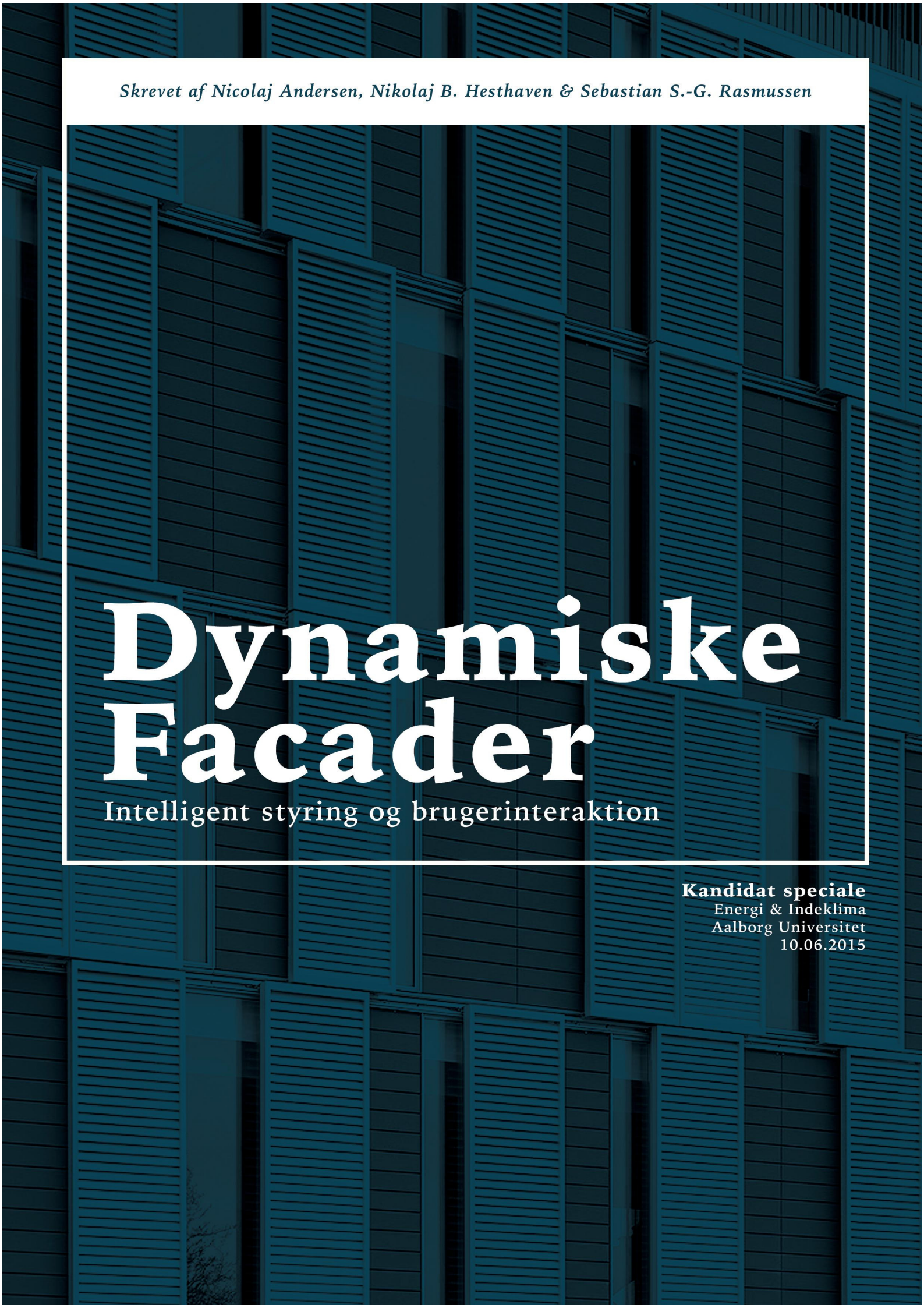
Skrevet af Nicolaj Andersen, Nikolaj B. Hesthaven & Sebastian S.-G. Rasmussen



Dynamiske Facader

Intelligent styring og brugerinteraktion

Kandidat speciale

Energi & Indeklima
Aalborg Universitet

10.06.2015

AALBORG UNIVERSITET

Byggeri og Anlæg
Indeklima og Energi
Sofiendalsvej 9
9200 Aalborg SV
Tlf. Nr. 99 40 85 30
Fax 99 40 85 52

Projekt:

Kandidat speciale
Indeklima og Energi

Titel:

Dynamiske facader

Undertitel:

Intelligent styring og brugerinteraktion

Projektperiode:

02/09-2014 - 10/06-2015

Projektforfattere:

Nicolaj Andersen
Nikolaj B. Hesthaven
Sebastian S.-G. Rasmussen

Vejleder:

Per Kvols Heiselberg

Synopsis:

Foreliggende rapport omhandler en detaljeret undersøgelse af en intelligent facadeløsning, *EnergyFrames*, og dens realiseringspotentiale for optimering af forskellige bygningstyper. Det undersøges derved i praksis hvorvidt EnergyFrames kan optimere energiforbruget og indeklimaet via foretagende målinger. Energiforbruget og indeklimaet er ikke de eneste omdrejningspunkter for undersøgelsen, da brugerinteraktion yderligere inddrages i projektet med det formål at klarlægge brugernes mønstre og deres interaktion med EnergyFrames. Det hjælper tilførslen af den videre udvikling samt optimering af styringsstrategier for de intelligente facader.

Oplagstal: 5
Sidetal: 160
Appendiksantal: 71
Appendiks-DVD
Afsluttet: 10-06-2015

Kilde til forsidebillede:
[Art Andersen, 2014a]

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

Forord

Denne rapport er udarbejdet af tre kandidatstuderende som et langt afgangsprojekt 2014/2015. Den er udviklet for Institut for Byggeri og Anlæg ved Aalborg Universitet, Energi og Indeklima. Projektet er udarbejdet i samarbejde med *Green Tech Center*, Vejle som har givet tilladelse til at måle på en af deres bygninger. Der rettes hermed en tak til *Green Tech Center*, Vejle for denne mulighed. Ydermere rettes der en tak til ingeniørassistenterne Lars Poulsen og Lasse Mikkelsen for praktisk hjælp til opsættelse af udstyr til målingerne.

Læsevejledning

Projektrapporten er sat op i LaTex og er delt i to. En hovedrapport inkl. appendiks på papirform og elektroniske bilag vedhæftet på en vedlagt DVD-skive, som indeholder beregninger, tegninger og programfiler. Indholdsfortegnelsen for det elektroniske bilag findes i appendiks A.

Der vil igennem rapporten fremtræde kildehenvisninger hvor disse er samlet i en litteraturliste bagerst i rapporten. Der er i rapporten anvendt kildehenvisning efter Harvardmetoden, så i teksten refereres en kilde med [Efternavn, År] med kantede parenteser. Denne henvisning fører til litteraturlisten, hvor bøger er angivet med forfatter, titel, udgave og forlag, mens internetsider er angivet med forfatter, titel og dato. Hvis kilden optræder bag ved et punktum benyttes den for hele afsnittet. Er den derimod foran punktummet, er det kun for den givende sætning.

Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, dvs. den første figur i kapitel 1 har nummer 1.1, den anden, nummer 1.2 osv. Forklarende tekst til figurer og tabeller findes under de givne figurer og tabeller.

Nicolaj Andersen	Nikolaj B. Hesthaven	Sebastian S.-G. Rasmussen

Abstract

The presented report elaborately investigates an intelligent facade concept, EnergyFrames, and to which degree EnergyFrames can optimize the energy consumption and the indoor environment on a building through conducted measurements. The energy consumption and the indoor environment are not the sole focal points in the investigation, since user interaction is additionally included with the purpose of identifying the user patterns and their usage with EnergyFrames. The user interaction assists the development and optimization of management strategies for the intelligent facades.

The potential of EnergyFrames is identified for several housing types from various decades with all available types of EnergyFrames, which are textile, plate and slate, before the actual building is placed into service. By doing so, a complete overhaul of the EnergyFrames' impacts is achieved - especially for certain housing types, where EnergyFrames plays a significant role regarding energy consumption.

Moreover, the indoor climate is a key factor as well and is therefore investigated, because the real building, *Green Tech Center Living Lab*, is being put into service. The measurements are conducted over a long period of time, to which the appropriate equipment for measurement of the indoor climate as well as the calculation for the energy balance is applied. Since the precision of the measurements is of great importance for the results, all the equipment has undergone a major preparation process through calibration and the like.

Concerning the inclusion of the users, dialogues are made and questionnaires designed, which before, under and after the measurements identify the usage of EnergyFrames for further use in the management strategies. The installed EnergyFrames are manually adjustable in *Living Lab*, which means they are entirely controlled by the user.

Lastly, to include energy considerations in the strategies, the EnergyFrames will be automated in simulation programs/tools, which have been validated in line with the measurements. This procedure ensures that the simulations are in conformity with reality. The validation is then extended from the measurement period into a year-round usage of EnergyFrames to conclusively find the best-suited strategies.

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning **1**
1.1 Problemformulering . . . 2
1.2 Problemafgrænsning . . . 2
1.3 Rapportens struktur . . . 3
1.3.1 Del I . . . 3
1.3.2 Del II . . . 3
1.3.3 Del III . . . 4
1.4 EnergyFrames . . . 4
1.4.1 Materialer i EnergyFrames . . . 5

Del I Analyse af dynamiske facaders potentiale **9**

Kapitel 2 Bygningstyper **11**
2.1 Enfamiliehuse . . . 11
2.1.1 Bungalow . . . 12
2.1.2 Typehuset . . . 13
2.1.3 Det postmoderne typehus . . . 14
2.1.4 Det moderne byggeri . . . 15
2.2 Etagebyggeri . . . 17
2.2.1 Etagebyggeri fra 1930'erne . . . 18
2.2.2 Etagebyggeri fra 1960'erne . . . 19
2.2.3 Moderne etagebyggeri . . . 19
2.3 Erhvervsbyggeri . . . 21
2.3.1 Auditorium . . . 21
2.3.2 Kontor . . . 22
2.4 Bygningstypernes potentiale for EnergyFrames . . . 23

Kapitel 3 Påvirkning på bygningtypers energiforbrug **25**
3.1 Vurderinger . . . 25
3.1.1 Brug af plantegninger . . . 26
3.1.2 Brug af fotografier . . . 26
3.1.3 Solafskærmning . . . 26
3.2 Be10 resultater . . . 26
3.3 Konklusion på casepåvirkninger . . . 27
3.3.1 Case 1 - Bungalow . . . 27
3.3.2 Case 2 - Typehuset . . . 27
3.3.3 Case 3 - Det postmoderne typehus . . . 28

3.3.4 Case 4 - Det moderne byggeri . . . 28
3.3.5 Case 5 - Etagebyggeri fra 30'erne . . . 28
3.3.6 Case 6 - Etagebyggeri fra 60'erne . . . 28
3.3.7 Case 7 - Moderne etagebyggeri . . . 29
3.3.8 Case 8 - Auditorium . . . 29
3.3.9 Case 9 - Kontorbyggeri . . . 29
3.3.10 Opsummering . . . 29

Kapitel 4 Dynamisk simulering af styringsstrategier 31
4.1 Dynamisk simulering med simplificeret metode . . . 31
4.2 Styringsstrategier . . . 33
4.2.1 Case 9 - Kontorbygning . . . 35
4.2.2 Case 4, 7 og 8 . . . 40
4.2.3 Sammenligning af samtlige cases . . . 43
4.3 Konklusion af dynamisk simulering . . . 45

Del II Testbygningen - Green Tech Living Lab 47

Kapitel 5 Præsentation af testbygning 49
5.1 Green Tech Center . . . 49
5.1.1 Præsentation af Green Tech Center . . . 49
5.2 Living Lab . . . 50
5.2.1 Bygningsdata . . . 50
5.2.2 EnergyFrames på Living Lab . . . 52
5.3 Verificering af opgivet Be10 model . . . 55
5.3.1 Orientering af vinduer - rettelse 1 . . . 56
5.3.2 Ventilationsrate - rettelse 2 . . . 56
5.4 Forventninger og indledende brugerinteraktion . . . 57
5.4.1 Forventninger . . . 57
5.4.2 Analyse af besvarelserne . . . 58

Kapitel 6 Måleperioden 63
6.1 Inspektion . . . 63
6.1.1 Eftervisning af tekniske parametre . . . 63
6.1.2 Dialog med brugerne samt yderligere indtryk . . . 64
6.1.3 Afsluttende bemærkning . . . 65
6.2 Måleforberedelser . . . 65
6.2.1 1 - Problembeskrivelse . . . 65
6.2.2 2 - Spørgsmål målingerne skal besvare . . . 65
6.2.3 3 - Nødvendige målinger . . . 66
6.2.4 4 - Metode til dataindsamling og -behandling . . . 67
6.2.5 5 - Målingernes forhold og målepunkter . . . 72
6.2.6 6 - Måleudstyr . . . 74
6.3 BSim . . . 75
6.3.1 Energibalancen . . . 76
6.3.2 Komfort . . . 77

Kapitel 7 Brugerinteraktion ved manuel styringsperiode **79**
7.1 Logbogsføring . . . 79
7.1.1 Vejret i perioden . . . 82
7.1.2 EnergyFrames til forebygning af træk . . . 85
7.1.3 Luftkvalitet . . . 90
7.1.4 Blændingsgener . . . 93
7.1.5 Temperaturens påvirkning på brug af vinduer og EnergyFrames . . . 98
7.1.6 Alternative logbogsanvendelser . . . 101
7.2 Forventningsafstemning og brugernes forslag til forbedring . . . 103

Kapitel 8 Energibalance ved manuel styringsperiode **105**
8.1 Energibalance . . . 105
8.1.1 Ventilation . . . 105
8.1.2 Infiltration . . . 110
8.1.3 Temperatur i tilstødende rum . . . 113
8.1.4 Belysning . . . 115
8.1.5 Opvarmning . . . 116
8.1.6 Solvarmetilskud . . . 117
8.1.7 Internt varmetilskud . . . 121
8.2 Validering i BSim . . . 124
8.2.1 Validering af temperatur . . . 124
8.2.2 Validering af luftkvalitet . . . 125
8.2.3 Validering af elforbrug . . . 127
8.2.4 Sammenligning med original BSim model . . . 128

Kapitel 9 Konklusion af manuel styringsperiode **131**
9.1 Opnåede erfaringer til automatisk styringsstrategi af EnergyFrames . . . 131
9.2 Model og virkelighed . . . 132

Del III Styringsoptimering af EnergyFrames **133**

Kapitel 10 Automatisk styring på årsbasis **135**
10.1 Årsberegning med manuel styring . . . 135
10.1.1 Resultater for årsberegning med manuelt styrede EnergyFrames . . . 136
10.2 Årsberegning med automatiske styringsstrategier . . . 138
10.2.1 Styringsstrategierne . . . 138
10.2.2 Resultater for årsberegning med styringsstrategier . . . 139
10.3 Forøget personbelastning i Green Tech Start Up . . . 143

Kapitel 11 Systemforbedringer af Green Tech Start Up **145**
11.1 Forbedring af ventilationssystem . . . 145
11.2 Ventilation og EnergyFrames i et integreret system . . . 146

Kapitel 12 Måleperiode med automatiserede EnergyFrames **149**

Kapitel 13 Konklusion **153**

Litteratur **155**

Del IV Appendiks **161**

Appendiks A Elektronisk bilag

Appendiks B Data til EnergyFrames

Appendiks C Skema til Be10 beregninger
C.1 Tabeller til Be10 beregninger . . . 169
C.2 Vurderinger . . . 170

Appendiks D Programmering af styringsstrategier
D.1 Validering ift. BSim og Be10 . . . 173
D.2 Beregning af energibalancen . . . 177
D.2.1 Varme og køling . . . 178
D.2.2 Transmissionstab . . . 179
D.2.3 Ventilationstab . . . 180
D.2.4 Infiltration . . . 181
D.2.5 Naturlig ventilation . . . 181
D.2.6 Lys . . . 182
D.2.7 Internt varmetilskud . . . 182
D.2.8 Akkumulering . . . 182
D.2.9 Soltilskud . . . 182
D.3 Kontrolsystemer . . . 183
D.3.1 Lameller . . . 183
D.3.2 Blænding . . . 184
D.3.3 Naturlig ventilation . . . 186
D.4 Parameterberegning for vindue med EnergyFrames . . . 187
D.4.1 U-værdi beregning . . . 187
D.4.2 Beregning af solvarmetransmittans . . . 189
D.4.3 Beregning af lystransmittans . . . 190
D.5 Interface . . . 191

Appendiks E Detaljerede bygningsparametre for Living Lab
E.1 Bygningsdata og tegninger . . . 195
E.1.1 Ventilation . . . 197

Appendiks F Tidslinjer

Appendiks G Kalibrering af instrumenter og måling
G.1 Eltek . . . 203
G.1.1 Temperatur . . . 205
G.1.2 Forurening . . . 206
G.1.3 Trykdifferens . . . 208
G.1.4 Lyssensor . . . 209
G.2 Solstråling . . . 210
G.3 Træk . . . 212
G.4 Webcam . . . 213
G.5 Vejrstation . . . 213

Appendiks H BSim model af Living Lab før måleperioden
H.1 Opbygningen . . . 215
H.1.1 Termiske zoner . . . 215
H.1.2 Problemstilling vedrørende materialeparametre . . . 216
H.1.3 Overhæng . . . 216
H.2 Systemer og vigtige indtastninger . . . 217
H.2.1 Personbelastning . . . 217
H.2.2 Opvarmning . . . 217
H.2.3 Ventilation . . . 217
H.2.4 Infiltration . . . 218
H.2.5 Elektronisk udstyr . . . 219
H.2.6 Belysning . . . 219
H.2.7 Solafskærmning . . . 219

Appendiks I Infiltration
I.1 Fortyndingsligningen . . . 221
I.2 Følsomhedsanalyse ved aflæsning af henfald . . . 222
I.3 Boxplot fra analyserne på Green Tech Start Up . . . 222
I.4 Omregning af infiltrationskrav . . . 223

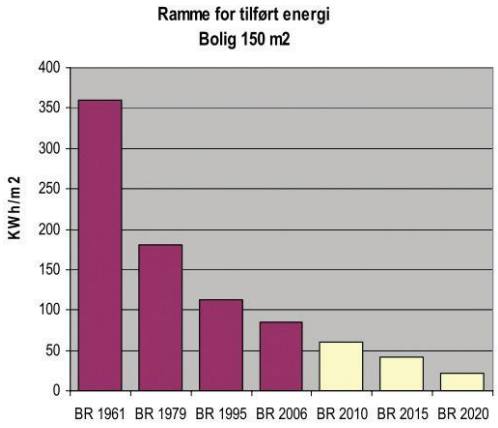
Appendiks J Beregning af direkte og diffus solstråling

Appendiks K Solvarmeanalyse

Appendiks L Styringsstrategi med blænding i Green Tech Start Up
L.1 Geometrisk problematik i Green Tech Start Up . . . 231
L.2 Fejlkilde ved reflekterende blænding . . . 231
L.3 Blændingsgener ved øgede personbelastning . . . 232

Indledning 1

Bygninger udgør 40 % af, hvad energien bruges på i Danmark, hvilket årligt koster 45 mia. kr. [Ingeniørforeningen IDA, 2014], og dette energiforbrug kan potentielt reduceres med 80 % [Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2013]. I Danmark er målet en gradvis skærpning af energikravene frem til år 2020 med den hensigt at resultere i byggerier, der både er CO_2- og energineutrale. Dette er en vision, der opstod kort før år 2010. Det blev besluttet, at der skal nedskæres med 25 % på energiforbruget hvert femte år fra år 2010 og frem til år 2020. Det vil sige, i år 2010 er reduktionen af energiforbruget 25 %, at i 2015 50 % og i år 2020 75 % [Anne Højer Simonsen, Energistyrelsen, 2014].



Figur 1.1. Eksempel på nedskæring af forbrug fra BR 1961 til BR 2020 [Anne Højer Simonsen, Energistyrelsen, 2014].

Hovedtanken er derfor at nedbringe afhængigheden af fossile brændstoffer i Danmark. Det skyldes flere faktorer og er hovedsageligt baseret på efterfølgerne af Kyoto protokollen. Heriblandt at Danmark samt andre især vestlige lande udleder mere CO_2 og bruger mere energi end mange andre i verden. Ydermere findes størstedelen af verdens olie- og gasreserver hovedsageligt i Mellemøsten samt Rusland. Derfor søges det at nedbringe afhængigheden af disse energiformer i Danmark. [Anne Højer Simonsen, Energistyrelsen, 2014]

Disse mål er omsat til specifikke krav i byggeriet. Heriblandt til konstruktionernes evne til at isolere via forøget isoleringstykkelser, og hvor meget energi bygninger må projekteres til at bruge på årlig basis. Alle disse tiltag er implementerede i Bygningsreglementet, da det bliver et krav for nybyggerier og renoveringer af eksisterende bygninger. I byggerier der forsøger at imødekomme de omtalte skærpelser for energiforbruget, opstår der problemer med overtemperaturer, i modsætning til tidligere hvor undertemperaturer var mere forekommende. Det koster energi at køle bygninger, hvilket medfører en yderligere problemstilling. En balance mellem opvarmning og køling skal derfor

findes, for at tilvejebringe en optimering af energiforbruget. Det er derfor en større udfordring, da et tilstrækkeligt indeklima endvidere medtages i de overordnede betragtninger.

For at varetage denne vigtige og komplekse opgave, er der brug for nytænkende løsninger, der både opfylder kravene for energibesparelserne, samtidig med brugerne af bygningerne føler et tilfredsstillende indeklima. I år 2009 blev en mulig løsning udtænkt mellem Statens Byggeforskningsinstitut (SBi) og Art Andersen, der udvikler og rådgiver inden for bevægelige solafskærmninger. Art Andersen var på forhånd producent af lignende løsninger, men disse var ofte dyre enkeltløsninger. Interessen for en velegnet masseproducerende model skabte dermed idéen for at forske i og udvikle på, hvad der sidenhen blev døbt *dynamiske facader* eller *intelligente facader* [Innovationsnetværket Dansk Lys, 2014].

Definitionen af begrebet *intelligent facade* er, at en solafskærmning påmonteres på den udvendige side af byggeriets vinduer. Løbende ændres funktionaliteten af solafskærmningen til at imødekomme krav til indeklimaet og energiforbruget ved at justere diverse parametre, alt efter hvilke ydre og indre påvirkninger bygningen udsættes for. Det drejer sig således om at afskærme for solen og påføre ekstra isolering hvis nødvendigt, i sammenhæng med hvornår og hvor tit rummene benyttes. SBi og Art Andersen har sammen visionen om at skabe et kommercielt produkt, som bliver en standardløsning til reduktion af energiforbruget i alle former for bygninger (enfamiliehuse, etagebyggeri, erhverv osv.). Dette afhjælper både nye såvel som eksisterende byggerier med at imødekomme de skærpede krav. Idéen med den intelligente facade med en bevægelig ydre solafskærmning er navngivet *EnergyFrames* [Stegger og Andersen, 2011]. I dag er Inwido A/S en stor producent af EnergyFrames. Igennem rapporten refereres fra tid til anden som EF.

1.1 Problemformulering

Med indledningen som udgangspunkt opstilles følgende problemstillinger:

> *Hvordan kan intelligente facader integreres som en del af en bygning, således en optimering af energiforbrug og indeklima tilvejebringes, og hvorledes imødekommer intelligente facader behov og krav herom.*
>
> *På denne baggrund, hvordan opererer intelligente facader under ydre og indre påvirkninger iht. vejret såvel som brugere og deres interaktioner?*

Yderligere dybdegående spørgsmål som specifikt omhandler EnergyFrames findes i afsnit 6.2.1 og 6.2.2 på side 65.

1.2 Problemafgrænsning

Da det ikke er muligt at belyse alle emner i denne rapport, er det valgt at afgrænse rapporten fra visse emner. Disse vil i det følgende blive belyst og begrundet fravalgt:

- At foretage længerevarende spotmålinger af træk, da det først blev erfaret senere, at fem min. vil give mere troværdige resultater
- BSim bruges ikke til simulering af styrringsstrategier for dynamiske facader i del I, da programmet endnu ikke var udviklet.
- Måleperioden er begrænset til sæsonniveau grundet projektets tidsramme.

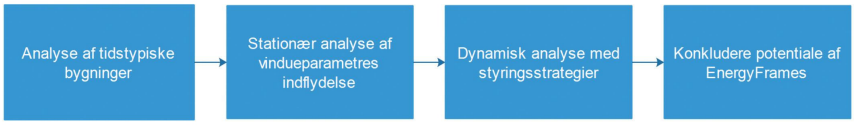
- Det har ikke været muligt at implementere automatiske styringsstrategier på testbygningen inden projektets deadline.

1.3 Rapportens struktur

Ud over indledningen hvor den undersøgte dynamiske facade, EnergyFrames, er præsenteret, består rapporten af tre dele og en appendikssamling.

1.3.1 Del I

Del I er den teoretiske del, hvor potentialet af EnergyFrames bliver analyseret. Strukturen er illustreret på figur 1.2.

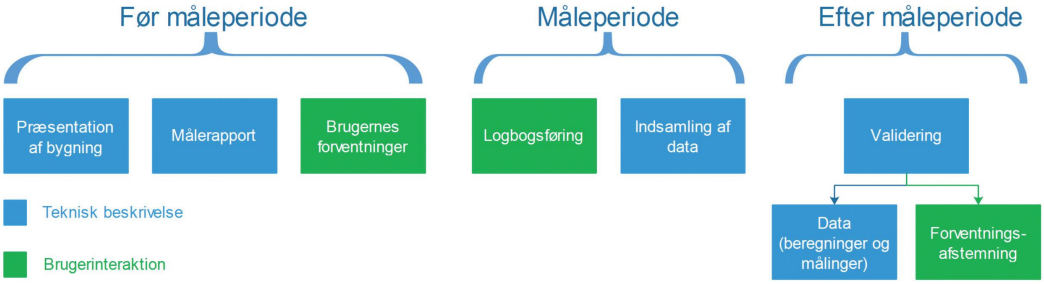


Figur 1.2. Struktur for del I.

I *analyse af tidstypiske bygninger* defineres flere bygningstyper som en indledende del for at klargøre deres kendetegn samt hvilke typer der har potentiale til anvendelse af EnergyFrames ift. markedsføring. Herefter bruges disse bygninger i en *stationær analyse af vindueparametres indflydelse*. I den forbindelse undersøges det, hvilke bygningstyper EnergyFrames vil forbedre mest ved at ændre på parametre, som EnergyFrames kan påvirke. Herefter udvælges få bygningstyper, der undersøges videre i en mere kompliceret simulering, *dynamisk analyse med styringsstrategier*. I denne analyse implementeres styringsstrategier til at præcisere potentialet af EnergyFrames. *Konkludere potentiale af EnergyFrames* er derefter det sidste skridt i del I, hvor der følges op på de erhvervede erfaringer.

1.3.2 Del II

Ved brug af erfaringerne fra del I udvælges en reel bygning til at eftervise potentialet af EnergyFrames i praksis. I denne del bliver bygningen beskrevet inden brugerne flytter ind i takt med brugernes manuelle brug af EnergyFrames analyseres. På figur 1.3 ses forløbet af del II illustreret.



Figur 1.3. Struktur for del II.

Del II deles op i tre perioder, *før måleperioden*, *måleperioden* og *efter måleperioden*. I hver periode undersøges data til brug af systemerne og brugerinteraktion. Resultaterne fra denne del anvendes til videre bearbejdning i del III.

1.3.3 Del III

Resultaterne af målingerne i del II bruges til simulering med udviklede styringsstrategier. Dette vil foregå via en kontinuerlig iterativ proces, som ses på figur 1.4.

Figur 1.4. Struktur for del III.

Det skal bemærkes, at der ved step 2, afprøvning af styringsstrategi, menes en dynamisk simulering af styringsstrategien ift. den foregående strategi.

1.4 EnergyFrames

EnergyFrames er et koncept, der har den unikke funktion, at parametre der influerer energiforbruget og indeklimaet tilpasses efter forskellige situationer. EnergyFrames har i moderne tid et større potentiale, da opførelse af bygninger med store glasarealer er aldeles efterspurgte og derfor vidt udbredt. Det medfører, at der kan påmonteres et større antal EnergyFrames pr. boligenhed, fordi de store vinduespartier kan føre til overtemperaturer gennem vinduer om sommeren. På EnergyFrames' officielle hjemmeside proklameres det, at energiforbrugets besparelse kan reduceres 50 % - 75 %. [Art Andersen, 2014b]

På figur 1.5 ses en simpel skydesekvens af tre typer EnergyFrames.

Figur 1.5. Sideskydningssekvens af EnergyFrames [Stegger og Andersen, 2011].

Er der eksempelvis påført EnergyFrames på en ældre og/eller underpræsterende klimaskærm, kan typer af EnergyFrames forøge vinduernes isolering i kolde perioder, såsom vinter- og nattetimer. I modstridende tilfælde hvor opvarmning ikke er ønsket, f.eks. i dagtimer med høj solintensitet, kan solafskærmningen på fordelagtig vis blokere for solvarmen.

Vinduet med påmonteret EF har en essentiel rolle at spille. For det første har vinduet oftest den ringeste isoleringsevne (U-værdi) sammenlignet med resten af klimaskærmen. For det andet har vinduet reelt set væsentlige funktioner i det daglige brug bl.a.:

- At tilføre varme til huset
- At sørge for udsyn til omgivelserne
- At yde tilstrækkelig belysning
- At yde tilstrækkelig naturlig ventilation
- At støjreducere

Problemstillinger med et stort vinduesareal er videre berørt i afsnit 2.1.4 på side 15.

1.4.1 Materialer i EnergyFrames

EnergyFrames kommer i tre overordnede udgaver, defineret af hvilke materialer, der anvendes som en del af den dynamiske solafskærmende facade:

- Tekstil
- Plade
- Lamel

På figur 1.6 - 1.8 er de tre forskellige typer vist [Art Andersen, 2014a].

Figur 1.6. Tekstil.

Figur 1.7. Plade.

Figur 1.8. Lamel.

Valg af materialetype afhænger af, hvilket specifikt behov eller hvilken placering det udvalgte rum har. Er rummet eksempelvis orienteret mod syd er opgaverne hovedsageligt at afskærme imod solen for at minimere overtemperaturer. Alle tre typer har denne funktion. Er rummet derimod orienteret mod nord kan opgaven være at isolere så godt som muligt, hvor pladeløsningen i dette tilfælde vil være bedst egnet, da den har en højisolerende effekt.

EnergyFrames er en velpassende løsning i samarbejde med arkitekter, som ønsker at bibeholde et unikt udtryk på bygninger. Alle materialer der anvendes i EnergyFrames kan produceres i farver som det ønskes, samtidig med en reduktion af vinduesandelen af det totale facadeareal ikke nødvendigvis bliver en tvungen handling. EnergyFrames udelukker derfor ikke muligheden for et ønske om en enestående fremtoning af en bygning.

For at understrege, hvad der adskiller de tre typer af EnergyFrames (tekstil, plade og lamel), henvises der til tabel 1.1 og tabel 1.2, hvor sidstnævnte viser specifikke tekniske værdier.

	Plade			Lamel		Tekstil	
	PC*	***Isolering***	***Glas***	***Alu***	***Træ***	***Åben***	***Lukket***
Lys	Medium	Lav	Lav	Høj		Lav	Medium
Varme	Høj			Medium		Lav	Medium
Energi	Høj			Medium		Lav	
Lyd	Høj			Medium		Lav	
Sikkerhed	Høj			Medium		Lav	
Rengør. skodde	Lav			Høj		Lav	
Rengør. glas	Uændret			Uændret		Uændret	
Pris	Lav	Medium	Medium	Høj		Lav	

Tabel 1.1. Specifikationessammenligning af EnergyFrames [Art Andersen, 2014a]. *Polycarbonat.

Bemærk, *åben* og *lukket* for tekstilen er iht. perforeringsgraden. Til de opstillede specifikationer for EnergyFrames findes yderligere beskrivelser:

- **Lys** - Hvor god en løsning er til at styre/kontrollere lyset fra solen
- **Varme** - Hvor god en løsning er til at styre/kontrollere varmepåvirkningen fra solen
- **Energi** - Optimering af energiforbruget
- **Lyd** - Hvor godt dæmper den støjen udefra
- **Sikkerhed** - Inklusiv tryghed
- **Rengør. skodde** - Hvor let er den at rengøre
- **Rengør. glas** - Hvor stor forskel løsningen giver ift. rengøring af vinduesglasset

Type	**g-værdi [-]**	**U-værdi [$\frac{\mathbf{W}}{\mathbf{m^2K}}$]**	**Lystransmittans [%]**
Plade med polycarbonat	0,51 - 0,66	1,69	58 - 60
Plade med isolering	-	0,912 - 1,098	-
Tekstil	0,089 - 0,131	-	2 - 12
Lamel	-	-	-

Tabel 1.2. Tekniske detaljer vedr. EnergyFrames' forskellige typer [Jessen, 2015a].

Som det observeres er der angivet varierende værdier for tekstildugens g-værdi og lystransmittans samt pladernes U-værdi og lystransmittans, da der findes flere modeller af hver EnergyFrames type. Pladeløsningen ses at være fleksibel, da der enten er mulighed for at få en løsning med polycarbonat, der gør det muligt at få lys ind, men på bekostning af en forhøjet U-værdi ift. en ikkegennemsigtig pladeløsning, der har en bedre isolerende effekt. Desuden er mængden af gennemtrængende sollys for en plade med polycarbonat betydelig højere end for en tekstildug, der i det bedste scenarie tilnærmes en sjettedels effekt. For tekstildugen findes også en g-værdi, der vil bidrage til varmetilskuddet til bygningen trods den lille værdi. Lamellernes værdier er svære at definere, da de kan reguleres. Der er stadig forsøg i gang ved SBi for at præcisere dette, men de bliver ikke færdige inden rapportens deadline. Fra tabel 1.2 er overordnede værdier opgivet for EnergyFrames, hvortil en komplet samling af tilgængelige data findes i appendiks B.

I det følgende redegøres endvidere forskellighederne mellem de tre typer. Information omhandlende materialerne stammer fra EnergyFrames' egne proklameringer [Art Andersen, 2014a].

EnergyFrames med **plader** skiller sig ud fra de to andre typer ved at have den bedste isoleringsevne. Hver enkelt plade i en pladeløsning består af flere forskellige flader. Pladerne der påføres kan

derfor varieres i antal og tykkelse. Pladerne kan ligeledes være af forskellige materialer, såsom isolerende materiale, hærdet glas, kunststof o.l. Dette munder ud i en større frihed til specifikt at specialedesigne til en bestemt case.

Pladerne vælges ud fra hvilke funktioner, der ønskes. Det kan dreje sig om udsyn, ventilation, isoleringsevne samt de mere arkitektoniske aspekter såsom farve, mønstre, grafik osv. (som også er gældende ved de andre typer). Det betyder, at kombinationsmulighederne er forholdsvis ubegrænsede. Den fysiske begrænsning der trods alt er gældende ved denne løsning, er en problematik vedr. vægten, der maksimalt må være 60 kg pga. motorens ydeevne.

Det unikke ved **Lamelløsningen** er, at afskærmning altid er for hele vinduesarealet uanset tidspunktet under den forudsætning, at rammen ikke er kørt fra vinduet. I modsætning til tekstildugen og pladen, der gradvist må skydes frem for at afskærme, kan lamellerne dække hele vinduesarealet. Lamellerne yder et stort belysningsniveau inde i rummene ved at projektere lyset længere ind ved at tage højde for solens position. Skulle det blive for varmt, kan lamellerne lukkes helt tæt og afskærme fuldstændig for solen. EnergyFrames i form af lameller behøver derfor ikke at blive fratrukket for at opnå et påkrævet lysniveau.

Tekstildugen, har hovedsageligt til formål at formindske blænding og blokere for solvarmen. Ud af de tre typer har tekstildugen dog den laveste energimæssige ydeevne. Udefra vil tekstildugen umiddelbart ikke fremstå gennemsigtig, mens den fra den indvendige side giver et større gennemsigtelig indtryk. Dette gør, at brugeren har mulighed for at se ud igennem tekstildugen og samtidig være ugeneret af forbipasserende e.l. Denne funktion forsvinder dog, hvis vand fra eksempelvis regn har sat sig ind i perforeringen.

Perforeringsgraden kan varieres, hvilket betyder det totale åbningsareal kan fås i den størrelse, som det ønskes. Arealet er bestemt ud fra, hvor meget luft der ønskes tilført gennem dugen samt belysningsbehovet mv. Endvidere har tekstilen udvist stor holdbarhed imod vindpåvirkning, hvilket betyder en lang levetid.

Del I

Analyse af dynamiske facaders potentiale

I denne del analyseres potentialet af EnergyFrames for et bredt udvalg af forskellige bygningstyper fra forskellige tidsperioder. Herom foretages konklusioner og vurderinger baseret på de fundne resultater.

Bygningstyper 2

For at vurdere potentialet af EnergyFrames, bliver denne form for dynamisk facade analyseret på flere forskellige typer bygninger. Formålet er at analysere, hvilke bygningstyper EnergyFrames giver den bedste forbedring på ift. bygnings energibehov. De væsentligste parametre, der bliver belyst, er U-værdierne for klimaskærmens konstruktionsdele og g-værdien for vinduerne. Der ses på tre overordnede bygningstyper:

- Enfamiliehuse
- Etagebyggeri
- Erhvervsbygninger

Under hver bygningstype er der flere tidstypiske underklasser, som vil fremgå fra afsnit 2.1 til 2.3. Bygningsstrukturen er baseret på klassiske tidstypiske kendetegn. Oplysninger, der senere beskriver, hvor mange opførelser der i dag står tilbage fra de pågældende årtier, er opgivet vha. Danmarks Statistik [Danmarks Statistik, 2014].

Som en form for screening test implementeres hver bygning i beregningsprogrammet Be10, der udregner det årlige energibehov. Dette gøres ved brug af værdier og parametre, der stemmer overens med bygningstypen. Energibehovet bliver udregnet før og efter ændring af vinduesparametre som EnergyFrames påvirker, hvorefter bygningstypernes resultater sammenlignes med hinanden. Herved findes bygningstypen hvorpå EnergyFrames kan have størst indflydelse. Resultaterne præsenteres i kapitel 3.

2.1 Enfamiliehuse

Enfamiliehuse, også kendt som parcelhuse, er den mest udbredte bygningstype i Danmark. I 2005 var der cirka 1,2 millioner enfamiliehuse i Danmark [Danmarks Statistik, 2005]. Denne hustype har båret præg af forskellige tidsperioder og undersøges derfor i et tidstypisk perspektiv. Følgende typer bliver undersøgt:

- Bungalow (case 1)
- Typehuset (case 2)
- Det postmoderne typehus (case 3)
- Det moderne byggeri (case 4)

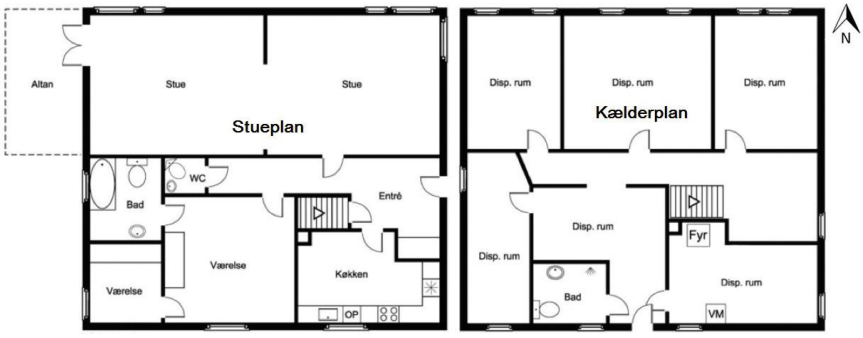
Det skal bemærkes, at hver type bliver defineret som en case. Til hver case findes en bygning, der så vidt muligt stemmer overens med bygninger for den gældende tidsperiode. Under hver case vil nogle bygningsparametre blive fremvist. For en uddybende forståelse af, hvad der er tastet ind i Be10 henvises der til tabel C.1 i appendiks C. Det er samtidigt muligt i tabel C.1 at se, hvilke

parametre der er vurderet, og hvilke der er givet fra den specifikke case. Dette gælder ligeledes for cases vedr. *Etagebyggeri* og *Erhvervsbygninger*.

2.1.1 Bungalow

Bungalowen blev opført i 30'erne. I dag er der ca. 81.000 enfamiliehuse tilbage fra det årti. Typisk var bungalowern ikke over 110 kvadratmeter, da det ville fratage husejeren retten til statslånet for småhusbyggeri ved et større boligareal [Bolius, 2004a]. Der findes et stort antal af tilbygninger for parcelhuse, ca. 60.000 - 85.000 pr. år i løbet af de sidste 5 år. Mange af disse huse antages at være af ældre dato, deraf er flere af de tilbageværende huse fra 30'erne antageligvis større end 110 m^2 [Danmarks Statistik, 2014]. Typisk er enfamiliehusene fra 30'erne ikke oprindeligt tiltænkt en familie, men ofte to, hvilket har betydet, at husene er i to plan. Typisk svarer det samlede vinduesareal til ca. 15 % af gulvarealet. Huset var tiltænkt at være funktionelt ved en kompakt og kvadratisk indretning [Bolius, 2014b]. På figur 2.1 ses et typisk hus fra perioden, og på figur 2.2 ses en dertilhørende plantegning.

Figur 2.1. Eksempel på Bungalow [Rose og Mortensen, 2013].



Figur 2.2. Plantegning af bungalow [Rose og Mortensen, 2013].

Bungalowen er interessant at undersøge vedr. EnergyFrames grundet den dårlige isolering. Til trods for at varmetabet til omgivelserne bliver mindsket ved den kvadratiske form, er isoleringen i klimaskærmen så utilstrækkelig, at varmetabet er af bemærkelsesværdig størrelse. EnergyFrames tænkes derfor at have en særdeles positiv indvirkning på huse fra denne tid. I tabel 2.1 er U-værdier og g-værdier for klimaskærmen opstillet for den valgte bungalow. Vinduerne i huset blev i 60'erne udskiftet, hvilket vurderes til at være ganske normalt for tilbageværende huse fra denne tid [Rose og Mortensen, 2013].

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{kældergulv}$	U_{loft}
2,70 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,75	1,45 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,40 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,55 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

Tabel 2.1. Eksempler på U-værdier og g-værdi for huset fra 30'erne [Rose og Mortensen, 2013].

2.1.2 Typehuset

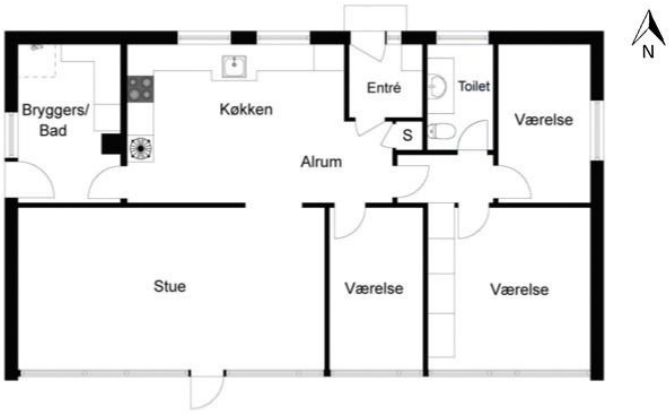
Typehuset fra 60'erne til 70'erne blev typisk opført som et etplanshus. Der blev i 60'erne opført mange af disse huse, som hurtigt blev bygget til overkommelige priser for familier pga. Danmarks økonomiske fremgang [Bolius, 2014c]. Husene der sættes fokus på vil være typehuse, som er opført før oliekrisen i 1973. Der står stadig 446.000 boliger tilbage fra denne tid. Det giver dermed allerede et praj om, at der kan ligge et større potentiale i at undersøge EnergyFrames på sådanne huse, da der i dag kan være et stort antal ældre huse, der kan trænge til renovering. Det skal tages i betragtning, at flere af disse huse med stor sandsynlighed allerede har fået renoveret vinduer, da levetiden er 15 - 25 år for vinduer fra denne tid [Energistyrelsen, 2001]. Huse fra denne tidsperiode har dog bedre isolering end huse fra ældre bygningsperioder vil en direkte sammenligning fra hus til hus ikke være bedre for typehuset, men da antallet af tilbageværende typehuse er så stort kan det forventes, at udbyttet af typehuse vil være størst. Næsten halvdelen af danske parcelhuse i dag er huse opført fra 60'erne og 70'erne [Cembrit, 2014]. Derfor vil der i teorien på den energimæssige side findes større energibesparelser, hvis et passende antal huse skal renoveres.

Indretningen af typehuset fra før oliekrisen er designet efter krav om plads til en kernefamilie med far, mor og to børn. Der er typisk et køkken, opholdsstue, et større soveværelse og to mindre børneværelser. Typisk i disse huse findes bryggers, badeværelse og gæstetoilet. Højden i huset er ikke prangende, hvor plads til gang yderligere er minimeret i takt med at husene også blev bygget i aflange former i modsætning til de mere kvadratiske huse førhen for at øge vinduesarealer og dermed få tilgang til mere lys fra solen. Størstedelen af husene blev opført på 120 - 150 kvadratmeter, samt huse på helt op til 200 kvadratmeter. [Bolius, 2014c]

Cirka 20 % af husets grundareal er indsat i form af vinduesarealer ved typehuset i denne periode [Rose og Mortensen, 2013]. Huse fra 60'erne og 70'erne har ofte vinduer siddende i lange bånd eller tæt op ad hinanden. Dette medfører, at der ikke levnes den fornødne plads EF's rammer kræver at kunne parkeres på, da denne plads yderligere skal fylde et areal svarende til det pågældende vindues størrelse. Denne grund kan alene bestemme om, at disse hustyper ikke er praktisk egnet til EnergyFrames [Jessen, 2015b].

Til at undersøge effektiviteten af EnergyFrames er et typehus fra 60'erne udvalgt, som ses på figurerne 2.3 og 2.4. Bemærk, at dette hus har de typiske kendetegn som før nævnt.

Figur 2.3. Typehus fra 60'erne [Rose og Mortensen, 2013].



Figur 2.4. Plantegning af typehuset [Rose og Mortensen, 2013].

Tabel 2.2 viser udvalgte U-værdier og g-værdi for et typisk typehus fra 60'erne.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk}$	U_{loft}
2,70 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,75	1 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,28 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,49 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

Tabel 2.2. Eksempler på U-værdier og g-værdi [Jensen et al., 2011].

Det er værd at bemærke, at U-værdien er faldet drastisk siden 30'erne. Værdierne er baseret på undersøgelser foretaget af Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg - Energi og indeklima [Jensen et al., 2011].

2.1.3 Det postmoderne typehus

De postmoderne typehuse er karakteriseret ved, at de er opført efter oliekrisen, dvs. slut 70'erne indtil start 90'erne. Antallet af opførte boliger ligger ca. på 113.000 husstande. De minder udtryksmæssigt om typehusene fra før oliekrisen, men disse er kendetegnet ved at have en bedre isolering af husene og mindre vinduesarealer, netop pga. krisen der opstod. Førhen blev der brugt mere energi til opvarmning pga. den ringere evne til at holde varmen inde. Husene blev foretrukket som halvanden etagers byggeri med køkken-alrummet som et must-have i huset i de senere år. [Bolius, 2004b]

Tabel 2.3 viser U-værdierne og g-værdierne for denne tidsperiode, hvor forøgelsen af isoleringen har nedsat U-værdierne. Vinduerne har stadig en høj værdi pga. udviklingen sandsynligvis ikke var

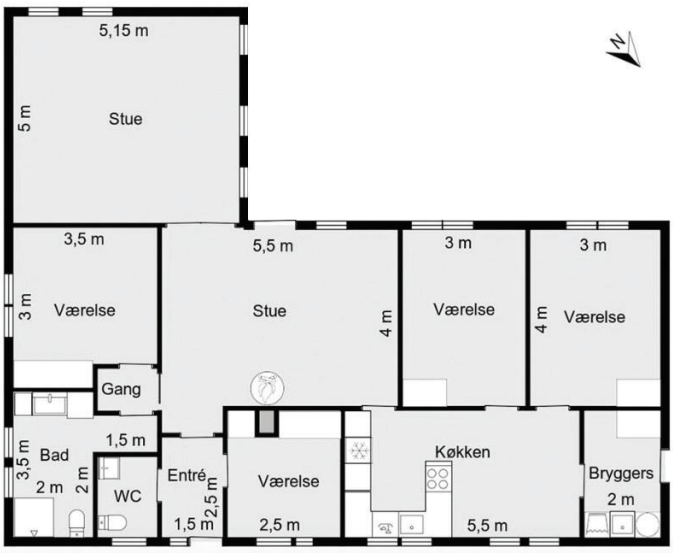
kommet meget længere end i 60'erne. For at undgå det store varmetab minimeres antal og størrelser af vinduer.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk}$	U_{loft}
$2{,}2\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,65	0,32 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,237 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,182 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

Tabel 2.3. Eksempler på U-værdier og g-værdi for det postmoderne typehus [Jensen et al., 2011].

Huset der bruges som case, er illustreret på figur 2.5 samt en tilhørende plantegning på figur 2.6. Ved at kaste et blik på figur 2.5 observeres det, at huset overordnet stemmer overens med de tidstypiske træk som f.eks. de små vinduer.

Figur 2.5. Postmoderne hus fra 1984 [EDC, 2014b].



Figur 2.6. Plantegning af det postmoderne typehus [EDC, 2014b].

2.1.4 Det moderne byggeri

Det moderne enfamiliehus har i dag store vinduespartier mod syd for at udnytte den gratis energi fra solen, og derved minimere energiforbruget. Der findes ca. 82.000 nybyggerier fra år 2000 til i dag.

Brugen af glas er blevet hyppigere anvendt, da glas nemt udnyttes til at skabe unikke bygningsudformninger, som skiller sig ud og udviser prestige, hvilket har indfundet sig i det moderne byggeri i dagens Danmark.

Ifølge Kjeld Johnsen, seniorforsker hos Statens Byggeforskningsinstitut (SBi), er brugen af mere glas forståeligt [Byggeplads.dk, 2013]:

> „(...)*fordi det jo passer meget pænt til dansk byggetradition, fordi det er rent i udtrykket*(...)“

Det stemmer overens med den funktionelle villa fra 30'erne som har „*mere enkle og diskrete detaljer* (...) *og giver huset en smuk og enkel karakter.*“ [Bolius, 2014a]. Det vil sige, at der igennem 80 år har været et traditionelt dansk byggeri der mere eller mindre igennem årene har arbejdet med de enkle udtryk, hvilket glasset i en moderne sammenhæng fremhæver.

Der er dog problemer forbundet med design af bygninger med store glaspartier, ifølge Kjeld Johnsen:

> „*Hovedproblemet ved store glasfacader er, at bygningerne bliver overophedet om sommeren, hvor solen står på. Derfor er de fleste kontorbygninger i dag forsynet med mekanisk køling og med solafskærmende ruder.* (...) *Det, som kan undre, er naturligvis, at arkitekterne ikke har villet erkende, at der har været problemer forbundet med glasbyggeri og transparens.*“

Ved disse tilfælde, hvor der fokuseres på at nedbringe den indre lufttemperatur, kan EnergyFrames ligeledes afhjælpe problematikken ved at afskærme for solen, når det er nødvendigt og derved spare på energien til køling. Det vil for moderne byggerier være muligt at designe bygninger med EnergyFrames i mente for at sikre sig, at "parkeringspladsen" EnergyFrames optager, bliver medregnet. I tabel 2.4 ses U-værdier og g-værdi for moderne byggeri.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk}$	U_{loft}
$1{,}4\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,65	$0{,}14\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	$0{,}093\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	$0{,}10\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

Tabel 2.4. Eksempler på U-værdier og g-værdi for det moderne byggeri [Jensen et al., 2011].

Bemærk, disse U-værdier er lavere end kravene, der stilles fra Bygningsreglementet.

Som tidligere nævnt er husenes udseende fra denne tidsperiode remarkabelt varierende, så huset der bruges som case er valgt ud fra vurderinger af, at givende U-værdier og tidstypiske træk skal passe så godt som muligt. Den valgte bygning er vist på figur 2.7 med tilhørende plantegning på figur 2.8.

Figur 2.7. Nybyggeri fra 2012 [EDC, 2014a].

Figur 2.8. Plantegning af nybyggeriet [EDC, 2014a].

2.2 Etagebyggeri

Et etagebyggeri er en bygning i flere etager, hvor beboerne bor i lejligheder. Denne bygningsform har potentialer, som er interessante for EnergyFrames. Dette skyldes, at etagebyggeri ofte har homogene facader, hvilket giver gode muligheder for masseproduktion, som fremmer den logistiske side vedr. installationen. Lejlighederne har ofte store vinduesarealer ift. gulvarealet, hvilket gør EnergyFrames mere effektive. Der bliver analyseret for tre forskellige typer etagebyggerier ud fra deres tidstypiske data, hvilket stammer fra de dertilhørende kilder:

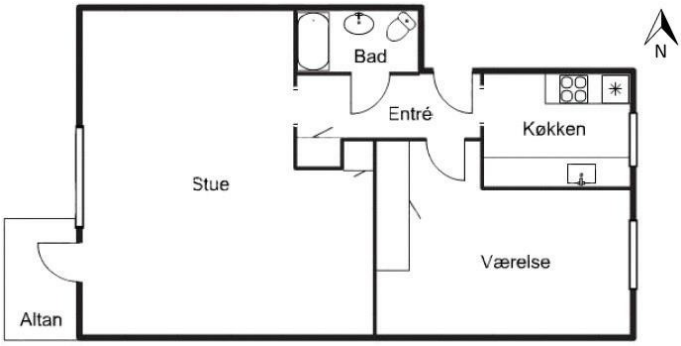
- Etagebyggeri fra 30'erne (case 5), [Rose og Mortensen, 2013]
- Etagebyggeri fra 60'erne (case 6), [Rose og Mortensen, 2013]
- Moderne etagebyggeri (case 7), [Nielsen et al., 2010]

Byggerierne fra 30'erne og 60'erne (*case 5* og *6*) er begge eksempler, som bruges i forbindelse med Energistyrelsens Eksempelsamling, hvilket derfor er i fin tråd med at være tidstypiske. *Case 7* har taget udgangspunkt i at fremhæve et byggeri med nutidig byggeskik, samtidigt med der kun er foretaget moderate ændringer siden det oprindelige byggeri blev opført.

2.2.1 Etagebyggeri fra 1930'erne

Byggeriet fra 30'erne er en fireetagers bygning med 24 lejligheder i alt fordelt på 1.664 m^2 inkl. kælder. Med hensyn til EnergyFrames er det især væsentligt at se på vinduesarealet sammenlignet med det totale etageareal. For denne bygning er vinduesandelen på 12 % med et samlet glasareal på 136 m^2. Der står samlet set i år 2014 stadig 121.000 lejligheder fra 30'erne, hvilket har mulighed for at blive et stort marked, hvis der er et marked for renoveringer af vinduer på disse bygninger. På figur 2.9 ses facaden for den valgte bygning, og på figur 2.10 ses plantegningen.

Figur 2.9. Udvendig facade af etagebyggeri fra 30'erne.



Figur 2.10. Plantegning af etagebyggeri fra 30'erne.

Parametrene for byggeriet ses i tabel 2.5:

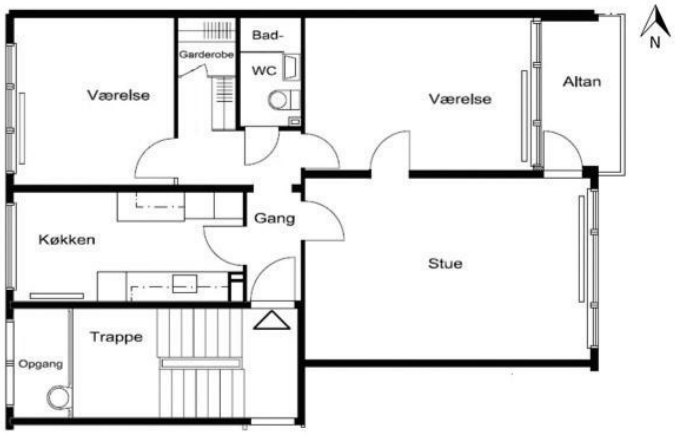
U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk,kælder}$	U_{loft}
2,7 $\frac{W}{m^2\ K}$	0,75	1,14 $\frac{W}{m^2\ K}$, 1,9 $\frac{W}{m^2\ K}$*	1,02 $\frac{W}{m^2\ K}$	1,14 $\frac{W}{m^2\ K}$

Tabel 2.5. Eksempler på U-værdier og g-værdi for etagebyggeri for 30'erne. *betegner to forskellige U-værdier for facaden, hhv. de to nederste og to øverste etager.

2.2.2 Etagebyggeri fra 1960'erne

Det valgte 60'er byggeri er noget større end 30'ernes boligblok, 3.640 m^2 fordelt på 40 lejligheder, hvor lejlighederne er 91 m^2. Den er bygget i fire etager, med et samlet vinduesareal på 495 m^2, hvilket for hele bygningens etageareal svarer til 17 %. Reelt set er arealet højere for selve lejlighedernes grundet ekskludering af gangarealet. Lejlighederne fra 60'erne findes også stadig i større grad ligesom fra 30'erne. I dag er der ca. 134.000 tilbageværende lejligheder fra 60'erne. Byggeriet er illustreret på figur 2.11 og en tilhørende plantegning på figur 2.12. På figur 2.11 observeres det ved netop dette eksempel, at rammerne til EnergyFrames vil være problematiske grundet begrænset "parkeringsplads".

Figur 2.11. Udvendig facade af et etagebyggeri fra 60'erne.



Figur 2.12. Plantegning af en lejlighed af et etagebyggeri fr 60'erne.

Parametrene for byggeriet ses i tabel 2.6:

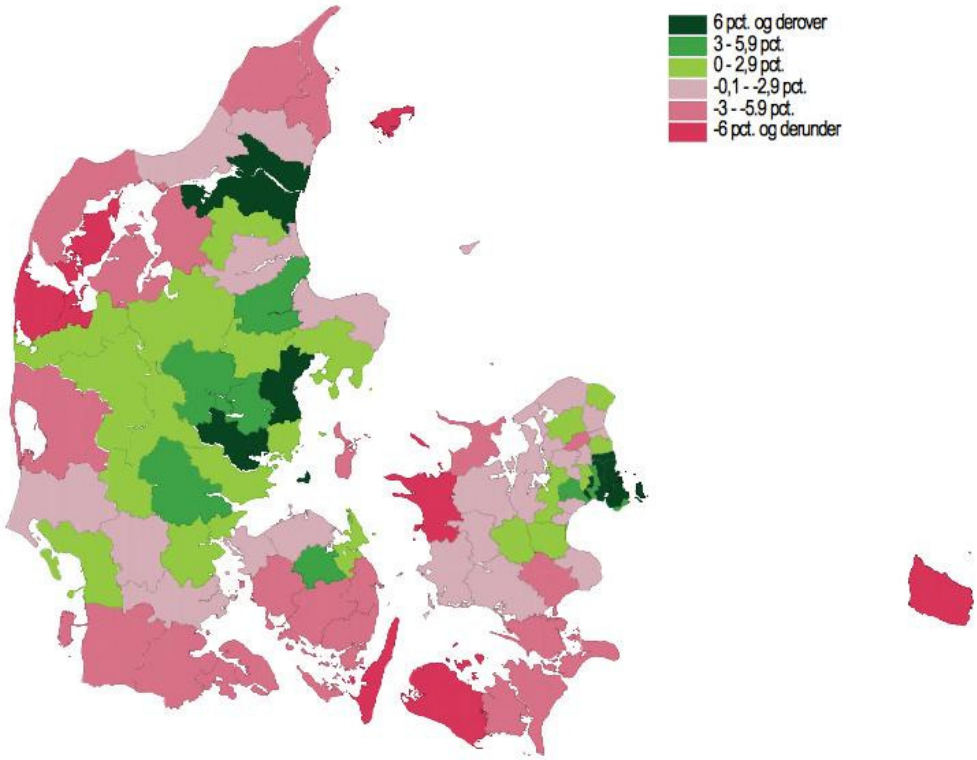
U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk,kælder}$	U_{loft}
2,7 $\frac{W}{m^2\ K}$	0,75	0,5 $\frac{W}{m^2\ K}$	1,52 $\frac{W}{m^2\ K}$	0,4 $\frac{W}{m^2\ K}$

Tabel 2.6. Eksempler på U-værdier og g-værdi for etagebyggeri fra 60'erne.

2.2.3 Moderne etagebyggeri

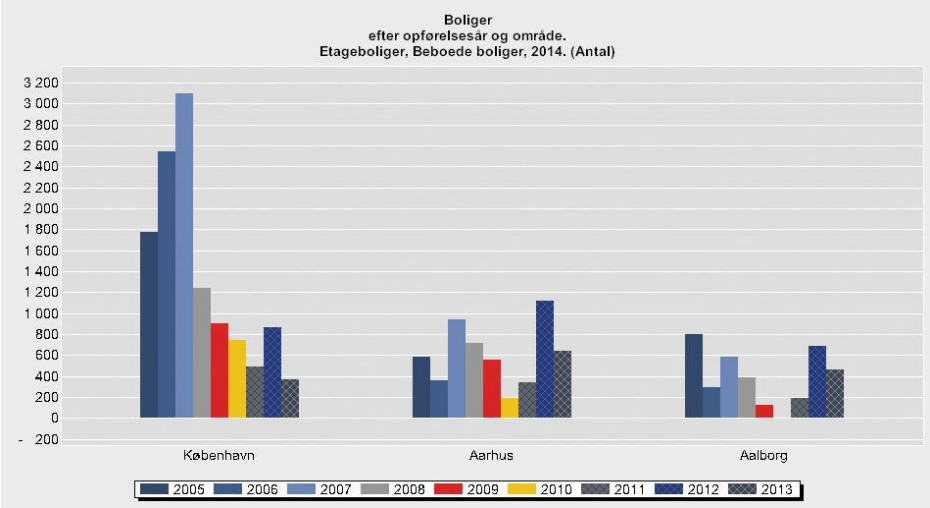
Der har igennem de sidste år været en tendens til at flytte fra landet og ind til byen, den såkaldte urbanisering. Det kan bl.a. dokumenteres vha. statistikker fra Danmarks Statistik vedr. antal

opførte etageboliger i de diverse kommuner, se figur 2.13.



Figur 2.13. National procentvis tilvækst af befolkningstal på kommuneplan [Danmarks Statistik, 2013].

Det ses, at de fire kommuner, hvortil der flytter flest personer, er København, Aarhus, Aalborg og Horsens kommune. Der vil fremover sammenlignes mellem København, Aarhus og Aalborg, da der er flere tilgængelige data for disse kommuner. Disse har en procentvis tilvækst på 6 % eller derover. Det ses på figur 2.13, at hvis folk ikke flytter til kommunerne med storbyerne, flytter de til de omkringliggende kommuner. Det kunne skyldes billigere husleje og mindre kørselsafstand til de fire kommuner. Da fokus for denne analyse lægges på potentialet for installering af EnergyFrames, undersøges det videre, hvor mange etageboliger der er opført i moderne tider for de store kommuner; København, Aarhus og Aalborg, se figur 2.14.



Figur 2.14. Antal opførte etageboliger for København, Aarhus og Aalborg [Danmarks Statistik, 2014].

Generelt set falder det i øjnene, at der opføres mange etageboliger frem til 2007, som skyldes, at flere mennesker fortsat flytter til storbyerne for at studere og arbejde. Især i København ses en stor stigning af opførte etagebyggerier frem til 2007. I 2007 - 2008 indtræf den globale finanskrise, hvis spor er nemme at observere på figuren. Efter 2007 falder antallet af ny opførte etagebyggerier stødt frem til 2012, hvor der på det nationale plan bliver opført forholdsvis mange boliger sammenlignet med de forrige år. I 2013 faldt antallet atter, men det forventes fremover, at denne proces vender igen.

Det specifikke moderne byggeri, der undersøges som case, er en bygning på fem etager. Der er 180 lejligheder. I tabel 2.7 ses værdier for klimaskærmen.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk,kælder}$	U_{loft}
1,9 $\frac{W}{m^2\ K}$	0,63*	0,22 $\frac{W}{m^2\ K}$	0,3 $\frac{W}{m^2\ K}$**	0,2 $\frac{W}{m^2\ K}$**

Tabel 2.7. Eksempler på U-værdier og g-værdi for etagebyggeri for moderne byggeri. *g-værdi er ikke oplyst i kilden og er derfor fundet for et lignende vindue på VELFAC's hjemmeside [VELFAC, 2013]. **U-værdi er ikke oplyst i den oprindelige kilde, og det gældende Bygningsreglement for etagebyggeri i 2005 (BR95) anvendes [Energistyrelsen, 2014].

Figur 2.15 viser byggeriet. Det har ikke været muligt at fremfinde tilhørende plantegninger.

Figur 2.15. Moderne etagebyggeri [Entasis, 2014].

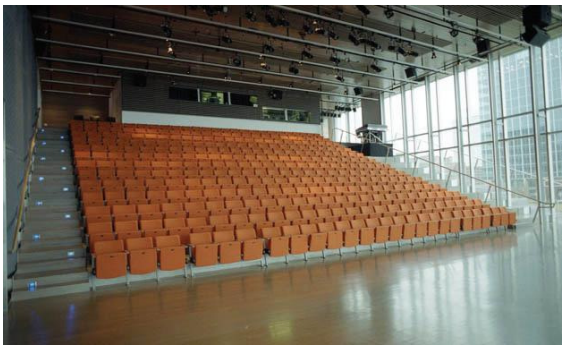
2.3 Erhvervsbyggeri

Byggeriet i erhvervet findes i utallige forskellige typer. De mest interessante at undersøge ift. EnergyFrames er bygninger, hvor en stor personbelastning er til stede, samtidigt med der forefindes store vinduesarealer. Der er udset to typer erhvervsbygninger til afprøvelse af EnergyFrames' effekt:

- Auditorium (case 8)
- Kontor (case 9)

2.3.1 Auditorium

Auditorier er rum, som ofte har en begrænset brugstid. Under brugstiden udsættes lokalet for en høj personbelastning. For at få naturligt lys i rummet er en sidevæg ofte implementeret med vinduer (et eksempel er vist på figur 2.16). Styringsstrategier ift. tidsanvendelse for EnergyFrames er derfor en vigtig faktor ved denne type brug.



Figur 2.16. Eksempel på auditorium [Tech, 2014].

Det auditorium der benyttes som case, er et fiktivt lokale, som vurderes til at have U-værdier, der stemmer overens med Bygningsreglementet for nybyggeri [EnergiStyrelsen, 2011]. Soltransmittansen i tabel 2.8 er vurderet. Rummet sættes til at have dimensionerne 15 m $\times$ 20 m $\times$ 7 m. Med inspiration fra figur 2.16 er hele østfacaden dækket med glas. Dog vil halvdelen af glasarealet laves om til "parkeringsplads" til EnergyFrames for at gøre det så realistisk som muligt.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	$U_{terrændæk}$	U_{loft}
1,5 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,65	0,2 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,12 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,15 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

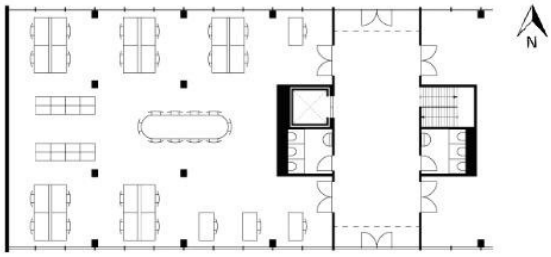
Tabel 2.8. Vurderede U-værdier og g-værdi for auditorium.

2.3.2 Kontor

Ligesom auditorier har kontorer en høj personbelastning i brugstiden. Kontorer er hyppigt etableret med store vinduesarealer for at tilføre naturligt lys, der fremmer arbejdseffektiviteten ved at hæmme produktionen af melatonin [Paul Michael Petersen, 2012]. Samtidig skal det naturlige lys ikke være til gene ved f.eks. blænding. For at opnå et optimalt niveau af indtrængende naturligt lys, kan EnergyFrames have en stor rolle som det afskærmende system.

Byggeriet der er valgt som case ses på figur 2.17. De fire øverste etager af bygningen er kontorer vælges fremover og hver etage er ens. På figur 2.18 ses en plantegning af en halv etage for én etage i kontorbygningen, da den er symmetrisk.

Figur 2.17. Kontorbygning [Bygningsreglementet, 2014].



Figur 2.18. Udsnit af plantegning for én etage i kontorbygningen [Bygningsreglementet, 2014].

Udvalgte bygningsparametre for kontoret er listet i tabel 2.9.

U_{vindue}	g_{vindue}	$U_{ydervæg}$	U_{loft}
2,0 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,75	0,28 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$	0,15 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

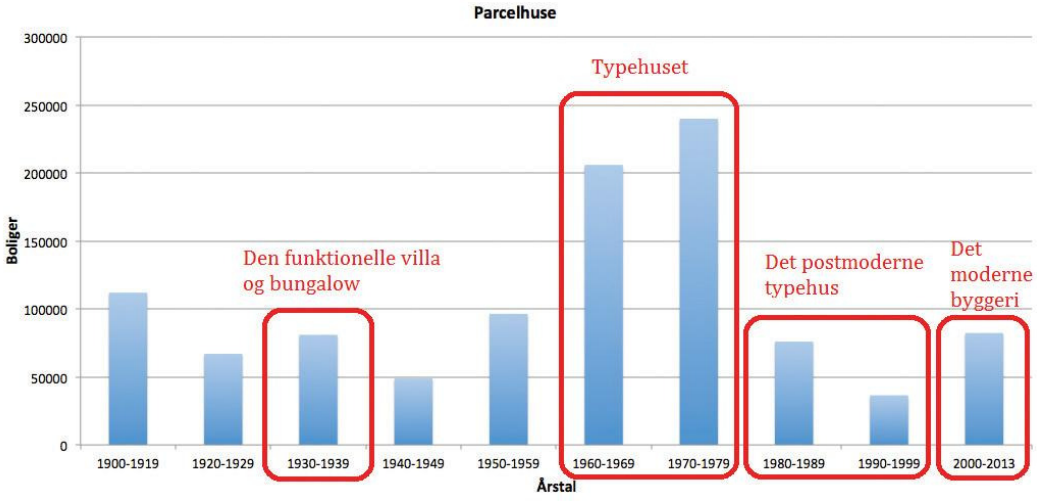
Tabel 2.9. Eksempler på U-værdier og g-værdi for kontorbygningen [Bygningsreglementet, 2014].

2.4 Bygningstypernes potentiale for EnergyFrames

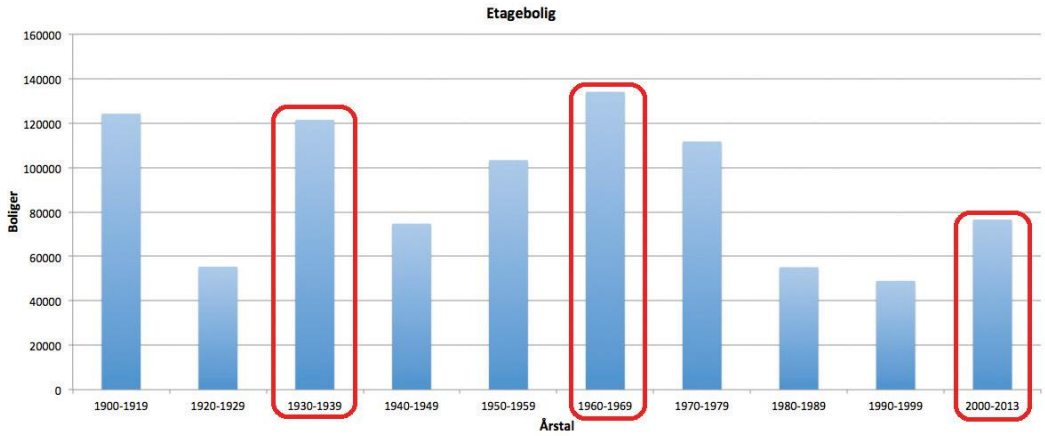
Overordnet set findes der flest boliger fra de ældre årtier sammenlignet med de moderne, hvor visse af disse yderligere er bevarelsesværdige bygninger hvis ikke fredede. I Danmark findes der ca. 9.000 fredede bygninger og 350.000 bevaringsværdige bygninger, hvilket resulterer i, at bygninger af ældre dato stadig står opført i Danmark. [Kultur Styrelsen, 2012]

Antal af bygninger frem til år 1940 er på ca. 1 mio. og bekræfter endvidere, at antallet af bevaringsværdige bygninger ligger på ca. 300.000 ekskl. husene opført efter år 1940. [Socialministeriet, 2006]

Figurerne 2.19 og 2.20 viser antal tilbageværende opførelser fra år 1900 frem til år 2013 inddelt i årtier. Bemærk, at perioden for det moderne byggeri strækkes over 13 år. De gennemgåede bygningstyper er indrammet i rød.



Figur 2.19. Antal tilbageværende parcelhuse.



Figur 2.20. Antal tilbageværende etageboliger.

