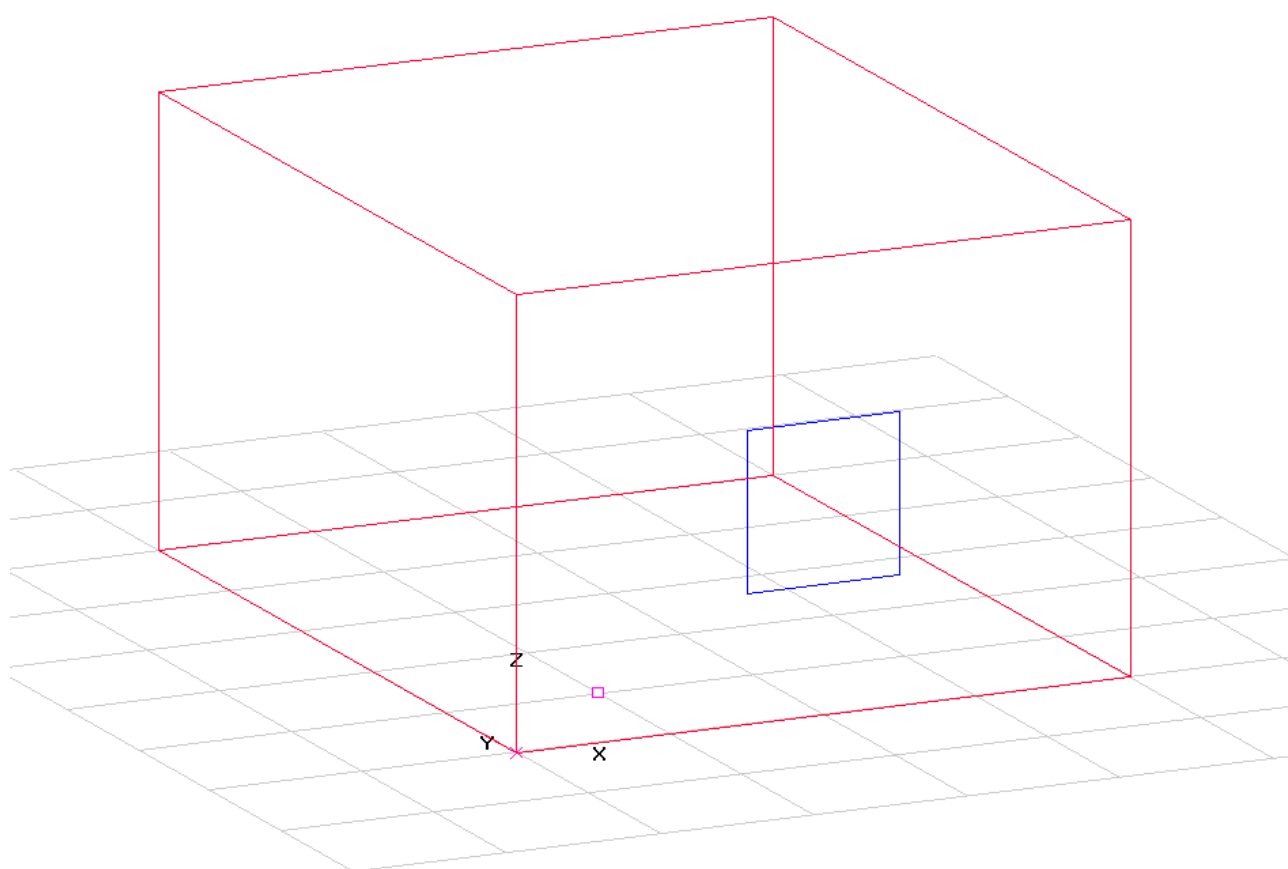


Automatisering af stokastisk modellering i BSim

- Effektivisering af designprocessen



Emil Greve Bonde
Frederik Søndergaard Mikkelsen
Mia Buhrkal-Donau

Juni 2016



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Institut for Byggeri og Anlæg

Sofiendalsvej 9-11

9200 Aalborg SV

Telefon: 99 40 84 84

<http://www.byggeri.aau.dk/>

Titel:

Automatisering af stokastisk modellering i BSim

Projekt:

Afgangsprojekt ved Indeklima og Energi

Projektperiode:

September 2015 - Juni 2016

Forfattere:

Emil Greve Bonde

Frederik S. Mikkelsen

Mia Buhrkal-Donau

Vejledere:

Rasmus Lund Jensen

Torben Østergård

Oplagstal: 6

Sidetal: 115

Bilagsantal 5

Afsluttet den 14-06-2016

Synopsis:

Der er i projektet fokus på udfordringerne i designfasen på grund af stadigt strengere og tider modvirkende krav samt en øget kompleksitet. Denne udvikling gør det sværere at finde gode løsninger og træffe gunstige beslutninger i designfasen af et byggeri. Med henblik på at støtte beslutningsprocessen i designfasen anvendes stokastisk modellering til at udforske designområdet og i den forbindelse kortlægge mulige løsningsområder. For at effektivisere designprocessen er der i projektet udarbejdet en applikation til at automatisere stokastisk modellering af det hygrotermiske simuleringssystem BSim. I rapporten beskrives strukturen for geometri, systemer etc. i BSim's inputfil med henblik på automatisering af BSim. Brugen af stokastisk modellering medfører store mængder data, som foreslås præsenteret i parallelkoordinat-plot, fordi plottene kan anvendes ved formidling af resultater i multivariate designrum mellem parterne i designprocessen. Slutteligt afprøves den udviklede applikation; i den forbindelse undersøges det, hvorvidt udforskning af designområdet kan effektiviseres yderligere gennem frasortering af parametre og anvendelse af metamodeler.

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

Summary

This project is a master thesis written at the Master Programme in Indoor Environmental and Energy Engineering at Aalborg University.

In this project a methodology is developed in order to increase the efficiency of the early stages of the building design process where it is necessary to investigate multiple design proposals. The purpose of the methodology is to explore the design space in an effective way by automating building simulations. The methodology takes offset in the Danish simulation programme called BSim, as this programme is a de facto standard used for evaluating indoor environment and energy consumption by the Danish consulting engineering companies.

After a thorough examination of the requirements for initializing a BSim model an application is designed in Excel using VBA coding. The application is used to set the boundaries defining the design space. Also the application is used to generate BSim input files and run simulations automatically. The programme AutoIt is used to automatically open and close BSim as well as to perform the commands necessary in BSim (e.g. perform daylight simulations). Aside from increasing the efficiency of the exploration of the design space through automated simulations the possibility of using meta models is investigated.

The methodology offers the possibility to conduct a design analysis where the design space is explored through stochastic modelling using Monte Carlo Simulations. It is proposed to use a parallel coordinate plot to visualize the data. One advantage of using a parallel coordinate plot is that by adding filters according to the requirements of the performance of the building model, the plot can be used as a communication tool between the different participants in the design process as the consequences of various decisions can be seen immediately. The design analysis can be used for fixing the design parameters based on an increased knowledge of how the different parameters affect the performance of the resulting building. It is also proposed to evaluate the design proposals through a robustness analysis where selected design proposals are examined compared to varying weather conditions and internal loads (people and equipment). The project includes proposals of how to vary these parameters, the robustness analysis is however not implemented in the application at this stage.

As for exploring the design space it is investigated whether meta models can be used to further increase the effectiveness with which the investigation of the design space can be performed. This is exemplified by the use of an SRC meta model and an SDP meta model. The investigation of the use of meta models shows that it is necessary to use models including more than both 1st and 2nd order effects as the best of the meta models, which include 2nd order effects, has an R^2 -value of approximately 0,8.

This project shows that it is possible to automate simulations in BSim with the purpose of exploring the design space; it is however expected that some aspects of the methodology, as it is on its current state, can be streamlined further. For instance the use of AutoIt is not ideal as the programme prevents the computer from being used for anything else while the application is running. Furthermore it takes a lot of time to open and close BSim every time an input file is generated and simulated; this aspect could be improved if the DLL files of BSim were accessible.

Forord

Denne rapport udgør afgangsspecialet, der er udarbejdet i løbet af 3. og 4. semester på kandidatuddannelsen i Indeklima og Energi ved det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Projektperioden strakte sig fra den 2. september 2015 til den 14. juni 2016.

Projektet omhandler udviklingen af et digitalt værktøj, der kan bruges til at effektivisere byggeprocessens skitsefase i takt med, at den integrerede design proces vinder frem.

I forbindelse med projektet rettes en stor tak mod Steffen E. Maagaard (MOE A/S), der har givet adgang til et af MOE's værktøjer til generering af parallelkoordinat-plot. Derudover gives ligeledes en stor tak til Kim T. Jønsson (AAU), der har hjulpet med brugen af AutoIt.

Læservejledning

Rapporten indeholder en hoveddel og bagerst en bilagsdel, der også inkluderer et elektronisk bilag vedlagt på CD. Cd'ens indhold er opstillet i Bilag E.

I rapporten er kapitler kronologisk nummereret. Samtlige tabeller og figurer er nummereret i henhold til kapitlet. Såfremt der ikke er angivet nogle kilder til figurer, tabeller og formler, er disse udarbejdet af gruppen selv.

Alle kilder er samlet alfabetisk i en litteraturliste bagerst i rapporten. Kilder er angivet efter Harvard-metoden.

Indholdsfortegnelse

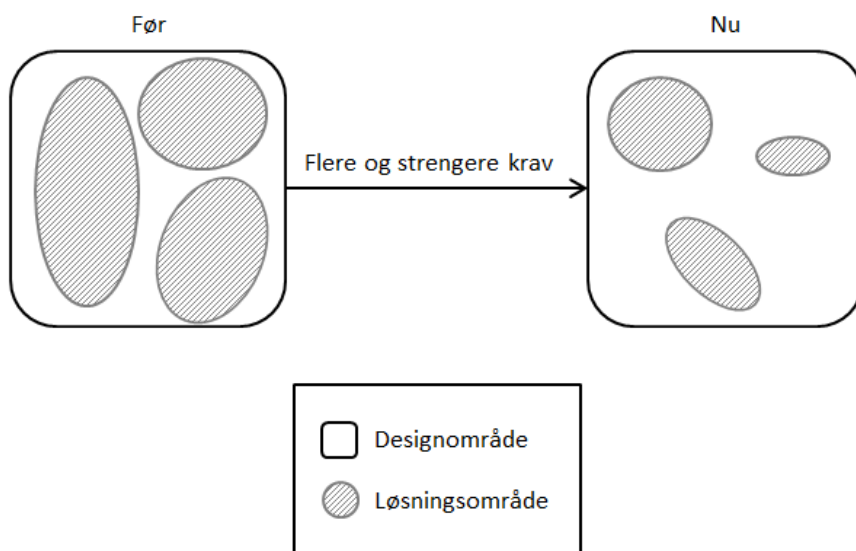
Kapitel 1	Indledning	1
1.1	Byggeprocessen	2
1.2	Problemformulering	6
1.3	Afgrænsning	6
Kapitel 2	Metodebeskrivelse	7
2.1	Krav til metoden	7
2.2	Udforskning af designområdet	7
2.3	Designanalyse	9
2.4	Robusthedsanalyse	10
2.5	BIM og beregningsprogrammer	12
Kapitel 3	Programmeringsplatform til automatisering af BSim	17
3.1	Struktur af BSim	17
3.2	Valg af programmeringsplatform	22
Kapitel 4	Ekstern genering af BSim-model	25
4.1	Fastlæggelse af BSim-model	25
4.2	Opbygning af geometri og konstruktioner	26
4.3	Generering af XML-inputfil	30
4.4	Eksempler på ekstern geometriopbygning	30
Kapitel 5	Applikation til BSim parameter variation	35
5.1	Applikationens formål	35
5.2	Brugerflade	36
5.3	Parametervariation	37
5.4	Systemberegner	40
5.5	Input-fortolker	40
5.6	Databaseforbindelse	40
5.7	Simuleringsmakro	41
5.8	Resultatbehandler	42
Kapitel 6	Afprøvning af metodik	45
6.1	Beskrivelse af modellen	45
6.2	Parametervariationer	46
6.3	Morris screening	48
6.4	Pearson's r -analyse	53
6.5	Parallelkoordinat-plot (PKP)	54
6.6	Metamodeller	57
Kapitel 7	Konklusion	65

Kapitel 8 Perspektivering	67
8.1 Funktionsudvidelse	67
8.2 Effektivisering	68
Litteratur	71
Bilag A XML-inputstruktur i BSim	75
A.1 Simuleringsindstillinger	75
A.2 Klima	76
A.3 Geometri	77
A.4 Databasereference	78
A.5 Termisk zone	79
A.6 Systemer	80
Bilag B Parametervariationer i afprøvning	85
B.1 Generelt	85
B.2 Geometri	86
B.3 Konstruktioner	87
B.4 Overflader	89
B.5 Vinduer	89
B.6 Solafskærmning	90
B.7 Opvarmning	92
B.8 Køling	93
B.9 Ventilation	93
B.10 Belysning	94
B.11 Apparatur	95
B.12 Personer	95
Bilag C Parametervariationer i robusthedsanalysen	97
C.1 Vejr	97
C.2 Skema for personer	98
C.3 Skema for apparatur	106
Bilag D Metoder til effektiviseret udforskning af designområdet	109
D.1 Morris-metoden	109
D.2 Pearson Product-Moment Correlation Coefficient (Pearson's r)	111
D.3 Standardized Regression Coefficient (SRC)	112
D.4 State Dependent Parameter (SDP) modellering	113
Bilag E Elektroniske bilag	115
E.1 Applikation	115
E.2 Database	115
E.3 Evaluerings af SDP-model	115
E.4 Evaluerings af SRC-model	115
E.5 Opslagsværk	115
E.6 Morris screening	115
E.7 Parametervariationer i robusthedsanalysen	115

Indledning 1

Både nationalt og internationalt har der igennem længere tid været stort fokus på globale klimaændringer. Dette har fra danske politikeres side betydet stadigt strengere krav til bygningers energiforbrug. [Energi- Forsynings- og Klimaministeriet, 2015] Udover energikrav til bygninger stilles der i Bygningsreglementet også krav til indeklimaet, herunder for eksempel det termiske, atmosfæriske og visuelle indeklima. Senest er der i 2012 blevet indført en frivillig standard for bæredygtigt byggeri, DGNB, der er kendetegnet ved en holistisk tilgang, som stiller krav til blandt andet levetidsomkostninger samt sociale, miljømæssige og tekniske kvaliteter, herunder energi og indeklima. [Green Building Council (DK-GBC), 2016]

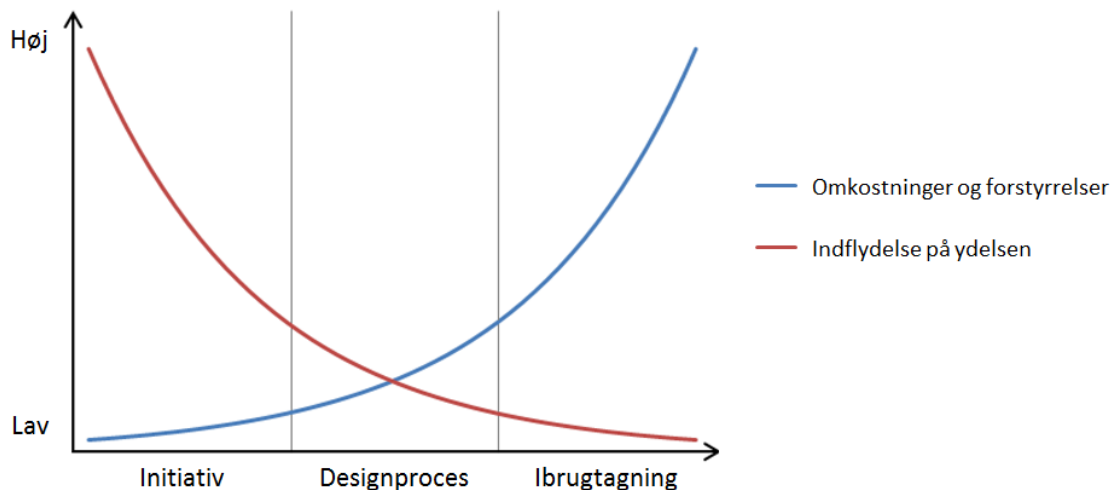
På flere områder peger kravene til henholdsvis energi, indeklima og bæredygtighed i hver deres retning, hvilket øger kompleksiteten i det moderne byggeri. De skærpede krav giver desuden anledning til en reducere af løsningsområdet for det enkelte byggeprojekt, hvilket er illustreret på figur 1.1. En reducere af løsningsområdet betyder, at resultatet af en byggeproces i højere grad afhænger af de indledende beslutninger, fordi netop disse har stor indflydelse på den endelige bygnings ydelse.



Figur 1.1. Løsningsområdet reduceres grundet flere og strengere krav.

For at opnå en optimal løsning, der tilgodeser alle de holistiske og kvalitative aspekter, er det nødvendigt at tænke alle fagligheder ind allerede tidligt i byggeprocessen.

Betydningen af at indføre et tværfagligt samarbejde fra starten af byggeprocessen med henblik på at påvirke bygningens ydelse i en positiv retning gennem hele byggeprocessen er illustreret i figur 1.2. Figuren viser netop, at indflydelsen på byggeriet er størst i de tidlige stadier, hvorimod ændringer i de senere stadier vil blive mere omkostningsfulde og i ringere grad påvirke bygningens ydeevne.



Figur 1.2. Omkostninger i forhold til forløb. Figuren er lavet efter Löhnert et al. [2003].

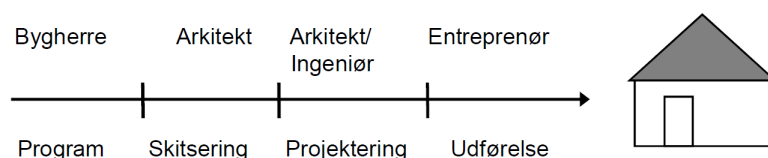
De skærpede krav til det moderne byggeri og den deraf følgende reducere af løsningsområdet for det enkelte byggeprojekt betyder, at det bliver sværere at lokalisere løsninger, der tilgodeser de tværfaglige krav. Dermed er der behov for metoder til at identificere løsningsområder i de tidlige stadier af byggeprocessen.

1.1 Byggeprocessen

Byggeprocessen, som beskrevet af Erhvervsstyrelsen [2014] og BrancheArbejdsmiljøRådene [2015], starter i realiteten i det øjeblik, det besluttet at gennemføre et byggeprojekt. Processen afsluttes ved ibrugtagning af den færdige bygning; efter ibrugtagning gennemføres typisk eftersyn efter ét og fem år i henhold til AB-reglerne. [Dansk Byggeri, 2016] Imellem initiativfasen og ibrugtagning ligger overordnet set fire faser, som udgør designprocessen, der beskrives i det følgende. Faserne er henholdsvis programfasen, hvor krav til bygningen defineres og et byggeprogram udarbejdes, skitsefasen, hvor der stilles forslag til bygningens udformning, projekteringsfasen, hvor endelige beslutninger træffes og byggeriet beskrives i detaljer, og til sidst udførselsfasen, hvor byggeriet opføres.

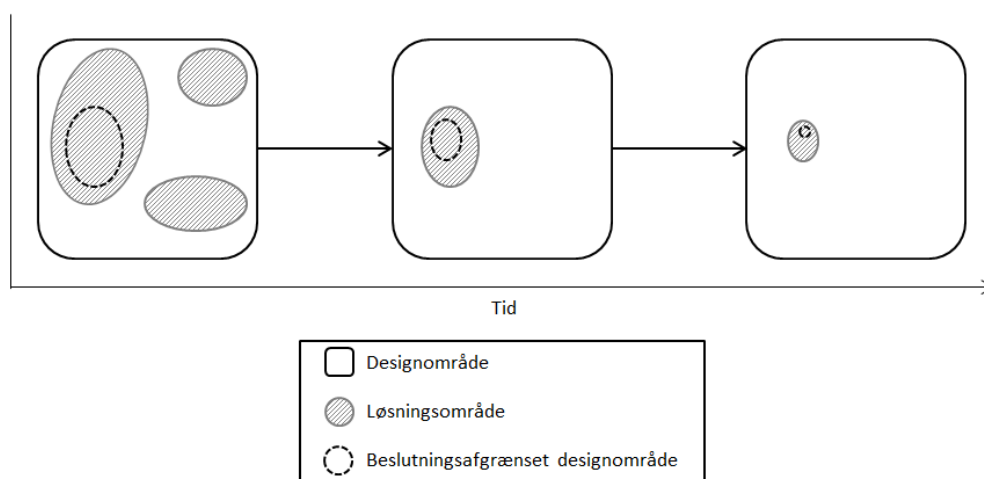
Forløbet af de fire faser i designprocessen kan overordnet set betragtes på to måder kaldet henholdsvis den traditionelle designproces (TDP) og den integrerede designproces (IDP), som beskrevet af Larsson [2004] og Löhnert et al. [2003]. Beskrivelserne af henholdsvis TDP og IDP i det følgende er simplificeringer; i praksis benyttes nok nærmere en blanding af de to, hvor sammensætningen afhænger af det enkelte projekt.

TDP, som er illustreret i figur 1.3, er kendetegnet ved, at faserne følger lineært efter hinanden, idet aktørerne bidrager på skift i løbet af processen, hvilket simplificeret kan eksemplificeres ved, at bygherren sammen med sin rådgiver i programfasen definerer de behov, bygningen skal opfylde. Ved afslutningen af denne fase videregives rækken af behov til arkitekten, der udarbejder et designforslag for bygningen, der gerne skulle opfylde bygherres ønsker - alternativt udarbejdes et nyt designforslag. Skitsefasen afsluttes ved, at arkitekten overleverer skitseforslaget til ingeniøren, der har til opgave at stille forslag til bygningens systemer og derigennem sikre, at bygningen også overholder de gældende lovkrav. Herefter er alle detaljer vedrørende byggeprojektet kendte og der kan indhentes tilbud samt indgås kontrakter med entreprenører, hvorefter opførelsen af byggeriet kan påbegyndes.



Figur 1.3. Den traditionelle designproces. [Knudstrup et al., 2003]

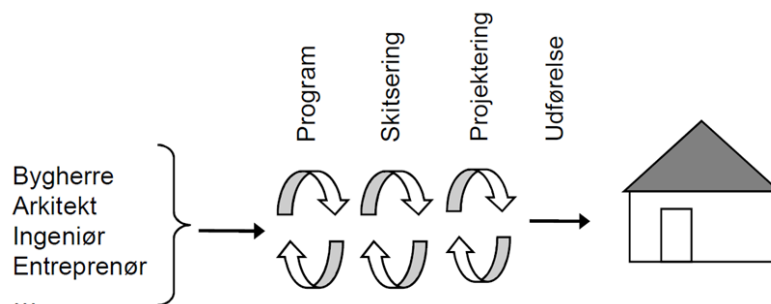
Den lineære tilgang i TDP medfører, at løsningsområdet reduceres for hvert tidsskridt som funktion af beslutninger truffet i det forrige tidsskridt, hvilket er illustreret i figur 1.4. I figuren henviser designområdet til løsningsforslag baseret på erfaringer for typiske værdier for de forskellige designparametre. Løsningsområdet henviser til de løsningsforslag, der opfylder krav fra bygherren og Bygningsreglementet. Med det beslutningsafgrænsede designområde menes der, den delmængde af løsningsområdet, der er tilbage som funktion af de beslutninger, der træffes i løbet af designprocessen. Det bemærkes, at det beslutningsafgrænsede designområde i det aktuelle tidsskridt udgør løsningsområdet i det næste tidsskridt.



Figur 1.4. For TDP reduceres løsningsområdet grundet beslutninger, der træffes i løbet af designprocessen.

Den lineære tilgang reducerer mulighederne for optimering af bygningen undervejs i forløbet, hvilket skyldes, at gode beslutninger truffet sent i processen ikke nødvendigvis kan afhjælpe de problemer, der eventuelt opstår på baggrund af (dårlige) beslutninger truffet i starten af processen. Samlet set medfører TDP, at bygningens fulde potentiale i forhold til eksempelvis energiforbrug og indeklima ikke udnyttes optimalt, fordi der ikke tages højde for alle aspekter fra starten af. Konsekvensen er ofte øgede driftsomkostninger til eksempelvis avancerede systemer til opretholdelse af et godt indeklima, der igen øger energiforbruget. Hvis en god løsning skal findes, er det nødvendigt, at aktørerne på de tidlige stadier har god indsigt i de øvrige aktørers arbejdsområder.

I modsætning til den lineære tilgang i TDP påbegyndes IDP, der er illustreret på figur 1.5, med nedsættelse af et tværfagligt hold, der dækker alle fagområder, som er i spil i det aktuelle projekt. Dermed integreres alle aktørernes kompetencer allerede fra starten af.

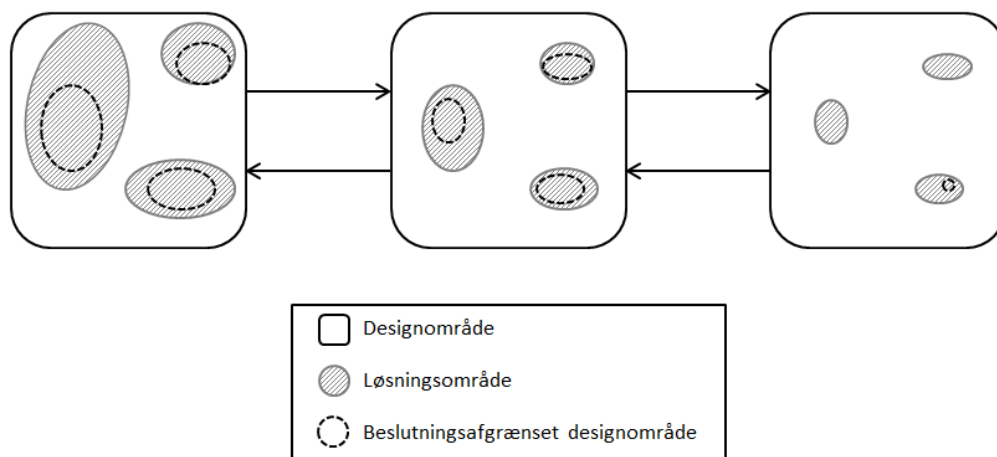


Figur 1.5. Den integrerede designproces. [Knudstrup et al., 2003]

IDP adskiller sig yderligere fra TDP ved, at der er tale om en iterativ proces. Dermed tages der med IDP højde for, at krav og ønsker til byggeriet kan ændre sig undervejs i processen. Fordi IDP er en iterativ proces, er det muligt at gå tilbage til et tidligere stadie og ændre beslutninger, hvilket påvirker det beslutningsafgrænsede designområde og dermed løsningsområdet i det efterfølgende tidsskridt; dette er illustreret på figur 1.6. Dermed egner processen sig bedre til udforskning af gunstige løsningsområder, idet der i ringere grad vil ske utilsigtet frasortering af løsningsområder.

Udfordringen ved IDP er en øget arbejdsmængde i de tidlige stadier, hvor en større del af designområdet skal undersøges, fordi der ikke er faste rammer for det beslutningsafgrænsede designområde. De skiftende krav igennem processen skaber et behov for, at de øvrige aktører hurtigt kan justere deres forslag og modeller, så det altid er muligt at undersøge de løsningsforslag, der opfylder de aktuelle krav og ønsker.

Grundet uddannelsen, dette projekt er udarbejdet inden for, tages der i rapporten udgangspunkt i indeklima- og energiingeniørens rolle i designprocessen, som beskrives nærmere i det følgende.



Figur 1.6. Løsningsområdet reduceres også ved IDP som funktion af beslutninger truffet i løbet af processen. I modsætning til TDP er der ved IDP altid mulighed for at gå tilbage til et tidligere tidsskridt (iteration) og ændre beslutninger, der påvirker det beslutningsafgrænsede designområde og dermed løsningsområdet i det næste tidsskridt.

1.1.1 Energi- og indeklimaingeniørens rolle

I løbet af designprocessen består energi- og indeklimaingeniørens primære opgave i at sikre, at den valgte løsning overholder krav stillet af lovgivning og bygherre. Disse er typisk krav til:

- Energiforbrug
- Termisk komfort
- Atmosfærisk komfort
- Visuel komfort, herunder daglysforhold
- Akustik

De sekundære opgaver består i at minimere anlægs- og driftsomkostninger, hvilket opnås ved at:

- Minimere brug og ydelse af varme- og kølesystemer
- Minimere brug og ydelse af ventilationsystemer
- Minimere brug af kunstig belysning

Dette skal gøres under hensyntagen til det aktuelle designområde.

Bygningsreglementet angiver energirammer for forskellige bygningsklasser (BR15 og BK20) og bygningstyper (boliger og andet), som skal overholdes. Desuden angiver Bygningsreglementet, at det termiske indeklima dokumenteres ved simulering af forholdene i de kritiske rum. For boliger kan det termiske indeklima dokumenteres gennem en forenklet beregning. Til at beregne energirammen og undersøge indeklimaet opbygges typisk bygningsmodeller i henholdsvis Be15 og BSim, der er programmer udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI).

Idet der ved IDP er behov for at undersøge flere løsningsforslag, skal der opbygges tilsvarende flere bygningsmodeller med henblik på blandt andet at undersøge energiforbrug og indeklima for hvert enkelt forslag. Den traditionelle anvendelse af bygningsmodeller lægger ikke umiddelbart op til at undersøge mange forskellige forslag, idet hver model skal opbygges manuelt, hvormed processen hurtigt kan blive meget tidskrævende og dyr.

1.2 Problemformulering

Med baggrund i ovenstående fremstilles følgende problemformulering:

Hvordan er det muligt at automatisere parametervariationer for et detaljeret beregningsprogram og derigennem effektivisere udforskningen af designområdet i designprocessen af et byggeri?

1.3 Afgrænsning

I projektet tages der udgangspunkt i det hygrotermiske simuleringsprogram, BSim, der på timebasis udregner bygningers energiforbrug og indeklimamæssige forhold; programmet er udgivet af SBI. Nogle af de primære årsager til valget af BSim er, at programmet nærmest er en de facto-standard, der benyttes af den danske byggebranche til at undersøge bygningers energiforbrug og indeklima, og at der har været mulighed for at kontakte udviklerne af BSim i tilfælde af spørgsmål.

I forhold til at definere et designområde tages der udgangspunkt i et kontorbyggeri. I projektet fastsættes værdier/spænd for designparametre derfor blandt andet i henhold til Bygningsreglementets krav til kategorien ‘andet’.

Idet projektoplægget, der ligger forud for dette projekt, var meget specifikt i forhold til mål og metode, indeholder dette projekt ikke en undersøgelse af forskellige metode. I dette projekt fokuseres der på udviklingen af en prototype af et digitalt redskab, hvis primære formål er at effektivisere designprocessens skitsefase, hvor mange forskellige løsningsforslag skal undersøges. Her er tale om ‘proof of concept’, hvormed der menes, at formålet er at vise, at effektiv undersøgelse af hele designområdet er muligt, men der kan stadig være plads til forbedringer for metoden.

Metodebeskrivelse 2

I dette kapitel beskrives den anvendte metodik, herunder de krav, metoden skal opfylde og hvorledes det er valgt at opfylde kravene i dette projekt. Derudover beskrives det, hvorledes metoden kan indgå i designprocessen, hvor der typisk benyttes BIM og flere beregningsprogrammer.

2.1 Krav til metoden

Med henblik på at automatisere parametervariationer og derigennem effektivisere udforskningen af designområdet i de tidlige stadier af designprocessen, skal metoden kunne bruges til følgende:

- Udforskning af designområdet i de tidlige stadier, hvor mange designparametre endnu er ukendte
- Automatisk udførsel af beregninger/simuleringer
- Fastsettelse af designparametre gennem en designanalyse
- Visualisering af data til brug for formidling mellem parterne i designprocessen
- Undersøgelse af robustheden af udvalgte bygningsdesign i forhold til varierende belastninger

I de følgende afsnit beskrives det, hvorledes det i dette projekt er valgt at opfylde ovenstående krav. Dog beskrives metoder til automatisering af BSim-beregninger i kapitel 5; i samme kapitel beskrives det endvidere, hvordan det igennem en brugerflade er muligt at fastsætte projektspecifikke parametre.

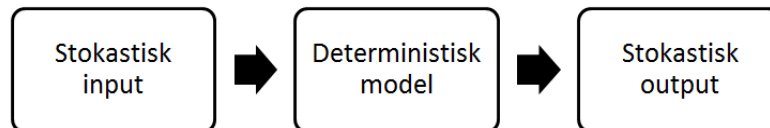
2.2 Udforskning af designområdet

Metoden skal kunne anvendes i designprocessens tidlige stadier for byggeriet og gøre det nemmere at navigere i det multivariate designområde, hvor mange designparametre stadig ikke er fastlagte. For at øge beslutningsgrundlaget og kende til konsekvenserne af beslutninger i hele designprocessen ønskes det at anvende detaljerede beregningsprogrammer allerede i de indledende stadier af designprocessen. Derved bliver det muligt at evaluere designforslag med samme beregningsprogram igennem hele designprocessen og overraskelser ved overgangen fra et simpelt til et detaljeret beregningsprogram undgås.

For at kunne anvende detaljerede beregningsprogrammer tidligt i designprocessen, hvor mange af de nødvendige input stadig ikke er fastlagte, er det nødvendigt at kunne håndtere denne usikkerhed. Til at imødegå usikkerheden i designprocessen, foreslås det at betragte alle designparametre med spænd i stedet for deterministiske værdier; det vil gøre det muligt at tage højde for de designparametre, som endnu ikke er fastlagte.

2.2.1 Stokastisk modellering

Det vælges at bruge Monte Carlo Simuleringer (MCS), som er illustreret på figur 2.1, til at udforske designområdet i designprocessens tidlige stadier, hvor der eksempelvis ikke er fastsat andet end nogle geometriske restriktioner for bygningen og rummene samt de enkelte rums funktioner. Det er valgt at bruge MCS, da metoden er baseret på tilfældigt valgte input-værdier giver mulighed for at vurdere udvalgte evalueringsparametre, hvilket betyder, at metoden kan bruges til at afdække hele designområdet med henblik på at finde alle løsningsområder.



Figur 2.1. Monte Carlo Simulering (MCS).

Udførelsen af MCS er mulig, fordi det i alle designfasens stadier er muligt at fastsætte intervaller for alle designparametre. Intervallerne kan baseres på parternes erfaringer fra tidligere projekter foruden gældende lovkrav og forskellige standarder, der kan benyttes som grundlag til at fastsætte krav/ønsker til bygningens ydelse. Eksempelvis kan bygherre stille krav til bygningens indeklima ud fra DS 15251, der angiver kriterier for bygningens indeklima for forskellige indeklimakategorier. [Dansk Standard, 2007] Ud fra den ønskede indeklimakategori kan arkitekt, ingeniør m.v. fastsætte spænd for de forskellige parametre ud fra deres erfaringer.

For at afdække hele designområdet gennem MCS skal der særligt i de tidlige stadier udføres adskillige beregninger på grund af det høje antal af ikke-fastsatte parametre. Udover at benytte MCS kan udforskningen af designområdet effektiviseres ved brug af metamodeller, hvilket beskrives nærmere i det følgende.

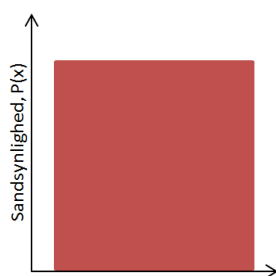
2.2.2 Meta-modellering

En metamodel, der også kaldes en emulator, beskrives af Ratto et al. [2007] som en simpel model af en anden, mere avanceret model. Metamodellen estimeres ud fra givne data fra den avancerede model. Ved en god estimering af metamodellen opnås en stærk relation mellem inputparametrene og modellens output, hvormed den simplere metamodel kræver færre computerkræfter i forhold til den oprindelige model. Metamodellen kan derefter bruges til at bestemme output for ikke-undersøgte punkter i designområdet. En generel betingelse for en metamodel er dog, at denne kun kan bruges til at bestemme nye værdier inden for det interval, modellen er estimeret ud fra, således at der er tale om en form for interpolation. Dermed er der ved anvendelse af metamodeller, såfremt metamodellen er en god estimator, mulighed for at udforske designområdet med færre simuleringer.

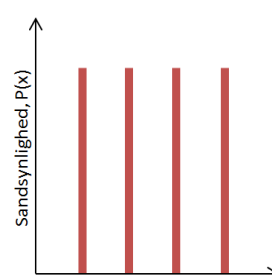
2.3 Designanalyse

Designanalysen er i denne rapport defineret til at være den proces, hvor hele designområdet undersøges gennem MCS. Målet med designanalysen er at vise de mulige løsningsområder for bygningen, der overholder krav til indeklima og energiforbrug angivet af henholdsvis bygherre og Bygningsreglementet.

I designanalysen varieres de enkelte designparametre i henhold til angivne restriktioner, som er gældende for det specifikke projekts stadie. Det er valgt at designparametrene varieres enten uniformt eller diskret, hvilket er illustreret i figurer 2.2 og 2.3, fordi det gør det muligt kvalitativt gennem MCS-filtrering at vurdere gunstige områder for de enkelte parametre.

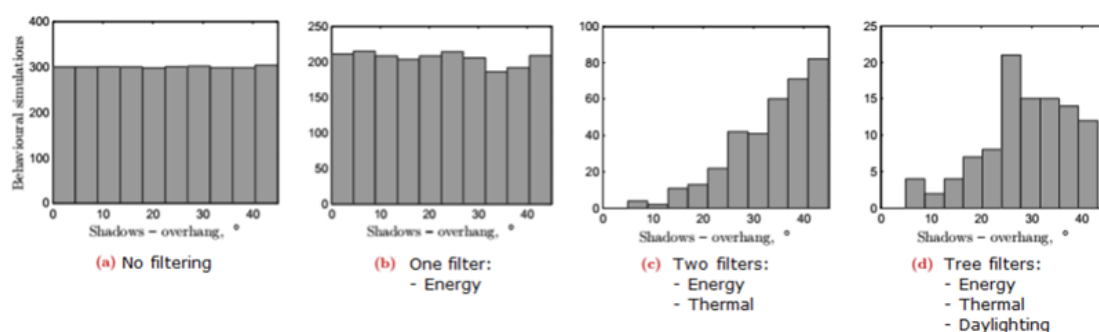


Figur 2.2. Uniform fordeling.



Figur 2.3. Diskret fordeling.

Brugen af MCS-filtrering er illustreret på figur 2.4, hvor der filtreres fortløbende fra venstre med henholdsvis energiforbrug, termisk indeklima og dagslys. Af figuren fremgår det, at udhængen ikke har stor indflydelse på energiforbruget. I forhold til termisk komfort ses derimod en klar tendens, hvor et dybt udhæng er gunstigt, idet der ikke er nogen realiseringer tilbage uden udhæng, som opfylder de termiske krav. Når der filtreres på alle tre kriterier, opstår en anden tendens, hvor især løsninger i den øvre del af intervallet sorteres fra grundet dagslyskriteriet. Ud fra den endelige fordeling fremgår det, at der for udhængen er et gunstigt område omkring 25° - 40° , hvor flere realiseringer opfylder de angivne krav.

