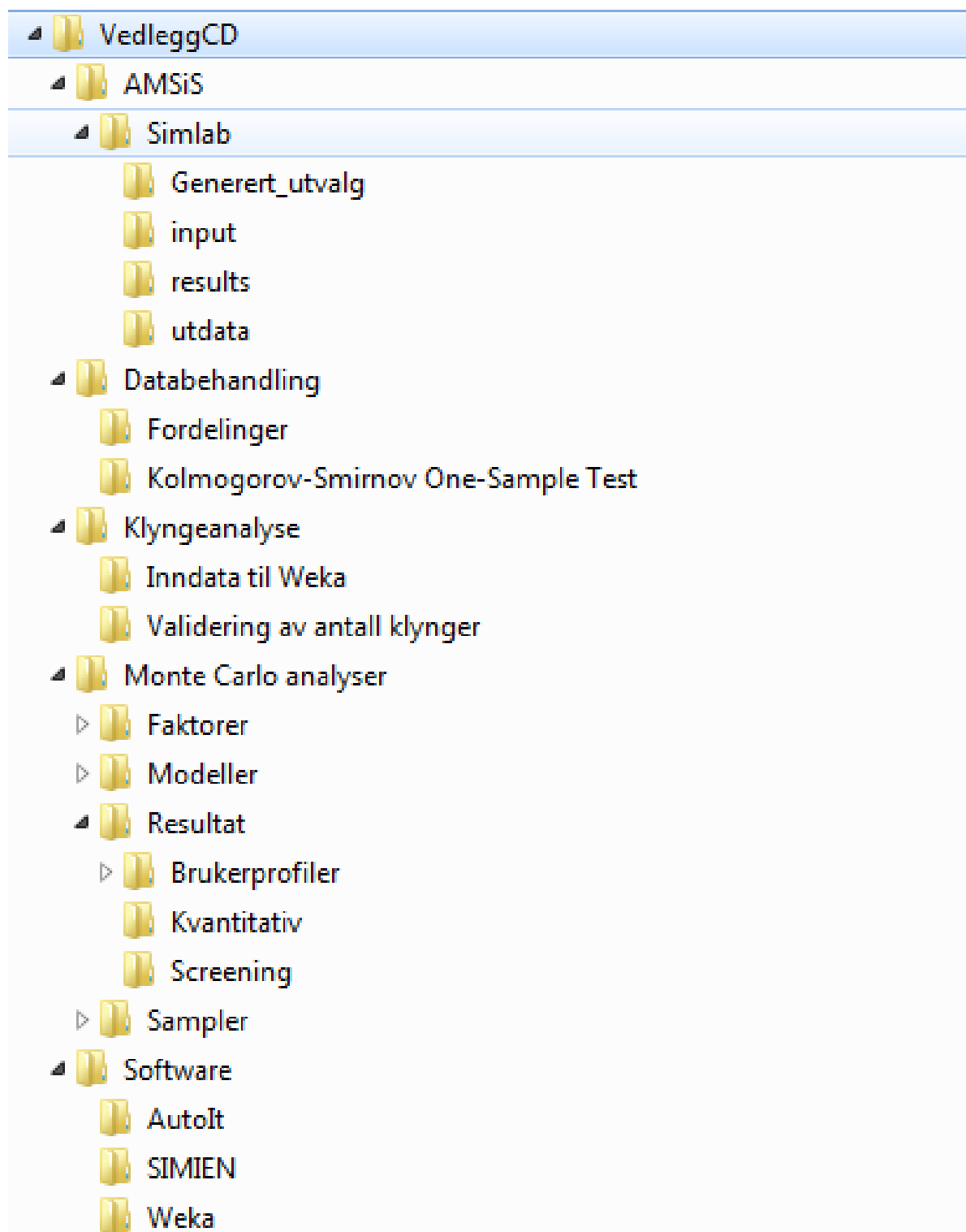
FIGUR V.3-7: FREMGANGSMÅTE FOR Å FINNE TCL I EXCEL.

Når PMV-indeksen er beregnet multipliseres den med forventningsfaktoren e , som ut i fra Tabell V.3-1 er 0,9-1 for norske forhold. I AMSiS er det valgt å benytte 0,9 for naturlig ventilerte bygninger og bygninger med kun avtrekksventilasjon, mens det for bygninger med balansert ventilasjon benyttes forventningsfaktor på 1.

TABELL V.3-1: OVERSIKT OVER FORVENTNINGSFAKTOR FOR NATURLIG VENTILERTE BYGNINGER I ULIKE OMRÅDER, ETTER (FANGER, ET AL., 2002)

Forventning	Lokalisering	Varme perioder	Forventningsfaktor e
Høy	I regioner hvor air-condition er vanlig	Inntreffer korte perioder i løpet av sommeren	0,9-1
Moderat	I regioner med noen bygninger med air-condition	Sommer sesongen	0,7-0,9
Lav	I regioner med få bygninger med air-condition	Alle sesonger	0,5-0,7

VEDLEGG W – DVD



Implementering av brukeratferd i energi- og inneklimategninger i Norge

Bakgrunnen for prosjektet er at studier har vist at det kan være store differanser mellom beregnet og faktisk energibruk i boliger. Brukeratferd er ansett som en signifikant kilde til disse differansene. Denne masteroppgaven fokuserer på brukeratferds påvirkning på energibruk og inneklimategninger i boliger og hvordan brukeratferd kan implementeres i energi- og inneklimategninger i Norge ved å utvikle et brukervennlig verktøy rettet mot norske rådgivende ingeniører.

Verktøyet som er utviklet i dette prosjektet er kalt AMSiS, som står for Automatisering av Multiple Simuleringer i SIMIEN. Prinsippet bak AMSiS er at viktige sensitive brukerrelaterte faktorer modelleres som stokastiske variabler mens insensitive brukerrelaterte faktorer og faktorer relatert til bygningskonstruksjoner og tekniske systemer modelleres som deterministiske verdier. Verktøyet har implementert ni ulike brukerprofiler som er dannet på bakgrunn av en test-case.

Sensitive faktorer for energibehov viste seg å være effekt til oppvarming av tappevann, naturlig ventilasjon, settpunkttemperatur og varmeavgivelse fra personer. I forhold til termisk inneklimategning var det i hovedsak interne varmelaster i tillegg til naturlig ventilasjon som bidro til usikkerhet i utdata.

Brukerprofiler ble dannet ut i fra 122 husholdningers sosiologiske og økonomiske karakteristikker ved hjelp av klyngeanalyse. Ved hjelp av silhuetanalyse ble det funnet at ni klynger ville gi den beste inndelingen av datasettet. Klyngene var dog ikke særlig klare og distinkte. Resultatene indikerer imidlertid at ved bruk av et større datasett kan det være mulig at grupperingen blir mer distinkt. Utarbeidelse av brukerprofiler er både kostbart og tidkrevende og en bør derfor overveie om det er hensiktsmessig. Totalt sett illustrerer prosjektet at det bør bli tatt hensyn til brukeratferd i energi- og inneklimategning i Norge slik at rådgivende ingeniører kan trekke mer virkelighetsnære konklusjoner ut i fra sine tegninger. Det er også illustrert at dette lar seg gjøre på en enkel og effektiv måte dersom rådgivende ingeniører har riktig verktøy tilgjengelig, noe liknende AMSiS.

Innholdet i rapporten er åpent og kan siteres fritt. Offentliggjørelse av material gjøres etter avtale med forfatterne.

Line_roseth@hotmail.com

Hakon.odegaard@gmail.com