Der kan være et større potentiale i at undersøge påførelsen af EnergyFrames på ældre boligbyggerier, siden disse på nationalt plan findes i et stort antal, og typisk har ringere klimaskærme end moderne byggerier. EnergyFrames hjælper på at hæmme varmetabet og samtidigt forbedre indeklimaet vha. den rette styringsstrategi. Kølebehovet vil dog stige, men det kan EnergyFrames ligeledes afhjælpe ved at køre EnergyFrames for ved høj solintensitet, hvis dette findes nødvendigt.

Som tidligere nævnt er det ikke ensbetydende med, at der er et stort marked, selvom der er mange tilbageværende bygninger. Dette skyldes at flere af husene har gennemgået en renovering af vinduer, og det vil derfor ikke være en rentabel løsning at skifte igen og samtidig få installeret EF. Grundet vinduernes placering i bånd i typehusene er der en logistisk problematik med at placere rammerne. Der er dog en folderamme i forsøgsstadie, som kan være en fremtidig løsning [Jessen, 2015b].

En bemærkning til potentialet af alle nuværende byggerier er den logistiske udfordring med, at vinduerne skal åbne indad for at kunne åbne vinduet samtidig med der afskærmes. Hvis dette ikke er tilfældet, skal vinduerne enten udskiftes, ellers kan der ikke luftes ud, imens der afskærmes. Dette kan føre til gener om sommeren grundet overophedning af bygningen. Dette gælder dog hovedsageligt for tekstil- og lamelløsningen.

Ved brug af erfaringerne fra tidstypiske bygninger kombineres de vha. styringsstrategier og simuleringer af parametre, som EnergyFrames påvirker.

Påvirkning på bygningtypers energiforbrug 3

Efter alle cases er definerede, udføres enkeltvise Be10 beregninger for hver bygningstype. Det er ikke muligt at implementere EnergyFrames i programmet, da der regner stationært på månedsbasis, og derfor er en styringsstrategi ikke mulig at modellere. Siden at det er kendt, hvilke parametre EnergyFrames påvirker på et vindue fra afsnit 1.4, er det muligt at lave energiberegninger for hver case, hvor parametrene ændres i forskellige kombinationer. På denne vis vil det kunne analyseres frem til, hvor stor en påvirkning EnergyFrames vil have på forskellige bygningstyper, og hvilke styringsstrategier der vil være fordelagtige at bruge. I alt bliver der lavet otte forskellige energiberegninger for hver case:

1. Det originale energibehov
2. 25 % reduktion af g-værdi
3. 25 % reduktion af U-værdi
4. 25 % reduktion af g- og U-værdi
5. 25 % yderlig afskærmning (f_{afs})
6. 25 % reduktion af afskærmning (f_{afs})
7. 25 % yderlig afskærmning (f_{afs}) samt 25 % reduktion af g- og U-værdi
8. 25 % reduktion af afskærmning (f_{afs}) samt 25 % reduktion af g- og U-værdi

Som det ses, er punkt 1 det originale energibehov for hver case. Siden alle parametre ikke er kendte, er det nødvendigt at foretage visse vurderinger for at lave en simulering i Be10. I tabel C.1 i appendiks C er vurderingerne vist samt hvilke oplysninger fra diverse cases. De vigtigste vurderinger bliver gennemgået i afsnit 3.1.

I punkterne 2 - 8 er det valgt at reducere eller tilføje 25 % til de undersøgte parametre. Det er valgt på baggrund af, at ændringen ønskes tilstrækkelig stor til at kunne observeres tydeligt i resultaterne. Det er valgt kun at reducere g- og U-værdien, da det er denne effekt, EnergyFrames vil have. Da EnergyFrames varierer markant fra type til type, samt fjernelse af indvendig afskærmning kan det føre til både forøgelse og reduktion af afskærmningsfaktoren.

3.1 Vurderinger

I dette afsnit er de vigtigste vurderinger indtastninger i Be10 beskrevet. De resterende vurderinger er beskrevet i afsnit C.2 i appendiks C.

3.1.1 Brug af plantegninger

Til størstedelen af casene er plantegninger opgivet. Ved brug af observeringer og målinger kan følgende parametre findes:

- Areal af bygningen
- Rotation
- Antal etager
- Vinduesfordeling mht. orientering
- Antal døre

3.1.2 Brug af fotografier

Tilhørende fotografier til casene er til stor hjælp, når følgende parametre skal vurderes:

- Vindues- og dørarealer
- Glasandel
- Bygningsmasse

3.1.3 Solafskærmning

I alle referencecases er det valgt at bruge indvendig manuel solafskærmning, for at få de antageligvis bedste analyser af effekten af EnergyFrames ift. virkelighed. Faktoren f_{afs} er sat til 0,7 i alle tilfældene efter anvisning fra SBi [Aggerholm og Grau, 2011].

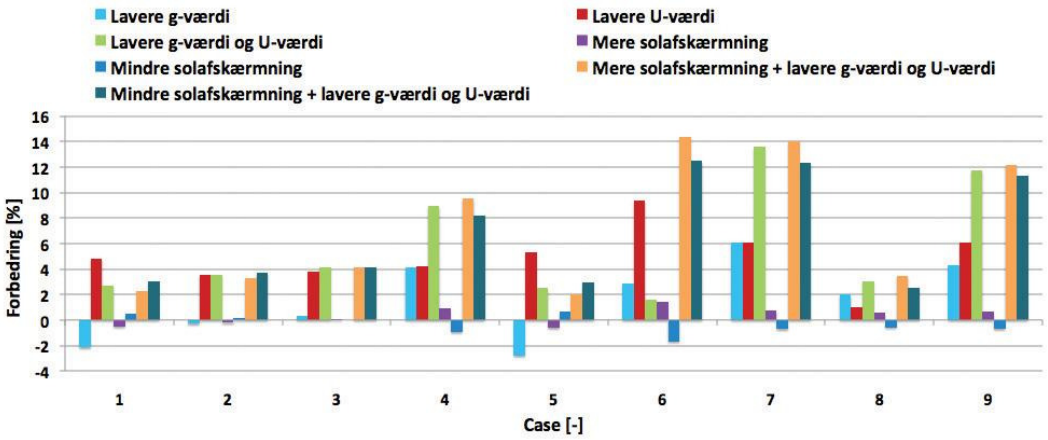
3.2 Be10 resultater

Efter energiberegningerne er foretaget, er resultaterne listet op i tabel 3.1. I tabellen ses, hvad det samlede energibehov er ift. opvarmning, køling, ventilation og belysning. I tabellen ses resultater for hver case for de otte analyser. Ved hver analyse sammenlignes der med den originale case, hvor differencen og forbedringen er vist. Be10 filerne findes i appendiks A.1.

Analyse	*Case 1*	*Case 2*	*Case 3*	*Case 4*	*Case 5*	*Case 6*	*Case 7*	*Case 8*	*Case 9*
1: Original	231,8	268,8	103,7	85,1	160,9	83,4	41,3	430,0	114,0
2: g-værdi ↓	236,8	269,6	103,4	81,6	165,4	81,0	38,8	421,5	109,1
Difference	-5,0	-0,8	0,3	3,5	-4,5	2,4	2,5	8,5	4,9
Forbedring [%]	-2,16	-0,30	0,29	4,11	-2,80	2,88	6,05	1,98	4,30
3: U-værdi ↓	220,6	259,3	99,8	81,5	152,4	75,6	38,8	425,8	107,1
Difference	11,2	9,5	3,9	3,6	8,5	7,8	2,5	4,2	6,9
Forbedring [%]	4,83	3,53	3,76	4,23	5,28	9,35	6,05	0,98	6,05
4: g- og U-værdi ↓	225,6	259,3	99,4	77,5	156,9	82,1	35,7	416,9	100,6
Difference	6,2	9,5	4,3	7,6	4,0	1,3	5,6	13,1	13,4
Forbedring [%]	2,67	3,53	4,15	8,93	2,49	1,56	13,56	3,05	11,75
5: f_{afs} ↑	233	269,4	103,6	84,3	161,9	82,2	41,0	427,4	113,2
Difference	-1,2	-0,6	0,1	0,8	-1,0	1,2	0,3	2,6	0,8
Forbedring [%]	-0,52	-0,22	0,10	0,94	-0,62	1,44	0,73	0,60	0,70
6: f_{afs} ↓	230,6	268,4	103,7	85,9	159,9	84,8	41,6	432,5	114,8
Difference	1,2	0,4	0,0	-0,8	1,0	-1,4	-0,3	-2,5	-0,8
Forbedring [%]	0,52	0,15	0,00	-0,94	0,62	-1,68	-0,73	-0,58	-0,70
7: f_{afs} ↑ g- og U-værdi ↓	226,5	259,9	99,4	77,0	157,6	71,4	35,5	415,0	100,1
Difference	5,3	8,9	4,3	8,1	3,3	12,0	5,8	15,0	13,9
Forbedring [%]	2,29	3,31	4,15	9,52	2,05	14,39	14,04	3,49	12,19
8: f_{afs}, g- og U-værdi ↓	224,7	258,9	99,4	78,1	156,1	73,0	36,2	419,0	101,1
Difference	7,1	9,9	4,3	7,0	4,8	10,4	5,1	11,0	12,9
Forbedring [%]	3,06	3,68	4,15	8,23	2,98	12,47	12,35	2,56	11,32

Tabel 3.1. Resultater for Be10 analyser.

For at give et bedre overblik over, hvad tabel 3.1 viser, er tabellen grafisk vist på figur 3.1. Figuren viser forbedringen for hver case i procent for hver analyse ift. det originale energibehov.



Figur 3.1. Ændring af energibehovet i procent ved modificering af vinduesparametre.

Som det ses på figur 3.1, er resultaterne varierende fra case til case, og det er forskelligt hvilke parametre, der påvirker energibehovet i større grad. I afsnit 3.3 følges der op på resultaterne.

3.3 Konklusion på casepåvirkninger

Det konkluderes hvilke fordele og ulemper, der er ved at installere dynamiske facader i form af EnergyFrames på de forskellige cases. Dette udføres ud fra erfaringer med bygningstyperne fra kapitel 2 samt resultaterne fra Be10 beregningerne.

3.3.1 Case 1 - Bungalow

Casebygninge fra 30'erne har ikke så stort et vinduesareal (ca. 15 %) som flere af de andre enfamiliehuse bl.a. grundet den kvadratiske form. En betragtelig andel af huse fra denne tid står stadig tilbage (jvf. figur 2.19 på side 23), hvilket betyder, at der findes potentiale for et marked, hvis mange af dem trænger til renovering. Dog ikke så stort som senere tids huse. Resultaterne fra Be10 beregningerne viser, at problemet for disse huse hovedsageligt er isoleringsmæssigt. Pladeløsningen (afsnit 1.4 på side 4) er derfor den bedste løsning fra EnergyFrames kataloget, men nye bedre isolerede vinduer vil højst sandsynlig være en bedre løsning, da det er mere rentabelt. Ved *case 1* konkluderes det, at EnergyFrames ikke vil være en fordelagtig løsning.

3.3.2 Case 2 - Typehuset

Til trods for det bemærkelsesværdige store antal huse fra denne tid, vil EnergyFrames være en tvivlsom løsning grundet forbedringsmulighederne i tråd med *case 1*. Ligesom ved *case 1*, er det U-værdien i vinduerne, der vil give en bedre forbedring.

Hvis der findes en rentabel pris EnergyFrames' kommende foldeløsning for boligejerne af typehusene vil der være god mulighed for at sætte en masseproduktion i gang. Dette skyldes, at husene designmæssigt er tilnærmelsesvis ens, samt et stort antal vinduer findes på hvert hus (ca. 20 % vinduesareal). Dette er dog noget som antageligvis ikke sker i nærmeste fremtid, da besparelsen synes minimal ved vurdering af resultaterne fra figur 3.1.

3.3.3 Case 3 - Det postmoderne typehus

Mulighederne for EnergyFrames på det postmoderne typehus er begrænset pga. små vinduer. Figur 3.1 på foregående side viser samtidigt, at medfølgende ændringer i vinduesparametrene ikke giver den store forbedring på energiforbruget.

3.3.4 Case 4 - Det moderne byggeri

I modsætning til de tre første cases er det ikke kun isoleringsgraden, der har en stor effekt. På figur 3.1 ses det, at solvarmetransmittansens virkning træder til. Det betyder, at hvor de første tre cases har et stort energibehov om vinteren, fordi varmen i større grad siver ud af bygningen, bruger det moderne byggeri mindre energi på at holde på varmen. Dog bruges der samtidigt meget energi på at undgå overtemperaturer om sommeren ved mekanisk køling. Tekstil- og lamelløsningen kunne derfor også være brugbare for *case 4*, da de er fleksible med ændring af solvarmetransmittans.

Det ses på figur 3.1, at en højere afskærmning vil give en lille effekt, selvom det vil være brugbart om sommeren til at holde varmen ude. Dette skyldes at Be10 regner stationært, hvor solafskærmningen er konstant i længere perioder. Ved en dynamisk beregning med en styrringsstrategi af solafskærmning er det muligt, at energiudnyttelsen kan effektiviseres.

Da moderne byggerier i større grad varierer i deres design ift. tidligere hustyper, kunne det formodes, at produktionen af EnergyFrames til de moderne boliger besværliggøres. Det er dog ikke tilfældet, da EnergyFrames fleksibelt kan produceres i forskellige størrelser. Et andet bidragende aspekt er, at en energitrend i det nye byggeri er fremkommet, hvilket muligvis yderligere vil skabe en interesse for EnergyFrames [Rambøll, 2014].

3.3.5 Case 5 - Etagebyggeri fra 30'erne

Der findes en stor del af tilbageværende etagebyggerier fra 30'erne, hvilket kan skyldes at en nedrivning er mere omfattende for etagebyggeri ift. enfamiliehuse. Samtidig er en del af byggerierne fredede eller bevaringsværdige. Gældende ved alle typer etagebyggerier er, at mange ensartede vinduer er installerede, hvilket er fordelagtigt ift. produktionen af EnergyFrames. Vinduesarealerne er ikke så store på denne boligtype (12 %). Det skal bemærkes, at etagebyggerier hovedsageligt har vinduer mod en eller to facader. Det betyder, at rotationen af bygningen er en essentiel faktor.

Til sammenligning med *case 1* er det isoleringsevnen, der primært har potentiale for forbedring mht. EnergyFrames. Det findes ikke rentabelt at installere EnergyFrames, da det både er mere logistisk og økonomisk rentabelt at forbedre vinduerne.

3.3.6 Case 6 - Etagebyggeri fra 60'erne

Denne case er meget identisk med *case 5* på flere områder. Der er stadig en stor mængde af etagebyggerier fra denne tid, hvor U-værdien påvirker energiforbruget mest mht. til vinduesparametre. Forskellen fra denne case og *case 5* er, at en reduktion af g-værdien har en større indflydelse, og det påvirker bl.a., at der er en større procentdel energi at spare ift. *case 5*. Dette kunne samtidigt være et resultat af større vinduespartier. Solafskærmning i sammenspil med de andre parametre giver resultater, som viser mulighed for forbedring. En forbedring af vinduerne selv vurderes stadig atter at være den favorable løsning.

3.3.7 Case 7 - Moderne etagebyggeri

Det moderne etagebyggeri drager mange paralleller til *case 4 - det moderne byggeri* ved at have en energivenlig klimaskærm. Den bemærkelsesværdige forskel er, at det er nemmere at producere til disse bygninger grundet deres størrelse og ensformige vinduer. Da flere folk flytter til storbyerne, hvor de fleste etagebyggerier er opført, er der mulighed for et stigende marked.

3.3.8 Case 8 - Auditorium

I denne specifikke case for et auditorium viser resultaterne fra figur 3.1 tegn på problemer med overophedning. En reduktion af U-værdien i denne case medfører en minimal effekt, som antages kun at være gældende uden for brugstiden. For at få de bedste forbedringer er det især g-værdien, der skal reduceres. I denne case vil den massive personbelastning samt solstråling i brugstiden (vinduesfacaden vender mod øst) resultere i overophedning. Ved en styrringsstrategi vil der være rig mulighed for at kontrollere problemer med overophedning i brugstiden og varmebehov uden for brugstiden. Samtidig er det muligt at solafskærmningsfaktoren kan udnyttes hvis den ændres i en dynamisk simulation.

Det skal bemærkes, at hvis orienteringen af vinduespartiet er anderledes, forandres resultaterne grundet det store vinduesparti.

3.3.9 Case 9 - Kontorbyggeri

For casen vedr. kontorbyggeri observeres det på figur 3.1 på side 27, at det er g-værdien og U-værdien i en kombination, der er indflydelsesrig. En styrringsstrategi vil igen have potentiale til at påvirke energibehovet og indeklimaet.

3.3.10 Opsummering

En opsummering af diverse cases' konklusion er i punktform opstillet over, hvilke aspekter der er væsentlige for overvejelse af opsætning af EnergyFrames.

- Energiforbrug
  - Isoleringsbehov
  - Behov for højere afskærmning
  - Behov for at blokere solvarme gennem vinduer
- Komfort
  - Behov for belysningsstyrring og afskærmning mod blænding
  - Behov for temperaturstyrring
- Salgsrelaterede
  - Teoretisk marked for EnergyFrames
  - Muligheder for masseproduktion

Disse termer vurderes fra case til case ud fra observationer, hvor de vurderes i spektret [Ingen-Lav-Middel-Høj] for at danne et overblik, se tabel 3.2. Farveinddelingen forbindes til de overordnede termer, som ses i tidligere nævnt punktform.

	Case 1	*Case 2*	*Case 3*	*Case 4*	*Case 5*	*Case 6*	*Case 7*	*Case 8*	*Case 9*
Isoleringsbehov	Høj	Høj	Høj	Middel	Høj	Høj	Middel	Lav	Middel
Afskærmning	Ingen	Ingen	Ingen	Lav	Lav	Ingen	Lav	Middel	Middel
Solvarmetransmitans	Lav	Lav	Lav	Middel	Ingen	Lav	Middel	Høj	Middel
Belysning	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Høj	Høj
Temperaturer	Lav	Lav	Lav	Middel	Lav	Lav	Middel	Høj	Høj
Marked	Lav	Middel	Lav	Høj	Middel	Middel	Høj	Middel	Høj
Produktion	Middel	Høj	Høj	Lav	Høj	Høj	Middel	Lav	Middel

Tabel 3.2. Opsummering på de forskellige cases.

I tabel 3.2 ses det, at alle byggerier der ikke er nybyggerier hovedsageligt har brug for bedre isolerende vinduer. I de fleste tilfælde vil løsningen være at indsætte nye vinduer. For at EnergyFrames er en god løsning i forbindelse med renoveringsarbejde af disse bygninger, vil pladeløsningen med isolering være den mest effektive. Den skal dog være billig at producere og installere. Dette er i så fald en fremtidsvision, da nuværende pris er oplyst til at være *medium* (se afsnit 1.4.1 på side 5), og er derfor ikke en billig løsning.

De bedste resultater findes ved bygninger af nyere dato. Nybyggeri vil derfor være et godt marked for EnergyFrames. Ved nybyggeri er der mulighed for at skabe en samhørighed mellem vindue og solafskærmning. Det betyder, at vinduesdesignet kan designes ud fra EnergyFrames udseende og funktioner.

Fra tabel 3.2 ses det, at de dynamiske facader er vigtige for styring af indeklimaet i nybyggeriet. EnergyFrames har derfor til opgave at finde en styringsstrategi, der løser problematikker både for energiforbrug og indeklima.

På baggrund af de erhvervede konklusioner vælges fire cases til yderligere analyse i kapitel 4:

- Case 4 - Det moderne byggeri
- Case 7 - Moderne etagebyggeri
- Case 8 - Auditorium
- Case 9 - Kontorbyggeri

Case 4 og *Case 7* er valgt pga. de store forbedringsmuligheder ift. de dynamiske ændringer af vinduesparametrene, der vil fremkomme.

Case 8 er valgt til trods for, at der ikke er de største forbedringsmuligheder ift. analysen i Be10. Det er valgt at bruge casen videre, da det ønskes at undersøge effekten af en dynamisk beregning med en styringsstrategi. Det antages, at der vil fås et mere præcist resultat, da de store vinduer og det varierende brug over et døgn vil give en forholdsvis notabel udskillelse i en stationær beregning.

Case 9 er valgt grundet vurderingerne i tabel 3.2, hvor der på alle områder er potentiale for EnergyFrames. Af samme grund som *case 8* vil en dynamisk styringsstrategi igen være fordelagtig at afprøve.

Dynamisk simulering af styringsstrategier 4

Efter den foreløbige analyse af hvilke cases (4, 7, 8 og 9) der har det største realiseringspotentiale for benyttelse af EnergyFrames, ønskes det videre at udføre kompetente dynamiske simuleringer af EnergyFrames inkl. styringsstrategier. Det gøres for at præcisere potentialet af brugen for de tidstypiske bygninger.

4.1 Dynamisk simulering med simplificeret metode

Til formålet med bestemmelse af potentialet, benyttes en simplificeret metode lavet i et Excelark, der er udviklet specifikt til at regne med dynamiske facader baseret på en timebaseret beregning [Liu, 2014]. Modellen i den simplificerede metode benytter enkeltzonemetoden, der ligeledes anvendes i Be10. Til sammenligning bruger BSim multizonemetoden. Den originale version af metoden videreudvikles løbende i Excel, for at frembringe ønskede analyser af EnergyFrames og deres effekter på energibehovet. Dette regneark vil fremover refereres til som *den simplificerede metode*.

For at godtgøre brugen af den simplificerede metode, er en valideringsproces udført, som findes i appendiks D. Valideringen tager udgangspunkt i at simulere en simpel og magen til bygningsmodel i hhv. den simplificerede metode, BSim og Be10 for til sidst at muliggøre en sammenligning af samtlige resultater. Både den simplificerede metode og BSim er dynamiske simuleringsprogrammer, hvilket er grunden til, at den simplificerede metode kan valideres til brug fremover. I selvsamme appendiks findes tekniske beskrivelser af implementerede styringsstrategier og beregningsmetoder.

Den simplificerede metodes overordnede tilgang er at udregne energibalancen ud fra input, hvori adskillelige krav til komfort og energiforbrug opfyldes. Punktopstillingen nedenfor beskriver kort disse implementeringer, og den kan yderligere sammenlignes med en mere fyldestgørende beskrivelse i appendiks D.2:

- Bygningstype (bolig/erhverv) og brugstid
- Bygningens opbygning, konstruktioner samt orientering
- Temperatursetpoints for indeklimaet
- Specificering af vinduer
  - U-værdi, g-værdi, glasandel og lystransmittans
- Ventilations- og infiltrationsrate samt SEL-værdi
- Interne varmebelastninger (personer og udstyr)
- Soltilskud
- Lysniveau og -tilskud til varme

Det specielle for den simplificerede metode ift. Be10 og BSim er, at yderligere værdier for EnergyFrames er specificerede, da metoden netop er tilegnet de tre EnergyFrames modeller, navnlig; tekstil-, plade- og lamelløsningen. For tekstil- og pladeløsningen skal U- og g-værdien samt lystransmittansen kendes. De anvendes til at regne en kombineret værdi for hele vindueskonstruktion og EnergyFrames.

For lamelløsningen antages en forbedring af U-værdien på 0,1 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\,K}}$ ift. vinduet alene, fordi der i størstedelen af tiden forekommer mellemrum mellem selve lamellerne, dvs. de ikke er lukket tæt til. Direkte sollys har ingen indflydelse på lystransmittansen, da lamellerne kører efter *cut-off* metoden. Det indtrængende sollys består derfor af det diffuse og reflekterende sollys. Yderligere beskrivelse af *cut-off* metoden findes i appendiks D.3.2.

For lamelløsningen er der yderligere implementeret en funktion, der gør det muligt at skifte mellem to overordnede styringer: *Komfort* eller *Energi*. Det der adskiller komfortstyringen fra energistyringen er, at komfortstyringen yderligere medtager blændingsgener i beregningerne. Det vil sige, at hvis den indre lysstyrke overstiger 2.000 lux i vertikal øjenhøjde, vil styringen tage højde for dette. Herefter blokeres direkte sollys, selvom der evt. i visse af disse tilfælde vil være mulighed for at benytte solstrålingen til opvarmning [Karlsen et al., 2015]. Det formodes, at dette vil være hyppigst forekommende i vinterperioden pga. den lavtstående sol samt større varmebehov. Det betyder, at energistyringen i tilfældene ikke vil køre EnergyFrames for, da styringen prioriterer varmeudvinding over komforten.

For at sammenligne det årlige energibehov for de fire cases fra Be10 med den simplificerede metodes resultater, se tabel 4.1. Det skal bemærkes, at der for resultaterne fra Be10 ikke er medtaget hverken energifaktorer eller energiforbrug til apparaturer, der går ud over belysning. Energifaktorerne medtages ikke, da de ikke giver det reelle forbrug, som den simplificerede metode udregner. Apparaturerne udelades pga. deres forbrug ikke vil ændres i takt med EnergyFrames og deres funktionaliteter indføres. Personerne vil stadig bruge deres udstyr, f.eks. computeren, i samme grad uafhængigt af, hvordan EnergyFrames, ventilationsrater mv. ændres.

	Case 4 Moderne Byggeri	**Case 7** Moderne Etagebyggeri	**Case 8** Auditorium	**Case 9** Kontorbyggeri
Simpl.* [$\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{m^2}}$ pr. år]	85,4	47,8	313,8	92,2
Be10 [$\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{m^2}}$ pr. år]	85,1	41,3	430,0	114,0
Difference [$\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{m^2}}$ pr. år]	0,3	6,5	-116,2	-21,8
Difference [%]	0,4	13,6	37,0	23,6

Tabel 4.1. Sammenligning af energibehov for den *simplificerede metode og Be10.

Case 4 har udvist en uvæsentlig forskel mellem de to programmer, hvilket umiddelbart giver et godt grundlag for videre benyttelse af den simplificerede metode.

Forskellen ved *case 8* og *9* er derfor de størst forekommende, hhv. 37,0 % og 23,6 %. Denne forskel begrundes yderligere ved, at Be10 laver stationære overslagsberegninger, hvor gennemsnitlige vejrdata på månedsbasis benyttes, hvorimod de dynamiske beregninger i den simplificerede metode regner med timebaserede DRY data.

Væsentlige betragtninger for *case 8* og *9* er selve bygningernes udformning, og den andel af vinduer der findes på facaden. Da vinduer spiller en væsentlig rolle i bestemmelse af energibehovet, grundet den relative høje U-værdi ift. resten af klimaskærmen, er dette en afgørende årsag til forskellen, der observeres mellem de to simuleringer.

For *case 9* skal det nævnes, at Be10 medregner tab fra varmerør, som ikke medtages i den simplificerede metode. Dette medfører en forskel for varme- og kølebehovet. Eksempelvis, hvis varmerørene udelades i Be10 vil resultaterne for energibehovet for *case 9* formindskes til 98,3 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ pr. år.

Det vurderes, at den simplificerede metode regner mere præcist og benyttes videre pga. metodens simuleringer netop er blevet valideret.

Det skal bemærkes, at et betydeligt større varmebehov er fundet for Be10 ift. den simplificerede metode. Et nærmest tilsvarende modstykke findes ligeledes i et mindre kølebehov i Be10 sammenlignet med de dynamiske simuleringer, som derfor slutteligt ender med at vise tilsyneladende ens energibehov. For mere information, se appendiks D.

4.2 Styringsstrategier

Ved den første sammenligning mellem Be10 og den simplificerede metode blev styringsstrategier for EnergyFrames ikke benyttet, da sammenligningerne vil blive fejlagtige pga. styringsstrategier for EnergyFrames ikke kan medtages i Be10. Fremover i afsnittet henvises modellerne uden styringsstrategier som den *originale* version.

I dette afsnit implementeres styringsstrategier for EnergyFrames i den simplificerede metode med det formål at finde frem til de mest optimale styringsstrategier for hver af de tre typer EnergyFrames og samtidigt undersøge EnergyFrames' potentiale for forbedring af bygningens ydelse ift. energi og komfort.

I de kommende afsnit undersøges det, hvor meget forskellige styringsstrategier påvirker det endelige energibehov i $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ pr. år. Styringsstrategierne udvikles efter, hvad der først og fremmest er realistisk og mest rationelt. Det vil sige, at en styringsstrategi for en pladeløsning med isolering, hvor der køres for ved tilstedeværelse om dagen, bevidst vil undgås. Det skyldes, at det vil blokere for al udsyn samt udefrakommende belysning, som vil resultere i et højere og unødvendigt energibehov til kunstig belysning samt helt uacceptable arbejdsforhold.

For at finde frem til de bedste overordnede styringsstrategier, vil flere forskellige strategier kombineres, som i sammenkobling med hinanden frembringer en overordnet styringsstrategi for den valgte type af EnergyFrame. Et eksempel for en bolig kunne være pladeløsningen med isolering, hvor der både undersøges, om der er et varmbehov i bygningen, og om det er nat. Er dette eksempelvist tilfældet, findes der ingen grund til ikke at køre EnergyFrames for, fordi det vil formindske opvarmningsbehovet, da bygningen holder bedre på varmen og dermed har et mindre transmissionstab. I tabel 4.2 ses samtlige styringsstrategier fordelt ud på diverse typer EnergyFrames. Tabellen viser, ved hvilke styringsstrategier EnergyFrames aktiveres. For hver type EnergyFrames i kommende underafsnit, præsenteres dertilhørende styringsstrategier igen i tabeller.

Tekstil		Plade med isolering		Plade*		Lamel	
T1	Kølebehov	**P1**	÷ Tilstedeværelse	**P.OC1**	Hele tiden	**L1**	Komfort
T2	÷ Tilstedeværelse	**P2**	Nat (kl. 22:00 - 07:00)	**P.OC2**	÷ Tilstedeværelse	**L2**	Energi
T3	Kølebehov & ÷ Tilstedeværelse	**P3**	÷ Tilstedeværelse Nat (kl. 22:00 - 07:00)	**P.OC3**	Sol ned		
				P.OC4	Blænding		
T4	Kølebehov ÷ Tilstedeværelse	**P4**	Sol ned	**P.OC5**	Varmebehov		
		P5	÷ Tilstedeværelse Sol ned	**P.OC6**	Kølebehov		
T5	Kølebehov ÷ Tilstedeværelse Sol ned	**P6**	Varmebehov	**P.OC7**	Varmebehov Energibalance		
T6	Blænding	**P7**	÷ Tilstedeværelse Varmebehov	**P.OC8**	Kølebehov Energibalance		
T7	Kølebehov Sol ned	**P8**	÷ Tilstedeværelse Nat (kl. 22:00 - 07:00) Varmebehov	**P.OC9**	Varmebehov Kølebehov Energibalance		
T8	Kølebehov Sol ned Blænding	**P9**	Varmebehov Energibalance	**P.OC10**	Varmebehov Kølebehov Energibalance Blænding		
		P10	÷ Tilstedeværelse Varmebehov Energibalance				
		P11	÷ Tilstedeværelse Nat (kl. 22:00 - 07:00) Varmebehov Energibalance	**P.OC11**	Varmebehov Kølebehov Energibalance Blænding ÷ Tilstedeværelse		
		P12	Varmebehov Kølebehov Energibalance				
		P13	÷ Tilstedeværelse Varmebehov Kølebehov Energibalance				
		P14	÷ Tilstedeværelse Nat (kl. 22:00 - 07:00) Varmebehov Kølebehov Energibalance				

Tabel 4.2. Samtlige styringsstrategier for hver type af EnergyFrames. *opaliseret (O) eller klar (C).

For at specificere strategiernes indhold er følgende til hjælp:

- **&** betyder, at denne styring kræver at begge parametre skal opfyldes.
- **÷ Tilstedeværelse** - Uden for brugstiden aktiveres styringen.
- **Nat** - Styringen aktiveres fra kl. 22:00 - 07:00 hver dag.
- **Sol ned** - Styringen aktiveres, når solen går ned og indtil solen står op igen.
- **Varmebehov** - Styringen styres ud fra indetemperaturen i bygningen. Det vil sige, er indetemperaturen under varmesetpointet, aktiveres styringen. Setpoint sættes til 20 °C.
- **Kølebehov** - Styringen styres ud fra indetemperaturen i bygningen. Det vil sige, er indetemperaturen over kølesetpointet, aktiveres styringen. Setpoint sættes til 25 °C.
- **Energibalance** - Når styringen enten er aktiveret eller deaktiveret, udregnes den aktuelle energibalance. Det kan dermed bestemmes, hvilken styring der er bedst egnet for bygningen, når den enten skal opvarmes eller nedkøles.
- **Blænding** - Styringen aktiveres, når der opstår blænding ved 2.000 lux i det undersøgte referencepunkt.

- **Energi** - Energi for lamellerne betyder, at det udelukkende er energiparametre for bygningen der undersøges, og dermed ikke personernes komfort. Det vil sige, at lamellerne indstilles efter temperaturen inde i bygningen.
- **Komfort** - Lamellerne indstilles således, at blændingsgener ikke opstår i det undersøgte referencepunkt.

En sideløbende analyse af vinduesparametre vil yderligere indføres med den overordnede analyse af EnergyFrames' potentiale. Idéen er at undersøge, hvor stor en effekt vinduets U- og g-værdi har på hele bygningens energibehov, da den også er en del af selve rammen, hvorpå EnergyFrames monteres. Alt efter hvilken case der undersøges, vil vinduets værdier varieres. Det vil sige, at en parametervariation i de følgende analyser inddrages på alle typer af EnergyFrames, der går udover selve styringsstrategiernes påvirkning alene.

I de kommende tre underafsnit (*Tekstil*, *Plade* og *Lamel*), benyttes styringsstrategier for de tre forskellige typer EnergyFrames, og dertilhørende resultater for energibehovene evalueres. I underafsnittene gennemgås resultaterne for *case 9* i et detaljeret omfang. Det er bl.a. grundet den store personbelastning om dagen og store vinduespartier.

På baggrund af den foregående og detaljerede diskussion af *case 9*, vil resultaterne for *case 4*, *7* og *8* i et smallere omfang diskuteres, hvorefter der slutteligt konkluderes på samtlige fire cases for at skabe overblik og etablere et godt udgangspunkt for den videre analyse og udvikling af EnergyFrames.

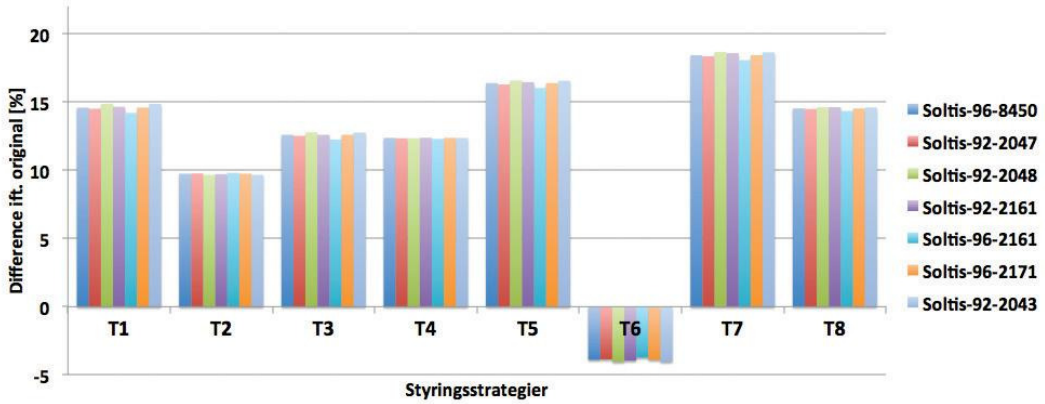
Mere detaljerede resultater for samtlige cases findes i appendiks A.2. For referencer til specifikke EnergyFrames værdier, se appendiks B.

4.2.1 Case 9 - Kontorbygning

I afsnittet præsenteres de dynamiske resultater ved brug af den simplificeret metode for de tre typer af EnergyFrames, hvor der udelukkende undersøges, hvor meget bygningens energibehov forbedres. Derudover undersøges betydningen for energibehovet ved forebygning af blændingsgener. Det vil sige, at der ses bort fra andre faktorer vedr. valg af EnergyFrames, heriblandt pris, robusthed, farve, logistik o.l., selvom de i realiteten er en stor del af overvejelserne ved opkøb.

Tekstil

Efter udførelsen af de otte forskellige styringsstrategier fra tabel 4.2 for tekstilløsningen, analyseres resultaterne.



Figur 4.1. Diverse procentvise forskelle fra forskellige tekstilløsninger ift. styringsstrategie.

I databehandlingen af de forskellige tekstiltypers resultater er det fundet, at de indbyrdes varierer omtrent $\pm$ 1 %, hvilket af denne grund ikke er af større betydning, da strategierne alene påvirker det endelige energibehov i et mere udstrakt omfang. Det er derfor valgt at vise den tekstiltype (*Tekstil Soltis 92-2048*), der har givet de teoretisk bedste resultater. Resultaterne ses i tabel 4.3.

Tekstil Soltis 92-2048							
Styring	**Opvarmning** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Køling** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Ventilation** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Lys** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Total** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Difference ift. original*** $[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}]$	**Difference** [%]
T1	58,77	4,48	5,64	7,57	76,46	13,34	14,86
T2	63,79	7,10	5,64	4,61	81,13	8,67	9,65
T3	58,77	9,32	5,64	4,61	78,33	11,47	12,77
T4	63,87	2,26	5,64	6,95	78,72	11,08	12,34
T5	55,05	9,62	5,64	4,61	74,92	14,88	16,57
T6	60,75	20,98	5,64	6,06	93,42	-3,62	-4,03
T7	55,05	4,63	5,64	7,73	73,05	16,75	18,65
T8	57,24	4,63	5,64	9,18	76,68	13,12	14,61

Tabel 4.3. Resultater for *Tekstil Soltis 92-2048* med forskellige styringsstrategier. *Original beregning med den simplificerede metode.

For at se de resterende tekstiltypers resultater, se appendiks A.2.

Iøjnefaldende er det, at den eneste styring, som udelukkende er baseret på komfort (*blænding*), T6, giver en forværrelse af energibehovet. Sammenlignes forværrelsens absolutte værdi med samtlige andre styringsstrategier, har denne styring den mindste forskel ift. den originale.

Resultaterne for tekstilløsningen har yderligere vist, at der findes en fornuftig løsning, der tager højde for både energi og komfort, T8, hvilket er den ideelle løsning.

Der findes andre strategier såsom T5 og T7, som rent energimæssigt giver bedre resultater end T8 pga. hensyntagen til blænding har en negativ effekt på energibehovet. I et energimæssigt perspektiv er den bedste styringsstrategi for tekstilen styring T7, der blot er baseret på *kølebehov*, og *sol ned*.

Plade med isolering

For pladen med isolering foretages en analyse af forskellige tykkelser af isolering: 20 mm, 23 mm og 25 mm med U-værdier på hhv. 1,098 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\,\text{K}}$, 0,979 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\,\text{K}}$ og 0,912 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\,\text{K}}$.

En ulempe ved den efterisolerede plade er, at pladen ingen g-værdi og lystransmittans har, hvorved

ingen solvarme og sollys trænger gennem pladen. På bekostning af den manglende g-værdi og lystransmittans opnås dog en lavere U-værdi pga. isoleringen.

Resultaterne for pladen med isolering, er listet i tabel 4.4. Ligesom ved tekstilløsningen, vælges pladen med 25 mm isolering, som har den største positive effekt på energibehovet.

Plade med 25 mm isolering							
Styring	**Opvarmning** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Køling** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Ventilation** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Lys** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Total** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Difference ift. original*** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Difference** [%]
P1	48,45	8,30	5,64	4,61	66,99	22,81	25,40
P2	48,51	23,70	5,64	4,61	82,46	7,34	8,18
P3	48,45	8,30	5,64	4,61	66,99	22,81	25,40
P4	42,18	25,91	5,64	4,61	78,34	11,46	12,76
P5	48,00	8,3	5,64	4,61	66,54	23,26	25,90
P6	54,12	20,53	5,64	10,80	91,09	-1,29	-1,44
P7	48,02	20,96	5,64	4,61	79,23	10,57	11,77
P8	48,02	20,96	5,64	4,61	79,23	10,57	11,77
P9	54,02	20,54	5,64	10,79	90,99	-1,19	-1,32
P10	48,02	20,96	5,64	4,61	79,23	10,57	11,77
P11	48,02	20,96	5,64	4,61	79,23	10,57	11,77
P12	54,02	17,44	5,64	11,21	88,31	1,49	1,66
P13	48,02	19,46	5,64	4,61	77,72	12,08	10,22
P14	48,02	20,96	5,64	4,61	79,23	10,57	11,77

Tabel 4.4. Resultater for pladeløsning med 25 mm via forskellige styringsstrategier. *Original beregning med den simplificerede metode.

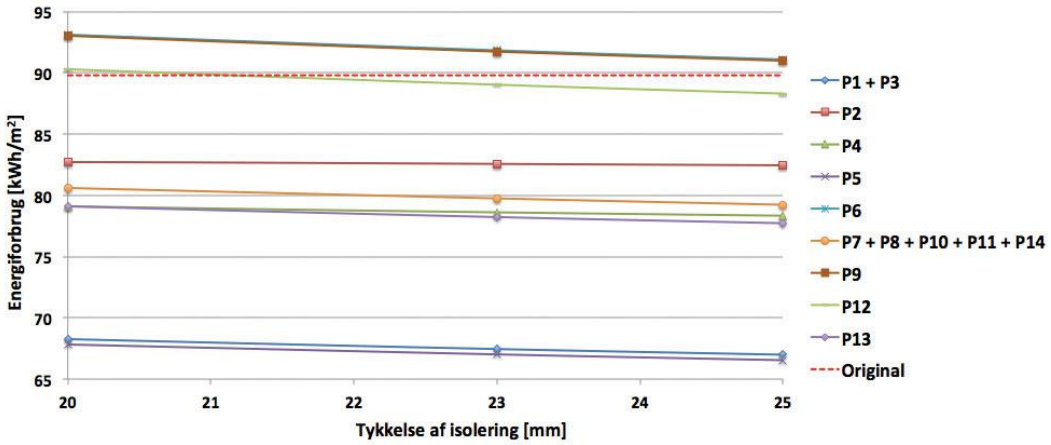
Styringerne P1, P3 og P5 viser de mest effektive styringsstrategier for pladeløsningen med isolering. Det er når pladen kører for uden for brugstiden, som giver det store udsving. Styringen for natten alene, P2, giver ikke noget bemærkelsesværdigt udslag, hvilket skyldes, der allerede tages højde for, at ingen er tilstede i denne tidsperiode for en erhvervsbygning. Det vil være et andet tilfælde for en bolig, hvor ÷*tilstedeværelse* kun er gældende om dagen og ikke aftenen/natten.

For P1, P3 og P5 findes det yderligere, at køling er markant lavere sammenlignet med alle andre styringer. I modsætning til andre styringer, forøges isoleringsevnen og derfor vil det blive nødvendigt med mere energi til afkøling. Er pladen ikke for, vil U-værdien være højere, og derved falder kølebehovet.

I tabel 4.4 Der observeres to styringer, P6 og P9, som har et højere energibehov end den originale bygningssimulering. Disse drejer sig om at styre efter *varmebehov*. Energibehovet for lys styringer med *varmebehov* (P6, P9 og P12) har en markant stigning pga. pladerne kører for, for at minimere varmetabet. Siden pladen med isolering er komplet uigennemtrængelig for udvendigt lys, bruges der derfor mere energi på at opretholde lysniveauet inde i bygningen.

De mest anvendte styringsstrategier er baseret på både ÷*tilstedeværelse* og *varmebehov*. Det vil sige, at den mest og mindst effektive strategi kombineres i samme styringer. Løbende bliver strategierne *energibalance*, *nat* samt *kølebehov* tilføjet til styringerne, som ses ikke at bidrage til en bedre effektivitet.

På figur 4.2 er sammenhængen mellem forskellige tykkelser af isolering og energibehov illustreret for hver styringsstrategi, P1 - P14.

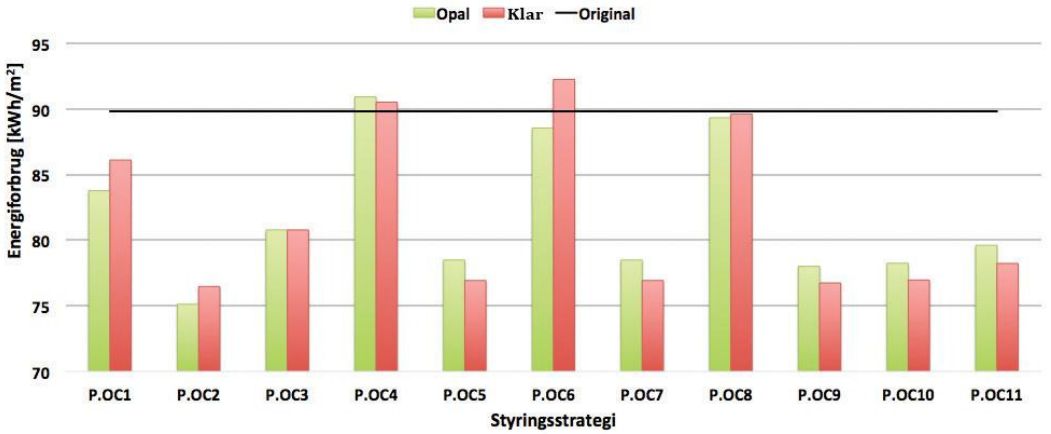


Figur 4.2. Sammenhæng mellem tykkelse på pladeisolering og bygningens energibehov.

Figur 4.2 viser, energibehovet falder lineært i takt med, at isoleringsgraden forøges. I realiteten findes et maksimum på isoleringsgradens tykkelse, da der på et tidspunkt vil være umuligt at indsætte mere isolering grundet vægten, eller hvor det ikke længere kan betale sig. Det observeres dog, at forbedringen ikke er af markant karakter ved indsættelse af mere isolering, da hældingen på graferne næsten er vandrette.

Opaliseret og klar plade

Udover pladen med isolering findes der plader, som enten kan være klare eller opaliserede i polycarbonat. Disse to forskellige pladers specifikke værdier benyttes i den dynamiske simulering og sammenlignes på figur 4.3. Bemærk, at grafens y-akse er forskudt.



Figur 4.3. Styringsstrategiers effekt for både en klar og en opaliseret pladeløsning sammenlignet med originalen.

Selvom pladerne ikke har isoleringsmateriale påført, har pladerne stadig en U-værdi, der foruden vinduet i sig selv bidrager til at formindske varmetabet, når den er aktiveret. Ønskes det at anvende den absolut bedste løsning, skal den opaliserede plade anvendes, men forskellen mellem den og den klare er dog ikke af den mest bemærkelsesværdige størrelse (1,5 %).

Styringerne P.OC4, P.OC6 og P.OC8 er tre styringer, der ift. originalen viser dårligere energimæssige resultater. Strategierne består hovedsageligt af *blænding* og *kølebehov*.

Selvom der ikke isoleres lige såvel som ved isoleringspladen, vil g-værdien sørge for, at varme tilføres til bygningen. Det ses endda, at styringer der inkluderer både *kølebehov* og *blænding* i samme styring ikke giver negativ effektivitet, da ÷*tilstedeværelse* og *varmebehov* i sig selv er nok til at bringe energibehovet tilstrækkeligt ned.

En generel observation er, at den opaliserede plade regelmæssigt viser højere energiforbrug end den klare plade, dog kun gældende ved styringer hvori *varmebehov* er medtaget. Dette skyldes, at g-værdien for den klare plade er højere og dermed tilfører mere varme til bygningen. Ved alle andre styringer hvor *varmebehov* er ekskluderet, findes det, at den klare plade er ringest, eller at deres effekt er så godt som magen til hinanden.

Det kan konkluderes, at pladen med isolering viser de bedste energimæssige resultater, sålænge *varmebehov* er ekskluderet fra styringerne. *Varmebehov* for pladen med isolering giver som vist en forringelse af effektiviteten, hvorimod den klare/opale plade viser forbedrede effekt på bygningens energibehov. Bemærk, at disse sammenligninger er foretaget for styringer, hvor samme strategier er anvendt, se nedenstående punktopstilling.

- P1 = P.OC2
- P4 = P.OC3
- P6 = P.OC5
- P9 = P.OC7
- P12 = P.OC9

Ved styringerne kun med ÷*tilstedeværelse* er det pladen med isolering, der giver de bedste resultater, da dens isoleringsevne er bedre end de andre to typer plader.

Komfortmæssigt vil den opale plade være bedre egnet til kontorer, mødelokaler mv., da den blokerer for direkte ind- og udsyn.

Ved sammenligning med tekstilen viser pladeløsningerne generelt energimæssigt bedre resultater, da U-værdien for vinduet bliver forbedret, hvilket kun er minimalt for tekstilen.

Lamel

Da lamellerne benytter *cut-off* metoden med to styringsstrategier (*energi* eller *komfort*). Resultater ses i tabel 4.5.

Lamel							
Styring	**Opvarmning** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Køling** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Ventilation** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Lys** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Total** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Difference ift. original*** $[\frac{kWh}{m^2}]$	**Difference** [%]
L1	57,94	21,61	5,64	5,86	91,04	-1,24	-1,38
L2	58,56	21,61	5,64	5,24	91,04	-1,24	-1,38

Tabel 4.5. Resultater for lamelløsning med forskellige styringsstrategier. *Original beregning med den simplificerede metode.

Der observeres en ikke-eksisterende forskel mellem de to endelige resultater af lamelstyringerne. Komfortstyringen viser dog bedre resultater for opvarmning, og energistyringen viser bedre resultater for energibehovet til lys. Den styringsmæssige forskel er, at ved energistyringen kører EnergyFrames for ved alle fire facader, når det findes nødvendigt. For komfortstyringen der tager hensyn til *blænding* fra direkte solstråling, køres EnergyFrames for facadevist via en blændingsundersøgelse i den simplificerede metode ift. et referencepunkt for hver facade.

Da begge styringer viser resultater, der er mindre effektive end bygningen uden EnergyFrames, vil det ikke anbefales at benytte lamelløsningen. Hvis lamellerne dog ønskes integreret i en bygning af en specifik årsag (bygningsudtryk, design o.l.), og blændingsgener vil forebygges, kan det rationaliseres ved, at forringelsen ikke er af større karakter.

Ydermere er lamellerne de mest fleksible ift. de to andre typer EnergyFrames og kan i større grad styre lyset og dets indfald.

Lamelløsningen er energimæssigt utvivlsomt den mindst effektive type EnergyFrames, der kan anvendes på *case 9*, da den ikke har nogen bedre alternativer end dem, som blot forringer effektiviteten af bygningen. Ved både plade- og tekstilløsningen er det muligt at tage højde for adskillelige strategier og parametre, og på samme tid formindske energibehovet. Derfor vil plade- og tekstilløsningen være fordelagtige for kontorbygninger.

4.2.2 Case 4, 7 og 8

I dette afsnit vil de mest opsynsvækkende resultater for de tre øvrige cases præsenteres til sammenligning med *case 9*. Cases sammenlignes hovedsageligt ved brug af gennemsnitlige forandringer i % ift. det originale energibehov.

Afslutningsvist konkluderes der på tværs af alle fire cases og deres endelige energiforbrug. Fremover medtages lamelløsningen ikke i sammenligningerne, da denne har udvist minimale forandringer for energiforbruget. I nedenstående liste vises, hvilke bestemte modeller, der anvendes i sammenligningerne:

- Tekstil:
  - Tekstil Soltis-92-2048
- Plade:
  - Isolering = 25 mm
  - Klar
  - Opaliseret

Sammenligning med case 4 - det moderne byggeri

Sammenligningsresultaterne mellem *case 9* og *case 4* ses i tabel 4.6.

Type		**CASE**	
		9	**4**
Tekstil [%]	Middel	11,93	10,04
	Maks.	18,65 (T7)	18,42 (T7)
Plade,iso [%]	Middel	12,06	3,98
	Maks.	25,90 (P5)	21,14 (P12)
Plade,klar [%]	Middel	8,73	8,96
	Maks.	14,84 (P.OC11)	14,83 (P.OC1)
Plade,opal [%]	Middel	8,76	9,69
	Maks.	16,35 (P.OC2)	16,30 (P.OC10)

Tabel 4.6. Sammenligning ift. original version i % forandring.

Bemærk, at de parantes givende betegnelser indikerer den specifikke styringsstrategi, se evt. tabel 4.2 på side 34.

Case 4's resultater viser, at pladeløsningen med isolering er dårligere egnet til *case 4* end *case 9*. De bedste styringsstrategier til begge cases ligger forholdsvis tætte, men middelværdien for *case 4* indikerer, at der generelt findes flere styringsstrategier med mindre energimæssige gevinster.

Den klare og opale plade har store forskelle ved styringen med ÷*tilstedeværelse* grundet bolig/erhverv aspektet. Erhvervsbygningen har særdeles bedre resultater, da det for boligen betyder, at der ikke opnås nær så meget energibesparelse, fordi afskærmningen køres for i dagtimerne. Kølebehovet vil falde, men da ingen er hjemme, er det ikke ligeså fordelagtigt som ved erhvervsbygningen, hvor der i nattetimerne isoleres med en forbedret U-værdi.

Tekstilløsningen viser for begge cases at være en fornuftig løsning. Generelt er *case 4* og *case 9*'s resultater ensformige, selvom begge bygninger har forskellige funktioner, hvilket betyder, det ikke altid er samme styringer, som giver samme udslag.

Sammenligning med case 7 - det moderne etagebyggeri

Sammenligningsresultaterne mellem *case 9* og *case 7* ses i tabel 4.7.

Type		**CASE**	
		9	**7**
Tekstil [%]	Middel	11,93	22,71
	Maks.	18,65 (T7)	38,37 (T7)
Plade,iso [%]	Middel	12,06	13,66
	Maks.	25,90 (P5)	53,31 (P12)
Plade,klar [%]	Middel	8,73	16,80
	Maks.	14,84 (P.OC11)	29,77 (P.OC9)
Plade,opal [%]	Middel	8,76	17,69
	Maks.	16,35 (P.OC2)	33,65 (P.OC11)

Tabel 4.7. Sammenligning ift. original version i % forandring.

For *case 7*, det moderne etagebyggeri, er den klart bedste styringsstrategi pladeløsningen med isolering, hvor der kan opnås en forbedring på næsten 53 % ifølge de teoretiske beregninger. Dette stemmer overens med den proklamerede effektivitet på 50 - 75 % iht. kapitel 1. Den gældende styring herfor er P12 (*varmebehov*, *kølebehov* og *energibalance*). I forhold til *case 9*, er scenariet ang. brugstiden det omvendte af tidligere, hvor *case 9*'s styringsstrategi P12 giver en forringelse af bygningens energibehov, ned til næsten -5 %. Det vil sige en samlet forskel på ca. 58 %.

Det skyldes, at både *varmebehov* og *energibalance* for *case 7* giver en marginal forringelse. Det er ikke tilfældet for *case 9*, hvor *varmebehov* især giver en kraftig forøgelse i energibehovet. Hvis middelværdien af den procentvise forandring foretages mellem de to løsninger for pladen med isolering, findes det, at *case 7* er marginalt bedre ca. 1 %.

Som eksempel er styringen, der omfatter ÷*tilstedeværelse* og *varmebehov* særdeles uegnet til *case 7*, hvor en forværring på ca. 10 % findes. Det skyldes, at pladen kører for, når der i realiteten kan vindes mere varme. På disse tidspunkter er brugerne ikke hjemme, og derved stiger forbrug til opvarmning.

De klare og opale plader viser for *case 7* i større grad at være mere effektive ift. *case 9*. Det svarer omtrent til en fordobling af den gennemsnitlige forbedring af effektiviteten. En lignende procentvis forbedring (ca. 10 %) findes også for tekstilen, hvor samtlige styringsstrategier generelt viser bedre

resultater end ved *case 9*. Som tidligere nævnt skal det dog bemærkes, at den absolut bedste energimæssige løsning er pladeløsningen med styringsstrategi P12.

Sammenligning med case 8 - auditoium

Sammenligningsresultaterne mellem *case 9* og *case 8* ses i tabel 4.8.

Type		**CASE**	
		9	**8**
Tekstil [%]	Middel	11,93	3,40
	Maks.	18,65 (T7)	4,84 (T7)
Plade,iso [%]	Middel	12,06	2,44
	Maks.	25,90 (P5)	5,71 (P5)
Plade,klar [%]	Middel	8,73	1,51
	Maks.	14,84 (P.OC11)	3,36 (P.OC2)
Plade,opal [%]	Middel	8,76	1,53
	Maks.	16,35 (P.OC2)	3,71 (P.OC2)

Tabel 4.8. Sammenligning ift. original version i % forandring.

Case 8, har vist sig at være bygningstypen, som har det mindste potentiale ift. EnergyFrames, da forbedringerne der trods alt findes, ikke er bemærkelsesværdige. På ingen af EnergyFrames typerne har *case 8* et bedre scenarie end de andre cases. Den mest effektive løsning for *case 8* er tekstilen. Denne viser en gennemsnitlig forbedring på 3,4 % for alle styringsstrategier, hvor den bedste styring findes ved T7.

Med resultaterne på energiforbruget for *case 8* i mente er det værd også at betragte, at *case 8* er et auditorium, og det at producere EnergyFrames til sådanne bygningsudformninger besværliggør en realisering af potentialet for EnergyFrames på auditoriumet. Dette bekræfter, at *case 8* har det mindste potentiale for EnergyFrames i sammenligning med *case 7* og *case 9*.

Grunden til at der findes ligheder ved resultaterne af styringsstrategierne er, at begge cases har samme brugstid og -mønstre, da begge benyttes i dagtimerne. Den ene er en institution den anden en arbejdsplads. Det medfører, at diverse strategier vil have ligheder på tværs af de to cases. Dog er den procentvise forbedring lavere for *case 8* end *case 9*, og derfor findes et større energimæssigt potentiale for erhvervsbygningen.

4.2.3 Sammenligning af samtlige cases

Alle fire cases sammenlignes for hver type EnergyFrame, se tabel 4.9.

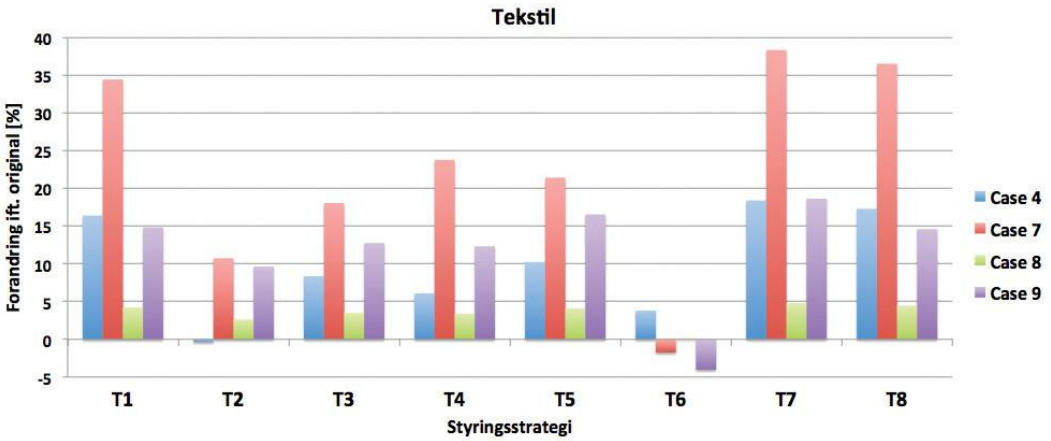
Type		CASE			
		4	7	8	9
Tekstil [%]	Middel	10,04	22,71	3,4	11,93
	Maks.	18,42 (T7)	38,37 (T7)	4,84 (T7)	18,65 (T7)
Plade,iso [%]	Middel	3,98	13,66	2,44	12,06
	Maks.	21,14 (P12)	53,31 (P12)	5,71 (P5)	25,90 (P5)
Plade,klar [%]	Middel	8,96	16,80	1,51	8,73
	Maks.	14,83 (P.OC1)	29,77 (P.OC9)	3,36 (P.OC2)	14,84 (P.OC11)
Plade,opal [%]	Middel	9,69	17,69	1,53	8,76
	Maks.	16,30 (P.OC10)	33,65 (P.OC11)	3,71 (P.OC2)	16,35 (P.OC2)

Tabel 4.9. Sammenligning ift. original version i % forandring med samtlige fire cases.

De grønne tal viser den bedste forbedring, som kan findes på tværs af alle cases. Der gås i dybden inden for hver type af EnergyFrame i de tre kommende underafsnit.

Tekstil

Tekstilløsningens resultater ses på figur 4.4.

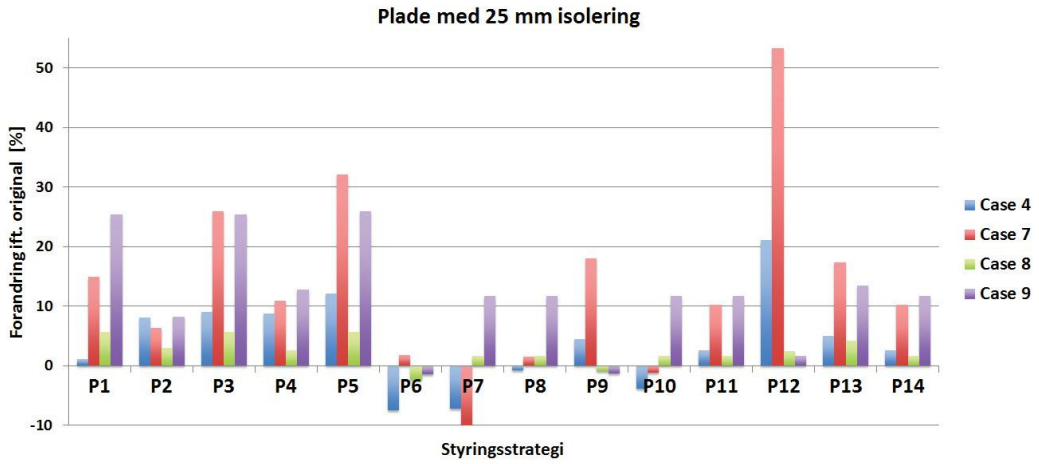


Figur 4.4. Styringsstrategiernes forandring i % for tekstilen af samtlige cases.

Case 7 har den største gevinst og især ved styringsstrategi T7 og T8. Blændingsstyringen (T6) ses tydeligt, at vise en lav effekt for alle cases. Faldet der observeres fra T7 til T8 skyldes blændingsstyringen. Står valget da imellem T7 og T8 i en reel case, er det værd at overveje, om en styring der i øvrigt medtager blænding ikke er det rette valg, da komforten øges uden det forringer effektiviteten betydeligt. Det skal dog kun vurderes ved bygninger, som ikke er beboelsesbygninger. Samtidigt er det en mulighed at bruge T7 inkl. manuel overstyring for at blokere blændingsgener.

Plade med isolering

Resultater for pladeløsningen med isolering ses på figur 4.5.



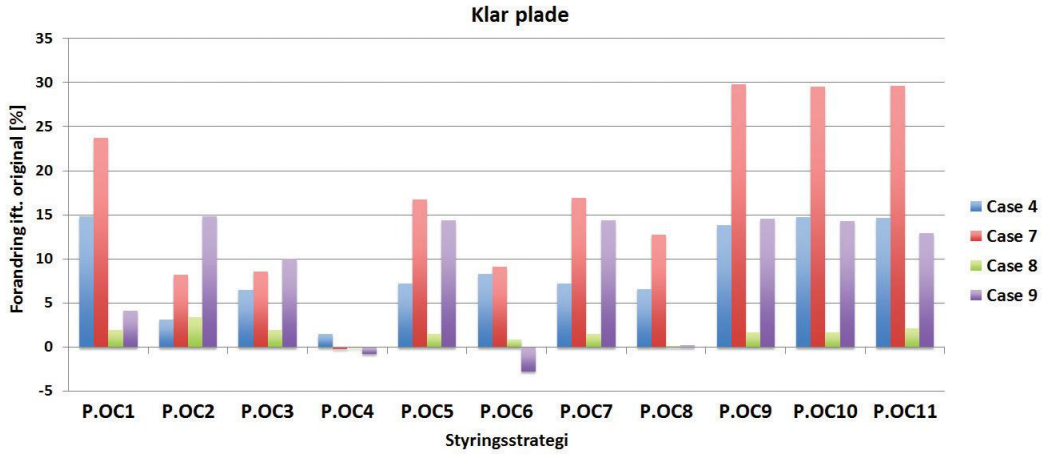
Figur 4.5. Styringsstrategiernes forandring i % for efterisoleret plade af samtlige cases.

Det er *case 7* og *case 9*, der har forbedringer på et generelt højt niveau, hvor en enkelt strategi endda kommer op på 53 %. Som diskuteret er *varmebehov* en strategi (P6 - P14), som kun virker til ugunst på energiforbruget, og dette ses tydeligt illustreret på figuren. Der skal adskillelige andre styringer oven i *varmebehov*, før det atter bliver muligt at finde forbedringer på alle cases.

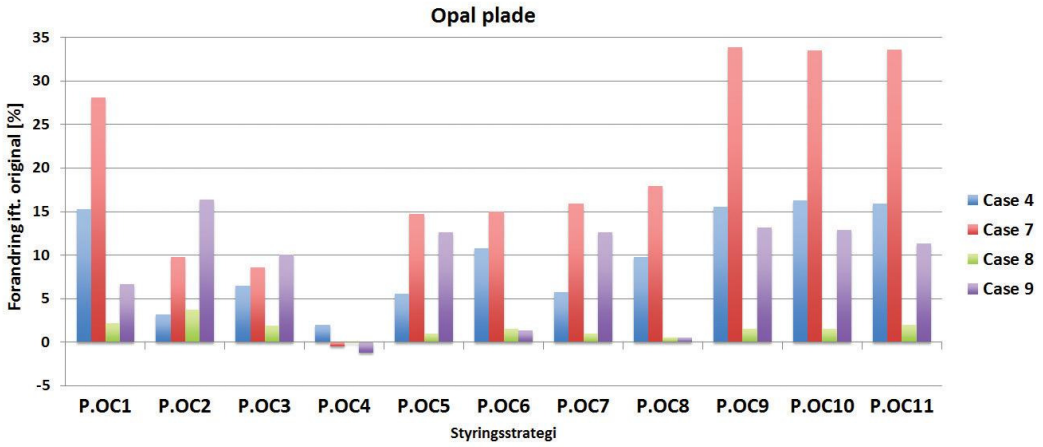
Det er kendt, at *kølebehov* giver stort udslag for boliger, og ligeså ÷*tilstedeværelse* for erhvervsbygninger. P12 har kølebehovet implementeret, hvilket får effektiviteten til at skyde i vejret for boligerne. ÷*Tilstedeværelse* giver *case 9* en yderligere forbedret effektivitet til P13, hvor begge er kombinerede i samme styring.

Klar og opaliseret plade

Resultaterne for pladeløsningerne med klar og opaliseret plade ses på figurerne 4.6 og 4.7.



Figur 4.6. Styringsstrategiernes forandring i % for den klare plade af samtlige cases.



Figur 4.7. Styringsstrategiernes forandring i % for den opaliserede plade af samtlige cases.

Det ses tydeligt, at resultaterne for begge disse plader minder om hinanden, hvilket skyldes egenskaberne er relative ens. Fra strategi P.OC5 indføres *varmebehov*, hvilket giver anledningen til den store effektivitet, som observeres for beboelserne, *case 4* og *case 7*.

Et opsigtsvækkende resultat er styringen P.OC1, *hele tiden*. For boligerne bevirker denne en forholdsvis stor forbedring til sammenligning med *case 8* og *case 9*.

4.3 Konklusion af dynamisk simulering

Det er fundet, at specifikke styringer kan være bedst egnet til forskellige cases i bestemte enkelttilfælde. Konklusionen er derfor baseret på de overordnede resultater for ikke at give et fejlagtig billede af én bestemt case. Blot én styring bør eksempelvis ikke være enebestemmende for, om EnergyFrames' potentiale (ikke) kan fuldstændig udelukkes.

På baggrund af resultaterne igennem kapitlet konkluderes det, at blandt de fire cases der var blevet valgt til nærmere analyse, har *case 7* udvist de bedste resultater og største potentiale, når energibehovet sammenlignes både i mellem hver case og ift. originalversionen af de pågældende cases.

Case 7, det moderne etagebyggeri, er dog ikke den eneste case, som giver interessante resultater. *Case 9*'s (kontorbyggeri) gode resultater munder ud i et godt argument for at realisere potentialet for EnergyFrames på denne type erhvervsbygning. Især med idéen om, der i dag anvendes store glasarealer på erhvervsbygninger, hvor en selvfølge heraf er mange timer med overtemperaturer på kontorerne om sommeren, og et stort varmebehov om vinteren.

Case 4, det moderne byggeri, giver anledning til at EnergyFrames kan benyttes til sådanne bygninger, da det er muligt at opnå betydelige besparelser på energi, og da det oven i købet er en bolig, er markedet stort.

Case 8's resultater for auditoriumet antyder, at potentialet for EnergyFrames er lavest af samtlige undersøgte cases, og det er ikke kun inden for energiforbruget, men også praktiske aspekter. Sandsynligheden for at realisere EnergyFrames på auditorium o.l. vurderes lavt.

For at finde den rette styringsstrategi er det nødvendigt at undersøge, hvad der fungerer bedst ift. brugerne samtidigt med, at energibehovet forbedres. Altså er der fundet plads til, at komfort kan - og måske bør - inddrages i større omfang end blot blænding.

For at imødekomme denne opgave, foretages teoretiske beregninger for, hvordan andre aspekter af komfort kan implementeres. En anden tilgang er at skabe kontakt til personer på en reel arbejdsplads og skabe dialog om, hvordan de oplever diverse komfortparametre - og hvor meget EnergyFrames påvirker dette.

På den baggrund vil en reel kontorbygning tages i brug med det formål at finde den bedste løsning, der både tager hensyn til bygningens energiforbrug og brugerne via målinger af diverse parametre.

Del II

Testbygningen - Green Tech Living Lab

I denne del bliver kontorbygningen Green Tech Living Lab benyttet som testbygning. En måleperiode med manuel styring af EnergyFrames bliver analyseret mht. komfort, brugerinteraktion og energi. Formålet med måleperioden af denne bygning er at udvikle en automatisk styringsstrategi til EnergyFrames på baggrund af analyserne, der skal munde ud i forbedringer af komforten for brugerne såvel som energiforbruget.

Præsentation af testbygning 5

I kapitlet præsenteres testbygningen, *Living Lab*, som er en del af et større facilitetscenter, *Green Tech Center*, lokaliseret i Vejle, der har fokus på at tilvejebringe grønne løsninger til nutidens energiudfordringer. Opgivende data gennemgås for at give et bedre indblik i bygningens design. En indledende inspektion af bygningen foretages, hvorefter væsentlige observationer beskrives, samtidigt med en brugerundersøgelse foretages.

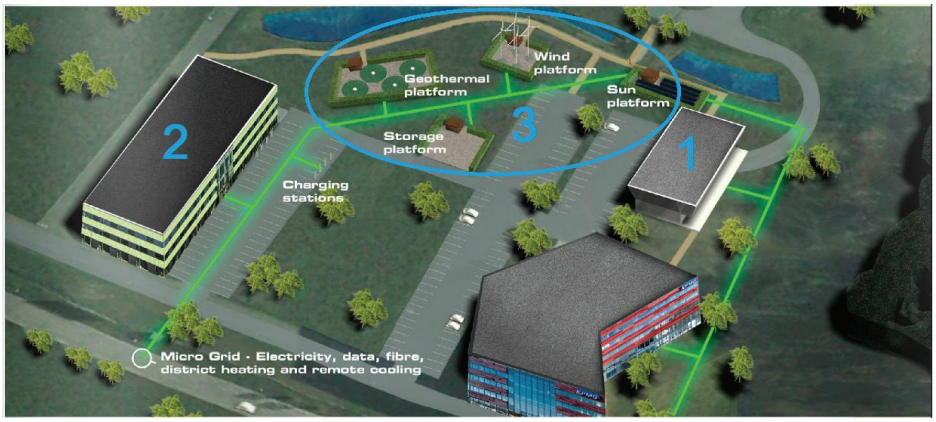
5.1 Green Tech Center

For at undersøge det reelle potentiale af EnergyFrames på et opført byggeri, er der opstået en mulighed i et samarbejde med *Green Tech Center*. I dette afsnit præsenteres *Green Tech Center* for at give et indblik i dets relevans i forbindelse med projektets hovedformål. En præsentation af hvad *Green Tech Center* beskæftiger sig med vil først gives. Herunder hvilke specifikke ydelser *Green Tech Center* stiller til rådighed. [Green Tech Center, 2014]

Green Tech Center er et større center lokaliseret i Vejle, der har klare visioner med at tilvejebringe en bæredygtig fremtid. Overordnet set er *Green Tech Center*s vision at etablere et anerkendt smart grid system og køre et internationalt Triple Helix Center, der skal styrke forskning, uddannelse og innovation samt give vækst inden for grøn teknologi. Underliggende er missionen at hjælpe samfundet med at skabe overgangen til et vedvarende energisamfund på en bæredygtig måde.