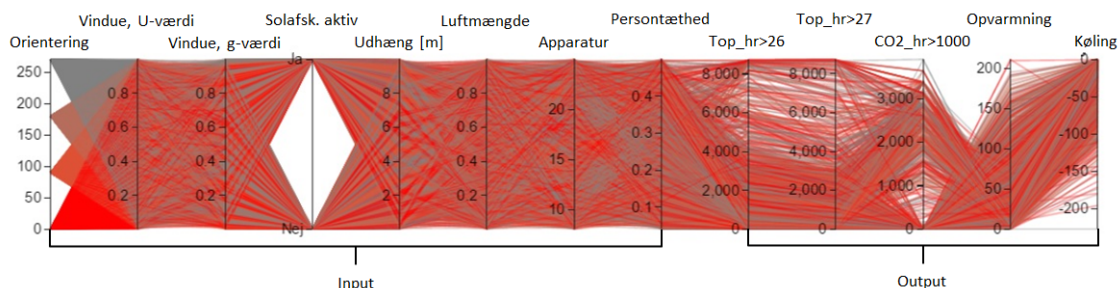


Figur 2.4. MCS-filtrering for udhæng i Be10-beregning. [Østergaard, 2016]

Udover at vurdere gunstige områder for de enkelte parametre kan eksempelvis den laveste opnåelige energiramme eller højeste opnåelige indeklimakategori findes for designets aktuelle stadie med de tilknyttede restriktioner.

2.3.1 Visualisering af data

For at kunne bruge resultaterne af designanalysen til at guide parterne i designprocessen, ønskes det at visualisere dataene ved hjælp af et parallelkoordinat-plot. Et parallelkoordinat-plot består af flere vertikale akser - én for hver parameter, der afbildes. Et eksempel på et parallelkoordinat-plot er vist på figur 2.5, hvor hver indtegnet linje angiver én realisering. På akserne kan værdierne for de forskellige parametre for den aktuelle realisering aflæses.



Figur 2.5. Eksempel på et parallelkoordinat-plot.

I ovenstående figur er der afbildet otte inputparametre fra venstre. De sidste fem parametre til højre angiver modellens output. Ved påføring af filtre i henhold til krav og ønsker fra bygherre og Bygningsreglementet kan aktørerne hurtigt se konsekvenserne for de forskellige input i diagrammet. På den måde kan diagrammet bruges til at guide aktørerne igennem designprocessen, fordi det hele tiden er muligt at undersøge, hvad forskellige beslutninger har af betydning for byggeriet på det aktuelle stadie og sortere uinteressante løsninger fra.

Principielt kan diagrammet indeholde uendeligt mange parametre og dermed akser, men diagrammets uoverskuelighed stiger sammen med antallet af parametre. [Robert Kosara, 2010] Idet der i detaljerede beregningsprogrammer er forholdsvis mange parametre at variere på, er det nødvendigt at overveje, hvordan parallelkoordinat-plottet kan opbygges bedst muligt i forhold til at bevare overblikket. Et forslag kan være at dele parametrene ind i grupper, der illustreres i hver deres plot frem for i ét samlet. Ved samtidig at koble plottene, således at filtre påført i det ene plot automatisk overføres til de øvrige, er det igen hurtigt at se eventuelle konsekvenser for alle inputparametrene. Inddeling af parametre i grupper kan eksempelvis gøres i forhold til, hvordan parametrene naturligt hører sammen (eksempelvis én gruppe med vinduets egenskaber), eller parametrene kan inddeles efter, hvor stor indflydelse de hver i sær har på modellens output.

2.4 Robusthedsanalyse

I erkendelsen af, at der er en afvigelse mellem den reelle og den beregnede normative ydelse af en bygning, vil det være værdiskabende for både bygherre og andre aktører at kende den reelle ydelse af et byggeri eller specifikt designforslag under en række realistiske scenarier.

Igennem robusthedsanalysen ønskes det at bestemme det aktuelle indeklima og energiforbrug for et specifikt designforslag eller byggeri, samt at undersøge robustheden af det specifikke designforslag. I kontrast til designanalysen udføres der i robusthedsanalysen ikke variationer for designparametrene med henblik på udforskning af løsningsområdet.

I robusthedsanalysen undersøges udvalgte designforslag i forhold til stokastiske usikkerheder relateret til eksempelvis vejr og brugeradfærd; et bud på fastsættelsen af de stokastiske usikkerheder for vejr samt interne belastninger fra personer og apparatur er beskrevet i bilag C.

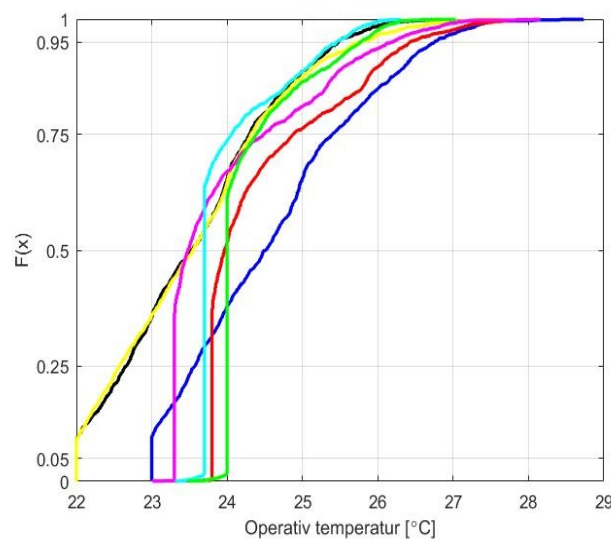
Ved en robusthedsanalyse betragtes designforslagets forventede ydelse som en sandsynlighedsfordeling frem for en deterministisk værdi. Ved at evaluere et bygningsdesign i forhold til dets robusthed separat undgås det, at der træffes beslutninger på et forkert grundlag. Hvis realiseringerne fra robusthedsanalysen indgår som en del af designanalysen, forvrænges billedet, idet ekstreme scenarier medtages som designforslag, hvorved der kan fremkomme andre tendenser i eksempelvis parallelkoordinat-plottet.

I stedet ønskes det, at robustheden indgår som en evalueringsparameter på linje med eksempelvis det termiske indeklima, ved at relatere hvert stokastisk output til en enkelt værdi. Et forslag til denne relation er givet i formel (2.1), der er tilpasset fra Baker et al. [2006]:

$$I_{Rob} = \frac{A_{gyldige}}{A_{gyldige} + A_{ikke-gyldige}} \quad (2.1)$$

I udtrykket angiver I_{Rob} robusthedsindekset. $A_{gyldige}$ og $A_{ikke-gyldige}$ angiver henholdsvis antallet af gyldige realiseringer, det vil sige realiseringer, der overholder evalueringskriteriet, og antallet af ikke-gyldige realiseringer, altså antallet af realiseringer, der ikke opfylder evalueringskriteriet. Robusthedsindekset kan variere mellem nul og én. Et robusthedsindeks på én angiver, at alle realiseringer overholder evalueringskriteriet, hvorimod et robusthedsindeks på nul, betyder, at ingen realiseringer overholder evalueringskriteriet.

Et eksempel på anvendelsen af robusthedsindekset er illustreret i figur 2.6, der viser kumulerede frekvenser for temperaturen i et rum for syv forskellige realiseringer.



Figur 2.6. Kumulative frekvenskurver for syv realiseringer.

Antallet af timer over 26 °C og 27 °C er angivet i tabel 2.1 for alle realiseringerne sammen med de beregnede robusthedsindeks. I dette eksempel beregnes rummets robusthedsindeks i forhold til følgende evalueringskriterier:

- Højest 100 timer over 26 °C
- Højest 25 timer over 27 °C

	Timer over 26 °C		Timer over 27 °C	
	Antal	Overholder krav	Antal	Overholder krav
Sort	24	✓	0	✓
Blå	252	✗	53	✗
Gul	58	✓	10	✓
Rød	173	✗	39	✗
Magenta	107	✗	15	✓
Cyan	7	✓	0	✓
Grøn	40	✓	1	✓
I_{Rob}		0,57		0,71

Tabel 2.1. Timer med overtemperaturer og beregnede robusthedsindeks.

I eksemplet er der en lav opløsning, hvilket ikke vil være tilfældet i en typisk robusthedsanalyse, hvor der udføres 100+ realiseringer.

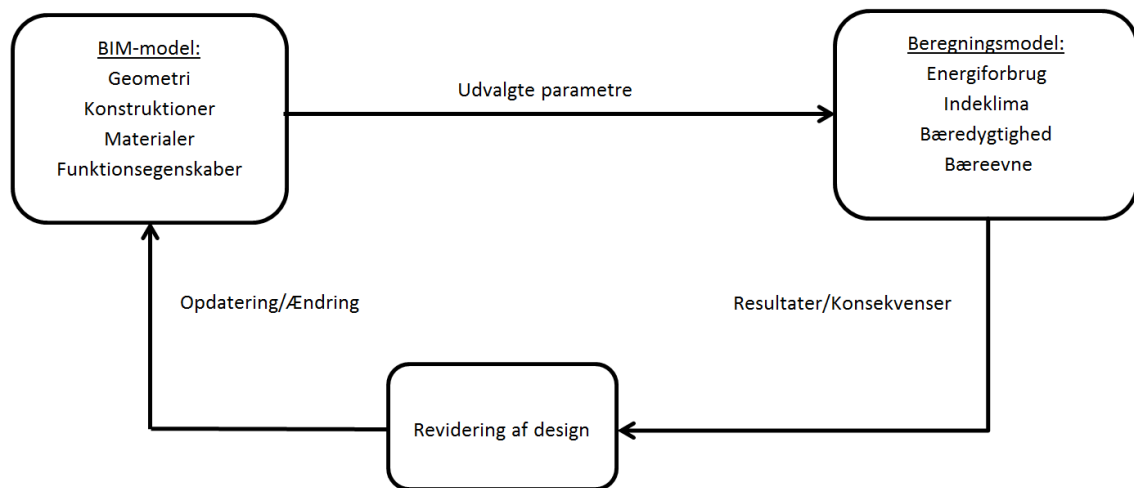
Udover at automatisere selve beregningsprocessen er der i det følgende beskrevet muligheder for at automatisere selve informationsflowet imellem aktørerne i en designproces.

2.5 BIM og beregningsprogrammer

Igennem regeringsinitiativet ‘Det Digitale Byggeri’ er det obligatorisk for statslige, kommunale og regionale bygherrer at stille krav til aktører i byggeprocessen om brug af Informations- og Kommunikationsteknologi (IKT), herunder navnlig det, der generelt benævnes BIM (Building Information Modelling). [Bygningsstyrelsen, 2016b]

I den forbindelse kan der være gevinster ved at sammenkoble BIM-modeller med beregningsprogrammer, således at der ikke skal reproducere information, som allerede er indtastet i BIM-modellen.

Gennem en BIM-model er det muligt at opbevare alle informationer omkring et byggeri i en enkelt model. Det giver mulighed for at udtrække alle de nødvendige input til diverse beregningsprogrammer fra samme centrale BIM-model. I designprocessen af et byggeri kan resultaterne af beregningsprogrammerne give anledning til genovervejelser af byggeriets design, hvilket er illustreret på figur 2.7. Selve revideringen af designet vil i henhold til den integrerede designproces ske i plenum, hvor alle bidrager med deres beregningsresultater.



Figur 2.7. Informationsflow mellem modeller.

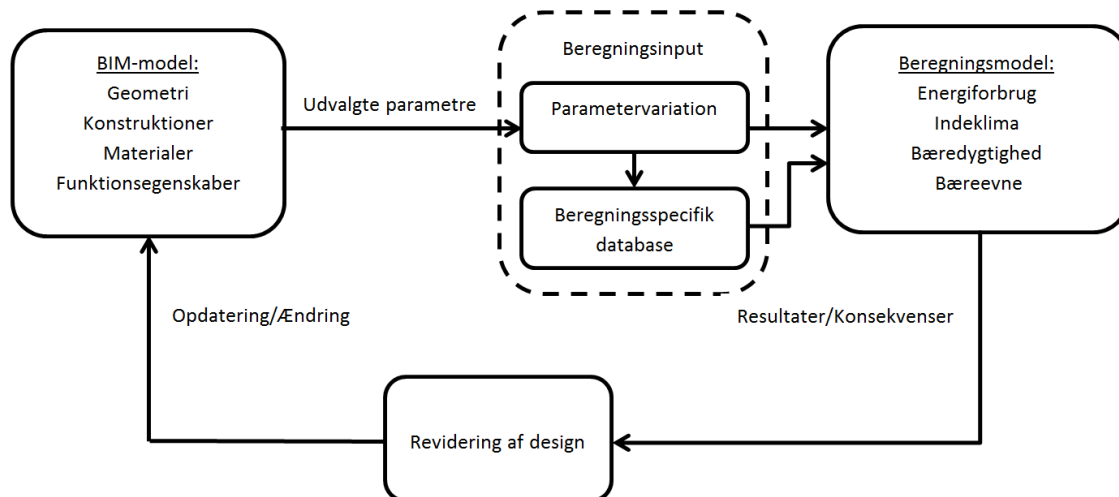
En praktisk udfordring i anvendelse af BIM-modeller i designprocessen er, at forkerte informationer havner i modellen; et eksempel herpå er beskrevet i det følgende afsnit.

2.5.1 Forkerte informationer

I designprocessen tidlige stadier udarbejder arkitekten en model af et skitseforslag, som danner grundlag for det videre arbejde. Modellen er udarbejdet med henblik på at opfylde arkitektens arbejdsopgaver, som er at sikre funktionaliteten og det visuelle udtryk for bygningen. I den forbindelse vil arkitekten indtaste informationer omkring geometri og konstruktioner samt funktionsbeskrivelser af rum.

Navnligt ved opbygning af konstruktioner og materialevalg kan der ske utilsigtede indtastninger. Ved eksempelvis indtastning af skillevægge kan arkitektens fokus eksempelvis være på konstruktionens totale tykkelse og overfladebeklædning. For hurtigt at visualisere dette i modellen indtastes en solid gipsplade med den totale tykkelse af skillevæggen og malede overflader. Dette løser arkitektens opgave med tilstrækkelig detaljeringsgrad i henhold til projektets stadie. Det gør tilgængæld, at der i BIM-modellen er forkerte informationer.

Fremfor at øge arbejdsbyrden for arkitekten og pålægge ham ansvaret for, at informationerne, som er nødvendige i de forskellige beregningsprogrammer, er korrekte allerede i udarbejdelsen af skitseprojektet, kan en mulig løsning være, at hver beregningsmodel afhængigt af projektets stadie og modellens detaljeringsgrad kun udtager aftalte typer af informationer, hvorefter de resterende nødvendige data hentes fra en database opbygget af brugeren af de specifikke beregningsmodeller. Her foreligger samtidig en mulighed for at implementere statistisk modellering på de input, som endnu ikke er fastlagte, og derigennem undersøge det pågældende designområde. Dette er illustreret på figur 2.8, hvor parametervariationerne sker som følge af ønsket om at udforske designområdet. Alt afhængigt af ansvarfordelinger vil opdateringen af den centrale BIM-model altid kræve godkendelse af den ansvarlige.



Figur 2.8. Alternativt informationsflow mellem modeller.

Koblingen mellem BIM- og beregningsmodeller giver mulighed for i højere grad at udnytte det potentiale, som BIM besidder, idet en stor del af BIM er informationsudveksling. I det følgende præsenteres to muligheder for at få en entydigt defineret datastruktur, som er nødvendig for at oprette et link mellem to modeller.

Revit og Dynamo

Autodesk Revit er et program, der er bredt anvendt i byggebranchen, hvilket gør det relevant at se på muligheden for at udtrække informationer herfra. Dynamo, som er et add-on til Revit, gør det muligt at tilgå API'en i programmet og derigennem udtrække og modificere de relevante informationer fra bygningsmodellen til det ønskede format. Revit er bygget specielt til BIM og det er derfor muligt at gemme al/størstedelen af informationerne om en bygning eller et byggeri i denne model.

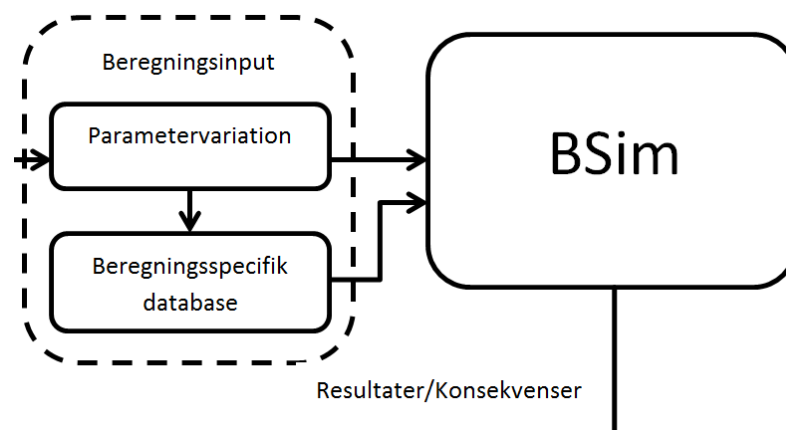
I et sideløbende projekt har en medstuderende på AAU arbejdet med Revit og Dynamo. Her har målet været at udtrække geometrien fra en Revit-model og strukturere disse informationer i BSim input-formatet. [Pavlov, 2016]

IFC

Udover Revit og Dynamo bør det nævnes, at IFC, som beskrevet af Bygningsstyrelsen [2016a], er en stærk kandidat til entydigt at beskrive informationer i bygningsmodellen. IFC er udarbejdet af buildingSMART, som er et åbent internationalt samarbejde, der arbejder med udvikling og anvendelse af åbne BIM-standards. IFC er oprindeligt baseret på modelleringssproget EXPRESS, men der er flere viderudviklinger, herunder ifcXML, som er baseret på XML. IFC er en datastruktur-model, der er udarbejdet med henblik på deling og udveksling af data på tværs af it-systemer og -platforme. IFC er en åben standard og er frit tilgængelig, hvilket gør det nemmere for alle aktører at skabe forbindelser til deres specialiserede programmer. Det er desuden obligatorisk at anvende IFC i forbindelse med alment og offentligt byggeri.

2.5.2 Projektets fokus

Projektets fokusområde er illustreret på figur 2.9, der er et modificeret udsnit af figur 2.8. Af figuren fremgår det, at udtrækning og indsætning af data i BIM-modellen ikke er en del af projektets fokus. Dette skyldes, at der som tidligere nævnt er en medstuderende, som har arbejdet med dataudtræk fra en Revit-model gennem Dynamo. Der fokuseres i stedet på at bevise, at det for BSim er muligt at automatisere parametervariationer for derigennem at effektivisere udforskningen af designområdet i designprocessen af et byggeri. Der vil i den forbindelse blive arbejdet med input- og databasestrukturen i BSim med henblik på at identificere design- og evalueringsparametre for efterfølgende at opsætte en applikation, der automatisk kan udføre parametervariationer for designparametrene.



Figur 2.9. Projektets fokus.

Programmeringsplatform til automatisering af BSim 3

I dette kapitel redegøres der for input- og databasestruktur af BSim herunder også databasestrukturen. Derudover beskrives den generelle XML-strukturen som BSim's inputfil er baseret på. Slutteligt vælges en programmeringsplatform til automatisering af BSim-simuleringer.

3.1 Struktur af BSim

BSim baseres på en 3D-model af bygningens geometri og anvendes til at udføre detaljerede hygrotermiske simuleringer. Dette program bruges typisk til at udføre analyser på rumniveau, men kan også benyttes for bygningsudsnit og hele bygninger alt efter behov.

Den høje detaljeringsgrad i beregningerne stiller tilsvarende større krav til detaljeringsgraden af inputtene til modellen. Den øgede detaljeringsgrad øger tilgængelig anvendeligheden af resultaterne fra BSim og betyder, at der er mulighed for at evaluere bygningsdesign på flere kriterier samtidigt, hvilket typisk ikke er muligt med simple beregningsmodeller.

3.1.1 Generel struktur

BSim er en programpakke bestående af en række moduler, som hver har et specifikt formål. De faste moduler er følgende:

- SimView - Visualisering og opbygning af geometri og systemer
- Tsbi5 - Hygrotermiske bygningssimuleringer
- SimLight - Dagslysberegninger
- XSun - Solindstrålingsberegner
- SimDXF - CAD-import
- SimDB - Bygningselementers database

BSim er bygget op omkring SimView, som håndterer den grafiske repræsentation af modellen herunder også geometrien. Igennem SimView opbygges modellen og her angives egenskaber for modellen heriblandt klima, systemegenskaber og konstruktionstyper. Alle informationer og referencer omkring modellens opbygning gemmes i en .xml inputfil. [SBI - Statens Byggeforskningsinstitut, 2016]

SimDB er modulet, der håndterer databasen, hvori alle bygningselementernes opbygninger og materialeegenskaber er indeholdt. Det er herfra, SimView henter de nødvendige informationer vedrørende konstruktionsegenskaber, heriblandt konstruktionstykkelser og varmeledningsevne til beregning af U-værdier for hvert konstruktionselement i modellen.

U-værdierne kan senere anvendes til eksempelvis udregning af det dimensionsgivende varmetab, eller de kan eksporteres til energirammeberegningsprogrammet Be15 gennem en indbygget funktion i BSim. Tilsvarende indhenter Tsbi5 de nødvendige informationer til at udføre hygrotermiske simuleringer, herunder varmeledningsevne, ad- og desorptionskurver for modellens materialer.

I ønsket om at automatisere bygningssimuleringer er det nødvendigt at kunne producere inputfiler i samme format som BSim, således at det er forståeligt for alle modulerne i BSim-programpakken. Ydermere er det nødvendigt at kunne redigere i BSim's database, hvorfor kendskab til databasestrukturen er nødvendig.

3.1.2 Inputfil

Simuleringsprogrammet BSim accepterer flere typer input, herunder STEP- og (dis)XML-filer. STEP-filen er en forløber for den nuværende BIM-standard IFC, hvorfor der er flere ligheder mellem disse. Det er i dette projekt valgt ikke at arbejde videre med STEP, fordi der blev oplevet flere instabilitetsproblemer ved anvendelse af STEP sammen med BSim. XML er desuden mere letlæseligt for personer og samtidigt meget fleksibelt.

Inputfilen indeholder langt størstedelen af informationerne til at opbygge modellen, men der refereres derudover til SimDB og vejrfilen. Overordnet set kan de informationer, der er indeholdt i inputfilen, kategoriseres efter nedenstående:

- Geometri
- Systemer
- Simuleringsindstillinger
- Reference: Klima
- Reference: Bygningselementernes database

Ved at genere inputfilen i samme format som BSim giver det mulighed for at kunne automatisere processen og samtidig manipulere med størstedelen af egenskaberne for modellen. I det følgende kommer først en generel beskrivelse af XML-formatet og dernæst en beskrivelse af BSim's opbygning af XML-inputfilerne.

3.1.3 XML-formatet

XML står for eXtensible Markup Language og er et format designet til udelukkende at indeholde informationer. Formatet er designet til at være læseligt for både mennesker og computere. XML er på grund af sin fleksibilitet meget udbredt til udveksling af data mellem forskellige datasystemer. Den mest markante begrænsning af formatet er, at det kun er i stand til at beskrive hierarkiske relationer.

XML-strukturen består af en række objekter eller elementer. Hvert objekt startes og afsluttes med et 'mark-up'. Dette mark-up indeholder elementets navn. Starten på et objekt angives med <objekt>, hvor afslutningen angives </objekt>. Informationerne indeholdt i objektet skrives imellem starten og slutningen af dette mark-up. Et eksempel på XML-kode er angivet i figur 3.1. Heraf fremgår det, at et element kan indeholde andre elementer. En nærmere gennemgang af VECTOR3D's betydning i BSim sammenhæng kommer i det efterfølgende afsnit, det er selve XML-strukturen der gennemgås nu.

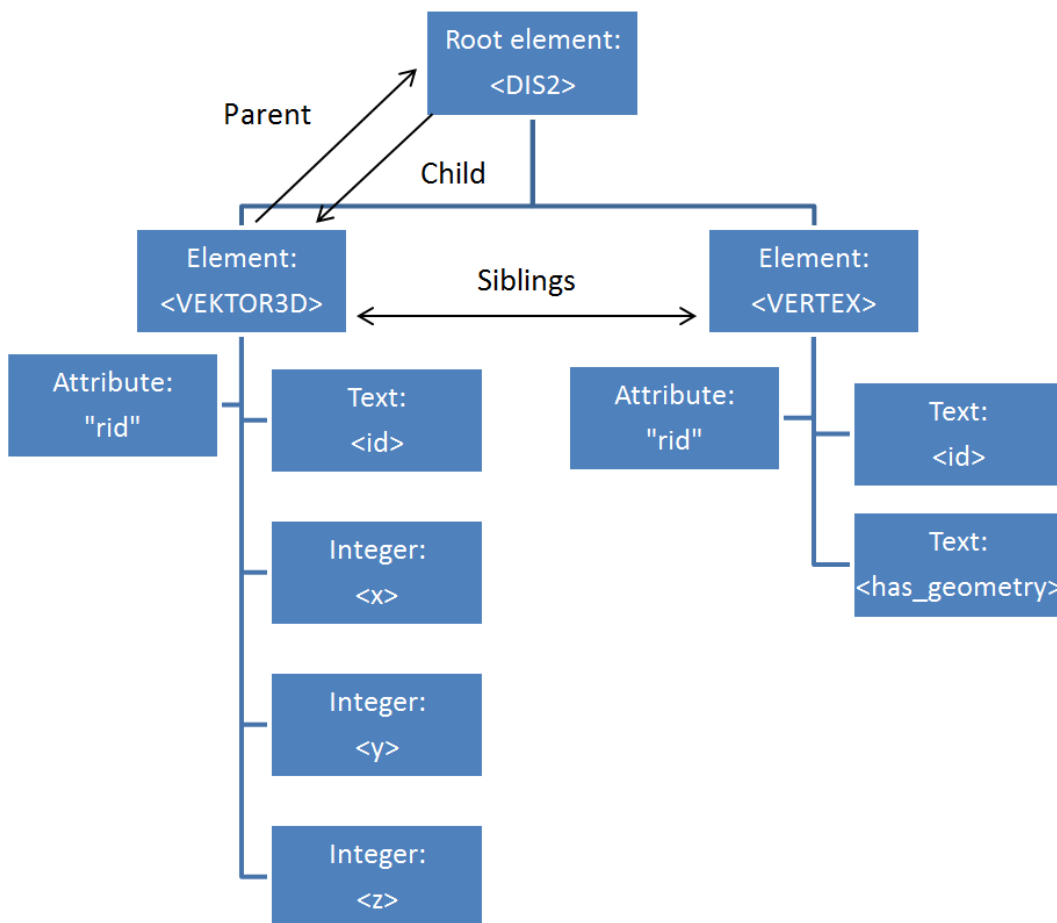
```

<VECTOR3D rid="#88">
  <id>FaceSide21's Normal</id>
  <x>0</x>
  <y>1</y>
  <z>0</z>
</VECTOR3D>

```

Figur 3.1. XML-kode med et VECTOR3D-element.

Figur 3.2 illustrerer benævnelser af elementernes relationer til hinanden. Som det fremgår af koden i figur 3.1 har elementet VECTOR3D fire underelementer også kaldet 'childs' (id, x, y og z) tilknyttet. Derudover er der tilknyttet en attribut, 'rid', til VECTOR3D. Attributten 'rid' har en central rolle ved opbygning af BSim XML-inputfiler, da dette er et unikt id, som hvert overordnet element får tildelt, for at BSim kan skelne elementerne fra hinanden og samtidigt skabe de rigtige relationer elementerne imellem. En nærmere gennemgang af rid-attributten kommer ligeledes i det efterfølgende afsnit.



Figur 3.2. Hierarkiske relationer.

BSim XML-struktur

Enhver XML-fil starter med en beskrivelse af XML-versionen og tekstindkodningen, der er anvendt. Derudover gælder det for BSim-inputfiler, at der er to kommentarelementer med en beskrivelse af modellen; kommentarelementerne fremgår af figur 3.3. Disse to linjer er tilsyneladende uden betydning, da de ikke har indflydelse på, hvorvidt BSim kan køre. Det vigtigste at notere er, at alle informationer i modellen er indeholdt i elementet 'DIS2'. De elementer, der beskrives i det efterfølgende, fremstår derfor i inputfilen som childs af elementet 'DIS2'; dette er også vist i figur 3.3

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!-- FILE_DESCRIPTION(('DIS2 model', 'STEP.DLL version 7, 7, 10, 29','SBI','BSim,
      Version 7.13.10.1(BS7121-255)')); -->
<!-- FILE_NAME('C:\Shoobox.xml','29.02.2016 10.16'); -->
<DIS2>
    <!--PUT ALL MODEL INFORMATION HERE--!>
</DIS2>
```

Figur 3.3. Overordnet struktur af BSim-inputfil.

BSim's opbygning af modellen i XML-inputfilen adskiller sig fra den typiske hierarkiske XML-struktur, idet der i udbredt grad anvendes attribut-referencer til at opbygge modellen. Dette er illustreret i figur 3.4, hvor attributten 'rid' anvendes til at relatere de direkte childs af DIS2 til hinanden. Hvert rid er unikt og skal have formen "#3023".

Som eksempel er inkluderet definitionen af et punkt (Vertex), denne referer gennem child'et 'has_geometry' til et element 'VECTOR3D' med netop denne unikke rid-værdi, som vist i figur 3.4. Tilsvarende er de resterende elementer i BSim-modellen opbygget med disse ikke hierarkiske relationer. For en nærmere beskrivelse af geometri og opbygningen af systemer i inputfilen henvises til bilag A, hvor der er indkluderet flere eksempler; et opslagsværk, der beskriver de enkelte elementers betydning i BSim-modellen er vedlagt i bilag E.5.

```
<VERTEX rid="#87">
    <id>Vertex 187</id>
    <has_geometry>#88</has_geometry>
</VERTEX>
<VECTOR3D rid="#88">
    <id>Vertex187's Geometry</id>
    <x>2.1</x>
    <y>1</y>
    <z>1</z>
</VECTOR3D>
```

Figur 3.4. XML-kode med rid-reference.

3.1.4 Database

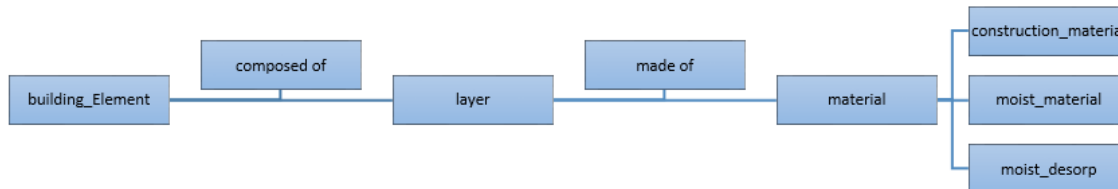
Et centralt element i BSim er modulet SimDB, der administrerer databasen, som indeholder opbygningen af bygningselementer samt de fysiske egenskaber for materialer og vinduer. Databasen er i Microsoft Access-format og i den præfabrikerede database 'SbiData.mdb', der leveres med programpakken, er input-tabellerne angivet i tabel 3.1 oprettet. I databasen er der ingen Access-relationer mellem tabellerne således, at eventuelle ændringer af f.eks. et materiale skal ske i alle tabellerne vedrørende det materiale eller via SimDB. Igennem SimDB sikres det, at eksempelvis ændring vedrørende materiale opdateres i alle tabellerne vedrørende det materiale. Såfremt det ønskes at kunne ændre i databasen via et andet program end SimDB, skal dette program således også foretage ændringer på tværs af tabellerne.

Tabelnavn	Tabelinformationer
building_element	Bygningselementets navn og Sfb-nummer
construction_material	Termiske egenskaber for et givent Sfb-nummer
finish_material	Farve samt overfladeegenskaber
glazing_material	Glasegenskaber for et givent Sfb-nummer
layer	Opbyggelse af et givent bygningselement
material	Navn samt densitet for et givent Sfb-nummer
version	Infomationer om version af databasen
pv_material	Egenskaber for solceller
pcm_solid	Kurve for PCM-størkning
pcm_melt	Kurve for PCM-smeltning
pcm_lambda	Varmeledningsevne for PCM
moist_material	Fugtegenskaber for et givent Sfb-nummer
moist_desorp	Desorptions kurve for et givent Sfb-nummer
moist_delta_rh	Kurve for det hygroskopiske område for et givent Sfb-nummer
moist_absorp	Absorptions kurve for et givent Sfb-nummer
glazing_material_st	Sammenhørende værdier af indfaldsvinkel og transmittans
glazing_material_ex	Data til den udvidede model for simulering af glastemperaturen
material_amount	Bygningsdeles materialemængder
frame_material	Termiske egenskaber for ramme med et givent Sfb-nummer
environment_material	Data for givent materiales effekt på miljøet

Tabel 3.1. Tabeller i den præfabrikerede database SbiData.

BSim benytter SfB-systemet (Samarbetskomitén för Byggnadsfrågor), som er et klassifikationssystem. I princippet er databasen delt i to; én del med materialer og en anden del med bygningselementer, hvor delen med bygningselementer består af kombinationer af materialer. Hvert bygningselement har et unikt id f.eks. '22.10.102'. Her er bygningselementet repræsenteret med '22', hvormed elementet tilhører gruppen 'external walls'. Materialerne angives med f.eks. 'a123', hvor 'a': henviser til, at materialet tilhører gruppen 'glazing'. [Wittchen et al., 2013]

Opbygningen af et bygningselement er illustreret i figur 3.5, hvor tabellen 'building_element' har bygningselementerne listet og tabellen 'layer' indeholder opbygningen af bygningselementer herunder rækkefølgen af benyttede materialer. Materialelegenskaber er gemt i en række andre tabeller; her kan eksempelvis fremhæves 'construction_material', 'material' og 'moist_material'.



Figur 3.5. Opbygning af bygningselementer i databasen.

3.2 Valg af programmeringsplatform

Med baggrund i den beskrevne opbygning af BSim's input- og databasestruktur, beskrives der i det følgende de teknologier og metoder, der ønskes anvendt i forbindelse med udarbejdelsen af et program, der kan automatisere BSim-simuleringer.

For at kunne automatisere processen er det nødvendigt at finde et programmeringssprog eller -program, der både kan håndtere og interagere med XML-filer samt Access-databaser.

En nærmere beskrivelse af metoderne anvendt sammen med hhv. XML og acces databasen, der muliggør de før beskrevne interaktioner, kommer i det følgende.

Document Object Model

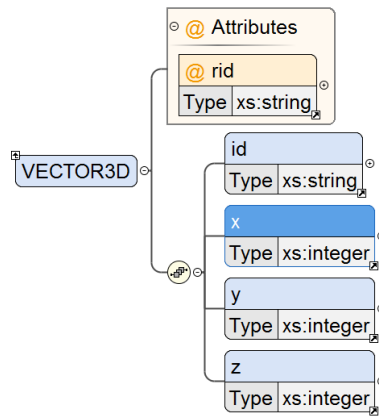
I Document Object Modellen (DOM) er defineret metoder til at indlæse og manipulere blandt andet XML-filer. [Consortium, 2016] En repræsentation af DOM'en er illustreret på figur 3.2. Denne model kan anvendes på tværs af både platforme og programmeringssprog. Modellen er bygget op omkring en træstruktur bestående af 'nodes', kaldet 'DOM tree'. Igennem DOM API'en er det muligt at adressere og manipulere specifikke nodes i DOM tree, hvilket gør modellen yderst anvendelig og spiller en central rolle ved generering af rid-relationer i BSim-inputfilen. En af metoderne til at adressere specifikke nodes i DOM tree'et kaldes XPath. Denne metode gør det muligt gennem en simpel syntaks at tilgå eksempelvis 'VECTOR3D's rid-attribut, hvilket er illustreret i figur 3.6, hvor 'XMLDoc' refererer til XML-koden i figur 3.1. Koden angivet i figur 3.6 vil i det tilfælde returnere strengen "#88".

```
XMLDoc.SelectSingleNode("VECTOR3D[id="FaceSide21's Normal"]/@rid").text
```

Figur 3.6. Eksempel på brug af XPath i VBA-kode.

Udover at kunne adressere og manipulere specifikke nodes i XML-dokumentet, er der igennem DOM'en også mulighed for at validere XML-kode i henhold til eksempelvis XML-skemaer (XSD: XML Schema Definiton).

XML-skemaer anvendes til at beskrive den måde, informationerne i et XML-dokument skal fremstå på, herunder de hierarkiske relationer, som er elementerne imellem. Her kan alle relationer, som eksempelvis karakteriserer BSim-inputfilen, beskrives. Dette er illustreret i figur 3.7. Figuren illustrerer en grafisk repræsentation af de linjer kode, som fremgår af figur 3.8. Modsat XML beskriver XML-skemaet udelukkende strukturen af XML-dokumentet og ikke hvilke informationer, der er indeholdt i en specifik model.



Figur 3.7. Illustration af hierarkisk struktur.

```

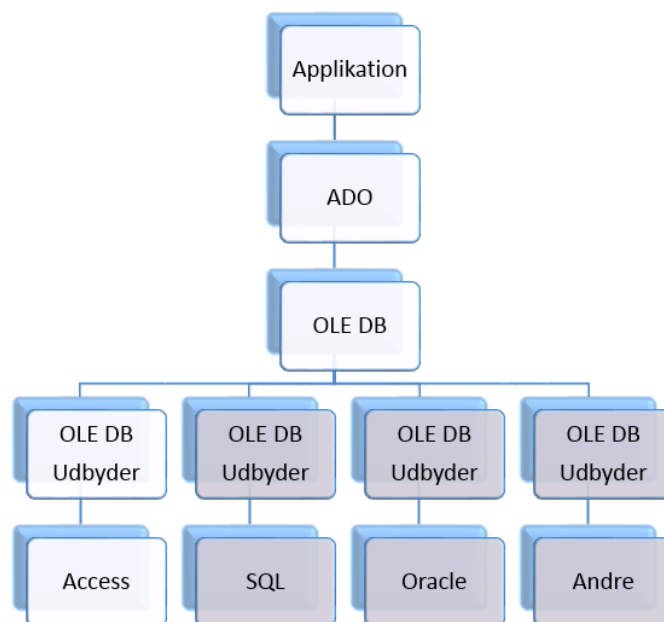
<xs:element name="VECTOR3D">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="id" type="xs:string"/>
      <xs:element name="x" type="xs:integer"/>
      <xs:element name="y" type="xs:integer"/>
      <xs:element name="z" type="xs:integer"/>
    </xs:sequence>
    <xs:attribute use="required" ref="rid"/>
  </xs:complexType>

```

Figur 3.8. Eksempel på XSD-kode.

Object Linking and Embedding Database

Udover at kunne tilgå XML-inputfilerne er det nødvendigt at kunne tilgå BSim's Access-database. Til dette anvendes Microsofts ActiveX Data Objects (ADO), der er en del af Microsoft Data Access Components (MDAC). MDAC er en programmeringsplatform med et sæt af software-komponenter, der bruges til at give applikationer et middel til at få adgang til data fra diverse datakilder. MDAC udgør kernen i Microsoft's Universal Data Access (UDA) strategi, hvor Microsoft forsøger at skabe en universel bro til alle former for eksisterende og fremtidige databaser, hvilket er illustreret på figur 3.9. [Connell, 2006]



Figur 3.9. Microsoft's Universal Data Access (UDA) strategi efter Foxall [2000].

Nederst venstre på figur 3.9 er databasen, der ønskes adgang til, illustreret; i dette projekt er det en Access-database. For at få adgang til dataene anvendes en OLE DB-udbyder (Object Linking and Embedding Database), der tillader OLE DB at kommunikere med en specifik type database. OLE DB er teknologien, der via en OLE DB-udbyder tillader adgang til diverse typer databaser. Der kan oprettes direkte forbindelse til OLE DB og OLE DB-udbyderen for en hurtigere ydelse, men dette kan kun ske via en C eller C++ platform. ADO er et brugervenligt og sprog-neutralt programmingsinterface til OLE DB, hvilket vil sige, at det kan anvendes på de fleste platforme. Via programmering tillader ADO applikationer at hente, opdatere og slette data fra databaser. [Connell, 2006]

3.2.1 Valg

Med baggrund i ovenstående krav er det valgt at anvende Microsoft Excel VBA som programmeringsplatform i dette projekt. En af fordelene ved Excel er, at programmet er en del af Microsoft Office-pakken, der ifølge Microsoft [2016] er udbredt til mere end 1,2 mia brugere på verdensplan, hvorfor det forventes, at størstedelen af de potentielle brugere af applikationen allerede anvender eller er bekendte med Excel.

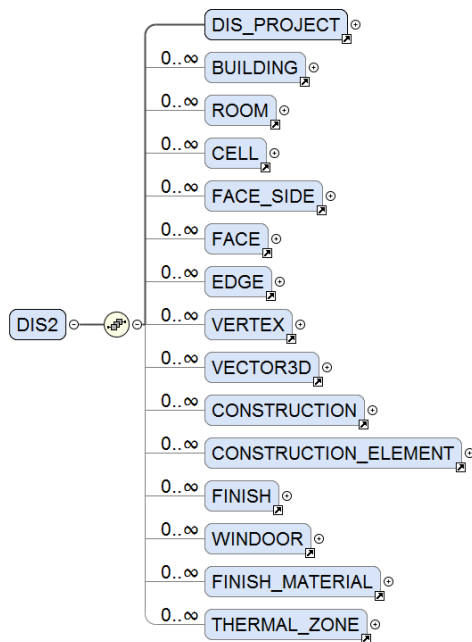
VBA's foruddefinerede biblioteker gør, at VBA understøtter hhv. DOM og OLE DB, hvilket betyder, at Excel VBA besidder de nødvendige kvaliteter for at kunne fuldføre automatiseringen af BSim-simuleringerne. Til håndtering af XML-inputfilerne er det valgt at anvende Microsoft XML v6.0 biblioteket, som er baseret på DOM. Derudover anvendes Microsoft ActiveX Data Objects 2.8 biblioteket til håndtering af OLE DB.

Ekstern generering af BSim-model 4

I dette kapitel redegøres der for, hvordan det gennem DOM og XML-skemaet er muligt at generere BSim-modeller uden brug af BSim-programpakken. Der gives desuden to eksempler på eksternt genererede BSim-modeller.

4.1 Fastlæggelse af BSim-model

I forbindelse med fastlæggelsen af inputstrukturen for simuleringsprogrammet BSim er der ved at konstruere BSim-modeller igennem den normale brugerflade, DisView, og derefter analysere de producerede XML-inputfiler udarbejdet hhv. et opslagsværk, der beskriver de enkelte elementer og deres betydning samt et XML-skema (.XSD), som anvendes i forbindelse med generering og validering af nye inputfiler. Opslagsværket er indkluderet i bilag E.5. I figur 4.1 er elementerne, som beskriver geometri og konstruktioner i en BSim-modellen illustreret. Selve opbygningen af geometrien sker også på det illustrerede niveau, og de førnævnte rid-relationer sker derfor udelukkende imellem de illustrerede elementer til opbygning af geometrien.



Figur 4.1. XML-skema struktur af geometrien i BSim.

De hierarkiske relationer håndteres af XML-skemaet, der udelukkende beskriver strukturen af informationer i inputfilen, hvormed skemaet gør det muligt at validere, at strukturen af de producerede inputfiler er korrekt i henhold til BSim-inputstrukturen.

Til håndtering af ikke-hierarkiske relationer anvendes som tidligere nævnt DOM (Document Object Model). Herigennem er det muligt at adressere og manipulere specifikke nodes i DOM tree. Brugen af DOM gør det derfor muligt at tilføje og manipulere elementer i inputfilen, herunder det, der i BSim benævnes systemer, altså ventilations-, varme- og køleanlæg samt person- og udstyrsbelastninger i de termiske zoner af modellen og ikke mindst rid-attributterne, som anvendes til at skabe de ikke-hierarkiske relationer.

Kombinationen af XML-skemaet og DOM gør det muligt at producere XML-inputfiler, der er forståelige for BSim, fordi det bevarer de nødvendige hierarkiske og ikke-hierarkiske relationer.

Igennem de førnævnte teknologier er det muligt både at validere strukturen af de genererede inputfiler i henhold til XML-skemaet og ydermere generere de rette ikke-hierarkiske relationer gennem DOM API'en. Dette gør det muligt at opbygge en BSim-model fra start helt uden brug af BSim-programpakken.

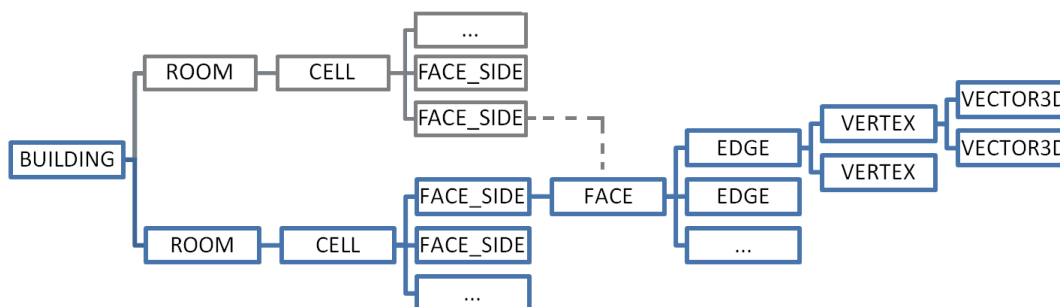
For en nærmere beskrivelse af, hvordan der i de enkelte elementer refereres til relaterede elementer, henvises der til bilag A. Der beskrives i det følgende en konceptuel gennemgang af referencerne, der er nødvendige for at opbygge en BSim-model i XML-inputfilen.

4.2 Opbygning af geometri og konstruktioner

I det følgende beskrives det, hvordan geometrien i inputfilen til BSim opbygges gennem elementerne illustreret i figur 4.1 og hvordan rid-attributterne indgår til at opbygge geometrien i en BSim-model. Først beskrives geometrien og konstruktionselementernes hierarki i BSim-modellens kontekst og ikke XML-strukturen. Dernæst beskrives det, hvordan der igennem Excel er opbygget og eksporteret geometri til en XML-inputfil.

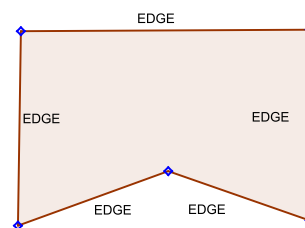
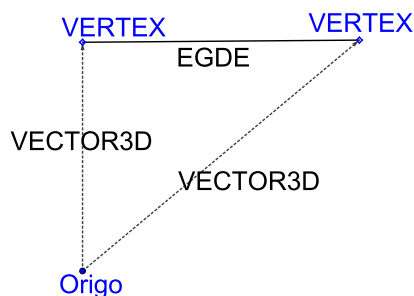
4.2.1 BSim's geometriske hierarki

I figur 4.2 er hierarkiet af geometrien i BSim illustreret; alle de illustrerede elementer er nødvendige til at beskrive en geometri, BSim forstår. Det er dog ikke nødvendigt at udfylde alle childs i elementerne; generelt er det vigtigste, at der refereres som illustreret på figuren.

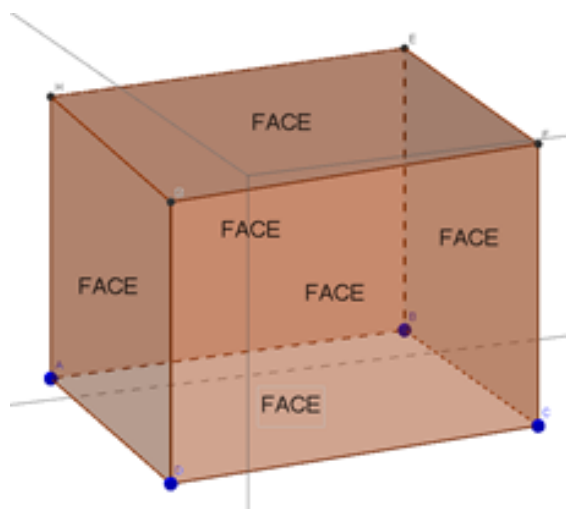


Figur 4.2. BSim's geometristruktur. NB ikke XML-strukturen.

Illustrationer af udvalgte elementer fra figur 4.2 er vist i figur 4.3, 4.4 og 4.5. For en mere fyldestgørende beskrivelse henvises til bilag A.



Figur 4.3. Opbygning af en kant, 'EDGE'. **Figur 4.4.** Opbygning af en plan flade, 'FACE'.

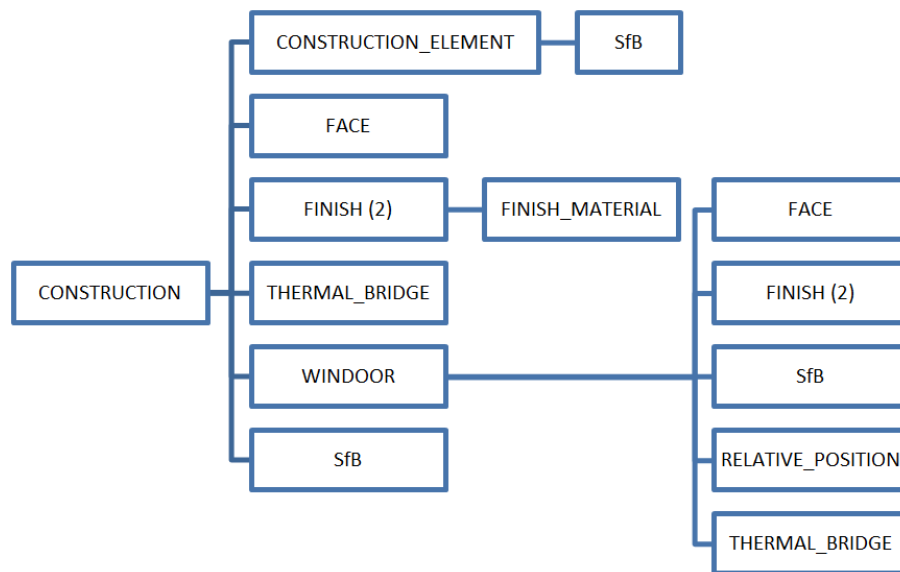


Figur 4.5. Opbygning af 'CELL'.

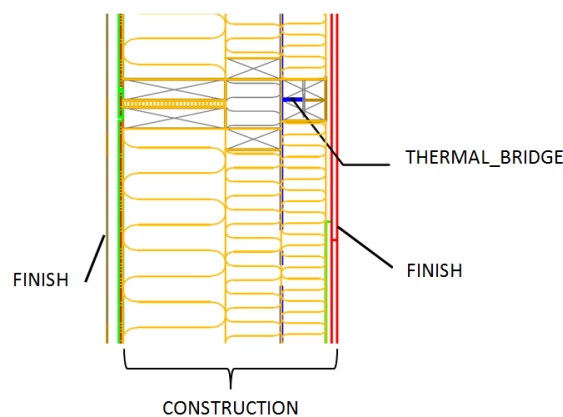
Ved opbygning af ROOM er det tilstrækkeligt at angive den 'ydre skal' af rummet; derefter tilføjer BSim en 'indre skal' på baggrund af angivne konstruktioner for hver FACE. En nærmere beskrivelse af konstruktionernes opbygning og relationer kommer i det følgende.

4.2.2 Konstruktioner og databasereferencer

I figur 4.6 er det illustreret, hvordan konstruktioner indgår i BSim-inputfilen. Konstruktioner optræder som elementet 'CONSTRUCTION'. Hver CONSTRUCTION relateres til en FACE, hvorved den geometrisk repræsenteres i modellen. Denne FACE er altid en del af den 'ydre skal' for ét eller to rum. Derudover er der i CONSTRUCTION refereret til 'CONSTRUCTION_ELEMENT', 'THERMAL_BRIDGE' og 'FINISH', som alle er illustreret på figur 4.7. Det eneste af de illustrerede elementer, der er nødvendigt at definere for at kunne generere en model korrekt, er CONSTRUCTION_ELEMENT.



Figur 4.6. Struktur af konstruktioner i BSim.



Figur 4.7. Opbygning af CONSTRUCTION.

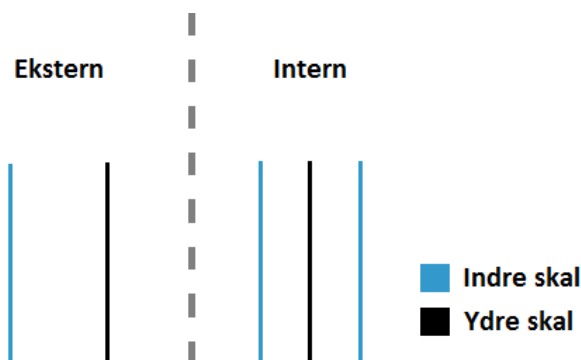
I CONSTRUCTION_ELEMENT refereres der gennem SfB-numre til et bygningsselement i Access-databasen. Oprettelsen af de ønskede bygningsselementer i databasen sker uafhængigt af inputfilerne. Det betyder, at der ved generering af inputfilerne kun må varieres mellem eksisterende SfB-numre; dog kommer applikationen med en advarsel, hvis det givne SfB-nummer ikke findes i databasen.

På baggrund af CONSTRUCTION_ELEMENT tilføjer BSim den indre skal af rummet, herunder også to FINISHes som illustreret på figur 4.7. Det er ikke nødvendigt at definere FINISH_MATERIAL, fordi BSim i det tilfælde anvender standardværdier for overfladeegenskaber som angivet i tabel 4.1.

Overfladeegenskab	Standardværdi
Absorbtans	0,9
Reflektans	0,2
Emissivitet	0,8

Tabel 4.1. Standardværdier for overfladeegenskaber i BSim.

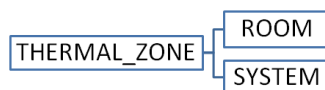
I FINISH er der indeholdt informationer om, hvorvidt overfladen er intern eller ekstern, hvilket udfyldes automatisk af BSim på baggrund af FACE_SIDE tilhørende den angivne FACE, som altid er en del af den ydre skal af et rum. BSim udregner placeringen af den indre skal afhængigt af, hvorvidt fladen er intern eller ekstern som illustreret på figur 4.8.



Figur 4.8. Placering af indre skal.

4.2.3 Termisk zone

De hygrotermiske simuleringer i BSim baseres på termiske zoner. For hver termisk zone opstilles og udregnes varmebalancen på baggrund af henholdsvis geometri og konstruktioner, der refereres til gennem ROOM som vist i figur 4.9. Derudover tages der gennem SYSTEM højde for interne belastninger og påvirkninger fra definerede HVAC-anlæg. En THERMAL_ZONE kan godt have flere rum tilknyttet, ligesom der typisk vil være flere SYSTEMs tilknyttet. En beskrivelse af SYSTEM-opbygningen er inkluderet i det følgende.



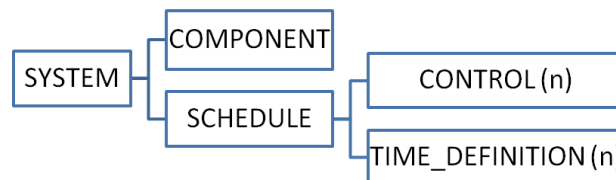
Figur 4.9. Struktur for termisk zone.

4.2.4 Systemer

Systemer dækker i BSim over alle belastninger i en termisk zone, som ikke er relateret til varme- og fugttransport gennem bygningselementer. Selve SYSTEM-elementet indeholder alene en klassifikation af systemtypen; ellers refereres der til det, der benævnes COMPONENT, hvor de egentlige systemegenskaber er definerede som vist i figur 4.10.

Derudover refereres der i SYSTEM til SCHEDULE, der definerer, hvornår SYSTEM er aktivt og hvilken kontrol, der skal anvendes.

Som eksempel kan opvarmning nævnes; her vil COMPONENT indeholde systemets maksimale varmeafgivelse samt andelen af den leverede effekt, der går til opvarmning af luften ('part_to_air'). CONTROL vil være 'HEATING_CTRL', som blandt andet definerer opvarmningssetpunktet.



Figur 4.10. Systemstruktur.

4.3 Generering af XML-inputfil

Til generering af XML-inputfiler er der i Excel tilknyttet det udarbejdede XML-skema. Derudover er hver af elementerne linket til individuelle faner i Excel-arket; i figur 4.11 er en af fanerne vist. Af figuren fremgår det, at ikke alle childs af FACE er udfyldte og at hver FACE har to FACE_SIDEs tilknyttet. Ved tilsvarende at udfylde de resterende faner og anvende en indbygget funktion i Excel til at eksportere XML-filer kan der genereres BSim XML-inputfiler.

rid	id	area	round	has_edge	has_face_side
#11001				#11001001 #11001002 #11001003 #11001004	#110011 #110012
#11002				#11002001 #11002002 #11002003 #11002004	#110021 #110022
#11003				#11003001 #11003002 #11003003 #11003004	#110031 #110032
#11004				#11004001 #11004002 #11004003 #11004004	#110041 #110042
#11005				#11005001 #11005002 #11005003 #11005004	#110051 #110052

Figur 4.11. Excel-ark med tilknyttet XML-skema.

Anvendelsesmulighederne ved automatisk at kunne generere BSim-modeller er mange. Det gør det blandt andet muligt at eksportere information fra BIM-modeller, hvori alle informationer vedrørende et byggeri principielt kan opbevares. I det følgende præsenteres udelukkende muligheden for at importere geometri fra andre kilder, selvom der også er potentiale til at importere HVAC-systemer, personbelastninger etc.

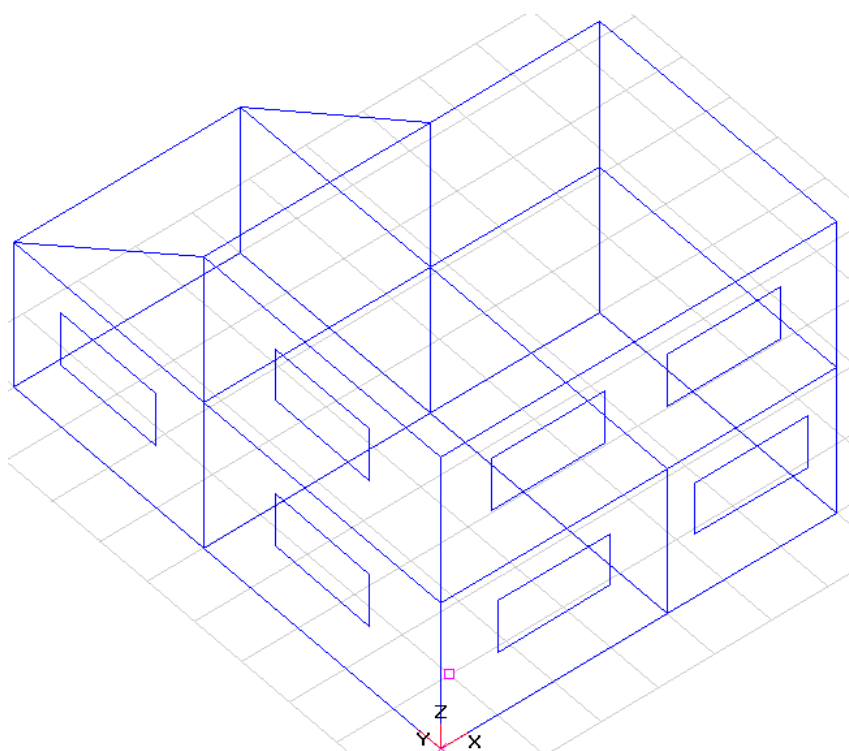
4.4 Eksempler på ekstern geometriopbygning

I det følgende beskrives to eksempler på geometri, der er genereret gennem Excel VBA uden brug af BSim. Der er produceret XML-inputfiler til BSim i Excel via det udarbejdede XML-skema. Elementerne i XML-skemaet relateres til celler i Excel-arket, hvorefter der på den baggrund eksporteres en XML-fil i et format, som er forståeligt for BSim.

Fælles for begge eksempler er, at der ved at indtaste punkter (VECTOR3D) og de resterende nødvendige elementer (VERTEX, FACE, FACE_SIDE, CELL, ROOM, BUILDING) i Excel er genereret en XML-inputfil til BSim. Forskellen på de to eksempler er, hvorfra punkterne kommer. I det første eksempel er der manuelt indtastet punkter i Excel-arket, hvor det sidste eksempel anvender et Dynamo-script udarbejdet af Pavlov [2016], til eksportering af punkter fra en AutoDesk Revit model.

4.4.1 Manuelt genereret model

Det første eksempel er medtaget for at vise, at det er muligt at generere korrekt geometri i BSim via Excel ved at anvende det udarbejdede XML-skema til BSim. Det bemærkes, at der endnu ikke er tilføjet konstruktioner og modellen derfor blot fremstår som en ramme uden en indre skal. I figur 4.12 er resultatet af den eksporterede XML-inputfil vist i BSim-brugerfladen.

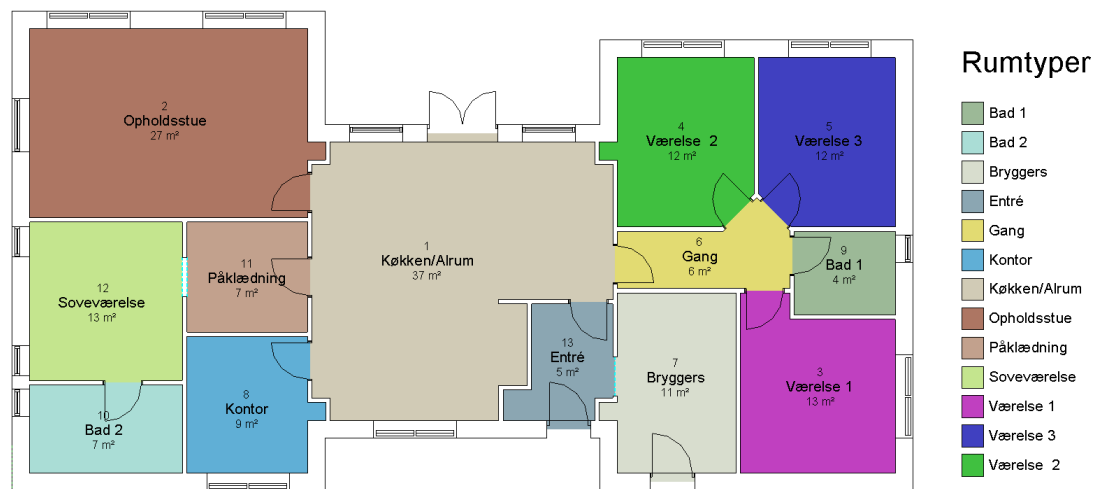


Figur 4.12. Manuel generering af geometri i BSim-brugerflade.

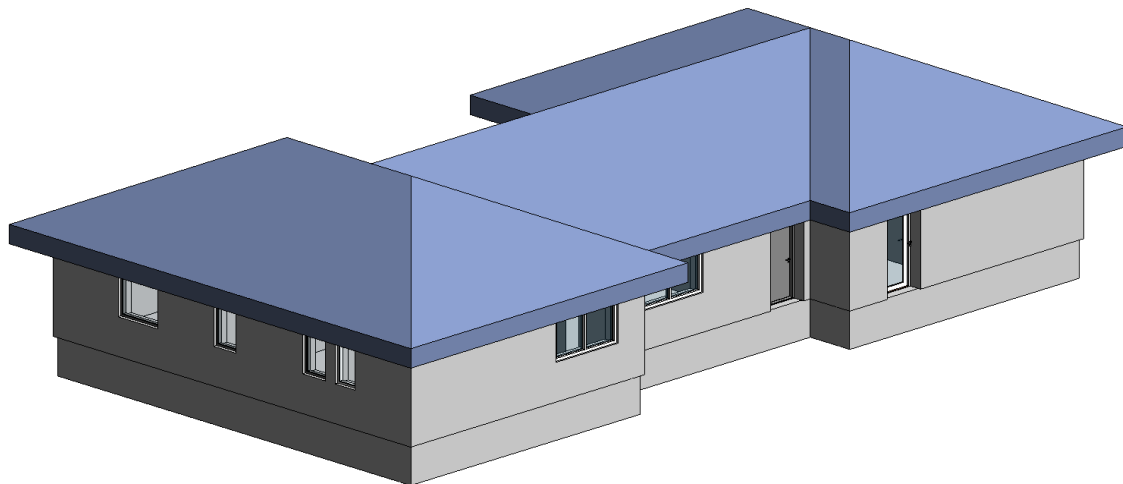
4.4.2 Revit-model

I det andet eksempel er geometrien som tidligere nævnt, baseret på et Dynamo-script udarbejdet af Pavlov [2016] sidenløbende med dette projekt. Dynamo-scriptet forsøger igennem Revit API'en at udtrække geometrien for udvalgte rum samt klimaskærm i et format, der stemmer overens med BSim's struktur. I udarbejdelsen af scriptet har der særligt været meget arbejde i først at finde ud af, hvorvidt konstruktionselementerne er enten interne eller eksterne, for i det tilfælde, at konstruktionselementet er internt, at finde midten heraf.

I figur 4.13 er en plantegning af modellen og i figur 4.14 en 3D-visning, som den fremstår i Revit. Igennem scriptet forsøges det at eksportere hhv. soveværelse, opholdsstue og derudover den resterende klimaskærmen for hele huset.

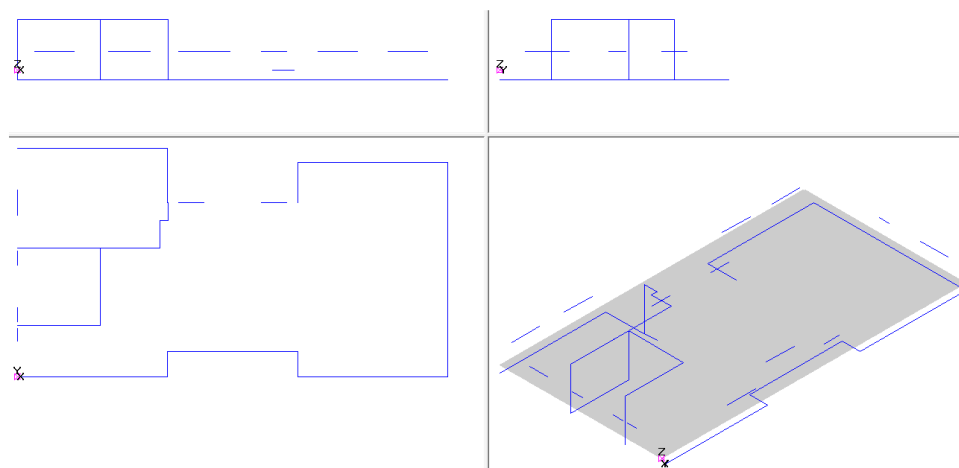


Figur 4.13. Plantegning af Revit-model.



Figur 4.14. 3D-visning af Revit-model.

I figur 4.15 er den eksporterede geometri vist i BSim. Heraf fremgår det, at Dynamo-scriptet, som det fremstår nu, ikke er i stand til at eksportere geometrien korrekt. Det er forsøgt at fejlfinde på den del, der er arbejdet med i dette er projekt, men uden held og det første eksempel underbygger, at der ikke er fejl på denne del af arbejdet.



Figur 4.15. BSim-visning af udvalgt geometri fra oprindelig Revit-model.

Selvom projektet af Pavlov [2016] blev udarbejdet i forbindelse med dette projekt og der undervejs har været flere møder for at definere de informationer, der skal eksporteres fra Revit for at kunne reproducere i BSim-modellen, er der i processen gået noget galt. Resultatet af Dynamo-scriptet er et Excel-dokument, hvori de førnævnte nødvendige elementer står. Der er ved grundig gennemgang af Excel-dokumentet ikke fundet fejl i strukturen af elementerne, og fejlen forventes derfor ikke at være strukturel. Der kan være tale om en mindre fejl i koden der uden større indgreb kan udbedres; grundet manglende kendskab til Dynamo er problemerne ikke blevet udbedret i det nærværende projekt.

Det fremhæves slutteligt, at det er muligt at generere BSim-modeller på baggrund af punkter angivet i et Excel-dokument, som anvender det udarbejdede XML-skema uden brug af BSim-programpakken. Selvom der er problemer med Dynamo-scriptet i dets nuværende stand, er der stadig grundlag for at kunne eksportere geometri fra BIM-modeller eller andre kilder til et format, som BSim forstår.

Applikation til BSim parameter variation 5

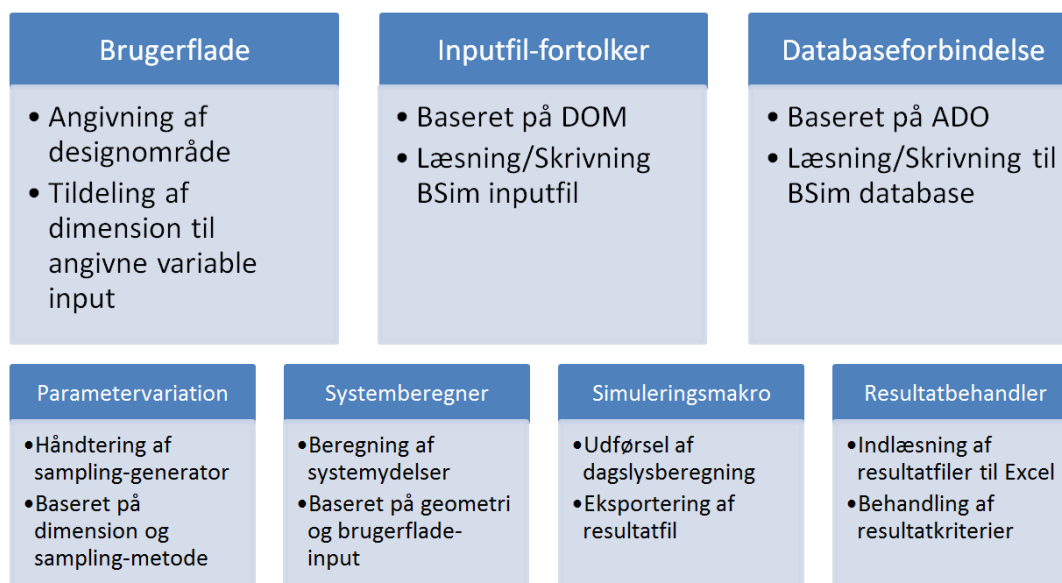
Med udgangspunkt i de beskrevne teknologier i kapitel 4, er der udarbejdet en applikation omkring et Excel-ark, der gennem VBA-programmering gør det muligt at foretage parametervariationer i BSim-inputfilen. Derudover er der i et eksternt programmeringssprog udarbejdet en makro, der automatisk kan gennemføre både dagslysberegninger og hygrotermiske simuleringer igennem BSim-brugerfladen for flere modeller. Den udviklede applikation er vedlagt i bilag E.1.

5.1 Applikationens formål

Brugerfladen i Excel-arket er opbygget med henblik på hurtigt at kunne angive designområdet, da designområdet hele tiden ændrer sig gennem designprocessen. I brugerfladen kan størstedelen af BSims input varieres, heriblandt kan følgende parametre fremhæves:

- Ventilationssystem
- Ventilationstype
- Belysning
- Daglysstyring
- Referencepunkt
- Solafskærmning
- Interne belastninger
- Brugstid
- Bygningsselementer
- Vejrfil

Applikationens kodeopbygning kan overordnet set inddeles i modulerne illustreret på figur 5.1. Til automatisk at generere inputfiler anvendes alle illustrerede moduler; en beskrivelse af hvert af modulerne kommer i det følgende.



Figur 5.1. Applikationens moduler.

5.2 Brugerflade

Brugerfladen i applikationen er som tidligere nævnt udarbejdet med henblik på hurtigt at kunne angive spænd for designområdet, der ønskes undersøgt. I det følgende vises det for et udsnit af brugerfladen, hvordan det i en designanalyse er muligt at angive, hvilke systemer, CO₂-, opvarmnings- og kølesetpunkter, det ønskes at undersøge. I figur 5.2 er et udsnit brugerfladen vist. Det fremgår af figuren, at der i den tænkte situation ikke ønskes at anvende hverken hybrid ventilation eller køleanlæg. Det ønskes derimod at finde ud, hvor meget anvendelsen af frikøling kan forbedre det termiske indeklima.

Med frikøling menes der, at ventilationsanlægget uden for brugstiden øger ventilationsmængden, når udetemperaturen er koldere end rummet, for at køle rummets termiske masse ned. Tilsvarende varieres temperatursetpunkter med en skridtlængde på 0,5 °C for at kunne vurdere effekten heraf. Det fremgår også, at CO₂-setpunktet ikke varieres, men fastholdes til 800 ppm.

Ventilation	Varmeanlæg	Køleanlæg
☒ Mekanisk Ventilation	☐ Uden varmeanlæg	☒ Uden køleanlæg
☐ CAV	☒ Med varmeanlæg	☐ Med køleanlæg
☒ VAV		
☐ Hybrid Ventilation		
☐ Brugstid	Setpunkter	Variation
☐ Altid	Opvarmning	20:0,5:22
Styring	Køling	23:0,5:26
☒ Med frikøling	CO2	800
☒ Uden frikøling		

Figur 5.2. Opsætning af system- og setpunktskombinationer.

Der er som tidligere nævnt mulighed for at variere størstedelen af inputtene til BSim-modeller i samme Excel-ark. For de resterende input angives spændene efter samme metodik som illustreret ovenfor. En nærmere begrundelse for valg af metodik til at angive spænd kommer i det følgende sammen med en beskrivelse af modulet til parametervariationer.

5.3 Parametervariation

Som tidligere nævnt vil spændene afhænge af designets stadie og de vil ændre sig i løbet af processen. Det er derfor vigtigt, at der på en hurtig og enkel måde kan angives nye spænd svarende til designprocessens gældende stadie. Til at angive spænd er det valgt at indarbejde tre valgmuligheder, som er angivet i tabel 5.1. De tre valgmuligheder gør det muligt at variere både diskret og uniformt. Derudover er det også muligt at angive en statisk værdi for inputtene ved at angive eksempelvis et SfB-nummer '21.0.101' eller en enkelt talværdi '20'.

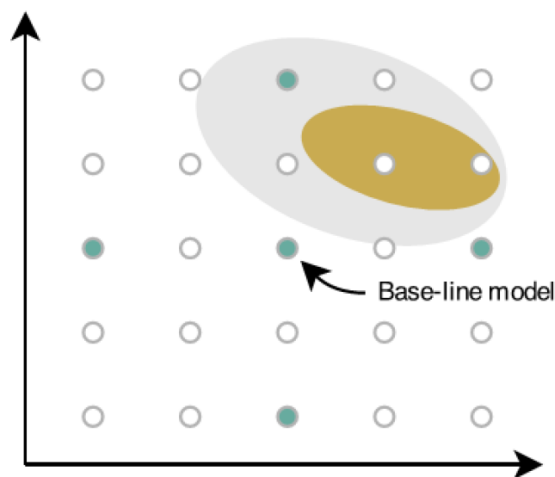
Type	Syntaks	Trin
Uniform	0,9-1,2	∞
Diskret forøgelse	0,9:0,1:1,2	4
Diskret eksplicit	0,9/1,05/1,2	3

Tabel 5.1. Angivelser for spænd.

De diskrete variationsmuligheder gør det muligt at inddele spændene i en skridtlængde, som tilsvarende de valgmuligheder, der betragtes mulige og samtidigt tilsvarende designstadiets detaljeringsgrad. Som eksempel kan isoleringstykkelser fremhæves; her vil valgmuligheder i praksis typisk afhænge af isoleringsproducenternes varesortiment, selvom muligheden for specialfremstillet isoleringsbatts foreligger. Med baggrund i Dansk Standard [2007] vurderes det, at det for opvarmnings- og kølesetpunktet i de tidlige stadier typisk vil være tilstrækkelig at variere med en skridtlængde på 0,5-1 °C for at kunne vurdere, hvilken indeklimakategori, bygherre ønsker at overholde.

I de senere stadier vil der i højere grad være interesse for at optimere designforslag gennem ændring af setpunkter, hvor en mindre skridtlængde på eksempelvis 0,1-0,2 °C vil være at foretrække.

En grov diskretisering er en fordel, fordi den giver færre kombinationsmuligheder, hvormed indflydelsen af hver parameter kan bestemmes med færre realiseringer. Ved diskretiseringer og øgede skridtlængder udforskes imidlertid også kun dele af designområdet, hvorfor der er risiko for at overse eventuelle lokale optima som illustreret på figur 5.3. Det er derfor vigtigt at pointere, at det altid er nødvendigt at overveje eller underbygge den valgte diskretisering for at undgå for grove diskretiseringer, som vil resultere i et kun delvist udforsket designområde og en muligvis dårligere designet bygning.



Figur 5.3. En grov diskretisering af designområdet kan betyde, at lokale optima ikke opdages. [Østergaard, 2016]

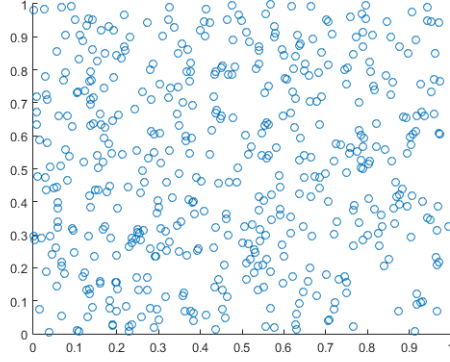
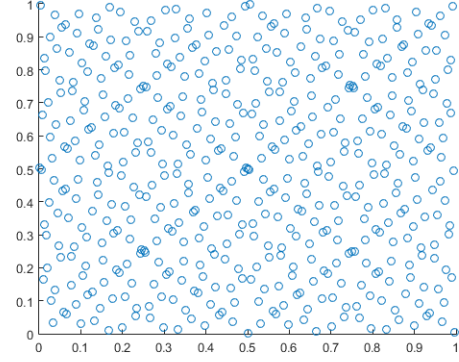
Til udførslen af parametervariationerne er der defineret mulige spænd for de nødvendige input til udførslen af BSim-simuleringer i forbindelse med designanalysen. De definerede spænd skal ikke betragtes som endegyldige, men mere som forslag for de initierende spænd i en designanalyse for hurtigere at kunne igangsætte simuleringer og undersøge designområdet.

5.3.1 Sampling-metoder

Udover at angive henholdsvis uniforme og diskrete intervaller er det nødvendigt at generere seeds til at udføre parametervariationerne. Med seeds menes der tilfældigt genererede tal mellem nul og én. Fremfor at anvende en tilfældig talgenerator beskrives i det følgende to udvalgte metoder, som er indarbejdet i applikationen, idet begge har fordele i forhold til tilfældig sampling til udforskning af designområdet.

Sobol, low-discrepancy

Fordelen ved at anvende en low-discrepancy metode til at udforske løsningsområdet er, at denne type metode konvergerer hurtigere end true random samplingmetoder, fordi low-discrepancy søger at øge afstanden mellem realiseringerne i alle dimensioner og derved mindske forekomsten af klumper eller clusters som illustreret på figur 5.5. Derved afdækkes designområdet i alle dimensioner hurtigere og mere jævnt end ved brug af en tilfældig talgenerator. Desuden er der i den benyttede version af Sobol-samplingen ikke behov for at opdatere seeds, da samplingmetoden er uafhængig af totale antal dimensioner og totale antal realiseringer. [Sobol et al., 1992]

**Figur 5.4.** Tilfældig sampling.**Figur 5.5.** Sobol-sampling.**OAT, screening**

‘One-At-a-Time’-samplingen er valgt, da denne kan fungere som en simpel og hurtig screening til at give en idé om indflydelsen af de enkelte parametre. Samplingmetoden starter med en realisering, hvor alle seeds er lig med 0,5 også kaldet baseline-modellen. Herefter varieres hver parameter enkeltvist mellem henholdsvis minimum og maksimum. Dermed kan det nødvendige antal af realiseringer med OAT-samplingen beskrives med formel (5.1). Modsat Sobol-samplingen kan denne sampling kun bruges til lokale sensitivitetsanalyser og resultaterne vil derfor i høj grad afhængige af baseline-modellen. Derfor skal denne sampling-metode altid anvendes med forbehold og fortrinsvist i afgrænsede designrum, hvor spændene er små. Ligesom den anvendte Sobol-sampling kan denne metode også antage statiske seed-værdier i regnearket.

$$r_n = 1 + (2 \cdot d) \quad (5.1)$$

r_n	Antal realiseringer	[-]
d	Antal dimensioner	[-]

Brugedefineret

Udover hhv. Sobol- og OAT-samplingen er der mulighed for selv at generere seeds eksternt og indsætte disse i regnearket. Selvom Sobol-samplingen er en low-discrepancy sampling, som er udformet med henblik på hurtig konvergens og kan anvendes til globale sensitivitetsanalyser, er der stadig grunde til at vælge andre samplingmetoder. Som eksempel kan Morris-samplingen fremhæves, hvor elementareffekterne af parametrene kan beregnes, noget som ikke er muligt med Sobol-sampling.

Morris-metoden, der er nærmere beskrevet i bilag D, anvendes i kapitel 6.

5.4 Systemberegner

På baggrund af hhv. angivelser i brugerflade og geometrien af den pågældende termiske zone udregnes systemydelserne i dette modul. Hoveddelen af disse beregninger er nødvendige på grund af forskel mellem enhederne på systemydelserne og enhederne angivet i brugerfladen. Som eksempel er personbelastningen, som i BSim angives med [antal personer] og i applikationens brugerflade med [personer/m²]. Derudover angives der i applikationsbrugerfladen en SEL-værdi for ventilationsanlægget, hvor der i BSim skal angives trykforøgelse i [Pa] samt ventilatoreffektivitet.

5.5 Input-fortolker

Dette modul er udarbejdet til at håndtere al kommunikation mellem XML-inputfilen og applikationen. Det er derfor igennem dette modul alle læsninger af og skrivninger til XML-inputfilen sker. Modulet anvender den tidligere beskrevne DOM og XML-skemaet til henholdsvis at holde styr på de ikke-hierarkiske rid-relationer samt validere XML-strukturen.

5.6 Databaseforbindelse

Dette modul er udarbejdet med henblik på at kommunikerer mellem database og applikation. Som tidligere beskrevet er materiale- og bygningselementernes egenskaber indholdt i en Access-database, som der refereres til i BSim-inputfilen. For at kunne tilgå databasen efter simuleringerne er gennemført og indhente informationer for den specifikke BSim-model benyttes som tidligere nævnt ADO og OLE DB.

Til at hente de nødvendige informationer anvender ADO Structured Query Language-kommandoer (SQL) til at udtrække et datasæt ud fra nogle kriterier, heriblandt SfB-numre for specifikke BSim-modeller. Fra datasættet udtrækkes de nødvendige informationer til at beregne rummets effektive varmekapacitet samt rudens g-værdi og Lt-værdi.

Tabellen layer indeholder opbygningen af alle bygningselementer og udgør derfor en central rolle ved udregning af rummets effektive varmekapacitet. Et datasæt af tabellen layer er illustreret i tabel 5.2, hvor 'part_of' angiver, hvilket bygningselement, det pågældende lag er en del af; 'made_of' repræsenterer materialet, laget består af og refererer til material-tabellen. I 'thickness' bestemmes tykkelsen og 'order' angiver placeringen af laget, hvor 0 angiver det første lag indefra. I kolonnen 'resistance' indskrives en termisk modstand for et luftlag eller en diffusionsmodstand for en dampspærre.

part_of	made_of	resistance	thickness	order
21.10.100	i2	0	0,013	0
21.10.100	(NoType)	0,00000025	0	1
21.10.100	m11	0	0,1	2
21.10.100	f14	0	0,1	3
21.10.101	f14	0	0,1	0
21.10.101	(NoType)	0,00000025	0	1
21.10.101	m11	0	0,1	2
21.10.101	f14	0	0,1	3

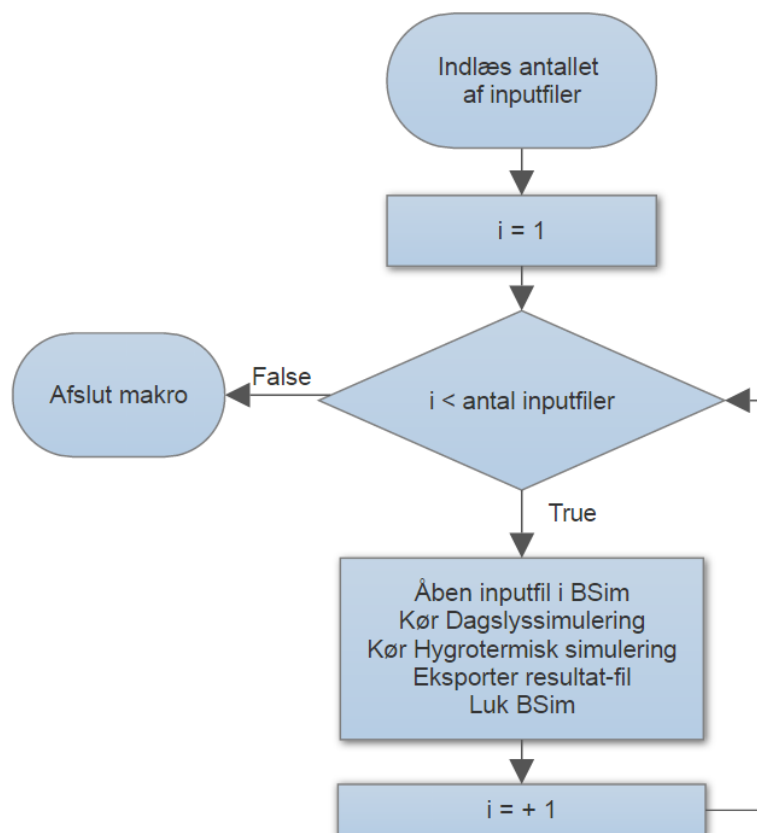
Tabel 5.2. Udpluk af layer-tabellen.

Til udregning af rummets effektive varmekapacitet udtrækkes der udover værdierne fra layer tabellen også hhv. densitet af det angivne materiale i tabellen material og varmekapacitet fra tabellen construction_material.

5.7 Simuleringsmakro

Til at automatisere selve simuleringsprocessen er der med hjælp fra Kim Tranbæk Jønsson udarbejdet et AutoIt-script. AutoIt er et makrobaseret programmeringsprog, hvor computeren programmeres til at efterligne normal brugeradfærd. Det betyder, at AutoIt-scriptet sender de samme kommandoer til computeren, som en normal bruger ville have gjort.

AutoIt-scriptet foretager både dagslysberegning og hygrotermiske simuleringer ved brug af hhv. SimLight og tsbi5. AutoIt-scriptets algoritme er illustreret på figur 5.6; heraf fremgår det, at scriptet først indlæser antallet af gange, det skal udføre simuleringer på baggrund af antallet af tilstedeværende inputfiler i en foruddefineret mappe. Dernæst åbnes den pågældende inputfil i BSim, og scriptet udfører først en dagslysberegning i referencepunktet defineret i inputfilen og overfører sollysfaktorerne til inputfilen. Dernæst åbner scriptet tsbi5 og starter den hygrotermiske simulering. Når den hygrotermiske simulering er færdig, eksporterer scriptet de evalueringsparametre, der er defineret i inputfilen, som et tekstdokument. Dernæst lukkes BSim og en ny simulering er klar til at blive gennemført.



Figur 5.6. Simuleringsmakro flowchart.

Brugen af AutoIt er ikke en effektiv løsning, da det betyder, at computeren ikke kan anvendes, imens simuleringerne kører. Ydermere betyder det, at der bruges computerkraft på at åbne program og brugerflade imellem hver simulering. Selvom dette ikke er en effektiv løsning, muliggør det automatisering af hele simuleringsforløbet, hvorfor det vurderes at være tilstrækkeligt til at illustrere konceptet.

5.8 Resultatbehandler