5.1.1 Præsentation af Green Tech Center

Green Tech Center er en klynge af bygninger der alle er forbundet via et såkaldt smart grid system. Bygninger og smart griddet (Micro Grid) ses illustreret på figur 5.1.



Figur 5.1. *Green Tech Center*s overordnede system.

Bygning 1 er navngivet *Living Lab*, som i alt rummer 1.200 m^2 fordelt på tre etager. *Green Tech Center* bruger bygningen som et laboratorium, der benyttes til at teste og demonstrere teorien bag diverse udviklinger, og derved se hvordan teorien udfoldes ift. praksis. Yderligere er diverse kontorer samt et fælleslokale med køkken tilstede. Det er denne bygning, hvorpå undersøgelser foretages med påmonterede EnergyFrames.

Bygning 2 er *Green Tech House*, som har et areal på 4.000 m^2 og er opført iht. Lavenergiklasse 2015. Huset er udstyret med en platform bestående af et Building Management System (BMS) og en Central Tilstands Styring (CTS), der løbende samler energi- og klimadata. Firmaet GK har stået for installation, og det er muligt at få tilgang til data via *Green Tech Center*s hjemmeside. Der bliver fremover refereret til GK, når der er anvendt data herfra.

Område 3 viser *Green Tech Park*. Det er her diverse energiproducerende installationer er opført. Det gælder solbrønde, vindmøller og solceller samt en energioplagrings platform, som det ses på figur 5.1 på foregående side. *Living Lab* er den anvendte bygning til forsøg med EnergyFrames og uddybes nærmere i afsnit 5.2.

5.2 Living Lab

I afsnittet vil det tekniske omhandlende *Living Lab* uddybes. Det kommer til at gælde for bygningsdata og de påmonterede EnergyFrames. Formålet er at give et overblik over, hvordan opbygningen af hele konstruktionen er udformet, både ift. det byggetekniske, og samtidig for at give et overblik over *Living Lab*s installationer. Igennem afsnittet vil der hovedsageligt vises data for første etage, da fokus senere lægges der pga. brugernes tilstedeværelse. For samtlige bygningsdata af *Living Lab* henvises der til appendiks A.3.

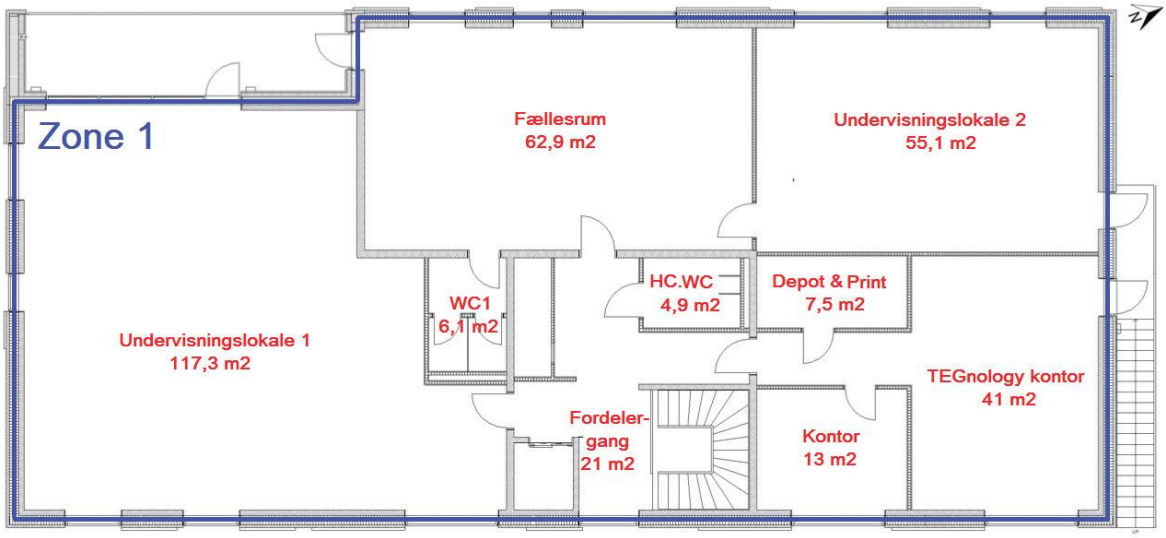
5.2.1 Bygningsdata

Som nævnt i afsnit 5.1.1 er *Living Labs* samlede areal på 1.200 m^2. Bygningens areal for én etage er 30 m × 14 m = 420 m^2. Da der i alt findes tre etager, giver dette et totalt areal på 1.260 m^2, hvilket derfor stemmer godt overens med *Green Tech Center*s proklamerede 1.200 m^2. Det helt nøjagtige areal af *Living Labs* opvarmede etageareal er opgivet til 1.182,3 m^2 ift. Be10-filens udførelse.

Det totale befærdede areal for rummene i bygningen kan specifikt måles. Det vil sige en opmåling med ekskludering af trappeopgang, altan og indvendige vægge, som der findes ved de udvendige mål. Derved vil et reduceret areal fremkomme. Ved hjælp af de specifikke mål fra plantegningerne er nettoarealerne på første etage opstillede:

- **Areal af første etage = 324,2 m^2**
  - To undervisningslokaler
  - Fællesrum
  - To kontorer, hvoraf et er et større firemandskontor (TEGnology)
  - Depot & Print
  - Tre WC'er, hvoraf et er handicap WC
  - Fordelergang
- **Areal af Living Lab = 975,9 m^2**

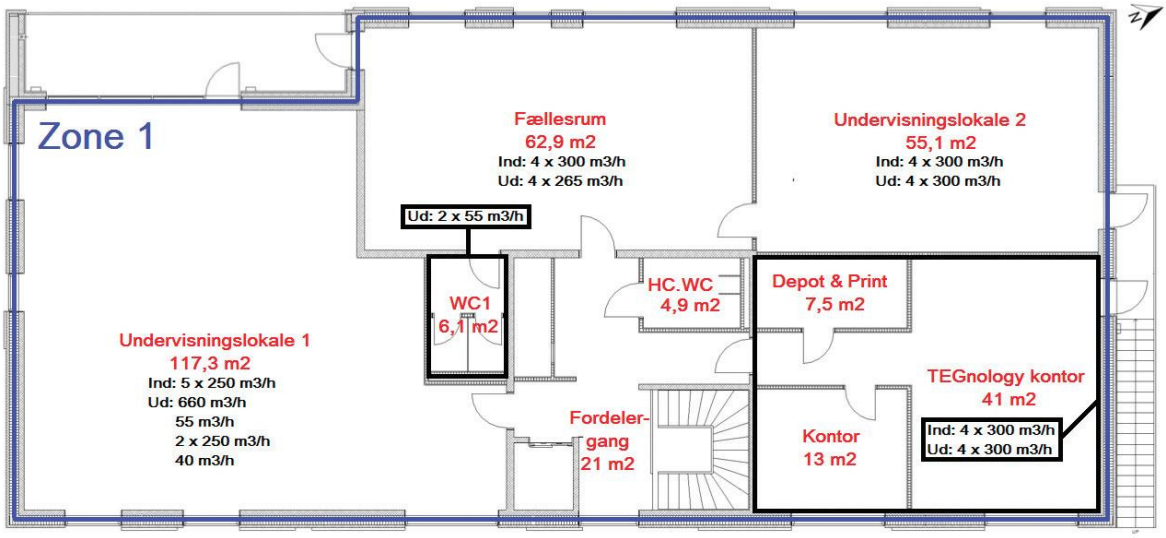
For en detaljeret liste af alle rum og dets arealer for alle etager henvises der til appendiks E. Figur 5.2 viser en plantegning for førsteetagen. Orienteringen af bygningen er 344° ift. følgende plantegning.



Figur 5.2. Plantegning af første etage.

Ventilation

I dette afsnit gennemgås ventilationsraterne. For specifikke data og værdier for hvert enkelt rum, zone og etage refereres der til appendiks A.4 og appendiks E. Hver etage er udstyret med mekanisk ventilation, hvor samtlige påkrævede ventilationsmængder i bygningen drives af et enkelt ventilationsaggregat placeret i teknikrummet i kælderen. Ventilationsraterne for første etage ses på figur 5.3.



Figur 5.3. Plantegning af første etage med ventilationsrater.

Første etage har kun en zone, da alle rum har adgang til hinanden. Der findes et stort undervisningslokale. Dette har et areal på 117,3 m^2. Derudover findes to kontorer, tre WC'er samt et fællesrum på 62,9 m^2. Tabel 5.1 viser armaturernes og dets ventilationsrater.

Første etage							
Rum	**Armatur**	**V.Rate [$\frac{m^3}{h}$]**	**Antal**	**I alt [$\frac{m^3}{h}$]**	**Balance [$\frac{m^3}{h}$]**	**Tryk**	**Zone**
WC 1. + HC.WC	Udsugning	55	2	110	-25	Undertryk	1. etage
		50	1	50			
Undervisnings-lokale 1	Indblæsning	250	5	1250			
	Udsugning	660	1	660			
		55	1	55			
		250	2	500			
		40	1	40			
TEGnology	Indblæsning	300	2	600			
	Udsugning	300	3	900			
Kontor	Indblæsning	300	2	600			
Depot & Print	Udsugning	300	1	300			
Undervisnings-lokale 2	Indblæsning	300	4	1200			
	Udsugning	300	4	1200			
Fællesrum	Indblæsning	300	4	1200			
	Udsugning	265	4	1060			
Total	***Indblæsning***		***17***	***4850***	***-25***	***Undertryk***	
	Udsugning		***20***	***4875***			

Tabel 5.1. Overblik af ventilationssystem på første etage.

Samlet set har tegningerne inkl. oplysninger vist, at der ventileres i alle rum, og der tilnærmelsesvist indblæses med samme mængde, som der udsuges.

5.2.2 EnergyFrames på Living Lab

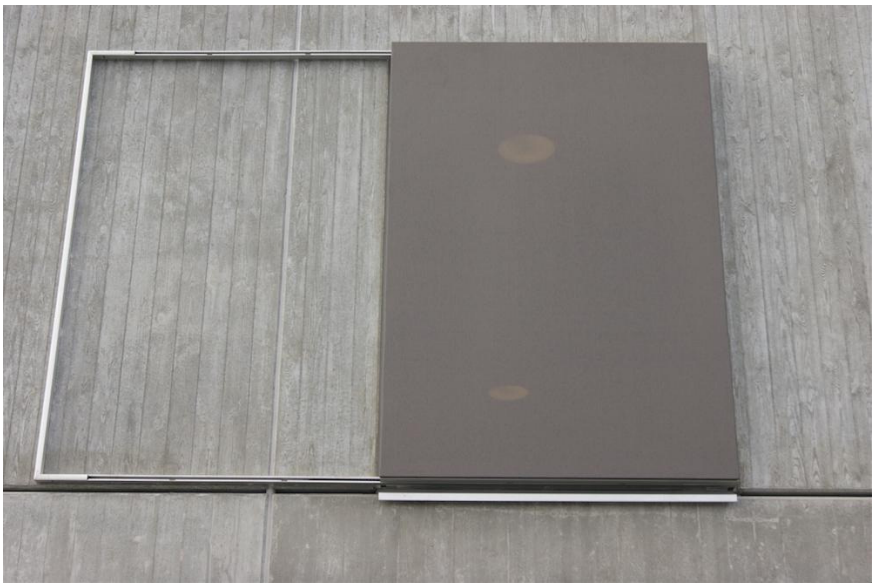
EnergyFrames af tekstiltypen er påført på *Living Lab*. Det er *Inwido* der er virksomheden, der har stået for at producere og påmontere disse på facaderne. De er sat på de syd-, øst- og vestvendte facader, se figurer 5.4 og 5.5.

Figur 5.4. Østfacade på *Living Lab*.

Figur 5.5. Vestfacade på *Living Lab*.

Tekstildugstypen der anvendes på hele bygningen er *Tekstil Solstis 92-2043* og er styret via manuel styring [Jessen, 2015a]. Ved denne manuelle styring skydes tekstilrammen støt fra eller for vinduet, alt efter hvad der ønskes. Ved hjælp af denne form for styring, kan den 'helt rette' indstilling selv bestemmes af brugerne. På figur 5.6 og 5.7 ses EnergyFrames både inde- og udefra.

Figur 5.6. EnergyFrames' funktion set indefra.



Figur 5.7. EnergyFrames' funktion set udefra.

Figur 5.6 viser hvordan, selvom rammen er kørt for, at lyset fint kan trænge igennem tekstildugen. Desuden sørger en sprække langs rammen for, at der foruden tekstildugens perforering ydes et ekstra bidrag til den naturlige ventilation ved åbne vinduer.

Det er værd at bemærke, at vinduet åbnes indad. Oftest vil det være den mest praktiske retning at vende vinduesåbningen i forbindelse med EnergyFrames, fordi det dermed sikres, at vinduet til enhver tid kan fuldt åbnes. Dette ville yderligere forårsage, at brugeren ikke kan sidde foran vinduet, medmindre der åbnes på kip.

Figur 5.8. Tilfældig arbejdsplads i undervisningslokale 2 i *Living Lab*.

Størrelserne på tekstilrammerne svarer til størrelserne på vinduerne. Disse varierer i størrelse på hele *Living Lab*. Højden på vinduerne og EnergyFrames er 2,2 m for kælderetagen og 2,3 m for stueetagen samt første etage. I alt forefindes der seks forskellige størrelser. Her medtages alle *Living Lab*s EnergyFrames. Disse er inddelt i kategorier fra A til F:

A : 2,51 m × 2,3 m = 5,77 m^2
B : 1,61 m × 2,3 m = 3,70 m^2
C : 1,51 m × 2,3 m = 3,47 m^2
D : 1,01 m × 2,3 m = 2,32 m^2
E : 1,51 m × 2,2 m = 3,32 m^2
F : 1,01 m × 2,2 m = 2,22 m^2

Indices bruges videre til at give et totalt overblik over samtlige vinduer, hvorpå EnergyFrames er monteret, se tabel 5.2.

Orientering [–]	**Etage** [–]	**Mål** [–]	**Antal** [–]	**Total areal** [m^2]
Vest	Kælder	E	2	6,64
		F	1	2,22
	Stue	A	1	5,77
		C	1	3,47
		D	1	2,32
	Første	A	2	11,54
		C	2	6,94
		D	1	2,32
Øst	Stue	D	1	2,32
	Første	A	3	17,31
		B	1	3,70
		C	2	6,94
Syd	Første	C	1	3,47
		D	1	2,32
I ALT			**20**	**77,28**

Tabel 5.2. Vinduer med EnergyFrames i *Living Lab.*

Det ses på tabel 5.2, at der ingen EnergyFrames er monteret på nord. Det er ikke ensbetydende med, at der ikke findes vinduer på denne facade, da de oplyste tal udelukkende er for vinduer hvorpå EnergyFrames er monteret. Da direkte solstråling i sjælden grad rammer bygningers nordvendte facader, er det derfor ikke optimalt at placere en større mængde vinduer end nødvendigt. Det vil i kolde perioder føre til forhøjede varmetab og dermed større varmebehov. Derfor er der i alt kun tre vinduer på nord facaden, alle på stueetagen, med en bredde på 1,01 m. Der findes to glasdøre, der benyttes som nødudgange på første etage. For nordfacaden vil det være optimalt at bruge EnergyFrames med isolerende plade.

5.3 Verificering af opgivet Be10 model

I dette afsnit præsenteres forskellighederne mellem den originale Be10-fil (appendiks A.5) og plantegningernes informationer. Det viser sig, at det har en betydelig indvirkning på energirammeberegningen ift. energibehovet (og dermed opfyldelse af Bygningsreglementets krav) af *Living Lab.* Følgende krav gælder til energirammen fra Bygningsreglementet:

1. Nybyggeri 2010: $\left(71,3\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} \cdot \frac{1650}{A_{opvarm}}\right) + 8,8\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} = 81,5\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$
2. Lavenergiklasse 2015: $\left(41\ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} \cdot \frac{1000}{A_{opvarm}}\right) + 8,8\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} = 50,6\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$
3. Bygningsklasse 2020: $25\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} + 8,8\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}} = 33,8\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$

Da *Living Lab* indgår under kategori andet byggeri, er et yderligere tillæg til energirammen en mulighed, hvilket er tilfældet i denne case. Tillægget er det adderede 8,8 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$ og kan opnås via særlige betingelser. Disse betingelser er specificeret for bygninger, som opføres efter BR10 samt Lavenergiklasse 2015. Disse betingelser indebærer efter kapitel 7.2.5.3 stk. 2 [EnergiStyrelsen, 2011]:

1. Højt belysningsniveau (over 200 lux)
2. Forhøjet luftskifte (over 1,2 $\frac{\text{l}}{\text{s m}^2}$)
3. Stort varmtvandsforbrug
4. Lang benyttelsestid
5. Stor rumhøjde

Beregningerne er foretaget iht. SBi 213, *Bygningers energibehov* [Aggerholm og Grau, 2011] samt Bygningsreglementets bilag 6, *Beregning af bygningers energibehov*. Ved et evt. merforbrug end hvad energirammen tillader, vil dette tillæg gå ind og modsvare merforbruget. Med den oprindelige Be10 beregningsfil bliver energibehovet for Nybyggeri, Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020 hhv. $54,1\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$, $49,5\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$ og $36,2\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$. Det vil sige, at kravene for nybyggeri og Lavenergiklasse 2015 er opfyldt.

Fremover vil der kun sammenlignes med Nybyggeri og Lavenergiklasse 2015, da Bygningsklasse 2020 i denne sammenhæng ikke er relevant eller nødvendig at sammenligne med.

Der er lavet to rettelser til den originale Be10-fil ang. vinduesorientering og ventilationsrater, som gennemgås i de følgende to afsnit.

5.3.1 Orientering af vinduer - rettelse 1

Ved orientering af vinduerne fandtes et urealistisk stort antal af vinduer orienteret imod syd ift. sydfacadens totale areal. Mange af disse er fejlagtigt placeret, da arealet for alle vinduer stemmer fuldstændig overens med tegningerne for summen af vinduesarealet på hele bygningen. Det er altså blot orienteringen, der ikke passer. Det er observeret, at der mangler vinduer på den østvendte facade, bortset fra et enkelt tilfælde. Specifikt drejer det sig om otte vinduer og dørpartier med et samlet areal på 36,33 m^2, der ændrer orientering fra syd til øst. Ligeledes ændres et vindue på 3,47 m^2 orientering fra øst til syd.

Resultatet af denne orienteringsændring medfører en forandring af energibehovet i en negativ retning, hvilket skyldes en reduktion i varmetilskud fra solen. Det resulterer i, at Lavenergiklasse 2015-kravet akkurat ikke overholdes, da det overskrides med 0,2 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\ \text{år}}$, dog overholdes kravet for nybyggeri stadig.

5.3.2 Ventilationsrate - rettelse 2

Ved undersøgelse af ventilationsraterne blev en mere betydelig afvigelse fundet ift. data fra Rambøll. Det drejer sig om ventilationsraterne i rum, der ligger længst mod nord på første etage i *Living Lab*. Samlet set er det *Undervisningslokale 2*, *Depot & Print*, *TEGnology Kontor* og *Kontor*. I den originale version ventileres der med 400 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ i *Undervisningslokale 2* og 300 $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ i de resterende

tre rum. Disse rater er ikke tæt på at stemme overens med data fra plantegningerne. Disse ligger for *Undervisningslokale 2* på 1.200 $\frac{m^3}{h}$ og for de resterende tre rum 1.200 $\frac{m^3}{h}$ ligeså. De større rater virker mere realistiske sammenlignet med resten af *Living Lab* taget i betragtning, at rum med ensartede formål og (i visse tilfælde mindre) arealer, alle har ventilationsrater på 1.200 $\frac{m^3}{h}$. Det bedømmes at være en fejl i indtastningen i Be10-filen. Det kunne tænkes, at denne uoverensstemmelse munder i ud i et endnu større tillæg, men det antages på forhånd at være taget højde for i tillægsberegningen, blot med de forkert indtastede data.

Ved ændring til de forventede rater, findes et betydeligt større energibehov. I forhold til Lavenergiklasse 2015 kravet ligger energirammen med en differens på 11,5 $\frac{kWh}{m^2\ år}$, da energibehovet er 62,1 $\frac{kWh}{m^2\ år}$ efter rettelserne. Nybyggeri kravet overholdes stadig med en margin på 14,1 $\frac{kWh}{m^2\ år}$ ift. energibehovet på 67,4 $\frac{kWh}{m^2\ år}$. For at give et overblik over samtlige energirammer og -behov, se tabel 5.3.

$[\frac{kWh}{m^2\ år}]$	**Original Be10**	**Rettelse # 1**	**Rettelse # 2**
Energiramme 2010	81,5		
Energibehov 2010	54,2	55,7	67,4
Energiramme 2015	50,6		
Energibehov 2015	49,5	50,8	62,1

Tabel 5.3. Oversigt over energirammer og -behov.

5.4 Forventninger og indledende brugerinteraktion

Brugerinteraktionen er et essentielt felt at undersøge mht. installering af automatiserede systemer i en bygning, da det er en af de sværeste områder at kortlægge og forudsige. Ved alle energi- og indeklimasimuleringer af en bygning er brugerinteraktionen en uvis faktor. Simuleringerne resulterer ofte i fejlmarginer ift. reelle resultater efter bygningens opførelse. I *del II* forsøges at kortlægge adfærden med henblik på solafskærmningen, og derefter implementere det i styringsstrategier. Således muliggøres præcise beregninger og forbedringer på energiforbruget og indeklimaet.

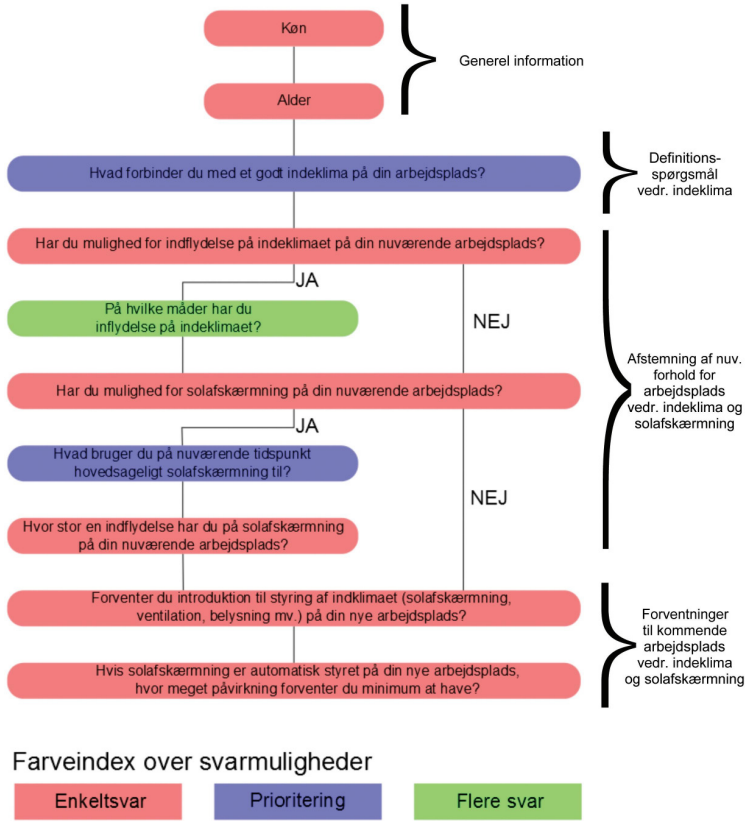
I dette afsnit bliver det undersøgt, hvilke forventninger brugerne har til deres nye arbejdsplads mht. solafskærmningen (EnergyFrames) og andre installationer.

5.4.1 Forventninger

Inden brugerne flyttede ind på deres nye arbejdsplads den 1. december 2014, blev de bedt om at besvare et spørgeskema. Den grundliggende tanke bag spørgeskemaet er at klarlægge brugernes forventninger til installationer ud fra nuværende arbejdsplads. Samtidig ønskes det at finde frem til, hvad definitionen af godt indeklima er for dem. I appendiks A.6 forefindes spørgeskemaet. På figur 5.9 ses spørgsmålene fra spørgeskemaet i en stisystemsform, hvor det er muligt at se, hvordan spørgsmålene bliver givet. På figuren ses det, at der er tre typer spørgsmål:

- Enkeltsvar - I denne type spørgsmål er det kun muligt at markere én af svarmulighederne
- Prioritering - I denne type spørgsmål prioriteres svarmulighederne
- Flere svar - I denne type spørgsmål kan der vælges flere svarmuligheder

Svarmulighederne fremgår ikke af figur 5.9, men er defineret i analysen af spørgeskemaet i afsnit 5.4.2.



Figur 5.9. Spørgsmålene fra spørgeskemaet vist i et stigsystem.

Da få brugere flyttede ind i *Green Tech Living Lab*, blev kun syv spørgeskemaer besvaret. Dette antal medfører en markant usikkerhed, og det endelige resultat kan blive mere subjektivt og individuelt i stedet for at give et mere generelt og overordnet billede.

5.4.2 Analyse af besvarelserne

I dette afsnit præsenteres resultaterne fra de syv besvarelser. Grundet de få besvarelser er det ikke muligt at kombinere svarene med alder og køn og finde tendenser derfra, fordi at der ikke er et tilstrækkeligt grundlag.

Godt indeklima

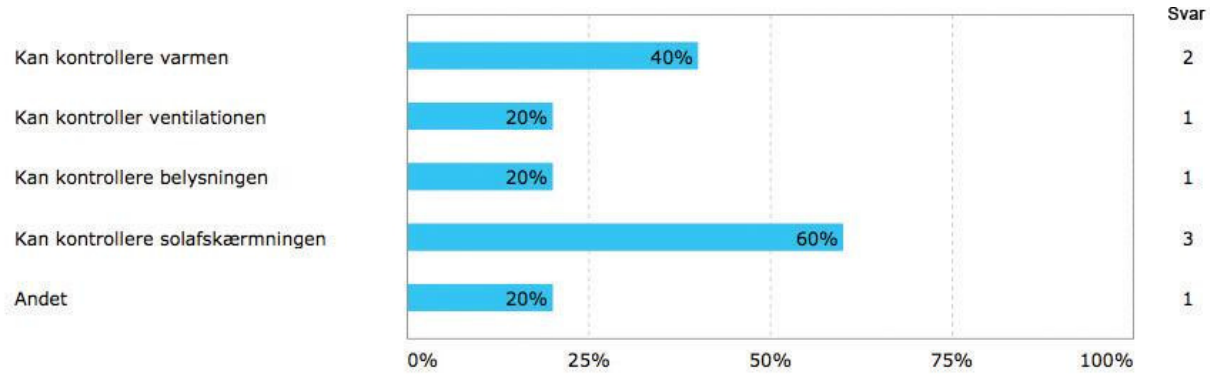
Fra de syv besvarelser konkluderes det, at *ingen træk gener* er det vigtigste for et godt indeklima. For at sammenligne besvarelserne er der lavet et point system, hvor den højst prioriterede mulighed giver 5 point og den femte og laveste prioriteret mulighed giver 1 point. Resultatet med pointsystemet er:

- Ingen træk gener - **30 point**
- Passende temperaturer - **24 point**
- God luftkvalitet - **19 point**
- God belysning - **16 point**
- Lavt støjniveau - **16 point**

Det skal inkluderes i betragtningen af resultaterne, at der i nogle besvarelser var noteret, at det er svært at prioritere, da alle faktorer vægtes som lige vigtige. Resultaterne af, hvad brugerne forbinder med godt indeklima, kan bruges til at sammenligne med deres interaktioner med systemerne i måleperioden.

Indflydelse på indeklimaet på tidligere arbejdsplads

Ved spørgsmålet vedr. den indflydelse de nye brugere i *Living Lab* havde på indeklimaet på deres tidligere arbejdsplads, viser det sig at 71 % (fem personer) til en vis grad har haft indflydelse. På figur 5.10 illustreres det ved hvilke parametre, de havde indflydelse. Det vises, hvor mange personer der har indflydelse for hver mulighed, og det er muligt at vælge flere svar.

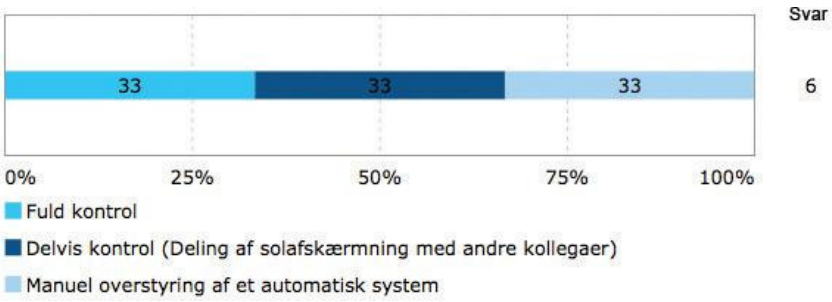


Figur 5.10. Indflydelse på indeklimaet.

Det observeres, at brugerne ikke har haft en stor indflydelse på indeklimaet. Det er kun ang. solafskærmningen, hvor størstedelen har kontrolleret styringen. Ved personen der har svaret *andet*, var der forklaret, at det var muligt at ringe til viceværten og derved få reguleret varmen.

Solafskærmning

Fra spørgeskemaerne er det fundet, at 86 % (seks personer), har solafskærmning på deres tidligere arbejdsplads. Ud fra figur 5.10 kan det derved konkluderes, at halvdelen der har solafskærmning ikke har mulighed for at styre den. Der er dog modsigelser i besvarelserne, for ifølge overstående er det kun tre personer, der kan styre solafskærmningen, men besvarelsen vist på figur 5.11 giver et andet billede. Besvarelsen viser, at af de seks personer der har solafskærmningen på arbejdspladsen, har de alle mulighed for at styre den på en eller anden måde. Dette betyder muligvis, at nogle af de muligheder på figur 5.11 ikke føles som kontrol nok til, at de ville svare, at de kan kontrollere solafskærmningen i besvarelsen tilhørende figur 5.10.



Figur 5.11. Indflydelse på solafskærmningen.

Det skal derfor være i mente, at nogle af brugerne i *Living Lab* måske ikke vil bruge solafskærmningen i en manuel styring, da de er forvente med, at der er automatisk styring eller en meget minimal kontrol, og det er derfor ude af deres hænder.

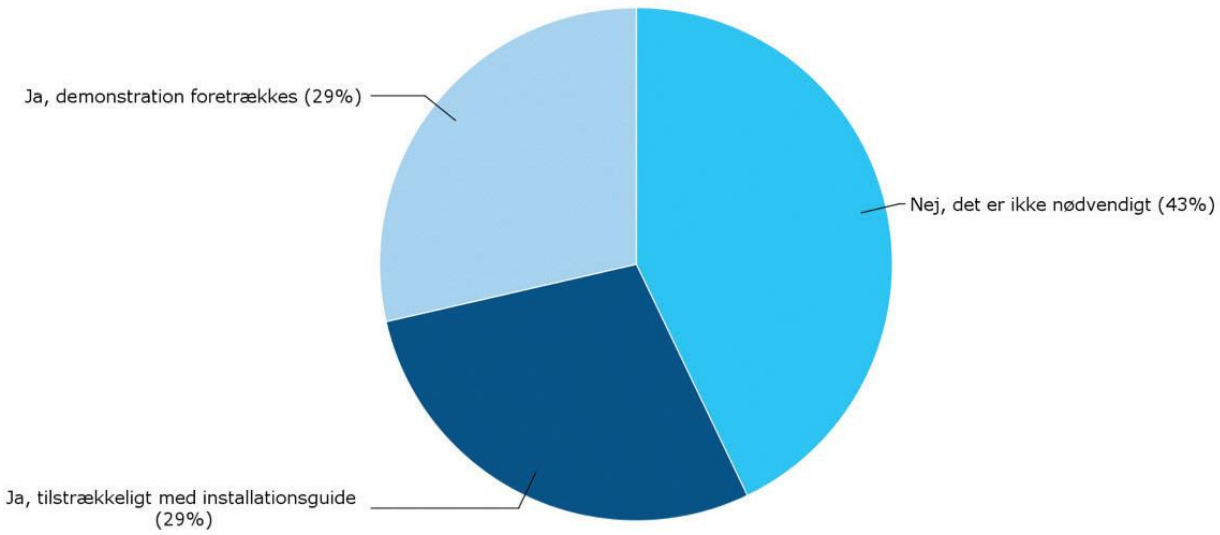
Brugerne besvarede også, hvad de brugte solafskærmningen til, hvis de havde det på arbejdspladsen. For at analysere dette er der igen brugt pointsystemet:

- Blokere lysgener - **16 point**
- Blokere solvarme - **14 point**
- Privatisering (Beskyttelse således folk ikke kan se ind imens der arbejdes) - **6 point**

Det er tydeligt for de seks besvarelser, at det især er blokering af lysgener og solvarme der vægtes vigtige. Privatiseringen har ikke været vigtige for brugerne, hvilket kan skyldes en faktor som lokation af arbejdsplads.

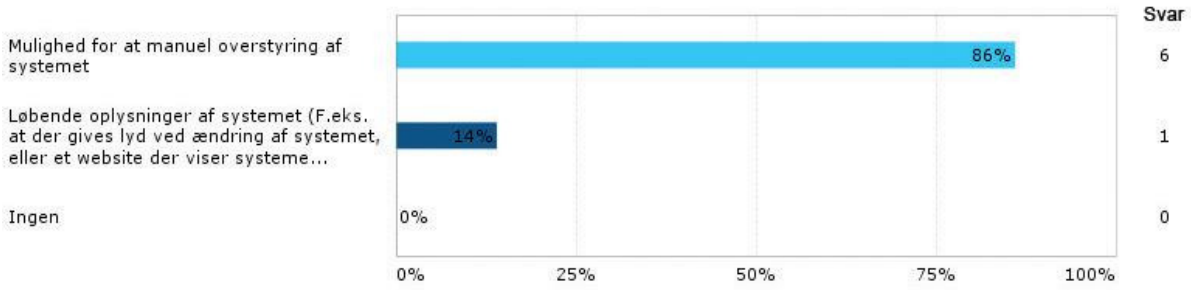
Forventninger til indflytningen i Living Lab

Inden brugerne flyttede ind var det interessant at undersøge, om de ønskede en form for vejledning til systemerne, især solafskærmingen. På figur 5.12 ses det, at over halvdelen forventer enten en demonstration eller en installationsguide. Dette er en mulig forklaring på forkert eller manglende brug i måleperioden.



Figur 5.12. Forventning af introduktion af systemer.

Anvendes en automatisk styring på solafskærmningen, ses det på besvarelsen vist på figur 5.13, at 86 % ønsker en mulighed for manuel overstyring. Den resterende procentdel, svarende til en person, ønsker et indblik i, hvordan solafskærmingen præger brugernes tilstedeværelse.



Figur 5.13. Indflydelse ved automatisk styring.

Delkonklusion for indledende brugerundersøgelse

Grundet de få besvarelser af spørgeskemaet har det ikke været muligt at finde tendenser mellem alder og køn. Da det er få personer, der har svaret, er det derfor svært at generalisere til en større målgruppe. Besvarelserne kan dog stadig bruges til at forklare brugerinteraktionen i *Living Lab*, samt hvilken retning en automatisk styringsstrategi til solafskærmingen skal bevæge sig imod.

Besvarelserne har vist, at brugerne ønsker at føle kontrol over systemerne hvis nødvendigt. Generelt svarer brugerne, at de selv vil styre systemerne, hvis de har den fulde kontrol. Ved en mindre form for kontrol føler brugerne muligvis, at systemet styrer sig selv, og de fokuserer ikke på en brugerinteraktion med systemerne. Det kan derfor forekomme, at brugerne vil lade f.eks. solafskærmningen stå, da de er vant til, at det ordner sig selv. Samtidig vil en stor del stadig have følelsen af, at de selv kan ændre på deres omgivelser.

Brugerne har samtidig defineret gennem spørgeskemaerne, hvad de forbinder med godt indeklima, og hvorfor de benytter solafskærmningen. Disse oplysninger kan bruges til at give en forståelse af brugerinteraktionerne. Samtidig kan oplysningerne bruges til en automatisk styring af solafskærmningen som både kan sætte fokus på det de finder vigtigt, men samtidigt sørge for de ting brugerne ikke fokuserer på bliver husket for at give et bedre arbejdsmiljø.

Måleperioden 6

Kapitlet beskriver, hvordan måleperioden struktureres for indsamling af samtlige nødvendige parametre, der både tager højde for energiforbrug og -behovet såvel som komfort og brugerinteraktionen. Målet er at tilvejebringe og præsentere en overskuelig måleperiode, der yderligere inddrager tidsplanlægning og behandling af måleresultater. Til sidst i kapitlet bliver en foreløbig BSim model lavet ud fra en inspektion for at give et præg om energirammens og indeklimaets tilstand.

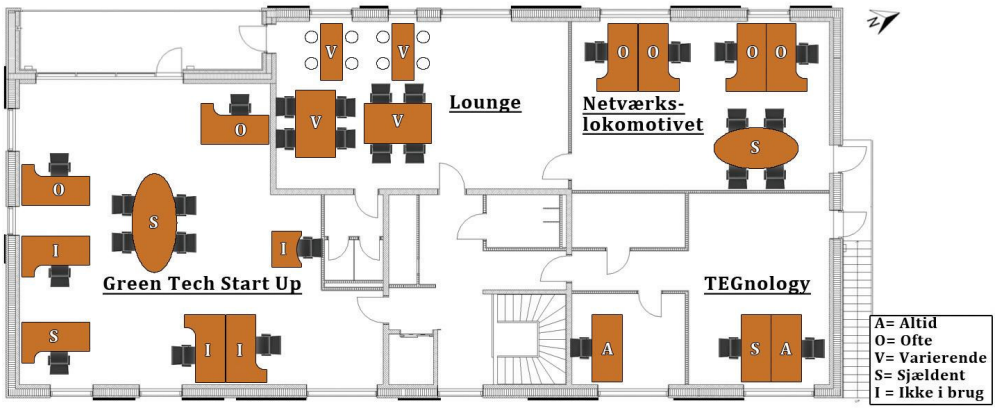
6.1 Inspektion

For at danne overblik af bygningen som helhed, er bygningen blevet inspiceret af flere omgange. Blandt andet er givende bygningsdele og -konstruktioner valideret i så vid udstrækning som muligt. Der er startet dialog med brugerne af bygningen omkring brugen af EnergyFrames samt dannet nye og brugbare indtryk af bygningen og dens brugere.

6.1.1 Eftervisning af tekniske parametre

Tegningernes indikationer af antal og størrelse af vinduer har vist sig at holde stik for alle facader (i sammenligning med data givet fra Rambøll, appendiks A.3).

Der er udarbejdet en plantegning af første etage inkl. arbejdspladser o.l., se figur 6.1. Det vælges udelukkende at fokusere på første etage, da det har vist sig, der i kælderen og stueetagen ikke befinder sig folk. Indtrykket er, at det slet ikke er ibrugtaget og ikke bliver det foreløbigt. Der fandtes kun brugere på første etage, der påvirkes af EnergyFrames.



Figur 6.1. Plantegning af første etage inkl. arbejdspladser.

På plantegningen ses også indikationer af, hvor meget hver person på arbejdspladserne generelt er tilstede i *Living Lab*. Alle disse er baseret på dialog med brugerne. Det skal nævnes, at fælleslokalet,

Lounge, af og til benyttes til møder o.l., men da det ikke sker ofte er dette lokale fravalgt at foretage undersøgelser for. Det vælges derved at undersøge *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* nærmere, da disse to rum har personer, som oftest er tilstede i bygningen, som samtidigt har givet deres samtykke til et samarbejde mht. projektet. Tidligere blev disse lokaler refereret til hhv. *Undervisningslokale 1* og *Undervisningslokale 2*, men via inspektionen blev deres reelle navne og funktioner fundet.

EnergyFrames' hastighed ved aktivering er målt til 1,5 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ved inspektionen. Ved samtale med Inwido, er hastigheden givet i to stadier: Den ene ved første aktivering, hvor EnergyFrames køres helt for, hvilket oplyses til 1,3 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Den anden hastighed oplyses da til 1,6 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Det stemmer tilnærmelsesvist overens med den observerede hastighed. Fejlen kan begrundes ved enten fejlobservation ved inspektionen, eller en produktfejl, der i tilfældet ikke opretholder hastigheden på 1,6 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$. [Jessen, 2015a]

Varmeanlægget styres via automatisk regulerende radiatorer, da der ikke findes termostater på radiatorerne i samtlige rum i bygningen. Radiatorerne styres efter et setpoint for indetemperaturen. Setpoint som varmeanlægget styres efter i hele bygningen ligger på 23 °C og 19 °C for hhv. dag- og nattetimer.

Indblæsnings- og udsugningsarmaturer afviger lidt fra data fra appendiks A.3 og virkeligheden, hvilket kan skyldes, at siden tegningerne blev lavet er formålene med rummene ændret, og derfor ventilationsmængderne ligeså, se tabel 6.1.

	Green Tech Start Up		***Netværkslokomotivet***	
	Data	**Inspektion**	**Data**	**Inspektion**
Indgangsrør til rum [mm]	355	315	355	160
Antal indblæsningsarmaturer [-]	5	5	4	2
Antal udsugningsarmaturer [-]	4	1	4	4

Tabel 6.1. Sammenligning af ventilationsparametre.

Det blev observeret at selve placeringerne af indblæsnings- og udsugningsarmaturerne i begge rum ikke er placeret samme steder som vist i de givne data, men da det ikke har videre vigtig betydning for projektet, undersøges der ikke mere i dybden med dette aspekt.

6.1.2 Dialog med brugerne samt yderligere indtryk

Ved dialog med brugerne fremkom en entydig tendens: EnergyFrames benyttes i en særdeles lille grad af primært to grunde. Den ene er larmen motoren laver, når de indstilles. Det andet er, at hastigheden EnergyFrames kører med er alt for langsom, så langsom at det til en vis grad fjerner incitamentet til at benytte EnergyFrames. Brugerne har heller ikke set det nødvendigt at benytte EnergyFrames i dagene efterfølgende deres indflytning. I den anledning blev det af en bruger spurgt ift. implementeringen af ydre automatiserede facader: "*Hvor er mine gardiner?*" for at understrege, at (automatisk) styring af EnergyFrames i personens mening skal være "usynlige", hvis det ønskes EnergyFrames skal realiseres i større omfang og appellere til flere.

Et aspekt af tekstiltypen af EnergyFrames som før er omtalt, er dens evne til at nedsætte indsynet fra omgivelserne markant. Dette forhindrer dog ikke udsynet indefra, hvilket giver brugerne en større privat fornemmelse, og det viste sig at holde stik ved inspektionen. Udsynet er naturligvis

nedsat, men med evt. blændingsgener i mente og de store vinduespartier, hvor nogen brugere sidder, gavner det mere, end hvad det forårsager.

For belysning er det observeret, at lyset styres efter bevægelsessensorer, der slukker efter syv min. Bevægelsessensorerne er ikke særlig følsomme, og lyset slukker derfor ofte, selvom personer sidder og arbejder. Brugerne har muligheden for manuelt at slukke lyset, hvis dette er ønsket.

6.1.3 Afsluttende bemærkning

Grundlæggende set er det mest markante indtryk, at EnergyFrames ikke benyttes, da brugerne føler, det ikke er besværet værd. Det er værd at nævne, at *Living Lab* inspektionerne hovedsageligt foregik i en februar - marts periode, hvilket betyder eventuelle blændingsgener, som formodentligt vil få brugerne til at benytte vinduer eller EnergyFrames oftere, ikke er tilstede i samme grad, som det formodes om sommeren. Det anerkendes derfor, at dette fremadrettet er en begrænsende faktor for undersøgelsen af EnergyFrames.

6.2 Måleforberedelser

I dette afsnit præsenteres måleforberedelserne. For at skabe overblik over målingernes formål, vises det, hvordan de skal måles og bearbejdes. Fiktive data benyttes løbende gennem afsnittet for at vise fremgangsmetoderne. Reelle resultater findes i kapitlerne 7 og 8. Måleforberedelserne er struktureret efter følgende fremgangsmetode [C.-A Roulet, 1992]:

1. Definér problemet der ønskes løst.
2. List spørgsmålene der skal besvares for at løse problemet.
3. List de nødvendige målinger til at besvare spørgsmålene.
4. Bestem metoderne som bruges til at bearbejde måledata for at opnå den præcist krævede information. Klarlæg mulige fejlkilder.
5. Definér under hvilke forhold målingerne foretages, herunder en fastlæggelse af optimale målepunkter.
6. Valg af passende måleudstyr.

Hvert punkt der fremgår af denne fremgangsmetode præsenteres i de resterende underafsnit.

6.2.1 1 - Problembeskrivelse

Problembeskrivelsen er en videre uddybning af den overordnet problemformulering, der blev præsenteret i afsnit 1.1:

Hvordan påvirker EnergyFrames energiforbruget og indeklimaet, herunder termisk, atmosfærisk og visuelt indeklima? Ud fra dette ønskes der at opnå en optimal styringsstrategi hvori brugeradfærd er inkluderet.

6.2.2 2 - Spørgsmål målingerne skal besvare

For at løse problemet stillet i **punkt 1** med relation til projektets problemformulering udformes underspørgsmål. Spørgsmålene deles op i to kategorier; ***komfort & brugerinteraktion*** og ***energi***. Der markeres med referencer til senere henvisninger.

Kategorien ***komfort & brugerinteraktion*** behandler, hvordan indeklimaet og vejret får brugerne til at reagere med EnergyFrames:

- Ved hvilken indvendig lysintensitet sætter brugerne EnergyFrames til afskærmning? (**1A**)
- Er det på nogle tidspunkter nødvendigt med udluftning ved åbning af vinduer pga. dårlig luftkvalitet? (**2A**)
- Hvordan påvirker rumtemperaturen åbning af vinduerne samt styringen af EnergyFrames? (**3A**)
- Hvordan påvirker vejrforhold styringen af EnergyFrames mht. nedbør, vind og sol? (**4A**)
- Kan trækgener grundet åbnede vinduer reduceres ved brug af EnergyFrames? (**5A**)

Kategorien ***energi*** stiller spørgsmål, der skal validere energibalancen samt fastlægge betydningen af EnergyFrames for energiforbruget og bidrage med optimeringer af styringsstrategier:

- Kører brugerne EnergyFrames fra ved høj solintensitet, når der er brug for opvarmning? (**1B**)
- Kører brugerne EnergyFrames for ved høj solintensitet, når der er brug for køling? (**2B**)
- Hvor stort er varmetilskuddet (internt, sol og opvarmning)? (**3B**)
- Hvor stort er varmetabet (transmission, ventilation og infiltration)? (**4B**)

6.2.3 3 - Nødvendige målinger

Målingernes udgangspunkt er, at de skal være tilstrækkelige for at besvare spørgsmålene i **punkt 2**. I tabel 6.2 vises et måleskema, som viser målingerne, der skal foretages for at besvare spørgsmålene. Den *primære del*, er parameteren der ønskes målt, hvor den *sekundære del* er de konkrete parametre til den *primære del*.

	Område	Primær	Sekundær
Komfort & Brugerint.	***Termisk***	Rumtemperatur	-
		Træk	Lufthastigheder i opholdszonen
	Atmosfærisk	Forurening	$CO_{2,inde}$
	Visuelt	Dagslys	Indvendig lysintensitet
	Vejrdata	Vind	Hastighed
			Retning
		Udetemperatur	-
		Solintensitet	Global
		Dagslys	Udvendig lysintensitet
		Nedbør	-
Energibalance	***Varmetilskud***	Internt varmetilskud	Personregistrering
			Elforbrug
		Solintensitet	Total
		Opvarmning	Elradiator
	Varmetab	Infiltration	CO_2
		Transmission	Rumtemperatur
			Udetemperatur
			Temperatur i nærliggende rum
		Ventilation	$CO_{2,inde}$
			$CO_{2,ude}$
			Indblæsningstemperatur
			Luftstrøm
Andet	***Position***	Vinduesåbning	-
		EnergyFrames	-
	Brugerne	Aktivitetsniveau	-
		Brugstid	-

Tabel 6.2. Måleskema.

6.2.4 4 - Metode til dataindsamling og -behandling

Metoden der ligger til baggrund for forsøgene i *Living Lab*, er den kvantitative metode. Den kvantitative metode er en måde hvorpå "hård data" behandles. Metoden deles op i *reliabilitet* og *validering*.

Reliabilitet er stræben efter præcision i målingerne, der bl.a. opnås via konsistens i tid gennem målinger på tværs af diverse parametre, der registreres. Ved reliabilitet anerkendes det også, at tilfældige eller menneskelige fejl opstår og kan manipulere resultaterne. Derfor analyseres evt. fejlkilder ved databehandlingen for endeligt at tilvejebringe en konklusion, der giver et pålideligt billede af virkeligheden ift. teorien.

Valideringen skal sikre, at det praktiske stemmer overens med det teoretiske via sammenligninger. Relevante data bliver nøje udvalgt til undersøgelse af målingernes præcision. Disse data skal hjælpe med at belyse de opstillede problemstillinger, hvor forskellige data sammenlignes indbyrdes for at give en bedre forståelse for brugernes adfærd i forbindelse med benyttelsen af EnergyFrames.

Mere konkret vil de indsamlede data oftest blive grafisk behandlet. Med det menes at visualisere

data vha. grafer, diagrammer o.l., der har til formål at frembringe potentielle tendenser, der kan lægge til grunde for evt. forbedringer af EnergyFrames og styringerne heraf. Dette vil fremgå af den nærmere diskussion i de to kommende afsnit: *Komfort & Brugerinteraktion* og *Energi*.

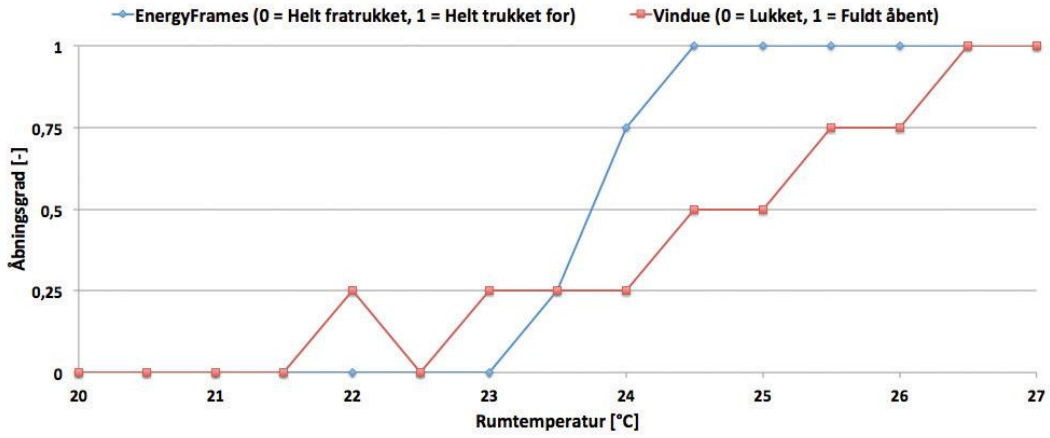
Komfort & Brugerinteraktion

For at danne overblik over, hvordan hovedparten af de stillede spørgsmål ang. *Komfort & Brugerinteraktion* bliver behandlet og præsenteret efter dataindsamlingen, henvises der til tabel 6.3. Spørgsmålene er angivet ift. deres referencer og forklarer kort, hvordan de senere kan præsenteres, hvis de målte data gør dette muligt. Bemærk, det blot er eksempler på, hvordan hver enkelt parameter kan præsenteres og indeholder ikke samtlige muligheder.

Spørgsmål	**Koordinat system**		**Cirkeldiagram**
	x-akse	**y-akse**	
1A	Lysintensitet	Position af EF	-
2A	CO_2	Vinduesåbning	-
3A	Rumtemperatur	Vinduesåbning og position af EF	-
4A	Solintensitet	Position af EF	-
4A	Vindhastighed	Position af EF ved åbne vinduer	-
4A	-	-	Position af EF (nedbør)
5A	Lufthastighed	Position af EF ved åbne vinduer	-

Tabel 6.3. Oversigt af evt. behandlingsmetoder af visse spørgsmål.

For at give et eksempel på, hvordan dataene vises grafisk med et koordinatsystem vises et eksempel med spørgsmål 3A. Der illustreres fiktivt målte data af rumtemperaturer samt positionerne af vinduesåbningen og EnergyFrames, se figur 6.2.



Figur 6.2. Graf af fiktive data af rumtemperatur og position af vinduer og EnergyFrames.

Nedbørstilfældet skiller sig ud ift. de andre parametre ved, at der i tilfældet ikke ønskes at vide hvor meget det regner, blot om det regner eller ej. Regn intensiteten er derfor unødvendig i undersøgelsen, da nedbøren kun har indflydelse på udsynet gennem tekstildugen.

I spørgsmål 5A vedr. træk måles lufthastigheder og temperaturer i tre forskellige højder for en siddende aktivitet (0,1 m, 0,6 m og 1,1 m) [Valbjørn, 1983]. Træk udregnes efter ISO 7730,

hvor omtalte parametre skal kendes samtidigt med den lokale turbulensintensitet. [International-Standard, 2005]

Tabel 6.3 på forrige side dækker som sagt ikke samtlige databehandlingsmetoder, der vil blive benyttet. Bemærk, at de opstillede behandlingsmetoder kun præsenteres for ***komfort & brugerinteraktion*** i tabellen. Årsagen er af den simple grund, at andre behandlingsmetoder til besvarelse af energispørgsmålene er mere egnede og dybdegående, se følgende underafsnit.

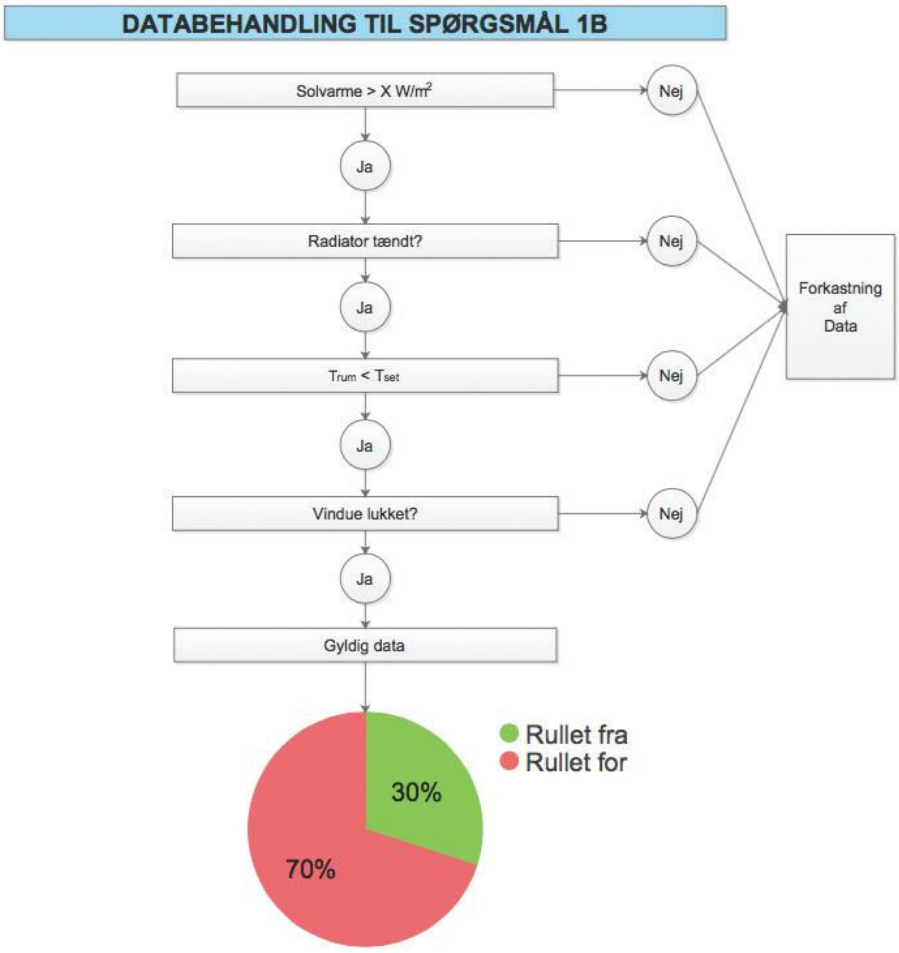
Energi

De indsamlede data bruges bl.a. til udregning af energibalancen, som kræver de listede parametre i tabel 6.2 på side 67. Energibalancen, som definerer de nødvendige parametre, er:

$$\begin{aligned} \text{Energitilskud} &= \text{Energitab} \\ &\Downarrow \\ \text{Internt} + \text{Sol} + \text{Opvarmning} &= \text{Transmission} + \text{Ventilation} + \text{Infiltration} + \text{Køling} \end{aligned} \tag{6.1}$$

Spørgsmål 1B og 2B bruges mere konkret til at undersøge, hvad der kan forbedres ved styringen af EnergyFrames for at få et lavere energiforbrug.

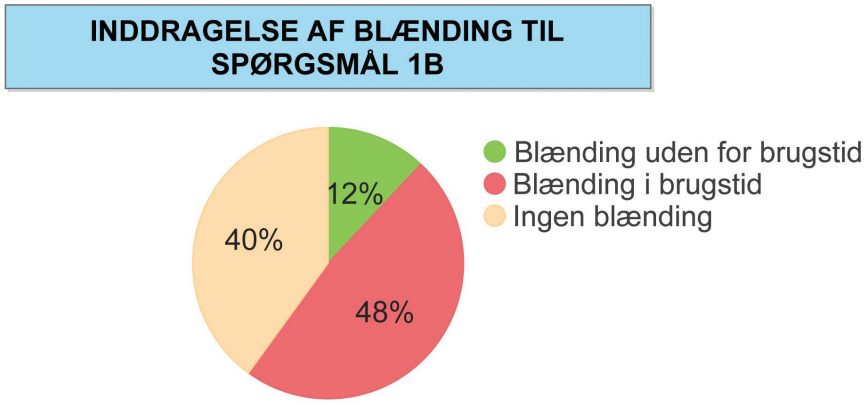
På figur 6.3 ses et eksempel af, hvordan fiktive data er opdelt til besvarelse af spørgsmål 1B via specifikke betingelser, der ønskes opfyldt.



Figur 6.3. Eksempel på behandlingsmetode af spørgsmål 1B.

X indikerer et specifikt niveau af solvarmeintensitet.

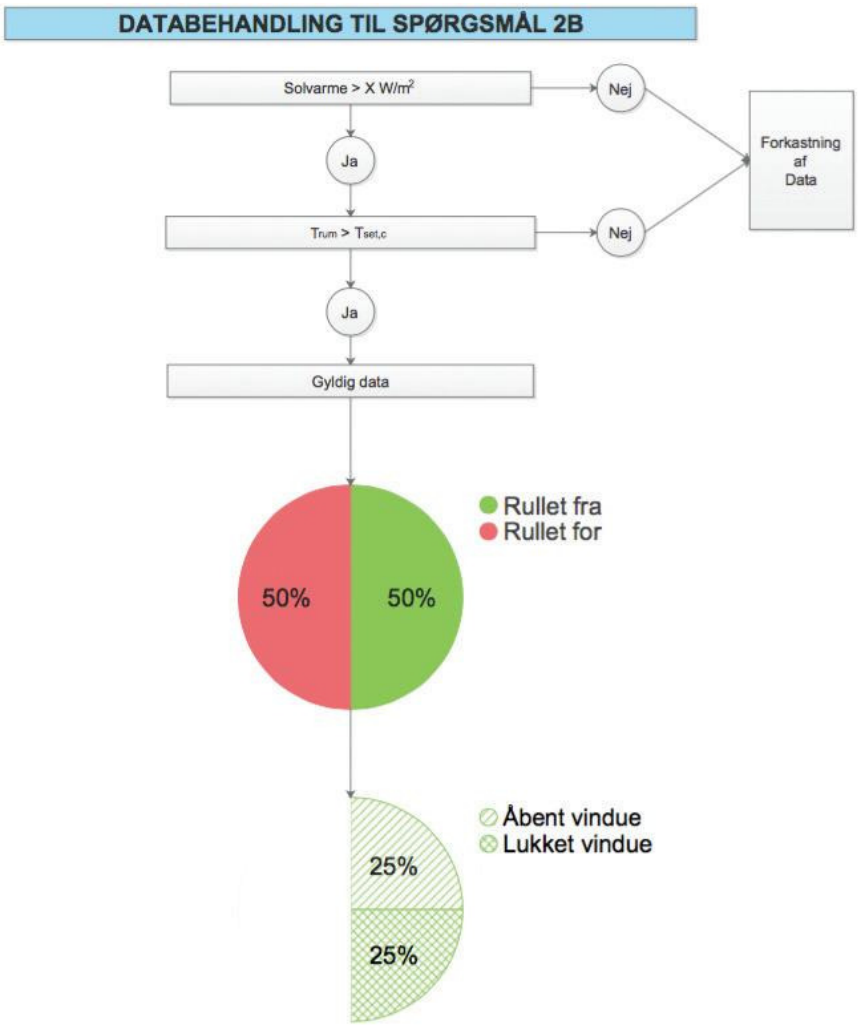
På figur 6.4 er reliabiliteten af data fra spørgsmål 1B behandlet via inddragelse af en komfortparameter, i dette tilfælde *blænding*. Det vil undersøges hvor stor en del af tiden, der er rullet for grundet blændingsgener. Blændingsintensiteter fremlægges ud fra spørgsmål 1A's resultater, hvor brugernes egne opfattelser af blænding fortolkes. Disse opfattelser stemmer ikke nødvendigvis overens med anvisninger om blænding, som blev fundet til at have en maksimal værdi på 2.000 lux.



Figur 6.4. Eksempel på inddragelse af blænding i behandlingsmetode.

I eksemplets tilfælde vil det undersøges, hvor stor en samlet procentdel af tiden *Blænding uden for brugstid* og *Ingen blænding* forekommer (12 % + 40 %). Dette multipliceres med procentdelen for *Rullet for* på figur 6.3 på forrige side (52 % · 70 %). Derved findes den procentdel af tiden med afskærmning, hvor der uden fare for blænding kan rulles fra, og der samtidig spares på energien til opvarmning vha. gratis solenergi.

Af samme princip behandles data til spørgsmål 2B med et fiktivt eksempel, se figur 6.5 på næste side.



Figur 6.5. Eksempel på behandlingsmetode af spørgsmål 2B.

Det er indledningsvist ligeledes undersøgt, om der er høj solintensitet. Er dette tilfældet, analyseres det om den målte rumtemperatur ligger højere end temperaturens kølesetpoint. Viser det sig at være sandt, kan data der opfylder disse to betingelser benyttes og gælder derfor som gyldig data. Data, der opfylder betingelserne, kan kun bruges hvis EnergyFrames er rullet fra jvf. spørgsmål 2B. I eksemplet forekommer det i 50 % af tiden. Slutteligt undersøges det, om vinduet er åbent eller lukket, imens der er rullet fra. Hvis vinduet er åbnet, antages det at rummet køles vha. naturlig ventilation og problematikken vedr. ineffektiv styring af EnergyFrames forkastes. Er vinduet derfor lukket er en optimering mulig.

Både spørgsmål 3B og 4B vedr. varmetilskud og -tab benyttes hovedsageligt til validering af energibalancen og energiberegninger. De benyttes i mindre omfang til styringsstrategier (som i spørgsmål 1B og 2B).

Gennemgående for hovedparten af målingerne skal følgende parametre løbende registreres, som kontrolleres ved opsatte webcams og logbøger:

- Interaktion med vinduesåbning
- Interaktion med EnergyFrames
- Tilstedeværelse af brugere

6.2.5 5 - Målingernes forhold og målepunkter

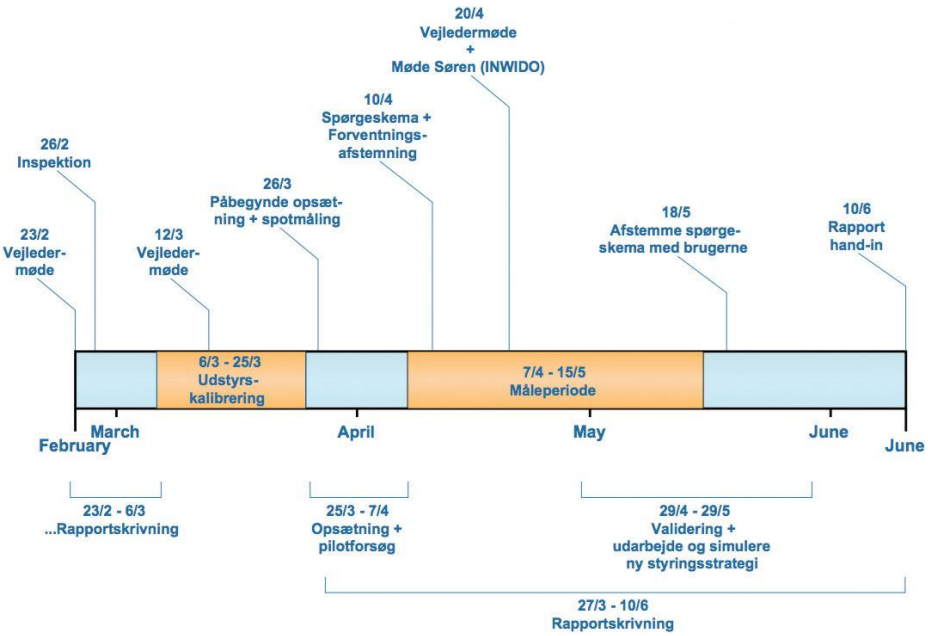
Dette punkt opdeles i to dele, hvor den ene er *Målingernes forhold* (inkl. tidsplanlægning), den anden er *Målingernes præcise målepunkter*.

Målingernes forhold

Målingerne foretages i flere step:

- Inspektion - Se afsnit 6.1 på side 63
- Pilotmåling - Foretages umiddelbart tidligt for at teste udstyr og sideløbende med opsætning af disse.
- Spotmålinger - Målinger der foretages på en dag og forholder sig forholdsvis konstante under hele måleperioden
  - Udendørs CO_2 niveau
  - Måling af trækgener under noterede forhold
- Målinger med manuel styring af EnergyFrames

På figur 6.6 ses en tidslinje af forsøgsperioden.



Figur 6.6. Tidslinje af forsøgsperioden.

Ud over længden af måleperioden forøger præcisionen af resultaterne, vil årstiden også have sin påvirkning. Da måleperioden finder sted i foråret, vil observationer af overtemperaturer og blændingsgener være begrænsede ift. om sommeren. Dette kan medføre, at evt. observerede tendenser for den pågældende måleperiode, som vil ligge til grund for de(n) udviklede styringsstrategi(er), ikke egnes til helårligt brug. Figur 6.6 viser den endelige tidsplan, men undervejs i projektforløbet er denne flere gange blevet revideret. I appendiks F er udviklingen af de foregående tidslinjer præsenteret.

Længden af måleperioden sættes til at vare så længe, som det er muligt ift. tidsplanen. Det vil sige, at måleperioden præcist er fra d. 07/04 til d. 15/05, hvilket svarer til 5,5 uger.

Resultaterne for de kommende brugerinteraktioner afhænger af et respektabelt antal forsøgspersoner; jo flere forsøgspersoner der er med i forsøget, jo flere og klare tendenser, er det muligt at finde. Under målingerne er der i alt seks personer tilstede på regulær basis. Som det ses på figur 6.1 på side 63, svarer det til personer som ofte findes på arbejdspladserne. To af disse i *Green Tech Start Up*, fire i *Netværkslokomotivet*. Da seks forsøgspersoner ikke kan betegnes som værende fyldestgørende for at finde frem til universelt gældende tendenser, vil der med omhu præsenteres, hvad der med sikkerhed kan konkluderes ud fra de pågældende brugere. Deres tendenser vil i så vid udstrækning som mulig, projekteres ud i en bredere forstand.

Disse måleforhold resulterer i, at det især er en validering af installationerne og en bedømmelse af EnergyFrames' funktionalitet ift. energi, indeklima og brugeradfærd, der fokuseres på. Målinger udføres for alle parametre fra tabel 6.2 på side 67 for at observere tendenserne ved brug af EnergyFrames i det omfang, som det er muligt.

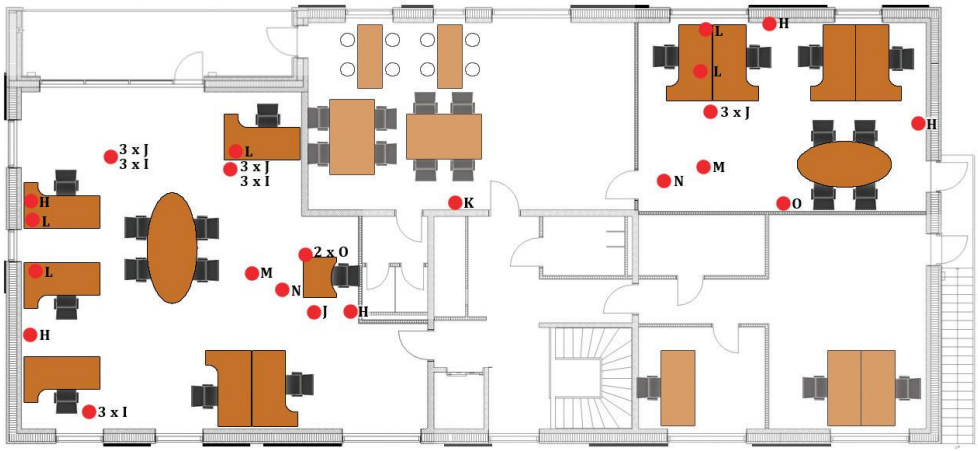
Måleplacering for udstyr

Målepunkternes placering bliver delt op i to kategorier, *udenfor bygningen* og *inde i bygningen*. I tabel 6.4 er placeringen af de forskellige målepunkter opgivet samt, hvor mange antal af hver der skal placeres. Antallet svarer til det totale antal for samtlige målinger gennem hele forsøgsperioden.

	Område	Parameter	Placering	Antal
Udenfor	***Vejrstation***	Temperatur (A)	-	1
		Nedbør (B)	-	1
		Vindhastighed (C)	-	1
		Vindretning (D)	-	1
		Lysintensitet (E)	En på hver facade	4
	Solintensitet	Solintensitet (F)	På taget	1
	Forurening	CO_2 (G)	Udendørs	1
Indenfor	***Forurening***	CO_2 (H)	Opholdszonen	5
	Træk	Lufthastighed (I)	Ved tre arbejdspladser	9
	Temperatur	Rumtemperatur (J)	Opholdszonen (0,2 m, 1,1 m, 1,8 m)	10
		Rumtemperatur (K)	Nærliggende rum	2
	Dagslys	Lysintensitet (L)	Ved arbejdsplads	5
	Ventilation	Indblæsningstemperatur (M)	Ved armaturer	2
		Luftstrøm (N)	Ved kanalføring	2
	Infiltration	CO_2 (H)	-	-
	Åbning af vinduer/EF	Webcam (O)	Ved nedhængte lamper/loft	3

Tabel 6.4. Placering af målepunkter og antal af måleudstyr.

For at præcisere placeringen af hvert enkelt målte parametre er de indtegnet i plantegningen på figur 6.7. I appendiks A.7 ses billeder af de præcise placeringer i rummene.



Figur 6.7. Placering af måleudstyr tilhørende tabel 6.4.

I alt bruges der derfor 48 forskellige instrumenter til at måle diverse parametre. Disse skal alle logges via computeren, der gemmer disse data. Bemærk, den sidste (K) befinder sig i stueetagen. Visse målepunkter ses kun at være for udvalgte arbejdspladser i lokalerne. Disse pladser markerer, hvor personerne, som oftest er tilstede, befinder sig. Herved vil data der logges blive mere relevante ift. komfortbetragtninger for brugerne.

6.2.6 6 - Måleudstyr

I forlængelse af tabel 6.4 på foregående side vises en ny tilsvarende tabel med anvendte instrumenter til måling af diverse parametre, se tabel 6.5. I dette afsnit præsenteres instrumenterne, der skal anvendes til at opnå de ønskede resultater. For at se fremgangsmetoden for klargørelsen af de anvendte instrumenter samt detaljerede beskrivelser herfor, se appendiks G.