I resultatbehandlermodulet er der indarbejdet funktioner til at indlæse resultatfilerne fra BSim-simuleringerne i Excel-arket. Hertil er defineret fire funktioner, som kan finde henholdsvis minimum, maksimum eller summen af timeværdier samt antallet af timer, et givent kriterie er overholdt, for de betragtede resultater i hver realisering; dette er eksemplificeret i tabel 5.3.

Evalueringskriterie	Funktionsudtryk	Resultat
Årligt varmekonsum	sum(opvarmning)	4,5 kWh/m ² år
Nominel ydelse, varmeanlæg	maks(opvarmning)	7,4 W/m ²
Nominel ydelse, køleanlæg	min(køling)	0 W/m ²
Termisk komfortkriterie	hr(>26 °C, operativ temperatur)	104 timer

Tabel 5.3. Evaluering af resultatfil for udvalgt realisering.

Det årlige varmekonsum for den aktuelle realisering kan aflæses ud fra det angivne funktionsudtryk i den første række i tabel 5.3. Det bemærkes, at BSim fortrinsvist benyttes for bygningsudsnit eller enkelte rum, hvorfor dette tal ikke direkte kan sammenlignes med tallene fra en energirammeberegning, ligesom BSim heller ikke opgør energiforbrug i primær energi.

Den nominelle ydelse af opvarmningen evalueres ved at tage den maksimale timeværdi af opvarmning. Dermed er der mulighed for at evaluere den nominelle varmeydelse for hver enkelt realisering. Selvom denne værdi principielt ikke kan anvendes til dimensionering af varmeanlægget, da dimensionering skal ske i henhold til den angivne metodik i Dansk standard [2013], kan værdien stadig bruges som en god retningslinje til at minimere den nominelle ydelse af varmeanlægget.

Den nominelle ydelse af kølingen kan tilsvarende bestemmes ud fra minimumsværdien af køling; dette skyldes, at køling opgøres negativt i BSim. For eksemplet i tabel 5.3 er der tale om en realisering uden et energiforbrug til køling. Ligesom maksimumsværdien for varmekonsumet kan mindsteværdien for køleforbruget benyttes som en retningslinje, men ikke til egentlig dimensionering af anlægget.

Til vurdering af det termiske indeklima for hver enkelt realisering kan antallet af timer, den operative temperatur overstiger eksempelvis 26 °C anvendes. Tilsvarende kan det atmosfæriske indeklima evalueres ved antal timer over en given CO₂-koncentration.

Det bemærkes, at eksemplerne beskrevet i det ovenstående kun er et uddrag og at der med applikationens nuværende stand er mulighed for at anvende de førnævnte funktioner til at evaluere på følgende parametre:

- Solindstråling i zone
- Lufttemperatur i zone
- Operativ temperatur i zone
- Relativ luftfugtighed i zone
- CO₂-koncentration i zone
- Luftskefte
- Varme- og kølegenvinding
- Solindstråling i zone
- Dagslysilluminans
- Kunstig belysningsilluminans
- El til belysning
- El til ventilator
- El til apparatur
- Varmebehov
- Kølebehov
- Aktiveringsgrad af solafskærmning
- Skyggedannelse på vindue

Ovenstående parametre eksporteres gennem simuleringmakroen, fordi de gennem opsætningen af inputfilerne er blevet defineret som en parameterliste.

De beskrevne funktioner giver mulighed for at kunne præsentere resultaterne for ønskede evalueringskriterier i Excel-arket for hver gennemført realisering. Med baggrund i det ovenstående udfylder applikationen en output-matrix som vist i tabel 5.4. Output-matricen kan anvendes til den reelle resultatbehandling af parametervariationerne herunder også en visualisering af resultaterne gennem de tidligere beskrevne parallelkoordinat-plot; denne visualisering er dog ikke implementeret i applikationen og er derfor heller ikke vist her.

hr > 26 °C [h]	Varmeforbrug [kWh/m ²]	Køleforbrug [kWh/m ²]	Nom. varme [W/m ²]	Nom. køl [W/m ²]
658	1,16	0	4,03	0
660	0,09	0	2,80	0
0	43,00	-0,00	11,78	-2,75
937	0	0	0	0
391	20,68	0	23,16	0
11	0,91	-3,60	4,02	-15,34
594	6,13	0	10,34	0
0	0,21	-4,34	2,61	-31,23
192	14,34	0	12,56	0
1234	0,05	0	1,98	0
4	0	-3,53	0	-20,56

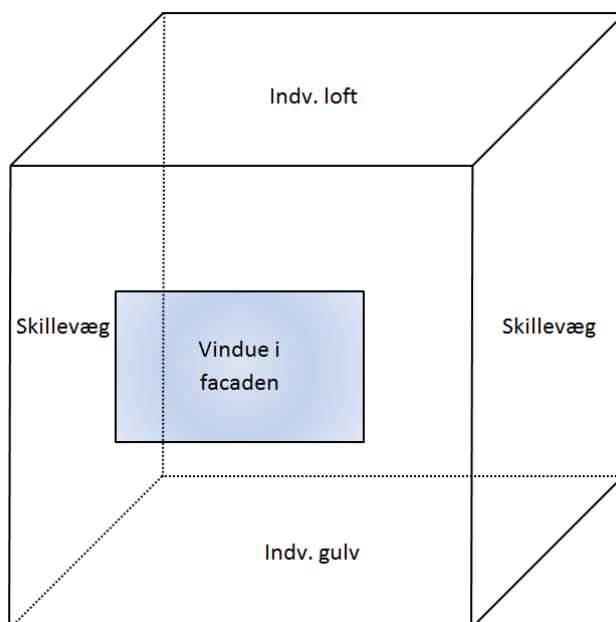
Tabel 5.4. Udsnit af output-matrix for 11 realiseringer.

Afprøvning af metodik 6

I dette kapitel afprøves dele af den i kapitel 2 beskrevne metodik; til dette anvendes den udarbejdede applikation på en simpel geometrisk bygningsmodel, hvor der foretages en parametervariation af hoveddelen af designparametrene i modellen. I forbindelse med afprøvningen foretages der desuden fejlfinding af applikationen og der foretages hhv. en Morris screening og en Pearson's r -analyse med henblik på at frasortere insignifikante parametre til designanalysen. Derudover opstilles der to metamodeller for modellens kølebehov.

6.1 Beskrivelse af modellen

Afprøvningen bygger på en såkaldt shoebox-model, der helt simpelt er en firkantet kasse. I dette tilfælde tages der udgangspunkt i et firkantet rum med én ydervæg mod det fri, hvori der er placeret et vindue. Alle øvrige flader (gulv, skillevægge og loft) vender mod rummets termiske zone, hvormed de interne konstruktioners centerlinjer antager adiabatisk grænseflader; modellen er illustreret på figur 6.1. Det antages, at rummet benyttes som kontor.

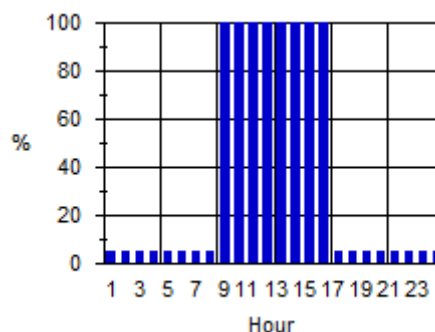
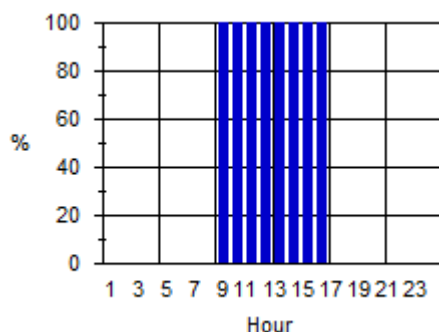


Figur 6.1. Simpel model, hvor rummet kun har én ydervæg; de øvrige vægge samt gulv og loft vender mod rummets termiske zone.

Udover ovennævnte beskrivelse og antagelsen om, at der er tale om et kontor, er mange parametre ukendte. Dermed er modellen forholdsvis generel, hvilket betyder, at de udførte simuleringer sammen med deres resultater kan gemmes og bruges igen, hvis der senere opstår behov for at designe et lignende rum. Ulempen ved den generelle model er, at det er nødvendigt med flere simuleringer, da designområdet er tilsvarende større og dermed kræver flere realiseringer.

Ved udførsel af parametervariationerne gælder følgende forudsætninger:

- Som vejrfil benyttes den danske vejrfil DRY 2013.
- Varme- og køleanlæg er aktive året rundt. Ydelserne er sat højt for at sikre, at de er tilstrækkelige og for at kunne bestemme den nominelle effekt. Det bemærkes, at ikke alle realiseringer nødvendigvis indeholder køling.
- Variationer i interne belastninger (personer og apparatur) varieres i to trin, svarende til i brugstiden og uden for brugstiden, hvilket er illustreret på figurer 6.2 og 6.3.



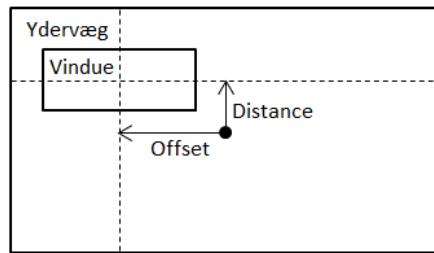
Figur 6.2. Personbelastning i afprøvningen. **Figur 6.3.** Apparaturbelastning i afprøvningen.

I det følgende afsnit defineres de parametervariationer, der er fastsat til at definere designområdet for modellen.

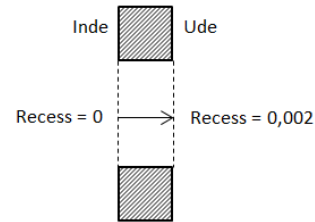
6.2 Parametervariationer

Hver af de ubestemte parametre varieres enten uniformt (inden for et givent interval) eller diskret (mellem givne værdier). Tabel 6.1 angiver de parametre, der varieres, deres benævnelse ved nummer, variation og grundlaget for variationen. Fastsettelsen af variationerne er beskrevet nærmere i bilag B.

I tabellen henviser referencepunktet til det punkt i bygningsmodellen, hvor sollysfaktorerne bestemmes. Vinduesparametrene offset, distance og recess angiver dels vinduets placering i ydervæggen og rudens tilbagetrækning fra ydervæggens yderside, hvilket er illustreret i figurer 6.4 og 6.5.



Figur 6.4. Distance og offset angives relativt i forhold til facadens midtpunkt.



Figur 6.5. Recess beskriver rudens tilbagetrækning fra facadens yderside.

Parameter	Nummer	Enhed	Variation	Grundlag
Bygningsklasse	1	[-]	BR15 ; BK20	BR15
Indeklimakategori	2	[-]	I ; II, III	DS/EN 15251
Afgasning	3	[-]	I ; II ; III	DS/EN 15251
Persontæthed	4	[pers/m ²]	[0,04; 0,5]	Skøn
Rum, bredde	5	[m]	[2,5; 15,0]	Skøn
Rum, dybde	6	[m]	[2,5; 15,0]	Skøn
Rum, højde	7	[m]	[2,5; 5,0]	Arbejdstilsynet, skøn
Ydervæg, eff. varmekapacitet	8	[-]	Let ; middel ; tung	Skøn
Skillevæg, eff. varmekapacitet	9	[-]	Let ; middel ; tung	Skøn
Rude, U-værdi	10	[W/m ² K]	[0,48; 1,3]	Velfac
Maling, udvendig	11	[-]	Hvid ; grå nuancer ; sorte nuancer	Skøn
Maling, indvendig	12	[-]	Hvid ; grå nuancer ; sorte nuancer	Skøn
Loft, eff. varmekapacitet	13	[-]	Let ; middel ; tung	Skøn
Gulv, eff. varmekapacitet	14	[-]	Let ; middel ; tung	Skøn
Referencepunkt, x	15	[%]	[0,05; 0,95]	Skøn
Referencepunkt, y	16	[%]	[0,05; 0,95]	Skøn
Referencepunkt, z	17	[m]	[0,6; 0,9]	Skøn
Afskærmning, max sun	18	[W/m ²]	[10; 1000]	Skøn
Vindue, relativ højde	19	[-]	[0,10; 0,90]	Skøn
Vindue, relativ bredde	20	[-]	[0,10; 0,90]	Skøn
Vindue, offset	21	[-]	[0,05; 0,95]	Skøn
Vindue, distance	22	[-]	[0,05; 0,95]	Skøn
Udhæng	23	[m]	[0; 10]	Skøn
Afskærmning, dead band	24	[W/m ²]	[0; 200]	Skøn
Afskærmningsfaktor	25	[-]	[0,1; 0,9]	Skøn
Afskærmning, placering	26	[-]	Intern ; ekstern	
Afskærmning, reflektans	27	[-]	[0,1; 0,9]	Skøn
Brugstid, start	28	[hh:mm]	5:00 ; 6:00 ; 7:00 ; 8:00 ; 9:00 ; 10:00	Skøn
Brugstid, længde	29	[h]	[4; 12]	Skøn
Ventilation, type	30	[-]	CAV ; VAV	
Køling, type	31	[-]	Ingen ; mekanisk ; frikøling	
Aktivitetesniveau	32	[W/pers]	100 ; 120 ; 170	Skøn
Ventilation, SEL	33	[J/m ³]	[750; 2100]	BR15, skøn
Ventilation, VGV	34	[-]	[0,63; 0,95]	BR15, skøn
Ventilation, luftmængde	35	[L/sm ²]; [h ⁻¹]	[0,3; 8]	BR15, DS/EN 15251, skøn
Apparatur, aktiv	36	[W/m ²]	[8; 25]	Skøn
Apparatur, standby	37	[%]	[0; 5]	Skøn
Belysning, lysstyrke	38	[lux]	[200; 750]	DS/EN 12464-1
Belysning, standby	39	[%]	[0; 5]	Skøn
Belysning, effektivitet	40	[lm/W]	[50; 85]	BR15, skøn
Opvarmning, setpunkt	41	[°C]	20,0 ; 21,0 ; 22,0	Skøn
Køling, setpunkt	42	[°C]	23,0 ; 24,0 ; 25,0 ; 26,0	Skøn
SF4	43	[-]	[0; 2,5]	Skøn
Vindue, recess	44	[-]	0; 0,002	Skøn
Sidfin, højre	45	[m]	[0; 10]	Skøn
Sidfin, venstre	46	[m]	[0; 10]	Skøn
Afskærmning, aktiv	47	[-]	Ja ; nej	
Orientering	48	[°]	0 ; 90 ; 180 ; 270	Velfac
Rude, g-værdi	49	[-]	[0,23; 0,62]	Velfac
Rude, Lt-værdi	50	[-]	[0,45; 0,8]	Skøn
Ydervæg, U-værdi	51	[W/m ² K]	[0,09; 0,30]	BR15, skøn

Tabel 6.1. Parametervariationer til definition af designområdet for modellen.

Intervallerne for parametervariationerne bærer generelt set præg af, at spændende er vidtrækkende; dette skyldes ønsket om at holde det generelt. Applikationen benyttes til at generere BSim-inputfiler baseret på de angivne parametervariationer samt til at køre simuleringerne. Efter gennemførsel af simuleringerne udtrækkes værdier af inputparametre og output for hver enkelt inputfil som beskrevet i kapitel 5. Disse data bruges herefter til at udføre en såkaldt Morris screening.

6.3 Morris screening

Med ønsket om effektivt at kunne udforske designområdet vil det være relevant at frasortere eventuelle insignifikante parametre, da dette afhjælper den høje dimensionalitet af designområdet, hvormed udforskningen af designområdet kan effektiviseres. Til dette anvendes Morris screening, der bestemmer parametersensitiviteterne μ^* og σ baseret på elementareffekterne, der beregnes for r baner for hver parameter; metoden er yderligere beskrevet i bilag D.

Derudover anvendes Morris screeningen i dette projekt til fejlfinding af applikationen, idet intuitivt forkerte μ^* -værdier er blevet undersøgt. I forbindelse med fejlfindingen blev der blandt andet fundet og udbedret fejl for følgende parametre:

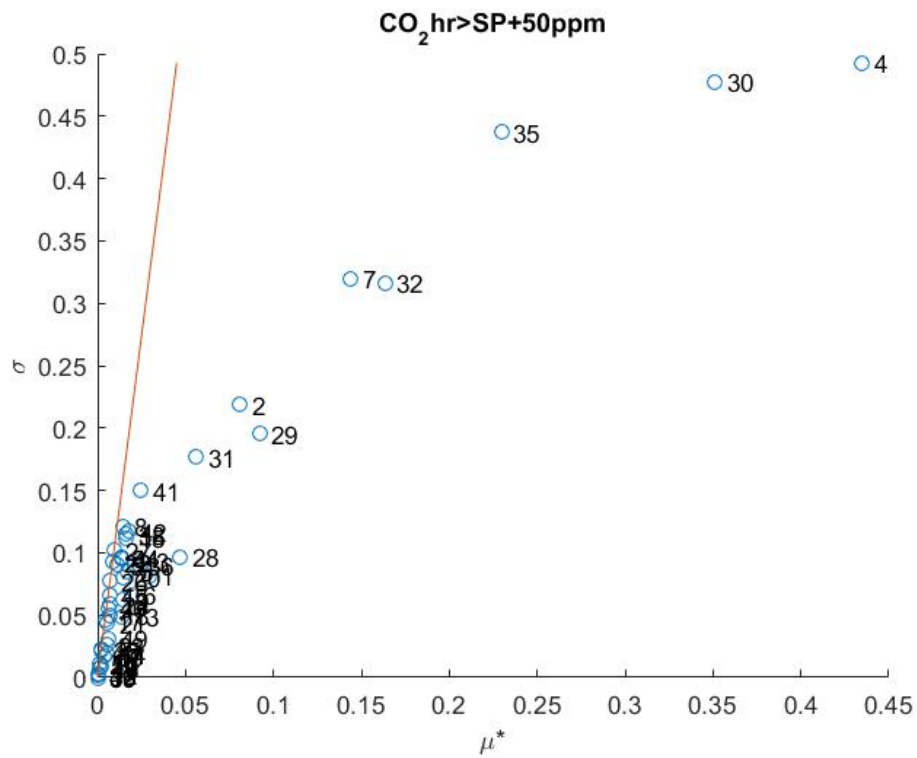
- Maling, indvendig
- Udhæng
- Sidefinner
- Dayprofile regulering

Ved den udførte Morris screening er diskretiseringen, p , sat til 12, grundet diskretiseringen af inputparametre på hhv. 3, 4 og 6 trin. Sensitivitetsindeksene, μ^* og σ baseres på 6240 realiseringer, idet antallet af baner, r , sættes til 120 og antallet af parametre, n , er 51.

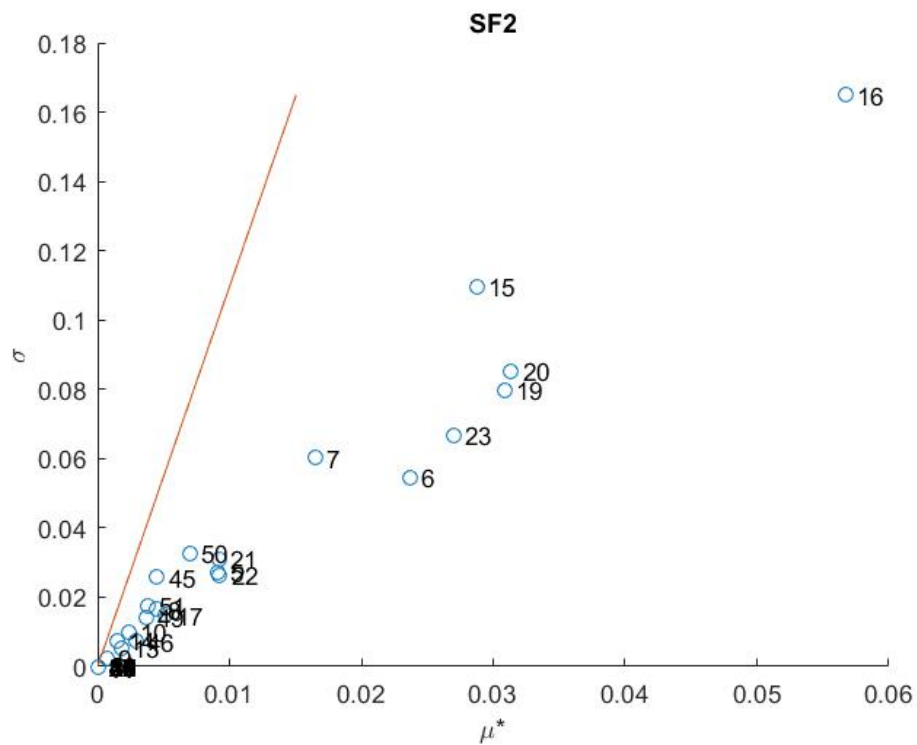
Morris screeningen udføres i forhold til følgende evalueringsparametre:

- Energiforbrug til opvarmning og køling
- Nominel varme- og køleydelse
- Antal timer med temperaturer over henholdsvis 26 °C, 27 °C og 28 °C
- Antal timer med CO₂-koncentrationer over det aktuelle setpunkt plus 50 ppm
- Solfaktorerne SF1, SF2 og SF3 svarende til henholdsvis lyset fra solen, lyset fra himlen og lys reflekteret udefra

Figurer 6.6 og 6.7 afbilder for to udvalgte evalueringsparametre μ^* sammen med σ , hvoraf sidstnævnte fortæller noget om graden af ikke-linearitet eller interaktioner mellem parametrene. Parametrene er numereret i henhold til tabel 6.1. Tilsvarende figurer for de resterende evalueringsparametre er vedlagt i bilag E.6.



Figur 6.6. Morris screening for timer med CO₂-koncentrationer over aktuelt setpunkt plus 50 ppm.



Figur 6.7. Morris screening for sollysfaktoren SF2 svarende til lys fra himlen.

Som det fremgår af de to ovenstående figurer, kan der være stor forskel på, hvor mange og hvilke parametre, der er vigtige for de forskellige evalueringsparametre. Derudover fremgår det af figur 6.6, at parametre, der umiddelbart har en lav μ^* -værdi, hvilket indikerer lav indflydelse på evalueringsparameteren, kan have en forholdsvis høj grad af interaktioner med andre parametre eller ulinearitet, hvilket indikeres af en høj σ -værdi. Den røde linje i diagrammerne svarer til '*Standard Error of Mean*' (SEM), der anvendes som retningslinje til at vurdere graden af interaktioner eller ulinearitet. Derfor kan der eventuelt være grund til ikke at frasortere nogle parametre med lave μ^* -værdier, fordi deres σ -værdier er høje.

Ud fra den udførte Morris screening udføres en sortering af parametrene med henblik på at reducere antallet af parametre. Sorteringen udføres som foreslået af Østergaard [2016], hvormed inputparametrene rangeres på baggrund af μ^* -værdierne for hver evalueringsparameter. Herefter findes parametrenes vægt, SA_{Morris} , der beregnes som beskrevet i bilag D. Sorteringsproceduren bør anvendes med forbehold, fordi Morris er en kvalitativ metode. For hver evalueringsparameter frasorteres de parametre, der ikke er med i de øverste $\sim 90\%$, hvilket er illustreret i figur 6.8 i forhold til energiforbruget til køling. Den udførte sortering for alle evalueringsparametre er vedlagt i bilag E.6.

Efter sorteringen er gennemført for hver evalueringsparameter samles alle de sensitive parametre på én fælles liste. De øvrige parametre vurderes at have en insignifikant indflydelse på de evaluerede parametre, hvorfor de blot kan fastsættes til en tilfældig værdi inden for deres respektive designområder. Baseret på Morris screeningen vurderes det, at 41 parametre har væsentlig indflydelse på de valgte evalueringsparametre; de øvrige 10 parametre har kun en lille betydning. Tabel 6.2 angiver, hvilke parametre, der vurderes at være sensitive og hvilke, der kan sorteres fra. På trods af sorteringsproceduren vælges det at bibeholde variationerne for parametrene med numrene 25, 45, 46 og 47 svarende til henholdsvis afskærmningsfaktoren, højre og venstre sidefin samt, hvorvidt solafskærmningen er aktiveret eller ej; disse parametre er markeret med grøn i tabellen for at indikere, at de ikke fastsættes som følge af Morris screeningen.

Parameter	μ^*	SA_{Morris}	$\Sigma SA_{\text{Morris}}$ fra bunden
		[%]	[%]
Køling, type	0,2510	27,70	100,00
Brugstid, længde	0,0846	9,34	72,30
Persontæthed	0,0596	6,58	62,96
Ventilation, type	0,0573	6,32	56,38
Køling, setpunkt	0,0449	4,96	50,06
Aktivitetsniveau	0,0374	4,13	45,11
Ventilation, luftmængde	0,0348	3,84	40,97
Rum, dybde	0,0342	3,78	37,13
Apparatur, aktiv	0,0303	3,35	33,35
Vindue, relativ højde	0,0234	2,58	30,01
Vindue, relativ bredde	0,0218	2,41	27,43
Rum, højde	0,0207	2,29	25,02
Rude, g-værdi	0,0161	1,77	22,73
Indeklimakategori	0,0159	1,75	20,96
Afgasning	0,0153	1,69	19,21
Rum, bredde	0,0134	1,48	17,51
Loft, eff. varmekapacitet	0,0124	1,37	16,03
Ydervæg, U-værdi	0,0118	1,31	14,67
Skillevæg, eff. varmekapacitet	0,0103	1,14	13,36
Belysning, effektivitet	0,0088	0,97	12,22
Udhæng	0,0085	0,94	11,25
Afskærmning, max sun	0,0079	0,88	10,31
Opvarmning, setpunkt	0,0073	0,81	9,44
Rude, U-værdi	0,0070	0,77	8,62
Gulv, eff. varmekapacitet	0,0066	0,72	7,86
Apparatur, standby	0,0065	0,72	7,13
Belysning, lysstyrke	0,0064	0,71	6,41
Vindue, recess	0,0055	0,61	5,71
Orientering	0,0051	0,57	5,10
Afskærmning, aktiv	0,0050	0,55	4,53
Brugstid, start	0,0048	0,53	3,98
Ydervæg, eff. varmekapacitet	0,0041	0,45	3,45
Bygningsklasse	0,0039	0,43	3,00
Afskærmningsfaktor	0,0037	0,41	2,57
Rude, Lt-værdi	0,0035	0,39	2,16
Ventilation, VGV	0,0029	0,32	1,77
SF4	0,0022	0,25	1,45
Vindue, offset	0,0017	0,18	1,20
Ventilation, SEL	0,0016	0,18	1,02
Referencepunkt, y	0,0016	0,18	0,84
Afskærmning, dead band	0,0015	0,17	0,66
Sidefin, venstre	0,0014	0,16	0,49
Sidefin, højre	0,0008	0,09	0,33
Referencepunkt, x	0,0007	0,08	0,25
Maling, udvendig	0,0006	0,06	0,17
Maling, indvendig	0,0006	0,06	0,10
Vindue, distance	0,0002	0,02	0,04
Referencepunkt, z	0,0001	0,01	0,01
Belysning, standby	0,0000	0,00	0,00
Afskærmning, placering	0,0000	0,00	0,00
Afskærmning, reflektans	0,0000	0,00	0,00
Sum	0,9061		

De øverste 90 % af den summerede vægt.
Disse parametre vurderes at være af
væsentlig betydning for det givne output.

De nederste 10 % af den summerede vægt.
Disse parametre vurderes at være uden væsentlig
betydning for det givne output og de frasorteres.

Figur 6.8. Sortering af parametre for køling.

Det vælges at bibeholde variationerne for, hvorvidt solafskærmningen er aktiv eller ej samt afskærmningsfaktoren, fordi disse parametre er en del af en relativt stor gruppe parametre, der tilsammen beskriver solafskærmningen. Solafskærmningens samlede indflydelse kan kun vurderes ved fortsat at variere på alle parametrene. Dog var μ^* -værdierne for

solafskærmningens placering, dead band og reflektans væsentlig lavere end for de øvrige parametre vedrørende afskærmning, hvorfor det vurderes, at disse stadig godt kan sorteres fra.

Valget om at bibeholde variationer af sidefinnerne begrundes med, at disse har betydning for dagslyset i form af SF-faktorerne, hvorfor det vurderes, at disse ikke nødvendigvis kan negligeres på trods af resultaterne af sorteringsproceduren.

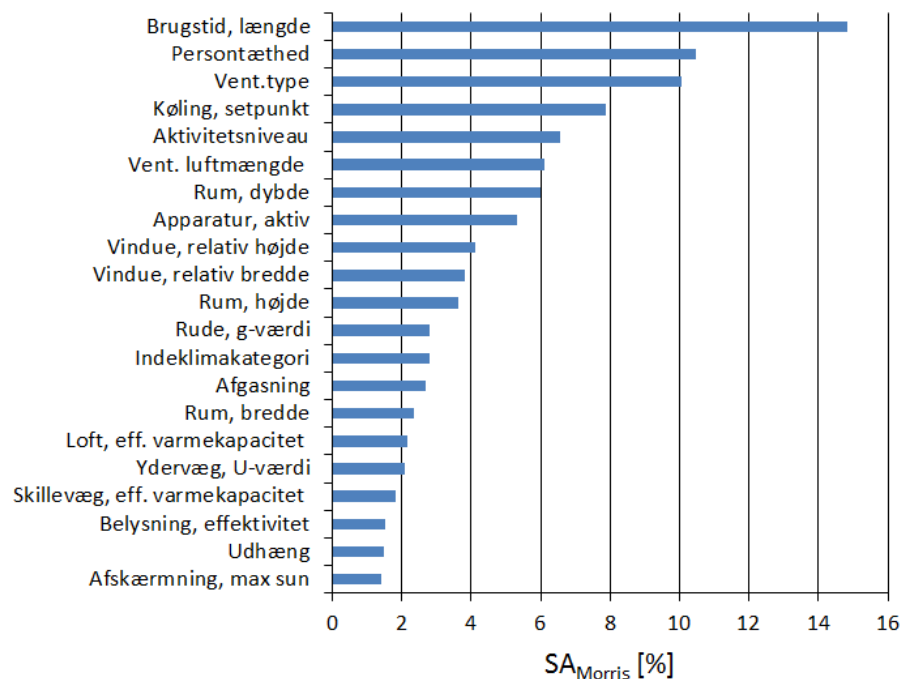
Sensitive parametre		Frasorterede parametre	
1	Bygningsklasse	11	Maling, udvendig
2	Indeklimakategori	24	Afskærmning, dead band
3	Afgasning	25	Afskærmningsfaktor
4	Persontæthed	26	Afskærmning, placering
5	Rum, bredde	27	Afskærmning, reflektans
6	Rum, dybde	33	Ventilation, SEL
7	Rum, højde	39	Belysning, standby
8	Ydervæg, eff. varmekapacitet	45	Sidefin, højre
9	Skillevæg, eff. varmekapacitet	46	Sidefin, venstre
10	Vindue, U-værdi	47	Afskærmning, aktiv
12	Maling, indvendig		
13	Loft, eff. varmekapacitet		
14	Gulv, eff. varmekapacitet		
15	Referencepunkt, x		
16	Referencepunkt, y		
17	Referencepunkt, z		
18	Afskærmning, max sun		
19	Vindue, relativ bredde		
20	Vindue, relativ højde		
21	Vindue, offset		
22	Vindue, distance		
23	Udhæng		
28	Brugstid, start		
29	Brugstid, længde		
30	Ventilation, type		
31	Køling, type		
32	Aktivitetsniveau		
34	Ventilation, VGV		
35	Ventilation, luftmængde		
36	Apparatur, aktiv		
37	Apparatur, standby		
38	Belysning, lysstyrke		
40	Belysning, effektivitet		
41	Opvarmning, setpunkt		
42	Køling, setpunkt		
43	SF4		
44	Vindue, recess		
48	Orientering		
49	Vindue, g-værdi		
50	Vindue, Lt-værdi		
51	Ydervæg, U-værdi		

Tabel 6.2. Parametre, der i henhold til den udførte Morris screening vurderes at være henholdsvis sensitive eller insignifikante. Det er valgt at beholde variationerne for de frasorterede parametre markeret med grøn.

Efter sortering og vurdering af de 51 parametre er antallet reduceret til 45. Dermed har Morris screeningen haft nogen effekt i forhold til at reducere antallet af parametre, omend effekten har været beskednen.

Det bemærkes, at de 45 parametre, der samlet set vurderes at være vigtige, er i forhold til alle de 11 angivne evalueringsparametre. Hvis det kun ønskes at vurdere bygningens ydelse i forhold til en enkelt evalueringsparameter, benyttes udelukkende de parametre, der vurderes at være vigtige for den specifikke parameter.

Figur 6.9 illustrerer parametersensitiviteten for de vigtige parametre i forhold til energiforbruget til køling. I dette eksempel er der udelukkende taget udgangspunkt i realiseringer med mekanisk køling, da det ikke giver mening at forsøge at estimere kølebehovet ved hjælp af realiseringer helt uden køling eller med frikøling. Dermed indgår typen af køling heller ikke som parameter, hvorfor antallet af parametre nu er nede på 21. Parametrene er rangeret således, at parametersensitiviteten stiger op ad den lodrette akse.



Figur 6.9. Rangerede parametersensitiviteter baseret på Morris screeningen i forhold til energiforbruget til køling.

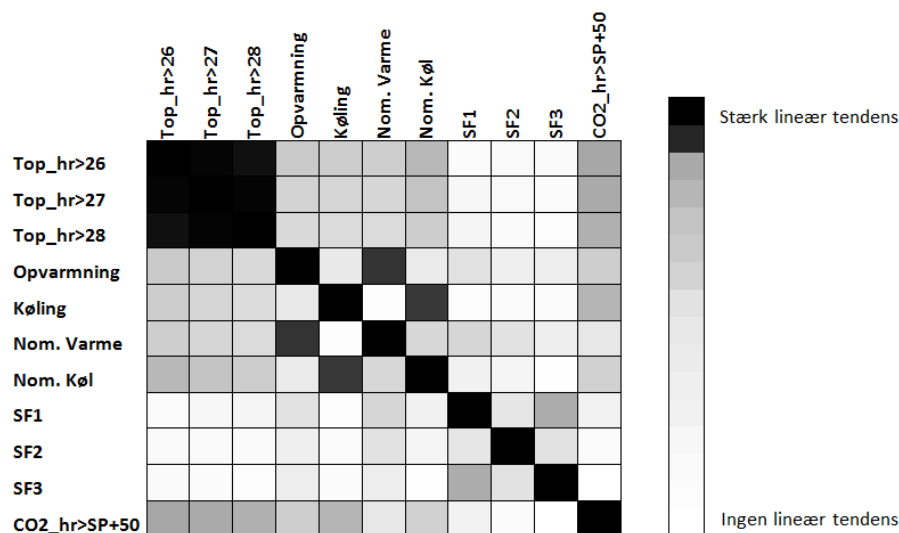
Efter frasortering af inputparametre ved hjælp af Morris screening undersøges det i næste afsnit, om antallet af evalueringsparametre ligeledes kan reduceres.

6.4 Pearson's r -analyse

På baggrund af Pearson's r , der er beskrevet i bilag D, undersøges det her, hvorvidt antallet af evalueringsparametre kan reduceres. Fordelen ved at reducere antallet af parametre er de færre parametre, der skal tages stilling til for aktørerne i designprocessen. Desuden giver et reduceret antal evalueringsparametre mulighed for at inkludere flere inputparametre i det enkelte parallelkoordinat-plot, før antallet af plottede parametre bliver så højt, at plottet bliver uoverskueligt.

Som beskrevet ved Morris screeningen tages der i denne rapport udgangspunkt i 11 evalueringsparametre. Baseret på realiseringerne udført til Morris screeningen beregnes Pearson's r for de 11 evalueringsparametre i forhold til hinanden. Hvis der er stærke relationer mellem flere af parametrene, kan antallet reduceres.

Resultaterne af en beregning af Pearson's r for de 11 evalueringsparametre er illustreret i figur 6.10, hvor hvid angiver de laveste værdier og sort angiver de højeste værdier. Det noteres, at figuren ikke indikerer, hvorvidt den lineære relation mellem to parametre er positiv eller negativ, figuren viser blot styrken af relationen. Derudover bemærkes det, at Pearson's r på diagonalen antager værdien én, da relationen mellem to ens parametre er perfekt lineær.



Figur 6.10. Illustration af styrken af de lineære tendenser mellem evalueringsparametrene.

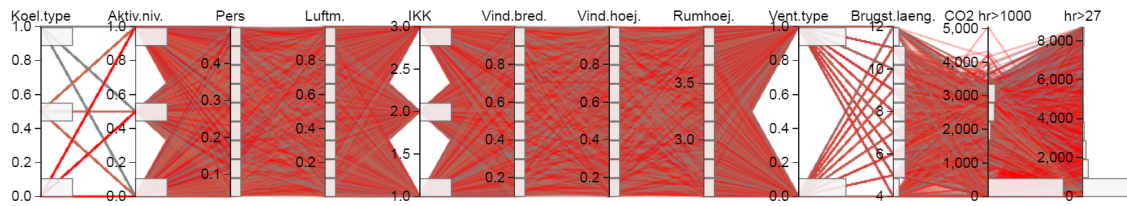
Baseret på dataene fundet ved Pearson's r vurderes det, at antal timer med overtemperaturer kan evalueres med én parameter frem for tre. Derudover kan opvarmning og køling evalueres ved enten energiforbruget eller den nominelle ydelse. Der ses ingen stærke tendenser for sollysfaktorerne. Som resultat af Pearson's r vurderes det, at antallet af evalueringsparametre kan reduceres fra 11 til syv.

Efter reducere af antallet af parametre, er der nu samlet set 45 inputparametre og syv evalueringsparametre. Der præsenteres i det følgende to udvalgte evalueringsparametre sammen med deres respektive ni vigtigste inputparametre.

6.5 Parallelkoordinat-plot (PKP)

I det følgende præsenteres parallelkoordinat-plot med de ni vigtigste inputparametre i forhold til det termiske og atmosfæriske indeklima på hhv. $hr>27^{\circ}\text{C}$ og $hr>1000\text{ppm}$. I figur 6.11 er de førbeskrevne input- og evalueringsparametre vist; det bemærkes, at der endnu ikke er tilføjet nogen filtre for parametrene. Der er i figuren inkluderet 25 000 BSim simuleringer, som hver er repræsenteret med en streg.

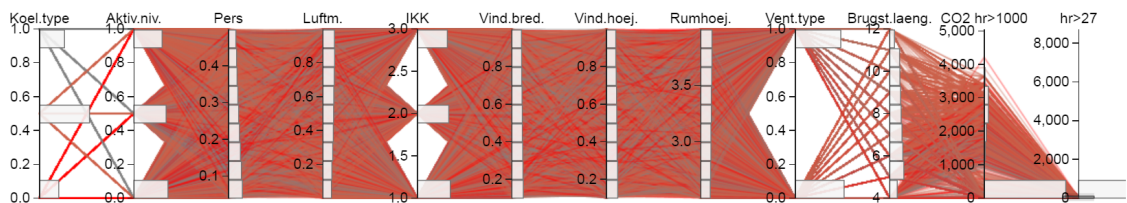
Af histogrammerne fremgår det, at alle inputparametrene er jævnt fordelte over deres respektive spænd med undtagelse af brugstiden, hvor der ved den øvre og nedre grænse er færre realiseringer. Ujævnhederne tilskrives, at brugstiden diskretiseres anderledes end de angivne histogrammer og der ved grænserne derfor ikke medtages lige så mange trin.



Figur 6.11. PKP uden filtre.

Der er i figur 6.12 tilføjet et kriterie for det termiske indeklima på maks. 25 hr>27°C. Der er ved at tilføje filteret reduceret til 53,4% af det oprindelige antal realiseringer. Heraf fremgår det, at køletypen med mekanisk køling (0,5) har en stor overvægt af realiseringerne. Derudover fremgår, at følgende tendenser er gunstige:

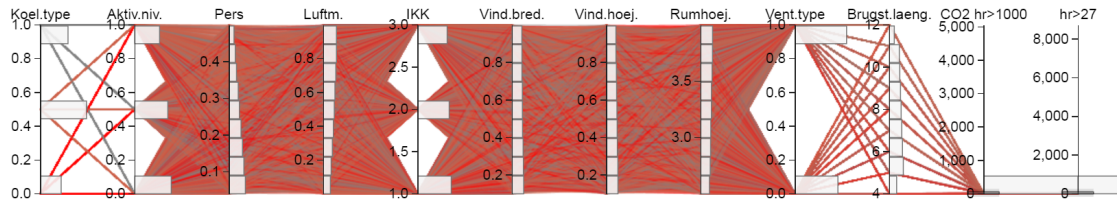
- Lavere aktivitetsniveau
- Lavere persontæthed
- Højere luftmængde
- Højere rumhøjde
- Kortere brugstid



Figur 6.12. PKP med filter på termisk indeklima.

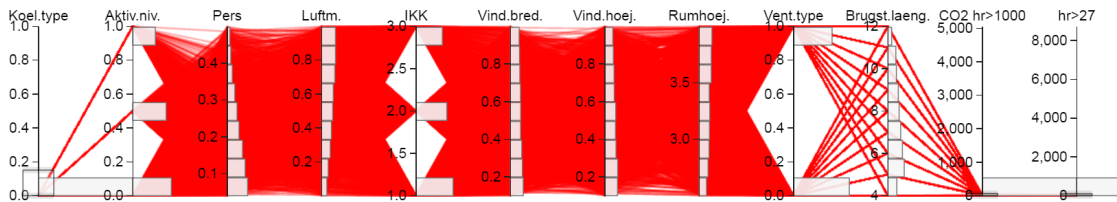
I figur 6.13 er der yderligere tilføjet et kriterie for det atmosfæriske indeklima på maks. 200 hr>1000 ppm. Ved at tilføje kriteriet ændres tendenserne ikke nævneværdigt med undtagelse af ventilationstypen; derudover reduceres tilbageværende realiseringer til 45,4%, hvilket ikke er en markant reduktion.

Det fremgår af figuren, at det er gunstigt med VAV-anlæg (1). Denne tendens kan dog ikke umiddelbart forklares, da der ikke er forskel på den maksimale luftmængde ved de ventilationstyper, idet de begge udregnes i forhold til luftmængden. Forskellen på de to ventilationstyper er udelukkende minimumsventilationsmængden, hvor CAV-anlægget konstant yder den maksimale luftmængde. Et bud på denne tendens kan være afrundingsfejl. Den maksimale luftmængde udregnes for VAV-anlægget i BSim ved at multiplicere minimumsluftmængden med 'vav_max_faktor'. Minimumsluftmængden varierer i henhold til indeklimakategori og afgasning i størrelsesordenen 0,3-2 L/s m², hvor den maksimale luftmængde er op til 8 ACH, hvorfor en afrundingsfejl ikke kan udelukkes. En anden forklaring er, at samplingmetoden ikke har samlet jævnt; fejlen undersøges ikke nærmere i det følgende.



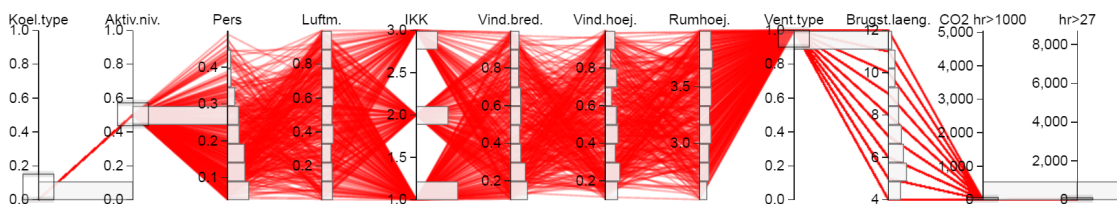
Figur 6.13. PKP med filter på termisk og atmosfærisk indeklima.

I figur 6.14 tilføjes et filter mere; her udelades alle realiseringer, som anvender frikøling (1) eller mekanisk køling (0,5), derved reduceres; de tilbageværende realiseringer til 11,86 % af de oprindelige realiseringer. Med undtagelse af ventilationstypen er samme tendenser som tidligere beskrevet stadig gældende, de er blot blevet forstærket. Det fremgår, at CAV-anlægget har flere realiseringer end VAV-anlægget. Dette er mere sandsynligt end den tidligere nævnte tendens for ventilationstypen, da CAV-anlægget konstant opererer med den nominelle ydelse, hvilket i perioder medfører nedkøling af bygningen uden for brugstiden, hvormed denne ventilationstype minder om frikøling.



Figur 6.14. PKP med filter på termisk og atmosfærisk indeklima, samt kølingstype.

Slutteligt sorteres der på aktivitetsniveauer svarende til 1,2 Met (0,5), som vist i figur 6.15 hvormed antallet af realiseringer der tilbage er 419 (1,4%) af de oprindelige 25.000 realiseringer. Af vindueshøjden fremgår desuden en atypisk tendens hvor der kommer flere 'indhak', som ikke uden videre kan forklares som værende 'sweet spots', hvilket indikerer, at denne del af designområdet ikke er fuldt udforsket.



Figur 6.15. PKP med filter på termisk og atmosfærisk indeklima, kølingstype og aktivitetsniveau.

Der er altså ved at tilføje filtre på fire hhv. input- og evalueringsparametre reduceret i antallet af realiseringer, således at de 25 000 BSim-simuleringer ikke længere dækker det undersøgte designområde tilstrækkeligt. Som nævnt i Morris screeningen blev det fundet, at der var 45 signifikante inputparametre i henhold til de medtagne evalueringsparametre. Den høje dimensionalitet gør, at der stadig kræves mange realiseringer for at afdække designområdet, hvilket vil være meget tidskrævende.

Det er derfor altid vigtigt at forsøge at afgrænse designområdet løbende i processen, således at der opnås en bedre afdækning af designområdet med færre realiseringer. Udover løbende at afgrænse designområdet ønskes det undersøgt, om det er muligt at anvende metamodeller til at effektiviserer udforskningen af designområdet.

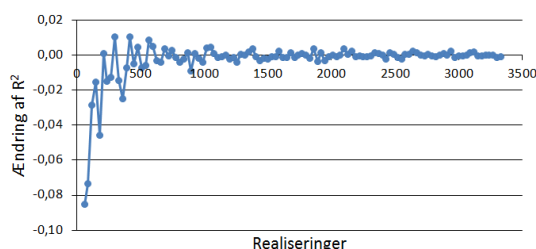
6.6 Metamodeller

I det følgende estimeres to metamodeller i forhold til energiforbruget til køling, henholdsvis SRC og SDP, der begge er beskrevet i bilag D. Idéen med en metamodel er at estimere en simpel model på baggrund af en avanceret model (her: BSim) med henblik på at kunne udføre beregninger hurtigere. Hvorvidt en god estimering af metamodelen er opnået eller ej vurderes ud fra modellens R^2 -værdi, der angiver, hvor stor en andel af de samlede variationer i modellens output, der skyldes variationer i de medtagne inputparametre.

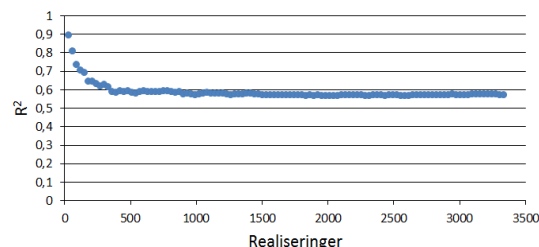
Metamodellerne estimeres på realiseringer, hvor alle 45 parametre varierer. Det er valgt på baggrund af Morris screeningen kun at medtage de 21 mest signifikante inputparametre for køling til metamodelen, svarende til $\sim 90\%$ af variationen jævnt før Morris sensitiviteterne, hvorfor det ikke forventes at opnå en R^2 -værdi højere end 0,9 for metamodelerne.

6.6.1 SRC

Først undersøges det, hvor mange realiseringer der kræves, for at metamodelen konvergerer. Figur 6.16 viser ændringen af modellens R^2 -værdi som funktion af antallet af realiseringer. Af figuren ses det, at modellen konvergerer efter ca. 1100 realiseringer, hvorefter R^2 ligger stabilt med kun en smule støj, hvilket vurderes at skyldes tendensen for Sobol sampling. Data fra SRC-modellen er vedlagt i bilag E.4.



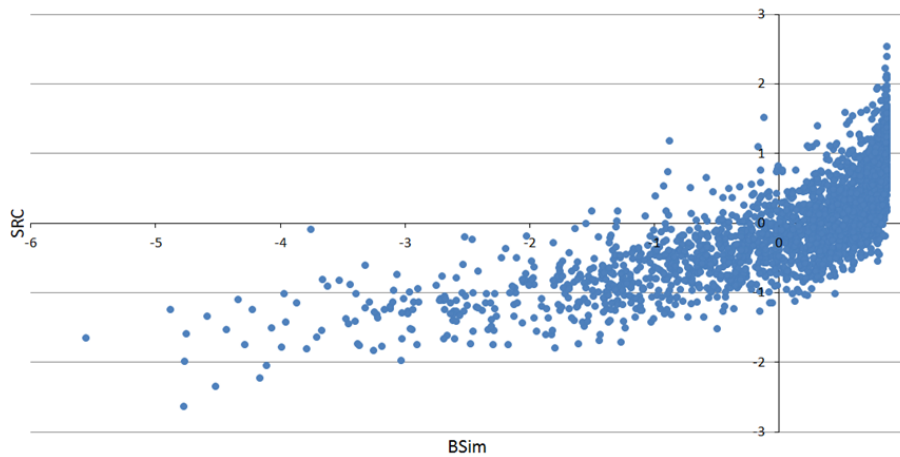
Figur 6.16. Konvergensanalyse for SRC metamodel for køling.



Figur 6.17. R^2 som funktion af antallet af realiseringer for SRC-modellen.

Af figur 6.17 fremgår det, at den konvergerede R^2 -værdi er på ca. 0,58, hvilket betyder, at 58 % af variationen i energiforbruget til køling kan forklares alene ved 1. ordenseffekter for de 21 inputparametre.

Figur 6.18 er yderligere med til at underbygge, at SRC-modellen ikke er en anvendelig emulator for BSim. Figuren viser et scatter plot med en sammenligning af resultater fundet med BSim og den konvergerede metamodel. Modellen er estimeret ud fra de 1080 realiseringer, der kræves, før den konvergerer. Figuren viser resultaterne af 2250 øvrige realiseringer. x -aksen angiver værdier fundet med BSim-modellen, hvorimod y -aksen angiver værdier fundet med metamodelen; det bemærkes, at der er brugt standardiserede værdier i figuren. Hvis modellen var perfekt, ville punkterne ligge på en ret linje med en hældning på én og et skæringspunkt med y -aksen på nul.

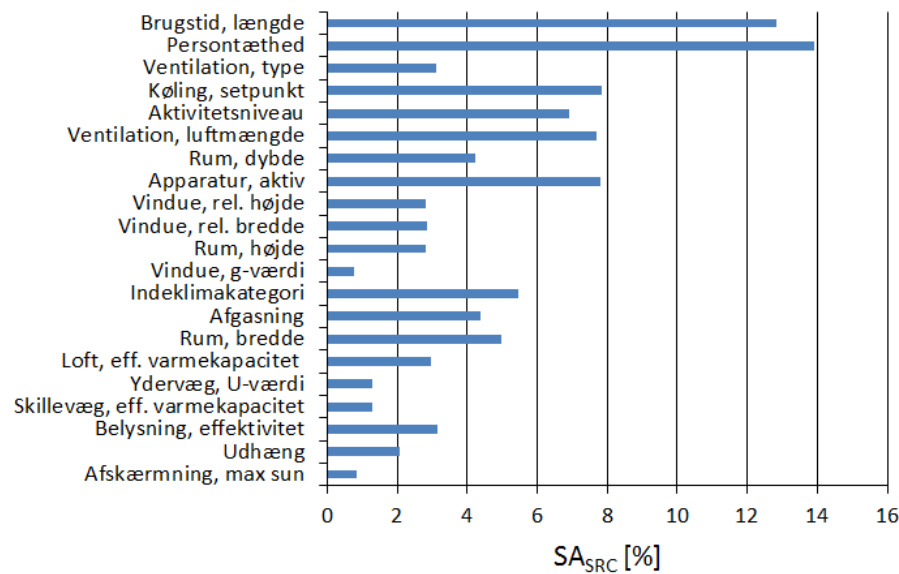


Figur 6.18. Validering af SRC metamodel for køling.

Det fremgår af den ovenstående figur, at punkterne ikke ligger på en ret linje, men nærmere på en kurve, hvilket indikerer, at BSim indeholder effekter af højere ordener. Den estimerede SRC-model er dermed ikke anvendelig som emulator for BSim.

For energiforbruget til køling fremgår det dog, at en konvergeret metamodel kan estimeres ud fra ca. 1100 realiseringer, der hver tager ca. 70 sekunder. Det bemærkes samtidigt, at SRC-modellen kun er baseret på 21 parametre svarende til ca. 90 % af den samlede variation i henhold til den udførte Morris screening. Derfor vil det ikke være muligt for den estimerede model at opnå en R^2 -værdi på mere end 0,9. Umiddelbart indikerer resultaterne, at brugen af metamodeller kan være en udemærket metode til at effektivisere undersøgelsen af hele designområdet; blot er det nødvendigt at bruge en metamodel, der er avanceret nok til at give en god estimation ift. BSim-modellen, men stadig er så simpel, at den er væsentligt hurtigere end BSim.

Parametersensitiviteterne for køling bestemt ud fra SRC-modellen er illustreret i figur 6.19 for de 21 inputparametre; i figuren er parametrene rangeret i samme orden som i figur 6.9, der viser parametersensitiviteterne bestemt ud fra Morris screening.



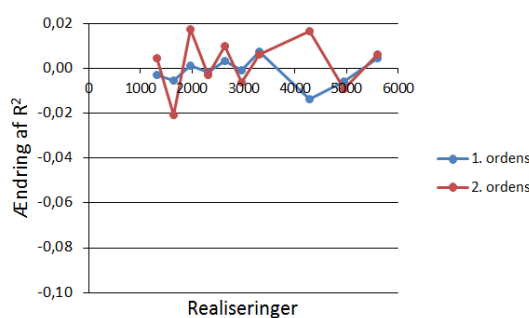
Figur 6.19. Parametersensitiviteter for de 21 parametre i forhold til energiforbruget til køling.

Af ovenstående figur fremgår det, at SRC metamodelen estimerer vigtigheden af parametrene anderledes end Morris screeningen, men flere af de vigtigste parametre for Morris er også vigtige for SRC.

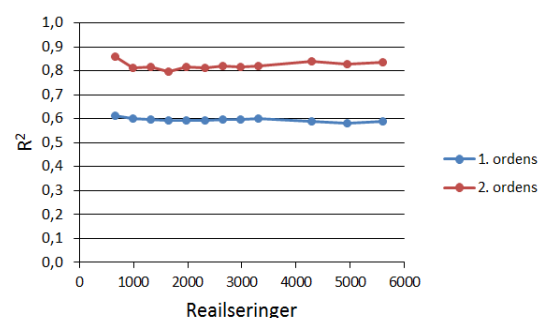
I det følgende afsnit undersøger det, hvor god en emulator en SDP metamodel, der inkluderer 2. ordenseffekterne, er for BSim.

6.6.2 SDP

Ligesom for SRC metamodelen undersøges det for SDP metamodelen, hvornår modellen konvergerer; ændringen af R^2 som funktion af antallet af realiseringer er vist i figur 6.20 for en SDP-model udelukkende med 1. ordenseffekter (blå) og en SDP-model, der også inkluderer 2. ordenseffekter (rød). Data for de to SDP-modeller er vedlagt i bilag E.3.



Figur 6.20. Konvergensanalyse for to SDP-modeller for energiforbruget til køling.

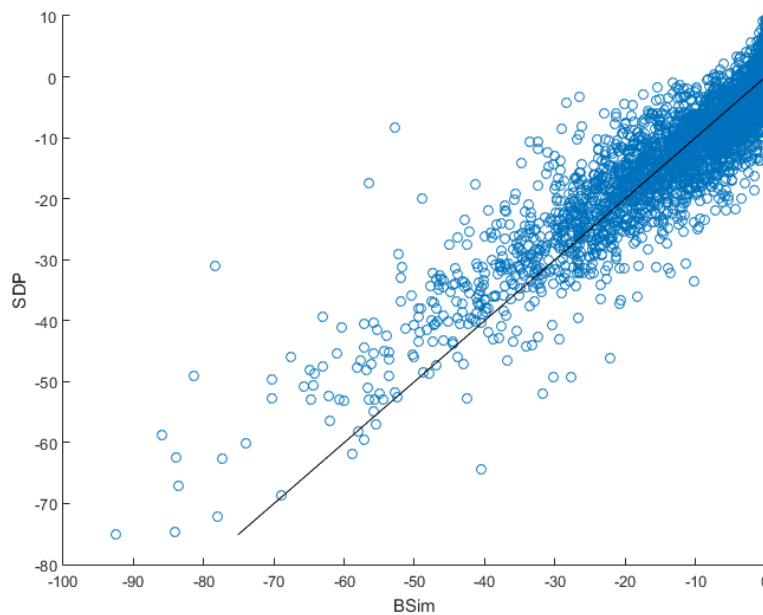


Figur 6.21. R^2 som funktion af antallet af realiseringer for begge SDP-modeller.

Af figur 6.20 fremgår det umiddelbart, at ingen af modellerne er konvergeret inden for det udførte antal realiseringer; en del af udsvingene forventes dog at skyldes tendensen for den anvendte Sobol-sampling.

Af figur 6.21 ses det, at R^2 -værdien ligger rimeligt stabilt for begge modeller. For modellen kun med 1. ordenseffekter ligger R^2 -værdien lige omkring 0,6, hvilket stemmer fint overens med den opnåede R^2 -værdi for SRC-modellen, der ligeledes kun medtager 1. ordenseffekter. Ved at tage 2. ordenseffekterne med ses det, at R^2 -værdien stiger til omkring 0,8. Der er altså tale om en væsentlig forbedring, idet det ligesom for SRC-modellen stadig ikke er muligt at opnå en R^2 -værdi på mere en 0,9.

Figur 6.22, der er tilsvarende figur 6.18 for SRC-modellen, er yderligere med til at underbygge, at SDP-modellen ikke er en anvendelig emulator for BSim.

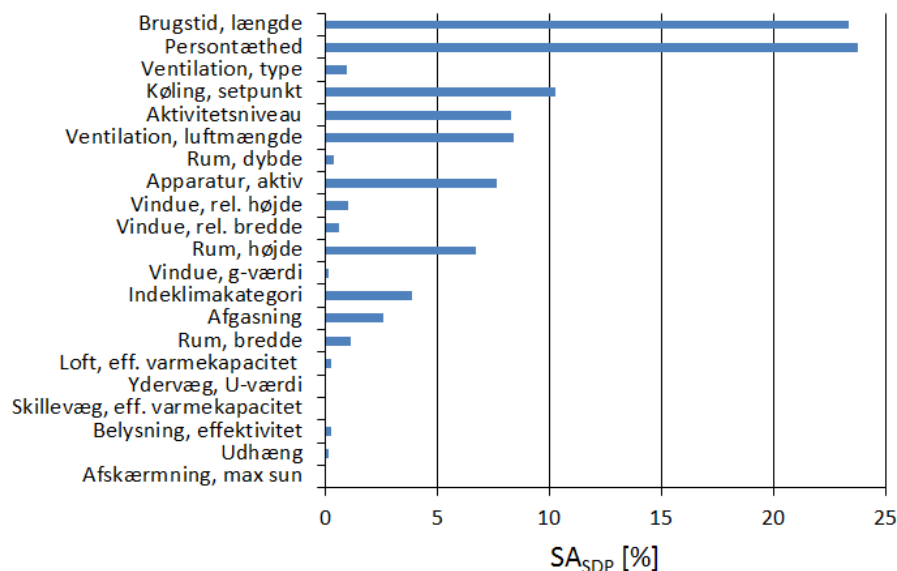


Figur 6.22. Validering af SDP-modellen, der inkluderer 2. ordenseffekter, for energiforbruget til køling.

Af den ovenstående figur fremgår det, at punkterne ikke ligger på en ret linje, omend der er en stærkere lineær tendens sammenlignet med den set for SRC-modellen. Ligesom for SRC-modellen ses det for SDP-modellen, at punkterne nærmere følger en kurve; i højre halvdel af figuren er der en overvægt af punkter under den indtegnede sorte linje, hvorimod der i venstre side er en overvægt af punkter over linjen. Selvom kurvetendensen er svagere end for SRC-modellen, tyder figuren på, at der er effekter af højere orden end de estimerede ordenseffekter.

Der er for 1. ordenseffekterne fra SDP-modellen udregnet parametersensitiviteter, som er illustreret i figur 6.23, hvor parametrene er listet i samme rækkefølge som de tilsvarende figurer for Morris og SRC. Af figuren fremgår det, at det ligesom for Morris og SRC er brugstidens længde og persontætheden, der er de mest sensitive parametre. Derudover er der uoverensstemmelser metoderne imellem. Blandt andet vurderer SDP-modellen, at der er tre parametre, der ikke er sensitive, idet deres sensitivitetsindeks er lig nul; disse er henholdsvis ydervæggens U-værdi, skillevæggens effektive varmekapacitet og max sun for afskærmningen.

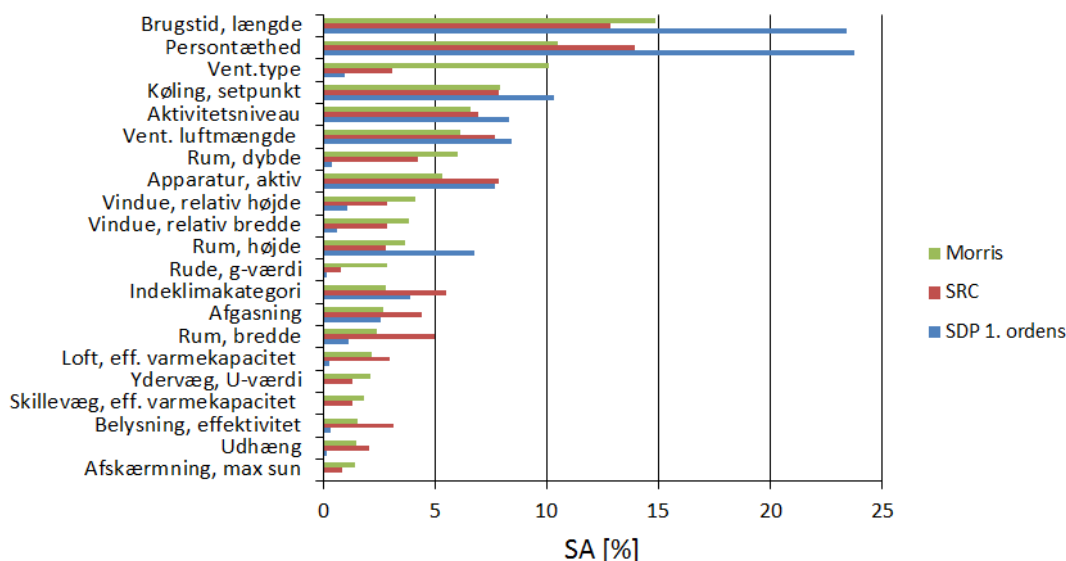
Af Morris screeningen fremgår det, at parametrene har indflydelse på køling, hvorfor det forventes, at indflydelsen stammer fra enten effekter af højere ordener, ulinearitet eller ved interaktioner med andre inputparametre. Her er det sandsynligt, at ydervæggens U-værdi interagerer med hhv. ydervæggens bredde og højde samt derudover med vinduets U-værdi og vinduets bredde og højde, idet de tilsammen udgør rummets specifikke transmissionstab. Ydermere forventes det, at skillevæggens effektive varmekapacitet er i samspil med rummets resterende effektive varmekapacitet, ligesom de resterende faktorer for solafskærmningen interagerer med max sun.



Figur 6.23. Parametersensitiviteter for de 21 parametre i forhold til energiforbruget til køling estimeret ved SDP 1. ordens.

I figur 6.24 er parametersensitiviteterne for både Morris, SRC og SDP 1. ordens illustreret for de 21 parametre med betydning for energiforbruget til køling. Heraf fremgår forskellene mellem metoderne tydeligere. I forhold til de mest sensitive parametre er der især forskel på ventilationstypen og rummets dybde, som begge ligger forholdsvis højt ved Morris, men som SDP estimerer væsentligt lavere.

De estimerede parametersensitiviteter kan eksempelvis bruges til at rangordne, hvilke parametre, der er vigtigst at fastsætte i en designanalyse og derfor bør undersøges først. Som det fremgår af ovenstående figur er der dog forskel på, hvilken metode, der anvendes til estimering af parametersensitiviteterne. Det forventes, at det bedste billede af parametersensitiviteterne opnås ved at medtage alle metoderne, idet hver metode inkluderer forskellige forklaringer på variationerne; eksempelvis beskriver Morris hver parameters generelle sensitivitet, SRC beskriver kun 1. ordenseffekter, hvorimod den anvendte SDP-model kan beskrive 2. ordenseffekter.



Figur 6.24. Parametersensitiviteter for de 21 parametre i forhold til energiforbruget til køling estimeret med Morris, SRC og SDP 1. ordens.

Af resultaterne for de anvendte metamodeller fremgår det, at modellerne, som de er nu, ikke er anvendelige som emulatorer for BSim. Dette ses af modellernes lave R^2 -værdier, hvormed alle variationer i køleforbruget ikke er medtaget i metamodellejerne. Dette var dog heller ikke forventet, fordi kun ca. 90 % af den samlede varians bestemt ved Morris screeningen er medtaget i modellerne. På trods af medtagning af parametre svarende til ca. 90 % af variansen i modellerne, opnår ingen af modellerne en R^2 -værdi på over 0,8. Årsager til dette kan være, at der er effekter af højere ordener, interaktioner eller ulinearitet, hvilket blandt andet kommer til udtryk ved forskellene i parametersensitiviteterne mellem de anvendte modeller og Morris screeningen.

Som eksempel på effekter af højere ordener i modellen kan nævnes vinduets areal og g -værdi, idet produktet af disse afhænger af fem parametre:

$$A_{\text{vindue}} \cdot g_{\text{vindue}} = \underbrace{h_{\text{rel,vindue}} \cdot b_{\text{rel,vindue}}}_{\text{vinduets relative areal}} \cdot \underbrace{h_{\text{ydervæg}} \cdot b_{\text{ydervæg}}}_{\text{ydervæggens areal}} \cdot g_{\text{vindue}} \quad (6.1)$$

Eksempler på interaktioner mellem parametrene er beskrevet over figur 6.23. Et andet eksempel kan være interaktionen mellem indeklimakategorien og afgasningen, der tilsammen har betydning for fastsættelsen af minimumsluftmængden. I forhold til ulinearitet kan eksempelvis orienteringen fremhæves. Blot fordi værdien for orienteringen stiger fra eksempelvis 180° (syd) til 270° betyder det ikke, at eksempelvis solindfaldet stiger. Hvis orienteringen ændres fra 90° (øst) til 180° (syd), forventes det, at solindfaldet vil stige, men at stigningen ikke nødvendigvis er lineær.

Med henblik på at øge anvendeligheden af de benyttede metamodeller foreslås det at benytte såkaldte metainput, der er input indeholdende flere enkelt inputparametre, som eksempelvis energitilskuddet gennem vinduet som angivet i ligning (6.1).

Med ligningen samles fem af de originale inputparametre i én enkelt inputparameter, hvorved antallet af input allerede er reduceret fra 51 til 47. På tilsvarende måde kan eksempelvis fladernes effektive termiske masse samles til en parameter, der angiver rummets samlede effektive masse. Ved at benytte metainput benyttes flere inputparametre indirekte til estimation af metamodellerne, hvorfor metamodellerne måske vil inkludere en større del af variationen uden de nødvendigvis vil konvergere langsommere.

Konklusion 7

Med udgangspunkt i det hygrotermiske simuleringsprogram BSim og ønsket om at effektivisere designprocessen af et byggeri er der udarbejdet en applikation, der automatisk kan udføre stokastiske parametervariationer ved brug af Monte Carlo Simuleringer.

Der er i forbindelse med kortlægningen af BSim's XML-inputstruktur udarbejdet et XML-skema, som i VBA anvendes til at validere strukturen af genererede inputfiler fra Excel. Ydermere anvendes der i VBA Document Object Model til at skabe korrekte ikke-hierarkiske relationer, således at BSim-inputstrukturen bevares og der automatisk kan genereres inputfiler i et format, BSim forstår.

For at kunne tilgå BSim's Access konstruktionsdatabase og sikre, at der kun refereres til eksisterende bygningsselementer gennem VBA, er opbygningen af databasen kortlagt; her er det fundet, at det i Access-databasen er tilstrækkeligt at søge i 'layer'-tabellen, fordi der i denne tabel er defineret opbygningen af alle bygningsselementer. Ved generering af nye inputfiler oprettes der et link til konstruktionsdatabasen gennem OLE DB og ADO, hvorved det sikres, at der kun refereres til eksisterende bygningsselementer i databasen.

Igennem projektet er det desuden vist, at der er grundlag for at importere bygningsgeometrien, hvormed der foreligger mulighed for at automatisere opbygningen af BSim-modeller på baggrund af eksempelvis informationer fra en BIM-model.

Udover automatisering af bygningssimuleringer er det yderligere undersøgt, hvorvidt afdækningen af designområdet kan effektiviseres. Til denne undersøgelse er der gjort brug af adskillige tusinde BSim-simuleringer, hvor der varieres på 51 designparametre. Parametervariationerne er udført i forbindelse med afprøvningen af den udviklede applikation på en simpel geometrisk model. Først og fremmest er det undersøgt, hvorvidt antallet af parametre i bygningsmodellen kan reduceres gennem en Morris screening. Resultatet heraf er, at når der evalueres på modellen for termisk, atmosfærisk og visuelt indeklima samt energiforbrug til hhv. opvarmning og køling samtidigt, kan antallet af inputparametre ikke reduceres synderligt, imens der for individuelle evalueringssparametre kan mere end halvveres i antallet af inputparametre.

Det reducerede antal inputparametre for energiforbruget til køling er benyttet til at undersøge, hvorvidt metamodeler kan anvendes til yderligere at effektivisere udforskningen af designområdet. Undersøgelsen viste, at de anvendte metamodeler ikke var tilstrækkelige til præcist at estimere energiforbruget til køling, hvilket skyldtes, at kun de 21 mest sensitive parametre blev medtaget i estimeringen af metamodelen. Der argumenteres for, at en bedre estimator af kølebehovet for modellen kan opnås uden at øge konvergenstiden ved at anvende metainput; dette gøres ved at sammensætte de oprindelige inputparametre på en sådan måde, at dimensionaliteten mindskes, uden at det går ud over nøjagtigheden af modellen.

Perspektivering 8

I dette kapitel beskrives det, hvordan den anvendte metodik og den udviklede applikation kan optimeres yderligere i forhold til at kunne anvendes til en effektiv udforskning af designområdet.

8.1 Funktionsudvidelse

Selvom der i applikationens nuværende stand er indarbejdet muligheden for at vælge hoveddelen af systemerne defineret for BSim, mangler der stadig at blive indarbejdet nogle systemer heriblandt naturlig ventilation, som vurderes værende den vigtigste af de manglende systemer; det vil derfor være oplagt at udvide funktionaliteten af applikationen ved at indarbejde muligheden for at vælge alle definerede systemer.

Derudover er den omtalte robusthedsanalyse ikke indarbejdet, selvom arbejdet med at fastsætte størstedelen af inputtene er gjort. Det forventes, at funktionen vil være med til at øge gennemskueligheden til evaluering af bygningsdesign og i den forbindelse gøre det nemmere for rådgivere at designe robuste bygninger.

I forlængelse af at gøre det nemmere for rådgiverne, ønskes det i applikationen at indarbejde et mere anvendeligt link til BSim's database, således at det er muligt at oprette bygningselementer på baggrund af de angivne spænd i applikationens brugerflade. Dette skal gøre det nemmere at undersøge forskellige opbygninger af bygningselementer.

På figur 8.1 er et udsnit af den tiltænkte brugerflade illustreret; tanken er, at der kan angives intervaller for tykkelser og materialer for hvert lag ved ved pågældende bygningselement. Linket åbner desuden muligheden for at importere bygningselementer fra BIM-modeller, fordi det på baggrund af informationer indtastet i applikationen er grundlag for at importere informationer fra BIM-modeller. Det kræver dog, at materialer oversættes fra IFC-notationen til notationen anvendt i BSim.

order	ext_const		
	made_of	resistance	thickness
0	i2/f14/f12		0 0,013/0,1/0,1
1	(NoType)	0,00000025	0,1
2	m11		0 0,1/0,16/0,22/0,28/0,34/0,4
3	f14		0,1
4			

Figur 8.1. Udsnit af tiltænkt brugerflade til oprettelse af bygningselementer i applikationen.

Gennem import af geometri og konstruktioner fra IFC til BSim, vil den i BSim indbyggede funktion til at eksportere modeller til Be15 blive langt mere anvendelig og der foreligger mulighed for hurtigere at kunne evaluere både energigramme og indeklima for bygninger defineret i en BIM-model.

8.2 Effektivisering

8.2.1 Metainput

Ved undersøgelsen af metamodeller til at effektivisere afdækningen af designområdet viste det sig, at de anvendte modeller ikke inkluderede tilstrækkeligt af variationerne til, at de kunne give nøjagtige estimater af køleforbruget. For at forbedre modellernes nøjagtighed foreslås det at anvende metainput, der er kombinerede input sammensat af flere enkelte inputparametre. Bud på metainput kan eksempelvis være:

- Rummets areal eller volumen
(Kombination af bredde, dybde og evt. højde)
- Rummets effektive varmekapacitet
(Kombination af fladernes effektive varmekapacitet)
- Belastning fra belysning
(Kombination af lysstyrke, effektivitet og brugstid)
- Belastning fra apparatur
(Kombination af installeret effekt og brugstid)
- Personbelastningen
(Kombination af persontæthed, aktivitetsniveau og brugstid)

Ved at benytte metainput kan metamodellerne indeholde en større del af variationerne, uden at antallet af parametre stiger for meget, hvilket ellers ville medføre, at modellerne konvergerer langsommere. Derved forventes det, at anvendelsen af metainput i kombination med en passende metamodel vil resultere i en bedre estimator for bygningsmodellen.

8.2.2 Reducering af simuleringstid

En god del af den tid, det kræver automatisk at generere en BSim inputfil og udføre simuleringen går til at åbne og lukke programmet; dette kan undgås ved at benytte DLL-filer (Dynamic-Link Library).

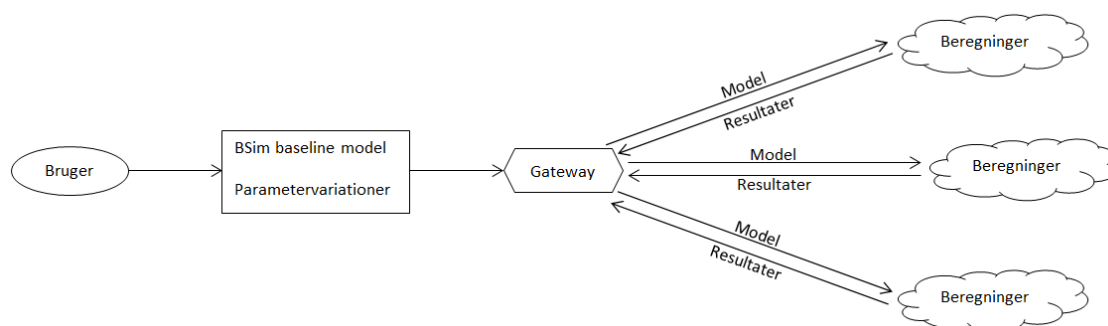
DLL-filer er eksekverbare filer, som typisk har forlængelsen .DLL, men også ses med forlængelsen .EXE. Filerne indeholder forskellige funktioner og resourcer, der benyttes af et program eller en applikation til at køre. Derudover giver DLL-filer mulighed for udveksling af kode mellem programmer. [Microsoft, 2015] Anvendelse af DLL-filer sammen med BSim er endnu ikke muligt, fordi der ikke er adgang til BSims DLL-filer.

En anden mulighed for at reducere simuleringstiden er at benytte cloud computing. Ved cloud computing, som beskrevet af Stensdal [2010], betragtes it som en vare, der kan sælges og forbruges ligesom vand og elektricitet. Cloud computing gør det altså muligt at købe forskellige services, der leveres via internettet.

Overordnet inddeles produkter, der kan leveres med cloud computing i følgende grupper:

- Software as a Service (SaaS)
Produktet er diverse programmer og applikationer som eksempelvis Microsoft Office 365. Forbrugeren betaler et abonnement og ansvaret for driften ligger ved leverandøren.
- Infrastructure as a Service (IaaS)
Produktet er computerkraft i form af eksempelvis servere og lagerplads. Forbrugeren betaler efter forbrug.
- Platform as a Service (PaaS)
Produktet er en platform, der kan håndtere udvikling og udrulning af applikationer og services.

Ved at benytte cloud computing kan generering af inputfiler og gennemførslen af de mange simuleringer fordeles ud over flere servere, hvorved det samlede tidsforbrug reduceres. Princippet er illustreret i figur 8.2.



Figur 8.2. Principdiagram for anvendelse af cloud computing.

I henhold til principdiagrammet opbygger brugeren en baseline model i BSim og fastsætter, hvilke parametre, der skal varieres hvordan. Alle disse informationer uploades via en gateway, der eksempelvis kan være en hjemmeside, til flere eksterne servere, der generere alle de øvrige inputfiler og gennemfører simuleringerne, hvorefter data føres tilbage til gateway'en, der eksempelvis også kan bruges til databehandling.

Litteratur

- Aggerholm, S. and Grau, K. [2014]. *SBi-anvisning 213: Bygningers energibehov Beregningsvejledning*, number ISBN: 978-87-563-1642-2 in *SBi*, Statens Byggeforskningsinstitut.
- Antonsen, T. and Strømberg, I. [2015]. *Estimation Methodology for the Electricity Usage of Daylight and Occupancy Controlled Artificial Lighting*, Aalborg Universitet - Institut for Byggeri og Anlæg.
- Arbejdstilsynet [2015]. *Hvor meget plads skal der være pr. ansat i et arbejdsrum?*, URL: <https://arbejdstilsynet.dk/da/brancher/kontor-og-kommunikation/wwwkontoratk/sporgsmaal-og-svar-om-arbejdsmiljo-paa-kontor/hvor-megget-plads-skal-der-vaere-pr-.aspx>. Downloadet: 23.11.15.
- Baker, J. W., Schubert, M. and Faber, M. H. [2006]. On the assessment of robustness, *Structural Safety*.
- BrancheArbejdsmiljøRådene [2015]. *Sådan forløber byggeriets faser*, URL: http://www.arbejdsmiljoweb.dk/byggeri-og-indretning/byggeproces-roller-og-ansvar/faser_i_byggesagen. Downloadet: 15.02.16.
- Bring, J. [1994]. How to standardize regression coefficients, *The American Statistician*.
- Brohus, H., Frier, C. and Heisselberg, P. [2002]. Stochastic load models based on weather data.
- Bygningsstyrelsen [2016a]. *buildingSMART*, URL: <http://www.bygst.dk/viden-om/digitalisering-af-byggeriet/buildingsmart/>. Downloadet: 31.5.16.
- Bygningsstyrelsen [2016b]. *IKT-bekendtgørelsen*, URL: <http://www.bygst.dk/viden-om/digitalisering-af-byggeriet/ikt-bekendtgørelsen/>. Downloadet: 31.5.16.
- Campolongo, F., Cariboni, J. and Saltelli, A. [2007]. An effective screening design for sensitivity analysis of large models, *Environmental Modelling & Software*.
- Christoffersen, J., Johnsen, K. and Petersen, E. [2001]. Dagslysberegninger med simlight.
- Comité Européen de Normalisation [2015]. Energy performance of buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and accoustics - Module M1-6.
- Connell, J. [2006]. *Beginning Visual Basic 6 Database Programming*, URL: <http://searchsqlserver.techtarget.com/definition/ActiveX-Data-Objects>. Downloadet: 17.5.16.

- Consortium, W. W. W. [2016]. *Document Object Model (DOM)*, URL: <http://www.w3schools.com/xml/default.asp>. Downloadet: 11.6.16.
- Dansk Byggeri [2016]. *AB-reglerne*, URL: <http://old.danskbyggeri.dk/for+medlemmer/jura/byggeriets+love+og+regler/ab+92,+abt+93+mv-c8-m>. Downloadet: 31.5.16.
- Dansk Standard [2007]. *DS/EN 15251: Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik*, number ICS: 91.140.01 in *Dansk Standard*, Dansk Standard.
- Dansk Standard [2011]. *DS/EN 12464-1 Lys og belysning - Belysning ved arbejdspladser - Del 1: Indendørs arbejdspladser*, number ICS: 91.160.10 in *Dansk Standard*, Dansk standard.
- Dansk standard [2013]. *DS 469 - Varme- og køleanlæg i bygninger, 2. udgave*, number ICS: 91.140.10 in *Handbook*, Dansk standard.
- Dansk Standard [2014]. *Ds 418-2 beregninger af bygningers varmetab - del 2: Beregning af effektiv varmekapacitet for bygninger*.
- Energi- Forsynings- og Klimaministeriet [2015]. *Bygninger*, URL: <http://www.efkm.dk/energi-forsynings-klimapolitik/eus-klima-energi-politik/energieffektivitet/bygninger>. Downloadet: 31.5.16.
- Energistyrelsen [2016]. *Bygningsreglementet 01.01.2016*, URL: <http://bygningsreglementet.dk/>. Downloadet: 05.01.16.
- Energitjenesten [2016]. *BR15*, URL: http://intra.energitjenesten.dk.web7.redhost.dk/files/resource_7/2%20%20BR10%20Nybyggeri.pdf. Downloadet: 27.5.16.
- Erhvervsstyrelsen [2014]. *BYGGEPROCESSEN*, URL: <http://boligejer.dk/byggeproces>. Downloadet: 15.02.16.
- Europakommisionen [2014]. *KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) Nr. 1253/2014*, URL: http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/forbrug-besparelser/apparater-produkter/energikrav-produkter/kommissionens_forordning_nr._1253_2014_om_miljoevenligt_design_for_ventilationsaggregater.pdf. Downloadet: 05.01.16.
- Foxall, J. [2000]. *MCSD in a Nutshell: The Visual Basic Exams*, URL: <http://www.vbrad.com/reviews/books/chaps/mcsdnut.htm>. Downloadet: 17.5.16.
- Green Building Council (DK-GBC) [2016]. *DGNB*, URL: <http://www.dk-gbc.dk/dgnb>. Downloadet: 31.5.16.
- Hansen, C. H. and Strømkjær, T. Ø. [2013]. *Analyse af styringsstrategier ved anvendelse af termoaktive dækelementer*.
- InnoBYG [2014]. *Branchevejledning for energiberegninger*.

- Johnsen, K., Rasmussen, H. F., Iversen, A., Fischer, C., Larsen, C. P. V. and Traber-Borup, S. [2009]. *SBi 2009:09: Kontorbelysning baseret på energieffektive arbejdsramper*, number ISBN: 978-87-563-1370-4 in *SBi*, Statens Byggeforskningsinstitut.
- Knudstrup, M.-A., Brunsgaard, C. and Heiselberg, P. K. [2003]. Experiences from the design processes of the first ‘comfort houses’ in denmark.
- Larsson, N. [2004]. The Integrated Design Process.
- Le Dréau, J. [2015]. Integrated building energy design (PPS).
- Löhnert, G., Dalkowski, A. and Sutter, W. [2003]. Integrated Design Process - a Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design.
- Ma, X. and Zabaras, N. [2010]. An adaptive high-dimensional stochastic model representation technique for the solution of stochastic partial differential equations, *Jornal of Computational Physics* .
- Meteotest [2016]. *Meteonorm*, URL: <http://www.meteonorm.com/>. Downloadet: 28.4.16.
- Microsoft [2015]. *Definition and Explanation of a .DLL file*, URL: <https://support.microsoft.com/en-us/kb/87934>. Downloadet: 19.5.16.
- Microsoft [2016]. *Microsoft by the numbers*, URL: <http://news.microsoft.com/bythenumbers/planet-office>. Downloadet: 31.5.16.
- Morris, M. D. [1991]. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments, *Technometrics* .
- Pavlov, P. [2016]. Automation of Information Flow from Revit to BSim Using Dynamo.
- Ratto, M., Pagano, A. and Young, P. [2007]. State dependent parameter metamodeling and sensitivity analysis, *Computer Physics Communications* .
- Robert Kosara [2010]. *Parallel Coordinates*, URL: <https://eagereyes.org/techniques/parallel-coordinates>. Set: 4.4.16.
- SBi - Statens Byggeforskningsinstitut [2016]. *Kort Om BSim*, URL: <http://www.sbi.dk/indeklima/simulering/bsim-building-simulation/programpakke/kort-om-bsim#simview>. Set: 12.2.16.
- Schroeder, L. D., Sjoquist, D. L. and Stephan, P. E. [1986]. *Multiple Linear Regression*, number ISBN: 9780803927582 in *Understanding Regression Analysis*, SAGE Publications, Inc.
- Sobol, I., Turchaninov, V., Levitan, Y. and Shukhman, B. [1992]. Quasirandom sequence generators.
- Statistics How To [2016]. *Statistics How To*, URL: <http://www.statisticshowto.com/how-to-compute-pearsons-correlation-coefficients/>. Downloadet: 4.3.16.

- Stensdal, K. [2010]. *Cloud computing: Sådan fungerer det*, URL: <http://www.computerworld.dk/art/112183/cloud-computing-saadan-fungerer-det>. Downloadet: 13.5.16.
- Østergaard, T. [2016]. Kursusmaterialer.
- VELFAC [2014]. *ENERGIBEREGNER*, URL: http://www.velfac.no/Erhverv/Energiberegner_. Downloadet: 16.02.16.
- Vittinghoff, E., Glidden, D. V., Shiboski, S. C. and McCulloh, C. E. [2005]. *Regression Methods in Biostatistics: Linear, Logistic, Survival, and Repeated Measures Models*, number ISBN: 0-387-20275-7 in *Statistics for Biology and Health*, Springer.
- Wang, P. G., Scharling, M., Nielsen, K. P., Wittchen, K. B. and Kern-Hansen, C. [2013]. *2001-2010 Danish Design Reference Year - Reference Climate Dataset for Technical Dimensioning in Building, Construction and other Sectors*, URL: http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2013/TR13-19.pdf. Downloadet: 11.5.16.
- Wittchen, K. B., Hansen, E. J. d. P., Radisch, N. and Treldal, J. [2011]. *SBi 2011:16: Energoptimering af kontorbyggeri*, number ISBN: 978-87-563-1523-4 in *SBi*, Statens Byggeforskningsinstitut.
- Wittchen, K. B., Johnsen, K., Grau, K. and Rose, J. [2013]. *BSim Brugervejledning*. version 7.13.10.1.
- Yogesh Khare and Rafael Muñoz-Carpena [2014]. *Morris SU (Sampling Uniformity) code*, URL: <http://abe.ufl.edu/carpena/software/SUMorris.shtml>. Set: 1.4.16.

XML-inputstruktur i BSim A

Dette bilag inkluderer eksempler på, hvordan der i XML-inputfilen refereres mellem elementer.

I det følgende beskrives sammenhænge og opbygninger af hhv. termisk zone, geometri, systemer og database.

A.1 Simuleringsindstillinger

For hver BSim-model gemmes der i inputfilen nogle af de simuleringsindstillinger fra fanen ‘Options’ i tsbi5, der er illustreret på figur A.1. De indstillinger, der gemmes, er ‘timesteps’, ‘layer_thick’, ‘first_day’ og ‘last_day’; de resterende indstillinger antager samme værdier som for den senest udførte BSim-simulering.

Select a Simulation Period

01-01-2011 First Day

31-12-2011 Last Day

Simulation Options

☒ Optimized Simulation ☒ Longwave Rad. to Sky

☒ XSun Distribution ☒ Longwave Radiation

☒ Moisture Transport ☒ Latent Heat

☒ Glazing Temp ☒ Thermal Bridge

☒ Multizone Model (beta) ☒ Reg. System Time Step

Time steps (/h) Layer thick (m) Solar Rad. Model

4 0.05 Petersen

Save in Log

☒ Weather ☒ Constructions

☒ ThermalZones ☒ Windows

Tables

☒ Dynamic update of Tables

Stat, hours

> 22

> 26

> 27

< 22

Weather Data

☐ Change weather data before a new year

Save Options

Figur A.1. Fane med valg af simuleringsindstillinger.

På figur A.2 er ‘DIS_PROJECT’-elementet, der indeholder simuleringsindstillingerne og placering af bygningselement-databasen, illustreret.