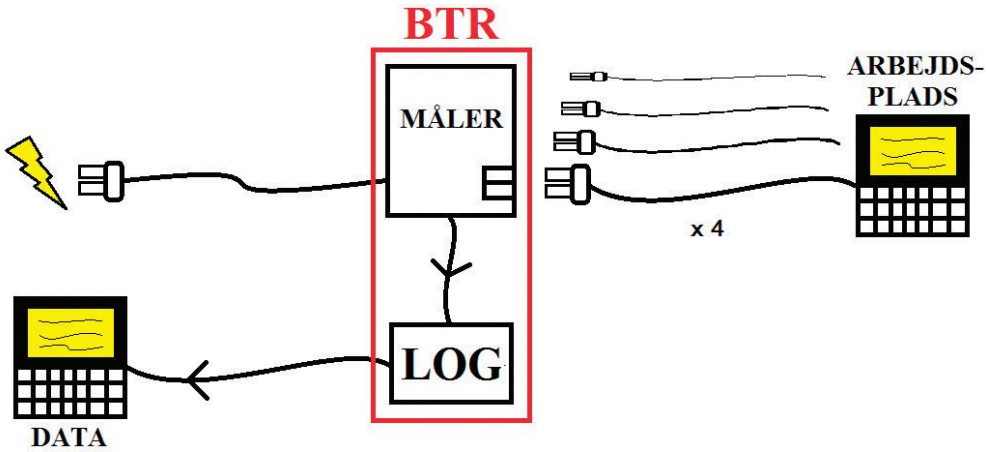
	Område	Parameter	Instrument
Udenfor	***Vejrstation***	Temperatur	Vejrstation
		Nedbør	Vejrstation
		Vindhastighed	Vejrstation
		Vindretning	Vejrstation
		Lysintensitet	Vejrstation
	Solintensitet	Solintensitet	Pyranometer (Kipp & Zonen CMP10)
	Forurening	CO_2	Fotoakustisk gas monitor (INNOVA 1412)
Indenfor	***Forurening***	CO_2	Eltek (GD-47)
	Træk	Lufthastighed	Dantec ComfortSense system (probemodel 54T33)
	Temperatur	Rumtemperatur	Eltek (GC-10)
		Rumtemperatur	Eltek (GC-10)
	Dagslys	Lysintensitet	Lyssensor
	Ventilation	Indblæsningstemperatur	Eltek (GC-10)
		Luftstrøm	Pitotrør + Eltek (GD-84)
	Infiltration		-
	Åbning af vinduer/EF	Webcam CO_2	Logitech HD Pro Webcam C920

Tabel 6.5. Liste af måleudstyr.

El

Udover hvad der findes i tabel 6.5, benyttes et *BTR-system*, der anvendes til elforbruget, som ikke er inkluderet i tabellen, men stadig er relevant at observere ift. energibalancen.

BTR-systemet har til formål at logge data udelukkende for elforbruget. Dette gælder alt el, der måtte benyttes i de to anvendte lokaler. Det vil sige, det både skal dække de mindre el forbrugende apparater, som brugerne selv anvender, samt de større el krævende apparater såsom kunstig belysning og el radiator. BTR-systemet logger på den måde, at den kommer ind som et mellemled mellem, det der forbruger strøm og selve elforsyningen i bygningen, så det derved bliver muligt at måle det specifikke elforbrug for hvert eneste el forbrugende apparat i lokalerne. En simpel skitsering af BTR princippet ses på figur 6.8.



Figur 6.8. BTR princippet.

Som det ses på figuren, er der angivet, hvor mange indgange hvert BTR-system kan indtage. For dette system er det tal fire. En ekstra ting ud over bærbaren på arbejdspladsen, kan være belysningen, der går til hele rummet fra lamperne. For at kunne måle det samtlige elforbrug til belysning, forbindes BTR-systemet til blot en lampe i hvert rum, hvorefter det multipliceres op med antal lamper i det pågældende rum. Da det forløbende er undersøgt, at alle lys i hvert rum tænder og slukker på samme tid (via en automatiseret bevægelsessensor), vælges det at logge på denne måde.

Angående el radiatoren, er denne form for opvarmning ikke den installerede opvarmningsform i hele bygningen. Det er dog ikke blevet muligt at logge, hvor meget varme der bruges i varmeanlæggets radiatorer til opvarmning, er det derfor af praktiske årsager valgt at indsætte el radiatorer i stedet. Et BTR-system sættes til for kontrol af energiforbrug til opvarmning. For at sikre varmeanlægget ikke yder nogen effekt i måleperioderne, er deres setpoints for indetemperaturen sat så lavt, at de i praksis ikke på noget tidspunkt under måleperioden begynder at opvarme lokalerne.

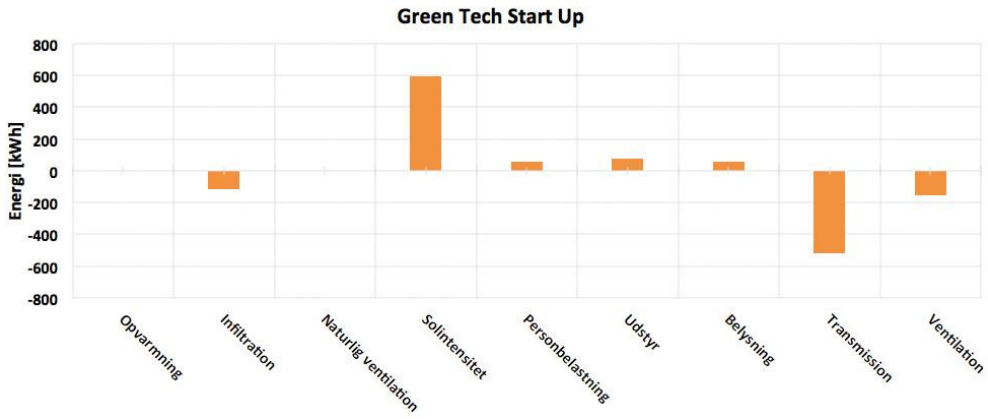
6.3 BSim

I dette afsnit bruges viden fra inspektionen fra afsnit 6.1 videre til at modellere en BSim model af *Living Lab* og især de to lokaler, *Netværkslokomotivet* og *Green Tech Start Up*. Denne model skal simulere indeklimaet og energiforbruget i den samme periode som måleperioden (d. 07/04 - d. 15/05). For at se mere vedr. opbygningen af den originale BSim model, henvises der til appendiks H. Modellen referers fremover i rapporten som den originale BSim.

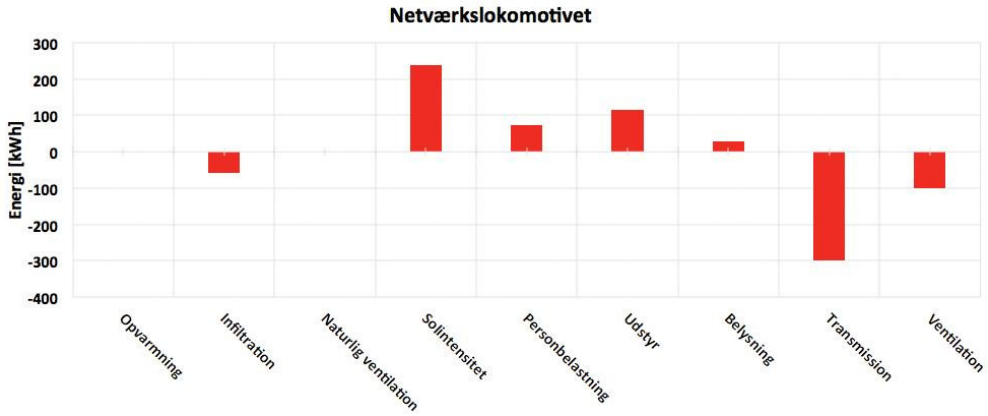
Modellen bruges til at identificere en afstemning af de forventede energi- og indeklimamæssige forhold. Dette resultat bruges senere i kapitlerne 7 og 8 til at sammenligne med resultaterne fra målingerne, og derved observere forskellene. I afsnit 8.2 vil de målte data substitueres med de generelle/vurderede værdier, der er indsat i dette afsnits præmodelleret BSim model.

6.3.1 Energibalancen

Ved simuleringer for måleperioden findes energibalancen for de to lokaler, som er illustrerede på figurerne 6.9 og 6.10.



Figur 6.9. Forventet energiramme for *Green Tech Start Up* i måleperioden.



Figur 6.10. Forventet energiramme for *Netværkslokomotivet* i måleperioden.

Det ses, at energibalancen for perioden fra d. 07/04 til d. 15/05 er tendenserne forholdsvis ens for de to lokaler. Det observeres at begge lokaler får en stor del energi fra solvarmen. Andelen af tilskud fra solvarmen er større ved *Green Tech Start Up* grundet lokalets orientering og geometri. I *Netværkslokomotivet* er det interne energitilskud en større andel end i *Green Tech Start Up*. Dette skyldes, at der i BSim modellen er indsat flere personer og udstyr i *Netværkslokomotivet* ift. lokalernes størrelse.

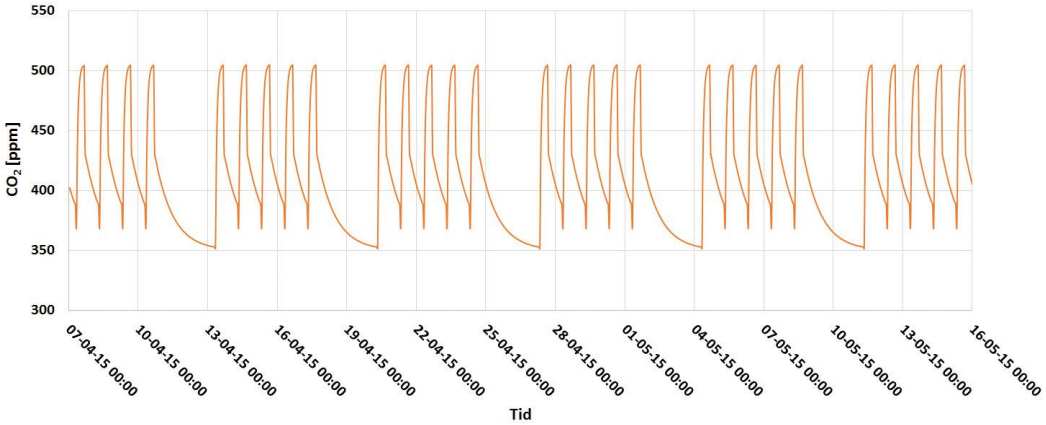
Simuleringen viser, at der hverken er behov for køling eller opvarmning for de to energibalancer. Dette skyldes, at udover at forsyne med en god luftkvalitet har ventilationen samtidig til opgave at køle og opvarme lokalerne. Ventilationen udgør derfor en stor andel af energiforbruget for begge lokaler. Ved fornuftig brug af EnergyFrames vil det være muligt, at energi kan spares ved ventilationen mht. opvarmning og køling.

6.3.2 Komfort

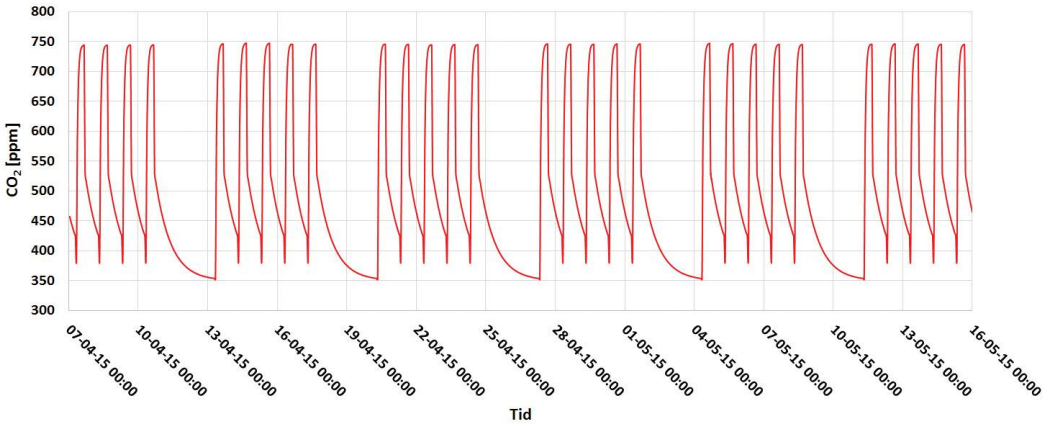
For at undersøge komforten i de to lokaler undersøges den atmosfæriske komfort i form af forurening samt den termiske komfort i form af temperaturer.

Atmosfærisk komfort

Som indikator for luftkvaliteten bruges CO_2 til at beskrive, hvor forurenet luften er. Det ses på figurerne 6.11 og 6.12, at begge lokaler ikke overtiger 800 ppm i måleperioden, hvilket er valgt ud fra *Green Tech Centers* eget setpoint.



Figur 6.11. Forventet CO_2 forløb i *Green Tech Start Up*.



Figur 6.12. Forventet CO_2 forløb i *Netværkslokomotivet*.

I *Green Tech Start Up* er CO_2-niveauet lavt og er tæt på udekoncentrationen som er sat til 350 ppm i BSim modellen. At luftkvaliteten er så god i dette lokale skyldes størrelsen af lokalet samt den lave personbelastning. Koncentrationen af CO_2 i *Netværkslokomotivet* er tættere de 800 ppm, men overskrider ikke grænsen. Det forventes derfor, at luftkvaliteten er tilfredsstillende under måleperioden.

Termisk komfort

Den termiske komfort bliver undersøgt i form af overtemperaturer. Før det specifikt kan undersøges, hvorvidt de nævnte overtemperaturer overholdes, skal temperaturerne defineres. Temperaturerne baseres på årstiden, der er målt for, som for måleperioden er forår. Der inddrages også de resterende årstider, da de anvendes til senere brug. Forår, såvel som efterår, defineres som overgangsårstid. Tabel 6.6 viser de forskellige komforttemperaturer baseret på en gængs beklædning for den pågældende årstid [Dansk Standard 474, 1993].

Komforttemperatur		
Overgangsårstid	Sommer	Vinter
23,5 °C ± 2 °C	25 °C ± 1,5 °C	23 °C ± 2 °C

Tabel 6.6. Komforttemperaturer for forskellige årstider.

Det ses i tabel 6.7, at der ikke opstår problemer med overtemperaturer i brugstiden i de to lokaler ud fra den originale BSim modellen med undtagelse af seks timer i *Netværkslokomotivet*.

	Timer > 25,5 °C
Green Tech Start Up	0
Netværkslokomotivet	6

Tabel 6.7. Overtemperaturer i brugstiden for måleperioden i de to lokaler.

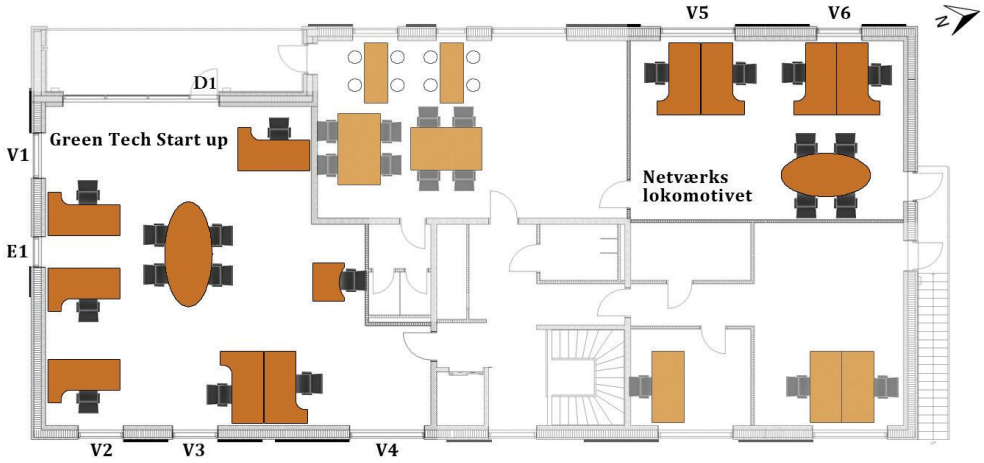
Antal timer med overtemperaturer holdes på et acceptabelt niveau iht. simuleringerne. Det skal bemærkes, at resultatet blot er for måleperioden, og antallet af timer vil derfor på årsbasis være højere, men de seks timer i *Netværkslokomotivet* vurderes at give en god indikation af et fornuftigt velholdt termisk indeklima.

Brugerinteraktion ved manuel styringsperiode 7

Dette kapitel omhandler brugerinteraktionen under måleperioden med den manuelle styring. Tendenserne hos brugerne mønsterlægges og uddybes ved brug af logbogsføring til brug af videre styringsstrategier. Til sidst i kapitlet vil det evalueres, om forventningerne holdt stik ift. den nye arbejdsplads.

7.1 Logbogsføring

For at ajourføre grundene til, hvorfor EnergyFrames og vinduerne er i brug, laves et logbogsystem. Logbogen placeres ved hvert vindue, så brugerne noterer, når de er i interaktion med EF eller vindue. Det er nødvendigt at kende brugen af vinduerne, da det har en påvirkning på brugen af EF både mht. komfort og energi. For eksempel, hvis vinduet er åbent, vil det være muligt, at brugerne benytter EF for at forhindre træk. Et andet eksempel er, hvis vinduet åbnes, fordi solen opvarmer området omkring arbejdspladsen, kunne det være en mere fordelagtig løsning at bruge EF for at spare på varmen i de kolde måneder. På figur 7.1 ses ved hvilke vinduer logbøgerne er placeret.



Figur 7.1. Placeringer af vinduer med logbøger i de to benyttede rum.

Det ses, at der er fem vinduer med logbøger i *Green Tech Start Up*, hvor en af vinduerne er noteret E1. Det specielle ved netop dette vindue er, at det ikke er muligt at åbne eller lukke, men stadig har EF påmonteret. I rummet er der også en dør uden EF, som betegnes D1. I *Netværkslokomotivet* er der to vinduer med logbøger. Der findes også en dør, men bruges ikke, da det er en nødudgang.

I tabel 7.1 ses en oversigt over, hvilke begrundelser for hvilke interaktioner, der føres i logbøgerne.

Det skal bemærkes, at det også er muligt for brugerne at svare *andet* og komme med andre begrundelser. For at se logbøgerne som hænger ved vinduerne, se appendiks A.8. Registreringerne findes i appendiks A.9.

Interaktion	**Begrundelse**
Ruller for	Blænding
	Overtemperatur
	Træk ved åbent vindue
	Gør tilstedeværelse mere privat
	Andet
Ruller fra	Bedre lysforhold
	Skabe udsyn
	Øge varmetilgang til rummet
	Andet
Åbner vindue	Naturlig ventilation
	Nedkøle rum
	Andet
Lukker vindue	Støjgener
	Træk
	Undertemperatur
	Andet

Tabel 7.1. Indexforklaring til logbogen.

Efter måleperioden på de 5,5 uger er resultaterne af noteringerne listet i tabel 7.2. Ved hver begrundelse er der to forskellige tal, hvilke betyder:

- ⓧ/y = Antal noterede gange i logbogen
- x/ⓨ = Antal gange hvor scenariet er hændt uden notation. Det vil sige, at begrundelsen er vurderet ud fra målte data/webcams, hvor brugerne har glemt at notere.

Begrundelse	Vindue/Dør							
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	E1	D1
Ruller for								
Blænding	/	3/	3/	/	/	/	2/	/
Overtemperatur	/	/	/	/	/	/	1/	/
Træk ved åbent vindue	/	/	/	/	/	/	/	/
Gør tilstedeværelse mere privat	/	/	/	/	/	/	/	/
Andet	/	/	/	/	/	/	/	/
Ruller fra								
Bedre lysforhold	/	3/	3/	/	/	/	/	/
Skabe udsyn	/	3/	3/	/	/	/	2/	/
Øge varmetilgang til rummet	/	/	/	/	/	/	/	/
Andet	/	/	/	/	/	/	/	/
Åbner vindue								
Naturlig ventilation	/	/	/	/	6/	/	/	/
Nedkøle rum	/	/	/	/	/	/	/	/2
Andet	/	/	/	/	/	/	/	/2
Lukker vindue								
Støjgener	/	/	/	/	/	/	/	/
Træk	/	/	/	/	/	/	/	/
Undertemperatur	/	/	/	/	/	/	/	/2
Andet	/	/	/	/	/6	/	/	/2

Tabel 7.2. Resultater fra logbogsføring.

Der observeres, at notationerne hovedsageligt hænder for bestemte tilfælde, og de fleste er noteret ned. Interaktionen med EnergyFrames skyldes hhv. blænding og overtemperaturer samt bedre lysforhold og at skabe udsyn. Altså handler det især om det visuelle aspekt vedr. indeklimaet, når det gælder EnergyFrames. EnergyFrames benyttes foruden kun i *Green Tech Start Up*, hvor de ikke på noget tidspunkt er benyttet i *Netværkslokomotivet*.

Ved åbning af vinduer er størstedelen af tilfældene pga. behov for naturlig ventilation. Ud over det er der også tilfælde med behov for nedkøling af rum og *andet*. Angående lukning ses de fleste tilfælde tilhørende begrundelsen *andet*.

I *Green Tech Start Up* er det kun døren ud til terrassen, D1, som åbnes ved behov for nedkøling eller *andet*, og i *Netværkslokomtivet* er det kun vinduet, V5, ved den mest tilstedeværende person, der åbnes - og kun i kip. Begrundelsen er forskellig fra rum til rum, hvorfor de åbner. I *Green Tech Start Up* er det pga. nedkøling og i *Netværkslokomotivet* pga. behov for naturlig ventilation, hvilket kan forklares via rummenes placering og orientering.

Da *Green Tech Start Up* er mere udsat for solen i dagstimerne, vil der opstå flere overtemperaturer. For *Netværkslokomotivet*, hvor personbelastningen generelt er på et højere niveau, giver dette af naturlige årsager grund til, at personerne får lyst til at åbne vinduerne for at få fornemmelsen af, at ventilere rummet med frisk luft.

Det er gældende for samtlige af disse registreringer, at det er muligt for brugerne at notere for mere end blot en begrundelse til, hvorfor de agerer, som de gør. For at få en bedre forståelse af

resultaterne fra tabel 7.2, analyseres de uddybende i afsnit 7.1.1 - 7.1.6.

I appendiks A.10 findes beregningerne til afsnittet, hvis andet ikke nævnes. Ved sammenligning med data fra den originale BSim model, er data hentet fra appendiks A.11.

7.1.1 Vejret i perioden

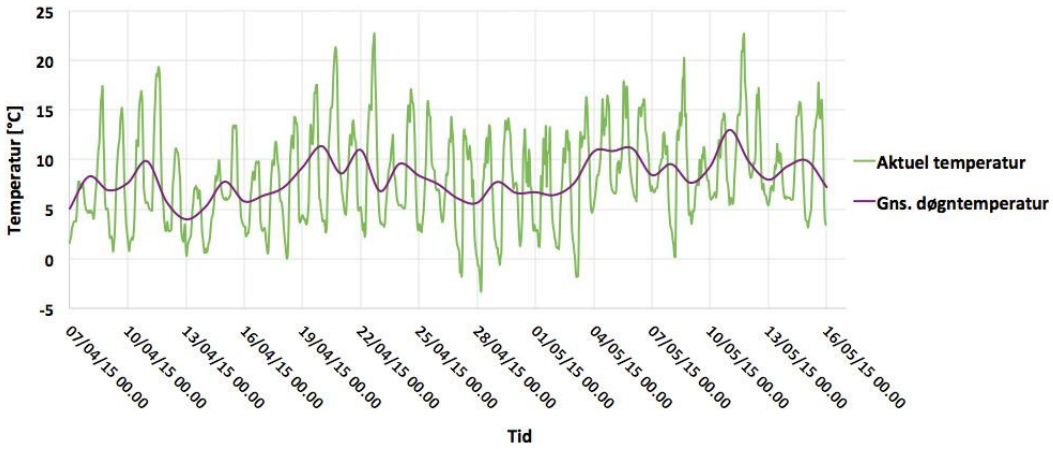
For at få en forståelse af brugerinteraktionerne i måleperioden er det nødvendigt at kende til mikroklimaet. I dette afsnit vil en kort gennemgang af vejret i denne måleperiode beskrives. Vejrdata vil løbende sammenlignes med DRY-filen fra den originale BSim model (afsnit 6.3), fordi deres forskelle giver belæg for forskellige resultater mht. komfort og energi mellem model og virkelighed. Følgende vejrparametre bliver gennemgået:

- Temperatur
- Vind
- Nedbør

Alle figurerne i de kommende underafsnit stammer fra appendiks A.12, som er baseret på vejrdata fra en vejrstation som står ved *Green Tech Center* [Green Tech Center, 2015].

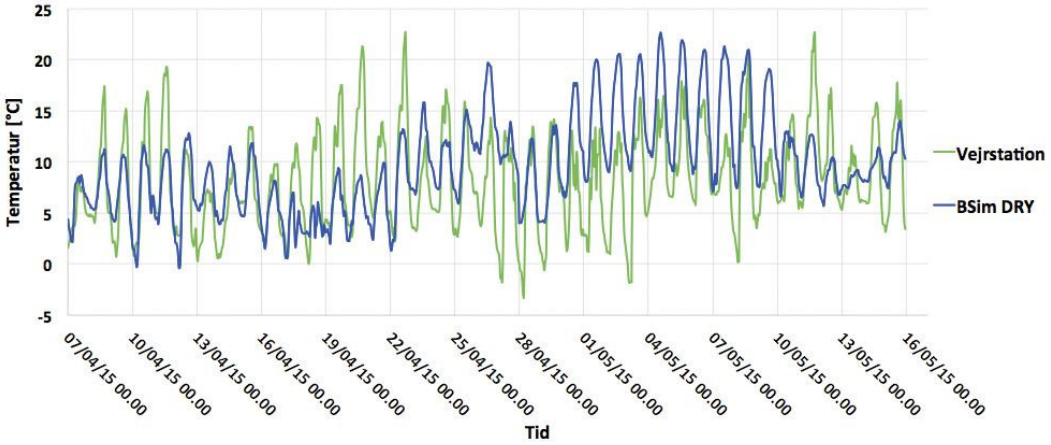
Udetemperatur

Temperaturen i måleperioden har været varierende mellem dag og nat, men har været forholdsvis stabil fra dag til dag. Dette er illustreret på figur 7.2, hvor den aktuelle temperatur på timebasis viser et relativt ensformigt forløb. Figur 7.2 viser samtidigt en gennemsnitlig dagstemperatur, som er forholdsvis stabil over hele perioden.



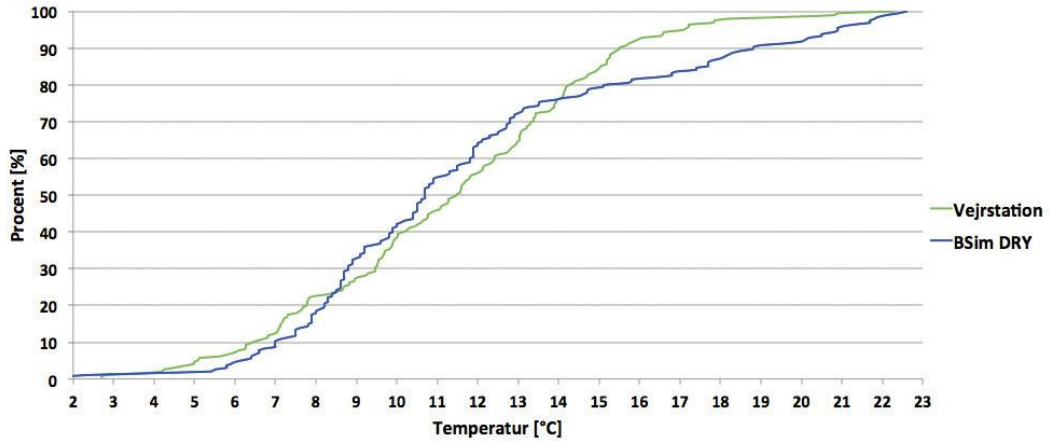
Figur 7.2. Udendørs temperaturforløb i måleperioden.

Figur 7.3 viser forskellighederne i udetemperaturen mellem DRY-filen og vejrstationens data over hele måleperioden.



Figur 7.3. Udendørs temperaturforløb i måleperioden sammenlignet med DRY vejrdata.

På figur 7.3 ses, at forskellen på udetemperaturen varierer ift. hinanden over måleperioden. For at analysere det nærmere laves en akkumuleringsgraf, men kun for udetemperaturer gældende for brugstiden, se figur 7.4.

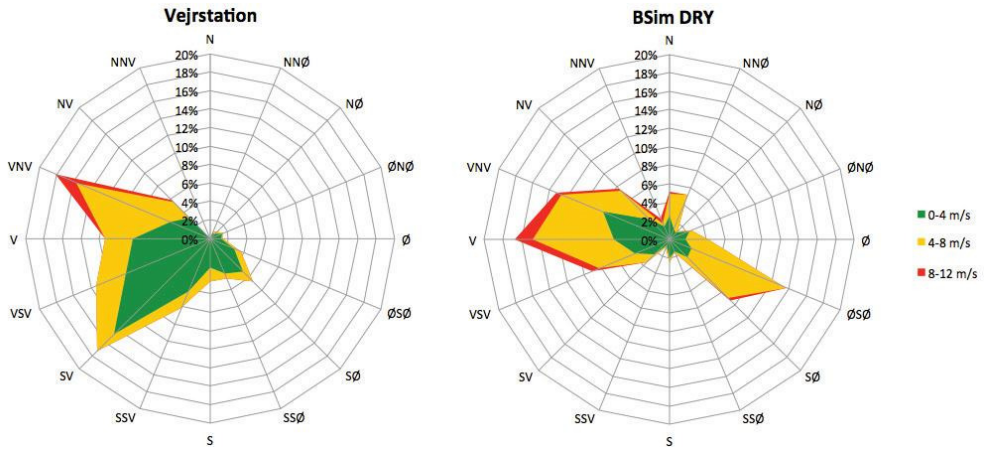


Figur 7.4. Akkumuleringsgraf af udetemperaturerne i brugstiden for hhv. vejrstationen og DRY-filen.

Det observeres, at flere perioder med højere udetemperaturer findes for DRY-filen. Denne oplysning kan f.eks. forklare, hvis der måles lavere rumtemperaturer for måleperioden end resultaterne fra den originale BSim modellen.

Vind

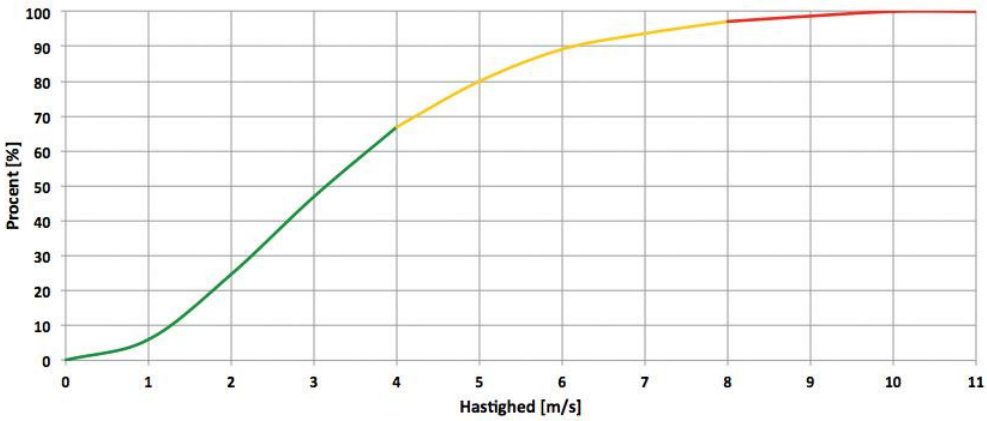
Fra vejrstationen og DRY-filen er der kreeret vindroser, som er illustreret på figur 7.5. Vindrosen for vejrstationen viser, at størstedelen af vinden kommer fra SV og VNV og hovedsageligt har lavere vindhastigheder end DRY-filen. Retningen SV er den mest hyppige retning med vind, men VNV har de kraftigste vinde.



Figur 7.5. Vindrose for vejrstation og DRY-fil.

På figur 7.5 ses vindhastighederne klart fra 0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ - 4 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ som værende de mest dominerende ved hver retning udover VNV for vejrstationen.

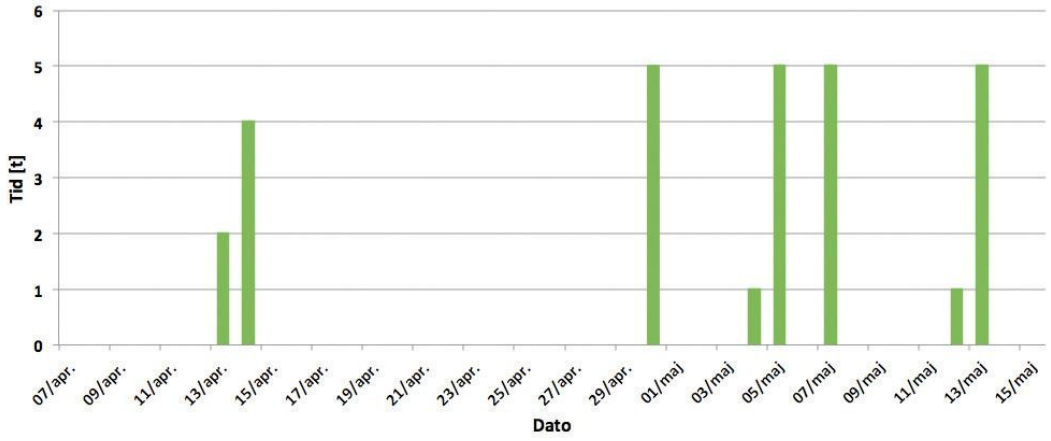
På figur 7.6 udgør vindhastighederne under 4 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ omkring 65 % af samtlige vindhastigheder i måleperioden for vejrstationen.



Figur 7.6. Akkumuleret graf for fordeling af vindhastigheder for vejrstation.

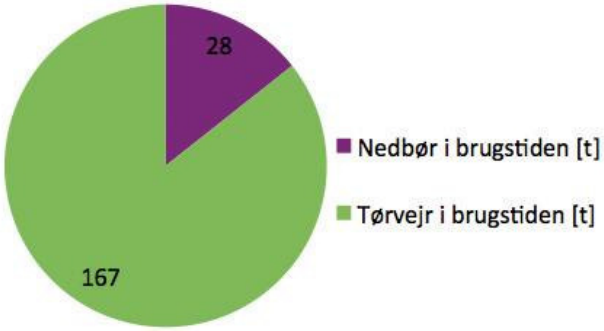
Nedbør

Registrering af nedbør i måleperioden sker ved brug af nedbørindikator. På figur 7.7 er nedbøren i brugstiden i måleperioden registreret, hvorved dage med nedbør er registreret.



Figur 7.7. Dage med nedbør i brugstiden i måleperioden.

Figur 7.8 viser en fordeling af antal timer med hhv. nedbør og tørvejr i brugstiden.



Figur 7.8. Fordeling af nedbør og tørvejr i brugstid.

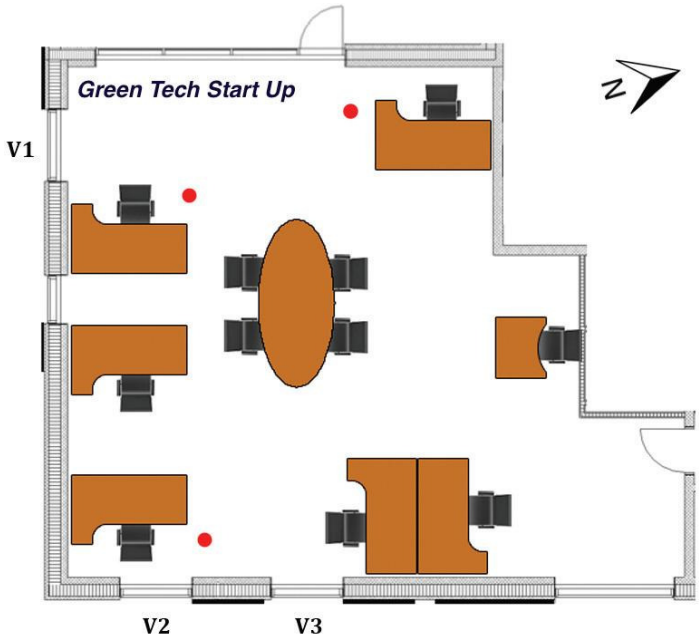
7.1.2 EnergyFrames til forebygning af træk

I dette afsnit beskrives, hvorvidt EF kan bruges til forebyggelse af træk ved åbne vinduer. Dette analyseres ved brug af spotmålinger lavet i lokalet *Green Tech Start Up*, som er foretaget på to forskellige dage med forskellige vindforhold. Alle resultater fra målingerne findes i appendiks A.13. Målingerne er foretaget med et anemometer, som beskrevet i appendiks G.3, der måler lufthastigheder, turbulensintensitet, temperatur og træk ift. ISO 7730 [International-Standard, 2005]. I tabel 7.3 ses spotmålingsdatoer med tilhørende vindforhold og personparametre.

Dato	Vindretning [°]	Vindhastighed [$\frac{m}{s}$]	Beklædning [clo]	Aktivitet [met]
24/03	188	1,12	0,7	1,2
25/03	114	1,82		

Tabel 7.3. Spotmålinger og vindforhold.

Spotmålingerne foretages i tre placeringer, hvor der måles i tre højder: 0,1 m, 0,6 m og 1,1 m pr. placering. På figur 7.9 på den følgende side ses de tre placeringer med røde markeringer. På figuren ses de tre vinduer (V1, V2 og V3), der bruges som variabler i spotmålingerne.



Figur 7.9. Måleplaceringer og benyttede vinduer til målingerne.

Tilhørende hver dato laves spotmålinger under fem forskellige forhold. Variationen mellem de forskellige typer forhold er, hvorvidt der er åbne vinduer samt om EF er kørt for imens. Dette undersøges for at se, om EF vil reducere evt. træk ved åbne vinduer.

Det er benytteligt, hvis der ønskes at luftes ud samtidigt med, at der reduceres for trækgener. Målingerne foretages over 60 sek. Vinduerne åbnes i den udstrækning, som vurderes hyppigst anvendt. I tabel 7.4 ses en kort beskrivelse af de fem måleforhold.

Måleforhold	Åbne vinduer	EnergyFrames	Varighed [s]
1	Ingen	Fra	60
2	V1	Fra	60
3	V1	For	60
4	V1 + V2 + V3	Fra	60
5	V1 + V2 + V3	For	60

Tabel 7.4. De forskellige måleforhold.

Ud over de fem måleforhold blev en ekstra måling foretaget ved ydersiden af et vindue ved både syd- og østfacaden. Denne måling blev foretaget over tre minutter grundet variationen af lufthastighederne ved ydersiden af vinduet er større end inde i lokalet. Mikroklimaets vindforhold som er listet i tabel 7.3, er givet fra *Green Tech Center*s egen vejrstation.

Resultater for træk

Resultaterne for spotmålingerne viser konsistente tendenser. Generelt reducerer EF forekomsten af træk, når de er kørt for ved åbne vinduer. Flere faktorer spiller ind vedr. træk, som EF forebygger, da målingerne er afhængige af:

- Vindhastighed
- Vindretning
- Antal åbne vinduer
- Turbulens
- Temperatur
- Beklædning
- Aktivitet
- Lufthastighed omkring vindue
- Åbningsareal af vindue
- Bevægelse af personer i rummet

Fra de målte scenarier ses det i tabel 7.5, at ved ét åbent vindue (V1) reduceres lufthastighederne gennemsnitlig 28 % for alle målepunkterne ved begge målte datoer. Ved de målepunkter hvor der opleves træk reduceres dette gennemsnitligt med 72 % - 100 % hhv. for d. 24/03 og d. 25/03.

Måledato	**Gennemsnitlig reduktion af lufthastigheder [%]**	**Gennemsnitlig reduktion af træk [%]**
24/03	28,43	72,07
25/03	28,84	100,00

Tabel 7.5. Reduktion af træk ved brug af EF for ét vindue (V1).

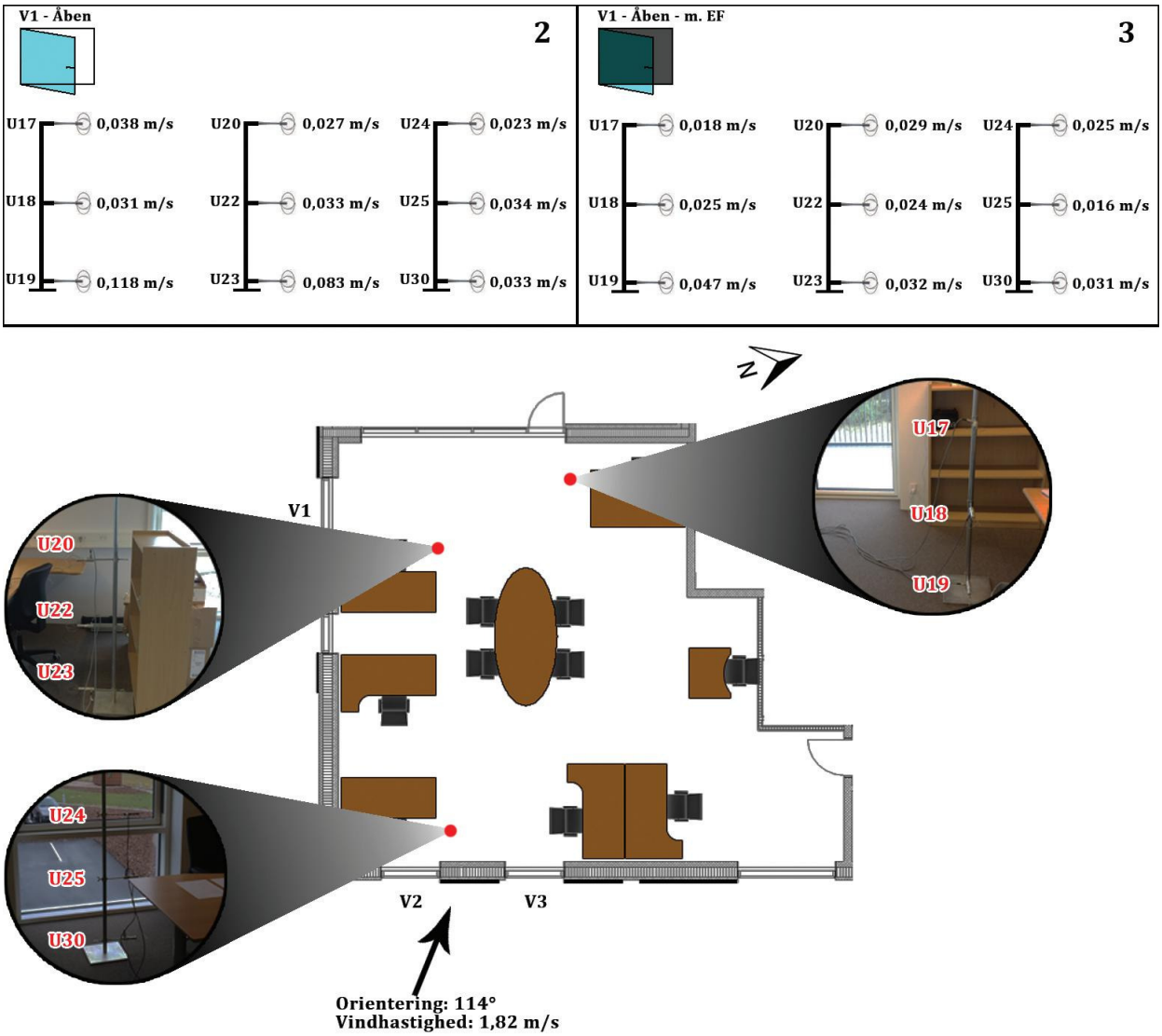
Ved målingerne med tre vinduer ses en endnu større gennemsnitlig procentvis forbedring af reduktion af lufthastigheder og træk i målepunkterne. Det observeres i tabel 7.6, at ved de målepunkter, hvor der er trækgener vil det gennemsnitligt over alle målepunkterne forbedres med ca. 85 - 90 % alt efter scenariet.

Måledato	**Gennemsnitlig reduktion af lufthastigheder [%]**	**Gennemsnitlig reduktion af træk [%]**
24/03	54,91	86,80
25/03	59,03	89,83

Tabel 7.6. Reduktion af træk ved brug af EF for tre vinduer (V1 + V2 + V3).

Resultater fra den 25/03

For at se lidt nærmere på målingerne bliver resultaterne fra d. 25/03 benyttet. For at give et overblik af opsætningen, forløbet og resultaterne er det samlet i figur 7.10 på næste side. På figuren ses de tre placeringer i rummet samt billeder fra målingen. Resultater fra målingerne med ét åbent og tre åbne vinduer er illustreret i hhv. toppen og bunden af figuren. Det bemærkes, at de højeste lufthastigheder forekommer i fodhøjden 0,1 m. Ved en gennemgang af resultaterne i appendiks A.13 observeres det, at dette er tilfældet ved begge målte datoer. Det ses på figuren, at EF ofte drastisk reducerer lufthastighederne.

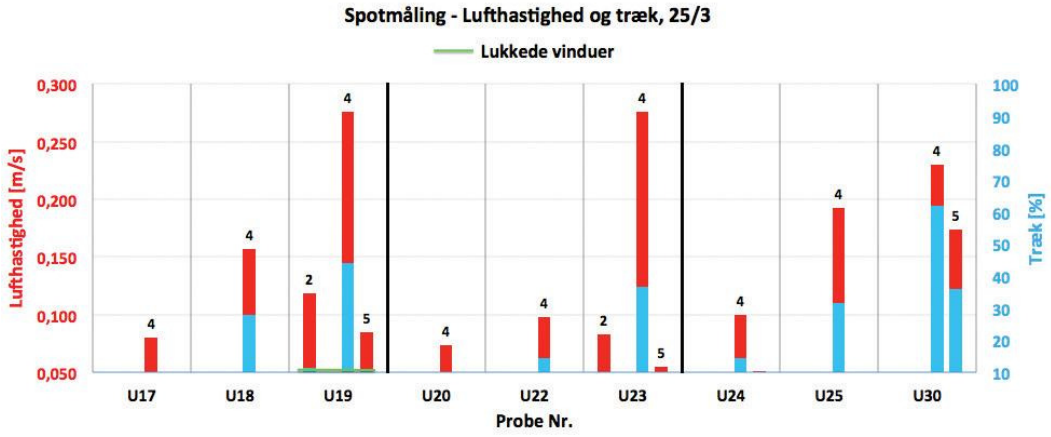


Figur 7.10. Beskrivelse af spotmålingen fra d. 25/03 inkl. lufthastigheder fra forskellige scenarier.

Resultaterne fra d. 25/03 er også illustreret på figur 7.11, hvor trækgener samt målingerne med lukkede vinduer er tilføjet. For at forstå figuren er følgende oplysninger nyttige:

- De røde søjler viser lufthastighederne
- De lyseblå søjler viser trækgenerne ift. ISO 7730 [International-Standard, 2005]
- Hver probe har fire søjler inkluderet. Disse søjler indikerer måleforhold 2 - 5 jvf. tabel 7.4
- Den grønne streg viser lufthastigheden ved lukkede vinduer

Det skal bemærkes at lufthastigheder og antal utilfredse ved træk på under hhv. 0,05 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ og 10 % ses bort fra på figuren, da disse negligeres ved tale om træk (mere om dette i appendiks G.3).



Figur 7.11. Resultater fra spotmålingen d. 25/03.

Figuren bekræfter, at ved brug af EF reduceres lufthastighederne med åbne vinduer. Ydermere viser figuren, at trækgenerne ligeledes er faldende med brug af EF. Dog ved U30 i højden 0,1 m ses det, at der stadig er problemer ved træk. Dette kan skyldes mange af de afhængige faktor som nævnt tidligere i afsnittet.

Lufthastigheden for hver probe ved lukkede vinduer på figur 7.11 defineres som en reference for målingerne. Det ses, at der var lave lufthastigheder før åbning af vinduer, hvilket hovedsageligt skyldes ventilationssystemet. Referencen viser, at ved ét åbent vindue (V1), er der ofte kun en lille (hvis ikke ingen) forøgelse i lufthastighed. Dog kan det stadig opfattes som træk pga. temperatur- og turbulensændringer.

Styringsstrategi imod trækgener

På baggrund af resultaterne fra spotmålingerne under givne forhold er der ingen tvivl om, at EF kan bruges til at forebygge imod trækgener, når vinduerne er åbne. Målingerne er afhængige af mange faktorer, hvilket gør det svært at vurdere sammenhængen mellem vind og trækgener. Det er nødvendigt med et mere omfattende målespektrum af endnu flere scenarier før overordnede sammenhænge kan fastlægges.

Spotmålingerne kan bruges til at forklare brugerinteraktionen vedr. EF. Det er en mulighed, at brugerne vil bruge EF's ekstra funktion til at forebygge mod træk, når vinduerne er åbne. I måleperioden er der observeret, at trækforebyggelse aldrig har været begrundelsen for at køre EF for.

En ulempe ved brug af EnergyFrames ved forebyggelse for træk er, at EF nedbringer luftmængden, der kan tilføres rummet, og derfor vil luftkvaliteten ikke forbedres i samme grad som ved uden afskærmning. Det skal bemærkes, at perforeringsgraden spiller en rolle vedr. tilført udeluft, men dette er ikke undersøgt pga. praktiske forudsætninger.

7.1.3 Luftkvalitet

For at undersøge hvor ofte der er uacceptabel luftkvalitet, bruges CO_2-niveauet som indikator. I en mulig kommende styringsstrategi tages luftkvalitet i betragtning selvom det ikke er en afgørende faktor. Dette gøres, fordi uacceptabel luftkvalitet kan føre til åbning af vinduer, hvilket har indflydelse på brugen af EF mht. forebygning af træk jvf. afsnit 7.1.2.

Det undersøges derved, om brugerne åbner vinduerne, når CO_2-niveauet er højt. Det vurderes, at CO_2-niveauet er for højt, når det overskrider 800 ppm. Denne værdi er valgt på baggrund af kategori A i CR1752, som definerer kategorien til at være 460 ppm højere end udekoncentrationen [CEN Report, 1998]. Udekoncentrationen er målt ved to spotmålinger til 329 ppm begge målte dage og derfor virker de 800 ppm realistiske. Denne måling uddybes i appendiks G. Kategori A er valgt, da den stemmer overens med GK's ventilations setpoint i *Living Lab*, som er sat til 800 ppm, hvilket bruges videre.

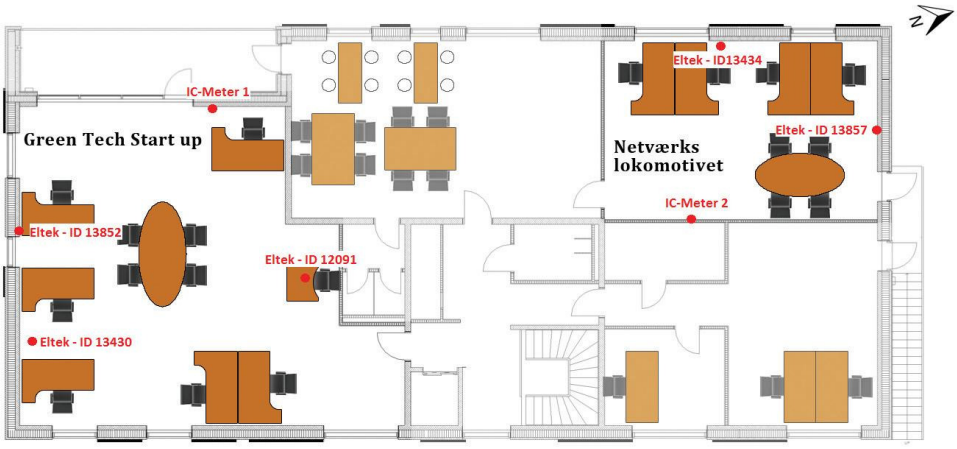
En interessant bemærkning er, at der for det indledende spørgeskema fandtes, at luftkvalitet blandt indeklimaparametre ikke var vægtet ligeså højt som andre komfortparametre såsom de termiske komforter ang. temperaturer og især træk. Tværtimod fandtes det yderligere, at det at føle kontrol ikke er et ubetydeligt aspekt vedr. styring af indeklima fra brugernes side. Derfor er det antydet via brugernes ageren, at det at føle sig i kontrol i visse tilfælde trumfer selve indeklimaet.

Udvælgelse af data

I løbet af måleperioden registreres to forskellige CO_2 målinger:

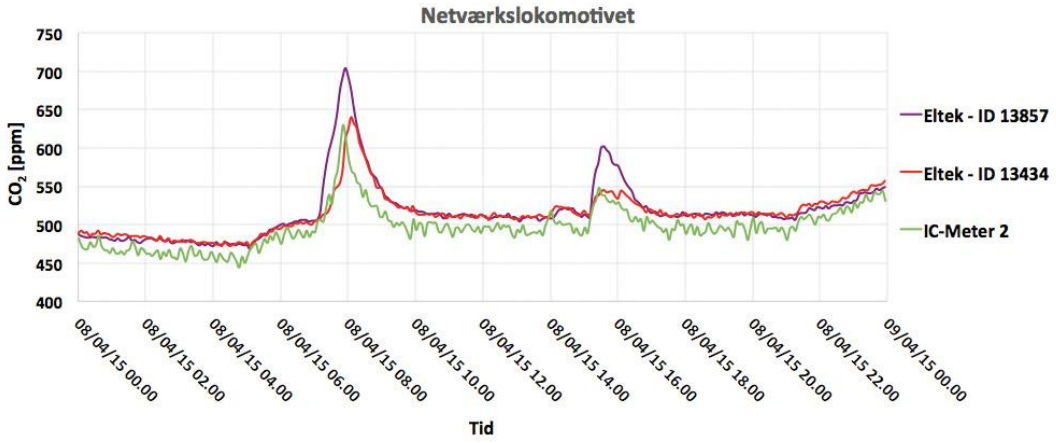
- Eltek
- IC-Meter

De forskellige placeringer af CO_2 målerne er illustreret på figur 7.12. Billedere af udstyrets placeringer ses i appendiks A.7.



Figur 7.12. Placeringer af CO_2 måler.

For at sammenligne præcisionen af Eltek-målerne og IC-Metrene er de blevet analyseret over et døgn. På figur 7.13 ses målinger fra *Netværkslokomotivet* for d. 08/04.



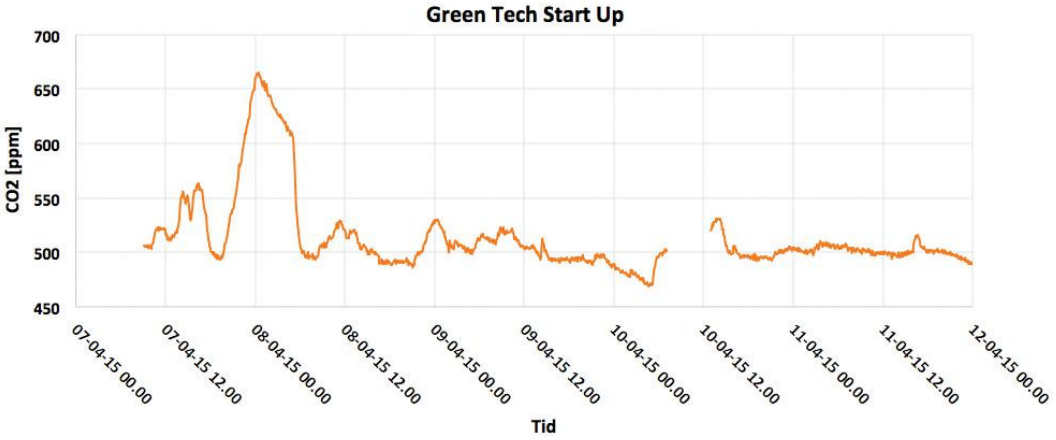
Figur 7.13. Sammenligning af CO_2-måler.

Det ses, at forløbet af alle tre kurver er forholdsvist ens. Eltek-måleren med ID nummeret 13857 måler højere i peakene, hvilket forklares med dens placering i to meters højde. Den anden Eltek er i en meters højde, og IC-metret er i halvanden meters højde. Fordi IC-Metret er placeret længere væk fra brugerne har den lavere værdier.

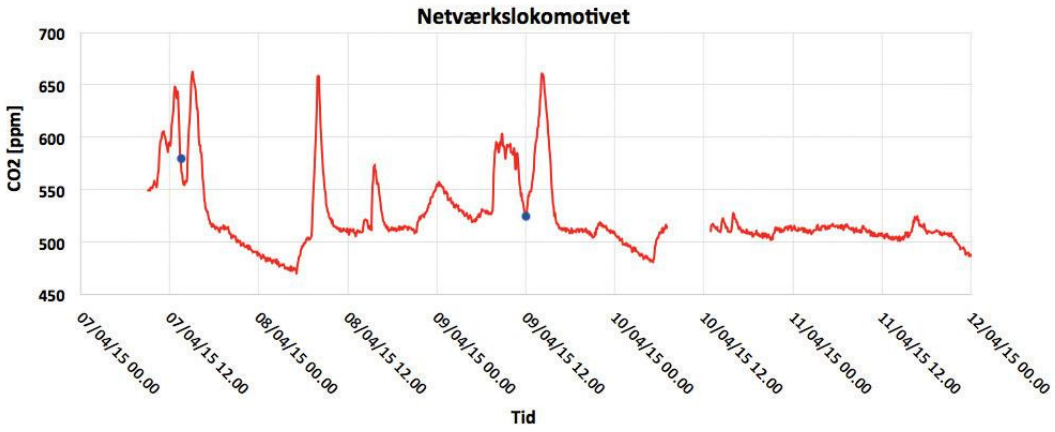
Ved gennemgang af videoovervågning møder den første bruger ind ca. kl. 07:00 d. 08/04, hvilket stemmer overens med figur 7.13. Klokken 08:00 forlader brugerne rummet og kommer tilbage igen omkring kl. 15:00. Det skal bemærkes, at ventilationen samtidig sænker CO_2-niveauet.

Opfølgning af logbogsføring

Fra logbøgerne vides det, at der i alt i hele måleperioden blev åbent vinduer seks gange i *Netværkslokomotivet* og nul gange i *Green Tech Start Up* for ventilere naturligt grundet dårlig luftkvalitet. På figur 7.14 og 7.15 ses CO_2-niveauet over et udsnit af måleperioden (07/04 - 12/04) for hhv. *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*. På figurerne plottes det på hvilke tidspunkter, vinduerne er åbnet for at ventilere, hvilket er markeret med "•".



Figur 7.14. CO_2 målinger fra *Green Tech Start Up* over et udsnit af måleperioden.



Figur 7.15. CO_2 målinger fra *Netværkslokomotivet* over et udsnit af måleperioden.

Det ses på figurerne 7.14 og 7.15, at CO_2-niveauet aldrig overstiger 800 ppm, hvilket indikerer et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima med CO_2 som indikator. I hele måleperioden forekommer der en time, hvor CO_2 niveauet kort overstiger 800 ppm i *Netværkslokomotivet*.

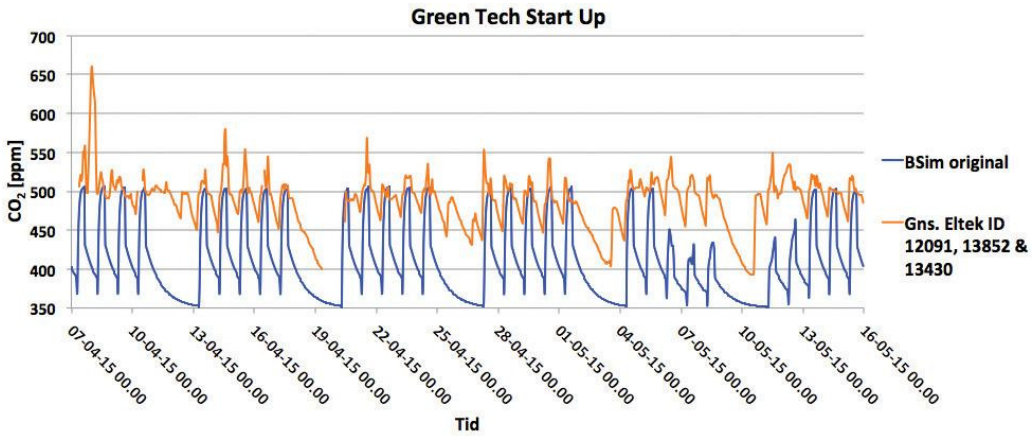
I *Green Tech Start Up* opstår en situation, hvor CO_2-niveauet nærmer sig de 800 ppm. Dette drejer sig om d. 07/04 kl. 19:20. Det viser sig ud fra videoovervågningen, at en bruger ankommer i rummet til dette tidspunkt og går igen kl. 00:10. Da ventilationen er slået fra størstedelen af det gældende tidspunkt stiger CO_2-niveauet som resultat. Ifølge logbøgerne har brugerne i *Green Tech Start Up* heller ikke haft behov for at åbne vinduer grundet dårlig luftkvalitet i måleperioden.

I *Netværkslokomotivet* er et vindue blevet åbnet to gange i udsnittet af måleperioden grundet brugernes trang til naturlig ventilation. Det ses på figur 7.15, at der umiddelbart ikke har været behov for at lufte ud da CO_2-niveauet er forholdsvis langt under 800 ppm. Det er derfor svært at præcisere, hvorfor brugeren synes at der trænges til at lufte ud. Det paradoksale ved at brugeren lufter ud er, at CO_2-niveauet stiger markant ved begge tilfælde. Dette skyldes en ændring i ventilationens ydelse, og er videre diskuteret i afsnit 8.1.1. I alt i måleperioden er det samme vinduet blevet åbnet seks gange.

En bemærkning fra videooptagelserne er, at det åbne vindue i *Netværkslokomotivet* kun er åbent på kip, så det friske luft der kommer gennem dette mindre areal ikke kan ventilere i ligeså stort omfang som den mekaniske ventilation. Ved dialog med brugeren blev det fortalt, at det er en vane for personen at åbne vindue ved godt vejr for at få frisk luft.

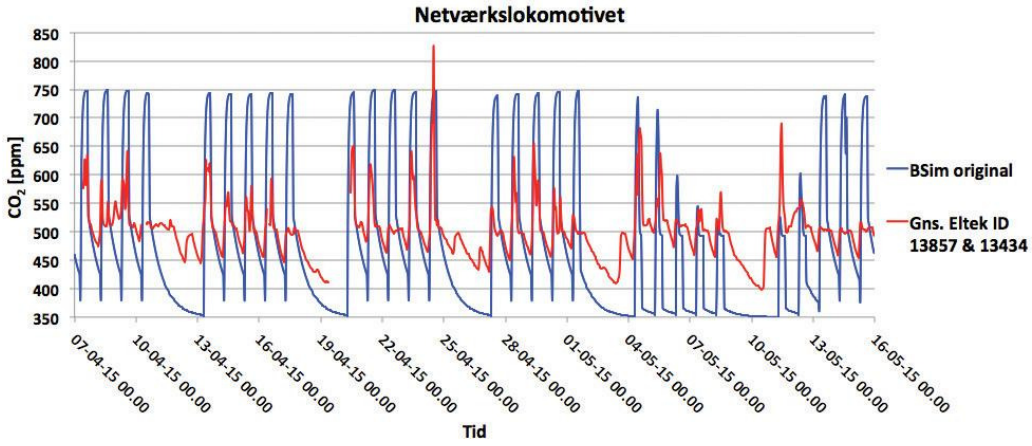
Sammenligning med original BSim

Figurerne 7.16 og 7.17 viser, hvordan CO_2-forløbet ser ud i den originale BSim model ift. de målte gennemsnitsniveauer for begge rum.



Figur 7.16. CO_2 sammenligning mellem måledata og original BSim model for *Green Tech Start Up*.

CO_2-forløbet for BSim er generelt set markant lavere end det reelle forløb i *Green Tech Start Up*.



Figur 7.17. CO_2 sammenligning mellem måledata og original BSim model for *Netværkslokomotivet*.

BSim er igen højere, men ikke på samme måde. BSim går også under de målte niveauer. Altså ligner det, at BSim er mere følsom og ekstrem, når den peaker i niveauerne. Det er grundet at personbelastningen har vist sig at være mindre end forventet i den originale BSim model.

Det ses, at der er et enkelt og hurtigt overstået tilfælde (under en time) i *Netværkslokomotivet*, hvor CO_2-niveauet overstiger 800 ppm i de målte data, hvilket betyder, der overordnet set holdes et acceptabelt atmosfærisk indeklima i begge rum.

7.1.4 Blændingsgener

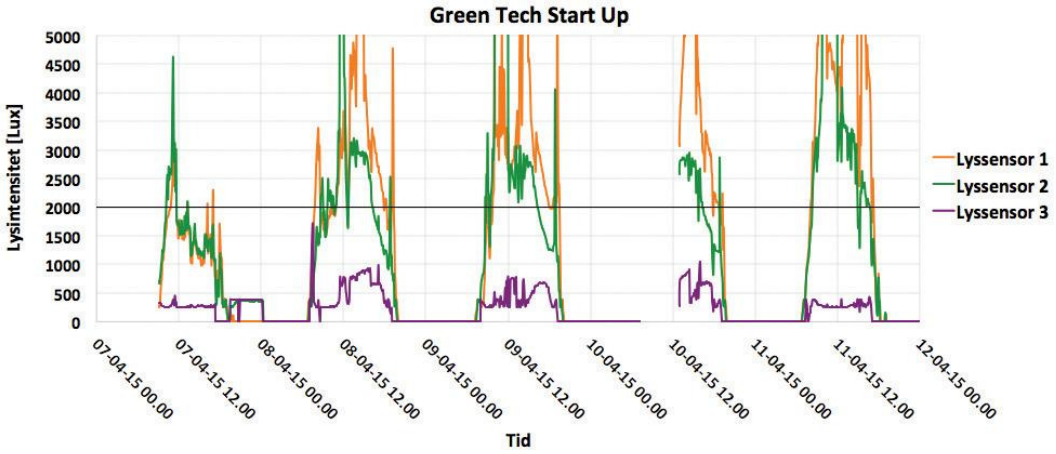
Da det er en essentiel funktion for EF at beskytte imod blændingsgener, er det vigtigt at bruge logbøgerne som guide til, hvornår dette er et problem. Det er problematisk at definere hvilke tidspunkter der opstår blænding, da dette både kan være blænding i øjenhøjde eller blænding på arbejdsflader såsom skriveborde og computere. Derfor er det brugbart med observationer af hvilke tidspunkter, brugerne oplever blænding og derved finde en sammenhæng mellem lux på facade, solens placering og tidspunkt på døgnet.

I afsnit 4.1 blev det beskrevet, at 2.000 lux bliver brugt som en guideline til blændingsgrænse for et vertikal øjesyn. Selvom dette gælder for vertikal øjesyn er flere lyssensorer placeret ved vandretflade på arbejdspladser. Placeringerne ses på figur 7.18.

Figur 7.18. Placering af lyssensorer ved opsætningsdatoen.

Lysintensitet i Green Tech Start Up

På figur 7.19 er forløbet over lysintensiteten i måleperioden illustreret for *Green Tech Start Up*. Det er valgt kun at illustrere op til 5.000 lux, da målingerne herover er upræcise jvf. appendiks G.1.4. Et udsnit fra starten af måleperioden bruges fra d. 07/04 til d. 12/04. Derudover bemærkes det, at der mangler data for formiddagstimerne d. 10/04.



Figur 7.19. Udsnit af lysintensitet i *Green Tech Start Up* for måleperioden.

På figur 7.19 bemærkes det at den vertikale sensor nr. 1, ofte har en lysintensitet på over 2.000 lux. I måleperioden har der dog ikke siddet nogen ved tilhørende arbejdsplads, så det er ikke muligt at vide, hvordan brugeren vil have reageret på dette lysniveau.

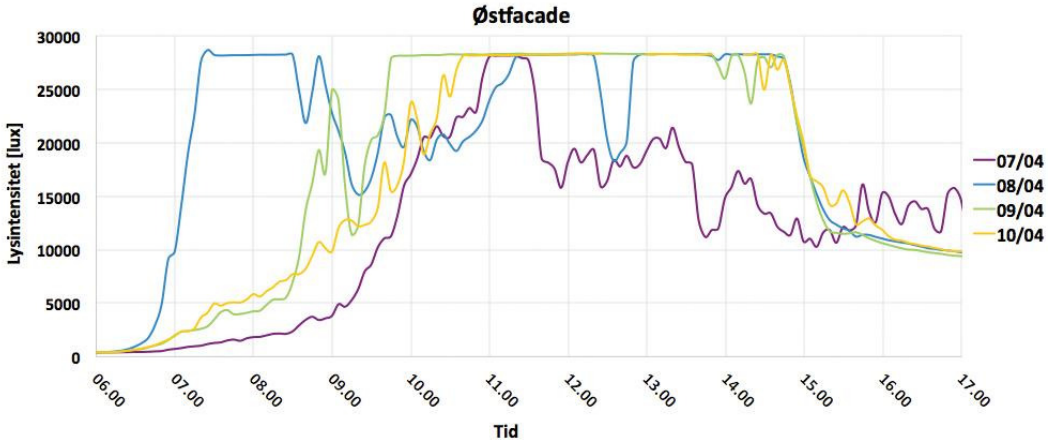
Lyssensorer 2 og 3, som er placeret horisontalt på arbejdspladserne viser meget forskellige resultater. Det er ved lyssensor 2, som er placeret tæt på de sydlige vinduer, at de høje lysintensiteter observeres. Det vurderes, at over 2.000 lux på arbejdspladsen ville give blændingsgener, hvor brugeren 15 % (ca. otte timer) af tiden observeres ved arbejdspladsen i udsnittet af tidsperioden, se figur 7.20. Tilfældene vurderes til at vise tendensen for hele måleperioden.

Figur 7.20. Brugerens benyttelse og tilstedeværelse ved arbejdsplads med lyssensor 2.

Det vides, at brugeren ved lyssensor 2 slet ikke ruller EF for ved blænding i måleperioden, udover to gange, hvilket var kombineret med begrundelsen af overtemperaturer. Ifølge spørgeskemabesvarelserne fra afsnit 5.4.2, stemmer dette overens med, at samtlige brugere prioriterer visuelle forhold lavt. Brugeren selv udtrykte at: "*Det var nemmere at flytte lidt på computeren end at rulle afskærmningen for*". På figur 7.21 ses et billede taget af webkameraet kl. 10:00 d. 11/04, hvor lysintensiteten er høj ifølge figur 7.19. Det ses her at sollyset er rigtig skarpt både ved lyssensor 2 (i den røde ring), og hvor brugeren sidder.

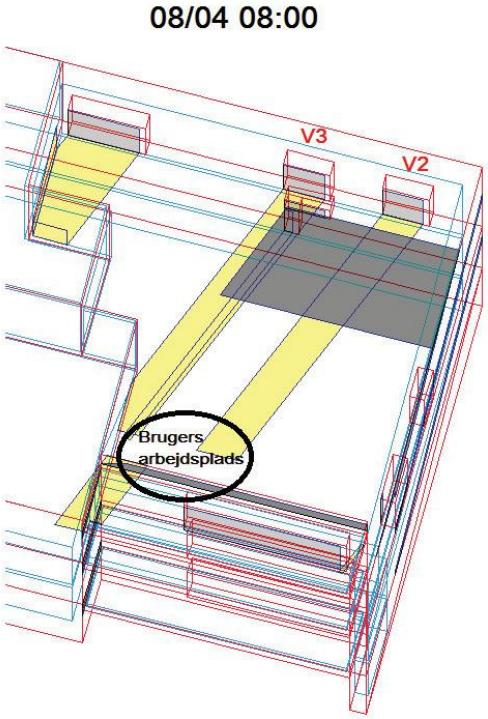
Figur 7.21. Screenshot fra webkamera ved arbejdsplads tilhørende lyssensor 2.

Ved lyssensor 3 sker det aldrig i udsnittet af måleperioden, at lysintensiteten overskrider de 2.000 lux, hvilket med stor sandsynlighed er grundet placeringen længere inde i rummet. Det er dog observeret ved brug af videoovervågningen og logbøgerne, at det er brugeren fra denne arbejdsplads, som en enkelt gang i udsnittet af måleperioden kører EF for ved to vinduer på østfacaden grundet blændingsgener. Dette sker kl. 08:15 d. 08/04, hvor der kun er ca. 250 lux på brugerens arbejdsplads. Dette betyder, at brugeren muligvis er blevet blændet af en lav sol, hvor lyssensoren ikke har registreret den store mængde lysintensitet grundet dens begrænsninger (appendiks G.1.4). Teorien om en lav sol der blænder på dette tidspunkt undersøges på figur 7.22, hvor det ses, at lysintensiteten har været høj kun d. 08/04 til tidspunktet kl. 08:15. Dette forklarer, hvorfor brugeren ikke har brugt EF mod blænding til dette tidspunkt de andre dage.



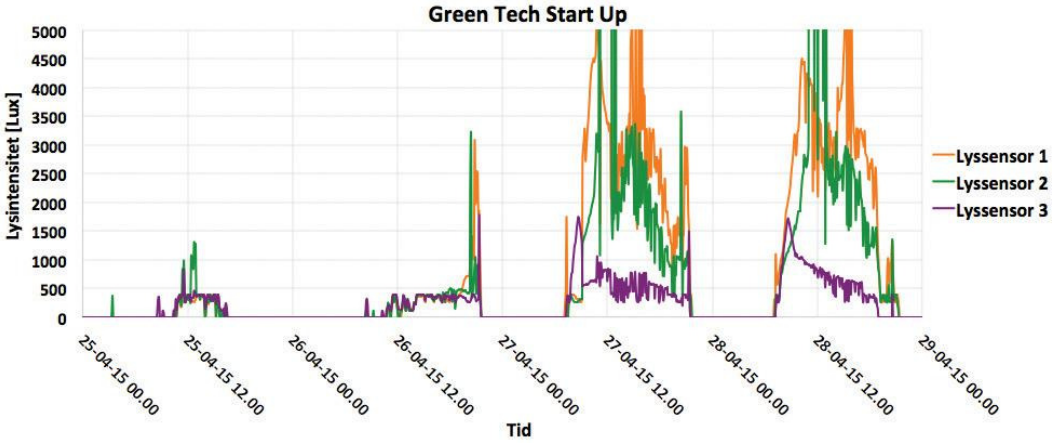
Figur 7.22. Lysintensiteten på østfacaden i måleperioden.