```
<DIS_PROJECT rid="#1">
  <id>BS7121-255</id>
  <description>'</description>
  <database>C:\XMLimport_1.mdb</database>
  <tstep>4</tstep>
  <options>32319</options>
  <scale>50</scale>
  <grid>1</grid>
  <layer_thick>0.05</layer_thick>
  <start_time>2011.1.1</start_time>
  <end_time>2011.12.31</end_time>
  <has_design_parm>$</has_design_parm>
</DIS_PROJECT>
```

Figur A.2. Kode, der indeholder de valgte simuleringsindstillinger.

A.2 Klima

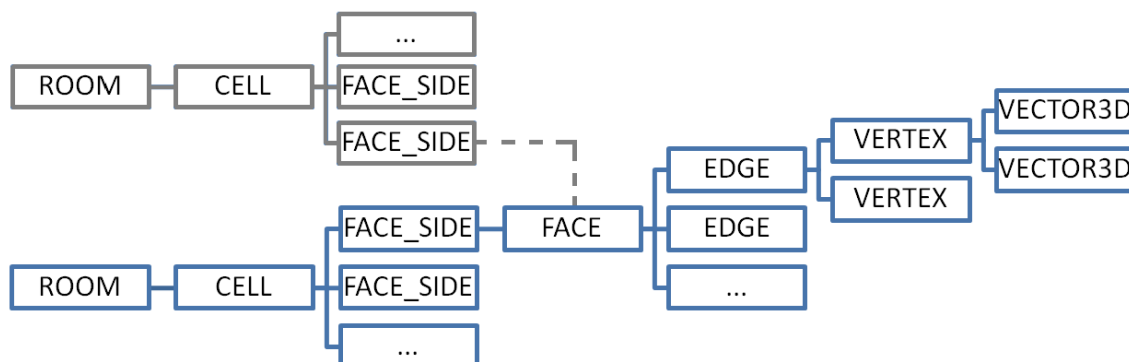
De meteorologiske forhold og den geografiske placering håndteres i BSim af 'SITE'-elementet; koden for elementet er illustreret på figur A.3. I elementet henvises der bl.a. til vejrfilen, der for det givne element er 'Danmark_2013.dry'. Udover henvisning til vejrfilen refererer SITE også til 'LOCATION', som beskriver den geografiske placering af bygningen.