Det ses på figur 7.22, at lysintensiteten for østfacaden yderligere er på et højt niveau senere på formiddagen. Grunden, til at det er kl. 08:15 brugeren føler sig chikaneret af blænding, er pga. solens placering. På figur 7.23 ses en BSim model af rummet og brugerens placering. Det illustreres på figuren, hvor sollyset rammer til tidspunktet d. 08/04 kl. 08:00. Det skal bemærkes at det illustrerede direkte sollys er ved gulvhøjde, og vil ikke ramme brugeren i øjnene, hvilket derved betyder at brugeren ikke blændes af direkte solstråling.



Figur 7.23. Solindfaldssimulering i BSim.

For at optimere målinger vedr. blænding placeres lyssensor 3 i en vertikal øjenhøjde på bagsiden af brugerens computerskærm. Efter dette er to yderligere tilfælde opstået, hvor brugeren kører EF for ved blænding. Den ene gang er observeret d. 27/04 kl. 08:00. På figur 7.24 peaker lysintensiteten ved dette tidspunkt for lyssensor 3, dog ikke op på 2.000 lux.

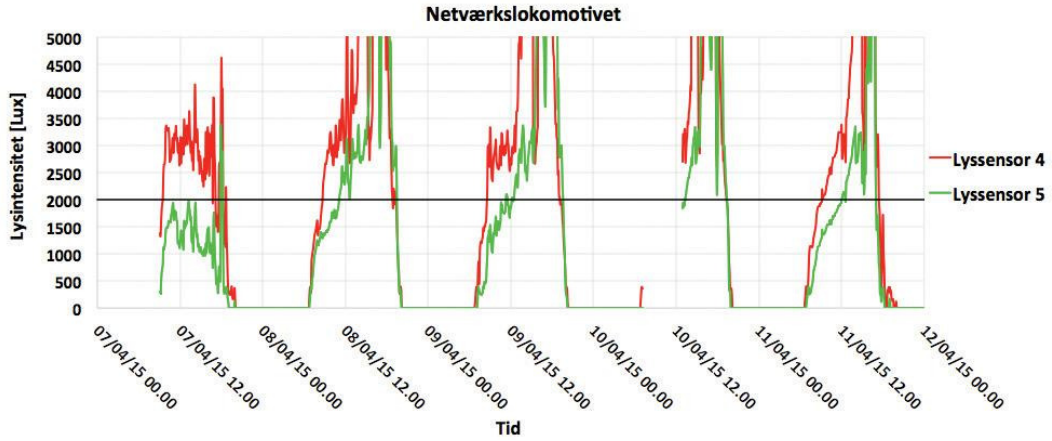


Figur 7.24. Sollysintensitet for *Green Tech Start Up* efter ændring af placering for lyssensor 3.

Da det ikke er direkte sollys brugeren generes af er en korrespondance startet med brugeren, hvor det er oplyst, at det er forskelligheden, lysstyrken har haft på brugerens computerskærm, altså reflekterende solstråling som medfører synsnedsættende blænding.

Lysintensitet i Netværkslokomotivet

På figur 7.25 er forløbet for de to lyssensorer i *Netværkslokomotivet* vist for et udsnit af måleperioden. På figuren observeres det, at ved den arbejdsplads begge lyssensorer er placeret ved er både den vandrette lyssensor, der måler på bordet (lyssensor 4) og den vertikale lyssensor, der måler ved computerskærm (lyssensor 5) begge ofte overstiger 2.000 lux i måleperioden. Ved nærmere undersøgelse er det omkring kl. 18:00, at lysniveauet bliver uacceptabelt, hvilket er uden for brugstiden, som også er gældende for hele måleperioden. Dette stemmer overens med logbogen, hvor der ikke er registreret tidspunkter, der er benyttet EF imod blænding. Det er orienteringen af vinduerne og solens placering der er skyld i den sene forøgelse af lysintensitet.



Figur 7.25. Udsnit af lysintensitet i *Netværkslokomotivet* for måleperioden.

Facadebaseret styring

Målingerne og logbøgerne har vist, at det er problematisk at finde en klar definition, der forklarer, hvornår brugerne føler blænding. For at præcisere det yderligere skal der bruges flere lyssensorer og en længere måleperiode. Det der kan konkluderes er, at hvis der er høj lysintensitet ved

østfacaden tidligt på formiddagen, skal der bruges afskærmning imod blænding. Det præcise tidspunkt afhænger af sæsonen.

Ved **vestfacaden** opstår der blændingsgener sent på dagen ofte efter brugerne er gået hjem. Det er derfor ikke nødvendigt at implementere *blænding* i styringsstrategien ved denne facade i den pågældende måleperiode. Ved tilfælde af blænding på vestfacaden vil det være fordelagtigt, at brugeren overstyrer systemet og manuelt kører EF for, hvis de er tilstede.

Sollys gennem vinduerne på **sydfacaden** medfører ofte høje lysintensiteter ved nogle arbejdspladser. Logbøgerne har vist, at brugerne ikke føler sig generet nok til at bruge afskærmningen til forhindring af blænding på nær to tilfælde. Det vurderes ved denne facade, at det er nødvendigt at implementere en styringsstrategi mod blænding grundet den høje lysintensitet.

7.1.5 Temperaturens påvirkning på brug af vinduer og EnergyFrames

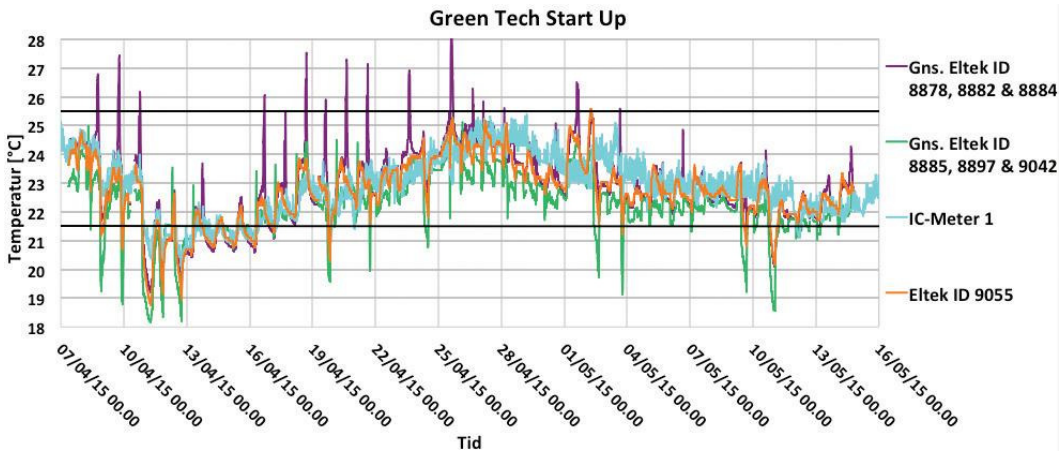
Logbøgerne og temperaturerne bruges til fastlægning af flere forskellige typer interaktioner, som brugerne har med både vindue og EF:

- Kører EF for ved overtemperaturer
- Kører EF fra for at øge varmetilførelsen i rummet
- Åbner vindue ved overtemperaturer
- Lukker vindue ved undertemperaturer

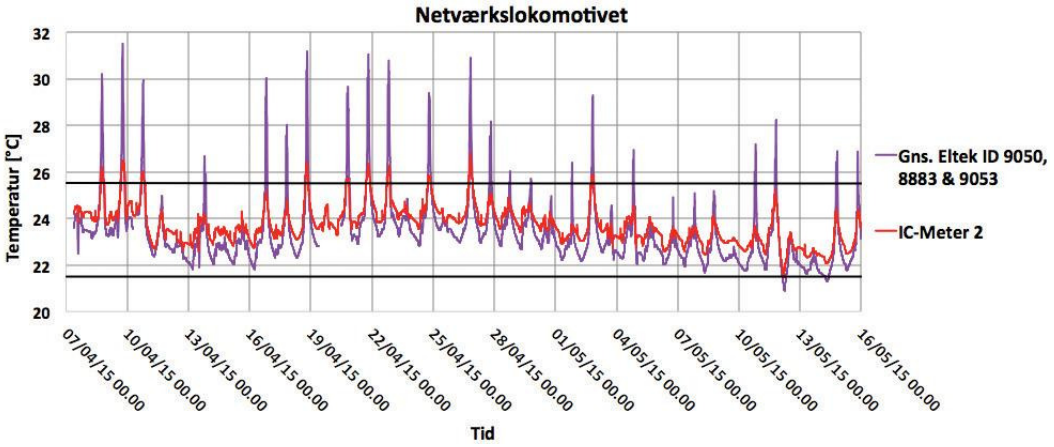
For at analysere temperaturen er det nødvendigt at definere ved hvilken temperatur, der er over- og undertemperatur, hvilket blev foretaget i afsnit 6.3.2. GK bruger et opvarmningssetpoint på 23 °C i brugstiden, og 19 °C uden for brugstid. Ud fra de fundne komforttemperatur på 23,5 °C ± 2 °C for overgangsårstid (forår/efterår) ved brug af brugernes beklædning og aktivitet, er dette i overensstemmelse med GK's setpoint. Det vælges derfor, at undertemperaturer defineres ved 21,5 °C og overtemperaturer ved 25,5 °C vedr. komfort i den pågældende periode.

Over- og undertemperaturer i måleperioden

På figur 7.26 og 7.27 ses temperaturforløbet i hhv. *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*. Det skal bemærkes, at gennemsnittet er taget ved de placeringer, hvor der er placeret Eltek i tre forskellige højder. På figurerne er grænserne på 21,5 °C og 25,5 °C markerede.



Figur 7.26. Temperaturforløb i *Green Tech Start Up*.



Figur 7.27. Temperaturforløb i *Netværkslokomotivet*.

Ved nærmere analyse af temperaturerne findes det, at kun få over- eller undertemperaturer er at spore i brugstiden. Uden for brugstiden opstår der ofte overtemperaturer omkring kl. 17:00 - kl. 18:00 i begge rum ved Eltek-målerne, der er placeret tæt ved et vindue. Dette skyldes en større tilgang af varme fra det indtrængende sollys. Resultaterne for både den originale BSim simulering og de målte Eltek data ses i tabellen 7.7.

	Timer $>$ 25,5 °C		**Timer $<$ 21,5 °C**	
	BSim	Målt	BSim	Målt
Green Tech Start Up	0	3	40	2
Netværkslokomotivet	10	4	10	5

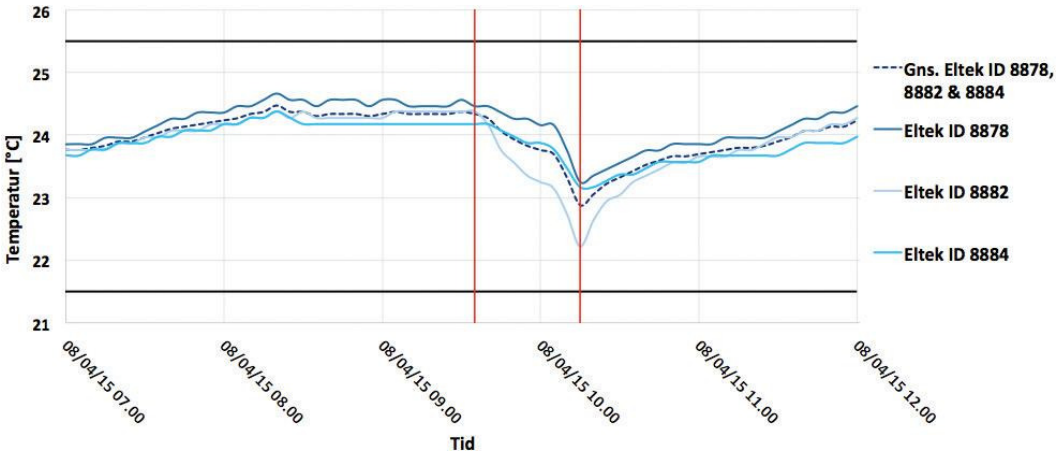
Tabel 7.7. Sammenligning af over- og undertemperaturer i brugstiden i de to lokaler for hhv. den originale BSim og målte data.

Komforten vurderes især at være taget højde for, da de anvendte temperaturresultater for målinger er taget fra positionerne, der er tættest på personerne i rummene. Resultaterne på tværs af simuleringen og de målte data er forholdsvis tætte, da de alle viser et lille antal timer med over- og undertemperaturer. Det skal atter bemærkes, at resultaterne afspejler et antal timer for måleperioden alene, dvs. 5,5 uger. Det betyder, at der på årsbasis vil findes et højere antal timer med over- og undertemperaturer, men det vurderes stadig, at ovenstående resultater indikerer et godt termisk indeklima ift. måleperiodens længde.

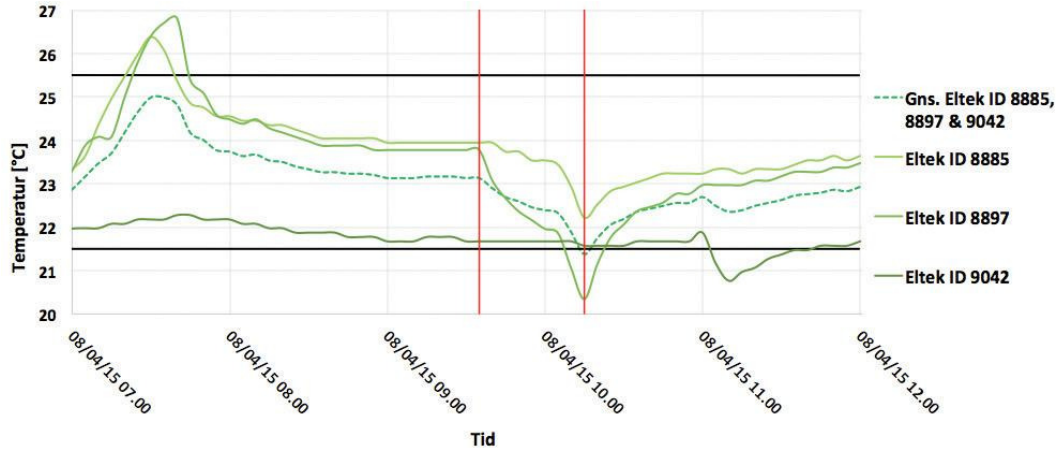
Logbogsføring fra måleperioden

I logbøgerne er der noteret, at der er blevet åbnet (døren D1 i *Green Tech Start Up*) ud til to gange pga. at det er for varmt. Begge tilfælde analyseres videre mht. hvilke indetemperaturer, der forekommer på de pågældende tidspunkter.

Ved video overvågningen er det svært at se blandt to brugere, hvilken der vælger, at der skal åbnes ud til den første gang (d. 08/04), og hvem der vælger, at der skal lukkes igen. Temperaturerne i flere højder er derfor analyseret ved begge brugere ved tidspunktet omkring åbning og lukningen af døren. Dette er illustreret på figurerne 7.28 og 7.29. To røde lodrette streger ved hver figur illustrerer hhv. åbning og lukning.



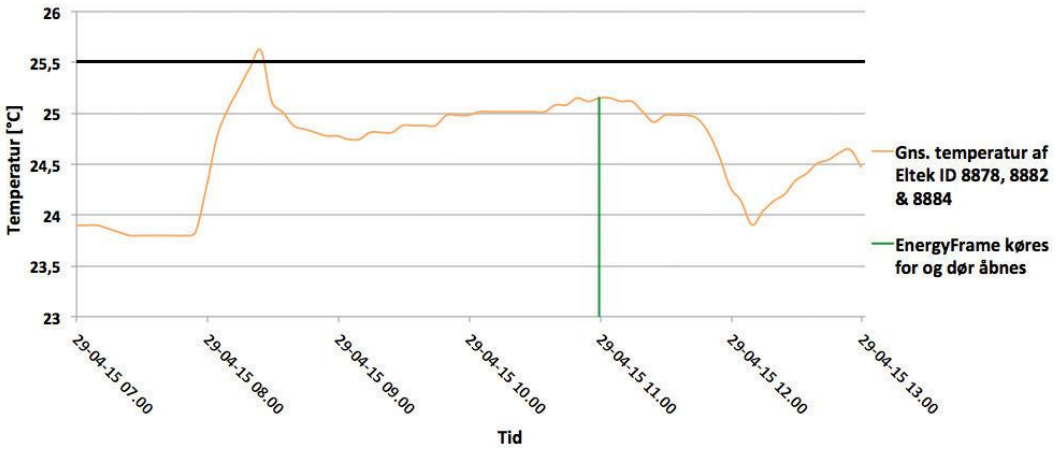
Figur 7.28. Temperaturer omkring tidspunktet med overtemperatur.



Figur 7.29. Temperaturer omkring tidspunktet med overtemperatur.

Det observeres på begge figurer, at temperaturen ikke overskrider 25,5 °C, men brugerne har alligevel haft behov for at køle rummet ned. Ved tidspunktet hvor døren lukkes, ses det, at det kun er ved den ene bruger (figur 7.29), at der opstår temperaturer omkring den nedre temperaturgrænse. Dette sker ved Eltek ID 9042, som er placeret ved fodhøjde (0,1 m). Det vurderes, at denne undertemperatur er grunden til døren lukkes.

Det andet tilfælde analyseres kun ved brugeren tættest på det smalle sydlige vindue, E1. Ved denne bruger er der opstillet tre Eltek-målere. Via dialog med brugeren, fandtes det, at brugeren har åbnet døren og kørt EnergyFrames for på tidspunktet (d. 29/04). Det er værd at bemærke, dette er det eneste tidspunkt, hvor der gøres to tiltag på samme tid ved at regulere manuelt på indeklimaet. Temperaturforløbet vises på figur 7.30, og er givet som gennemsnitstemperaturen af de tre Eltek-målere.



Figur 7.30. Temperaturer omkring tidspunktet med overtemperatur d. 29/04.

Den øvre grænse på 25,5 °C ses næsten at overskrides hen til kl. 11:00, hvor brugeren åbner døren og bruger EnergyFrames for at nedbringe den indre temperatur til et acceptabelt niveau. Grunden til at det først er kl. 11:00 brugeren agerer, er fordi brugeren møder ind på dette tidspunkt. Det vurderes, at solvarmen er grunden til at brugeren føler overtemperatur siden at EF køres for.

Sammenhæng med energibalancen

Målingerne af temperaturerne fra måleperioden med den manuelle styring af EnergyFrames har vist, at der ikke er umiddelbare problemer i brugstiden. Dette skyldes, at ventilationen er med til at køle, og radiatorerne opvarmer. Det er muligt, at brugerne føler, det bliver for varmt, hvis de sidder i direkte sollys. Det vil være muligt at lave en styringsstrategi i kombination med blændingsgener for at undgå dette.

Der findes ofte ved solrige dage særdeles høje temperaturer uden for brugstiden, efter brugerne er tager hjem om eftermiddagen og frem mod aften. Det er en mulighed at medtage denne observation i en evt. styringsstrategi. Dette er dog mere med henblik på besparelser på energi og vil grundigere undersøges i kapitel 8.

7.1.6 Alternative logbogsanvendelser

I dette afsnit vil de resterende brugerbegrundelser fra logbogen (tabel 7.1) blive behandlet, samt hvilke begrundelser der ligger til grund bag svarene *andet* i tabel 7.2 på side 81.

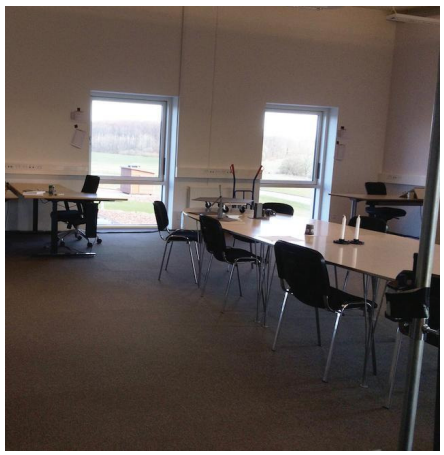
Privathed

Det har ikke været observeret, at brugerne anvender afskærmningen for at føle privathed, imens de arbejder. I *Netværkslokomotivet* er vinduerne placeret ud til græsarealer og skov, hvor der normalt ikke befinder sig personer. Dette medfører, at der med stor sandsynlighed allerede føles privathed uden afskærmningen. I *Green Tech Start Up* er det begrænset, hvor meget folk kan se ind. Det er kun ved de arbejdspladser der ikke på nuværende tidspunkter er optagede, at det vil være tilfældet. Derfor vil faktoren *privatisering* forkastes.

Lys og udsyn

Der observeres tre tidspunkter ved to vinduer, hvor afskærmning er kørt fra grundet et ønske vedr. mere lys og udsyn. Dette er sket efter der i første omgang er kørt afskærmning for grundet blændingsgener. Selvom det er muligt at se igennem EnergyFrames, når de er kørt for, har det ikke været i et tilstrækkeligt omfang. Det er heller ikke registreret, at nedbør har gjort skærmene næsten ugennemselige.

Ved snak med brugeren der kørte skærmene fra blev det oplyst, at det muligvis kunne være blevet gjort tidligere, men grundet en længere afstand mellem arbejdsplads og vinduer, har brugeren ikke "gidet" før det blev strengt nødvendigt. Afstanden til de omtalte vinduer fra brugerens arbejdsplads er vist på figur 7.31 (10 m).



Figur 7.31. Afstand til vinduer fra arbejdsplads.

En styringsstrategi er fordelagtig i denne situation. Efter blændingsgenerne er bortskaffet, kan varme fra solen stadig trænge ind gennem vinduet ved behov for opvarmning, hvis afskærmningen køres fra.

Støj

Der er ingen tilfælde af, at støj har været grunden til at lukke et vindue til trods for en nærliggende motorvej. Siden det akustiske indeklima ikke nærmere undersøges, er det ikke muligt at vurdere, om der opstår andre støjgener. Støjgener undersøges derfor ikke videre, da ingen problemer med denne faktor er noteret i logbogen.

Andre begrundelser

Det er flere gange vurderet, at der er brugt andre begrundelser end de i forvejen foreslåede til en brugerinteraktion enten med EF eller vinduer. Det drejer sig om lukning af vinduer og brug af døren. Fra video overvågning skyldes det mht. vinduet, at brugerne enten går hjem eller til pause. Åbning og lukning af døren skyldes frisk luft, rygepause e.l. Disse oplysninger er ikke videre brugbare til udvikling af styringsstrategier.

7.2 Forventningsafstemning og brugernes forslag til forbedring

Grundet det lave antal af brugere i de to lokale er det valgt ikke at lave et nyt spørgeskema, men i stedet at interviewe dem.

Ved brugernes indflytning i kontorerne blev ingen introduktion præsenteret, hvilket kan være skyld i, at brugerne ikke føler, at de selv har mulighed for selv at styre EnergyFrames. Brugerne i *Netværkslokomotivet* havde indtil videre ikke oplevet tidspunkter, hvor det har været nødvendigt at bruge EnergyFrames, og har derfor ingen holdning til anvendelse af dem.

EnergyFrames havde været i brug få gange i *Green Tech Start Up*, hvor der opleveles situationer med blænding. Brugerne fortalte ved forventningsafstemningen, at de ville ønske et automatisk system, så de ikke blev afbrudt i arbejdet grundet, at de skulle rejse sig og ændre på afskærmningen. En applikation på computeren, hvor afskærmningen kunne styres fra ville samtidigt være en simpel og tilfredsstillende løsning. Brugerne tilføjede, at der var en begrænsning af antal personer i lokalet før applikationen ville fungere, for ved flere personer vil sandsynligheden for konflikter øges. Ved nuværende tilstand med blot to brugere i lokalet vil det være en god løsning.

Energibalance ved manuel styringsperiode 8

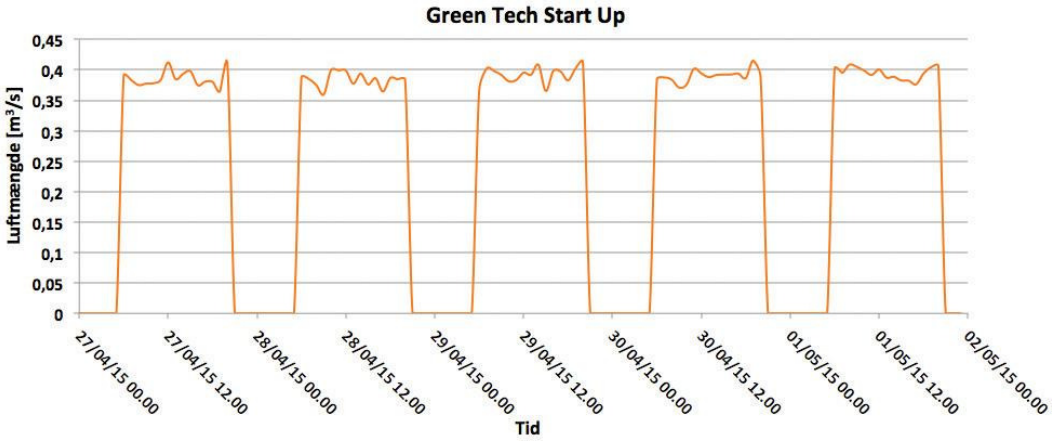
I dette kapitel undersøges de energimæssige aspekter fra målingerne til at opstille energibalancen for *Netværkslokomotivet* og *Green Tech Start Up*. Det er nødvendigt at lave en energibalance for at finde frem til besparelser eller forøgelser af energiforbruget til en sammenligning med en automatisk styringsstrategi. Efter energibalancen er lavet, valideres BSim modellen ved brug af målte data fra måleperioden.

8.1 Energibalance

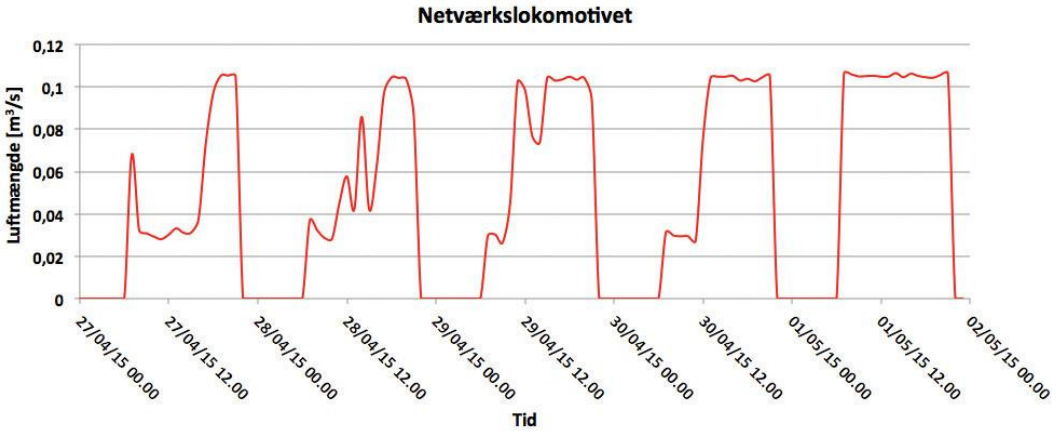
I denne del undersøges de nødvendige parametre til beregning af energibalancen, og hvordan EnergyFrames kan påvirke energiforbruget. For at gøre det mere overskueligt vises kun repræsentative udsnit af målinger fra måleperioden i afsnittene 8.1.1 - 8.1.7. Alle præsenterede grafer og udregninger stammer fra appendiks A.10, hvis ikke andet nævnes.

8.1.1 Ventilation

I dette afsnit bliver ventilationen i de to lokaler undersøgt. For at give et bedre overblik over processen af ventilationen, er der vist et udsnit af ventilationen for dagene fra d. 27/04 til d. 02/05 illustreret på figurerne 8.1 og 8.2 for hhv. *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*.



Figur 8.1. Ventilationsraten (timebasis) i *Green Tech Start Up* i perioden d. 27/04 - d. 02/05.



Figur 8.2. Ventilationsraten (timebasis) i *Netværkslokomotivet* i perioden d. 27/04 - d. 02/05.

For begge lokaler er der perioder, hvor ventilationsraten er nul, hvilket er når systemet er slukket. På figur 8.1 ses det i *Green Tech Start Up*, at der umiddelbart kun bruges to niveauer i denne periode, hvilket enten er helt slukket eller en standardindstilling på ca. 0,38 $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$. Forløbet af ventilationsraten for *Netværkslokomotivet* illustreret på figur 8.2 viser derimod flere niveauer. I perioden observeres ventilationssystemet at være helt slukket uden for driftstiden, og det kører med en standardindstilling på ca. 0,03 $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$ og et højere niveau på 0,105 $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$.

Det har ikke været registreret i måleperioden, at *Green Tech Start Up* har kørt i et højere niveau end standardindstillingen. Ved brug af kategori A i CR1752, som også bruges til luftforurening i afsnit 7.1.3, findes det, at den påkrævede ventilationsrate pr. person er 10 $\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}}$ svarende til 0,01 $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$ [CEN Report, 1998]. Det vil sige, at ved standardindstillingen er der dimensioneret til 38 personer i *Green Tech Start Up*, hvilket er langt fra virkelighedens personbelastning.

I kapitel 5 er det registreret, at lokalet oprindeligt var tiltænkt som et undervisningslokale, der vil give langt større personbelastning end ved nuværende brug. Grunden til ventilationen kører med store luftmængder kan skyldes, at der siden bygningen blev projekteres ikke er blevet fulgt op på, hvordan den reelle funktionalitet af *Living Lab* blev. Siden styringen herefter heller ikke er blevet ændret kan det skyldes de økonomiske udgifter, der findes ved implementeringer og ændringer af ventilationsstyringen.

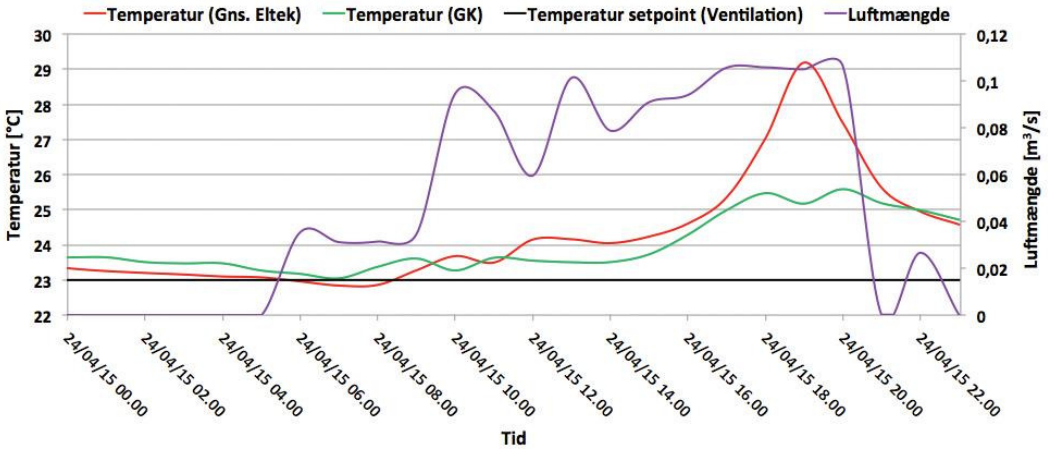
I *Netværkslokomotivet* er der dimensioneret til tre personer ved standardindstillingen og ca. 11 personer ved det højeste niveau.

Driftstid af ventilationssystemet

Som tidligere nævnt er der perioder, hvor systemet ikke ventilerer. Dette undersøges nærmere, da det er en vigtig oplysning, som skal bruges, når måleperioden skal valideres i BSim. Det viser sig at driftstiden i hverdagene er fra kl. 05:00 - kl. 20:00. Ved analyse af data er tilfælde fundet, hvor ventilationen er tændt i weekenderne. Det er tilfældige situationer uden sammenhæng. Til valideringen i BSim inkluderes disse situationer i simuleringerne. Ved beregninger i del III er det besluttet at ekskludere driftstid i weekenderne, da mønstret ikke kan eftervises på årsbasis.

Ventilationens højeste niveau

Tidligere blev det vist på figur 8.2, at der i *Netværkslokomotivet* er tilfælde med et højere niveau end standardindstillingen for ventilationssystemet. Fra GK's oplysninger findes det, at ventilationssystemet har et setpoint på 23 °C og 800 ppm [Green Tech Center, 2015]. Af denne grund undersøges temperaturen i lokalet på en dag, hvor ventilationen er på den maksimale ydelse. På figur 8.3 ses d. 24/04, hvor ventilationen overstiger standardindstillingen kl. 09:00. Temperaturerne er vist både ved et gennemsnit af Eltek-målerne samt GK's egne målinger, hvilket ventilationen er styret efter.

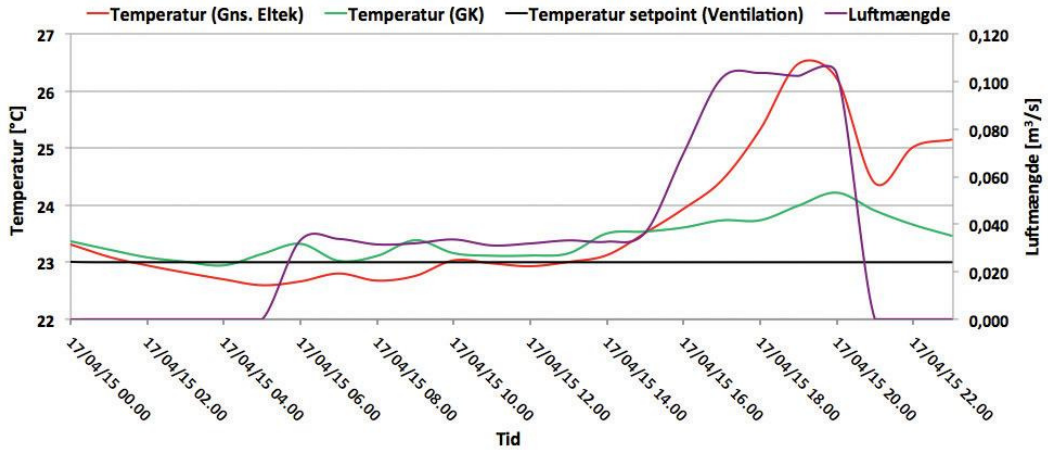


Figur 8.3. Sammenligning mellem temperaturer og luftmængde (timebasis) d. 24/04 i *Netværkslokomotivet.*

På figur 8.3 ses det, at temperaturen overstiger 23 °C ved begge temperaturmålere, hvilket forklarer den høje ventilationsmængde. Det ligner på figuren, at det reelle setpoint ligger på 23,5 °C, da det først er ved denne temperatur, ventilationsmængden forøges. I øvrigt overstiger temperaturen allerede 23 °C fra tidspunktet ventilationen tændes baseret på GK's egne målinger. Da målingerne er på timebasis, medfører det også en usikkerhed. Muligvis er ventilationssystemet installeret til først at ventilere ved højt niveau efter kl. 09:00. Der er ikke observeret lignende tilfælde med den maksimale ydelse af ventilation om morgenen til sammenligning.

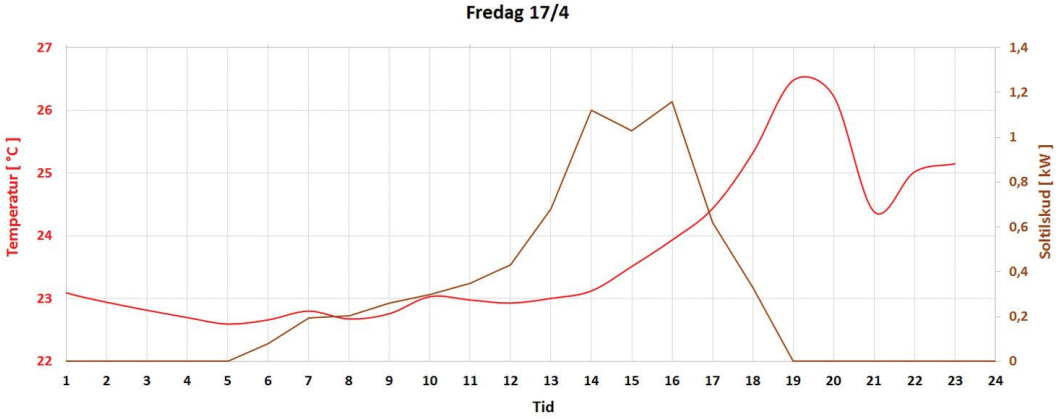
Tidligere blev det oplyst, at ventilationen i *Netværkslokomotivet* har en standardindstilling svarende til ventilation for tre personer. Ved undersøgelse af persontilstedeværelsen d. 24/04 findes det, at fire personer er tilstede, hvilket giver belæg for den høje ventilationsmængde. Mere information vedr. tilstedeværelsen i afsnit 8.1.7.

Det højeste ventilationsniveau skyldes ikke blot en høj personbelastning, men også andre faktorer. Figur 8.4 viser, at den høje ventilationsmængde indtræf d. 17/04 fra kl. 15:00, hvor ingen personer var tilstede.



Figur 8.4. Sammenligning mellem temperaturer og luftmængde (timebasis) d. 17/04 i *Netværkslokomotivet.*

Det ses igen på GK's målte temperaturer, at temperaturen overstiger 23 °C størstedelen af dagen og yderligere kl. 13:00, hvilket er to timer før ventilationsmængden stiger. Selvom ventilationsmængden styres efter GK's data, ses det at Eltek-målerne faktisk stemmer bedre overens med forløbet af ventilationsmængden. Det observeres atter, at ventilationsmængden forøges ved 23,5 °C, og det bekræfter yderligere teorien om, at det reelle setpoint for ventilationens forøgede luftmængde er 23,5 °C. Grunden til den høje temperatur skyldes i dette tilfælde solvarmetilskuddet, som er illustreret for vestfacaden på den samme dato.



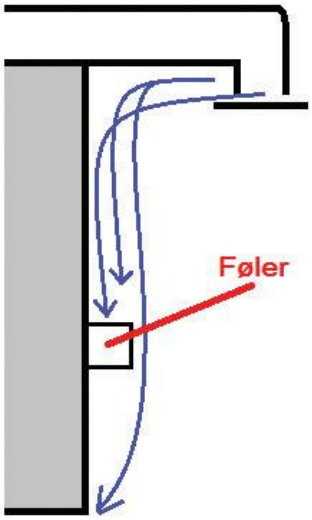
Figur 8.5. Temperaturforløb og solvarmetilskud på vestfacade.

Det ses, at solvarmetilskuddet følger indetemperaturens forløb dog med et tidsinterval forud. Det konkluderes derfor, at der er tilfælde, hvor ventilationsniveauet forøges, da temperaturen øges pga. tilskud fra solen. Denne oplysning er meget nyttig til en kommende styringsstrategi, da EnergyFrames kan forhindre en stor del af solstrålingens indtrængen. En gevinst af dette er en energibesparelse, da ventilationsmængden ikke behøver at stige til det høje niveau.

Placering af temperaturføler

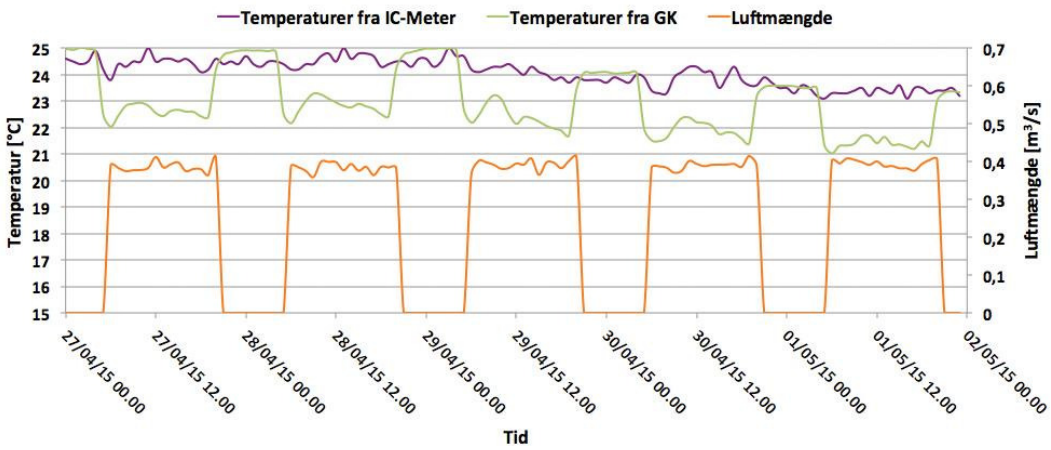
En væsentlig praktisk observation blev foretaget i *Green Tech Start Up* mht. ventilationens styring efter temperatursetpointet. Temperaturføleren for GK er placeret på en væg, hvor det observeres, at den indblæste luft fra ventilationen dominerer følerens temperaturregistrering fra rummet. Placeringen af føleren sidder nede af en væg, hvor der foroven at denne væg er et

indblæsningsarmatur, der blæser luft ind, som da falder direkte ned langs væggen og derfor påvirker måleren. Det kan i sidste ende medføre en fejlagtig styring, da det ikke er en repræsentativ temperatur fra rummet eller for en person. En simpel illustration af scenariet vises på figur 8.6.



Figur 8.6. Følerpåvirkning af ventilationsluft.

En graf for temperaturer i perioden fra d. 27/04 til d. 02/05 vises på figur 8.7. Formålet med grafen er at vise, om der opstår modstridende temperaturer, der i en ventilationsmæssig sammenhæng medfører ukorrekte ventilationsmængder ift. den virkelige situation for brugerne. Det vælges at medtage temperaturforløbet for IC-meteret, da denne i mindst omfang udsættes for ventilerende luftstrømme og solstråler.

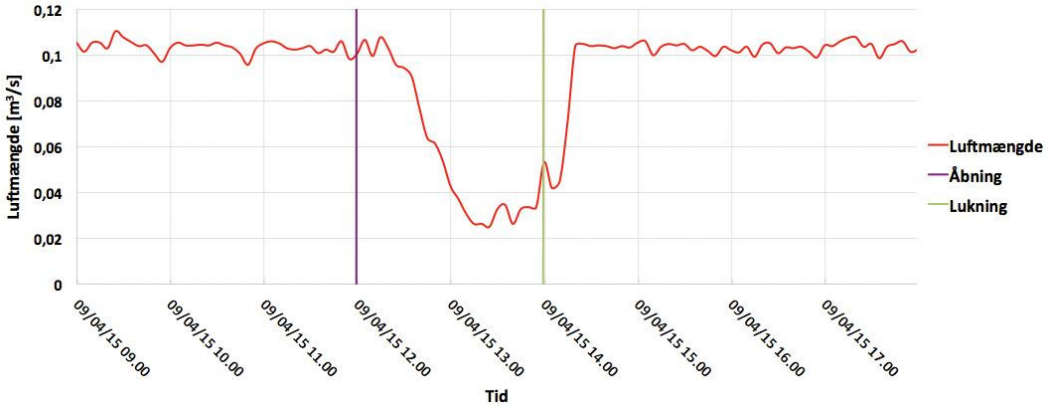


Figur 8.7. Graf fra d. 27/04 til d. 02/05 der viser temperaturforløb og ventilationsmængde.

Det ses, at de to temperaturer ikke er ens i dagtimerne, men er forholdsvis ens i nattetimerne. Det giver anledning til at tro, at føleren påvirkes af den indblæste luft. Det betyder, at der ikke ventileres mere, selvom behovet for køling kan være tilstede, da den ikke registrerer de højere temperaturer i dagtimerne, som eksempelvis IC-metret gør.

Ventilationspåvirkning af manuelt styrede vinduer

Det er observeret, at ventilationssystemet kører ned på den lavere standardindstilling, når blot et vindue åbnes i *Netværkslokomotiv*. På figur 8.8 er et eksempel givet for d. 09/04 kl. 09:00 - 18:00.



Figur 8.8. Ventilationsniveau for d. 09/04 kl. 09:00 - 18:00 inkl. åbning og lukning af vindue.

Selve måden og graden vinduet åbnes på spiller ingen rolle mht., om ventilationssystemet kører ned på standardindstillingen, hvis ventilationen kører på det højeste niveau. Vinduet i dette tilfælde er det mindste i lokalet og indad kippes kun en smule fra oven. Derfor er systemet tilsyneladende følsomt, da det kan formodes, at den friske udefrakommende luft gennem vinduet ikke opretholder niveauet, som ventilationssystemet gør. Til gengæld nedsættes energiforbruget ved at ventilere mindre.

Ventilationssystemet ses dog yderligere at have en foranstaltning, der gør, at det heller ikke er for følsomt. Både ved åbning og lukning af vinduet, observeres det, at der er en forsinkelse på ca. 15 min før ventilationssystemet agerer. Derved undgås det, at ventilationen ikke konstant kører ned og op i niveau, da den til en vis grad sikrer, at ingen efterfølgende vinduesåbning eller -lukning indtræffer umiddelbart efter.

8.1.2 Infiltration

Infiltrationsraten er fundet ved, at ventilationsanlægget er slukket fra sen eftermiddag til tidlig morgen jvf. afsnit 8.1.1. I perioden med et slukket ventilationssystem og tomme lokaler kan infiltrationen findes i rummene, da den eneste lufttilførsel eller -fjernelse til rummet er via utæthederne ud til og tilstødende lokaler i klimaskærmen for de pågældende lokaler. Det betyder, at ved analyse af CO_2-forløbet kan infiltrationen bestemmes ved brug af fortyndingsligningen. En grundigere uddybelse af fortyndingsligningen samt den brugte metode findes i appendiks I. Det skal bemærkes, at resultatet ved denne fremgangsmåde er infiltrationen uden for brugstiden.

Der er brugt tre forskellige kilders målinger til at bestemme infiltrationsraten:

- IC-meter
- GK
- Eltek

Grunden til, at flere forskellige datasæt er brugt er konsekvensen af en stor følsomhed ved brugen af fortyndingsligningen. Ved aflæsning af CO_2 henfaldet på grafer kan fejlkilder opstå. Hvis CO_2-niveauet ikke falder uden forstyrrelser i CO_2-niveauet, opstår afvigelser, som får stor betydning ved beregning af små værdier som infiltrationen. Dette er vist med et eksempel i appendiks I. For at præcisere resultatet er flere analyser pr. kilde brugt for hvert lokale.

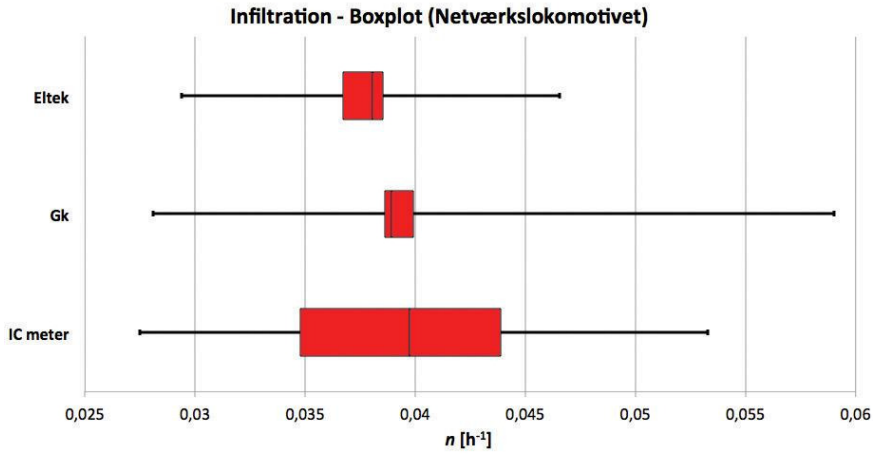
De udvalgte dage til analyserne er valgt på baggrund af observationer af et eksponentielt CO_2 henfald. Ofte er startkoncentrationen valgt omkring kl. 22:00, hvor vinden ofte stilner af og

stabiliseres, hvorefter analyser af forløbene kan foretages. Slutkoncentrationen vælges hyppigst omkring kl. 04:00, inden ventilationen startes op igen. I alt er følgende antal analyser lavet med brug af de forskellige kilder i lokalerne:

- *Netværkslokomotivet*
  - IC-Meter: 16 analyser
  - GK: 11 analyser
  - Eltek: 10 analyser

- *Green Tech Start Up*
  - IC-Meter: 13 analyser
  - GK: 10 analyser
  - Eltek: 10 analyser

Det skal bemærkes, at analyserne er lavet for forskellige dage, hvilket vil sige at ikke alle dage overlapper. Dette er gjort, da der f.eks. kan være en dag, hvor målingerne fra Eltek giver et tydeligt CO_2 henfald, hvor GK ikke gør. For at vise variationen af resultaterne for infiltrationen er et boxplot lavet. Boxplottet på figur 8.9 illustrerer spredningen af beregnede infiltrationsrater for *Netværkslokomotivet*. Boxplottet for *Green Tech Start Up* findes i appendiks I, og har meget ensartede resultater.



Figur 8.9. Boxplot af spredningen af fundne infiltrationsrater i *Netværkslokomotivet*.

Boxplottet viser, at variationen af de beregnede infiltrationsrater er forholdsvis store. Resultaterne fra IC-metret viser en meget lige fordeling på de dage, der er benyttet. Det ses, at ved brug af GK's målinger er 50 % af infiltrationsraterne samlet inden for et interval på 0,002 h^{-1}, men der findes stadig en stor spredning for de sidste 50 %. Eltek viser den mindste spredning ift. de andre. Det skal haves i mente, at analyserne er lavet over forskellige dage med forskellige vejrforhold, men det ses dog i resultaterne (appendiks A.14) at de dage, hvor ekstremerne forekommer, er alle tre kilder brugt.

Påvirkning fra mikroklima

For at undersøge grunden til variationen af infiltrationsraten er flere parametre undersøgt. Der er undersøgt for vindhastighed og -retning samt temperaturforskellen mellem inde og ude.

Vindhastighederne, V_{vind}, og vindorienteringen, $\oplus_{vind}$, er fundet ved brug af vejrstationen. Værdierne er en gennemsnitsværdi over den samme periode som for CO_2 henfaldet. Temperaturerforskel-

lene, ΔT, er ligeså en gennemsnitsværdi fra GK. Data fra GK er valgt, da det er den eneste kilde til udetemperaturer. I tabellerne 8.1 og 8.2 er sammenligning mellem infiltrationen og vejrdata listet. Tabellerne er udført som en farveskala sortering, hvor grøn er den laveste værdi og rød er den højeste. Det er kun søjlen med infiltrationen, n, der er sorteret efter værdi.

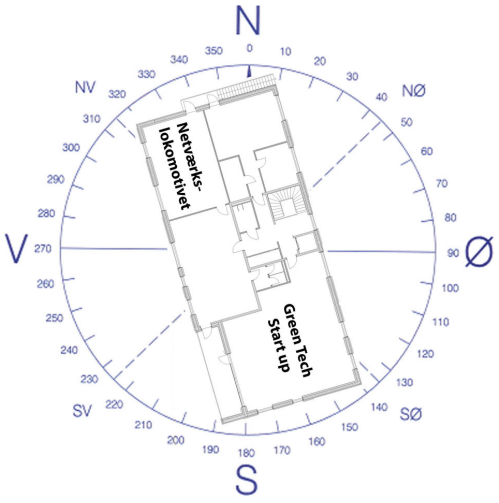
IC-meter			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0275	190	1,3	20,52
0,0306	270	3,8	21,50
0,0310	320	3,6	23,97
0,0341	265	3,5	23,15
0,0350	290	7,0	17,98
0,0368	120	1,4	18,78
0,0393	250	2,7	23,17
0,0397	260	2,1	19,93
0,0398	230	2,9	15,40
0,0400	250	4,8	18,60
0,0401	290	5,2	22,90
0,0429	290	6,2	18,13
0,0469	290	7,0	17,38
0,0473	230	2,3	21,18
0,0479	315	3,7	17,47
0,0533	300	5,3	18,90

GK			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0281	190	1,3	20,52
0,0336	265	2,0	19,38
0,0386	230	2,9	15,40
0,0387	270	3,8	21,50
0,0389	265	3,5	23,15
0,0389	250	2,7	23,17
0,0391	290	5,2	22,90
0,0398	315	3,7	17,47
0,0400	250	4,8	18,60
0,0450	210	3,1	19,66
0,0590	300	5,3	18,90

Eltek			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0294	120	1,4	18,78
0,0333	230	2,9	15,40
0,0367	260	2,1	19,93
0,0368	270	3,8	21,50
0,0379	250	4,8	18,60
0,0382	290	6,2	18,13
0,0385	290	7,0	17,38
0,0385	265	3,5	23,15
0,0389	290	5,2	22,90
0,0466	300	5,3	18,90

Tabel 8.1. Sammenhæng mellem infiltration og vejrdata i *Netværkslokomotivet*.

Tabel 8.1 viser en sammenhæng for infiltrationen i *Netværkslokomotivet* mellem størrelsen af infiltrationen og vejrdata. Især vindorienteringen og -hastigheden giver tydelige resultater. Det observeres, at ved de højeste infiltrationsrater er orienteringen af vinden ofte omkring 290° - 300°. Denne orientering svarer til, at det er forholdsvis direkte vind på *Netværkslokomotivet*, hvilket illustreres på figur 8.10.



Figur 8.10. Orientering for *Living Lab*.

Det observeres samtidig i tabel 8.1, at det er ved de største vindhastigheder, at infiltrationsraten er størst. Vindrosen, der blev præsenteret i afsnit 7.1.1, viser også at vindene hovedsageligt kommer fra vestlige retninger for vejrstationen.

Umiddelbart er der ingen tendenser at spore ved temperaturforskellen. Ved IC-meteret er de laveste temperaturforskelle ved de højeste infiltrationsrater. Dette er dog ikke tilfældet ved GK og Eltek. Det vurderes, at vindfaktorerne påvirker mere end temperaturforskellen, og derfor minimeres temperaturforskellens betydning.

IC-meter			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0264	320	3,6	23,48
0,0282	290	5,2	22,42
0,0285	95	1,7	19,32
0,0288	230	2,9	13,40
0,0292	250	4,8	16,35
0,0309	260	2,1	18,35
0,0322	290	6,2	16,03
0,0384	290	7,0	15,48
0,0414	150	4,0	17,80
0,0429	255	3,8	18,95
0,0453	230	2,3	19,22
0,0479	300	5,3	17,08
0,0497	210	3,1	20,15

GK			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0226	250	4,8	16,35
0,0263	230	2,9	13,40
0,0324	210	3,6	16,72
0,0325	290	5,2	22,42
0,0327	190	1,3	20,45
0,0334	250	2,7	22,87
0,0348	290	7,0	15,48
0,0354	315	3,7	15,93
0,0421	300	5,3	17,08
0,0421	210	3,1	20,15

Eltek			
n [h^{-1}]	$\oplus_{vind}$ [°]	V_{vind} [$\frac{m}{s}$]	ΔT [°C]
0,0228	230	2,9	13,40
0,0267	270	3,8	21,42
0,0278	290	6,2	16,03
0,0281	290	7,0	15,48
0,0282	265	2,0	17,65
0,0285	290	5,2	22,42
0,0294	265	3,5	22,93
0,0315	120	1,4	17,43
0,0348	230	2,3	19,22
0,0356	300	5,3	17,08

Tabel 8.2. Sammenhæng mellem infiltration og vejrdata i *Green Tech Start Up*.

Ved *Green Tech Start Up* er det sværere at finde en sammenhæng mellem infiltrationen og vejrdata. Dette lokale støder op til tre udadvendte facader, og der kan forekomme adskillelige trykfordelinger på disse facader, som giver komplicerede kombinationer af vejrdata.

Infiltration til videre brug

Det vælges at bruge en gennemsnitsværdi fra samtlige analyser, da det vurderes at jo flere analyser, desto mere virkelighedstro bliver resultatet. Infiltrationen skal senere bruges til at validere målingerne i BSim i afsnit 8.2. Infiltrationerne uden for brugstiden udregnes til:

- *Netværkslokomotivet* : 0,0386 h^{-1}
- *Green Tech Start Up* : 0,0330 h^{-1}

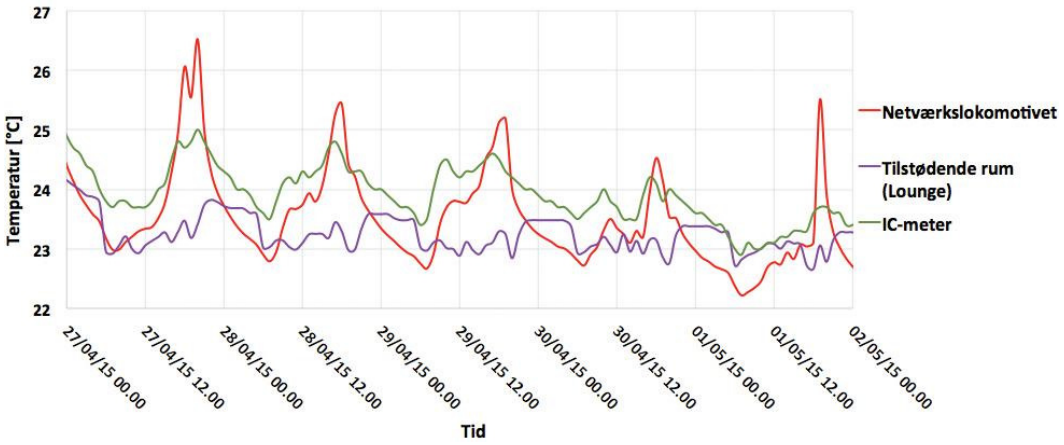
Disse værdier forekommer realistiske, da de opfylder kravene for Lavenergiklasse 2015, som svarer til hhv. 0,0926 h^{-1} for *Netværkslokomotivet* og 0,0524 h^{-1} for *Green Tech Start Up*, hvis alle facader vender ud til. Det vil sige, at værdierne ikke direkte sammenlignes, men bruges som vejledende værdier. Beregningerne til kravet ses i appendiks I.

Værdierne for infiltrationen i brugstiden vurderes til at være det samme som uden for brugstiden. Dette begrundes ved, at i SBi 213 bruges faktoren 0,04 som forskel mellem infiltrationen uden for og i brugstiden [Aggerholm og Grau, 2011]. Denne faktor tager højde for at brugerne åbner vinduerne i brugstiden. Dette vil senere i afsnit 8.2 manuelt indtastes i BSim valideringen da de præcise tidspunkter vinduerne er åbne i kendes, og derfor bruges faktoren ikke.

8.1.3 Temperatur i tilstødende rum

Transmissionstabet for *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* udregnes ud fra kendskab til udetemperaturen og U-værdien for de udadvendte facader. For at kunne opstille en præcis energibalance for lokalerne, skal et muligt transmissionstab til tilstødende lokaler undersøges.

Temperaturerne for de tilstødende lokaler til *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* bliver målt med Eltek-temperaturmålere. På figur 8.11 ses temperaturen i et udsnit af måleperioden for *Netværkslokomotivet* samt for det tilstødende fælleslokale. Det bemærkes, at temperaturer i tilstødende rum i BSim modellen er sat til at følge samme temperaturer, som den forløber i *Netværkslokomotivet* eller *Green Tech Start Up* afhængigt af hvilket rum, der stødes op til.

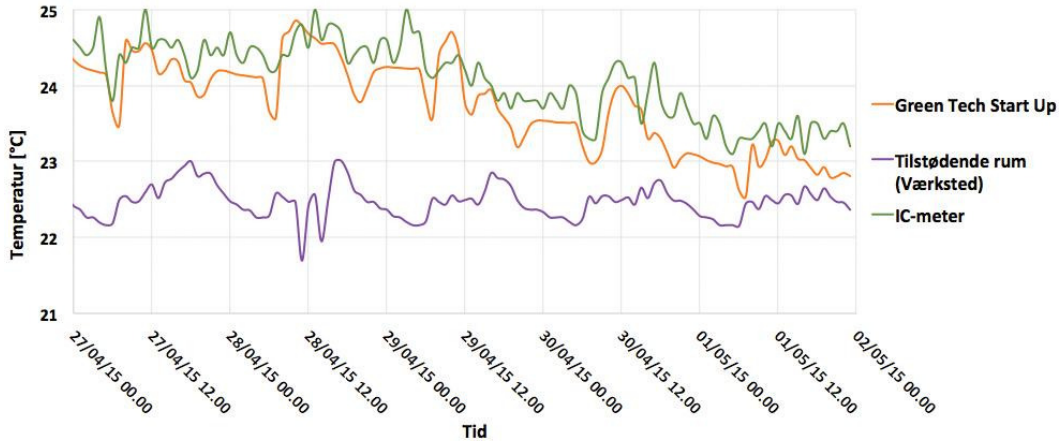


Figur 8.11. Temperaturer for *Netværkslokomotivet* og tilstødende rum.

På figur 8.11 ses tre kurver, en for gennemsnittet af de tre Eltek-målere inde i *Netværkslokomotivet*, og en for IC-meteret i *Netværkslokomotivet*. Den sidste er for det tilstødende rum ved siden af *Netværkslokomotivet*. Data anvendt i grafen er for en repræsentativ tidsperiode.

Temperaturen for Eltek-målerne i *Netværkslokomotivet* giver et misvisende resultat, da den høje temperatur skyldes, at Eltek-målerne bliver udsat for direkte solstråling. IC-meteret sidder på væggen bagerst i rummet og bliver derfor ikke udsat for den direkte solstråling og giver dermed et mere pålideligt resultat i denne sammenhæng. Der ses på figur 8.11, at der er en difference mellem temperaturen i *Netværkslokomotivet* og det tilstødende rum. Der vil dermed forekomme et transmissiontab, som bør tages højde for i en energibalance beregning.

På figur 8.12 ses tre kurver, der viser sammenligning mellem *Green Tech Start Up* og tilstødende rum. Gennemsnittet af temperaturerne for Eltek-målerne er anvendt til at få en gennemsnitlig temperatur for rummet. Data anvendt i grafen er for en repræsentativ periode over fem dage.



Figur 8.12. Temperaturere for *Green Tech Start Up* og tilstødende rum.

På figur 8.12 ses det, at målingerne for Eltek og IC-meteret stemmer vel overens, og varierer mellem 22,5 °C og 25 °C. Temperaturen i det tilstødende lokale, som er lokalet under *Green Tech Start Up*, ligger mere stabilt og variere kun mellem 21,7 °C og 23 °C. Dette afspejler meget godt temperaturen i hverdagene for det tilstødende rum, mens i weekenderne falder temperaturen til omkring 21 °C.

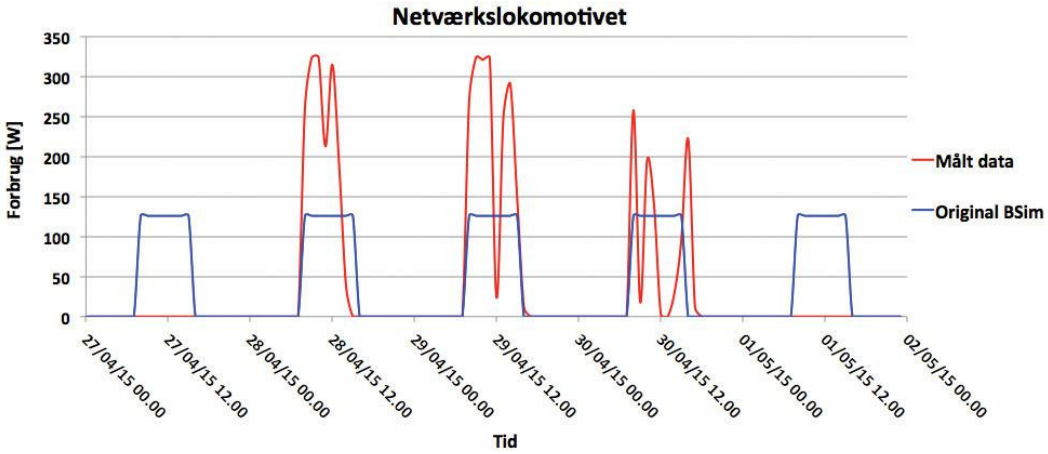
De tilstødende lokaler til *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* er ikke belastet på samme måde og vil derfor ofte være køligere i sommerperioden, og dermed have en kølende effekt på *Green*

Tech Start Up og *Netværkslokomotivet*. Dette kan være med til at mindske antallet af timer med overtempereaturer og kølebehovet i en simulering af bygningen.

8.1.4 Belysning

Belysningen i *Living Lab* er automatisk styret, da styringen er efter en bevægelsessensor, der slukker lyset, hvis ikke der er bevægelse i lokalet i syv min.

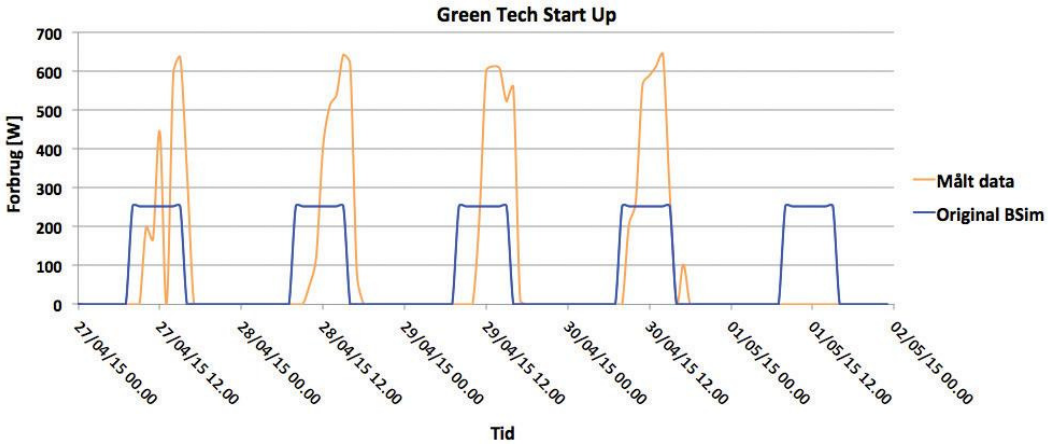
Til observering af belysningen i *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*, er der forbundet en impulstæller på en lampe i hvert lokale. Impulstælleren er forbundet til et logge-udstyr, der logger hvert femte min., også kaldet BTR (afsnit 6.2.6). Strømforbruget til belysningen kan dermed måles. På figur 8.13 ses strømforbruget til belysning inde i *Netværkslokomotivet*, hvor BSims simuleringer er inkluderet til sammenligning. Målingen med impulstælleren giver et strømforbrug for én lampe, som multipliceres med seks, som er antallet af lamper i *Netværkslokomotivet*.



Figur 8.13. Udsnit af strømforbrug til belysning i *Netværkslokomotivet* i måleperioden.

Figur 8.13 viser strømforbruget for en repræsentativ arbejdsuge (mandag - fredag), hvor det ses, at lokalet kun anvendes i tre af de fem arbejdsdage i dette tilfælde. Når lokalet anvendes, er strømforbruget på omkring 325 W, og uden for brugstiden anvendes der intet strøm til belysning i *Netværkslokomotivet*. Data brugt til grafen, er målingerne omregnet til et gennemsnitligt strømforbrug på timebasis. Derfor vil forbruget ikke altid være 325 W, da lokalet ikke nødvendigvis er i brug hele timen. Det bemærkes, at forbruget for de målte data er markant større end det forventede fra den originale BSim model. Samtidig viser forløbet at forbruget af belysningen for de data et langt mere tilfældigt forløb.

Målingerne i *Green Tech Start Up* forgår på samme måde, og på figur 8.14 ses strømforbruget for lokalet over en arbejdsuge. Tidsperioden hvor der er folk i *Green Tech Start Up* varierer meget, og der er aldrig to uger der er ens. Figur 8.14 viser en arbejdsuge (mandag - fredag), hvor brugerne benytter lokalet i fire ud af fem dage. Der er ligheder mellem forholdet af målte data og BSim modellen for *Netværkslokomotivet*.



Figur 8.14. Udsnit af strømforbrug til belysning i *Green Tech Start Up* i måleperioden.

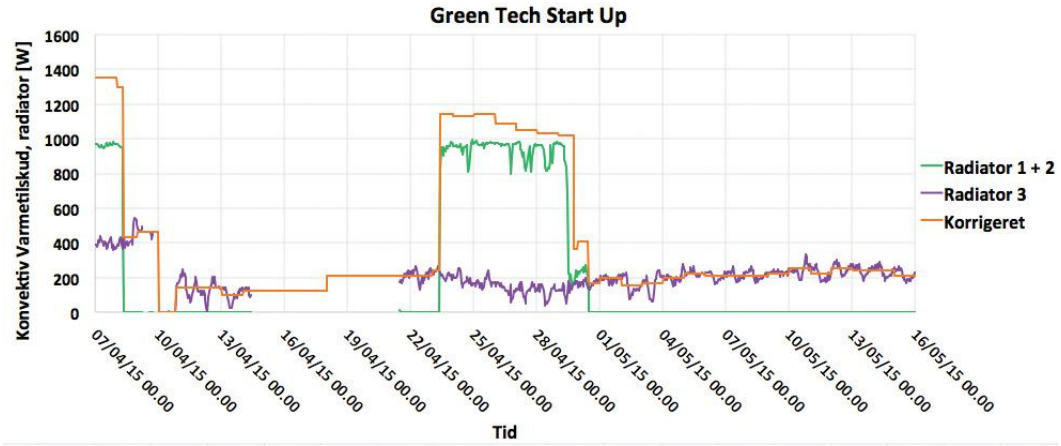
I *Green Tech Start Up* befinder der sig 12 lamper, så målingerne der logges fra impulstælleren ganges op, således det stemmer overens med det samlede strømforbrug, der går til belysning i lokalet.

8.1.5 Opvarmning

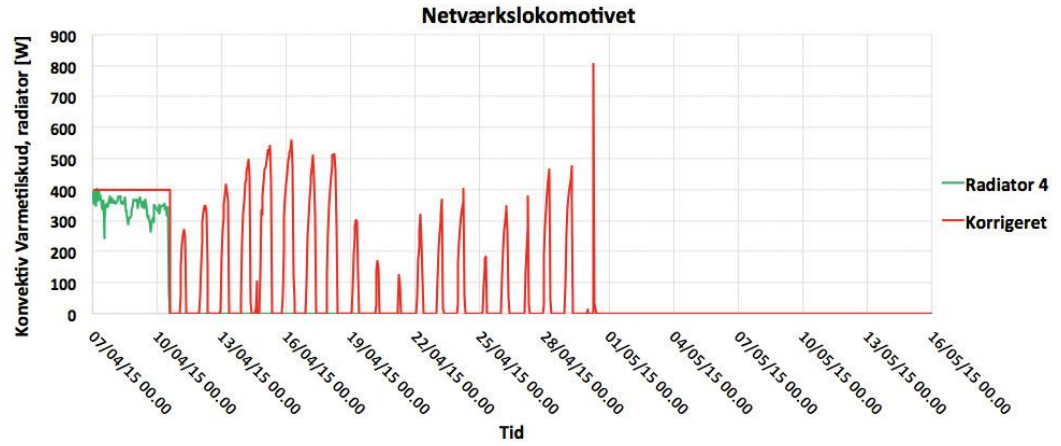
Der vises eksempler for, hvorledes data for opvarmning behandles, så det kan anvendes til at udregne energibalancen. Opvarmning i rummene foregår via elektriske radiatorer (beskrevet i afsnit 6.2.6), der er indsat i stedet for de installerede radiatorer, som opvarmer via fjernvarme. Da radiatorerne således bruger strøm, måles de via BTR-systemet. Derved logges der løbende, hvor meget strøm radiatorerne bruger, og da det er el radiatorer, ligger deres effektivitet på 100 %, fordi el radiatorer omdanner al effekt om til varme. Det er dog ikke 100 % af varmen, som afgives via konvektion, hvilket er nødvendigt at kende til videre behandling i BSim valideringen.

Fordelingen mellem konvektion og stråling fordeles ligeligt, hvilket betyder 50 % går til den konvektive varmeafgivelse og 50 % til stråling, [Dansk standard 13790, 2008]. Det gælder både apparaturer og mennesker. Bemærk, at varmeledning ikke er en del af inddelingen, da den er meget lav og derfor ikke medtages.

På figurerne 8.15 og 8.16 ses forløbet af hele måleperioden med el radiatorer for hhv. *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*. Der er indført en korrigeret værdi for opvarmningen, som summerer varmeeffekterne sammen for de tre radiatorer og dækker yderligere også for manglende data.



Figur 8.15. Konvektiv varme til rum fra elradiatorer i *Green Tech Start Up*.



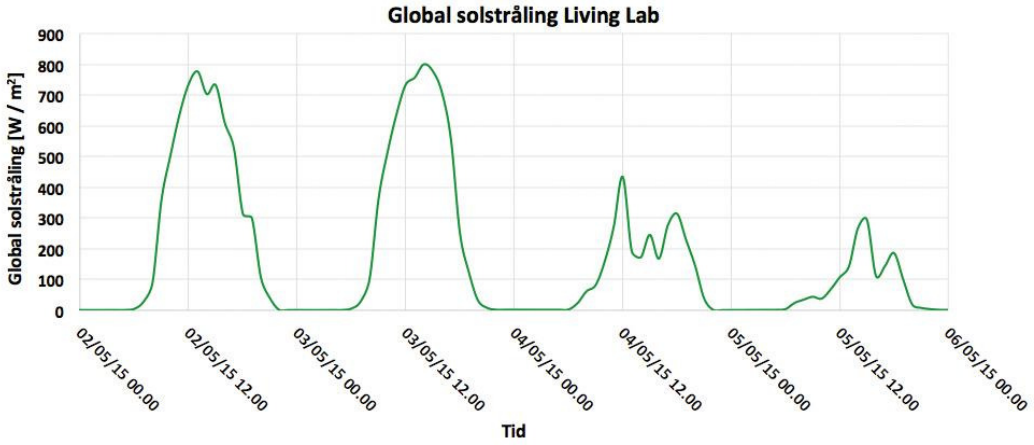
Figur 8.16. Konvektiv varme til rum fra radiatorer i *Netværkslokomotivet*.

For *Green Tech Start Up* ses det, at *radiator 3* henover perioden har en mere ustabil gang end den fra *radiator 1 + radiator 2*, da den er stødt faldende, hvilket vil sige, den ikke benyttes nær så meget som de andre til opvarmning. Radiator 1 + 2 er placeret ved hhv. den sydlige del af vest- og østfacaden, og radiator 3 ved østfacaden tæt på indgangen til rummet. I de perioder, hvor der ikke gives varme til rummet via el radiatorerne skyldes, at de enten er slukket, eller at BTR-systemet var ude af drift, hvilket anerkendes at være en fejlkilde, da der har optrådt få tilfælde. Den fulde effekt af en radiator ydes sjældent i en hel time, da temperaturen ligger tæt på setpointet, hvilket medfører, at radiatoren slukker og tænder flere gange i løbet af en time.

Netværkslokomotivet benytter ikke el radiatoren i størstedelen af måleperioden. Dette skyldes at setpointet for de originale radiatorer ikke blev ændret før d. 30/04. Dette er blevet korrigeret vha. BSim i perioden med manglende data på figur 8.16, hvor de originale radiatorers ydelser er simuleret.

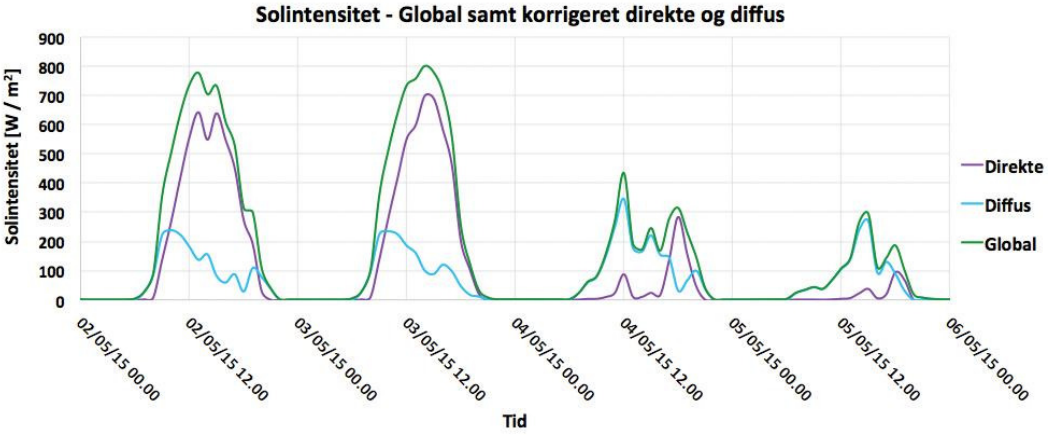
8.1.6 Solvarmetilskud

For at finde solvarmetilskuddet benyttes et pyranometer (nærmere beskrivelse i appendiks G.2). Pyranometret er sat på en vandret flade på taget af *Living Lab*, hvorved den globale solstråling måles. I appendiks J findes detaljeret beskrivelser en beregningsmetoden. Figur 8.17 viser et forløb over fire dage, hvor det tydeligt observeres to dage med skyfri himmel efterfulgt af to dage med overskyet himmel.



Figur 8.17. Global solstråling på *Living Lab*.

Det ses, hvor stor en rolle skydækket spiller for den målte solintensitet. Ved helt skyfrie dage er kurven uden periodiske forstyrrelser, som det ses på de to første dage. Denne globale solstråling skal kvantificeres ud til den direkte, diffuse og reflekterende solstråling [Hans Lund, 1985]. Den anvendte metode tager ikke højde for den reflekterende del, men da den alligevel er af marginal størrelse (som beskrevet i appendiks G.2), vil dette være af mindre betydning. Den uddybende gennemgang af beregningerne og parametrene findes i appendiks A.15. Figur 8.18 viser den endelige kvantificering af de forskellige solstrålingstyper baseret på den anvendte metode.



Figur 8.18. Endelig fordeling af solintensitet på *Living Lab*.

Da der er opnået tilgang til den direkte og diffuse stråling igennem måleperioden, implementeres disse i vejrfilen, der senere benyttes i BSim. BSim regner da selv solintensiteterne ud for hver facade, til senere anvendelse.

Korrekt energimæssig udnyttelse af solvarmetilskuddet

Solvarme er et gratis varmetilskud, som er vigtig at udnytte så korrekt som muligt for at forbedre energibalancen. Ved at bruge solvarmen som opvarmning bliver der sparet energi gennem et mindre forbrug af radiatorerne i *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*. Dog kan solvarmetilskuddet have en negativ effekt på energibalancen, da den kan medføre overtemperaturer. Det vil blive undersøgt, om EnergyFrames bliver brugt optimalt til at udnytte solvarmetilskuddet energimæssigt korrekt. Dette gøres ved brug af afsnit 6.2.4 som udgangspunkt for metoden. For at udføre analysen er følgende data nødvendige:

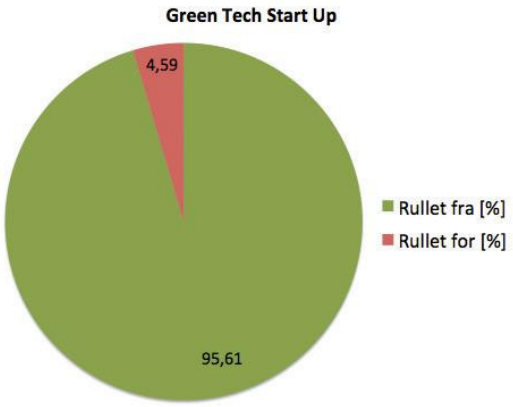
- Tilstedeværelse i lokalerne
- Blændingsgener (over 2.000 lux)
- Temperaturer i lokalerne
- Vinduets tilstand (åben eller lukket), fundet fra webcam
- EnergyFrames position (kørt for eller fra), fundet fra webcam
- Solvarmeintensitet
- Radiatorernes effekt

Alle tilhørende beregninger for analysen findes i appendiks A.16.

Det første der undersøges er, om **EnergyFrames er kørt fra ved høj solintensitet, når der er brug for opvarmning**. Det vil sige, at de data, der bruges, findes ved følgende trin, hvor alle skal være gældende:

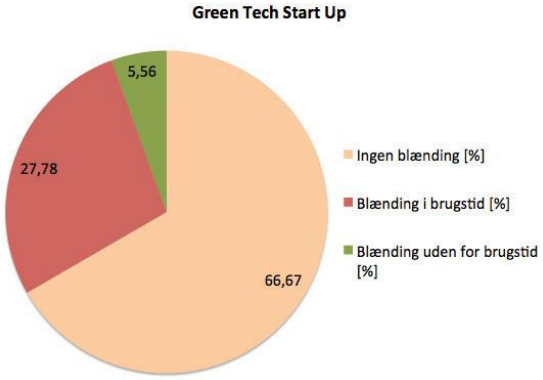
1. Temperaturerne i rummet skal være lavere end setpointet for opvarmningen, som blev fundet til 23 °C i afsnit 8.1.1. Temperaturerne der benyttes er fra GK's data og IC-metret, da de ikke bliver påvirket af direkte solvarme, hvilket Eltek-målerne gør grundet deres placering
2. Det sikres, at radiatorerne er tændt for at konstatere, at der er behov for opvarmning
3. Vinduerne skal være lukket, for hvis de er åbne, kan det være skyld i behov for opvarmning
4. Solvarmeintensiteten skal være over et bestemt niveau, før det yder en tilstrækkelig opvarmende effekt gennem vinduet. I appendiks K er det vist, hvordan dette defineres.
5. Det undersøges, om EF er rullet fra.

Beregningerne laves facadevis i *Green Tech Start Up* grundet, at det ikke er ensbetydende med, at EF bør benyttes ved alle vinduer, når en høj solvarmeintensitet fra en orientering er tilstede. Derefter summeres resultaterne op. Resultaterne giver, at der samlet er 410 timer, hvor solvarmeintensiteten kan bruges til at supplere opvarmningen i *Green Tech Start Up*. Det ses på figur 8.19, at i ca. 96 % af tiden er EnergyFrames kørt fra, hvilket er ønsket for at bespare energi.



Figur 8.19. EnergyFrames position ved tidspunkter, hvor solvarmetilskuddet er nyttigt.

En mulig forklaring på hvorfor der er timer, hvor EF er rullet for ved behov for opvarmning, kunne skyldes blænding. Det undersøges derved, hvor meget af tiden der er rullet for, hvor der samtidig opstår blændingsgener. Derudover skal det sikres, at brugerne samtidig er tilstede, for ellers er blænding ikke en begrundelse til, at EF er rullet for. Resultaterne af dette ses på figur 8.20.



Figur 8.20. Blændig som forklaring på at EF er rullet for.

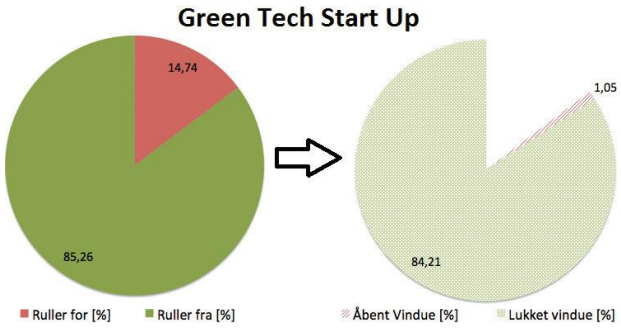
Det er i ca. 28 % af tilfældene, at der er rullet for grundet blænding, imens der samtidigt er tilstedeværende. Det vides fra kapitel 7, at brugerne ikke får rullet fra igen, når der ikke vil opstå blænding, hvilket forklarer resultaterne på figur 8.20.

I *Netværkslokomotivet* har det vist sig, at der ikke findes tidspunkter, hvor der er behov for opvarmning, og der samtidigt er høj solvarmeintensitet igennem vinduerne.

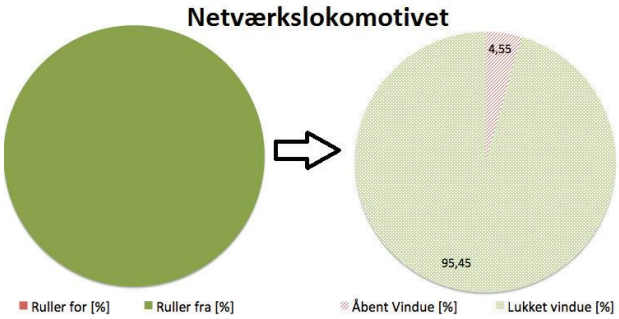
Det sidste der undersøges er, om **EnergyFrames er kørt for ved høj solintensitet, når der er brug for køling**. Følgende forudsætninger opstilles for at undersøge dette:

1. Temperaturerne i rummet skal være højere end setpointet for ventilationen, 23 °C i afsnit 8.1.1
2. Solvarmeintensiteten skal igen være over niveauet fra den tidligere analyse
3. Det undersøges, om EF er rullet for
4. Det undersøges, om vinduerne er åbne eller lukket

Proceduren for denne analyse er magen til den første dog med det formål, at beskytte imod overtemperaturer ved høje solvarmeintensiteter ved at rulle EF for. På figurerne 8.21 og 8.22 ses det, at der rulles fra i ca. 85 % af tiden i *Green Tech Start Up* og 100 % af tiden i *Netværkslokomotivet* ved kølebehov og høj solintensitet. Energimæssigt er det dårlige resultater, og det kan kun i minimalt grad begrundes ved at vinduerne er åbne for at køle. De ca. 15 % af tiden hvor EF er rullet for skyldes umiddelbart ikke, at brugerne vil spare energi, men som tidligere nævnt, at brugerne har glemt at rulle fra, efter der var rullet for ved blænding.



Figur 8.21. Brug af EF og vinduer ved høj solintensitet og behov for køling i *Green Tech Start Up*.



Figur 8.22. Brug af EF og vinduer ved høj solintensitet og behov for køling i *Netværkslokomotivet*.

Det konkluderes ud fra analysen, at EnergyFrames ej benyttes korrekt i et energimæssigt perspektiv, især gældende ved kølebehov kombineret med høj solintensitet. Tilfældene ved optimal benyttelse af EnergyFrames forekommer tilfældige, fordi brugerne kun benytter EnergyFrames til en komfortbaseret brug.

8.1.7 Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud til de to lokaler bestemmes ud fra diverse målinger, før det implementeres i modellerne. Det interne varmetilskud deles op i to dele:

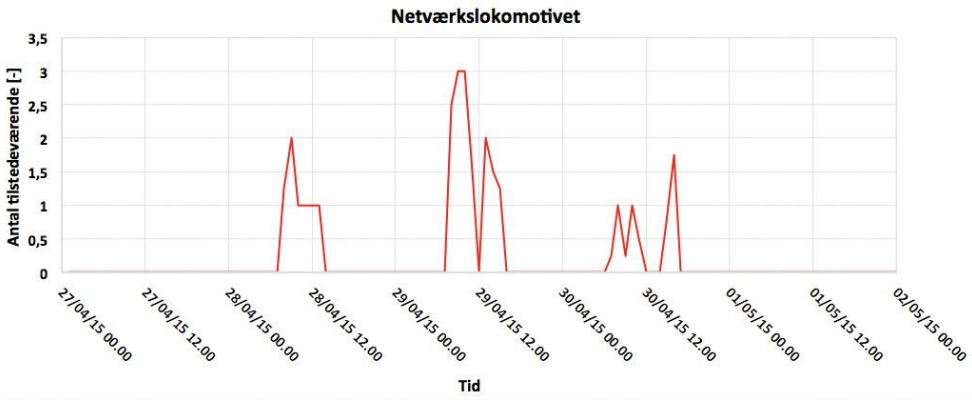
- Personbelastning
- Apparaturer

De to følgende underafsnit forklarer, hvordan data behandles og præsenteres til videre brug. For at vise en sammenhæng mellem disse to parametre, præsenteres resultater for samme uge. Den pågældende uge der anvendes i underafsnittene strækker sig fra d. 27/04 - d. 02/05 og præsenteres kun for *Netværkslokomotivet*.

Personbelastning

For at finde den præcise personbelastning, der reelt set er fundet sted, bliver webcams anvendt. Videoer er optagede, og der registreres hvert kvarter, hvor mange mennesker, der befinder sig i rummene. Disse registreringer omregnes til timebasis, for at de videre kan anvendes. Dette gøres ved at tage gennemsnitlige timeværdier, se appendiks A.17.

Figur 8.23 viser et eksempel for en repræsentativ arbejdsuge. Weekenden er ikke medtaget, da det vides, at ingen personer befinder sig i lokalerne på de pågældende tidspunktet.



Figur 8.23. Gennemsnit af antal tilstedeværende i *Netværkslokomotivet* i en repræsentativ arbejdsuge.

Som det ses på figuren, er der ikke en regelmæssig befindende i dette rum. I denne uge er hele mandag og fredag uden én tilstedeværende person ud af de mulige fire personer, som kan være tilstede. Det peaker denne onsdag med et antal på tre personer.

Ved at kombinere antal tilstedeværende på timebasis med aktiviteten af menneskerne og deres overfladeareal, kan den totale varmeafgivelse til rummet findes [Hyldgaard et al., 1997]:

- Aktivitet: Kontorarbejde $\Rightarrow$ 1,2 met $= 70\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\ \text{overfladeareal}}$
- Overfladeareal af gennemsnitligt voksent menneske: 1,8 m^2

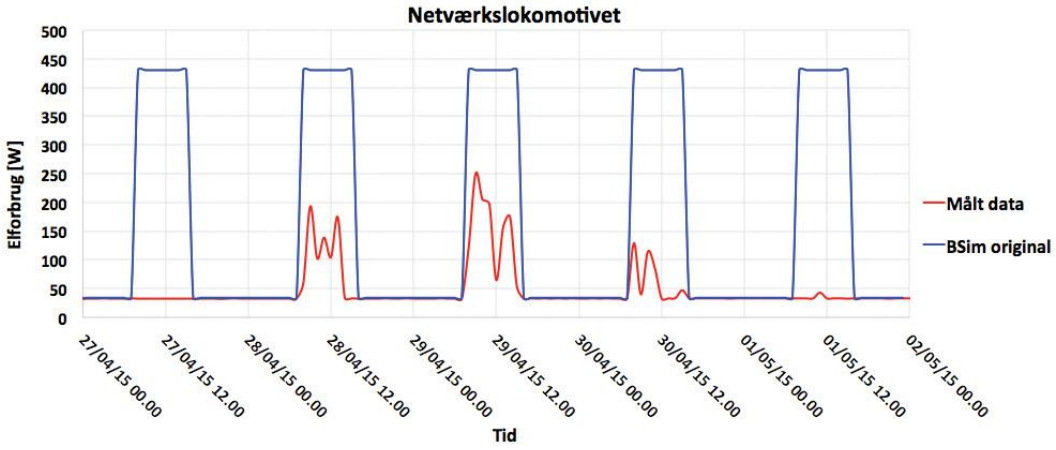
Det vil sige, at én person afgiver:

$$\text{Afgivet varme} = 1\,\text{person} \cdot 70\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\ \text{overfladeareal}} \cdot 1,8\ \mathrm{m}^2 = 126\,\mathrm{W}$$

Ugen er blot en enkelt uge ud af flere, og den udregnede varmeafgivelse er kun for én person i et enkelt tilfælde, hvilket ikke er konstant forekommende.

Apparaturer

For at finde de interne varmetilskud for rummene, må det findes, hvor meget el der bruges på diverse apparaturer i den valgte uge. Det er ikke al den energi, der bruges på apparatet, som bliver omdannet til varme, som senere afgives til rummet. Derfor er det også nødvendigt at finde frem til koefficienten, der beskriver denne fordeling. BTR-systemet anvendes indledningsvist til at logge elforbruget. Figur 8.24 viser logningen og BSims resultater inkluderet for apparaturer.



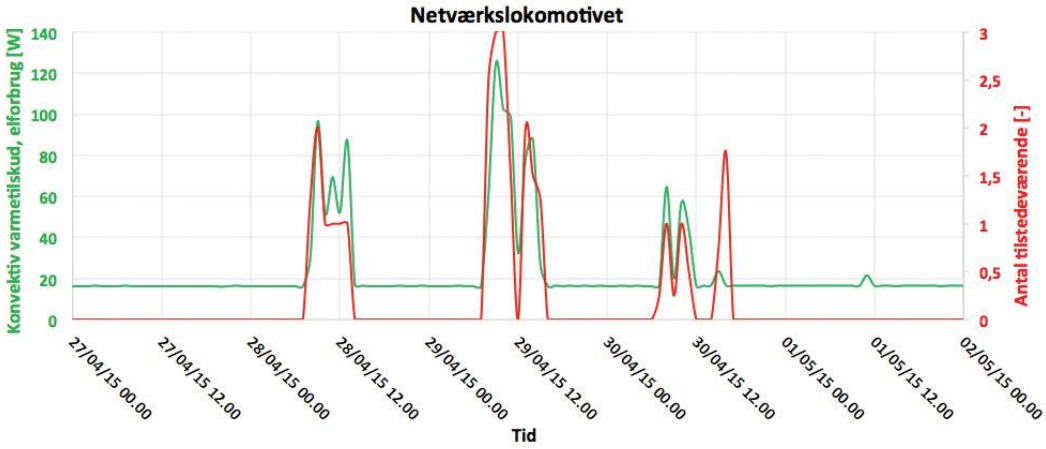
Figur 8.24. Elforbrug i *Netværkslokomotivet* i den repræsentative uge.

På figuren observeres et minimumsniveau, som ikke befinder sig på 0 W, hvilket blot skyldes printere, computere osv. står på stand-by. BSims elforbrug til apparaturer overgår markant de målte datas resultater på nær stand-by niveauet. Brugerens fleksible arbejdstider afspejles atter i figuren, da BSim har en stationær brugstid for apparaturer i hverdage.

Der observeres yderligere en umiddelbar ensartethed mellem figur 8.24 og figur 8.23. For at undersøge det nærmere, laves en kombineret figur. Først er det dog interessant at kende til det reelle varmetilskud, der ydes til rummet via konvektion, fordi kildernes afgivelse ikke er ens med det fulde elforbrug. De inddeles i to former:

- Konvektiv
- Stråling

Jævnfør underafsnit 8.1.5 går der 50 % til hver form. På figur 8.25 ses da den kombinerede figur bestående af konvektiv varmetilskud fra apparaturer og antal tilstedeværende.



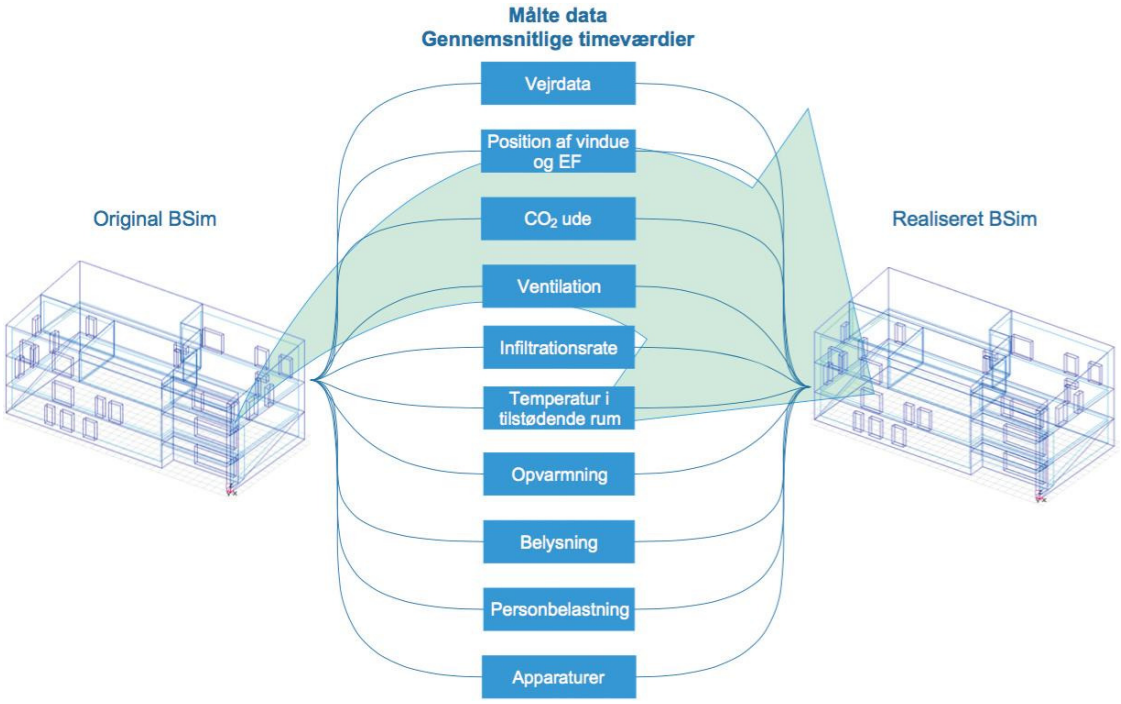
Figur 8.25. Elforbrug og antal tilstedeværende i *Netværkslokomotivet* i den repræsentative uge.

Det observeres, at de to parametre stemmer overens. Selv ved de små udslag for elforbruget, ses et noget større antal tilstedeværende, som eller har givet anledning til et større elforbrug og dermed varmetilskud. Dette skyldes, at der ikke nødvendigvis tændes for apparater o.l. blot fordi, personer er tilstede.

Figur 8.25 bekræfter indirekte, at observationerne for tilstedeværelse er tilstrækkeligt præcise, da dyk og peaks mv. stemmer vel overens med BTR-systemets logninger, der foretages automatisk og altid viser det præcise forbrug.

8.2 Validering i BSim

I dette afsnit bruges de målte data til at realisere BSim modellen og derved få valideret den til videre brug. De målte data for de to lokaler implementeres i den originale BSim model. Princippet samt hvilke parametre der er ændret, vises på figur 8.26.



Figur 8.26. Fremgangsmetode til udvikling af en realiseret BSim model.

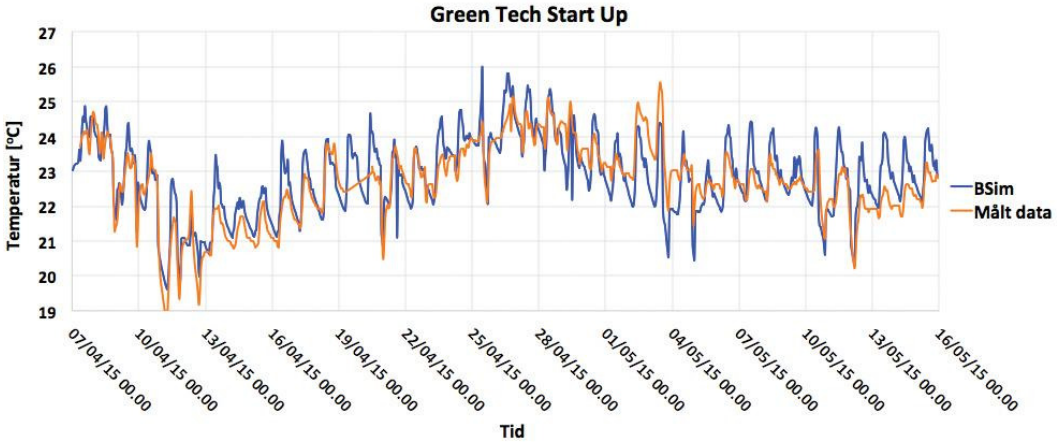
Det eneste fra den originale BSim model der er bevaret er geometrien og konstruktionernes opbygning. Alle systemer og vejrdata er modificerede til virkelighedstro data fra *Living Lab*. Den realiserede BSim model findes i appendiks A.18, og beregningerne til afsnittet findes i appendiks A.19.

8.2.1 Validering af temperatur

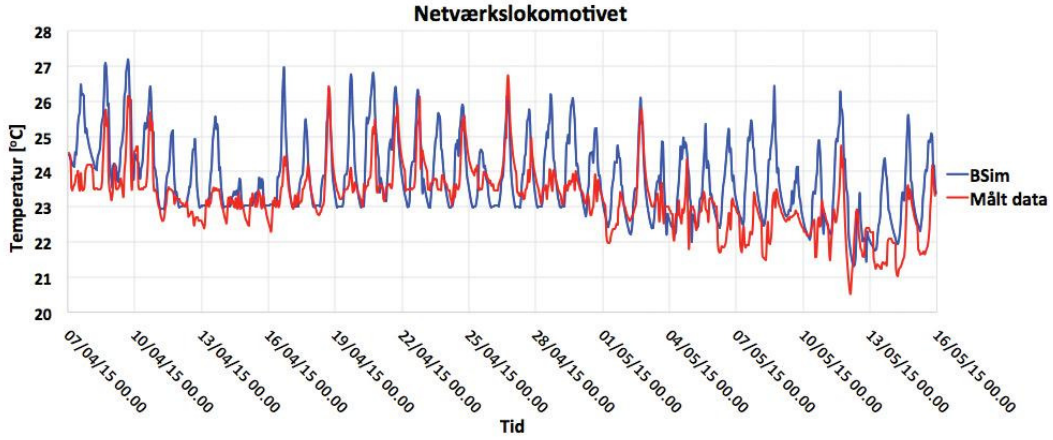
Temperaturforløbet bruges til validering af BSim for de to lokaler. Da BSim beregner en gennemsnitstemperatur af indeluften i rummet, skal de tilsvarende målte data bruges.

Eltek-målerne i *Netværkslokomotivet* samt IC-metret fravælges, da disse er placeret steder, hvor solvarme påvirker temperaturmålingerne. Det vælges at bruge GK's data i dette lokale. Som nævnt i afsnit 8.1.1 er GK's målinger i *Green Tech Start Up* utilregnelige og anvendes derfor ikke. Derimod vælges det at benytte Eltek-måleren med ID nummeret 9055, som er placeret inde i rummet, hvor solvarmepåvirkningen er minimal.

Resultaterne af valideringen for indeluftstemperaturerne i den realiserede BSim model ses på figurerne 8.27 og 8.28 for hhv. *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*.



Figur 8.27. Sammenligning af temperaturforløb i *Green Tech Start Up* for den realiserede BSim model og målte data.

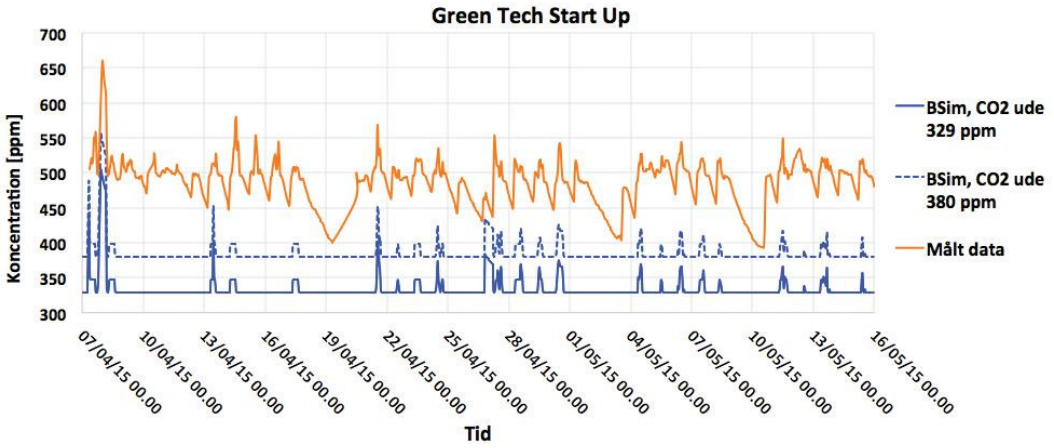


Figur 8.28. Sammenligning af temperaturforløb i *Netværkslokomotivet* for den realiserede BSim model og målte data.

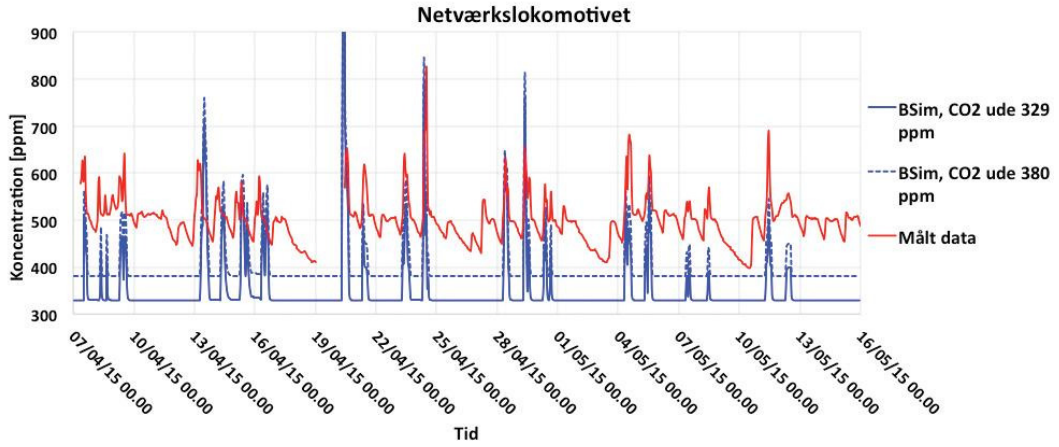
Det ses på begge figurer, at de målte data tilnærmelsesvist følger BSims temperaturmålinger. Temperaturerne er ved begge lokaler inden for en acceptabel forskel, hvor temperaturerne generelt er lidt højere ved BSim simuleringer. Forskellene kan bl.a. skyldes præcisionen af solvarmeberegningerne og temperaturmålernes mindre usikkerheder. Det vurderes på baggrund af det observerede, at den realiserede BSim model har samme tendens for temperaturmålinger, men har høje peaks til sammenligning. Disse resultater anvendes videre til simuleringer med inkluderede styringsstrategier af EnergyFrames i del III, da de giver et forholdsvist virkelighedstro billede.

8.2.2 Validering af luftkvalitet

Luftkvaliteten i form af CO_2 bruges som en anden valideringsfaktor til undersøgelsen af den realiserede BSim models præcision. Til at validere CO_2-niveauet bruges gennemsnittene af Eltek-målerne for hvert lokale. På figurerne 8.29 og 8.30 ses resultatet af valideringen.



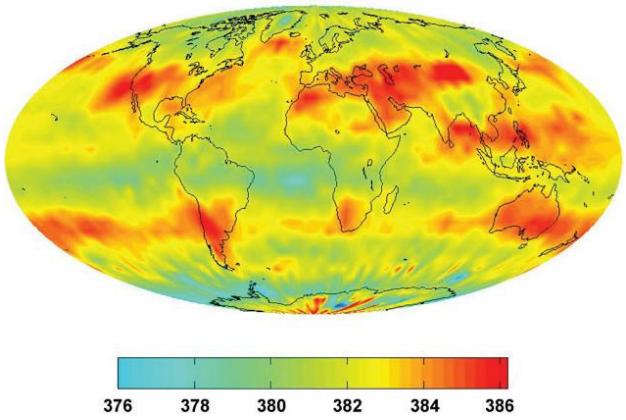
Figur 8.29. Sammenligning af CO_2-niveauet i *Green Tech Start Up* for den realiserede BSim model og målte data.



Figur 8.30. Sammenligning af CO_2-niveauet i *Netværkslokomotivet* for den realiserede BSim model og målte data.

På figurerne 8.29 og 8.30 ses en stor forskel på CO_2-niveauet mellem den realiserede BSim og de målte data. Selvom tendenserne er de samme, findes et stort offset og uensartede henfald.

Det observeres på figurerne, at niveauet i BSim ofte er tilsvarende udekoncentrationen. På figurerne er der inkluderet en BSim simulering med en udekoncentration på 380 ppm, og ved brug af denne er det muligt at begrænse fejlen en anelse ift. offsettet. En udekoncentration på 380 ppm forsvares ved at undersøgelser af atmosfæren har vist, at dette omtrent er den atmosfæriske udekoncentration i Danmark, se figur 8.31 [DMI, 2013].



Figur 8.31. Fordelingen af atmosfærisk CO_2, som den måles fra en af NASA's satellitter fra 2008.

Det vælges at bruge 380 ppm til videre brug i del III, da det vurderes, at målingen af en udekoncentration på 329 ppm er en fejlmåling, hvilket afspejles i resultaterne fra BSim.

Selvom der benyttes 380 ppm som udekoncentrationen på figurerne 8.29 og 8.30, findes stadig en stor forskel mellem målt data og simuleringerne. Ved BSim simuleringen ses en drastisk hurtigere fortyndingsproces ift. de målte data. En begrundelse herom er, at ventilationssystemet benytter en roterende veksler, hvilket medfører en recirkulation, som derved indblæser med en højere forurening ift. udekoncentrationen. Ved analysen af resultaterne med automatiserede styringsstrategier skal det derfor være i mente, at CO_2-niveauet er væsentlig lavere, end det reelt set ville være og benyttes ikke videre.

8.2.3 Validering af elforbrug

Den sidste faktor hvorpå der valideres er iht. elforbruget inden for apparatur og belysning. Det undersøges, om det målte forbrug stemmer overens med den realiserede BSim. For at kunne sammenligne dette skal data for perioder med manglende målinger forkastes i simuleringerne. Resultatet vises i tabel 8.3 med følgende forklaring.

- **Målt data**: Summen af registrering fra BTR systemet
- **BSim (1)**: Summen af elforbrug over hele måleperioden inkl. vurderinger af perioder med manglende målte data
- **BSim (2)**: Summen af elforbrug over hele måleperioden ekskl. vurderinger af perioder med manglende målte data

	Green Tech Start Up		***Netværkslokomotivet***	
	Apparatur [kWh]	**Belysning [kWh]**	**Apparatur [kWh]**	**Belysning [kWh]**
Målt data	9,29	57,92	41,90	32,38
BSim (1)	11,39	87,47	41,50	31,34
BSim (2)	8,75	57,36	41,50	31,34

Tabel 8.3. Sammenligning af resultater for elforbrug.

Data der sammenlignes er *Målt data* og *BSim (2)*, da disse teoretisk set skal stemme overens. Det ses i tabel 8.3, at der forekommer en mindre afvigelse både for apparatur og belysning mellem simulering og målte data. Dette skyldes, at i BSim er der anvendt gennemsnitsværdier over perioder samt at der rundes op/ned ved indsættelse af data. For eksempel er stand-by værdien ca. 0,5 W

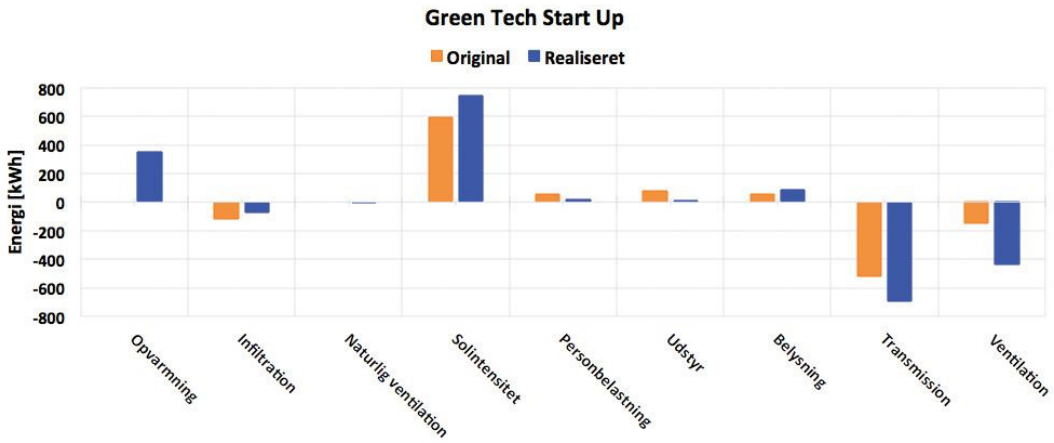
større i målingerne end i simuleringerne. Selvom dette er en lille værdi giver den en mærkbar forskel over hele måleperioden. Denne uoverensstemmelse antages at være af minimal størrelse, og værdierne bruges derfor videre.

8.2.4 Sammenligning med original BSim model

For at sammenligne den realiserede BSim model med den originale BSim model benyttes energibalancen for lokalerne over måleperioden.

Green Tech Start Up

På figur 8.32 er energibalancen vist for *Green Tech Start Up* for de to BSim modeller.



Figur 8.32. Total energibalance for måleperioden i *Green Tech Start Up* sammenlignet for den originale og den realiserede BSim model.

Ved den realiserede BSim model er der tilført et energitilskud i form af **opvarmning** grundet brugen af elektriske radiatorer. Ved den originale BSim model er opvarmningen en del af ventilationen.

Grundet den kortere brugstid samt mere varierende tilstedeværelse end først antaget ud fra inspektionen, er **personbelastningen** samt **udstyr** et lavere tilskud i den realiserede BSim model end i den originale. **Belysningen** tværtimod er et større energitilskud til trods for også have en mindre brugstid. Dette skyldes at effekten på belysningen var højere end simuleringen i den originale BSim.

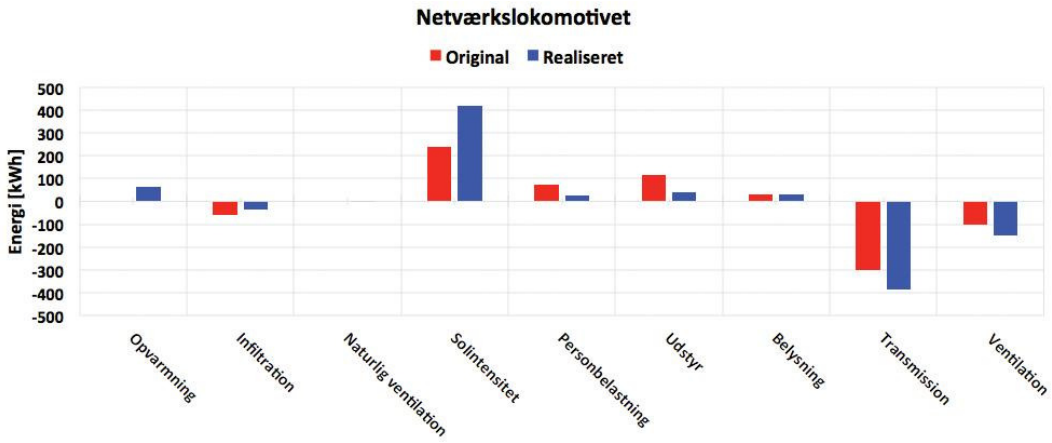
Som nævnt i afsnit 8.1.2 fandtes **infiltrationen** til at have lavere værdi end det antagende krav brugt i den originale BSim model. I den realiserede BSim model er tiderne med åbne vinduer indtastet. Dette medfører et mindre energitab ved **naturlig ventilation**. Naturlig ventilation er medregnet i infiltrationen i den originale BSim model, hvilket også medfører at infiltrationstabet bliver lidt højere i denne model. Energitabet til **Ventilation** i den realiserede BSim model er omkring tre gange så stort ift. den originale BSim model. Dette begrundes ved en længere driftstid og en større luftmængde, der var projekteret efter et undervisningslokale. I den originale model er ventilationen dimensioneret efter to personer.

Tilskuddet fra solen skyldes blot, at der er forskel på solintensiteten mellem de to BSim modeller. Fra afsnit 7.1.1 fandtes det, at udetemperaturerne generelt er lavere i måleperioden end i DRY-filen, som er brugt i den originale BSim model, hvilket medfører et større **transmissionstab**. Da de tilstødende rum har en lavere temperatur end *Green Tech Start Up* vil det forøge

transmissionstabet. I den originale BSim model er temperaturerne i de tilstødende rum indstillet til at følge temperaturen i *Green Tech Start Up*, hvor de i den realiserede model er sat til at være mellem 22 °C - 23 °C.

Netværkslokomotivet

Tilsvarende for *Green Tech Start Up* er der lavet en energibalance for hele måleperioden for *Netværkslokomotivet* for de to BSim modeller. Denne energibalance er illustreret på figur 8.33.



Figur 8.33. Total energibalance for måleperioden i *Netværkslokomotivet* sammenlignet for den originale og den realiserede BSim model.

Der kan trækkes paralleller mellem forholdene for de to BSim modeller i de to lokaler. Det er tydeligt at parametre som brugstid og vejrdata har den samme indflydelse ved *Netværkslokomotivet* som i *Green Tech Start Up*. Den eneste markante forskel i mellem energibalancerne for de to lokaler er forbruget til **ventilationen**. Projekteringen af ventilationen stemmer bedre overens med realiteten, hvilket medfører et mere lignende energiforbrug ift. den originale BSim. Forskellen skyldes, at driftstiden forøger forbruget, hvor opvarmning af radiatorerne sænker det.

Konklusion af manuel styringsperiode 9

I dette kapitel bliver de vigtigste observationer og erfaringer beskrevet vedr. brug af EnergyFrames i den manuelle styringsperiode. Samtidigt diskuteres det, hvorvidt det er muligt at modellere måleperioden via automatiserede EF i et simuleringsprogram.

9.1 Opnåede erfaringer til automatisk styringsstrategi af EnergyFrames

I følgende punktform er det listet, hvilke optimeringsmuligheder/erfaringer der findes ved implementering af et automatisk system inden for både komfort og energi:

- Komfort
  - Manglende introduktion har medført mere passivitet vedr. brug af EnergyFrames, afsnit 5.4
  - Manglende brug af EnergyFrames, afsnit 7.1
  - Blænding efter facader, afsnit 7.1.4
  - Optimere styring af udsyn efter ophør af blændingsgener, afsnit 7.1.6
  - Applikation på computer, afsnit 7.2
- Energi
  - Besparelser af energi for ventilation ved forøgede luftmængder, afsnit 8.1.1

Generelt bruges EnergyFrames minimalt i begge lokaler, og brugen er udelukkende pga. komfortmæssige gøremål. Brugerne glemmer eller udsætter derefter det at køre skærmene fra, hvilket kan virke til ugunst på energibehovet mht. opvarmning. Uden for brugstiden opstår der store muligheder for at spare på kølebehovet ved korrekt anvendelse af EnergyFrames. Det konkluderes yderligere ud fra observationer og forventningsafstemningen fra brugerne, at en automatisk styring af EnergyFrames er den mest oplagte løsning. Dette frigøre brugerne fra deres manuelle styring af EnergyFrames til afdækning af deres komfortmæssige behov samtidigt med, en energibesparelse tilvejebringes. En automatisk styringsstrategi udvikles i del III ud fra observationer/kendskab fra den manuelle styringsperiode.

9.2 Model og virkelighed

Konkluderende for sammenligningerne mellem BSim simuleringerne og målte data findes det, at der kan forekomme vidt forskellige resultater fra hinanden mellem energibalancen og det endelige energiforbrug. For at kunne benytte BSims dynamiske simuleringer måtte en validering finde sted.

Valideringen mundede ud i, at forskellene mellem model og virkelighed formindskes til et acceptabelt niveau. Der vil dog til stadighed opleves forskelle på trods af, at samtlige målte data er nøje anvendte og præcist tastet ind, men realiteten er tilnærmet i så stort omfang, som det kunne lade sig gøre. De observerede forskelle anerkendes fremover som værende uundgåelige og skal til enhver tid haves i mente ved videre behandling, analyser mv.

Del III

Styringsoptimering af EnergyFrames

Del III vil bruge erfaringer fra den manuelle periode til at optimere og simulere en automatiseret styring af EnergyFrames. Ved brug af den realiserede BSim model udføres årsbaserede simuleringer, hvorved det vises, hvordan en automatisk styring ændrer energiforbruget og indeklimaet.

Automatisk styring på årsbasis 10

I dette kapitel benyttes opnåede erfaringer fra måleperioden til at benytte udviklede automatiske styringsstrategier til EnergyFrames. Derefter benyttes den realiserede BSim model til udvikling af en årsbaseret styringsstrategi, der muliggør en betragtning af EnergyFrames' potentiale.

Siden rapportens oprindelse er der opstået en mulighed for at implementere dynamiske facader i BSim. Det gøres ved brug af en programudvidelse, udviklet af Ph.D-studerende ved Aalborg Universitet, Kim Trangbæk Jønsson. Udvidelsen blev benyttet i valideringen af den realiserede BSim model i afsnit 8.2, men da EnergyFrames hovedsageligt har været ubenyttede i måleperioden, gav de ikke nogen bemærkelsesværdige udslag på de endelige resultater. Samtlige beregninger og resultater findes i appendiks A.20.

10.1 Årsberegning med manuel styring

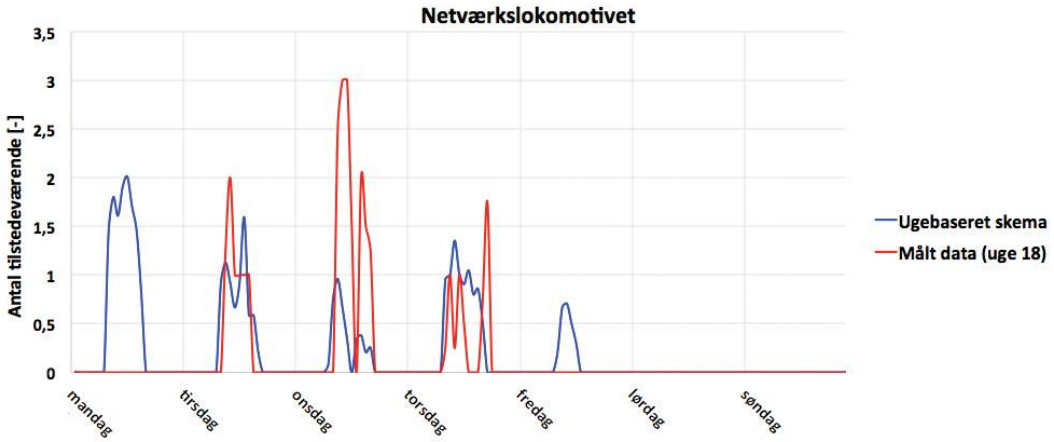
For at muliggøre en årsberegning er det nødvendigt at transformere den realiserede BSim model til en årsbaseret model. Herved ændres systemerne samt vejrdata, som nedsætter præcisionen. Det vil stadig give mere præcise resultater end hvis måleperioden ikke havde fundet sted. Da flere ændringer er foretagede for at gøre den realiserede BSim model til en BSim model på årsbasis, henvises der til tabel 10.1 for vejledning til hvilke ændringer, der er foretaget.

Parameter	Ændring fra	Ændring til
Vejrdata	Målte data fra vejrstation og pyranometer	DRY (Danmark_2013)
Ventilation	Målte luftstrømme (timeværdier)	VAV Styringssystem
Infiltration	-	-
Transmission (tilstødende rum)	-	-
Belysning	Målte timeværdier	Ugebaseret skema
Opvarmning	El radiatorer (timeværdier)	Radiatorer med styringsstrategi
Intern belastning	Målte timeværdier	Ugebaseret skema
Naturlig ventilation	Målte timeværdier	Styringsstrategi

Tabel 10.1. Transformering af den realiserede BSim model til en årsbaseret model.

I tabel 10.1 ses, at for **belysning** og **intern belastning** er ugebaserede skemaer udviklet. De er udviklet ved at tage gennemsnitsværdien for en enkelt dag for samtlige uger i måleperioden. Eksempelvis er gennemsnittet for alle mandage kl. 07:00, kl. 08:00 osv. indtastet i skemaet.

Et eksempel på et ugebaseret skema for personbelastningen følger. På figur 10.1 observeres forskellighederne mellem den ugentlige gennemsnitsværdi og den målte personbelastning. I eksemplet på figuren vises data fra uge 18 i *Netværkslokomotivet*.



Figur 10.1. Sammenligning mellem det ugentlige skema og målt data i *Netværkslokomotivet* for en uge.

Figur 10.1 viser, at der forekommer enkelte situationer med større personbelastninger for de virkelige målinger til sammenligning med den ugentlige gennemsnitsværdi. Dette resulterer i, at der i virkeligheden kan forekomme flere situationer med overtemperaturer end simuleret. Det ses på figur 10.1, at der i det ugentlige skema er tilstedeværende i alle hverdage, hvilket afviger fra virkeligheden. For belysning og apparaturer findes den samme tendens som ved personbelastningen, og deres ugentlige skemaer udarbejdes ud fra samme metode.

I tabel 10.1 ses det, at ved **ventilation**, **opvarmning** og **naturlig ventilation** er der udarbejdet en form for styring i den årsbaserede BSim model. I tabel 10.2 ses de vigtigste oplysninger vedr. styringerne.

Parameter	**Opvarmningssetpoint**	**Kølesetpoint**	**Driftstid**
Ventilation	-	$>$ 23,5 °C	kl. 05:00 - kl. 20:00 (09:00 - 17:00)
Radiatorer	$<$ 23 °C / $<$ 19 °C	-	Altid
Naturlig ventilation	-	$>$ 28 °C	Brugstiden

Tabel 10.2. Styringsstrategier til systemerne.

Ventilationen er sat til at øge luftmængden ved overstigning af 23,5 °C for at køle, som det blev observeret i måleperioden. Yderligere er der en forøgelse af ventilationsmængden ved en CO_2-forurening over 800 ppm.

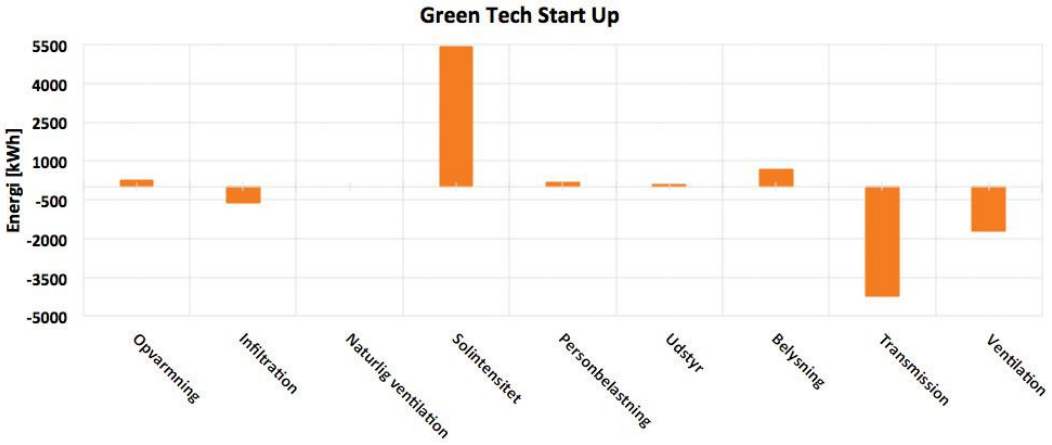
Ved **radiatorerne** bemærkes det, at der forefindes to setpoints for opvarmning. Radiatorerne tænder ved temperaturer under 23 °C i hverdagene mellem kl. 05:00 og kl. 20:00 og under 19 °C i resten af tiden. Radiatorerne er desuden de samme som blev brugt til den originale BSim, som er dimensionerede efter de radiatorer, der oprindeligt er placerede i de to lokaler.

For **naturlig ventilation** åbnes vinduer ved temperaturer over 28 °C i brugstiden. Temperaturen sættes til 28 °C grundet sikring mod overdrevet brug, da det er observeret, de sjældent åbnes.

BSim modellen findes i appendiks A.21.

10.1.1 Resultater for årsberegning med manuelt styrede EnergyFrames

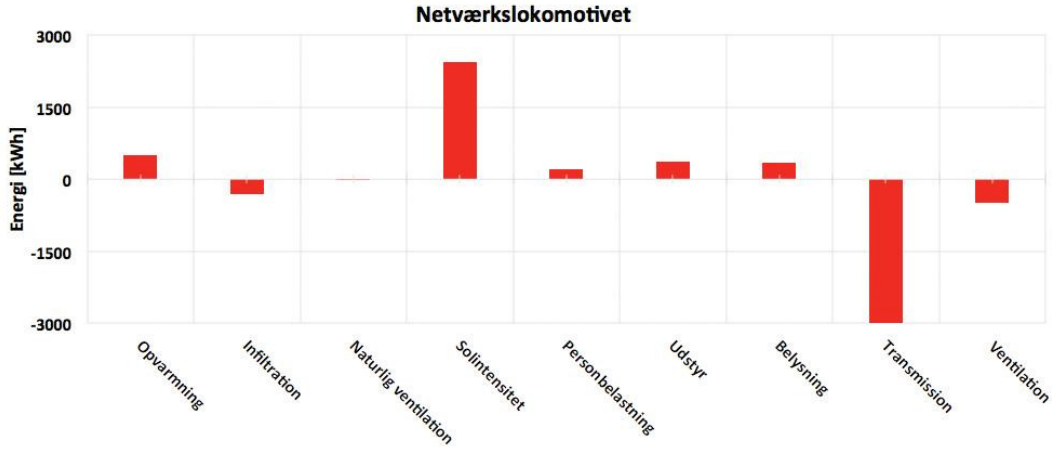
Afsnittet beskriver resultaterne på baggrund af analyserne, der er foretagende for helårsberegningen med manuel styring. De præsenteres via *Green Tech Start Ups* og *Netværkslokomotivets* energibalancer, som vist på figurerne 10.2 og 10.3.



Figur 10.2. Energibalancen for et helt år i *Green Tech Start Up*.

Som det fremgår af figur 10.2 har solintensiteten det højeste energitilskud (knap 5.000 kWh) til sammenligning med de resterende parametre i *Green Tech Start Up*, hvor det næststørste tilskud er 650 kWh, hvilket stammer fra belysningen.

Green Tech Start Up har et stort tilskud fra solen, da tre udadvendte facader tillader, at solvarmen får stor tilgang til rummet. De store facader er dog ensbetydende med, at transmissionstabet ligeledes forøges. Det har medført det største transmissionstab.



Figur 10.3. Energibalancen for et helt år i *Netværkslokomotivet*.

Generelt er det overordnede mønster for energibalancen ens for *Netværkslokomotivet* ift. *Green Tech Start Up*. Det interessante ved *Netværkslokomotivet* er, at transmissionstabet imod forventning ikke er meget mindre end for *Green Tech Start Up*.

Det undersøges, om hvorvidt de optimale komforttemperaturer, som fundet i afsnit 6.3, overtrædes i brugstiden for begge lokaler i tabel 10.3.

Lokale	**Overgangsårstider** **Timer $>$ 25,5 °C**	**Sommer** **Timer $>$ 26,5 °C**	**Vinter** **Timer $>$ 25 °C**	**I alt**
Green Tech Start Up	0	16	0	**16**
Netværkslokomotivet	16	37	0	**53**

Tabel 10.3. Antal timer med overtemperaturer i lokalerne fordelt på årstider.

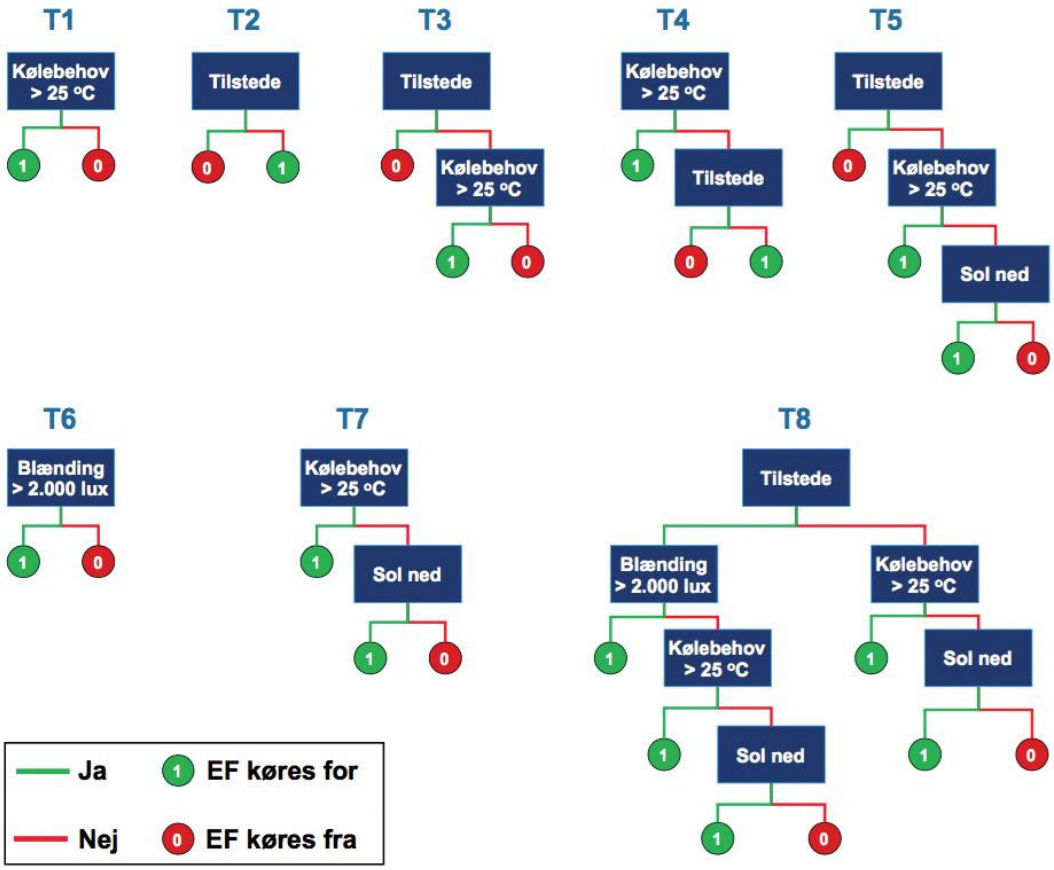
Resultaterne viser, at det er sommerperioden, hvor hændelserne med de fleste timer opstår for begge rum. I *Green Tech Start Up* findes det, at der umiddelbart ikke forekommer overtemperaturer i overgangsårstiderne eller om vinteren. I *Netværkslokomotivet* findes også et mindre antal timer med overtemperaturer i overgangsårstiderne, og ingen overtemperaturer om vinteren.

10.2 Årsberegning med automatiske styringsstrategier

Resultater undersøges for automatiserede styringer for EnergyFrames med tekstilen.

10.2.1 Styringsstrategierne

I tråd med hvordan styringsstrategierne er vist i afsnit 4.2 på side 33, præsenteres de i et nærmere perspektiv på figur 10.4.



Figur 10.4. Styringer (T1 - T8) illustreret for tekstil.

Kølebehov (T1) og *tilstedeværelse* (T2) er strategier, hvor tekstilen er mest effektiv. Indledningsvist kombineres disse to for at undersøge, hvilken prioritering der giver det største udbytte (T3 og T4). Derudover findes styringsstrategier, der inkluderer *solen er nede* iht. at isolere om natten. Denne strategi er ikke den primære strategi, hvorfor den altid kombineres med andre strategier (T5, T7 og T8). For at inddrage *blænding* er der en strategi kun for denne komfortparameter (T6) samt en kombineret med andre strategier (T8).

En særdeles vigtig bemærkning vedr. *kølebehov* er, at aktiveringssetpointet for EF er sat til 25 °C i brugstiden. Praktisk set betyder det, at energibesparelserne for ventilation formindskes, da setpointet for den høje ventilationsmængde er 23,5 °C. Det vil sige, at det høje ventilationsniveeau

ikke undgås, fordi niveauet begynder før afskærmningen træder i kraft. Ideelt set burde afskærmningen starte først for at undgå det høje ventilationsniveau, hvorved energiforbruget til ventilation formindskes. På trods af visse styringsstrategier styres efter energioptimering, og afskærmningen burde sættes til et aktiveringssetpoint ved 23 °C, fravælges denne handling pga. hensyntagen til brugerne, der vil blive genereret af gentagende fra- og tilkørsler af EnergyFrames. At justere på setpointet for ventilationen vil imødekomme problematikken, hvilket er et foretagende, der undersøges nærmere i kapitel 11.

Ved styringsstrategien *blænding* er to problemstillinger opstået ved modellering af virkeligheden. Den ene drejer sig om geometri vedr. simuleringer, og den anden omhandler en problematik, der besværliggør det at fastlægge, hvornår blænding optræder i BSim simuleringerne. Det skyldes, at det ikke er direkte solstråling personen oplever ved de registrerede blændinger. Problemstillingerne er yderligere diskuteret i appendiks L.

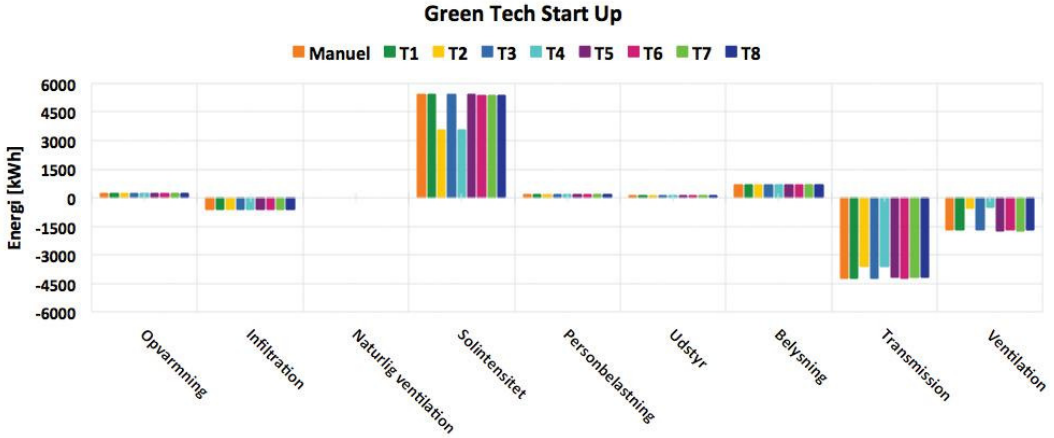
Styringsstrategi T8 er ikke den oprindelige styring fra del I, fordi den vurderes værende overflødig pga. en alternativ og forbedret løsning er udviklet. Forbedret fordi blænding kun undersøges for tilstedeværelse. Hvis der i så fald også er tilstedeværende prioriteres komfort over energioptimering i modsætning til før.

10.2.2 Resultater for årsberegning med styringsstrategier

For at give et bedre overskuelighed for resultaterne for simuleringerne med styringsstrategierne præsenteres de først for *Green Tech Start Up* og derefter for *Netværkslokomotivet*.

Green Tech Start Up

På figur 10.5 ses en sammenligning af energibalancen mellem den manuelle styring og de automatiske styringer for EF.

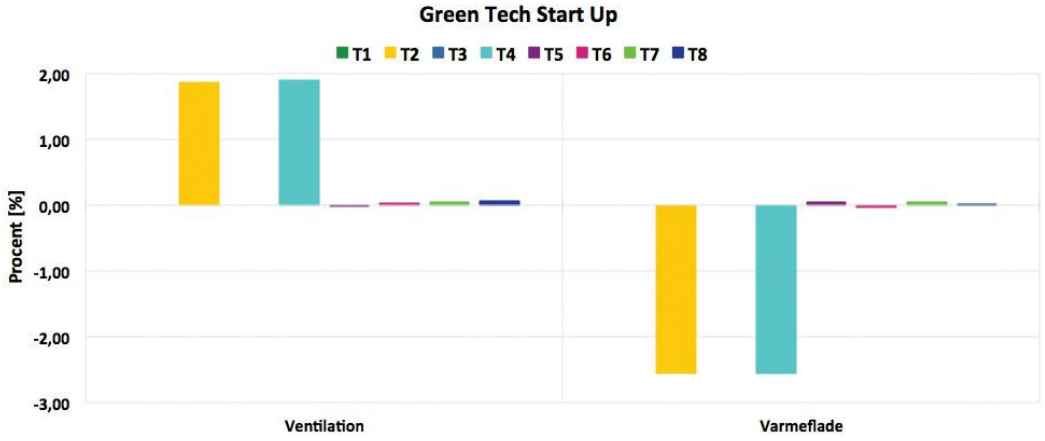


Figur 10.5. Energibalancesammenligning mellem manuel styring og styringsstrategier i *Green Tech Start Up*.

Generelt ses det, at der ikke findes en større ændring på energibalancen udover, solintensiteten er faldet markant pga. EnergyFrames kører for oftere ved T2 og T4. Ved de to samme styringsstrategier er behovet for ventilation dalet. Da det er en energibalance, er det ikke ensbetydende med, at der bruges mindre energi på ventilation. Mindre varme er ensbetydende med lavere indetemperatur, og derfor falder transmissionstabet ligeledes. Ved brug af *sol ned* (T5, T7 og T8) resulterer det i marginale ændringer grundet isoleringsevnen forbedres minimalt om natten. Der observeres ingen

forskel mellem den manuelle styring og styring med blænding, da der er registreret få timer med blænding i simuleringerne.

Energibalancen giver et godt billede af, på hvilke parametre styringsstrategierne ændrer forholdene mellem de forskellige tilskud og tab. Ulempen ved energibalancen er dog, at det er svært at vurdere hvor meget energi, der spares. Derfor undersøges besparelserne for ventilation og opvarmning. Figur 10.6 viser den procentvise ændring i energiforbruget ift. den manuelle styring mht. energiforbrug til drift af ventilationsanlægget.



Figur 10.6. Forandring af energibehovet ift. til manuel styring i *Green Tech Start Up*.

De små forbedringer på knap 2 % for ventilationen ved T2 og T4 skyldes, at nogen tilfælde ved højt ventilationsniveau undviges pga. EnergyFrames blokerer solvarmetilførslen. Energien fra varmefladen til ventilation er dog forværret grundet vinterperioden, hvor solvarmen giver et tilskud til opvarmning. En optimering på styringsstrategierne kunne være at ændre deres styring fra værende årsbaseret til sæsonbaseret. Herved kan det forøgede behov for ekstra energi til varmefladen eskaperes.

For at undersøge komforten ved styringsstrategierne vises tabel 10.4 med overtemperaturer på årsbasis i brugstiden.

Green Tech Start Up

Strategi	**Overgangsårstider Timer > 25,5 °C**	**Sommer Timer > 26,5 °C**	**Vinter Timer > 25 °C**	**I alt**
Manuel	0	16	0	**16**
T1	0	16	0	**16**
T2	0	15	0	**15**
T3	0	16	0	**16**
T4	0	13	0	**13**
T5	0	16	0	**16**
T6	0	16	0	**16**
T7	0	13	0	**13**
T8	0	13	0	**13**

Tabel 10.4. Antal timer med overtemperaturer for samtlige styringsstrategier ift. manuel styring i *Green Tech Start Up* i brugstiden.

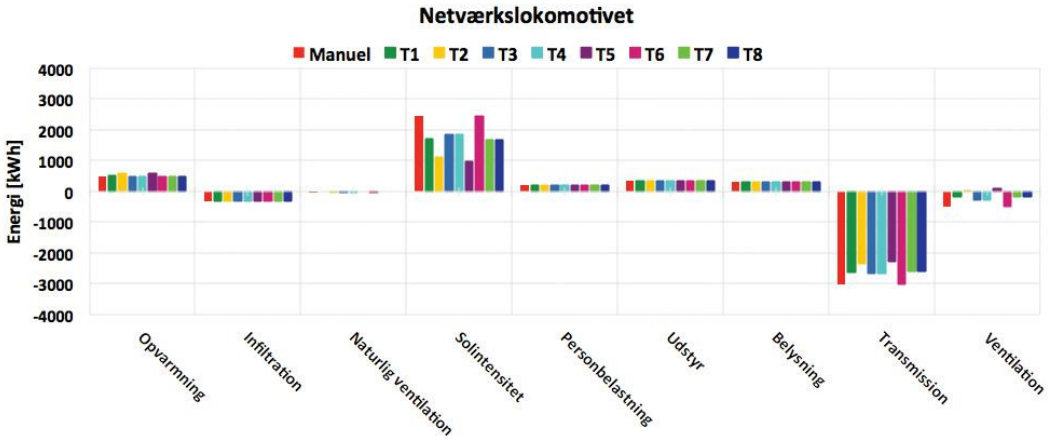
Overtemperaturerne opstår kun i sommerperioden, hvilket atter skyldes, at rummet har store facader mod syd, øst og vest. Grunden til det få antal timer med overtemperaturer skyldes, at

personbelastningen er lav samtidig med at rummet er så stort, at det tager lang tid for al luften af blive varmet op.

Det er derfor interessant at undersøge, hvorvidt en forøget og passende personbelastning i rummet påvirker resultater ift. den reelle personbelastning. Dette undersøges i afsnit 10.3.

Netværkslokomotivet

I underafsnittet præsenteres resultater for helårsberegning ift. den manuelle styring i *Netværkslokomotivet*. Figur 10.7 viser energibalancen.



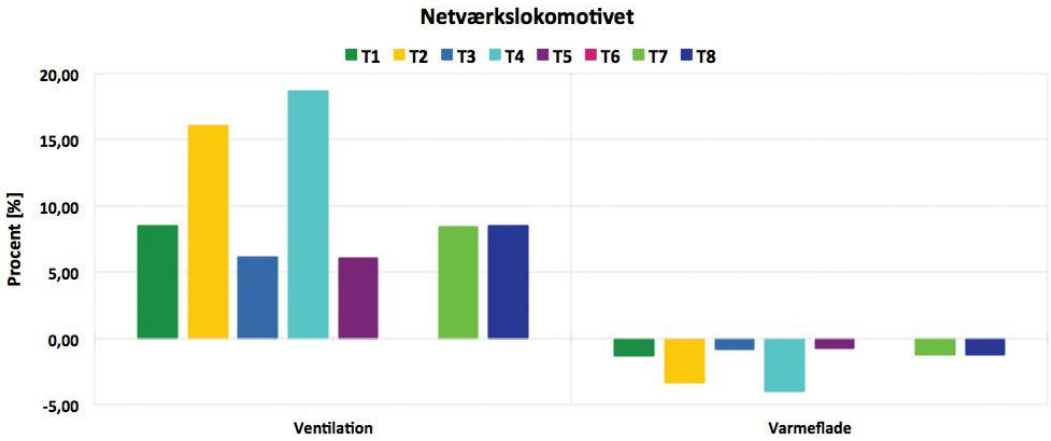
Figur 10.7. Sammenligning af energibalance mellem manuel styring og T1 samt T2 i *Netværkslokomotivet*.

Det er samme tendens, der gøres gældende vedr. faldende solvarmetilskud og mindre transmissionstab. Det minimale energitilskud fra ventilationen betyder, at ventilation ved visse styringsstrategier giver tilskud til rummet i stedet for tab pga. indetemperaturen er lavere end indblæsningstemperaturen.

Tilstedeværelse (T2, T3 og T4) i modsætning til *Green Tech Start Up* udviser umiddelbart ikke en mærkbar effekt, hvilket skyldles, at der blokeres for mere solvarme i timerne uden for brugstiden.