```
<SITE rid="#3">
  <id>Site273</id>
  <weather_file>C:\Program Files (x86)\Danish Building Research Institute\
    BSim10\Climate\Danmark_2013.dry</weather_file>
  <refl_rad>0.2</refl_rad>
  <refl_light>0.1</refl_light>
  <horizon>7</horizon>
  <emissivity>0.9</emissivity>
  <co2>350</co2>
  <terrain>0</terrain>
  <has_location>#2</has_location>
  <has_ground>$</has_ground>
</SITE>
<LOCATION rid="#2">
  <id>Denmark dry</id>
  <latitude>55.4</latitude>
  <longitude>12.19</longitude>
  <time_zone>1</time_zone>
  <elevation>0</elevation>
</LOCATION>
```

Figur A.3. SITE- og LOCATION-element.

A.3 Geometri

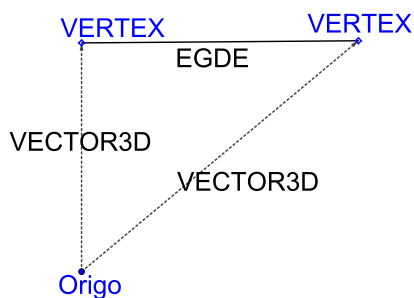
Figur A.4 illustrerer de elementer, der er nødvendige for geometrisk at konstruere et rum i modellen.



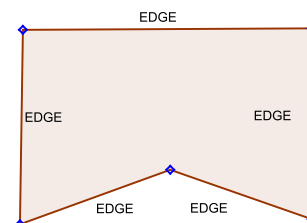
Figur A.4. Elementer til opbygning af rum. NB! ikke XML-strukturen.

Startende fra højre i figur A.4 kommer en beskrivelse af, hvad de enkelte elementer repræsenterer, hvilket yderligere er illustreret i figurer A.5, A.6 og A.7.

Som illustreret i figur A.5 repræsenterer VERTEX et punkt. Punktets (VERTEX) koordinater er indeholdt i VECTOR3D. En EDGE repræsenteres af to VERTEXes og udgør en kant. Enhver FACE er en plan flade, som afgrænses af en række EDGES. Hver FACE har to FACE_SIDEs, men hver FACE_SIDE har kun én FACE.



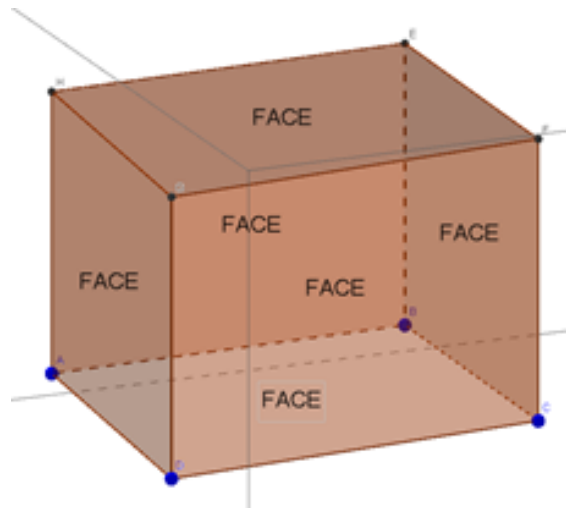
Figur A.5. Opbygning af en kant (EDGE).



Figur A.6. Opbygning af en plan flade (FACE).

En CELL er en lukket, rumlig kasse, som er afgrænset af en række FACE_SIDEs, der alle vender indad mod CELL-midten. Op og indtil CELL er der ikke refereret til andet end geometri.

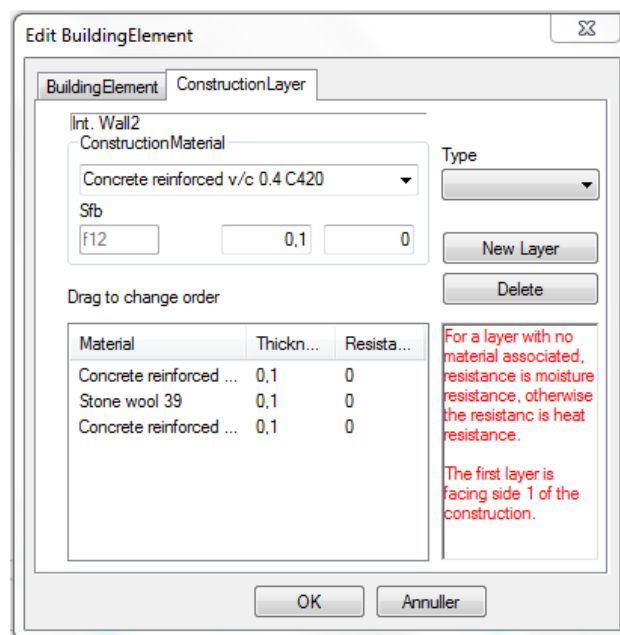
Et ROOM refererer til geometri, hhv. 'represented_by_cell', som er den ydre 'skal' af ROOM og 'has_inner_shell', som er den indvendige 'skal', hvor forskellen udgøres af tykkelsen af konstruktionerne i rummet. BSim regner selv størrelsen af den indvendige skal på baggrund af tilknyttede CONSTRUCTIONS og placering af hver FACE.



Figur A.7. Opbygning af CELL.

A.4 Databasereference

På figur A.8 er et eksempel på materialevalg og opbygning af et bygningselementet i BSim illustreret. I dette eksempel er det en indvendig væg, hvor både det inderste og yderste lag består af beton og det midterste lag af isolering.



Figur A.8. Opbygning af et bygningselement i BSim.

XML-koden vedrørende databasen og bygningselementer er illustreret i figur A.9, hvor det første element 'DIS_PROJECT' indeholder informationer vedrørende det specifikke projekt og simuleringsindstillinger samt referencen til databaseplaceringen 'C:\XMLimport_1.mdb'. Det efterfølgende element 'CONSTRUCTION_ELEMENT' benytter referencen 'sfb' at til finde det rigtige bygningselement i databasen.


```
<DIS_PROJECT rid="#1">
  <id>BS7121-255</id>
  <description>' '</description>
  <database>C:\XMLimport_1.mdb</database>
  <tstep>4</tstep>
  <options>32319</options>
  <scale>50</scale>
  <grid>1</grid>
  <layer_thick>0.05</layer_thick>
  <start_time>2011.1.1</start_time>
  <end_time>2011.12.31</end_time>
  <has_design_parm>$</has_design_parm>
</DIS_PROJECT>
<CONSTRUCTION_ELEMENT rid="#91">
  <id>24.10.350 - Int. Floor250</id>
  <name>Int. Floor250</name>
  <sfb>24.10.350</sfb>
  <unit></unit>
  <lifetime>0</lifetime>
  <thickness>0.297852</thickness>
  <resistance>2.60425</resistance>
  <composed_of></composed_of>
</CONSTRUCTION_ELEMENT>
```

Figur A.9. XML-kode vedrørende databasen og bygningselementer.

A.5 Termisk zone

Af figur A.10 fremgår det, at child af 'THERMAL_ZONE', 'composed_of' refererer til elementet med 'rid=#5', som er af typen 'ROOM'. I tilfælde af, at en reference-beholder er tom, indsættes af SimView værdien '\$'; dette er for eksempel tilfældet for 'DIS2/THERMAL_ZONE/has_service' i figur A.10. Dette skyldes, at der i denne model endnu ikke er defineret nogle systemer såsom ventilation eller personbelastning.

Udover rid-referencerne indeholder elementerne også informationer. En del af disse værdier som eksempelvis 'DIS2/CELL/volume' udregner BSim selv på baggrund af den geometriske opbygning af CELL; altså er det defineret i de elementer, der refereres til i 'DIS2/CELL/bounded_by'. NB! den negative værdi skyldes, at det er bruttovolumen af et ROOM.

```
<DIS2>
  <THERMAL_ZONE rid="#4">
    <id>ThermalZone151</id>
    <solar_to_air_fact>0.2</solar_to_air_fact>
    <solar_to_ceil_ratio>0.15</solar_to_ceil_ratio>
    <solar_to_wall_ratio>0.3</solar_to_wall_ratio>
    <solar_to_floor_ratio>0.55</solar_to_floor_ratio>
    <solar_lost_fact>0.1</solar_lost_fact>
    <kappa>1</kappa>
    <top_height>1.1</top_height>
    <top_frac>0.5</top_frac>
    <composed_of>#5</composed_of>
    <has_service>$</has_service>
  </THERMAL_ZONE>
  <ROOM rid="#5">
    <id>Rum1</id>
    <represented_by_cell>#6</represented_by_cell>
    <ref_x>2.2</ref_x>
    <ref_y>2.6</ref_y>
    <ref_z>1.3</ref_z>
    <has_temp>$</has_temp>
    <behave_like>$</behave_like>
    <has_type>.UNKNOWN_TYPE.</has_type>
    <has_inner_shell>#7</has_inner_shell>
    <has_refpoint>#8 #9</has_refpoint>
  </ROOM>
  <BUILDING rid="#10">
    <id>Auto</id>
    <rotation>0</rotation>
    <current>1</current>
    <height>0</height>
    <composed_of>#5</composed_of>
    <located_on_site>#3</located_on_site>
    <has_thermal_zones>#4</has_thermal_zones>
  </BUILDING>
  <CELL rid="#6">
    <id>Cell12</id>
    <volume>-56</volume>
    <bounded_by>#11 #12 #13 #14 #15 #16</bounded_by>
  </CELL>
</DIS2>
```

Figur A.10. Opbygning af termisk zone.

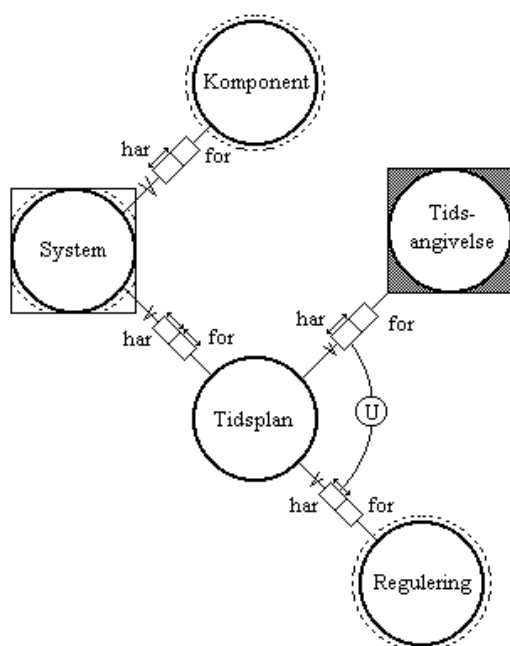
A.6 Systemer

Et system i BSim består af en generel fysiske komponent, der beskrives ved simplificerede modeller af de fysiske installationer, belastninger etc. For den konkrete komponent skal der defineres en tidsplan; i en tidsplan indgår der en eller flere tidsangivelser og for hver tidsangivelse fremgår det, i hvilke uger, måneder, dage og timer den aktuelle komponent skal være aktiv og fungere med en tilknyttet regulering. Den reguleringstype, der kan benyttes for flest systemer, er af typen døgnprofil, der angiver, hvornår på døgnet et system er aktivt og hvor stor en del af den nominelle ydelse, der afsættes i den enkelte time.

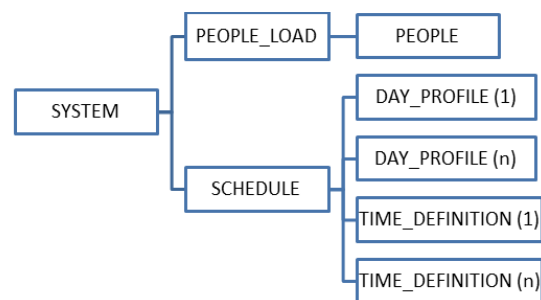
I tabel A.1 er Bsim's systemer oplistet og på figurerne A.11 og A.12 er den generelle opbygningen af et system illustreret og et eksempel af systemet 'PEOPLE_LOAD'.

System	System beskrivelse
COOLING	Termostatstyret køleradiator i den aktuelle termiske zone
EQUIPMENT	Varmeafgivelse fra maskiner, apparater, udstyr etc.
FLOOR_HT/COOLING	Køling/Gulvvarmeregulering
HEAT_PUMP	Vardepumpe til rumopvarmning
HEATING	Termostatreguleret radiator eller konvektor
INFILTRATION	Utsigtet eller ukontrolleret lufttilførsel gennem utætheder
LIGHTING	Belysningssystemet
MOISTURE_LOAD	Angivelse af fugtbelastning, bortset fra fugt fra personer
PEOPLE_LOAD	Varme og fugtafgivelse fra personer.
VENTILATION	Indblæsnings- og udsugningsventilatorer i anlægget
VENTING	Alle former for naturlig ventilation

Tabel A.1. Systemtyper i BSim.



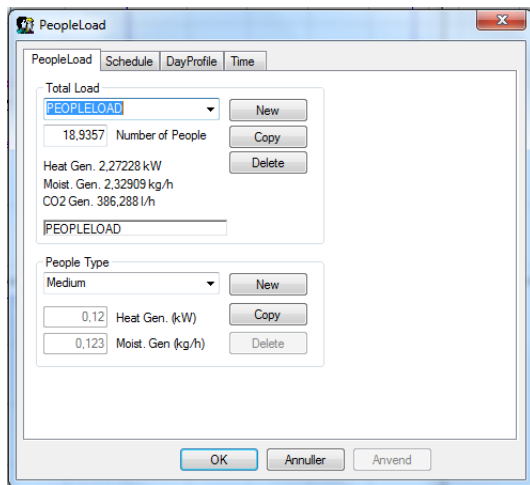
Figur A.11. Generel opbygning af et system i BSim.[Wittchen et al., 2013]



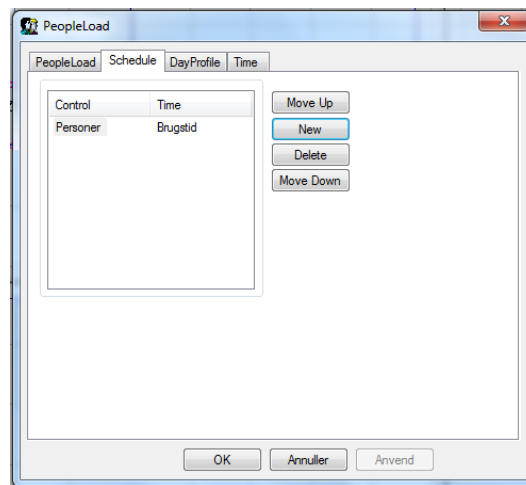
Figur A.12. Elementer til opbygning af systemet PEOPLE_LOAD. NB! ikke XML-strukturen.

Startende fra højre i figur A.12 kommer en beskrivelse af, hvad de enkelte elementer repræsenterer, hvilket yderligere er illustreret i figurerne A.13, A.14, A.15 og A.16, hvor figur A.13 illustrerer systemet med dets komponent, der indeholder informationer vedrørende de nominelle ydelser af systemet. I dette tilfælde er 18,9 personer, der hver især yder en belastning på 120 W. Figur A.14 repræsenterer systemets tidsplan, der angiver den sammenhængende regulering og tidsangivelse samt rangering af denne.

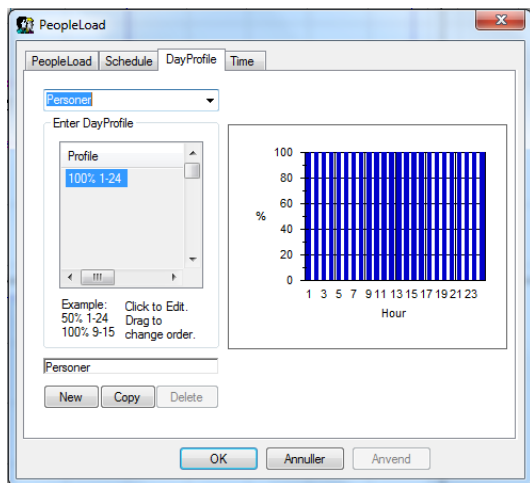
På figur A.15 illustreres reguleringen samt hvor stor en del af den nominelle ydelse, der udnyttes i hver af døgnet's timer. Figur A.16 repræsenterer tidsangivelsen, der regulerer hvilke måneder, uger, dage og timer en pågældende regulering skal aktiveres.



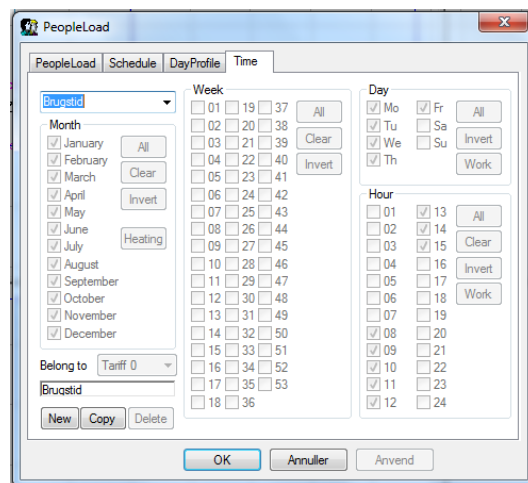
Figur A.13. Komponent for systemet PEOPLE_LOAD.



Figur A.14. Tidsplanen for systemet PEOPLE_LOAD.



Figur A.15. Regulering for systemet PEOPLE_LOAD.



Figur A.16. Tidsangivelse for systemet PEOPLE_LOAD.

XML-koden vedrørende systemet PEOPLE_LOAD er illustreret i figur A.17, hvor det første element er selve systemet, der benytter 'has_component' til at henviser til elementet vedrørende komponenten samt 'has_schedule' til at henviser til elementet, der administrerer tidsplanen for systemet. Det efterfølgende element er komponenten, hvor de nominelle ydelser af systemet er gemt samt henvisninger til andre elementer, der også indeholder informationer vedrørende komponenten. I elementet 'has_schedule' henvises der til en regulering med 'has_control' og til en tilhørende tidsangivelse med 'has_time_definition'.