Styringen med *blænding* (T6) er den eneste styring der ingen forskel har ift. den manuelle styring. Det ses ved styringsstrategien T8, at det er muligt at inkludere *blænding* og samtidig få en ændring på energibalancen.

For at give et mere udtryksfuldt billede af ændringen, er der på figur 10.8 vist den procentvise ændring ift. manuel styring for ventilationsdriften og varmefladen for ventilationen.



Figur 10.8. Forandring af energibehovet ift. til manuel styring i *Netværkslokomotivet*.

Det ses, at der alene på ventilationsdriften spares knap 20 % ved den bedste strategi, T4. En fornuftig besparelse på godt 15 % findes ved T2. Fælles for disse er styringer er inkludering af strategien *tilstedeværelse*. De er dog ikke de eneste styringsstrategier, som viser en forbedring i energiforbruget, da den mindst effektive styring (T6 ekskluderet) forbedrer ventilationsforbruget med godt 5 %.

T2 og T4 har dog også de største negative ændringer grundet en større blokering af solvarmen. Selvom det tilsyneladende er mindre %-vise ændringer, skal det nævnes de reelle værdier for varmefladen er højere end for ventilation. Den præcise totale besparelse for begge parametre taget i betragtning er kompliceret at give, da det afhænger af to forskellige energipriser samt, at varmegenvinding ikke er medregnet i simuleringerne.

For at undersøge komforten vises tabel 10.5 med overtemperaturer på årsbasis i brugstiden.

Netværkslokomotivet

Strategi	**Overgangsårstider Timer > 25,5 °C**	**Sommer Timer > 26,5 °C**	**Vinter Timer > 25 °C**	**I alt**
Manuel	16	37	0	**53**
T1	0	1	0	**1**
T2	10	17	0	**27**
T3	12	18	0	**30**
T4	0	1	0	**1**
T5	12	18	0	**30**
T6	16	37	0	**53**
T7	0	1	0	**1**
T8	0	1	0	**1**

Tabel 10.5. Antal timer med overtemperaturer for samtlige styringsstrategier ift. manuel styring i *Netværkslokomotivet* i brugstiden.

Vinterperioden viser ingen tegn på problemer. De største problemer findes om sommeren, dog kun for udvalgte strategier. Strategierne, som næsten fuldkomment udelukker overtemperaturer er T1, T4, T7 og T8. Det skyldes, at de resterende styringer kører alle EF for, når de ikke er tilstede, hvilket ikke har nogen indflydelse på brugstiden.

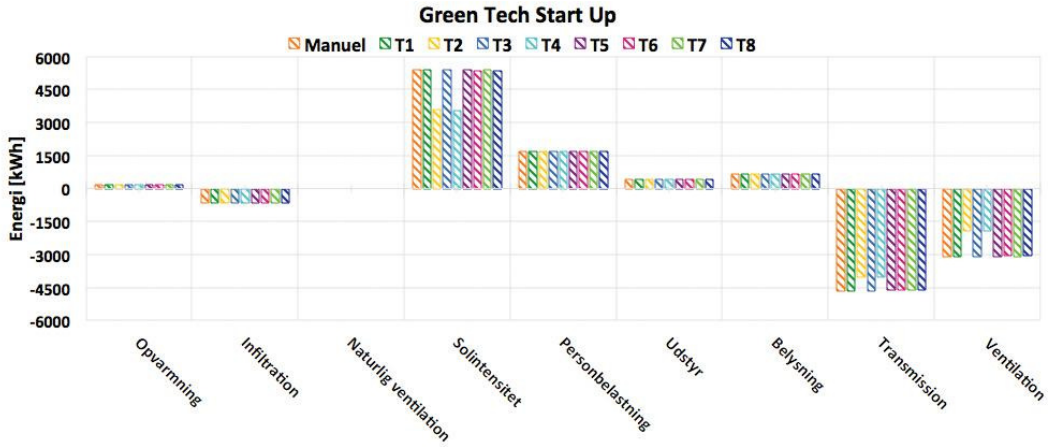
Styringsstrategi T6 er ligeså ineffektiv som den manuelle styring, hvor T2, T3 og T5 ca. halverer antal overtemperaturer om sommeren ift. til den manuelle styring. Overordnet set for samtlige

styringsstrategier findes aldrig et antal af overtemperaturer, der er højere end den manuelle styring. Det vurderes videre på denne basis, at den termiske komfort befinder sig på et acceptabelt niveau og forbedres ved styringsstrategier.

10.3 Forøget personbelastning i Green Tech Start Up

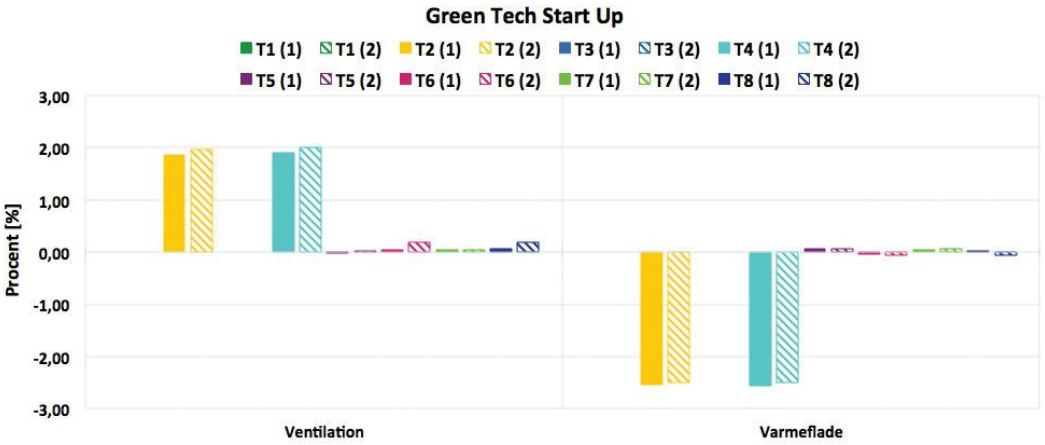
Som nævnt i afsnit 10.2.2 foretages en nærmere undersøgelse for *Green Tech Start Up* med en mere passende personbelastning taget rummets størrelse i betragtning.

På figur 10.9 vises resultaterne for *Green Tech Start Up*, hvor styringsstrategierne har undergået samme procedure, som forrige resultater i kapitlet, blot med en ændring af personbelastning til syv personer. De syv personer er vurderet ud fra kendskab til rummet og antal opsatte arbejdspladser.



Figur 10.9. Energibalance mellem styringsstrategier for syv personer.

Det ses, at det kun er ved styringsstrategierne T2 og T4 på figur 10.4, hvor tilstedeværelse har mulighed for at være den dominerende styring, hvor der observeres forskelle. De resterende styringer giver minimale udslag på energibalancen.



Figur 10.10. Procentvis ændring af energiforbrug mellem to personbelastninger i *Green Tech Start Up*.

Det konstateres, at personbelastningen ikke er parameteren, der påvirker de procentvise ændringer ift. scenariet med en mindre personbelastning, da forskelligheden er af marginal størrelse. Det skyldes igen, at ventilationsmængden er dominerende, fordi den er overdimensioneret.

Tabel 10.6 viser forøgelsen af antal timer med overtemperaturer med forøget personbelastning ift. den reelle personbelastning.

Green Tech Start Up

Strategi	**Overgangsårstider Timer > 25,5 °C**	**Sommer Timer > 26,5 °C**	**Vinter Timer > 25 °C**	**I alt**
Manuel	0	5	0	**5**
T1	0	5	0	**5**
T2	0	4	0	**5**
T3	0	5	0	**5**
T4	0	5	0	**5**
T5	0	5	0	**5**
T6	0	5	0	**5**
T7	0	8	0	**8**
T8	0	8	0	**8**

Tabel 10.6. Forøgelse af antal timer med overtemperaturer i brugstiden for *Green Tech Start Up* med syv ift. to personer.

Tabel 10.6 viser ganske få timers forskel med overtemperaturer fra den reelle personbelastning til den forøgede personbelastning. Taget i betragtning, at det er resultater for et helt år, kan forskellen negligeres, og det konstateres endeligt, at personbelastningen ikke spiller en rolle med henblik på at forbedre energiforbruget såvel som indeklimaet så længe et overdimensioneret ventilationsmængde findes.

Systemforbedringer af Green Tech Start Up 11

I dette kapitel er der på baggrund af de erhvervede erfaringer fra kapitel 10 præsenteret forbedringer til diverse systemer, der styrer *Green Tech Start Up*. Forbedringerne har til formål at vise potentiale af EnergyFrames integreret i et overordnet styringssystem for *Green Tech Start Up*.

Det oprindelige ventilationssystem konflikter på flere parametre, som forhindrer en optimal brug af EnergyFrames. Der dimensioneres derfor et nyt styringssystem af ventilationen, der skal fremme potentialet af EnergyFrames. Simuleringerne er baseret på den årsbaserede BSim model. Beregninger til kapitlet findes i appendiks A.22 og den forbedrede BSim model findes i appendiks A.23.

11.1 Forbedring af ventilationssystem

Udover at det først og fremmest anbefales at optimere følerplaceringen til ventilationen, ændres eller implementeres følgende parametre i det nye styringssystem:

- Driftstid
- Personbelastning
- Luftmængde tilpasses
- Setpoint for forhøjet ventilation

Driftstiden for ventilationen ændres til at starte en time før brugstid for at sikre et godt indeklima ved mødetid. Det vurderes, at det er nødvendigt at starte ventilationen to timer før om mandagen for at tilgodekomme weekendens fraværende drift. Driftstiden ophører en time efter brugstid for at udskifte forurening i luften. Den oprindelige tilstand på driftstiden er markant længere end brugstiden for at sikre rummet imod situationer med overtemperaturer. Da EnergyFrames "gratis" blokerer for den indtrængende solvarme, skånes driftstiden af ventilation ift. den oprindelige styring, da den derfor er unødvendig.

Personbelastningen ændres til syv personer, da rummet originalt er møbleret til det antal, og de nuværende to personer er en underrepræsentation af det projekterede. På denne baggrund dimensioneres **luftmængden** til tilpasning af syv personer som standardindstilling. En tredobling af ventilationsmængden optræder (som maks. faktor i BSim) ved nødsagede situationer. Ud fra CR1752 kategori A fås følgende luftmængder [CEN Report, 1998]:

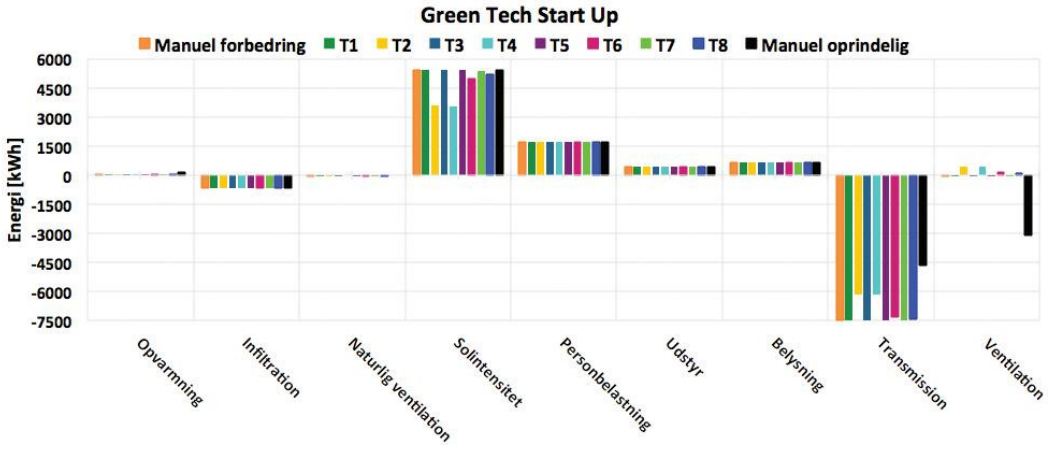
- Standardindstilling: 10 $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ pr. person $\cdot$ 7 personer = $\mathbf{70}$ $\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{s}}$
- Forhøjet niveau: 70 $\frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 3 = \mathbf{210}$ $\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{s}}$

Setpointet for hvornår ventilationen skal begynde at køle i form af forhøjet ventilationsmængde sættes til 25 °C. Som nævnt i afsnit 10.2.1 er det fordelagtigt at bruge EnergyFrames til at blokere solvarmen ved overtemperaturer inden ventilationsmængden øges. Det er valgt at bruge et aktiveringssetpoint for EnergyFrames på 24,5 °C. Det betyder, de begynder at blokere solvarmeindtrængen før ventilationen påbegyndes.

Kølesetpointet på 25 °C er valgt for den forhøjede ventilation, da det er inden for komforttemperaturen for samtlige sæsoner, samtidig med at EnergyFrames benytter et setpoint, hvor den ikke hyppigt hverken kører for eller fra. Derved reduceres risici for at chikanere brugerne.

11.2 Ventilation og EnergyFrames i et integreret system

Afsnittet præsenterer resultaterne på baggrund af de gennemgåede ændringer. Først gennemgås energibalancen for den forbedrede systemstyring med manuel styring og alle styringsstrategier samt den oprindelige manuelle styring (inkl. syv personer), ses på figur 11.1.



Figur 11.1. Energibalancer for samtlige styringsstrategier og manuelle styringer.

Den mest markante observation for energibalancen er, at ventilationen for alle andre tilfælde end den oprindelige manuelle styring har gennemgået en forandring fra et stort tab til et minimerede tab eller tilskud. Som det ved flere tilfælde er blevet nævnt gennem del III, har styring T2 og T4 de mindste soltilskud, hvor der dog tilsvarende findes et mindre transmissionstab.

Energibalancen er ikke alene tilstrækkelig til at bestemme hvilken styring, som giver de mest fordelagtige resultater. Det undersøges derfor, hvor meget den forbedrede manuelle styring har ændret både ventilation- og varmefladebehovet ift. den oprindelige styring, se tabel 11.1.

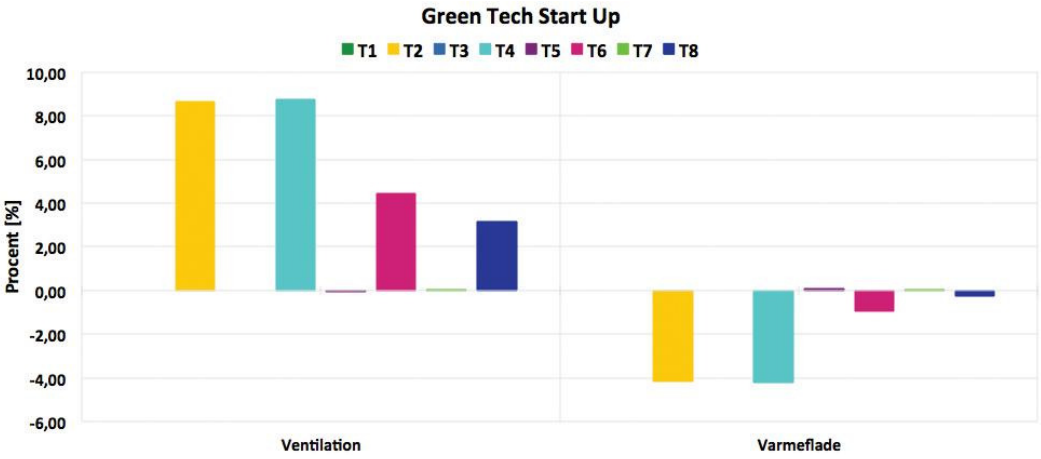
	Ventilation [kWh]	**Varmeflade [kWh]**
oprindelige manuel	3.270	26.222
Forbedret manuel	410	4.124
%-vis forbedring	**87,46**	**84,62**

Tabel 11.1. Procentvis forbedring for ventilation og varmeflade mellem oprindelige og forbedret manuel styring.

Begge parametre giver et stærkt indtryk af, at optimeringen af ventilationssystemet har givet markante udslag på energiforbruget, da resultaterne begge overstiger 80 %. Det antydes derfor

kraftigt, at en tidlig inkorporering af EnergyFrames i de overordnede styringer af et rum eller en bygning er et essentielt foretagende, hvis de skal udnyttes til deres fulde potentiale.

For at udvide undersøgelsen af hvilken specifik/hvilke specifikke styringer, der udviser de bedste resultater for energiforbruget, undersøges atter forbedringen ift. den forbedret manuelle styring, se figur 11.2.



Figur 11.2. Procentvise ændringer af energibehov for styringsstrategier ift. forbedret manuel styring.

Figuren viser, at T2 og T4 fastholdes som styringsstrategierne, hvorved de bedste energimæssige resultater findes på knap 9 % ved ventilationen, hvor styringsstrategierne T6 og T8 i nogen grad giver resultater, der er værd at bemærke. For varmefladen kommer samme mønster til udtryk, dog i den negative retning grundet en forværring af energiforbruget, da mere varme skal benyttes til at opretholde en passende temperatur i *Green Tech Start Up*.

For inddragelse af brugernes komfort undersøges antal timer med overtemperaturer, se tabel 11.2.

Green Tech Start Up

Strategi	**Overgangsårstider Timer > 25,5 °C**	**Sommer Timer > 26,5 °C**	**Vinter Timer > 25 °C**	**I alt**
Manuel oprindelige	0	21	0	**21**
Manuel forbedring	25	86	0	**111**
T1	25	86	0	**111**
T2	8	46	0	**54**
T3	25	86	0	**111**
T4	8	38	0	**46**
T5	25	86	0	**111**
T6	14	75	0	**89**
T7	25	81	0	**106**
T8	18	76	0	**94**

Tabel 11.2. Antal timer med overtemperaturer i brugstiden af samtlige styringsstrategier og manuelle styringer.

Da det konsekvent er blevet nævnt, at den oprindelige manuelle styring er blevet forbedret, kan det virke besynderligt, at der for alle andre styringer findes flere timer med overtemperaturer. Forklaringen er, at det oprindelige system er vurderet vældigt overdimensioneret og af den grund presser overtemperaturerne i bund.

Ved overgangsårstiderne findes aldrig problemer. De største problemer findes ved sommeren. Det observeres, at T2 og T4 sænker antallet af overtemperaturer mest effektivt til hhv. 46 timer og 38 timer. Disse to styringsstrategier er ligeledes de mest effektive for vinteren.

På årsbasis vurderes det totale antal timer for T2 (54 timer) og T4 (46 timer) at være acceptable, hvorimod de resterende styringsstrategier ligger i et tvivlsomt område, som strækker sig fra 89 til 111 timer.

En konklusion der drages på baggrund af kapitlet er, at T2 og T4 konstateres som værende de klart bedste og mest fordelagtige at anvende, siden de ikke alene forbedrer energiforbruget, men på samme tid yder den bedste komfort for brugerne. Styringerne er forholdsvis simple, hvilket betyder at risici for chikanering af brugerne ved overdreven til- og frakørsel af EnergyFrames er reduceret.

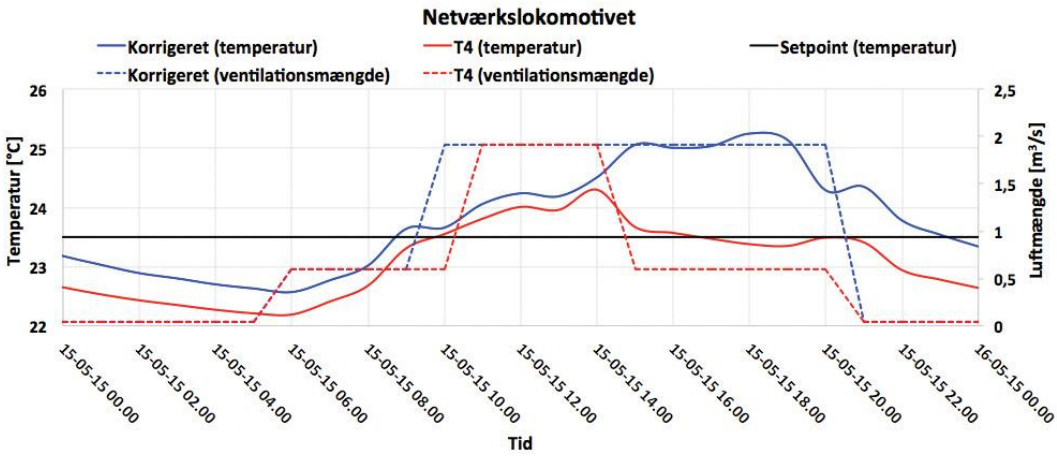
Ønskes det yderligere at tage højde for blænding kan styringsstrategierne T6 og T8 med god grund implementeres, fordi de ved både energi og indeklima viser de næstbedste resultater efter T2 og T4. En sidste mulighed er, at manuel overstyring kan bruges til at undgå blændingsgener.

Måleperiode med automatiserede EnergyFrames 12

I dette kapitel undersøges det, hvordan EnergyFrames påvirker måleperiodens resultater. Det betyder den reelle måleperiode revideres, hvorpå der vedhæftes automatiseret afskærmning via simuleringer. Beregninger tilhørende kapitlet findes i appendiks A.24 og BSim moddellen af automatiserede styringsstrategier findes i appendiks A.25. Følgende gøres gældende for kapitlet:

- Der vil kun undersøges for *Netværkslokomotivet*, da det ikke er muligt at spare energi i *Green Tech Start Up*, fordi ventilationen aldrig går op i forhøjet ventilationsniveau.
- Styringsstrategien til benyttelse er T4, da den viste sig at være mest effektive ved den årsbaserede beregning, hvilket også vurderes til at være gældende ved måleperioden.

For at give et eksempel på, hvad der ønskes at optimeres, se figur 12.1.



Figur 12.1. Forskellig udnyttelse af ventilationsmængde mellem en korrigeret manuel og automatiseret model.

Det ses, at der er mindre tid med forhøjet ventilationsmængde, hvilket i sidste ende skærer ned på energiforbruget. Før dette resultat kan fremfindes skal tiltag først arrangeres. Den mindre tid med forhøjet ventilationsmængde skyldes, at der ved brug af EnergyFrames i styring T4 blokeres for solvarmetilskuddet, og temperaturen falder derefter hurtigere under setpointet for ventilationsforøgelse.

Det er fundet ved analyse af de foreløbige resultater for måleperioden, at der opstår tidspunkter, hvorpå ventilationsmængden og BSim's simulerede indetemperaturer ikke stemmer overens. Med det menes, at der ventileres med den forhøjede ventilationsmængde, selvom temperaturen ikke er over 23,5 °C.

For at skabe troværdighed i sammenligningen mellem manuel og automatisk styring, er det nødvendigt at reducere ventilationsmængden fra den forhøjede ventilationsmængde til standardindstillingen, hvis temperaturen i BSim er under 23,5 °C. Det anderkendes, at dette tiltag vil medføre afvigelser i resultaterne fra BSim simuleringerne, men det gøres for at muliggøre en sammenligning af en kombination af EnergyFrames og ventilation. Resultatet efter korrektionerne er vist i tabel 12.1.

	Ventilation [kWh]	**Varmeflade [kWh]**
Måleperiode	58,32	494,76
Korrigeret	48,57	420,58

Tabel 12.1. Korrektionsindflydelse.

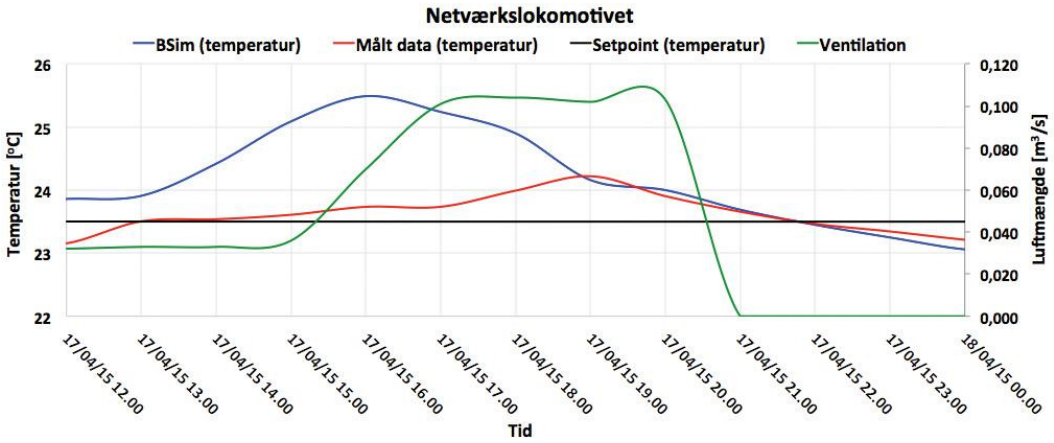
Korrektionerne har medført en reduktion i forbruget til ventilationsdrift og ventilationens varmeflade. Den korrigerede manuelle version sammenlignes med modellen, hvori styringsstrategi T4 er implementeret. Resultaterne ses i tabel 12.2.

	Ventilation [kWh]	**Varmeflade [kWh]**
Korrigeret	48,57	420,58
T4	45,84	399,01
%-vis forbedring	**5,62**	**5,13**

Tabel 12.2. Forbedring ved styringsstrategi T4.

Der findes en besparelse på ca. 5 % for energiforbruget til ventilation og varmefladen grundet en reduktion af ventilationsmængden. Det svarer til 28 timer, som ventilationsniveauet er reduceret med ift. standardindstillingens 247 timer, hvor ventilationsmængden er på det højeste niveau. Alle 28 timer er uden for brugstiden, hvor der samlet set findes 178 timer med forhøjet ventilationsmængde.

Resultatet afspejler sandsynligvis en mindre værdi pga. uundgåelige temperaturforskelle mellem de målte data og de simulerede. På grund af BSim's høje temperaturer og de indtastede målte ventilationsmængder, kan konflikter opstå. For at belyse problemet, se figur 12.2.



Figur 12.2. Forløb af temperaturer og luftmængde for *Netværkslokomotivet*.

Siden de målte data konsekvent ligger lavere end BSims temperaturer, medfører det automatisk, at det tager kortere tid for EnergyFrames at nedbringe temperaturerne i rummene. I BSim optræder aktiveringen af EnergyFrames derfor ved højere temperaturer, og det kræver derfor en længere tidsperiode at bringe temperaturen ned under setpointet.

Det ses, at ventilationen stopper selvom temperaturen stadig er over setpointet, men dette skyldes blot, at klokken er blevet 20:00, hvor ventilationssystemet slukker.

Det kan konkluderes at automatiserede styringsstrategier for EnergyFrames i måleperioden havde givet en forbedring af energiforbruget på ca. 5 %. Grundet metoden med den korrigerede værdi samt BSims høje temperaturer, kunne denne ændring yderligere forbedre energiforbruget.

Konklusion 13

EnergyFrames har teoretisk set vist størst potentiale ift. nye bygninger med store glasarealer, hvilket gøres gældende ved både erhvervsbygninger og beboelser. Grundet EnergyFrames fleksible anvendelse kan de tilpasses bygningers behov og funktioner, da der findes adskillelige typer EnergyFrames.

I skellet mellem teori og praksis findes brugerinteraktion, som en overset faktor, der især har stor indflydelse på energien. Via udførte forsøg ved *Living Lab* har det vist sig, at interaktionen med EnergyFrames har været fraværende, hvilket har hæmmet en effektiv udnyttelse af EnergyFrames' potentiale. For at kunne realisere simuleringer ift. fremtidige beregninger, er det erfaret, at kendskab til brugernes uforudsigelige adfærd og tendenser er af essentiel betydning. Endvidere har viden vedr. systemers virkning og mangel på fornuftig installation og projektering været uundværlig for at skabe indblik i EnergyFrames' betydning for et samlet integreret system.

For *Living Lab* har det vist sig, at EnergyFrames ikke er en integreret del af bygningens systemer. Det kommer til udtryk vedr. ventilationen, som ufornødent bruger energi på at sænke overtemperaturer, som EnergyFrames burde forebygge via integrerede styringsstrategier.

Resultater gennem projektet har vist, at adskillelige styringsstrategier på årsbasis har varieret i forbedring, men har ikke i nogen tilfælde udnyttet potentialet af EnergyFrames' funktioner fuldt ud. Ved at modificere de oprindelige systemer til at agere som supplerende instanser til EnergyFrames, fremkommer et lovende energibesparende potentiale. Ved implementering af EnergyFrames' styringsstrategier påvirkes den tilstedeværende acceptable komfort ikke negativt.

Det konkluderes, at **EnergyFrames har potentiale** til at give fornuftige energibesparelser, hvis:

- Brugerne integreres i en korrekt interaktion med automatisk styring ved forståelse for EnergyFrames' adskillelige komfortmæssige muligheder
- En gennemtænkt kombination med bygnings øvrige systemer og installationer finder sted

Litteratur

Aggerholm og Grau, **2011**. Søren Aggerholm og Karl Grau. *SBi 213, Bygningens energibehov.* ISBN:87-563-1553-1. Statens Byggeforskningsinstitut, 2011.

Anne Højer Simonsen, Energistyrelsen, **2014**. Anne Højer Simonsen, Energistyrelsen. *Hvad betyder CO2-neutralitet for byggeriet? - Energi- og klimapolitikkens udfordringer.* URL: `http://bygherreforeningen.dk/dokumenter/Energistyrelsen,_Anne_Hoejer_Simonsen.pdf+&cd=6&hl=da&ct=clnk&gl=dk`, 2014. Downloadet: 19-11-2014.

Art Andersen, **2014a**. Art Andersen. *EnergyFrames.* URL: `http://energy-frames.dk`, 2014. Fundet: 19-11-2014.

Art Andersen, **2014b**. Art Andersen. *Facader på forkant med fremtidens energi- og miljøkrav.* URL: `http://energy-frames.dk/energi-og-miljoe/`, 2014. Fundet: 20-11-2014.

Bolius, **2004a**. Bolius. *Parcelhusets historie - 1930'erne til 1970'erne.* URL: `http://www.bolius.dk/parcelhusets-historie-1930erne-til-1970erne-17118/`, 2004. Fundet: 01-10-2014.

Bolius, **2014a**. Bolius. *Den funktionelle villa.* URL: `http://www.bolius.dk/den-funktionelle-villa-18827/`, 2014. Fundet: 01-10-2014.

Bolius, **2004b**. Bolius. *Parcelhusets historie - 1980'erne og 1990'erne.* URL: `http://www.bolius.dk/parcelhusets-historie-1980erne-og-1990erne-17123/`, 2004. Fundet: 01-10-2014.

Bolius, **2014b**. Bolius. *Bungalowen.* URL: `http://www.bolius.dk/bungalowen-18824`, 2014. Fundet: 01-10-2014.

Bolius, **2014c**. Bolius. *Typehuset fra 1960 til 1980.* URL: `http://www.bolius.dk/typehuset-fra-1960-til-1980-18800/`, 2014. Fundet: 01-10-2014.

Brendan O'Neill, **2014**. Brendan O'Neill. *Daylight and solar management using an automated venetian blind.* URL: `http://sbrn.solarbuildings.ca/c/sbn/file_db/Pres_Pdf/Daylight_and_solar_gain_management_using_an_automated_venetian_blind.pdf`, 2014. Fundet: 08-12-2014.

Byggeplads.dk, **2013**. Byggeplads.dk. *Glasbyggeri er smukt, men ofte ikke særlig funktionelt ...* URL: `http://www.byggeplads.dk/nyhed/2013/05/glasbyggeri-facader/glasbyggeri-er-smukt-men-ofte-ikke-saerlig-funktionelt`, 2013. Fundet: 01-10-2014.

Bygningsreglementet, **2014**. Bygningsreglementet. *Entasis.* URL: `http://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/nybyggeri_exsamling/0/56`, 2014. Fundet: 17-11-2014.

C.-A Roulet, **1992**. C.-A Roulet. *Expérimentation in situ en relation avec les qualités thermiques et aérauliques du bâtiment*, 1992.

Cembrit, **2014**. Cembrit. *Tidernes trends: Byggeri i Danmark siden 1960*. URL: http://www.cembrit.dk/Files/Filer/DE/Tidslinje/Tidslinje%20-%20Byggeri%20i%20Danmark%20siden%201960.pdf, 2014. Downloadet: 01-10-2014.

CEN Report, **1998**. CEN Report. *CR 1752 Ventilation for buildings*. 1. Udgave. CEN, 1998.

Danmarks Statistik, **2013**. Danmarks Statistik. *Størst befolkningsvækst i Københavns Kommune*. URL: http://www.dst.dk/pukora/epub/Nyt/2013/NR219_1.pdf, 2013. Downloadet: 06-11-2014.

Danmarks Statistik, **2014**. Danmarks Statistik. *Statistikbanken*. URL: http://www.statistikbanken.dk, 2014. Fundet: 06-11-2014.

Danmarks Statistik, **2005**. Danmarks Statistik. *Nyt fra Danmarks Statistik*. URL: http://www.dst.dk/pukora/epub/Nyt/2005/NR264.pdf, 2005. Downloadet: 01-10-2014.

Dansk Standard, **2005**. Dansk Standard. *DS 700 - Kunstig belysning i arbejdslokaler*. Eurocodes. Dansk Standard, 2005.

Dansk standard 13363-1, **2007**. Dansk standard 13363-1. *DS13363-1 + A1 - Solafskærmningsudstyr kombineret med ruder - Beregning af sol- og lystransmission - Del 1: Forenklet motode*. 2, Dansk Standard. Dansk Standard, 2007.

Dansk standard 13790, **2008**. Dansk standard 13790. *DS13790 - Bygningers energieffektivitet - Beregning af energiforbrug til rumopvarmning og -køling*. 2, Dansk Standard. Dansk Standard, 2008.

Dansk Standard 418, **2011**. Dansk Standard 418. *Beregning af bygningers varmetab*. 7. udgave, DS. Dansk Standard, 2011.

Dansk Standard 474, **1993**. Dansk Standard 474. *DS474, Norm for specifikation af termisk indeklima*. 1. udgave, DS. Dansk Standard, 1993.

Dantec Dynamics, **2014**. Dantec Dynamics. *ComfortSense - Thermal comfort measurement according to EN 13182, ISO 7726, ISO 7730, ASHRAE standard 55 and ASHRAE standard 113*, 2014.

DATALOGGERS, **2015**. DATALOGGERS. *Eltek GD47 Wireless Air Quality Transmitter*. URL: http://www.dataloggerinc.com/products/Eltek_GD47_Wireless_Air_Quality_Transmitter/143/, 2015. Fundet: 13-05-2015.

DMI, **2013**. DMI. *CO2-kurven når nye højder*. URL: http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2013/5/co2-kurven-naar-nye-hoejder/, 2013. Fundet: 28-05-2015.

Dong energy, **2015**. Dong energy. *Apparaters elforbrug*. URL: https://www.dongenergy.dk/privat/energitips/tjekditforbrug/gennemsnitsforbrug/Pages/alleapparaterselforbrug.aspx, 2015. Fundet: 08-05-2015.

EDC, **2014a**. EDC. *Hanetoften 45, 9900 Frederikshavn*. URL: http://www.edc.dk/sag/9900-frederikshavn/hanetoften-45-99002307/, 2014. Fundet: 18-11-2014.

EDC, **2014b**. EDC. *Kastanievej 10, 9330 Dronninglund*. URL: http://www.edc.dk/sag/9330-dronninglund/kastanievej-10-93301590/, 2014. Fundet: 18-11-2014.

Eltek, **2015a**. Eltek. *Transmitters*. URL: http://www.eltekdataloggers.co.uk/transmitters.html, 2015. Fundet: 08-04-2015.

Eltek, **2015b**. Eltek. *WSR Wireless Sensor Receiver*. URL: http://www.eltekdataloggers.co.uk/wsr.html, 2015. Fundet: 13-05-2015.

EnergiStyrelsen, **2011**. EnergiStyrelsen. *Dansk Bygningsreglement 2010*. URL: http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk/br10/0/42, 2011. Fundet: 15-05-2014.

Energistyrelsen, **2014**. Energistyrelsen. *Bygningsreglement for erhvervs- og etagebyggeri (inkl. tillæg 1-10)*. URL: http://bygningsreglementet.dk/br95_09/0/42, 2014. Fundet: 07-11-2014.

Energistyrelsen, **2001**. Energistyrelsen. *Bliv varm på dit vindue*. URL: http://www.energimarkning.dk/Rapporter/Bliv%20varm%201.pdf, 2001. Fundet: 24-04-2015.

Entasis, **2014**. Entasis. *Entasis*. URL: http://entasis.dk/471, 2014. Fundet: 17-11-2014.

ETM Mätteknik AB, **2015**. ETM Mätteknik AB. *ELTEK GENII System*. URL: http://www.etm.se/produkt/eltek-genii-system/, 2015. Fundet: 13-04-2015.

Green Tech Center, **2015**. Green Tech Center. *Green Tech Data Center*. URL: http://http://data.greentechcenter.dk, 2015. Fundet: 11-05-2015.

Green Tech Center, **2014**. Green Tech Center. *Smart Grid Living Lab*. URL: http://www.greentechcenter.dk/dk/moed-virksomhederne.aspx, 2014. Fundet: 11-09-2014.

Hans Lund, **1985**. Hans Lund. *Short Reference Years And Test Reference Years For EEC Countries*, 1985.

Hyldgaard, Funch, og Steen-Thøde, **1997**. Carl Erik Hyldgaard, E.J. Funch, og M. Steen-Thøde. *Grundlæggende Klimateknik og Bygningsfysik*. ISBN : 1395-8232-U9714. Aalborg Universitet, 1997.

Ingeniørforeningen IDA, **2014**. Ingeniørforeningen IDA. *Bygningsrenovering og energiforbrug*. URL: http://ida.dk/synspunkter/teknologipolitik/bygningsrenovering-og-energiforbrug, 2014. Fundet: 19-11-2014.

Innovationsnetværket Dansk Lys, **2014**. Innovationsnetværket Dansk Lys. *Innovationsnetværket Dansk Lys. SBI og Art Andersen - Projekt Energy Frames*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=rn4ls2g6GCk, 2014. Fundet: 19-11-2014.

International-Standard, **2005**. International-Standard. *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.* ISO 7730:2005(E), ISO. International Standard, 2005.

Jensen, Nørgaard, Daniels, og Justesen, **2011**. Rasmus Jensen, Jesper Nørgaard, Ole Daniels, og Rasmus Justesen. *Beskrivelse af casehuse Bygningsintegreret energiforsyning.* 1. Udgave, DCE Technical Report No. 70. Aalborg Universitet Institut for Byggeri og Anlæg Indeklima og Energi, 2011.

Jessen, **2015a**. Søren Ahle-Kallesøe Jessen. *Datablad for EnergyFrames.* Datablad, 2015.

Jessen, **2015b**. Søren Ahle-Kallesøe Jessen. *Mulig fejl af g-værdier.* E-mail korrespondence, 2015.

Karlsen, Heiselberg, og Bryn, **2015**. Line Karlsen, Per Heiselberg, og Ida Bryn. *Occupant satisfaction with two blind control strategies: slats closed and slats in cut-off position*, 2015.

Kipp & Zonen, **2015**. Kipp & Zonen. *CMP10 Pyranometer.* URL: `http://www.kippzonen.com/Product/276/CMP10-Pyranometer#.VVNBXfmvHDc`, 2015. Fundet: 13-05-2015.

Kultur Styrelsen, **2012**. Kultur Styrelsen. *Fredede og bevaringsværdige bygninger.* URL: `http://www.kulturstyrelsen.dk/kulturarv/databaser/fredede-og-bevaringsvaerdige-bygninger/`, 2012. Fundet: 06-11-2014.

Liu, **2014**. Mingzhe Liu. *Mny.* Selvudviklet excelark, 2014.

Logitech, **2015**. Logitech. *Logitech HD Pro Webcam C920.* URL: `http://www.logitech.com/en-us/product/hd-pro-webcam-c920`, 2015. Fundet: 15-05-2015.

Lumasense Inc., **2015**. Lumasense Inc. *Photoacoustic Gas Monitor INNOVA 1412i.* URL: `http://www.lumasenseinc.com/EN/products/gas-monitoring-instruments/photoacoustic-gas-monitor-innova-1412i/`, 2015. Fundet: 13-05-2015.

Maerkdinbygning.dk, **2011**. Maerkdinbygning.dk. *Håndbog for energikonsulenter.* URL: `http://www.maerkdinbygning.dk/materiale/files/gamle-handboger/enfamilie-beregnet-forbrug-oktober-2011`, 2011. Fundet: 24-11-2014.

Nielsen, Pedersen, og Haugbølle, **2010**. Jørgen Nielsen, Erik Steen Pedersen, og Kim Haugbølle. *Byggeriets Produktivitet - Udvikling i boligbyggeriets standard.* 1. Udgave, SBi. Statens Byggeforskningsinstitut, 2010.

Paul Michael Petersen, **2012**. Paul Michael Petersen. *LED lysteknologier tilbyder nye muligheder inden for området lys, sundhed og ældre.* URL: `http://gate21.dk/billeder/filer/PlanC/lysogalder_PaulMichaelPetersen.pdf`, 2012. Downloadet: 07-11-2014.

Peter Klingenberg, Indeklimaportalen, **2014**. Peter Klingenberg, Indeklimaportalen. *Indendørs CO2.* URL: `http://www.indeklimaportalen.dk/indeklima/luftkvalitet/maaling/indendors_co2`, 2014. Fundet: 09-04-2015.

Rambøll, **2014**. Rambøll. *Byggeri*. URL: http://www.ramboll.dk/services/byggeri, 2014. Fundet: 25-11-2014.

Rio Panel, **2015**. Rio Panel. *RIOpanel Standard*. URL: http://www.riopanel.dk/media/dyn/productattachment/files/rio_dk_standard_5.pdf?_=1400682733, 2015. Fundet: 13-05-2015.

Rose og Mortensen, **2013**. Jørgen Rose og Lone Hedegaard Mortensen. *Fremtidssikring af komponentkrav*. 1. udgave, SBi 2013:03. SBi, 2013.

Socialministeriet, **2006**. Socialministeriet. *Bevaringsværdige bygninger*. URL: http://www.bygningsbevaring.dk/uploads/files/bevaringsv_bygninger.pdf, 2006. Downloadet: 06-11-2014.

Soltec, **2014**. Soltec. *Venetian Blind Z90*. URL: http://soltec.si/media/cache/image/1-zaluzija_z90-017f9710223463de.jpg, 2014. Fundet: 15-12-2014.

Statens Byggeforskningsinstitut, **2014**. Statens Byggeforskningsinstitut. *Klimadata*. URL: http://www.sbi.dk/indeklima/simulering/bsim-building-simulation/kun-for-brugere/kun-for-brugere-af-bsim/copy_of_klimadata, 2014. Fundet: 29-01-2015.

Stegger og Andersen, **2011**. Bjørn Stegger og Art Andersen. *EnergyFrames*. PowerPoint præsentation, 2011.

Tech, **2014**. Film Tech. *Institute of contemporary art - Barbara Lee Family Foundation theatre Boston, Massachusetts*. URL: http://www.film-tech.com/warehouse/wareview.php?id=1936&category=1&style=classic, 2014. Fundet: 06-11-2014.

Theplasticshop.co.uk, **2015**. Theplasticshop.co.uk. *Lexan*Exell*D Sheet*. URL: http://www.theplasticshop.co.uk/plastic_technical_data_sheets/lexan_exell_d_polycarbonate_technical_properties_data_sheet.pdf, 2015. Fundet: 10-02-2015.

Uddannelses- og Forskningsministeriet, **2013**. Uddannelses- og Forskningsministeriet. *Video: Energiforbruget fra bygninger kan potentielt reduceres med op mod 80 procent*. URL: http://ufm.dk/aktuelt/nyheder/2013/bygninger-star-for-omkring-40-procent-af-det-samlede-danske-energiforbrug, 2013. Fundet: 19-11-2014.

Valbjørn, **1983**. Ole Valbjørn. *SBi 130, Måling af termisk indeklima*. ISBN:87-563-0483-8. Statens Byggeforskningsinstitut, 1983.

Valbjørn, Laustsen, Høwisch, Nielsen, og Nielsen, **2000**. Ole Valbjørn, Susse Laustsen, John Høwisch, Ove Nielsen, og Peter A. Nielsen. *SBi 196, Indeklimahåndbogen*. ISBN:87-563-1255 -5. Statens Byggeforskningsinstitut, 2000.

VELFAC, **2013**. VELFAC. *Declaration of Performance / Ydeevnedeklaration - VELFAC 200 Plus*. URL: http://velfac.dk/vinduer-erhverv/Produkter/200i/7393,7744/Norms--Standards-various-certificates-V200-V200i-/, 2013. Fundet: 07-11-2014.

WessexPower, **2015a**. WessexPower. *Products*. URL: http://www.wessexpower.co.uk/uploads/products/25/GD.jpg, 2015. Fundet: 13-05-2015.

WessexPower, **2015b**. WessexPower. *GD-84*. URL: http://www.wessexpower.co.uk/products/centralmonitoring/wirelessradio/genii/transmitters/differentialpressure/?id=640, 2015. Fundet: 13-05-2015.

Del IV

Appendiks

Elektronisk bilag A

A.1 Be10 modeller

Vedhæftet som ni .xml filer og en .xls fil

A.2 Styringsstrategier med den simplificerede metode

Vedhæftet som .xls fil

A.3 Bygningsdata fra Rambøll

Vedhæftet som 13 .pdf filer, fem .xml filer og en .xls fil

A.4 Ventilationsrater

Vedhæftet som .xls fil

A.5 Oprindelig Be10 model af Living Lab

Vedhæftet som .xml fil

A.6 Spørgeskema (forventninger)

Vedhæftet som .pdf fil

A.7 Udstyrsplacering

Vedhæftet som .xls fil

A.8 Logbog

Vedhæftet som .xls fil

A.9 Logbogsregistreringer

Vedhæftet som .xls fil

A.10 Data fra måleperioden

Vedhæftet som .xls fil

A.11 Original BSim model af Living Lab

Vedhæftet som .disxml fil

A.12 Vejrdata

Vedhæftet som .xls fil

A.13 Spotmålinger af træk

Vedhæftet som .xls fil

A.14 Infiltration resultater

Vedhæftet som to .xls filer

A.15 Fordeling af global solstråling

Vedhæftet som to .xls filer

A.16 Energimæssig korrekt brug af solvarmetilskuddet

Vedhæftet som .xml fil

A.17 Webcamsregistrering

Vedhæftet som .xml fil

A.18 Realiseret BSim model af Living Lab

Vedhæftet som .disxml fil

A.19 Beregninger til validering i BSim

Vedhæftet som .xml fil

A.20 Energibalancer og komfort for årsbasis

Vedhæftet som to .xls filer

A.21 Årsbaseret BSim model af Living Lab

Vedhæftet som .disxml fil

A.22 Beregninger til styringsstrategier ved forbedret ventilationsstyring

Vedhæftet som .xls fil

A.23 Forbedret BSim model af Living Lab

Vedhæftet som .disxml fil

A.24 Automatisk styring af EnergyFrames i måleperioden

Vedhæftet som .xls fil

A.25 BSim model af automatiserede styringsstrategier i måleperioden

Vedhæftet som .disxml fil

A.26 Den simplificerede metode

Vedhæftet som fire .xls filer

A.27 Validering af simpel bygning

Vedhæftet som .xls filer

A.28 Kalibrering af Eltek

Vedhæftet som to .xls filer

A.29 Revit model af Living Lab

Vedhæftet som .rvt fil

A.30 Opdateret Be10 model af Living Lab

Vedhæftet som .xml fil

Data til EnergyFrames B

I dette appendiks præsenteres data for EnergyFrames.

Model	Type	g	U	LT	SR	SA
Plade med polycarbonat	Klar	0,66	1,69	58	10**	32**
	Opal	0,51	1,69	50	20**	30**
Plade med isolering	20 mm	-	1,098	-	-	-
	23 mm	-	0,979	-	-	-
	25 mm	-	0,912	-	-	-
Tekstil	Soltis 92-2043	0,089*	-	2	12	86
	Soltis 92-2047	0,110*	-	5	8	87
	Soltis 92-2048	0,094*	-	8	46	46
	Soltis 92-2161	0,100*	-	5	19	76
	Soltis 96-2161	0,131*	-	12	30	58
	Soltis 96-2171	0,112*	-	12	51	37
	Soltis 96-8450	0,105*	-	4	7	89
Lamel		-	-	-	-	-

Tabel B.1. Data tilhørende EnergyFrames.

Signaturforklaring

g	g-værdi [-]
U	U-værdi [$\frac{W}{m^2K}$]
LT	Lystransmitans [%]
SR	Refleksion fra solen [%]
SA	Absorption fra solen [%]
*	Baseret på et 4+16+4 argon dobbelt rude
**	Vurderet på baggrund af lignende produkter [Theplasticshop.co.uk, 2015]

Tabel B.2. Signaturforklaring til tabel B.1.

Skema til Be10 beregninger C

I dette appendiks er der fremvist relaterede tabeller og vurderinger af parametre til kapitel 3.

C.1 Tabeller til Be10 beregninger

Tabel C.1 viser de indtastede parametre i Be10 og tilhørende tabel C.2 viser signaturforklaringer til tabel C.1.

	Enfamiliehuse				Etagebyggeri			Erhvervsbyggeri	
Parameter	***Case 1***	***Case 2***	***Case 3***	***Case 4***	***Case 5***	***Case 6***	***Case 7***	***Case 8***	***Case 9***
Opvarmede areal [m²]	103	108	154	168	50*	91	67	300*	3283
Bygningsmasse [$\frac{J}{m^2 K}$]	120*	120*	120*	120*	120*	120*	120*	120*	120*
Personantal [-]	4*	4*	4*	4*	2*	3*	2*	325*	192
Belysning [$\frac{W}{m^2}$]	-	-	-	-	-	-	-	10*	8
Rotation [°]	0	0	315	295	0	0*	0	0	0
Etager [-]	2	1	1	1	1	1	1	1	4
Ventilationstype	Naturlig	Naturlig	Naturlig	Mekanisk	Naturlig	Naturlig	Naturlig	Mekanisk*	Mekanisk
Frem/returløb [°C]	70/40*	80/60	70/40*	70/40*	80/60	80/60	70/40*	70/40*	60/40*
Varmtvandsforbrug [$\frac{l}{m^2 \text{ år}}$]	250*	250*	250*	250*	250*	250*	250*	-	100
Temperatur [°C]	55*	55*	55*	55*	55*	55*	55*	-	55
Varmetab i rør [$\frac{W}{m K}$]	0,35*	0,35*	0,2*	0,16*	-	-	-	-	0,2*
Længde [m]	43,2*	73,5*	83,0*	76,0*	-	-	-	-	942,0*
Ydervæg [$\frac{W}{m^2 K}$]	1,45	1,00	0,32	0,14	1,90	0,50	0,22	0,20*	0,28
Terrændæk [$\frac{W}{m^2 K}$]	0,40	0,28	0,237	0,093	-	-	-	0,12*	-
Loft [$\frac{W}{m^2 K}$]	0,55	0,49	0,182	0,10	-	-	-	0,15*	0,15
Dør [$\frac{W}{m^2 K}$]	2,7*	2,7*	2,2*	1,4*	2,7*	2,7*	1,8	-	-
Vindue [$\frac{W}{m^2 K}$]	2,7	2,7	2,2	1,4	2,7	2,7	1,9	1,5*	2,0
Ydervæg [m²]**	100,8*	123,5*	148,4	171,0	36,4	47,6	39,2	245,0*	1503,0
Terrændæk [m²]	51,5	108,0	154,0	168,0	-	-	-	300,0*	-
Loft [m²]	51,5	108,0	154,0	168,0	-	-	-	300,0*	831,0
Dør [m²]	4,32*	2,88*	2,88*	7,04	1,60*	1,60*	2,25	-	-
Vindue [m²]	17,0*	19,9	15,0*	33,7	6,5	16,4	9,6	140,0*	893,0
Fundament [$\frac{W}{m K}$]	0,13*	0,13*	0,13*	0,13*	-	-	-	0,10*	-
Dør [$\frac{W}{m K}$]	0,030*	0,030*	0,030*	0,025*	0,030*	0,030*	0,030*	-	-
Vindue [$\frac{W}{m K}$]	0,030*	0,030*	0,030*	0,025*	0,030*	0,030*	0,030*	0,025*	0,030*
g-værdi [-]	0,75	0,75	0,65	0,65	0,75	0,75	0,63	0,65*	0,75*
Glasandel [-]	0,75*	0,75*	0,65*	0,80*	0,75*	0,75*	0,80*	0,90*	0,80*
Solafskærmning [-]	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7***
Nord [-]	0,4*	0,25*	0,25*	0,13*	0	0	0,5*	0	0,5
Syd [-]	0,25*	0,65*	0,20*	0,17*	0	0	0,5*	0	0,5
Øst [-]	0,175*	0,06*	0,22*	0,46*	0,5*	0,6*	0	1	0
Vest [-]	0,175*	0,04*	0,33*	0,24*	0,5*	0,4*	0	0	0
Timer [$\frac{t}{uge}$]	128*	128*	128*	128*	128*	128*	128*	40*	40*
Start-Slut tid	0 - 24*	0 - 24*	0 - 24*	0 - 24*	0 - 24*	0- 24*	0 - 24*	8 - 16*	8- 16*

Tabel C.1. Indtastet værdier i Be10.

Signaturforklaring	
	Opvarmning
	Brugsvand
	Varmerør
	Klimaskærmens U-værdier
	Klimaskærmens arealer
	Linjetab
	Vinduesparameter
	Vinduesfordeling baseret på orientering
	Brugstid
*	Vurderet værdi
**	Inklusiv vinduer
***	Var oprindeligt opgivet i case beskrivelsen til at være automatisk, men er ændret til manuelt

Tabel C.2. Signaturforklaring til tabel C.1.

C.2 Vurderinger

I dette afsnit vil de resterende vurderinger til indtastningen i Be10 blive forklaret.

Varmerør

Varmetabet i rørene er vurdereret ud fra et skema, hvor en vurdering af diameteren af røret og isoleringsgraden bruges. [Maerkdinbygning.dk, 2011]

Længden af rørene er beregnet ud fra tommelfingerreglen "4 $\times$ længden af bygningen + 2 $\times$ bredden af bygningen" [Maerkdinbygning.dk, 2011]

Ved nogle cases er der ikke inddraget tab i varmerørene da de vurderes til at være samlet decentralt uden for det beregnede areal. Det er især etagebyggerier, hvor dette er tilfældet.

Linjetab

Linjetabene er vurderet ud fra krav, samt hvor ny bygningen er. For eksempel vil en ny bygning ofte have en lavere værdi end kravene. [Aggerholm og Grau, 2011]

Brugsvand

Varmtvandsforbruget og dertilhørende temperaturer er valgt ud fra anvisninger [Aggerholm og Grau, 2011].

Brugstid og personantal

Beboelsesbygninger er sat til at være i brug alle døgnets 24 timer i weekenden samt 16 timer i hverdagene. Erhvervsbygninger er vurderet til at være i brug fra kl. 08:00 - kl. 16:00 i alle hverdage.

Personantallet i beboelsesbygningerne er vurderet efter størrelsen af bygningen. Personantallet i auditoriet er vurderet efter antal siddepladser på figur 2.16 på side 22. Ved kontoret er personantallet blevet beregnet ud fra antallet af arbejdspladser på plantegningen (figur 2.18 på side 23).

Ventilation

Ved en del af de ni cases er der opgivet, hvor meget naturlig ventilation der antageligvis er i bygningen. Det antages, at der er naturlig ventilation i alle bygningerne. I de mere tætte bygninger er den naturlige ventilation lavere, da infiltrationen er lavere.

I bygningerne med mekanisk ventilation er det vurderet, om det er VAV- eller CAV alt efter behovet i bygningen. Luftskiftet er beregnet efter krav iht. antal personer [CEN Report, 1998].

Programmering af styringsstrategier D

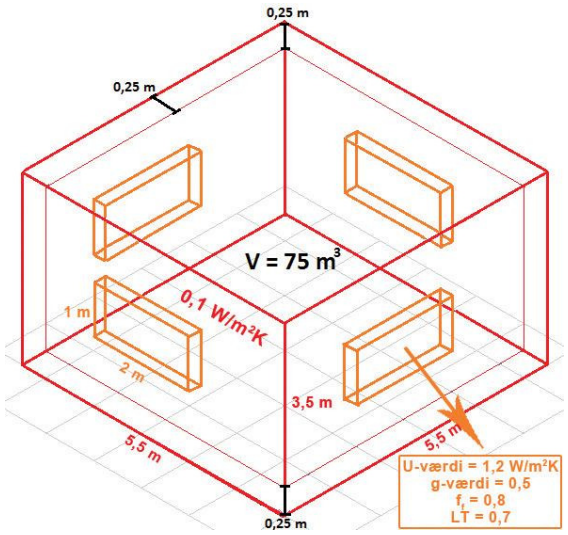
I dette appendiks bliver excelarkets beregningsmetoder og kontrolsystemer tilhørende den simplificerede metode gennemgået. Dette gøres for at have belæg for brugen af den simplificerede metode i kapitel 4. Det vil forklares, hvordan beregningerne foretages, og hvad der skal indtastes for at få programmet til at give troværdige beregninger. En validering ift. simuleringsprogrammerne BSim og Be10 bliver lavet i afsnit D.1 for at lave en kvalitetsundersøgelse af præcisionen for den simplificerede metode. Således sikres det, at styringsstrategiernes implementeringer er troværdige. I appendikset er følgende vedr. den simplificerede metodes programmering præsenteret.

- Validering ift. BSim og Be10
- Beregning af energibalance
- Kontrolsystemer
- Parameterberegning for vindue med EnergyFrames
- Interface

I appendiks A.26 findes Excelfilerne.

D.1 Validering ift. BSim og Be10

For at validere den simplificerede metode laves en simpel bygning i excelarket, Be10 og BSim. Denne bygning laves helt ens, så den kan sammenlignes bedst muligt i de tre simuleringsprogrammer. Det er især ift. BSim valideringen ønskes, da begge beregninger er lavet på baggrund af dynamiske simuleringer. Be10 inkluderes i sammenligningen for at kunne sammenligne med en stationær beregning. På figur D.1 ses dimensionerne, U-værdier og vinduesparametrene for bygningen til valideringen. Data fra valideringen findes i appendiks A.27.



Figur D.1. Opbygning og dimensioner af den simple bygning.

Yderligere er følgende indtastet i alle tre programmer:

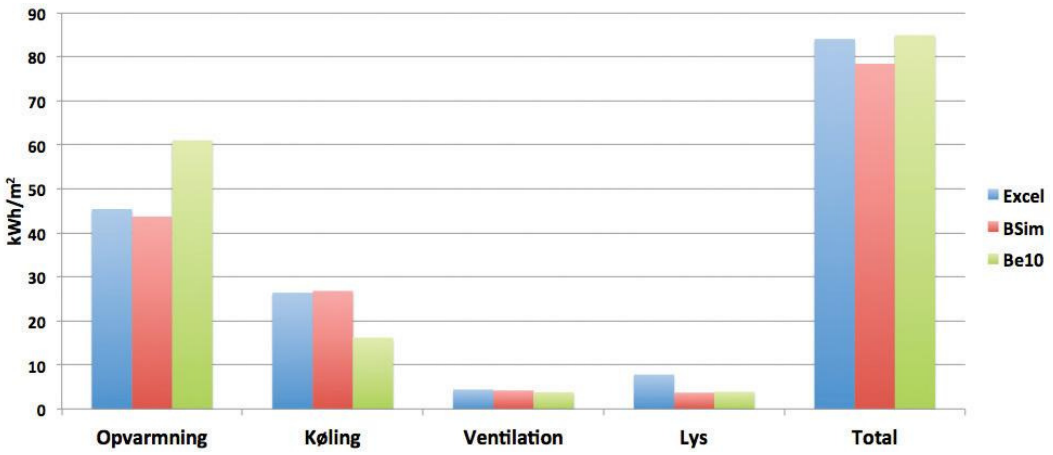
- Brugstid | kl. 08:00 - 16:00 i alle hverdage
- Internt varmetilskud | Person = 100 W, Udstyr = 150 W
- Kunstig belysning | 100 W med automatisk styring
- Minimum lux niveau | 200 lux
- Infiltration | 0,06 $\frac{\text{l}}{\text{s m}^2}$
- Ventilationsrate | 1 $\frac{\text{l}}{\text{s m}^2}$
- SEL-værdi | 1,8 $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$
- Setpoints | Opvarmning = 20 °C, Køling 25 °C
- Varmegenvending | Ingen

Resultatet af simuleringerne i de tre programmer er listet i tabel D.1 og illustreres på figur D.2.

	Den simplificerede metode	**BSim**	**Be10**
Opvarmning [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	45,4	43,7	61,0
Køling [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	26,4	26,8	16,2
Ventilation [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	4,4	4,2	3,8
Lys [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	7,8	3,7	3,9
Total [kWh]	**84,0**	**78,4**	**84,9**

Tabel D.1. Sammenligning af resultater mellem de tre programmer.

Resultaterne i tabel D.1 viser hvor stort et energibehov, der går til hhv. *opvarmning*, *køling*, *ventilation* og *lys*. Energien til opvarmning beregnes ud fra, hvor meget energi der skal tilføres bygningen, for at lufttemperaturen ikke falder under opvarmningssetpointet (20 °C). For køling gælder det samme, bare hvor meget energi der skal fjernes fra bygningen, for at lufttemperaturen holdes under kølesetpointet (25 °C). Energien til ventilation udgøres kun af ventilatorens energiforbrug til transport af ventileret luft. Energiforbruget til lys bestemmes ved den energimængde, der skal bruges til kunstig belysning for at opnå et passende lysniveau (200 lux). På figur D.2 ses en grafisk sammenligning mellem de tre programsimuleringer for den simple bygning.



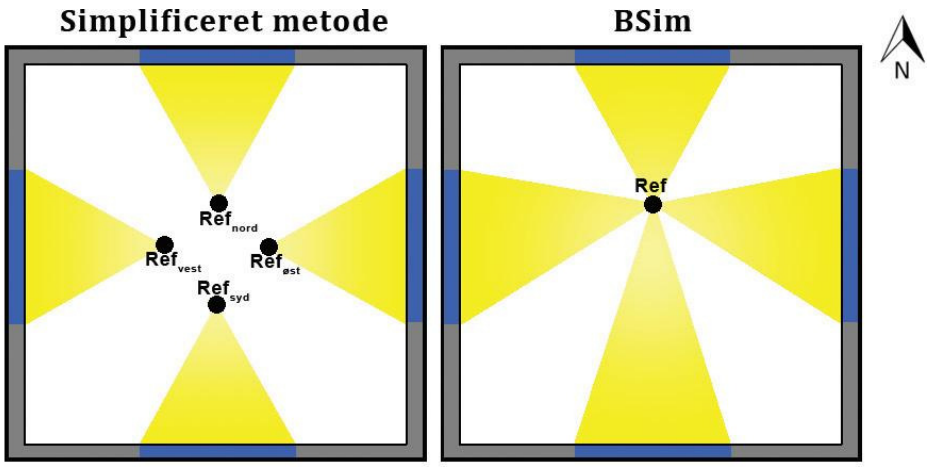
Figur D.2. Tabel D.1 illustreret.

På figur D.2 ses det, at resultaterne afviger en anelse fra hinanden. Afvigelsen for Be10 kan skyldes, at beregningerne er stationære, og dermed ikke har den samme præcision som en dynamisk simulering. Ses der blot på det totale energiforbrug, giver resultaterne et forkert indtryk af Be10's præcision, da resultaterne for opvarmning og køling afviger en del ift. den simplificerede metode og BSim simuleringerne. Grunden til dette ikke ses i det totale energiforbrug er, at resultaterne for opvarmning og køling tilnærmelsesvist udligner hinanden, og stemmer derfor godt overens med det totale energiforbrug.

Resultaterne for den simplificerede metode og BSim stemmer godt overens for de første tre kategorier, men for lys afviger den simplificerede metodes resultater en del ift. BSim. Denne afvigelse skyldes en begrænsning i den simplificerede metodes beregningskerne, da den ikke behandler geometrien af bygningen, men på hver facade for sig selv. Dette medfører, at når der anvendes automatisk styring for den kunstige belysning, skal dagslysfaktoren beregnes i et referencepunkt, hvorved det bestemmes, om kunstig belysning er nødvendig i rummet.

På figur D.3 ses en grafisk præsentation af, hvordan den simplificerede metode og BSim beregner deres dagslysfaktor. Det ses, at den simplificerede metode beregner fire forskellige dagslysfaktorer, mens BSim beregner en, der påvirkes af lyset fra alle vinduer.

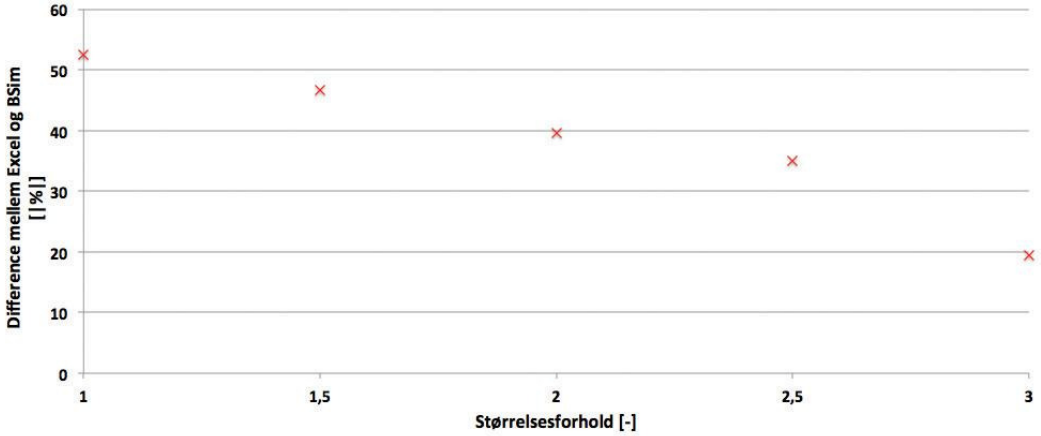
Den simplificerede metode er programmeret til at undersøge, om alle dagslysfaktorerne for de fire forskellige facader overholder det opstillede lysniveau krav. Hvis blot ét punkt ikke overholder kravet tændes den kunstige belysning. Antal timer hvor lyset kan slukkes er meget lavt, da det er sjældent, at lysniveauet for referencepunktet mod nord overholder kravet. Dette kan dermed forklare den simplificerede metodes højere energiforbrug til lys ift. BSim.



Figur D.3. Illustration af referencepunkt i den simplificerede metode og BSim.

I den simplificerede metodes brugerflade findes der to forskellige indstillinger af referencepunktet, det ene er 0,5 m fra væggen, og det andet er 2 m fra væggen. Højden og placeringen langs væggen bestemmes frit. I BSim kan referencepunktet placeres frit i hele rummet.

For at validere energiforbruget til lys bedst muligt, vælges det at referencepunktet for BSim placeres i samme position som Ref_{nord} i den simplificerede metode, da det er referencepunktet med den laveste dagslysfaktor set over et år. For den simple bygning med et grundareal på 5 × 5 m, er der stor forskel på energiforbruget til lys. For at undersøge om dette kunne skyldes, at dagslysfaktoren beregnes samlet i et punkt i stedet for fire forskellige punkter, forsøges det at ændre størrelsesforholdet af den simple bygning med undtagelse af vinduerne. På figur D.4 ses differencen mellem den simplificerede metode og BSim for ændringen af energiforbruget for lys, efter størrelsesforhold.



Figur D.4. Differencen mellem den simplificerede metode og BSim for ændringen af energiforbruget for lys, efter størrelsesforhold.

På figur D.4 ses det, at efter en størrelsesforholdsændring på en faktor tre, er forskellen mellem den simplificerede metode og BSim nede på 20 %. Dette resultat stemmer overens med teorien om, at dagslysfaktoren i BSim påvirkes i stor grad af de tre vinduer fra øst, syd og vest, når der måles ved et referencepunkt ved det nordlige vindue. Dette resulterer i, at der findes en stor forskel mellem BSim og den simplificerede metode ved energi brugt til belysningen, når størrelsesforholdet er 1:1 og vinduerne er koncentrerede til i et lille gulvareal. Ved ændring af størrelsesforholdet af bygningen

får lyset gennem vinduerne fra øst, syd og vest mindre betydning ift. referencepunktet. Til sidst vil referencepunktet for BSim kun være afhængig af sollys gennem nord vinduet, og dermed stemmer resultaterne godt overens mellem den simplificerede metode og BSim.

Ved ændring af størrelsesforholdet forbliver differencen mellem den simplificerede metode og BSim meget lav for *opvarmning*, *køling* og *ventilation*. Da den simplificerede metode er en enklere model ift. BSim på nogle områder, kan de to beregninger være komplicerede at sammenligne hvis der anvendes mere avancerede styringsstrategier for lys. Den simplificerede metodes brugerflade giver valgmuligheden mellem automatisk styring og ingen styring, mens BSim har seks forskellige styringsstrategier. Ved benyttelse af automatisk styring (*on/off*) af lyset i BSim, er der altid et minimum strømforbrug, selv om lyset er slukket i bygningen. Denne strøm kan dermed påvirke resultatet ift. den simplificerede metode, hvor der ikke medregnes en minimums strøm.

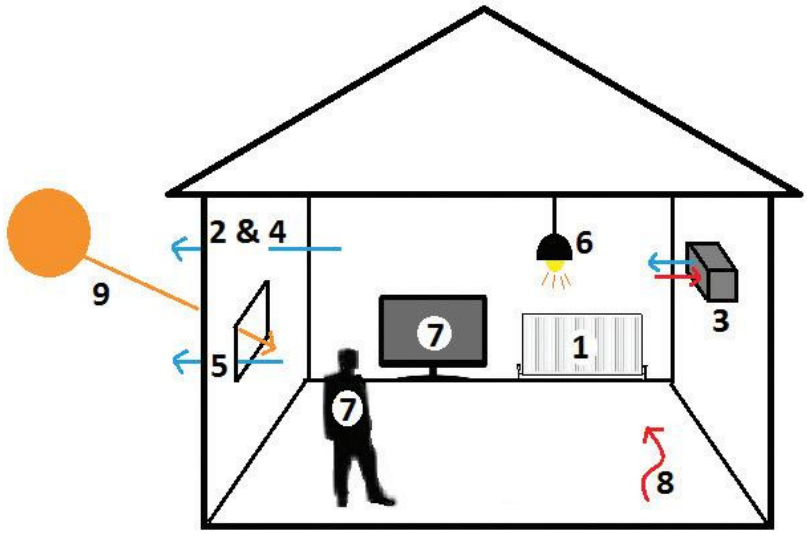
D.2 Beregning af energibalancen

For at beregne energibalancen laves en dynamisk simulering over et år, for at give så præcise styringer af dynamiske facader som muligt. Den simplificerede metodes programmering gør det muligt at udføre beregninger på timebasis over hele året. Ved indsættelse af nødvendige input i den simplificerede metode beregnes resultater såsom indetemperatur, energiforbrug, varmetilskud, lysniveau i referencepunkt mm. ud fra energibalancen for bygningen/lokalet. Elforbruget for bygningen beregnes samtidigt ud fra hvilken styring, der benyttes til ventilation, lys mv. Til udregning af energibalancen og elforbruget anvendes følgende:

- Energitab:
  - Transmissionstab ydervæg + vindue (2)
  - Ventilationstab og køling (3)
  - Infiltrationstab (4)
  - Tab ved naturlig ventilation (5)

- Energitilskud:
  - Varme (1)
  - Lys (varme + energi) (6)
  - Internt varmetilskud (udstyr + personer) (7)
  - Akkumulering (8)
  - Soltilskud (9)

Energibalancen illustreres på figur D.5.



Figur D.5. Energibalancen.

Beregningsmetoderne til udregning af de forskellige energitilskud og -tab samt elforbrug gennemgås i afsnit D.2.1 - D.2.9.

D.2.1 Varme og køling

Ved udregning af varme- og kølebehov benyttes to forskellige metoder. Den ene anvendes i energibalancen til at udregne den aktuelle temperatur inde i bygningen. Den anden anvendes til at finde energiforbruget, der går til enten opvarmning eller køling. Til begge udregninger benyttes metoderne, der er beskrevet i DS 13790 [Dansk standard 13790, 2008].