```
<SYSTEM rid="#9">
  <id>PEOP_SYS</id>
  <active>1</active>
  <has_component>#233</has_component>
  <has_schedule>#235</has_schedule>
  <system_type>.PEOP_SYS.</system_type>
</SYSTEM>
<PEOPLE_LOAD rid="#233">
  <id>PEOPLELOAD</id>
  <number_of_people>18.9357</number_of_people>
  <people_type>#234</people_type>
</PEOPLE_LOAD>
<PEOPLE rid="#234">
  <id>Medium</id>
  <person_heat>0.12</person_heat>
  <person_moist>0.123</person_moist>
  <protect>1</protect>
</PEOPLE>
<SCHEDULE rid="#235">
  <id>Schedule</id>
  <has_control>#236</has_control>
  <has_time_definition>#204</has_time_definition>
</SCHEDULE>
<DAY_PROFILE rid="#236">
  <id>Personer</id>
  <hour>100\% 1-24</hour>
  <percent>0</percent>
  <protect>1</protect>
</DAY_PROFILE>
<TIME_DEFINITION rid="#204">
  <id>Brugstid</id>
  <hour>8-15</hour>
  <day>1-5</day>
  <week></week>
  <month>1-12</month>
  <tariff_class>0</tariff_class>
  <protect>1</protect>
</TIME_DEFINITION>
```

Figur A.17. Eksempel på XML-koden for et system.

Parametervariationer i afprøvning B

I dette bilag beskrives det mere uddybende, hvorledes variationerne af de forskellige inputparametre i er fastsat i forhold til regler, skøn m.v. Parametervariationerne i afprøvningen er fastsat vidtspændene med henblik på, at variationerne kan anvendes til initialisering af designanalyser i andre projekter.

B.1 Generelt

B.1.1 Bygningsklasse

Der varierer diskret imellem de to bygningsklasser, der er beskrevet i Bygningsreglementet. Disse er henholdsvis BR15 og BK20. BR15 opfylder de gældende krav i Bygningsreglementet, hvorimod BK20 opfylder de krav, der forventes at træde i kraft med det nye Bygningsreglement i år 2020. [Energistyrelsen, 2016]

Valget af bygningsklasse har for eksempel indflydelse på krav til energiramme, vinduer og dagslys.

B.1.2 Indeklimakategori

Der varierer diskret mellem indeklimakategori I, II og III, der er fastsat i Dansk Standard [2007]. I henhold til tabel B.1, har indeklimakategorien sammen med afgasningen indflydelse på minimumsluftmængden.

Kategori	Meget lav	Lav	Ikke-lav
I	0,5	1	2
II	0,35	0,7	1,4
III	0,3	0,4	0,8

Tabel B.1. Minimumsluftmængde for hhv. afgasning og indeklimakategori i bygningen, q_{bygn} [L/s m²]. [Dansk Standard, 2007]

B.1.3 Afgasning

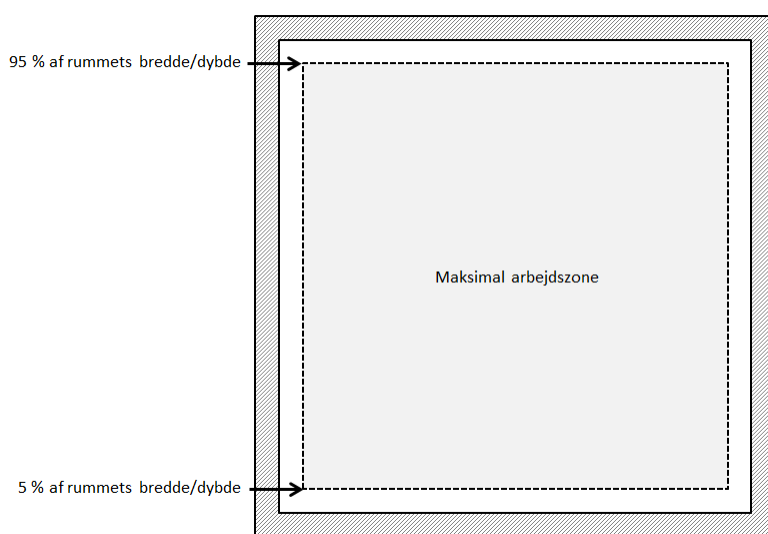
I henhold til Dansk Standard [2007] varierer her diskret imellem tre forskellige niveauer af afgasning fra bygningen. Disse er henholdsvis ‘Meget lav’, ‘Lav’ og ‘Ikke-lav’. Jævnfør B.1 har afgasningen sammen med indeklimakategorien indflydelse på minimumsluftmængden.

B.1.4 Orientering

Der tages udgangspunkt i, at rummet principielt kan roteres 360° , men for at mindske antallet af kombinationsmuligheder udføres variationen diskret mellem fire retninger, som er 0° , 90° , 180° og 270° svarende til henholdsvis nord, øst, syd og vest.

B.1.5 Referencepunkt

Referencepunktet i hvilket, der udføres en dagslyssimulering i hver realisering, varieres uniformt i alle tre retninger. I x- og y-retningen, svarende til henholdsvis øst-vest og nord-syd, udføres variationen relativt i forhold til rummets størrelse. Disse varieres i henhold til, at kravet til dagslys skal være overholdt i arbejdszonen, der her skønnes at variere mellem 5-95 % af både rummets bredde og dybde.



Figur B.1. Referencepunktet varieres i det vandrette plan inden for en skønnet arbejdszone.

I z-retningen, der er højden over gulvet, fastsættes intervallet derimod ud fra en arbejdsplanets højde, der skønnes at variere mellem 0,6-0,9 m.

B.2 Geometri

B.2.1 Bredde og dybde

Rummets bredde og dybde varieres begge uniformt inden for det samme interval. Idet Arbejdstilsynet [2015] stiller krav til, at et arbejdsrum skal have et areal på mindst 7 m^2 skønnes en nedre grænse til 2,5 m.

Den øvre grænse skønnes til 15 m svarende til, at det største mulige rum har et areal på 225 m^2 , hvilket forventes at være tilstrækkeligt i de fleste tilfælde med åbne kontorer.

B.2.2 Højde

Rummets højde varierer uniformt inden for et interval, hvor den nedre grænse fastsættes i henhold til Energistyrelsen [2016], der kræver, at et arbejdsrum skal have en højde på mindst 2,5 m. Som øvre grænse skønnes en højde på 5 m² at være tilstrækkelig; dette svarer til et dobbelthøjt lokale.

B.3 Konstruktioner

Der udføres variationer for ydervæggens U-værdi og den effektive varmekapacitet for henholdsvis gulv, ydervæg, skillevæg og loft. Variationerne tager udgangspunkt i de forskellige opbygninger af konstruktionerne, der beskrives i det følgende.

Til opbygning af bygningselementer anvendes nogle af de eksisterende materialer i den præfabrikerede database; de anvendte materialer er oplistet i tabel B.2. Databasen med de anvendte konstruktioner er vedlagt i bilag E.2.

Materiale	SfB-nummer	ρ	C_p	λ
		[J/kg K]	[J/kg K]	[W/m K]
Træ	i2	470	1800	0,12
Letbeton	f14	1200	1000	0,35
Armeret beton	f12	2400	800	1,2
Isolering	m11	32	800	0,039

Tabel B.2. Specifikationer for materialer anvendt til opbygning af bygningselementer.

B.3.1 Effektiv varmekapacitet

Varmekapaciteten varierer ved at variere på bygningselementernes inderste lag i henhold til tabeller B.3 og B.4. For det inderste lag varierer der imellem de tre eksisterende materialer i2 (træ), f12 (letbeton) og f14 (armeret beton). De tre materialer repræsenterer henholdsvis et let, middel og tungt materiale i forhold til den volumetriske varmekapacitet.

Lag (startende indefra)	SfB-nummer	Materiale	Tykkelse [m]
1)	i2	Træ	0,013
	f14	Armeret beton	0,1
	f12	Let beton	0,1
2)	-	Dampspærre	0
3)	m11	Isolering	0,1-0,4
4)	f12	Let beton	0,1

Tabel B.3. Opbygninger af ydervægge.

Lag (startende indfra)	SfB-nummer	Materiale	Tykkelse [m]
1)	i2	Træ	0,013
	f14	Armeret beton	0,1
	f12	Let beton	0,1
2)	m11	Isolering	0,1
3)	Identisk med lag 1)		

Tabel B.4. Opbygninger af skillevæge, gulve og lofter.

For hver realisering beregnes den effektive varmekapacitet i henhold til ligning (B.1) og (B.2) for henholdsvis enkelte flader og rummet.[Dansk Standard, 2014]

$$\kappa_m = \sum (\rho \cdot C_p \cdot d_T) \quad (\text{B.1})$$

$$\kappa_{rum} = \sum (f_i \cdot \kappa_m) \quad (\text{B.2})$$

κ_m	Effektive varmekapacitet for de enkelte flader	[Wh/m ² K]
ρ	Densitet	[kg/m ³]
C_p	Specifik varmekapacitet	[J/kg K]
d_T	Relevante tykkelser af materialerne	[m]
κ_{rum}	Rummets samlede effektive varmekapacitet	[Wh/m ² K]
f_i	Konstruktionsdelens indv. overfladeareal pr. bruttoetageareal	[m ² /m ²]

For hver realisering indhentes de nødvendige oplysninger til at beregne den effektive varmekapacitet fra databasen. Variationerne for de enkelte fladers effektive varmekapacitet som funktion af de varierende opbygninger er angivet i tabel B.5.

	Let [Wh/m ² K]	Middel [Wh/m ² K]	Tung [Wh/m ² K]
Etagedæk	3,4	33,7	53,7
Ydervæg	3,1	33,3	53,3
Skillevæg	3,4	33,7	53,7

Tabel B.5. Variationer i effektiv varmekapacitet for bygningsselementerne.

B.3.2 U-værdi

Ydervæggens U-værdi varierer som en funktion af tykkelsen af isoleringen, der varierer uniformt inden for et interval. Intervallets nedre grænse fastsættes til 0,1 m, hvilket sikrer, at de anvendte opbygninger af ydervæggen overholder kravene til mindste varmeisolering angivet af Energistyrelsen [2016]. Den øvre grænse sættes til 0,4 m i henhold til anbefalinger fra Energitjenesten [2016]. Baseret på variationen af isoleringstykkelsen varierer ydervæggens U-værdi mellem 0,09-0,30 W/m²K.

B.4 Overflader

B.4.1 Indvendig og udvendig maling

Maling på henholdsvis indvendige og udvendige flader varieres diskret mellem et udvalg af farver angivet i den præfabrikerede database. Farverne og deres egenskaber er oplistet i tabel B.6, hvor der er set bort fra farver udover hvide, grå og sorte nuancer.

Farve	SfB-nummer	Emissivitet	Solabsorptans	Reflektans
Hvid, mat	10	0,88	0,10	0,85
Lys grå	11	0,90	0,40	0,60
Medium grå	12	0,90	0,65	0,35
Mørkegrå	13	0,90	0,80	0,15
Sort, mat	18	0,94	0,90	0,15
Sort, poleret	19	0,92	0,85	0,15

Tabel B.6. Anvendte farver og deres egenskaber.

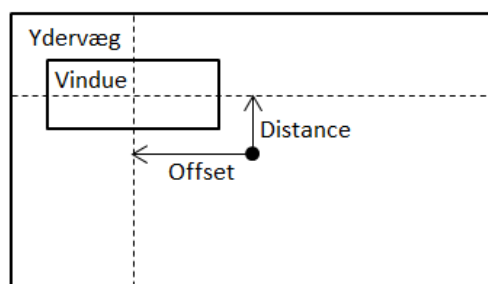
B.5 Vinduer

B.5.1 Størrelse: Relativ bredde og højde

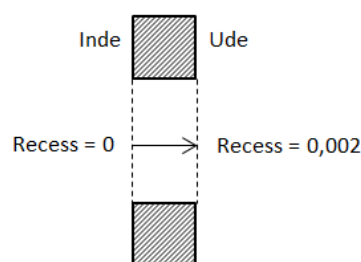
Disse parametre angives relativt i forhold til facadens indvendige højde og bredde. Begge parametre varieres uniformt inden for det samme interval. Her skønnes det, at grænser på henholdsvis 0,10 og 0,90 er passende.

B.5.2 Placering: Distance, offset og recess

I de udførte parametervariationer er parametrene defineret som illustreret i figurer B.2 og B.3.



Figur B.2. Distance og offset angives relativt i forhold til facadens midtpunkt.



Figur B.3. Recess beskriver rudens tilbage-trækning fra facadens yderside.

Tilsammen angiver distance og offset vinduets placering på facaden. Parametrene defineres relativt i forhold til facadens indvendige højde og bredde, idet facadens midtpunkt er defineret som (0,5;0,5). Dette muliggør variationer af vinduets størrelse, uden at denne overgår facadens indvendige størrelse. Begge parametre varieres uniformt inden for det samme interval, der skønnes at være mellem 0,05-0,95.

Recess angiver tilbagetrækningen af glasset i et vindue i forhold til facadens yderside. Denne parameter varieres diskret imellem værdierne 0 og 0,002 svarende til helt ude ved facadens yderside og helt inde ved facadens inderside; dette er illustreret på figur B.3.

B.5.3 Egenskaber: U-værdi, g-værdi og Lt-værdi

For vinduet varieres rudens U-værdi, g-værdi og Lt-værdi uniformt i henhold til tabel B.7. For rammen anvendes en U-værdi på $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Intervallerne for ruden er fastsat på baggrund af VELFAC [2014] samtidig med, at der tages højde for, at parametrene lever op til krav angivet af Energistyrelsen [2016]. Databasen med de anvendte vinduer er vedlagt i bilag E.2.

	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi [-]	Lt-værdi [-]
Nedre grænse	0,48	0,23	0,45
Øvre grænse	1,30	0,62	0,80

Tabel B.7. Variationer for rudens egenskaber.

B.6 Solafskærmning

B.6.1 Aktiv

Der varieres diskret mellem, hvorvidt solafskærmning er aktiv eller ej.

B.6.2 Placering

Her udføres variationen diskret mellem udvendig og indvendig placering af solafskærmningen.

B.6.3 Afskærmningsfaktor

Afskærmningsfaktoren varieres uniformt i et interval gående fra 0,1 svarende til den laveste værdi angivet for typiske afskærmningsløsninger i tabel B.8. Den øvre grænse skønnes til 0,9; dermed er der indlagt en ekstra 'buffer' i forhold til den højeste værdi angivet i tabellen.

Afskærmningstype	Solafskærmningsfaktor [-]
Glas	
Varmeabsorberende eller farvet glas	0,50-0,80
Reflekterende glas	0,20-0,60
Intern afskærmning	
Persiener	0,45-0,65
Rullegardin	0,25-0,60
Gardin	0,40-0,80
Ekstern afskærmning	
Æggeskal	0,10-0,30
Horisontalt udhæng	0,10-0,60
Vertikalt udhæng	0,10-0,60
Beplantning	0,20-0,60

Tabel B.8. Typer af solafskærmning med tilhørende afskærmningsfaktorer. [Le Dréau, 2015]

B.6.4 Reflektans

Reflektansen af solafskærmningen varierer uniformt inden for et interval, hvor nedre og øvre grænse skønnes til henholdsvis 0,1 og 0,9.

B.6.5 Styring: Max sun og dead band

Til styring af solafskærmningen er det valgt at bruge SolarCtrl; for SolarCtrl varierer på parametrene max sun og dead band.

Max sun angiver den maksimale solindstråling på facaden, der tillades, før solafskærmningen aktiveres. Denne skønnes at variere i et interval mellem 10-1000 W/m². Det forholdsvist store spænd er valgt for at tage højde for et stort rum med et lille vindue (højere grænse) og modsat et lille rum med et stort vindue (lavere grænse).

Dead band angiver et acceptabelt interval for ændring i solindstrålingen på facaden, før indstillingen for solafskærmningen justeres. Denne parameter er med til at sikre, at solafskærmningen ikke justeres hele tiden, men kun ved ændringer i solindfaldet, der vurderes at være signifikante i forhold til den visuelle komfort. Parameteren skønnes at variere mellem 0-200 W/m².

B.6.6 Udhæng

For at tage højde for skyggedannelser fra eksterne objekter og som en afskærmningsmulighed er udhæng medtaget. Et udhæng er en vandret konstruktion, der placeres over vinduet. Udhæng reducerer det direkte solindfald om sommeren, hvor solen står højt på himlen. Dybden af udhænget skønnes til at variere mellem 0-10 m.

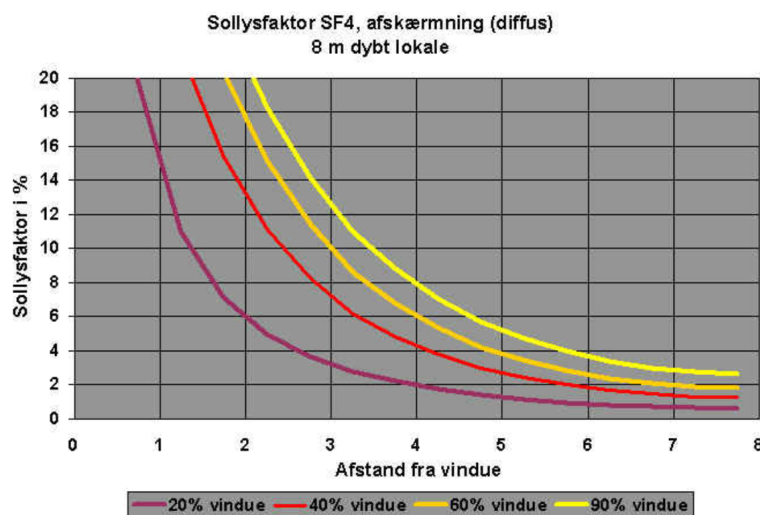
B.6.7 Sidefin

For at tage højde for skyggedannelser fra eksterne objekter og som en afskærmningsmulighed er sidefin, som er en lodret konstruktion placeret ved siden af vinduet, medtaget. Alt efter lokation, orientering med videre kan der pladseres en sidefin på en eller begge sider af vinduet. Her skønnes dybden af sidefinnerne at variere mellem 0-10 m ligesom dybden af udhænget.

B.6.8 SF4

SF4 er den sollysfaktor i BSim, der benyttes for den del af vinduet, der måtte være dækket af en form for solafskærmning, idet det antages, at lyset spredes diffust gennem afskærmningen. [Christoffersen et al., 2001]

Denne parameter varieres uniformt inden for et interval, hvor nedre og øvre grænse skønnes til 0 og 2,5, jævnfør Christoffersen et al. [2001]. Det store spænd skyldes, at SF4 blandt andet er stærkt afhængig af afstanden mellem vindue og referencepunkt, jævnfør figur B.4.



Figur B.4. Graf til fastsættelse af SF4. [Wittchen et al., 2013]

B.7 Opvarmning

B.7.1 Setpunkt

Setpunktet for opvarmning varieres som listet i tabel B.9, der er vurderet ud fra tabel i Dansk Standard [2007] omhandlende vejledende temperatursetpunkter.

Opvarmning [°C]	Køling [°C]
20,0	23,0
21,0	24,0
22,0	25,0
	26,0

Tabel B.9. Setpunkter for de tre indeklimakategorier i kontorer. [Dansk Standard, 2007]

B.8 Køling

B.8.1 Type

Typen af køling varieres diskret mellem ingen køling, frikøling og mekanisk køling. Her er ikke medtaget køleflader i ventilationsanlægget.

B.8.2 Setpunkt

Setpunktet for køling varieres i henhold til setpunkterne i tabel B.9 og er bestemt ud fra Dansk Standard [2007]

B.9 Ventilation

B.9.1 Type

Her tages udgangspunkt i mekanisk ventilation, hvorfor typen varieres diskret mellem CAV og VAV.

B.9.2 Luftmængde

Luftmængden varieres uniformt inden for et interval, hvor den øvre grænse fastsættes af brugeren; i dette projekt tages der udgangspunkt i en øvre grænse svarende til et luftskifte på 8 h^{-1} . Den nedre grænse bestemmes ud fra den ønskede indeklimakategori for både CO_2 -udledning fra personer og afgangning fra bygningen i henhold til Dansk Standard [2007]. Samtidigt tages der højde for, at luftmængden altid er mindst $0,3 \text{ L/s m}^2$, som er det gældende krav for boliger, hvilket skønnes også at være et rimeligt minimum for kontorer. For CAV kører anlæg konstant med den beregnede luftmængde og for VAV kører anlægget som udgangspunkt med minimumsluftmængden, men denne kan øges op til den beregnede luftmængde.

Luftmængderne relateret til forurening fra personer og bygning er oplistet i tabeller B.10 og B.1.

Kategori	PPD [%]	Luftmængde pr. person [L/s pers]
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	> 30	< 4

Tabel B.10. Nødvendig luftmængde for forurening fra personer, q_{pers} . [Dansk Standard, 2007]

Dermed fastsættes den nedre grænse for CAV som følger:

$$q_{min} = \max(q_{pers}; q_{bygn}) \quad \text{dog altid} \quad \geq 0,30 \text{ L/s m}^2$$

Nedre grænse for VAV som følger:

$$q_{min} = q_{bygn} \quad \text{dog altid} \quad \geq 0,30 \text{ L/s m}^2$$

B.9.3 SEL

SEL-værdien varieres uniformt inden for et interval, hvor den øvre grænse fastsættes i henhold til Bygningsreglementets krav til forskellige anlægstyper; disse er angivet i tabel B.11.

	BR15	BK20
CAV	1800 J/m ³	1500 J/m ³
VAV	2100 J/m ³	1800 J/m ³

Tabel B.11. Krav til højest tilladte SEL-værdi. [Energistyrelsen, 2016]

Som nedre grænse skønnes det, at en værdi på halvdelen af den aktuelle øvre grænse er rimelig.

B.9.4 VGV

Varmegenvindingen varieres uniformt inden for et interval, hvor den nedre grænse fastsættes i henhold til Bygningsreglementet, der desuden henviser til Europakommisionen. Værdier for forskellige typer af varmegenvindingsanlæg er angivet i tabel B.12.

Anlægstype	BR15	BK20
Øvrige, ikke-væskedoblede anlæg	67 %	73 %
Øvrige, væskedoblede anlæg	63 %	68 %

Tabel B.12. Krav til forskellige anlæg til varmegenvinding. [Energistyrelsen, 2016] [Europakommisionen, 2014]

Som øvre grænse skønnes en værdi på 95 % at være rimelig.

B.10 Belysning

B.10.1 Lysstyrke

Lysstyrken varieres uniformt inden for et interval, hvor både øvre og nedre grænse fastsættes i henhold til krav til lysstyrken på kontorer alt efter typen af arbejdsopgaver angivet af Dansk Standard [2011]. Dermed varieres lysstyrken mellem 200-750 lux.

B.10.2 Effektivitet

Effektiviteten af den kunstige belysning varieres uniformt inden for et interval, hvor den nedre grænse fastsættes i henhold til Bygningsreglementets krav på mindst 50 lm/W. [Energistyrelsen, 2016] En rimelig værdi for den øvre grænse vurderes ud fra Johnsen et al. [2009] at være 85 lm/W.

B.10.3 Standby

Standby-forbruget til belysning varieres uniformt inden for et interval, hvor grænserne skønnes at være 0-5 % af den installerede effekt.

B.11 Apparatur

B.11.1 Aktiv

Energiforbruget til apparatur varieres uniformt inden for et interval, hvor både øvre og nedre grænse fastsættes på baggrund af en række BSim-simuleringer udført af Wittchen et al. [2011]; værdierne fremgår af tabel B.13. I henhold til Aggerholm and Grau [2014] antages det, at brugstiden for kontorer er 45 timer i ugen, hvormed energiforbruget til apparatur varieres mellem 8-25 W/m².

	Årsforbrug	
	[kWh/m ²]	[W/m ²]
Lav: Energibesparende Pc'er	18	8
Middel: Referencetilfælde	31	13
Høj: Pc-udstyr m. traditionel skærm	58	25

Tabel B.13. Årsforbrug til apparatur. [Wittchen et al., 2011]

B.11.2 Standby

Ligesom for belysning varieres standby-forbruget til apparatur inden for et interval mellem 0-5 %, der antages at være rimeligt.

B.12 Personer

B.12.1 Persontæthed

Persontætheden varieres uniformt inden for et interval, hvor den nedre grænse fastsættes i henhold til tabel B.14, og den øvre grænse skønnes til 0,5 W/m², svarende til det krævede minimums rumvolumen pr. person i henhold til Arbejdstilsynet [2015] og en rumhøjde på 5 m.

Arbejdsrum	Persontæthed [m ² /pers]
Enmandskontor	12
Åbent kontor	10
Møderum	3

Tabel B.14. Vejledende persontætheder for forskellige typer arbejdsrum. [InnoBYG, 2014]

B.12.2 Aktivitetsniveau

Personernes aktivitetsniveau aktiveres diskret mellem 100 W/person, 120 W/person og 170 W/person. Disse værdier skønnes at være repræsentative for henholdsvis lavt, middel og højt aktivitetsniveau. Her er anvendt et overflade areal på 1,7-1,8 m² og et aktivitetsniveau på 1,0, 1,2 og 1,6 Met, svarende til hhv. stillesiddende, maskinskrivning og stillestående arbejde.

Aktivitetsniveau	Varmeafgivelse [m ² /pers]
Enmandskontor	12
Åbent kontor	10
Møderum	3

Tabel B.15. Vejledende persontætheder for forskellige typer arbejdsrum. [InnoBYG, 2014]

B.12.3 Brugstid

Brugstidens start varieres diskret mellem kl. 5:00, 6:00, 7:00, 8:00, 9:00 og 10:00, som skønnes at dække de tidspunkter, kontorarbejdere typisk møder ind på.

Brugstidens længde varieres derimod diskret, hvor det skønnes, at 4-12 timers arbejdsdage er dækkende for de fleste typer arbejdsdage.

Parametervariationer i robusthedsanalysen C

I dette kapitel præsenteres forslag til, hvordan parametre kan varieres med henblik på at udføre en robusthedsanalyse. De anvendte data er samlet i bilag E.7.

I forhold til, hvordan parametervariationer kan udføres i forbindelse med en robusthedsanalyse, kan det diskuteres, hvorvidt variationerne udføres stokastisk eller trinvis. Her menes med stokastisk, at der genereres seeds, hvor der fortrinvis varieres mellem eksempelvis mindste-, middel- og størsteværdier. Diskussionen bør inkludere en undersøgelse af, hvordan resultaterne påvirkes som funktion af, hvordan variationerne udføres; dette projekt medtager ikke denne undersøgelse. Idet variationerne kan udføres på utallige måder, gives i dette kapitel eksempler på, hvordan variationerne kan fastsættes på baggrund af forskellige modeller og målinger. De beskrevne eksempler skal udelukkende ses som mulige forslag - ikke som en absolutte løsninger.

C.1 Vejr

For at variere på vejret er det nødvendigt med forskellige vejrfiler i dry-formatet. Vejrfilerne skal som minimum indeholde følgende syv parametre:

- Atmosfærisk tryk
- Temperatur
- Fugt (enten luftens absolutte vanddampindhold eller den relative luftfugtighed)
- Direkte solstråling
- Diffus solstråling
- Vindretning
- Vindhastighed

Der er forskellige måde at generere disse på, her beskrives tre metoder.

C.1.1 DRY

Vejrfilen `Danmark_2013.dry` er en såkaldt komposit-vejrfile, hvilket vil sige, at den er en sammensætning af målte vejrdato for flere år, her årene 2001-2010. Vejrfilen er opbygget af månedlige data fra årene 2001-2010 på en sådan måde, at den repræsenterer et 'typisk' år i Danmark, hvilket betyder, at ekstreme vejr situationer såsom stormvejr ikke er medtaget. [Wang et al., 2013]

Idet der for at konstruere DRY-filen er indsamlet vejrdato igennem 10 år, kan vejrdato for hvert af årene 2001-2010 benyttes som selvstændige vejrfiler i en robusthedsanalyse.

De årlige vejrfiler indeholder de mere ekstreme vejr situationer, der ellers er sorteret fra i DRY-filen, hvorfor brugen af de individuelle filer vil resultere i større variationer.

C.1.2 Fast Fourier Transform (FFT)

Generering af vejrfiler kan baseres på Brohus et al. [2002], der beskriver stokastiske modeller baseret på FFT for fem ud af de syv parametre; disse er henholdsvis temperatur, direkte og diffus solstråling samt vindretning og -hastighed. Ud fra disse modeller kan der genereres data på timebasis for hver af parametrene.

Dermed mangler der at blive genereret data for det atmosfæriske tryk og for fugtforholdene. Disse data kan ligeledes genereres på baggrund af FFT.

C.1.3 Meteonorm

En anden metode til tilfældigt at generere vejrfiler på er at benytte Meteonorm, som er et program, der indeholder vejrdato for utallige vejrstationer hele verden over (heraf ca. 30 vejrstationer i Danmark). Baseret på registrerede månedsværdier for en valgt lokation og en stokastisk model genererer programmet timeværdier for de enkelte parametre. Resultatet er en vejrfil svarende til et 'typisk år' til brug ved design af systemer. [Meteotest, 2016] Dette program kan altså håndtere alle de nødvendige parametre og generere en samlet vejrfil. Idet alle lokationer kan vælges, kan forskellige vejrfiler opnås ved at variere mellem forskellige lokationer.

C.2 Skema for personer

For personer varieres der mellem relative profiler, der eksempelvis kan baseres på prEN 16798-1:2015 af Comité Européen de Normalisation [2015], der dog stadig er under udarbejdning. En anden mulighed er at basere de relative profiler på målinger. I det følgende præsenteres forslag til variation af personbelastningerne for enmandskontorer og åbne kontorer. Begge forslag er baseret på målinger. På grund af mængden af de tilgængelige data fra de anvendte målinger foreslås det, at personprofilerne varieres på ugebasis.

C.2.1 Enmandskontor

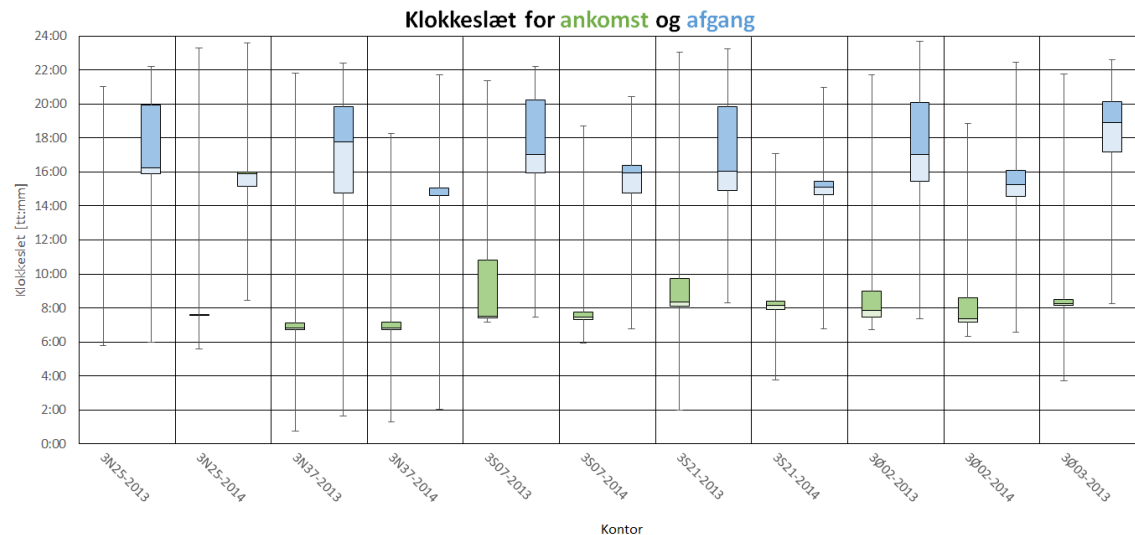
En række relative profiler for enmandskontorer bestemmes ud fra Antonsen and Strømberg [2015], der præsenterer målinger for en kontorbygning gennem to år, herunder måling af hvornår der er personer til stede. Målingerne er udført med henblik på at bestemme elforbruget til dagslys- og brugerstyret kunstig belysning i et kontorbyggeri. Målingerne af tilstedeværelse er baseret på bevægelsessensorer med en opløsning på 10 minutter. Antonsen and Strømberg [2015] inddeler processen med at bestemme personprofiler i følgende skridt:

- Bestemmelse af antal timer pr. dag, herunder bestemmelse af relative personprofiler
- Bestemmelse af antal dage pr. uge
- Bestemmelse af antal fraværende uger pr. år

På baggrund af de forskellige relative profiler produceret af Antonsen and Strømberg [2015] udføres der variationer for hvert af de ovennævnte skridt. En nærmere beskrivelse af variationerne for hvert skridt gennemgås i det følgende.

Antal timer pr. dag for enmandskontorer

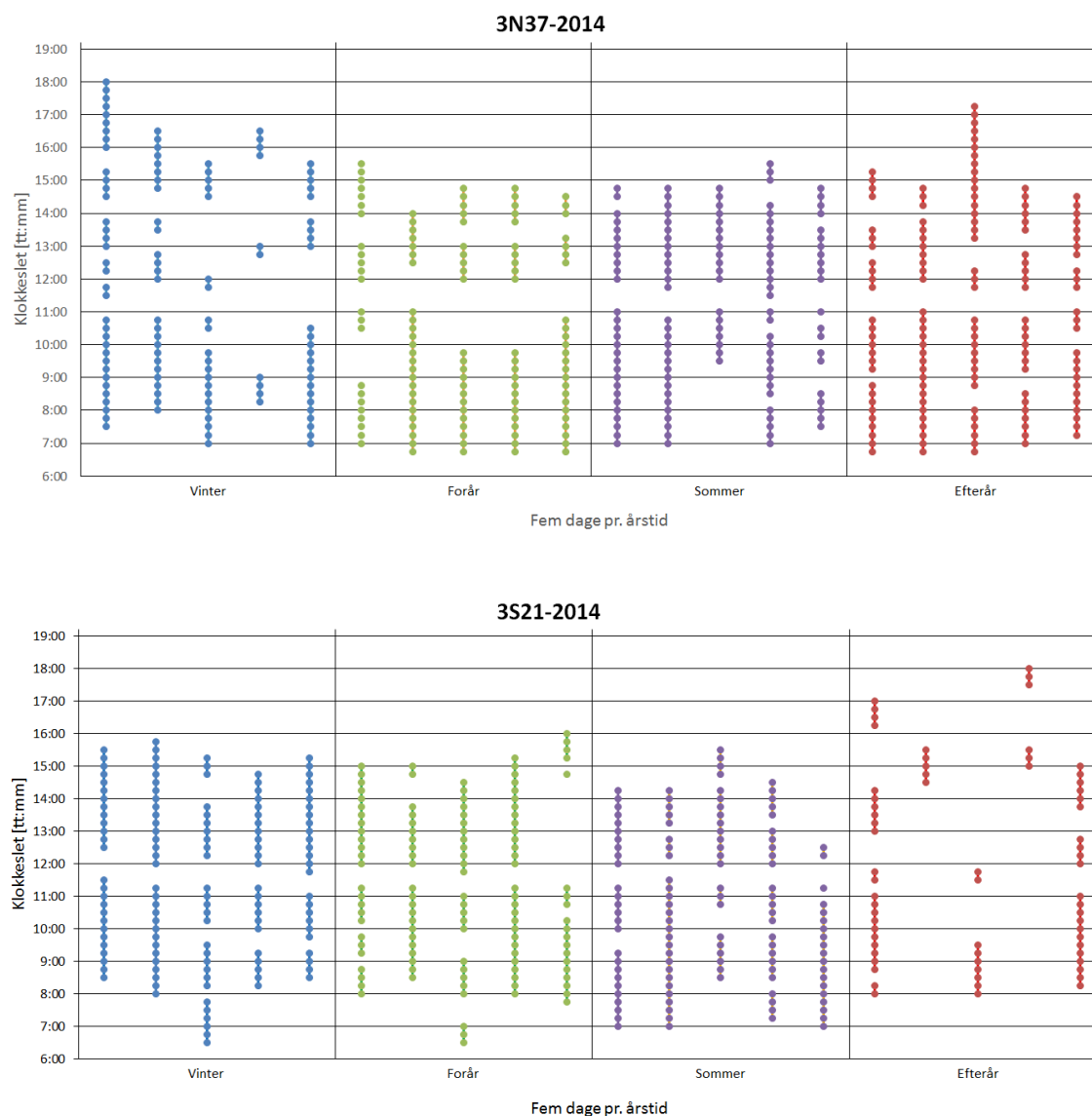
I måleprojektet er det dagligt registreret, hvornår folk møder ind og tager hjem på de forskellige kontorer. Dette er illustreret på figur C.1, der viser boxplots for henholdsvis ankomst og afgang for hver af de undersøgte enmandskontorer.



Figur C.1. Boxplots, der viser fordelingen af tidspunkter for ankomst og afgang for hvert enmandskontor. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Antallet af timer med tilstedeværelse pr. dag for den pågældende uge varierer på baggrund af ovenstående figur og tre seeds. Det første seed bruges til at vælge et af de 11 kontorer. De to sidste seeds bruges til at bestemme fraktiler for henholdsvis ankomst- og afgangstider for den specifikke profil.

For at tage højde for daglige perioder med fravær tages der udgangspunkt i figur C.2 til at konstruere relative dagsprofiler. Dermed opnås en opløsning på 10 minutter svarende til opløsningen for de udførte målinger.

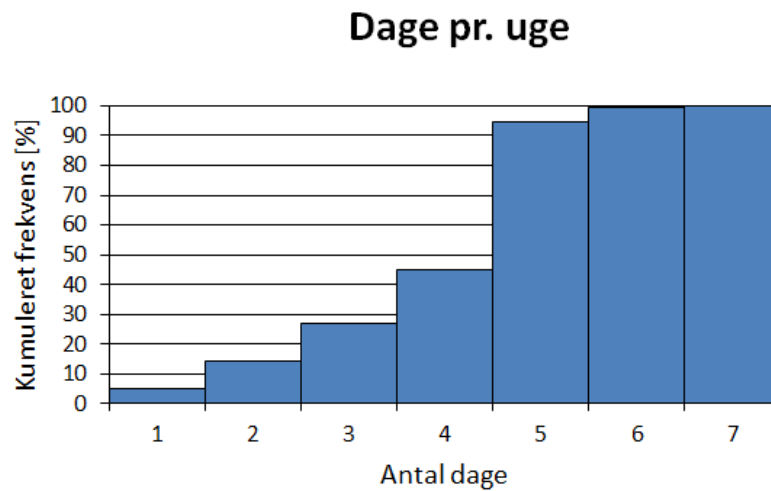


Figur C.2. Tilstedeværelsen af personer i løbet af dagen registreret for to enmandskontorer. Farverne markerer årstiderne. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Af figur C.2 fremgår det, at der ikke er nogen entydig sæsonvariation for de to kontorer. Ud fra de illustrerede data kan pauser i løbet af dagen varieres med et seed, der bruges til at bestemme hvilket af de i alt 40 forskellige dagsforløb, der bruges for den pågældende uge.

Antal dage pr. uge for enmandskontorer

Antallet af dage pr. uge varieres ligeledes på baggrund af de af Antonsen and Strømberg [2015] udførte målinger, der viser, at antallet af dage pr. uge varierer mellem en og syv, hvilket er illustreret på figur C.3.

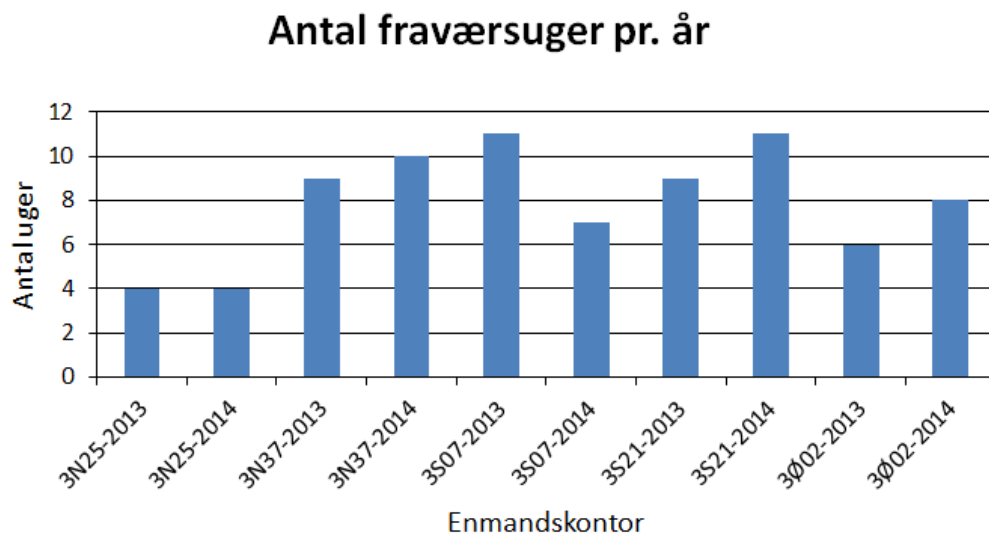


Figur C.3. Kumuleret frekvens for antal arbejdsdage pr. uge på enmandskontorer. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Variationen udføres ved hjælp af et enkelt seed, der tilfældigt bestemmer en frekvens, der ud fra figuren svarer til et antal dage pr. uge. Således fastsættes antal dage pr. uge for hver uge i løbet af året.

Antal fraværsuger pr. år for enmandskontorer

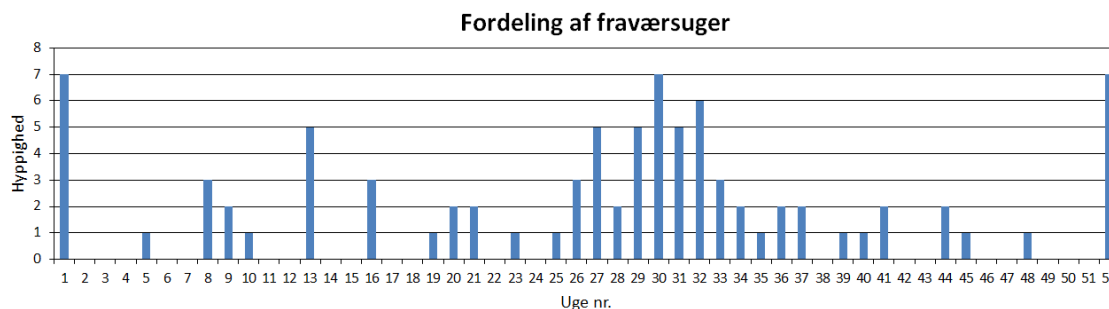
Antallet af fraværsuger pr. år varieres på baggrund af Antonsen and Strømberg [2015], hvilket er illustreret i figur C.4.



Figur C.4. Hyppighed for antal uger pr. år uden personer til stede på enmandskontorer. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Antallet af fraværende uger pr. år varieres med ét seed, der vælger mellem de 10 kontorer i ovenstående figur. Udover at variere på antallet af uger er der forskel på, hvordan ugerne

er placeret i løbet af året, hvilket er illustreret på figur C.5.



Figur C.5. Hyppighed for hvilke uger, der ikke er personer til stede på enmandskontorerne. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Hvilke uger, der ikke er en person til stede på kontoret i løbet af året, varierer med et antal seeds svarende til antallet af uger uden personer. Dermed vælges først en uge med personfravær med det første seed, hvorefter det næste seed bestemmer en af de resterende mulige uger og så fremdeles.

C.2.2 Åbent kontor

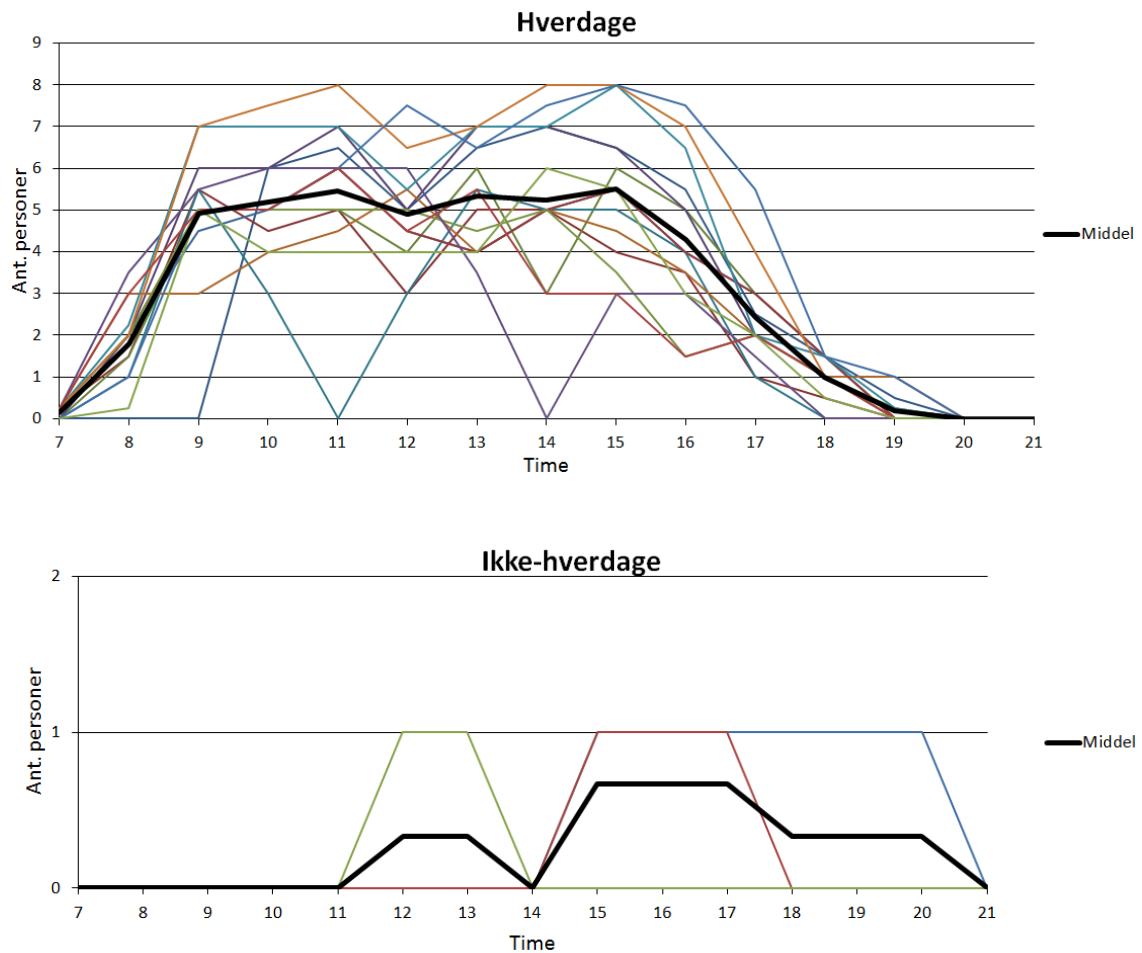
For åbne kontorer benyttes de samme skridt, som de præsenteret for enmandskontorer, til at variere skemaer for personer. Skridtene er henholdsvis:

- Bestemmelse af antal timer pr. dag, herunder bestemmelse af relative personprofiler
- Bestemmelse af antal dage pr. uge
- Bestemmelse af antal fraværende uger pr. år

Ligeledes kan data fra Antonsen and Strømberg [2015] benyttes til at bestemme variationer for åbne kontorer på tilsvarende måde som for enmandskontorer. Idet registreringen af, hvornår der er personer til stede, baseres på, hvornår belysningen er aktiveret, indikerer disse data dog ikke, hvor mange personer ud af det fulde antal, der er til stede på det pågældende tidspunkt. Derfor foreslås det, at variationerne for åbne kontorer baseres på en blanding af data fra Antonsen and Strømberg [2015] og Hansen and Strømkjær [2013].

Antal timer pr. dag for åbne kontorer

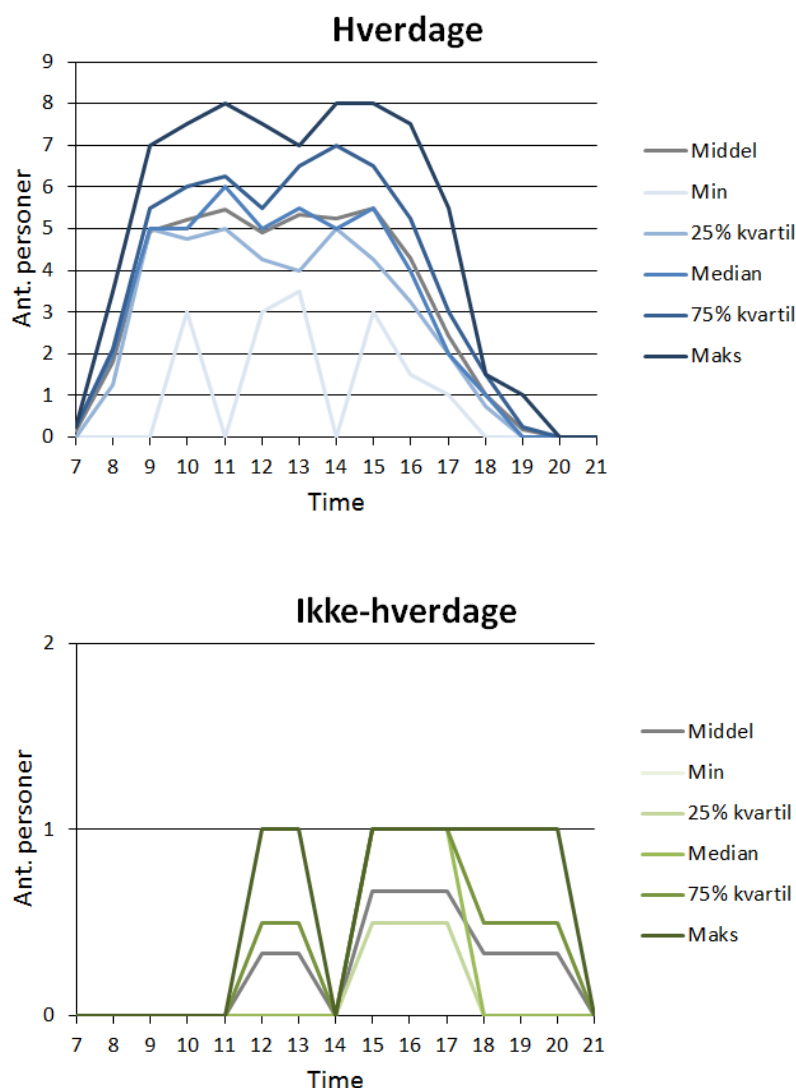
Antallet af timer pr. dag samt den relative personbelastning for åbne kontorer varierer på baggrund af Hansen and Strømkjær [2013], der på timebasis har registreret, hvor mange personer, der er til stede. Figur C.6 viser data for målinger udført i marts 2013 delt op i henholdsvis hverdage og ikke-hverdage. Målingerne er udført for et åbent kontor til 10 personer.



Figur C.6. Registreret antal personer til stede i hver time af brugstiden på hverdage og ikke-hverdage. De farvede linjer angiver daglige målte værdier. [Hansen and Strømkjær, 2013]

Det fremgår af ovenstående figur, at der i måleperioden aldrig var fuld bemanding på det åbne kontor. Derudover ses det, at timebelastningen varierer meget dagene imellem.

Figur C.7 viser statistiske timeværdier for henholdsvis hverdage og ikke-hverdage.

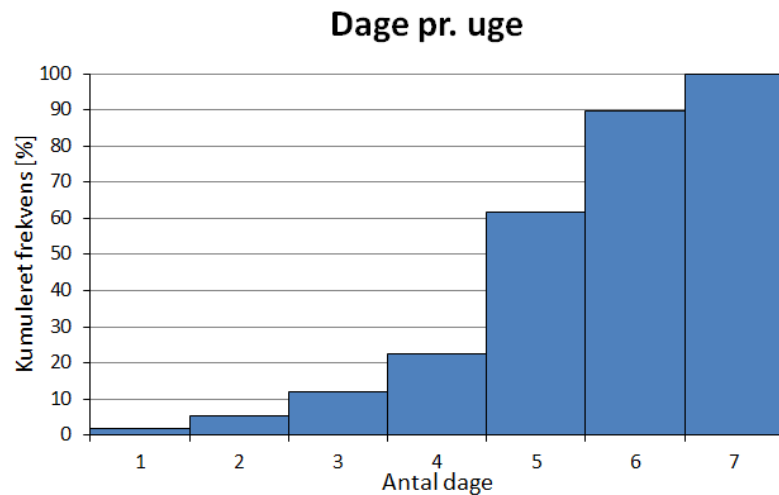


Figur C.7. Statistiske timeværdier for antal personer til stede på hverdage og ikke-hverdage. [Hansen and Strømkjær, 2013]

Data vist i figur C.7 generaliseres ved at bestemme relative timeværdier for det antal personer, der er til stede i forhold til det fulde antal på 10 personer. Dermed angives personbelastningen som en procentdel af det maksimale antal personer. Antallet af timer pr. dag, samt hvor mange personer, der er til stede hvornår, kan på ugebasis bestemmes med to seeds til valg af profil for henholdsvis hverdage og ikke-hverdage.

Antal dage pr. uge for åbne kontorer

For antallet af dage pr. uge kan variationerne udføres på samme måde, som det foreslås for enmandskontorer. Basis for åbne kontorer er dermed figur C.8, der er baseret på målinger foretaget af Antonsen and Strømberg [2015] i åbne kontorer.



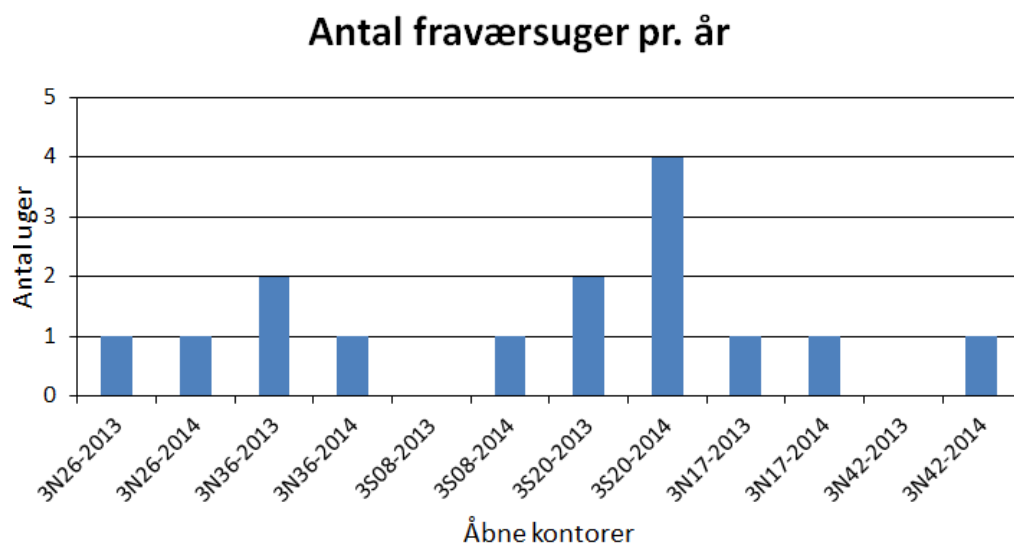
Figur C.8. Kumuleret frekvens for antal dage pr. uge for åbne kontorer. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Variationen udføres med et seed, der bestemmer antallet af dage pr. uge for den pågældende uge. Tilsvarende variationen for enmandskontorer foreslås det, at variere antallet af dage pr. uge på ugebasis.

Antal fraværsuger pr. år for åbne kontorer

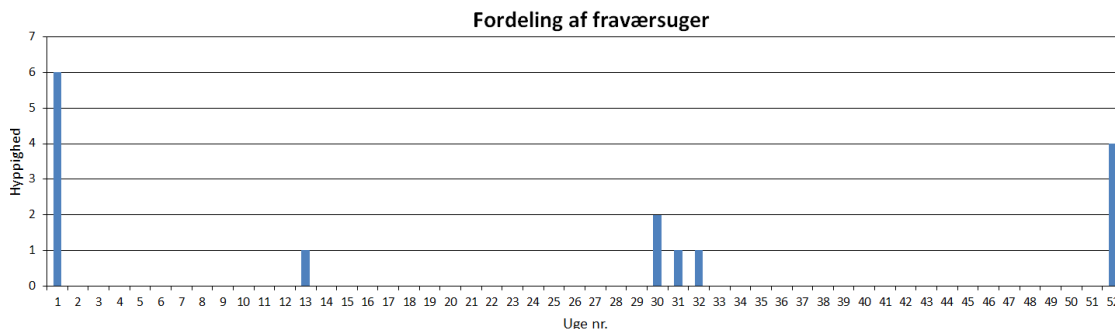
Antallet af uger pr. år med personfravær samt placeringen af disse uger varieres for åbne kontorer ligeledes på baggrund af Antonsen and Strømberg [2015], der har tilsvarende data for åbne kontorer, som de, der tidligere er vist for enmandskontorer.

For åbne kontorer kan variationen af antallet af uger baseres på figur C.9.



Figur C.9. Hyppighed antal uger med personfravær for åbne kontorer. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Placeringen af det valgte antal uger kan varieres på baggrund af de data, der er illustreret i figur C.10.

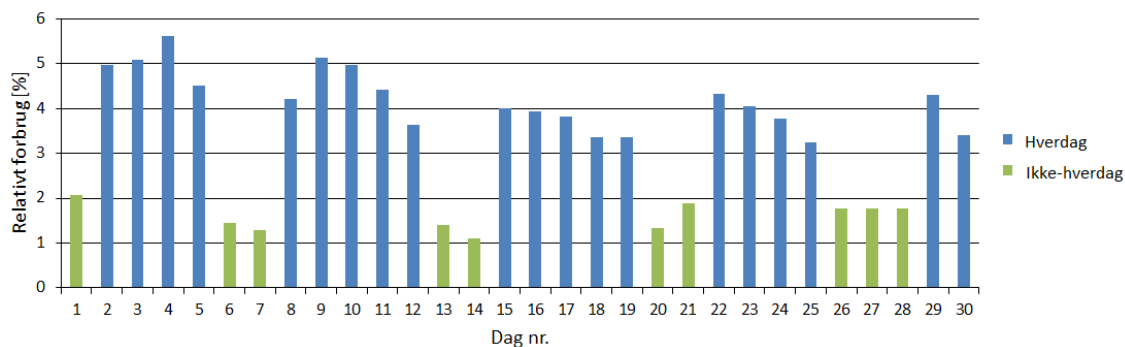


Figur C.10. Hyppighed for hvilke uger, der ikke er personer til stede for åbne kontorer. [Antonsen and Strømberg, 2015]

Ligesom for enmandskontorer varieres placeringen af uger, hvor der ikke er nogen til stede på kontoret, med et antal seeds svarende til antallet af uger med fravær i løbet af året. Første seed bestemmer den første uge med fravær, hvorefter det næste seed vælger en af de resterende mulige uge etc.

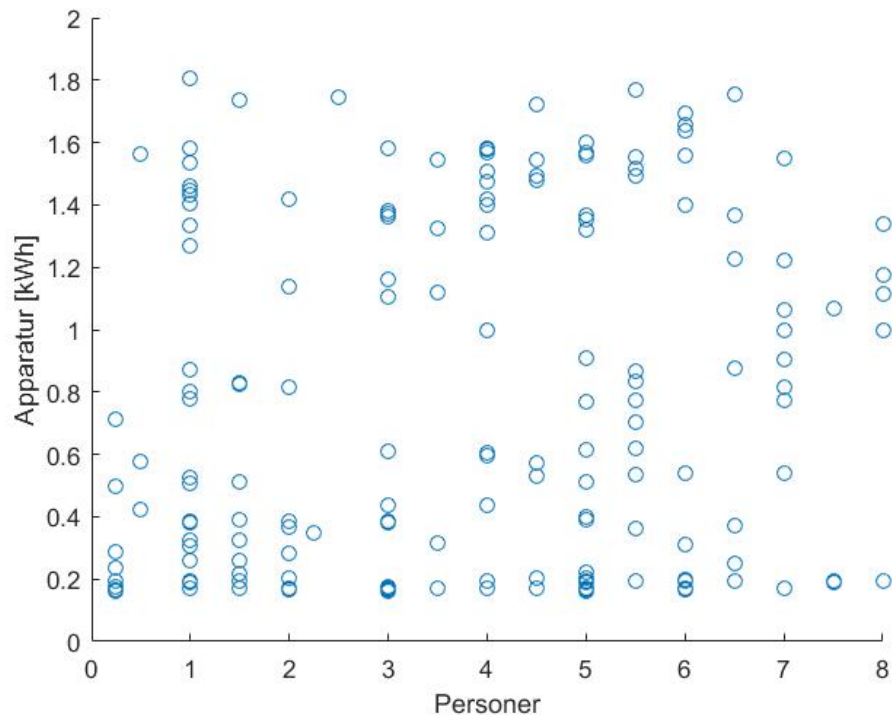
C.3 Skema for apparatur

For apparatur kan variationerne baseres på målinger af elforbruget i et kontormiljø foretaget af Hansen and Strømkjær [2013] i april 2013. Figur C.11 illustrerer det daglige elforbrug relativt i forhold til måleperiodens samlede forbrug.



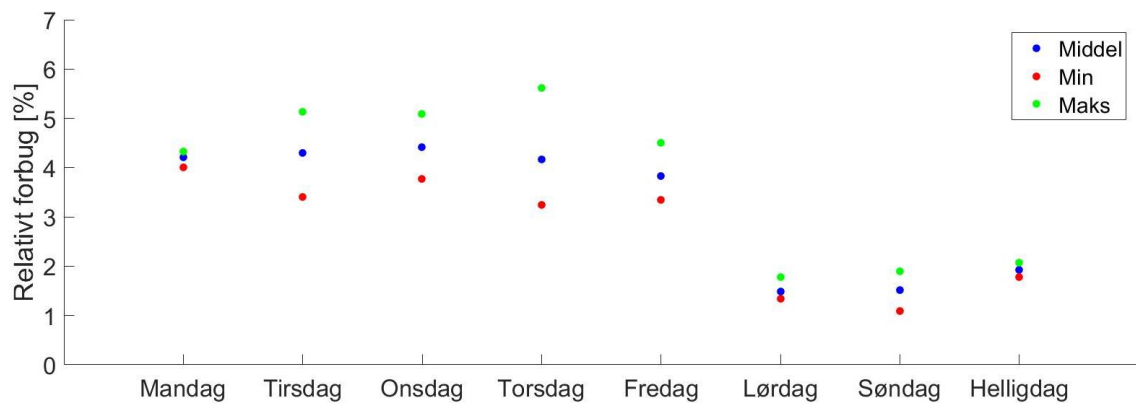
Figur C.11. Dagligt elforbrug relativt i forhold til det samlede forbrug i måleperioden. [Hansen and Strømkjær, 2013]

Måleperioden er startet 2. påskedag, hvilket derfor svarer til dag 1 i figur C.11. Af figuren fremgår det, at det daglige forbrug varierer meget dagene imellem. I figur C.12 undersøges det, hvorvidt de daglige variationer i elforbruget skyldes variationer i personbelastningen. Korrelationskoefficienten mellem data for antal personer til stede og elforbrug er beregnet til 0,1, hvilket betyder, at der ikke umiddelbart er en lineær tendens mellem de to parametre.



Figur C.12. Undersøgelse af, hvorvidt der er en korrelation mellem elforbrug og antal personer.

Figur C.13 viser gennemsnitlige data for mindste, gennemsnitlige og største relative forbrug på timebasis for hver dag i forhold til det samlede forbrug i måleperioden.



Figur C.13. Dagligt elforbrug relativt i forhold til det samlede forbrug i måleperioden. [Hansen and Strømkjær, 2013]

Af figur C.13 fremgår det, at der er store forskelle mellem hverdage og ikke-hverdage (lørdage, søndage samt helligdage).

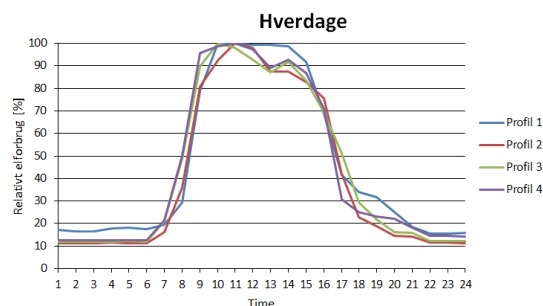
Grundet de daglige variationer kan relative elprofiler konstrueres ved for eksempel at inddele måleperioden i hele uger svarende til fire delperioder, der herefter inddeles i hverdage og ikke-hverdage.

Ud fra målte timeværdier af elforbruget kan det relative timeforbrug bestemmes i forhold til den aktuelle delperiodes spidstimeforbrug. Dermed fremkommer de relative profiler, der er præsenteret i tabel B.13.

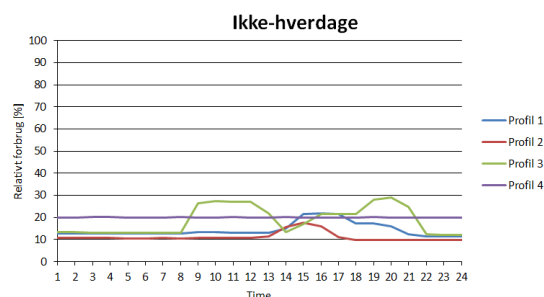
Time	Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4	
	Hverdage	Ikke-hverdage	Hverdage	Ikke-hverdage	Hverdage	Ikke-hverdage	Hverdage	Ikke-hverdage
1	17	13	11	11	12	13	13	20
2	17	13	11	11	12	13	13	20
3	17	13	11	11	12	13	12	20
4	18	13	11	11	12	13	12	20
5	18	13	11	11	12	13	12	20
6	18	13	11	11	12	13	12	20
7	19	13	16	11	21	13	21	20
8	30	13	36	11	49	13	50	20
9	79	14	81	11	90	26	96	20
10	100	13	92	11	100	27	99	20
11	100	13	100	11	98	27	100	20
12	99	13	98	11	93	27	97	20
13	99	13	88	11	87	22	89	20
14	99	15	88	16	92	13	93	20
15	92	22	83	18	83	17	87	20
16	69	22	76	16	69	22	71	20
17	41	21	42	11	51	22	31	20
18	34	17	23	10	29	22	25	20
19	32	17	19	10	22	28	23	20
20	25	16	15	10	16	29	22	20
21	18	12	14	10	16	25	18	20
22	16	11	12	10	12	12	14	20
23	16	12	11	10	12	12	14	20
24	16	12	11	10	12	12	14	20

Tabel C.1. Relative timeværdier for elforbrug til apparatur.

De relative profiler er endvidere illustreret i figurer C.14 og C.15 for henholdsvis hverdage og ikke-hverdage.



Figur C.14. Relativt timeværdier for elforbrug til apparatur på hverdage.



Figur C.15. Relative timeværdier for elforbrug til apparatur på ikke-hverdage.

Ligesom for de relative personprofiler foreslås det på baggrund af mængden af data fra de benyttede målinger, at skemaet for apparatur varieres på ugebasis. Dermed bestemmes det ved hjælp af et seed, hvilken af de fire profiler, der benyttes for den pågældende uge.

Metoder til effektiviseret udforskning af designområdet D

I dette kapitel beskrives de metoder, der anvendes til at effektivisere undersøgelsen af hele designområdet. Metoder kan desuden anvendes til at estimere parametersensitiviteter.

D.1 Morris-metoden

Morris-metoden, der er udviklet af Morris [1991], er en såkaldt one-at-a-time (OAT) metode for sensitivitetsanalyse, der baserer sensitivitetsindeksene på baggrund af elementareffekterne, der er defineret som:

$$EE_i = \frac{y(x_1, x_2, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_k) - y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k)}{\Delta x_i}$$

Her angiver EE_i , y , x_i og Δx_i henholdsvis elementareffekten, output, de forskellige inputparametre og ændringen af en specifik inputparameter. Δx_i afhænger af p , der angiver diskretiseringen, idet:

$$\Delta x_i = \frac{p}{2(p-1)}$$

Campolongo et al. [2007] anbefaler, at p sættes til et lige tal.

Elementareffekten beregnes r gange for hver parameter, hvor r angiver antallet af ‘baner’. Yogesh Khare and Rafael Muñoz-Carpena [2014] angiver, at r kan variere mellem to og 100, men at r mellem 10-20 typisk er tilstrækkeligt. Derudover oplyser Yogesh Khare and Rafael Muñoz-Carpena [2014], at de bedste resultater opnås, når r sættes til et multiplum af p .

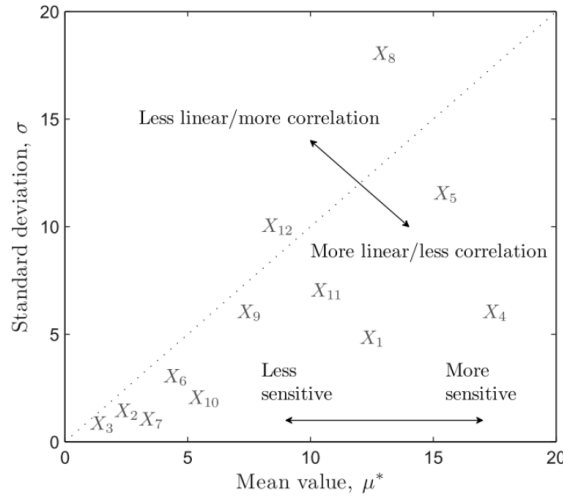
Sensitivitetsindeksene, der er beskrevet i tabel D.1, kan derefter bestemmes ud fra $r \cdot (n + 1)$ realiseringer, hvor n angiver antallet af varierede parametre.

Indeks	Definition	Betydning
μ_i	(1) $\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r EE_i^j$	Parameterens overordnede vigtighed
μ_i^*	(2) $\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r EE_i^j $	Som μ , men baseret på absolutte værdier
σ_i	(1) $\sqrt{\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r (EE_i^j)^2}$	Graden af linearitet/korrelationer

Tabel D.1. Sensitivitetsindeks for Morris screening; (1) er foreslået af Morris [1991], (2) er foreslået af Campolongo et al. [2007].

Campolongo et al. [2007] foreslår brugen af μ_i^* frem for μ_i , da elementareffekterne for en ikke-monoton model har varierende fortegn, hvorfor nogle effekter kan udligne hinanden, hvilket undgås ved at benytte absolutte værdier.

Sensitivitetsindeksene plottes i et 2D-diagram som illustreret i figur D.1; her svarer den stiplede linje til ‘Standard Error of Mean’ (SEM), der bestemmes som $\frac{\sigma}{\sqrt{r}}$.



Figur D.1. Parametrenes indflydelse baseret på Morris screening aflæses i et μ^*, σ -diagram. [Østergaard, 2016]

Metoden er ofte anvendt som screening, idet relativt få realiseringer giver et forholdsvis nøjagtigt billede af, hvilke parametre, der har indflydelse på modellens output og hvilke, der eventuelt er irrelevante. En af de primære ulemper ved metoden er, at den ikke kan skelne mellem ulinearitet og korrelationer. At en parameter har en høj σ -værdi kan derfor både betyde, at parameteren er ikke-lineær eller interagerer med andre parametre. En anden ulempe ved Morris-metoden er, at den umiddelbart kun giver en kvalitativ vurdering af parametrenes indflydelse. Med forbehold for at Morris-metoden er en kvalitativ metode kan sensitiviteten af de enkelte parametre kvantificeres ved parametrenes vægt som foreslået af Østergaard [2016]:

$$SA_{Morris} = \frac{\mu_i^*}{\sum_i \mu_i^*} \cdot 100\%$$

D.2 Pearson Product-Moment Correlation Coefficient (Pearson's r)

Pearson's r , der er beskrevet af [Vittinghoff et al., 2005], 'måler' hvor stærk den lineære tendens mellem to parametre er, idet r bestemmes som:

$$r(x, y) = \frac{\text{COV}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

I ligningen angiver $\text{COV}(x, y)$ kovariansen mellem input, x , og output, y . σ_i henviser til standardafvigelsen for henholdsvis input- og outputparamter.

Koefficienten r er skala-fri, hvorved den varierer mellem -1 og $+1$ og ikke afhænger af parametrenes enheder. Værdien af r kan tolkes i henhold til tabel D.2.

r er symmetrisk, sådan at $r(x, y) = r(y, x)$; koefficienten fortæller altså ikke noget om en eventuel afhængighed parametrene imellem.

r	Lineær tendens
$\geq 0,7$	Meget stærk, positiv
0,4 til 0,69	Stærk, positiv
0,3 til 0,39	Moderat stærk, positiv
0,2 til 0,29	Svag, positiv
0,01 til 0,19	Ingen eller negligerbar, positiv
0	Ingen
-0,01 til -0,19	Ingen eller negligerbar, negativ
-0,2 til -0,29	Svag, negativ
-0,3 til -0,39	Moderat stærk, negativ
-0,4 til -0,69	Stærk, negativ
$\leq -0,7$	Meget stærk, negativ

Tabel D.2. r 's betydning for den lineære tendens mellem to parametre. [Statistics How To, 2016]

Pearson's r kan benyttes til at undersøge, hvordan inputparametrene repræsenteres så lineært som muligt i forhold til modellens output ved at beregne Pearson's r for forskellige repræsentationer af de samme parametre (eksempelvis omregnet til andre enheder eller flere parametre regnet sammen til én). Ved at opnå en større lineær tendens for de forskellige inputparametre forventes det, at eksempelvis en SRC metamodel vil være mere nøjagtig.

Ud fra Pearson's r kan parametersensitiviteten bestemmes som beskrevet af Østergaard [2016]:

$$SA_{\text{Pearson}} = \frac{|r_i|}{\sum_i |r_i|} \cdot 100\%$$

D.3 Standardized Regression Coefficient (SRC)

Ved SRC, der er beskrevet af Schroeder et al. [1986], benyttes en lineær regressionsmodel, der afhænger af flere inputparametre. Modellen ser ud, som følger:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

I modellen angiver y_i og x_i henholdsvis modellens output og de forskellige inputparametre. β_0 angiver værdien af y , når alle inputparametre sættes lig nul. β_i er regressionskoefficienten for den i 'ne inputparameter. Den angiver, hvor meget output ændres, hvis den i 'ne inputparameter ændres med én og de øvrige parametre fastholdes.

Idet alle inputparametre ikke altid har samme skala, er det nødvendigt at standardisere data, således at de standardiserede regressionskoefficienter kan bestemmes. Ved at benytte standardiserede data, angiver β_i nu, hvor mange standardafvigelser y ændres med, når x_i ændres med én standardafvigelse og de øvrige parametre fastholdes. På den måde er koefficienterne nu konverteret til en enhedsløskala og kan sammenlignes på tværs af parametrene.

Data standardiseres i henhold til Bring [1994]:

$$x_i^{st} = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_{x_i}}$$

st angiver, at værdien er standardiseret. $\bar{x}_i$ og σ_{x_i} er henholdsvis parameterens middelværdi og standardafvigelse.

Udtrykket for den lineære regression bliver dermed:

$$y_i^{st} = \beta_0^{st} + \beta_1^{st} x_1^{st} + \beta_2^{st} x_2^{st} + \dots + \beta_p^{st} x_p^{st}$$

SRC kan desuden bruges til at vurdere parametersensitiviteterne, der beregnes som foreslået af Østergaard [2016]:

$$SA_{SRC} = \frac{|\beta_i^{st}|}{\sum_i |\beta_i^{st}|} \cdot 100\%$$

Af fordele ved SRC er, at modellen kan bruges som en meget simpel metamodel, der er meget hurtig at estimere; modellen kan eksempelvis estimeres ved hjælp af den indbyggede kommando, 'LINREGR', i Excel. Derudover kan koefficienterne bruges til at kvantificere parametersensitiviteterne. En ulempe ved SRC er, at modellen er lineær, hvorfor kun 1. ordenseffekter medtages. Ved stærkt ikke-lineære modeller dækker SRC metamodelen derfor kun en lille del af variationerne.

D.4 State Dependent Parameter (SDP) modellering

SDP, der er en metode foreslået af Ratto et al. [2007], er en mere avanceret metamodel, der i modsætning til SRC kan bruges til at estimere højere ordenseffekter, hvilket betyder, at interaktioner parametrene imellem medtages.

SDP baseres på en trunke ANOVA-HDMR ekspansion (High Dimensional Model Representation) som beskrevet af Ma and Zabaras [2010]:

$$f(x) \equiv f_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) + \sum_{i < j}^n f_{ij}(x_i, x_j) + \dots + f_{1,2,\dots,n}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Her angiver f_0 0. ordenseffekten, der er konstant og angiver middeleffekten. $\sum_i f_i(x_i)$ angiver de individuelle bidrag til variationen af de enkelte inputparametre, og $\sum_{j>i} f_{ij}(x_i, x_j)$ angiver effekterne, der skyldes interaktioner mellem par af inputparametre. Ledene af højere ordener angiver effekterne, der skyldes interaktioner mellem flere parametre. Det sidste led angiver enhver resterende afhængighed af alle inputparametre samlet.

Alt efter hvor mange led, der medtages i den trunke HDMR ekspansionen, kan SDP-modellen bruges til estimering af 1., 2. og højere ordenseffekter; den i dette projekt anvendte model inkluderer 2. ordenseffekter. Ved estimering af SDP metamodelen bestemmes også parametersensitiviteterne.

Af fordele ved SDP er, at dens effektivitet til at bestemme parametrenes sensitivitetsindeks er næsten uafhængig af antallet af inputparametre. Dog konvergerer metoden stadig langsommere, når der er mange parametre, hvormed forsortering og reducere i antallet af parametre bliver essentiel. Frasortering af parametrene baseres på elementareffekterne (Morris screening), som er beskrevet i afsnit D.1. Ratto et al. [2007] gennemgår eksempler på anvendelsen af SDP for forskellige modeller i forhold til metodens effektivitet.

Parametrenes sensitivitetsindeks, si , kan omregnes til parametersensitiviteterne i [%] på tilsvarende måde som for de øvrige metoder:

$$SA_{SDP} = \frac{|si_i|}{\sum_i |si_i|} \cdot 100 \%$$

Elektroniske bilag E

E.1 Applikation

- Excel-ark med den udviklede brugerflade til automatisk udførsel af BSim-simuleringer

E.2 Database

- Udvidet Access-database, der er benyttet i projektet

E.3 Evaluering af SDP-model

- Excel-ark, der beskriver konvergens og *si* for de udførte SDP-modeller

E.4 Evaluering af SRC-model

- Excel-ark, der beskriver konvergens og β -koefficienter for de udførte SRC-modeller

E.5 Opslagsværk

- OneNote-dokument, der indeholder opslagsværk omhandlende XML-inputelementer i BSim-inputfilen

E.6 Morris screening

- Mappe, der indeholder data fra Morris screening, herunder resultater af sorterings-proceduren og μ^*, σ -diagrammer

E.7 Parametervariationer i robusthedsanalysen

- Mappe, der indeholder Excel-filer indeholdende data for henholdsvis personer på enmandskontorer og åbne kontorer samt apparatur