Udregningen for opvarmning og kølebehovet er ens. Et negativt resultat, betyder behov for køling, mens et positivt resultat indikerer behov for opvarmning. For at opnå et gældende temperatursetpoint findes det ubegrænsede varme- eller kølebehov:

$$Q_{HC,n,un} = 10\ A\ \left(\frac{T_{set} - T_{i,0,ac}}{T_{i,10} - T_{i,0,ac}}\right) \tag{D.1}$$

Hvor:

$Q_{HC,n,un}$	Ubegrænset varme/køletilskud [W]
A	Gulvareal [m^2]
T_{set}	Gældende setpoint [°C]
$T_{i,0,ac}$	Aktuelle temperatur uden opvarmning [°C]
$T_{i,10}$	Temperatur med ekstra varmetilførsel ($10\ \frac{W}{m^2}$) [°C]

Den aktuelle temperatur, $T_{i,0,ac}$, findes i bygningen, hvis der hverken er et opvarmnings- eller køleapparatur. Setpointet, T_{set}, gælder på det gældende tidspunkt, og varierer mellem tre værdier:

1. $T_{set} = 20\ °C \mid T_{i,0,ac} < 20\ °C$
2. $T_{set} = 25\ °C \mid T_{i,0,ac} > 25\ °C$
3. $T_{set} = T_{i,0,ac} \mid 20\ °C \leq T_{i,0,ac} \leq 25\ °C$

Indeluftstemperaturen, $T_{i,10}$, er den temperatur indeluften vil have, hvis bygningen har en varmetilførsel på 10 $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$ [Dansk standard 13790, 2008]. Resultatet for varme-/kølebehovet benyttes til at finde det samlede elforbrug for bygningen. For at udregne den aktuelle temperatur inde i bygningen, opstilles bygningens energibalance, hvor det samlede varme-/køletilskud findes. Til at finde denne værdi, anvendes formel C5 fra DS 13790, som er modificeret til metodens formål:

$$Q_{mtot,ac} = H_{em1}\ T_u + 10\ H_{em2} + H_3\ \frac{(Q_{st} + H_v\ T_u + H_1(\frac{Q_{ia}+Q_{HC,n,un}}{H_{ve}} + T_{in}))}{H_2} \tag{D.2}$$

Hvor:

$Q_{mtot,ac}$	Det aktuelle varme-/kølebehov [W]
H_{em1}	Varmeoverførelseskoefficient for facade + vindue + akkumulering [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
H_{em2}	Varmeoverførelseskoefficient for gulv + akkumulering [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
H_1	Varmeoverførelseskoefficient for ventilation + kobling ledningsevnen [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
H_2	Varmeoverførelseskoefficient for vindue + H_1 [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
H_3	Varmeoverførelseskoefficient for akkumulering + H_2 [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
Q_{ia}	Energitilskud fra internt udstyr og personer [W]
Q_{st}	Energitilskud fra solstråling + Q_{ia} [W]
$Q_{HC,n,un}$	Nødvendig energi til opvarmning/køling [W]
H_v	Varmeoverførelseskoefficient for vindue [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
H_{ve}	Varmeoverførelseskoefficient for ventilation [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]
T_u	Udetemperatur [°C]
T_{in}	Indblæsningstemperatur for ventilation [°C]

Med det aktuelle varme-/kølebehov beregnes temperaturen for bygningens masse, T_m, hvorefter den indre overfladetemperatur, T_o, af væggene beregnes. Med kendskab til overfladetemperaturerne beregnes lufttemperaturen:

$$T_i = \frac{H_{is}\ T_o + H_{ve}\ T_u + Q_{ia} + Q_{HC,n,un}}{H_{is} + H_{ve}} \tag{D.3}$$

Hvor:

T_i	Lufttemperatur indenfor [°C]
T_o	Indre overfladetemperatur af væg [°C]
H_{is}	Varmeoverførelseskoefficient for kobling ledningsevnen [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$]

Denne temperatur benyttes videre til at regulere opvarmning og køling af bygningen.

D.2.2 Transmissionstab

Transmissionstabet for ydervæggen beregnes ved kendskab til U-værdien og arealet. For at kunne beregne det samlede energitab skal temperaturforskellen mellem inde- og udetemperaturen kendes:

$$H_t = A\ U\ \Delta T \tag{D.4}$$

Hvor:

H_t	Transmissionstab for facade $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}]$
A	Areal af facade $[\mathrm{m}^2]$
U	U-værdi for facade $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}]$
ΔT	Temperaturforskellen mellem inde og ude [K]

Beregningen af U-værdien for vinduet kompliceres ved evt. benyttelse af EF. Energitabet for et vindue findes på samme måde som for ydervæggen, men når EF benyttes, tages der højde for hulrummet mellem EF og vinduet. Samtidigt skal ventilationsmængden af hulrummet kendes. Der er tre valgmuligheder, *Ingen ventilering*, *Svagt ventileret* og *Ventileret hulrum* (se afsnit D.4), hvoraf en samlet resistans for hulrummet findes. Den samlede U-værdi udregnes med formel D.5.

$$U_v = \frac{1}{R_i + R_v + R_h + R_{EF} + R_u} \tag{D.5}$$

Hvor:

U_v	U-værdi for vinduessystem $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}]$
R_i	Indvendig overgangsisolans $= 0,13 \frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}$
R_v	Isolans for vindue $[\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}]$
R_h	Isolans for hulrum + ventilering $[\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}]$
R_{EF}	Isolans for EnergyFrames $[\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}]$
R_u	Udvendig overgangsisolans $[\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}]$

Den udvendige overgangsisolans bestemmes ift. om hulrummet bliver ventileret. Den normale udvendige overgangsisolans = 0,04 $\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}$ og for ventileret hulrum = 0,13 $\frac{\mathrm{m}^2\ \mathrm{K}}{\mathrm{W}}$. Energitabet for vinduet beregnes ved brug af formel D.4.

D.2.3 Ventilationstab

Energitab ved ventilation forekommer, når udeluften ikke har en passende temperatur mht. til komfort, og derfor enten må nedkøles eller opvarmes. Når denne proces er nødvendig, overføres energi fra ventilationsanlægget til luften. I den simplificerede metodes brugerflade er det nødvendigt at indtaste, hvor stor en luftstrømstilførsel der ydes til bygningen, samt bygningens gulvareal. Ved opvarmning af indblæsningsluften skal varmegenvindingsgraden kendes for at udregne den nødvendige energitilførsel, der skal til for at opnå den passende indblæsningstemperatur for bygningen. Da det er EF's påvirkning på et rums varme-/kølebehov, der undersøges, ses der bort for genvindingsgraden, fordi EF ikke har nogen påvirkning på denne.

Opvarmning:

$$H_{vm_h} = (q_m\ (1 - n_{vgv})\ A)\ \rho\ c_p\ \Delta T \tag{D.6}$$

Køling:

$$H_{vm_c} = (q_m\ A)\ \rho\ c_p\ \Delta T \tag{D.7}$$

Hvor:

H_{vm}	Energitab ved mekanisk opvarmning/køling [W]
q_m	Indblæsningsluftstrøm [$\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s\ m}^2}$]
A	Gulvareal [m^2]
n_{vgv}	Varmegenvindingsgrad for ventilationsanlæg [-]
ΔT	Temperaturforskellen mellem inde og ude [K]

For at udregne energiforbruget for ventilationsaggregat skal SEL-værdien, ventilationsraten og gulvarealet kendes:

$$Q_v = \mathrm{SEL}\ q_m\ A \tag{D.8}$$

Hvor:

Q_v	Energiforbrug for ventilationsanlægget [W]
SEL	SEL-værdi [$\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{m}^3}$]

Dette forbrug anvendes til at finde bygningens strømforbrug til sammenligning med kravet for energirammen og benyttes dermed til at validere den simplificerede metode ift. Be10.

D.2.4 Infiltration

For at beregne infiltrationen bruges gulvarealet og luftstrømmen, der trænger ud gennem klimaskærmen. Denne luftstrøm måles f.eks. ved brug af en blowerdoor test, som vha. trykforskellen mellem ude og inde determinerer hvor utæt klimaskærmen er, og dermed hvor stort infiltrationsflowet er. Ud fra formel D.9 bestemmes energitabet ved infiltration:

$$H_i = A\ q\ \rho\ c_p\ \Delta T \tag{D.9}$$

Hvor:

H_i	Energitab ved infiltration [W]
q	Infiltration luftstrøm [$\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$]
ρ	Luftdensitet = 1,225 $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
c_p	Specifik varmekapacitet, luft = 1,003 $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\ K}}$

D.2.5 Naturlig ventilation

Naturlig ventilation er en strategi, der kan slås til i den simplificerede metodes programmering, hvilket gør det muligt for vinduerne at åbne ved kølebehov. Styringsprincippet af naturlig ventilation beskrives i appendiks D.3.3.

Begge strategiers energitab udregnes på samme måde med en indsat luftstrøm samt gulvarealet. Formel D.10 benyttes til at udregne energitab ved naturlig ventilation.

$$H_{vn} = A\ q_n\ \rho\ c_p\ \Delta T \tag{D.10}$$

Hvor:

H_{vn}	Energitab ved naturlig ventilation [W]
q_n	Luftstrøm for naturlig ventilation [$\frac{m^3}{s}$]

D.2.6 Lys

Energiberegningen af belysningen tager udgangspunkt i en *on/off* metode. Metoden går ud på, at lyset i bygningen enten er tændt eller slukket, dvs. intet mellemstadie. Lyset bliver styret efter et minimums lysniveau i et referencepunktet. Lysniveauet bestemmes ud fra hvilken slags arbejde, der foretages i bygningen [Dansk Standard, 2005].

Som nævnt i afsnit D.1 er der mulighed for at vælge mellem to forskellige referencepunkter, hhv. 0,5 m og 2 m inde i rummet fra vinduet. Lysniveauet undersøges i et referencepunkt for nord, øst, syd og vest. Det kræves, at lysniveauet i alle fire punkter er over det gældende krav. Hvis lysniveauet i blot ét referencepunkt ikke er tilstrækkeligt ift. kravet, tændes den kunstige belysning i hele bygningen.

For optimering af den simplificerede metodes programmering, kan bygningen inddeles i rum, så hvert rum blev undersøgt for tilstrækkeligt lys, så unødvendig brug af kunstig belysning i hele bygningen undgås. Da alle rum ikke er i brug hele tiden, kan en strategi, som udnytter en bevægelsessensor for hvert rum benyttes. For at denne styring kan benyttes, skal der indtastes, hvornår hvert rum anvendes. Disse optimeringer implementeres dog ikke i metoden, da de findes for tidskrævende og komplicerede.

D.2.7 Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud beregnes ud fra en standard for personer og udstyr [Aggerholm og Grau, 2011]. Personbelastningen for andet end bolig er 4 $\frac{W}{m^2}$, og 6 $\frac{W}{m^2}$ for udstyr. Ved kendskab til antal personer og aktivitetsniveau udregnes en veldefineret varmebelastning. Det samme gælder for udstyr, hvor mængden af udstyr skal kendes, samt hvor stor en energibelastning de hver især har. Tidsperioden for interne varmetilskud skal indsættes i den simplificerede metode.

D.2.8 Akkumulering

Akkumuleringsevnen bestemmes efter om bygningen er *Ekstra let*, *Middel let*, *Middel tung* eller *Ekstra tung*. Akkumuleringsevnen for de givende betegnelser varierer mellem 5 og 15 $\frac{W}{°C}$ pr. m^2 gulv [Valbjørn et al., 2000]. Den akkumulerede energi udregnes dermed ift. gulvareal og temperaturforskellen mellem indetemperaturen og den indvendige overfladetemperaturer for ydervæggene.

D.2.9 Soltilskud

En stor del af bygningens varmetilskud er fra solenergi. Ved brug af simuleringsprogrammet BSim er det muligt at trække data ud fra den vejrdatafil, der benyttes. I den simplificerede metode er der indsat data fra den nyeste DRY-fil gældende for Danmark (DRY Danmark_ 2013) [Statens Byggeforskningsinstitut, 2014]. Dataene der anvendes, er solstrålingen på en lodret flade for direkte, diffus og reflekterende solstråling for nord, øst, syd og vest. Solstrålingen er beregnet ud fra en kubisk bygning på 3 × 3 × 3 m, hvor solstrålingen er opgivet i enheden $\frac{W}{m^2}$ for hver facade.

I den simplificerede metode medregnes kun solenergien, der trænger gennem vinduerne. Derfor skal glasandelen af vinduet kendes. Solvarmetransmittansen og g-værdien for vinduet benyttes for både direkte og diffus stråling. Hvis der er udhæng e.l. for vinduerne, skal en timebaseret skyggefaktor bruges for at opnå de bedst mulige resultater. Hvis alle disse parametre kendes, kan soltilskuddet udregnes:

$$Q_{sol} = (g_{dir}\ I_{dir}\ (1 - f_{skyg}) + g_{dif}\ I_{dif} + g_{dif}\ I_{ref})\ A_v\ f_f \tag{D.11}$$

Hvor:

Q_{sol}	Energitilskud fra solstråling [W]
g	Solvarmetransmitans [-]
I	Solstråling [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$]
A_v	Areal af vindue [m^2]
f_{skyg}	Skyggefaktor for vinduet [-]
f_f	Glasandel af vinduet [-]

D.3 Kontrolsystemer

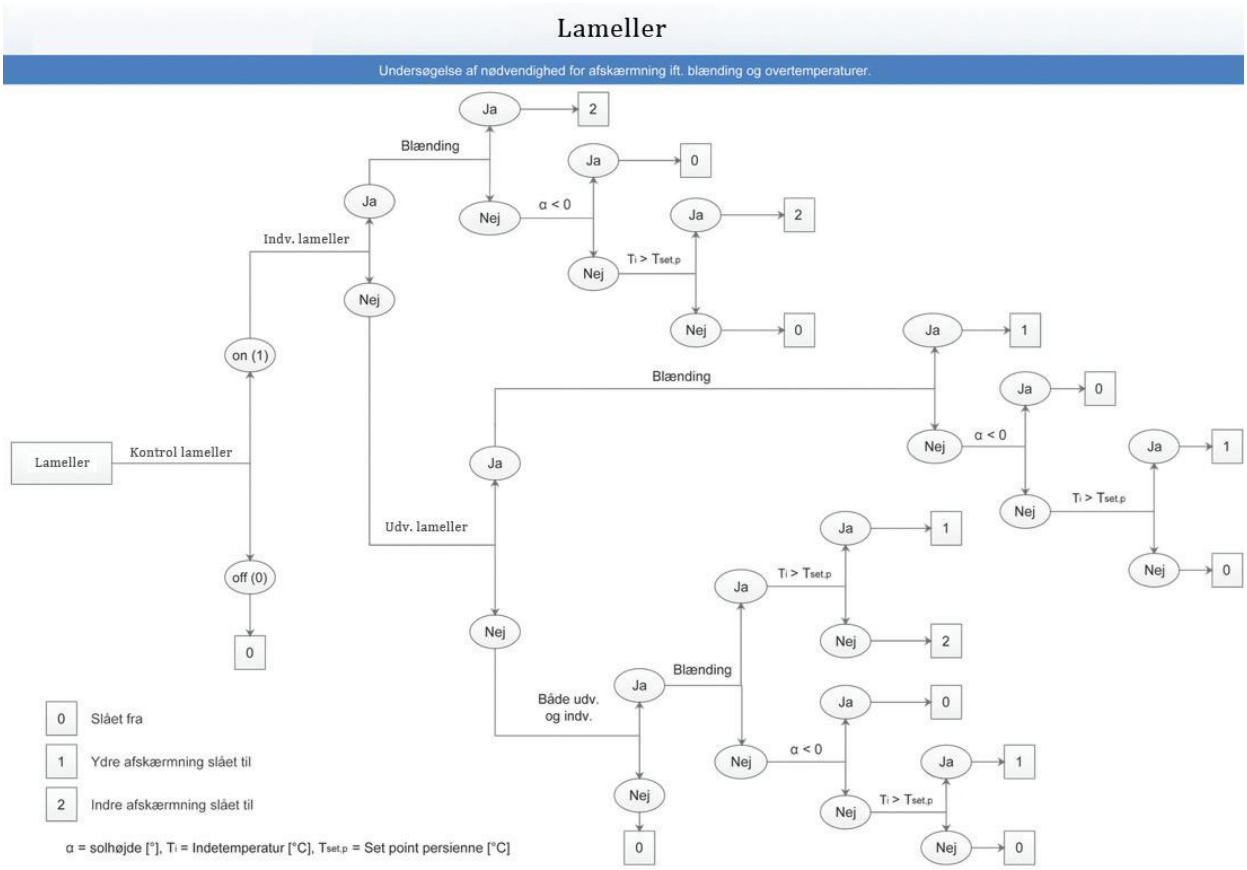
I den simplificerede metodes brugerflade er der flere kontrolsystemer, som ved brug af adskillige parametre vælger, hvilken styring der er nødvendig. De fire kontrolsystemer, der bliver brugt, er:

- Lamel
- Blænding
- Naturlig ventilation

Styringen af EF beskrives nærmere i kapitel 4, hvor forskellige styringsstrategier undersøges og analyseres.

D.3.1 Lameller

Grundet lamellernes funktionalitet til at kontrollere mængden af indtrængende sollys samt den isolerende effekt er lav, vælges der kun at se på en metode til styring efter blænding. Denne styring uddybes i afsnit D.3.2. Styringen for lamellerne er illustreret på figur D.6.

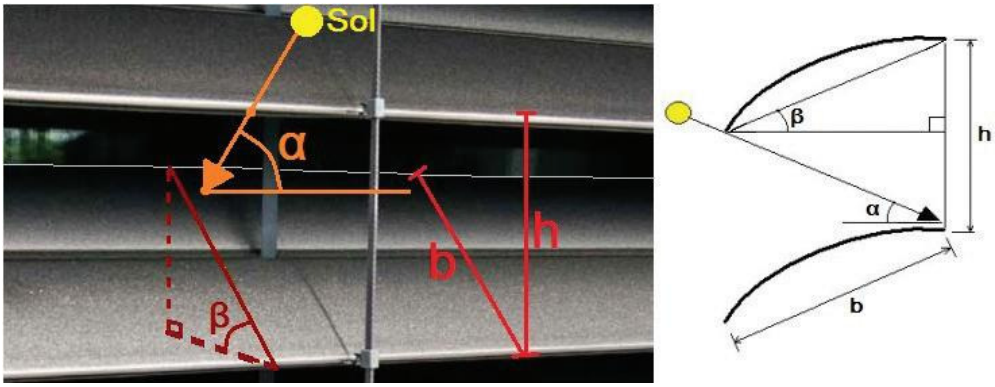


Figur D.6. Kontrolsystem for lamellerne.

Det første essentielle punkt i styringen er at klargøre, hvilken type lameller, der anvendes (indvendig, udvendig eller begge). Det er nødvendigt at vide, hvilken type der er i den undersøgte bygning for at kunne lave det rette system. Hvis både indvendige og udvendige lameller er tilstede i bygningen, bruges de indvendige lameller til at forebygge mod blænding (denne faktor uddybes i det efterfølgende afsnit D.3.2). Hvis overtemperaturer opstår i bygningen, bruges de udvendige i stedet, da de blokerer solvarmen, inden indtrængning i bygningen. Lamellerne bliver slået fra, når solen er gået ned.

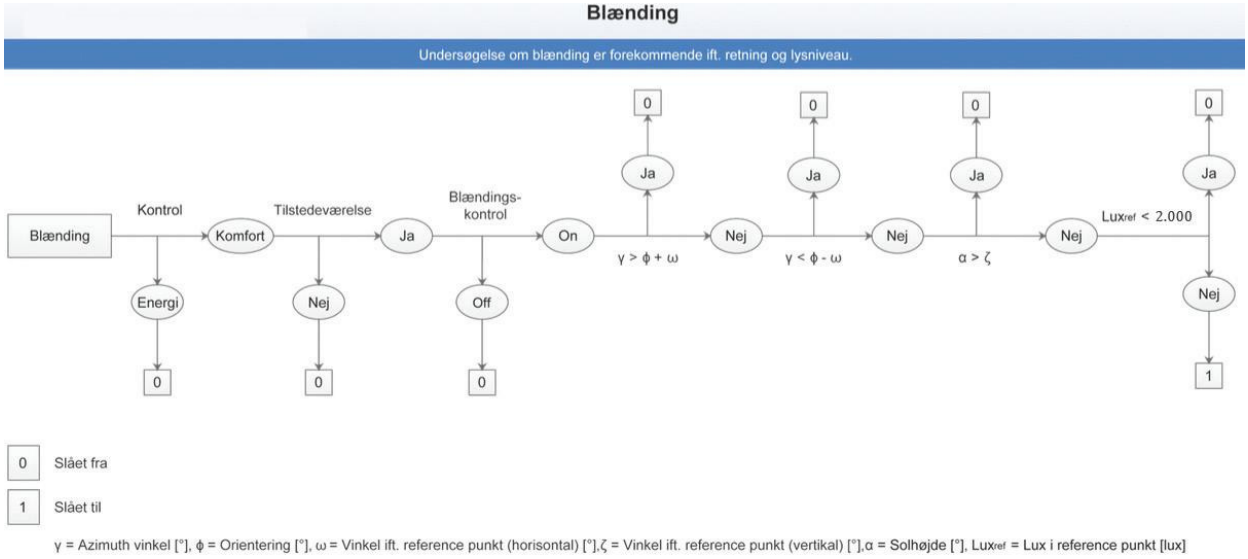
D.3.2 Blænding

Kontrollen af blænding benyttes i flere styringsstrategier, for at få en mere brugervenlig styring af den anvendte EnergyFrames. Kontrollen af blænding anvendes i nogle af styringsstrategierne for tekstil, plade og lameller. Lamellerne styres af blændingsniveauet og bruger *cut off-metoden* til at indstille vinklen af persiennerne ift. solens placering. *Cut off-metoden* beregner den vinkel, hvor direkte solstråling akkurat ikke trænger ind i bygningen. I metoden anvendes to vinkler, α og β, som er illustreret på figur D.7.



Figur D.7. Illustration af vinkler [Soltec, 2014] og [Brendan O'Neill, 2014].

Når lamellerne er slået til bruges *cut off-metoden*. På figur D.8 ses hvordan det kontrolleres, om blænding er forekommende.



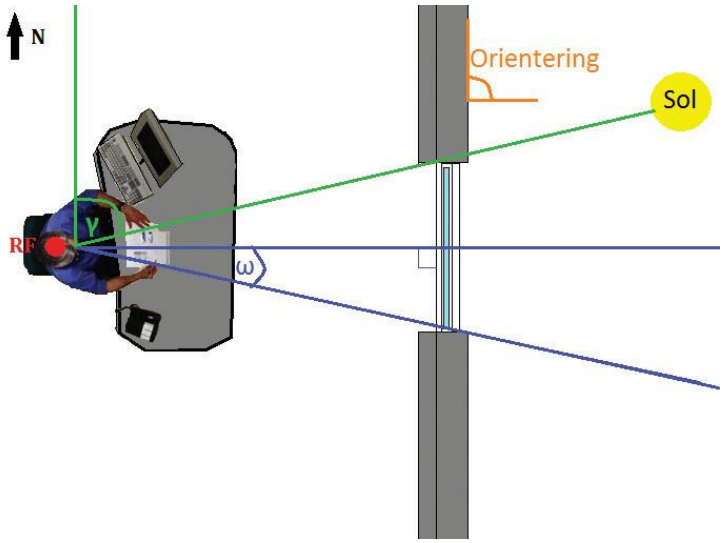
Figur D.8. Kontrolsystem for blænding.

Der undersøges basale ting som persontilstedeværelse, og om kontrollen er baseret på energi eller komfort. Blændingen bliver kun undersøgt ved tilfælde af en komfortbaseret kontrol.

Herefter undersøges vinklerne i det horisontale plan ift. et referencepunkt (RF). Der undersøges, om solstrålinger rammer direkte på RF ift. horisontalt plan. De tre vinkler, der i dette tilfælde undersøges, er:

- γ - Azimutvinklen ift. nord
- ϕ - Orienteringen ift. nord
- ω - Vinklen ift. RF til siden af vinduet (horisontalt plan)

En skitsering af vinklerne er vist på figur D.9.

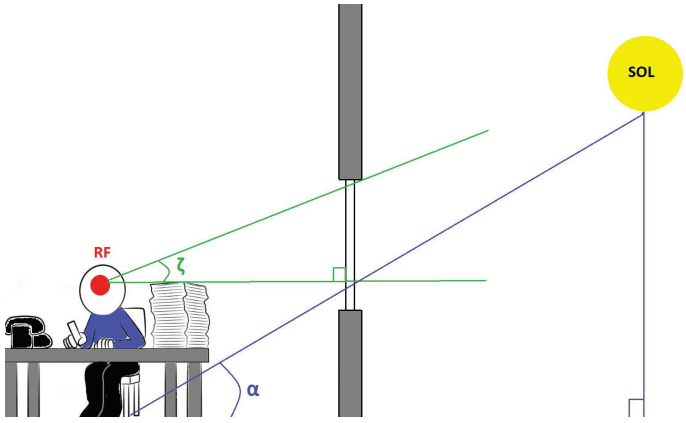


Figur D.9. Skitsering af de horisontale vinkler brugt til kontrollering af blænding.

Ligesom ved det horisontale plan undersøges den vertikale retning for direkte solstråling gennem vinduet til *RF*. De brugte vinkler for den vertikale retning er:

- α - Solhøjden
- ζ - Vinklen ift. *RF* til top af vindue (vertikal plan)

De to vinkler er skitseret på figur D.10.



Figur D.10. Skitsering af de vertikale vinkler brugt til kontrollering af blænding.

Efter det er undersøgt, om solen skinner direkte igennem vinduet til *RF*, skal lysintensitet være over 2.000 lux for at der opstår blændingsgener (Mere om dette i afsnit 4.1).

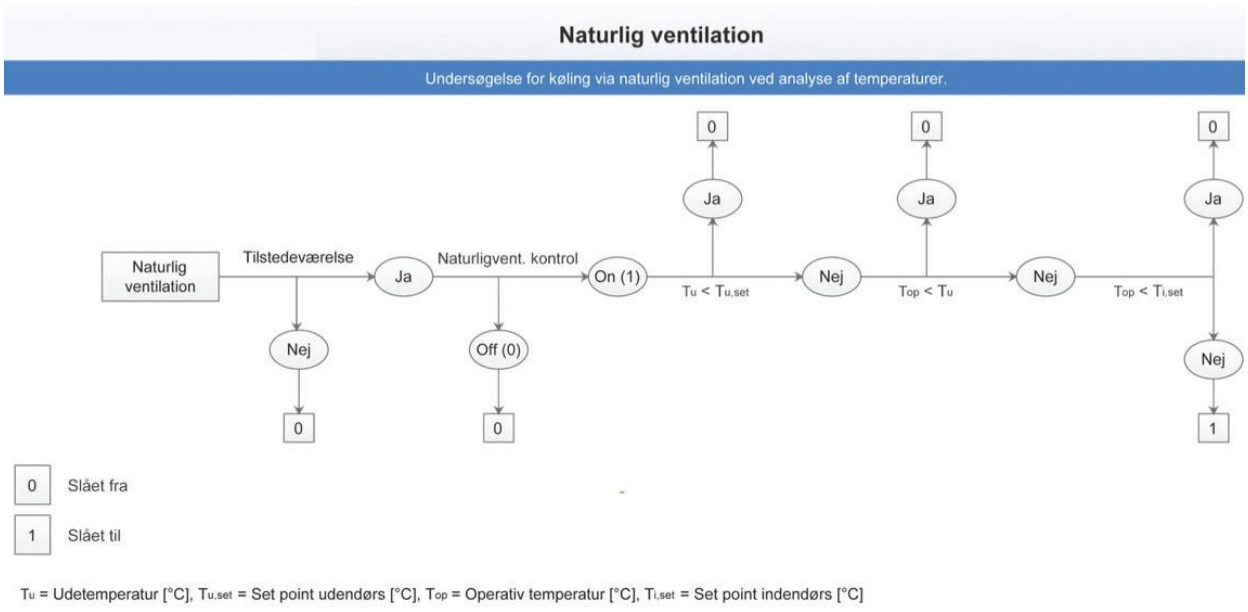
D.3.3 Naturlig ventilation

Styringen af den naturlige ventilation er en essentiel funktion, som EnergyFrames skal være med til at varetage. Styringen vil udelukkende beskæftige sig med henblik på at køle luften, hvorfor der ikke tages hensyn til andre indeklimaparametre end temperaturer. De relevante temperaturer omfatter:

- Udetemperatur, T_u
- Operativ temperatur, T_{op}
- Udvendige temperatursetpoint, $T_{u,set}$
- Indvendige temperatursetpoint, $T_{i,set}$

Det udvendige setpoint, $T_{u,set}$, beskriver den minimumstemperatur i udeluften, der kan tillades at supplere rummet mht. personerne for ikke at skabe gener for det termiske indeklima. Ligeledes beskriver det indvendige setpoint, $T_{i,set}$, hvad den operative temperatur, T_{op}, maksimalt må være. $T_{i,set}$ fungerer derfor indirekte som et køling setpoint.

Før temperaturerne inddrages i analysen undersøges persontilværelsen. Naturlig ventilation anvendes kun i brugstiden, mens uden for brugstiden kaldes det nattekøling. På figur D.11 ses den totale styringsstrategi for naturlig ventilation.



Figur D.11. Kontrolsystem for naturlig ventilation.

I forhold til temperaturerne undersøges det først, om den udvendige temperatur er lavere end det udvendige temperatursetpoint. Er dette i overensstemmelse, slås ventilationen fra. Hvis ikke undersøges dernæst om den operative temperatur, T_{op}, er mindre end udetemperaturen. Hvis det er tilfældet stoppes ventilationen. Sidst undersøges det, om T_{op} er mindre end $T_{i,set}$. Hvis dette ikke er tilfældet aktiveres styringen for naturlig ventilation.

D.4 Parameterberegning for vindue med EnergyFrames

I følgende afsnit gennemgås udregningerne for U-værdi, g-værdi og lystransmittans for et vindue, hvor der er påmonteret EF.

D.4.1 U-værdi beregning

I dette afsnit beskrives udregningerne af U-værdier og g-værdier, der foretages i den simplificerede metode for et vindue med EF. Udregningen af U-værdierne tager udgangspunkt i formlerne fra DS 418 [Dansk Standard 418, 2011]. For efterisolerede plader variere U-værdien ift. tykkelsen af isoleringen. Ved brug af formel D.12 udregnes isolansen for pladen ift. tykkelsen af isoleringen.

$$R = \frac{d}{\lambda} \tag{D.12}$$

Hvor:

R	Isolansen $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$
d	Tykkelse af materiale [m]
λ	Varmeledningsevne $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\ K}}]$

Isolansen findes for hvert undersøgte materialelag, hvorefter den samlede U-værdi for et vindue kombineret med EF beregnes:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^{n} R_i} \tag{D.13}$$

Hvor:

U	Transmissionskoefficient $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}]$
R_{si}	Overgangsisolans for indvendig overflade $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$
R_{se}	Overgangsisolans for udvendig overflade $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$
R_i	Isolans for enkelte lag $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$

Ved aktivering af EF kører de foran vinduet og danner dermed et hulrum imellem vinduet og EF. Isolansen for hulrummet varierer ift. hvor meget, det er udsat for ventilering. Graden af ventilering deles op i *Ikke ventileret*, *Svagt ventileret* og *Ventileret*. I tabel D.2 aflæses isolansen for hulrummet ift. afstanden mellem vinduet og EF og graden af ventilering.

	Ikke ventileret $[\frac{\mathbf{m^2\ K}}{\mathbf{W}}]$	**Svagt ventileret** $[\frac{\mathbf{m^2\ K}}{\mathbf{W}}]$	**Ventileret** $[\frac{\mathbf{m^2\ K}}{\mathbf{W}}]$
0 mm	0	0	
5 mm	0,110	0,055	
7 mm	0,130	0,065	
10 mm	0,150	0,075	
15 mm	0,170	0,085	0
25 mm	0,180	0,090	
50 mm	0,180	0,090	
100 mm	0,180	0,090	
300 mm	0,180	0,090	

Tabel D.2. Isolans for hulrum med vandret varmestrømsretning. [Dansk Standard 418, 2011]

Isolansen for *Svagt ventileret* hulrum er halvdelen af, hvad den er for *Ikke ventileret* hulrum. Hulrummet der er ventileret har ingen isolanseffekt, da luften udskiftes regelmæssigt og isolansen er derfor 0. Til gengæld erstattes den udvendige overgangsisolans med den indvendige overgangsisolans, når U-værdien beregnes for et ventileret hulrum. I tabel D.3 ses den ind- og udvendige overgangsisolans samt retningen på varmestrømmen.

	Varmestrømmens retning		
	Opad	Vandret	Nedad
R_{si} $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$	0,10	0,13	0,17
R_{se} $[\frac{\mathrm{m^2\ K}}{\mathrm{W}}]$	0,04	0,04	0,04

Tabel D.3. Overgangsisolans. [Dansk Standard 418, 2011]

D.4.2 Beregning af solvarmetransmittans

I dette afsnit gennemgås udregningen for den totale g-værdi for et vindue med EF. Udregningen af g-værdien er afhængig af placeringen af EF. Derfor gennemgås der for både indvendig og udvendig placering af afskærmning. Formler brugt i dette afsnit tager udgangspunkt i DS 13363-1 [Dansk standard 13363-1, 2007]. Til beregning af g-værdi for udvendig EF anvendes følgende formler:

$$g_t = \tau_{e,B}\ g + \alpha_{e,B}\frac{G}{G_{2,u}} + \tau_{e,B}(1-g)\frac{G}{G_{1,u}} \tag{D.14}$$

og

$$G = (\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_{1,u}} + \frac{1}{G_{2,u}})^{-1} \tag{D.15}$$

Hvor:

g_t	Totale solvarmetransmittans [-]
$\tau_{e,B}$	Lystransmission for afskærmning [-]
g	Solvarmetransmitans for vindue [-]
$\alpha_{e,B}$	Absorberingsfaktor for afskærmning [-]
G	Samlet varmeoverførelseskoefficient $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}]$
$G_{1,u}$	Varmeoverførelseskoefficient for udvendig EF $= 5\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$
$G_{2,u}$	Varmeoverførelseskoefficient for udvendig EF $= 10\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$
U_g	U-værdi for vindue $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}]$

For indvendig placering af afskærmning benyttes følgende formeler:

$$g_t = g(1 - g\ \tau_{e,B}\ \alpha_{e,B}\frac{G}{G_{2,i}}) \tag{D.16}$$

og

$$G = (\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_{2,i}})^{-1} \tag{D.17}$$

Hvor:

$G_{2,i}$	Varmeoverførelseskoefficient for indvendig EF $= 30\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$

Med gennemgåede formler kan den kombinerede (totale) solvarmetransmittans udregnes for både vinduet og EF.

D.4.3 Beregning af lystransmittans

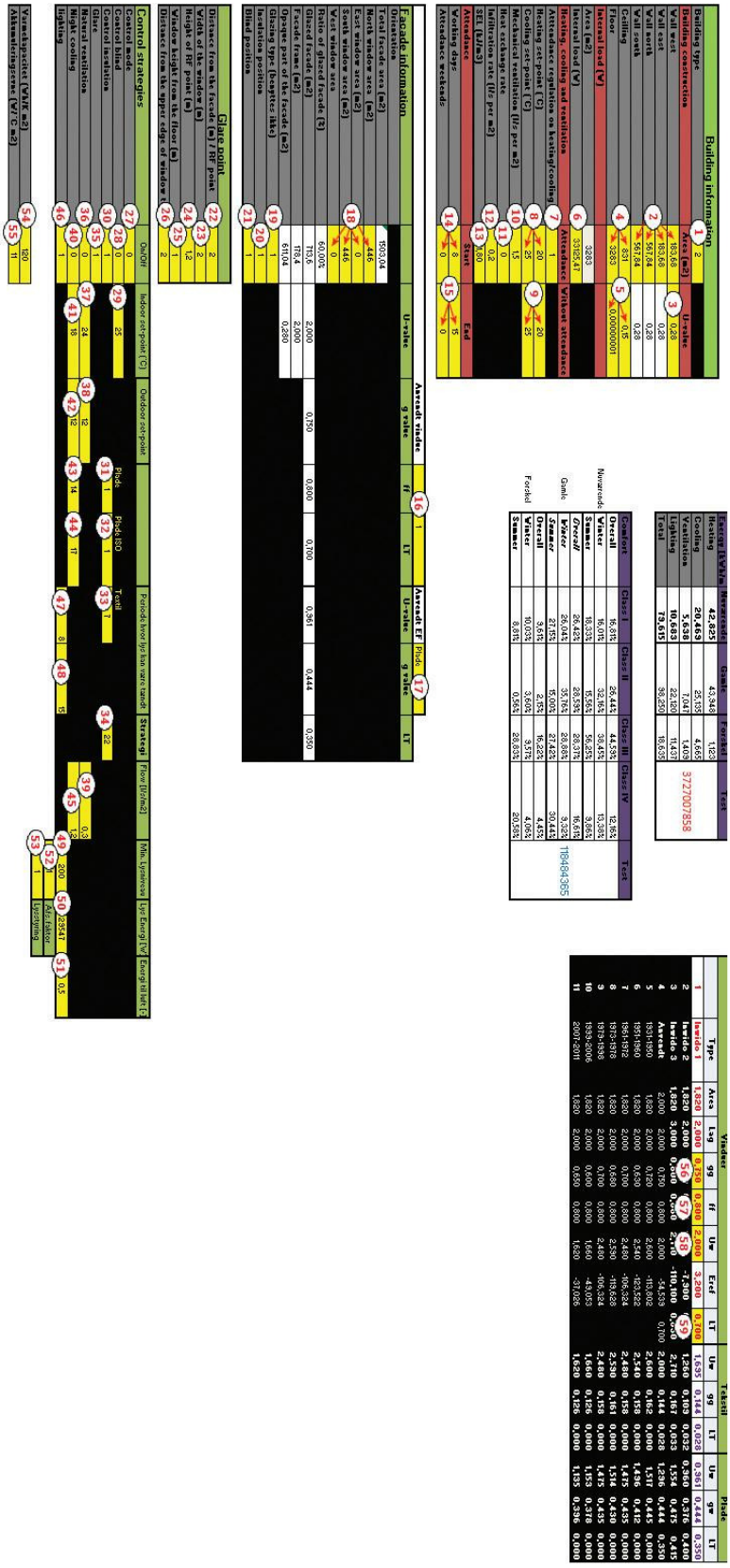
Beregningen af lystransmittansen er vigtig for at kunne determinere, hvor meget lys der trænger ind i rummet, og dermed undersøge om lysniveauet at lavt nok til ikke at forårsage blændingsgener. Lysniveauet er samtidigt med til at kontrollere om kunstig belysning er nødvendigt i rummet ift. opstillede krav til lysniveau på arbejdspladsen. Formel D.18 anvendes til beregning af den samlede lystransmittans for vinduet og EF, og stammer fra DS 13363-1 [Dansk standard 13363-1, 2007].

$$\tau_{v,t} = \frac{\tau_v \ \tau_{v,B}}{1 - \rho_v \ \rho_{v,B}} \tag{D.18}$$

Hvor:

$\tau_{v,t}$	Totale lystransmittans [-]
τ_v	Lystransmittans for vindue [-]
$\tau_{v,B}$	Lystransmittans for afskærmning [-]
ρ_v	Lysreflektans for vindue [-]
$\rho_{v,B}$	Lysreflektans for afskærmning [-]

D.5 Interface



Figur D.12. Interfacet i Excelarket tilhørende den simplificerede metode.

1. Valg af bygningstype (Bolig / Kontor)
2. Indtastning af vægareal for nord, syd, øst og vest [m^2]
3. Indtastning af U-værdi for væg (antages at alle vægge er ens) [$\frac{W}{m^2\ K}$]
4. Indtastning af gulv- og loftareal [m^2]
5. Indtastning af U-værdi for gulv og loft [$\frac{W}{m^2\ K}$]
6. Indtastning af samlet internt varmetilskud [$\frac{W}{m^2}$]
7. Valg om varme- og kølesetpointet skal reguleres ift. tilstedeværelse af personer i bygningen (Ja / Nej)
8. Indtastning af varme- og kølingsetpoint ved tilstedeværelse af personer i bygningen [°C]
9. Indtastning af varme- og kølingsetpoint uden tilstedeværelse af personer i bygningen [°C]
10. Indtastning af luftstrømmen for mekanisk ventilation [$\frac{l}{s\ m^2}$]
11. Indtastning af genvendingsgrad for mekanisk ventilation [-]
12. Indtastning af luftstrøm for infiltration i bygningen [$\frac{l}{s\ m^2}$]
13. Indtastning af SEL-værdi for mekanisk ventilationsanlæg [$\frac{kJ}{m^3}$]
14. Indtastning af hvornår brugstiden starter i hverdag og weekend [kl.]
15. Indtastning af hvornår brugstiden slutter i hverdag og weekend [kl.]
16. Valg af hvilket vindue der vil anvendes i udregning (forskellige vinduer ses i øverste højre hjørne på figur D.12)
17. Valg af type EnergyFrames der vil undersøges for (Tekstil / Plade / Efterisoleret Plade)
18. Indtastning af vinduets areal på nord-, syd-, øst- og vestfacaden [m^2]
19. Valg af hvilket rudelag for vinduet (2-lags vindue / 3-lags vindue)
20. Valg af solafskærmningens placering ift. vinduet (Udvendig / Indvendig)
21. Valg af lammelers placering ift. vinduet (Ingen / Udvendig / Indvendig / Indvendig og Udvendig)
22. Valg af referencepunktets afstand fra vinduet ind i rummet (0,5 m / 2 m)
23. Indtastning af vinduets bredde [m]
24. Indtastning af referencepunktets højde over gulvet [m]
25. Indtastning af vinduets højde over gulvet [m]
26. Indtastning af højde op til vinduets overkant fra gulvet [m]
27. Valg om der vil undersøges komfort- (blænding) eller energitilstand (Komfort / Energi)
28. Valg om lammeller skal benyttes på bygningen (Off / On)
29. Indtastning af temperatursetpoint for hvornår lameller skal aktiveres [°C]
30. Valg om EnergyFrames skal benyttes på bygningen (Off / On / Hele tiden)
31. Valg af hvilken type plade der skal undersøges for (Klar / Opal)
32. Valg af hvilken type efterisoleret plade der skal undersøges for (20 mm / 23 mm / 25 mm)
33. Valg af hvilken type tekstil der skal undersøges for (92-2043 / 92-2047 / 92-2048 / 92-2161 / 96-2161 / 96-2171 / 96-8450)
34. Valg af styringsstrategi der vil undersøges for (Plade ISO 1 - 14, Tekstil 15 - 22, Plade 23 - 33)
35. Valg om der skal undersøg for blænding (Off / On)
36. Valg om naturlig ventilation skal benyttes på bygningen (Off / On)
37. Indtastning af temperatursetpoint for hvornår naturlig ventilation skal aktiveres [°C]
38. Indtastning af temperatursetpoint for hvornår udetemperaturen er for kold til anvendelse af naturlig ventilation og dermed skal deaktiveres [°C]
39. Indtastning af luftstrøm der ventileres med, når naturlig ventilation er aktiveret [$\frac{l}{s\ m^2}$]
40. Valg vedr. om nattekøling skal benyttes på bygningen (Off / On)
41. Indtastning af temperatursetpoint for hvornår naturlig ventilation skal aktiveres [°C]

42. Indtastning af temperatursetpoint for hvornår udetemperaturen er for kold til anvendelse af naturlig ventilation og dermed deaktiveres [°C]
43. Indtastning af temperatursetpoint for den operative temperatur, hvor nattekølingen deaktiveres, hvis temperaturen når under setpointet [°C]
44. Indtastning af et maksimalt temperatursetpoint for indeluftstemperaturen, hvor nattekølingen aktiveres hvis indeluften overstiger den [°C]
45. Indtastning af luftstrøm der ventileres med, når nattekøling er aktiveret [$\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s\ m^2}}$]
46. Valg om lys skal medtages i energiberegningen for bygningen (Off / On / Aldrig)
47. Indtastning af hvornår lyset er tændt fra [kl.]
48. Indtastning af hvornår lyset er tændt til [kl.]
49. Indtastning af minimums lysniveau hvorefter kunstig belysning er nødvendigt (gælder kun hvis lysstyring er aktiveret) [lux]
50. Indtastning af strømforbrug lyset har, når det er tændt [W]
51. Indtastning af hvor stor en andel af energien fra lys der går til varme [-]
52. Indtastning af afskærmnings faktor, hvis der er en konstant skygge for vinduerne [-]
53. Valg om der anvendes lysstyring (slukker kunstig belysning hvis et tilstrækkeligt luxniveau ikke opnås i referencepunktet) eller det konstant er tændt i brugstiden (Altid tændt / Automatisk)
54. Valg af varmekapaciteten for bygningen (40 $\frac{\mathrm{Wh}}{\mathrm{m^2\ K}}$ / 80 $\frac{\mathrm{Wh}}{\mathrm{m^2\ K}}$ / 120 $\frac{\mathrm{Wh}}{\mathrm{m^2\ K}}$ / 160 $\frac{\mathrm{Wh}}{\mathrm{m^2\ K}}$)
55. Valg af akkumuleringsevnen for bygningen (Ekstra let / Middel let / Middel tungt / Ekstra tungt)
56. Indtastning af g-værdi for anvendt vindue [-]
57. Indtastning af glasandel for anvendt vindue [-]
58. Indtastning af U-værdi for anvendt vindue [$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\ K}}$]
59. Indtastning af lystransmittans for anvendt vindue [-]

Ekstra input:

- Vejrdata - Solstråling på nord-, syd-, øst- og vestfacaden (direkte + diffus + reflekteret) + udetemperatur
- Ændring af allerede valgte EF vil medføre ændring af: U-værdi, g-værdi, lystransmittans, reflektans, absorbering
- Hulrumsdybde mellem EF og vindue
- Ventilering af hulrum mellem EF og vindue (ikke ventileret, svagt ventileret eller ventileret)

Detaljerede bygningsparametre for Living Lab E

Dette appendiks viser relevante data og tegninger for hele *Living Lab* inkl. kælder- og stueetagen, som ikke blev vist i hovedrapporten.

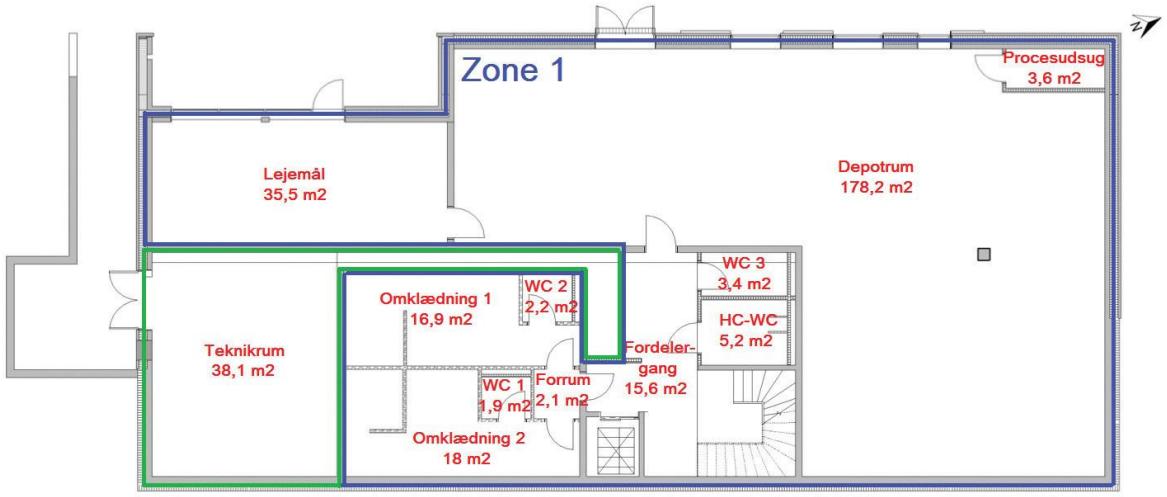
E.1 Bygningsdata og tegninger

Listen nedenfor viser samtlige rum og dets størrelser for *Living Lab*.

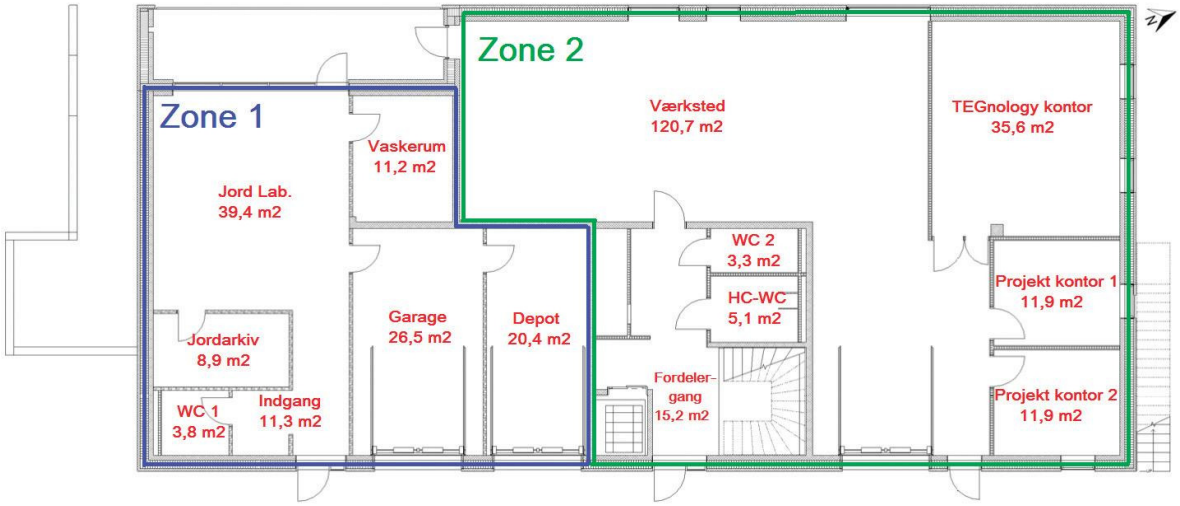
- **Kælderplan:**
  - Fordelergang = 15,6 m^2
  - Lejemål = 35,5 m^2
  - Depotrum = 178,2 m^2
  - Teknikrum = 38,1 m^2
  - Forrum = 2,1 m^2
  - Elevator = 2,9 m^2
  - Omklædning 1 = 16,9 m^2
  - Omklædning 2 = 18 m^2
  - WC 1 = 1,9 m^2
  - WC 2 = 2,2 m^2
  - WC 3 = 3,4 m^2
  - HC-WC = 5,2 m^2
  - Procesudsug = 3,6 m^2
  - **I ALT:** 323,6 m^2
- **Stueplan:**
  - Jordlab = 39,4 m^2
  - Jord arkiv = 8,9 m^2
  - Depotrum = 20,4 m^2
  - Fordelergang = 15,2 m^2
  - Værksted = 120,7 m^2
  - TEGnology kontor = 35,6 m^2
  - Projekt kontor 1 = 11,9 m^2
  - Projekt kontor 2 = 11,9 m^2
  - Vaskerum = 11,2 m^2
  - WC 1 = 3,8 m^2
  - WC 2 = 3,3 m^2
  - HC-WC = 5,1 m^2
  - Elevator = 2,9 m^2
  - Garage = 26,5 m^2
  - Indgang = 11,3 m^2
  - **I ALT:** 328,1 m^2

- **Første etage:**
  - Fordelergang = 21 m^2
  - Undervisningslokale 1 = 117,3 m^2
  - Undervisningslokale 2 = 55,1 m^2
  - Fællesrum = 62,9 m^2
  - Depot & Print = 7,5 m^2
  - TEGnology kontor = 41 m^2
  - Kontor = 13 m^2
  - Elevator = 2,9 m^2
  - Forrum = 3,1 m^2
  - WC 1 (Forrum + 2 × WC) = 6,1 m^2
  - HCWC 2 = 4,9 m^2
  - **I ALT:** 324,2 m^2

Plantegninger (figur E.1 og E.2) for kælder- og stueetagen.



Figur E.1. Plantegning af kælderetagen.



Figur E.2. Plantegning af stueetagen.

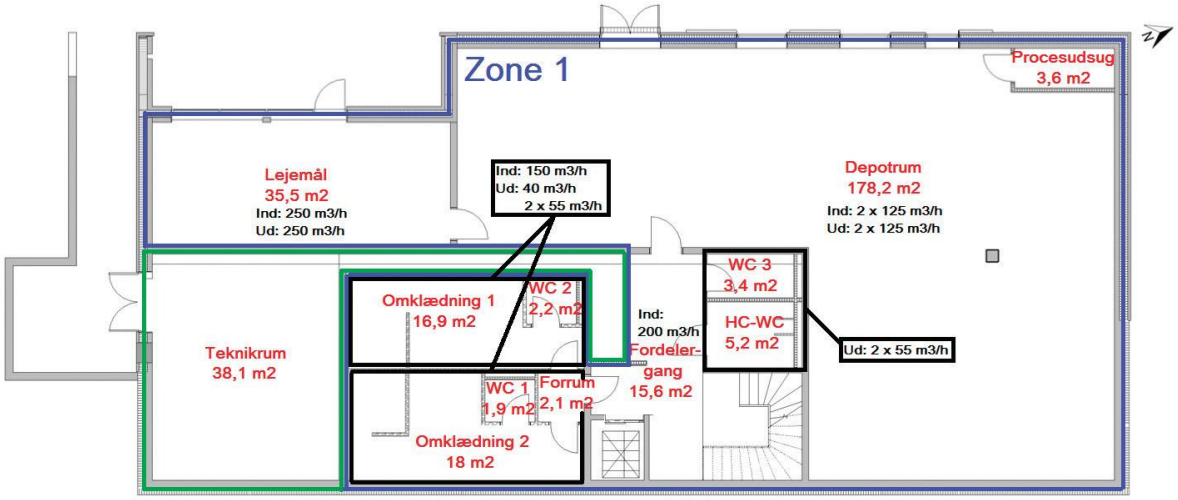
E.1.1 Ventilation

I dette afsnit gennemgås ventilationen for kælder- og stueetage.

Kælderetage

I kælderen er alle rum i forbindelse til hinanden bortset fra teknikrummet, som ikke ventileres. Kælderen er i realiteten delt op i to zoner, men som benævnt er den ene af disse en zone, der udelukkende består af et ikke-ventileret teknikrum jvf. figur E.1. Derfor ses der bort fra denne zone, og der er derfor kun en enkelt zone i kælderen. Se figur E.3 for plantegning af kælderetage med ventilationsrater.

Figurerne E.3 og E.4 viser ventilationsmængderne og antal armaturer.



Figur E.3. Plantegning af kælderetage med ventilationsrater.

Kælderetagen består af et stort depotrum på 178,2 m^2, et enkelt lejemål på 35,5 m^2 samt et større blandet areal med anvendelse til WC, omklædning og bad. I tabel E.1 er samtlige armaturer opstillet for kælderen.

Kælder

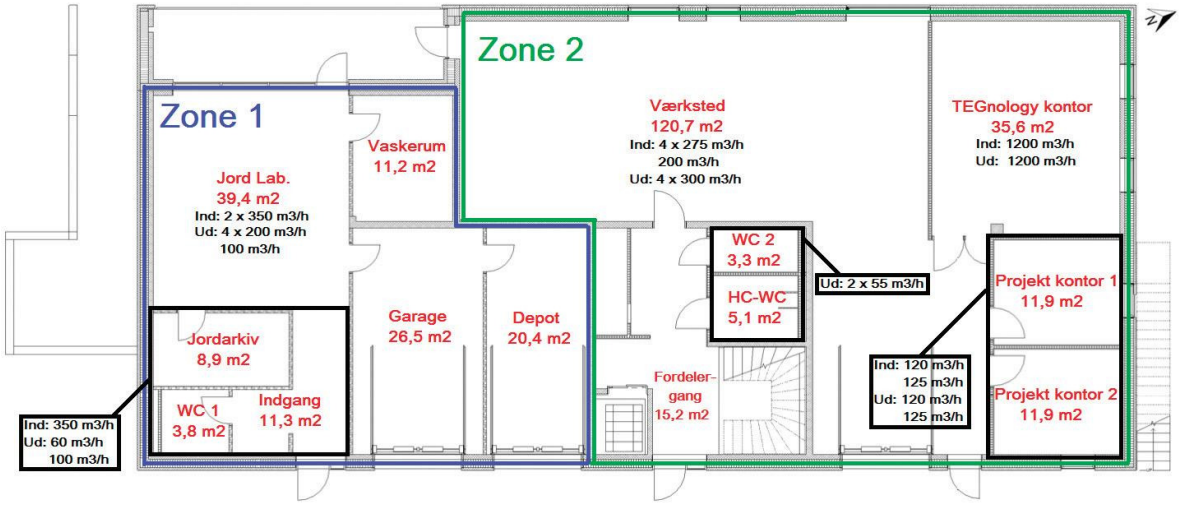
Rum	Armatur	V.Rate [$\frac{m^3}{h}$]	Antal	I alt [$\frac{m^3}{h}$]	Balance [$\frac{m^3}{h}$]	Tryk	Zone
Lejemål	Indblæsning	250	1	250	90	Overtryk	Kælder 1
	Udsugning	250	1	250			
Depotrum	Indblæsning	125	2	250			
	Udsugning	125	2	250			
Fordelergang	Indblæsning	200	1	200			
	Udsugning	55	2	110			
Omklædning 1	Indblæsning	150	1	150			
	Udsugning	40	1	40			
		55	2	110			
Omklædning 2	Indblæsning	150	1	150			
	Udsugning	40	1	40			
		55	2	110			
Total	***Indblæsning***		***6***	***1000***	***90***	***Overtryk***	
	Udsugning		***11***	***910***			

Tabel E.1. Overblik af ventilationssystem i kælderetagen.

Udfra de givne oplysninger findes et overtryk i kælderen ved forudsætning af, at samtlige armaturer ventilerer med de oplyste ventilationsrater. Overtryk kan lede til skader i konstruktionen, da overtrykket fører fugtet med fra rummet og ud igennem eventuelle utætheder, der måtte forekomme i bygningen. Dette kan skabe kondens, som derfor kan føre til stor ugunst for bygningen og forårsage bekostelige skader.

Stueetagen

Stueetagen er delt i to zoner, se figur E.4.



Figur E.4. Plantegning af stueetage med ventilationsrater.

Tilhørende zone 1 er der en garage og et depotrum, som tilsammen har et areal på 46,9 m^2. Fra disse er der direkte adgang til et jord laboratorie hvortil et jord arkiv, vaskerum samt toilet hører indenunder. I zone 2 findes et stort værksted på 120,7 m^2, som optager det meste af zonen. Ud over værkstedet findes tre kontorer, hvoraf en af disse, TEGnology, er dedikeret til laboratorie arbejde, da stinkeskab, rørovne og en testovn er at finde i lokalet. I tabel E.2 er samtlige ventilationsarmaturer opstillet for stuen.

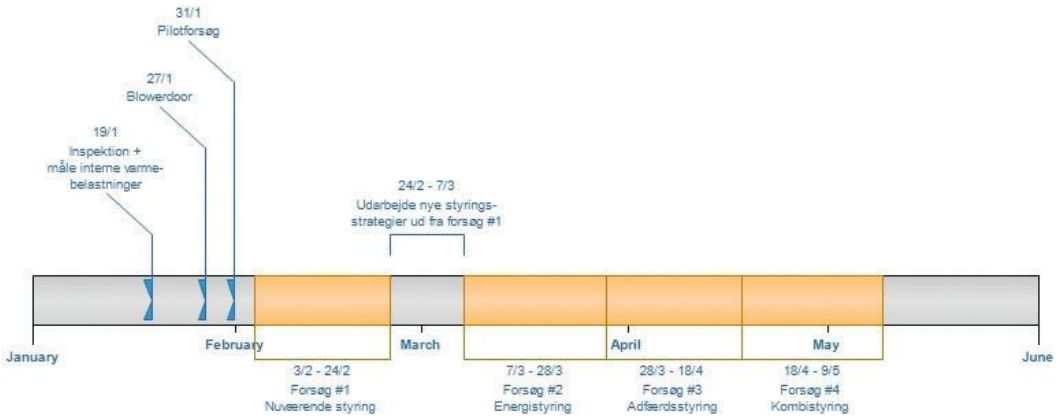
Stue							
Rum	**Armatur**	**V.Rate [$\frac{m^3}{h}$]**	**Antal**	**I alt [$\frac{m^3}{h}$]**	**Balance [$\frac{m^3}{h}$]**	**Tryk**	**Zone**
Indgang	Indblæsning	350	1	350	-10	Undertryk	Stue 1
	Udsugning	60	1	60			
		100	1	100			
Jordlab	Indblæsning	350	1	350			
	Udsugning	200	4	800			
		100	1	100			
WC + HC.WC	Udsugning	55	1	55	-10	Undertryk	Stue 2
		55	1	55			
Projektkontor 1 + 2	Indblæsning	120	1	120			
		125	1	125			
	Udsugning	120	1	120			
		125	1	125			
TEGnology	Indblæsning	1200	1	1200			
	Udsugning	1200	1	1200			
Værksted	Indblæsning	275	4	1100			
		200	1	200			
	Udsugning	300	4	1200			
Total	***Indblæsning***		***8***	***3795***	***-20***	***Undertryk***	
	Udsugning		***15***	***3815***			

Tabel E.2. Overblik af ventilationssystem i stueetagen.

I modsætning til kælderen, findes der i begge zoner et minimalt undertryk af samme størrelse i hver zone på stueetagen. Små undertryk eller neutrale trykforskelle mellem det ydre og indre foretrækkes ift. overtryk, da det ikke medfører risici for fugtskader.

Tidslinjer F

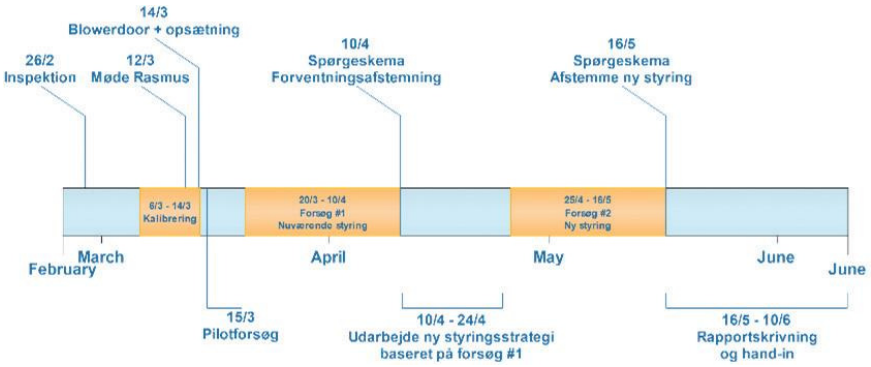
Dette appendiks viser, hvordan tidligere tidslinjer har været udformet. Figur F.1 viser første udgave af tidslinjen.



Figur F.1. Første udgave af tidslinje.

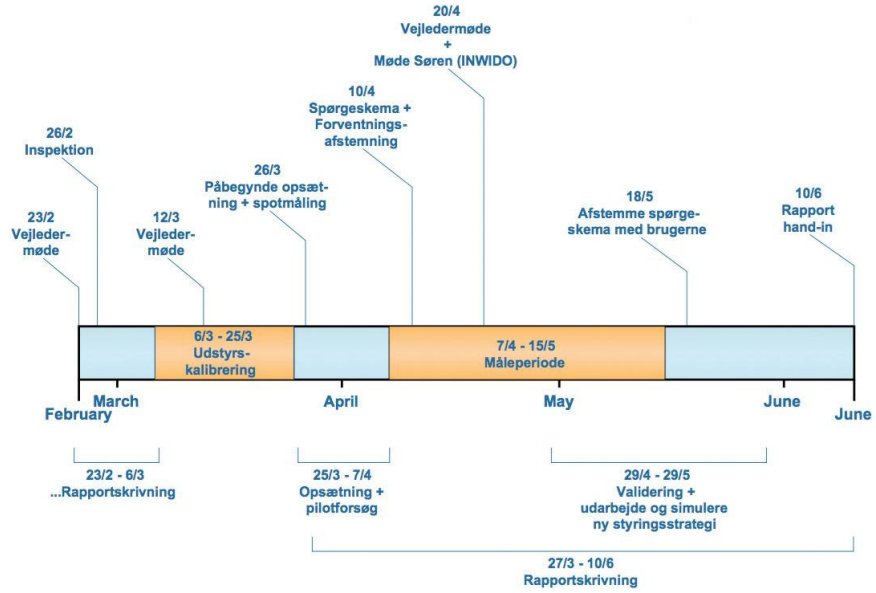
Senere blev tidslinjen revideret, da den ikke længere kunne holde stik. Den største ændring er, at antal forsøg er forkortet ned til to fra fire i den anden udgave, da det blev erfaret, at det ville blive en mere omfattende proces at indføre styringsstrategier i praksis end først antaget. De to styringer omfattede derfor den såkaldte nuværende styring uden yderligere tiltag og en ny styring, som er baseret på, hvad der ville blive have kunnet været observeret af det første forsøg.

Yderligere blev det at kalibrere udstyr en opgave, som tog længere tid end forventet, da mange af de parametre, der skal bruges til databehandlingen selv skal måles samtidig med selv at fremstille og opkøbe måleinstrumenter såsom lyssensorer. Der blev senere også lagt mere vægt på brugerinteraktionen, hvilket der derfor også blev afsat tid af til i tidslinjen. Alt dette resulterer i, at den første tidslinje er blevet forsinket, se figur F.2.



Figur F.2. Anden udgave af tidslinje.

Udviklingen fra denne til den endelige har undergået et par væsentlige ændringer. Den største ændring er, at ved et møde med Inwido (d. 20/04) blev det gjort klart, at det ikke bliver en mulighed at implementere en reel styringsstrategi af EnergyFrames på *Living Lab* grundet tidsmæssige årsager. Det medførte, at kun en måleperiode af det nuværende manuelle system er muligt. Desuden blev tiden for udstyrskalibrering yderligere forlænget. Den endelige tidslinje ses på figur F.3



Figur F.3. Endelige udgave af tidslinje.

Kalibrering af instrumenter og måling G

Appendikset omhandler overordnede forklaringer af udstyr, deres formål, kalibrering af disse mv. I appendikset bliver følgende instrumenter gennemgået:

- Eltek
- Pyranometer
- Dantec Comfort Sense
- Webcam
- Vejrstation

G.1 Eltek

Eltek som måleudstyr anvendes ofte til logning af relevante parametre. I denne måleperiode måler Eltek-målerne temperatur, CO_2 og trykforskel via spændinger. På figur G.1 - G.3 ses Eltek-målerne opstillet i samme rækkefølge.

Figur G.1. Temperaturmåler [WessexPower, 2015a].

Figur G.2. CO_2måler [DATALOGGERS, 2015].

Figur G.3. Trykdifferensmåler [WessexPower, 2015b].

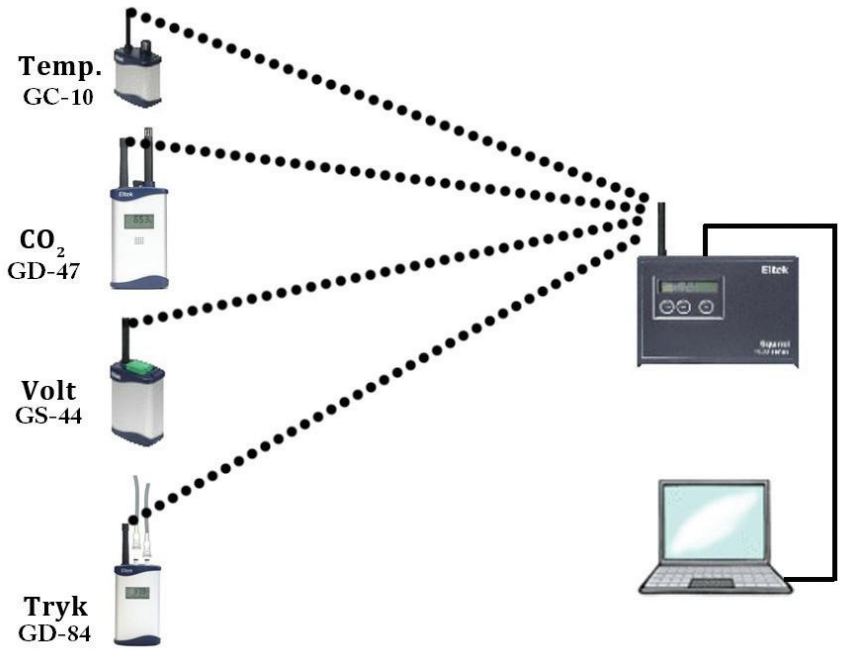
Eltek-målerne er trådløse, hvilket betyder, at de er særdeles velegnede til praktisk brug, da opsætningen af systemet simplificeres. Det skal bemærkes, at der yderligere anvendes en fjerde Eltek-måler (GS-44), som måler spændinger. Der uddybes først for denne i forbindelse med måling af lysintensitet i afsnit G.1.4.

Det, som bliver registreret af Eltek-målerne, sendes løbende videre til en fælles log central, *Squirrel*, hvilket går under betegnelsen WSR (Wireless Sensor Receiver), se figur G.4.

Figur G.4. Eltek Squirrel [Eltek, 2015b].

Denne central har mulighed for at logge op til 250 forskellige kanaler, som opsættes i et medfølgende

software program, *DARCA* (*Downloading And Remote Control Application*). Der kan logges forskellige parametre på samme tid, så længe signaler der opfanges fra målerne køres på samme Eltek-system som Squirrel. Efter softwaren er installeret på computeren, kan de loggede målinger hentes ned til videre databehandling, hvilket gøres samtidigt med, der stadig logges data. Se figur G.5 for opstilling af et typisk setup med Eltek-systemet inkl. og Squirrel.



Figur G.5. Princip af måling med Eltek-udstyr [ETM Mätteknik AB, 2015].

I de følgende fire underafsnit beskrives Eltek-målerne for hver af de præsenterede Eltek-målere på figur G.5 inkl. voltmåleren (GS-44). For specifik information, billeder mv. omhandlende Eltek-målerne, henvises der til Elteks hjemmeside [Eltek, 2015a].

G.1.1 Temperatur

Modellen der benyttes til måling af temperaturen er *GC-10*, som ses på figur G.6.

Figur G.6. Temperaturmåler [WessexPower, 2015a].

Dette er en forholdsvis simpel Eltek-måler, da den kun måler temperatur og relativ fugtighed imod sætning til andre, der kan måle flere parametre. Kalibrering af disse er ikke foretaget på ny, da de inden for en anseelig tid er blevet kalibreret, og de tilhørende kalibreringsfiler er overrakt.

Der måles temperaturer med forskellige formål jvf. afsnit 6.2 på side 65. Eltek-målerne benyttes kun indendørs, da vejrstationen leverer data for udeklimaet. Målinger foretages tæt ved arbejdspladserne (i opholdszonen), og disse logges for tre forskellige højder, 0,2 m, 1,1 m og 1,8 m. Det gøres for at undersøge, hvordan temperaturerne varierer fra dag til dag samtidigt med en observering af temperaturgradienten.

I *Green Tech Start Up* placeres to stativer med disse Eltek-målere. En ved personen der ofte befinder sig på arbejdspladsen ved den sydvendte facade, og en ved personen der oftest befinder sig på arbejdspladsen ved den vestvendtefacade. For *Netværkslokomotivet* findes et enkelt stativ mellem to af arbejdspladserne, som vender mod hinanden. Placeringerne af disse findes i appendiks A.7.

Placeringerne af stativerne vedr. opholdszonen er vurderet ud fra dialog med brugerne af lokalerne, at de mest relevante målinger vil være fra de oftest anvendte arbejdspladser.

Udover temperaturerne ved arbejdspladserne måles temperaturen ved indblæsningsarmaturerne. Der opsættes én Eltek GC-10 pr. lokale, hvormed det antages indblæsningstemperaturerne er ens ved alle armaturer i *Living Lab*.

Grundet *Green Tech Start Up*s størrelse er endnu en måler placeret så midterligt i lokalet som muligt, dog mest i den nordlige ende, hvor der er taget højde for at genere brugerne så lidt som muligt.

I to forskellige og tilstødende rum til de rum, der reelt undersøges for, findes to Eltek-målere. Den ene i *Loungen* på førsteetage og en i værkstedet på stueetagen. Disse to målere er placerede for at muliggøre varmetabsberegninger til de omkringliggende rum, der da antages gældende for samtlige tilstødende rum.

G.1.2 Forurening

Modellen der hovedsagelig benyttes til måling af CO_2 er *GD-47*, som ses på figur G.7.

Figur G.7. CO_2måler [DATALOGGERS, 2015].

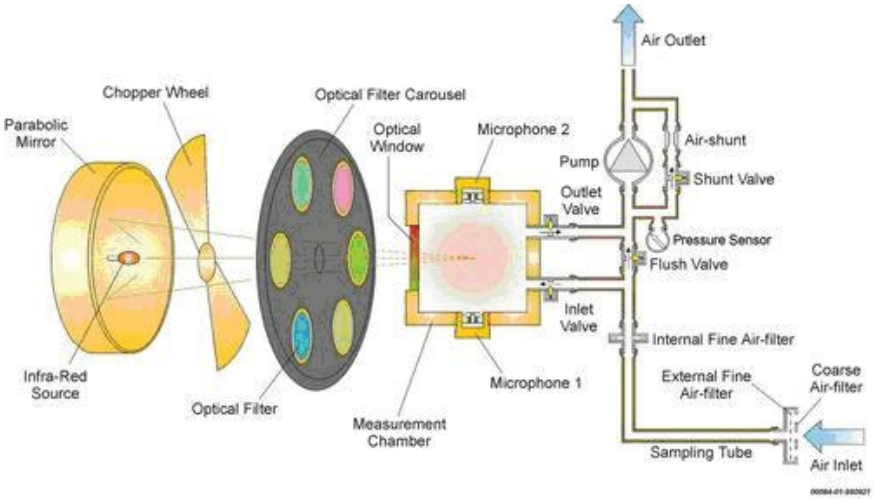
GD-47 modellen er en mindre udvidet model ift. GC-10, som har den ene ekstra funktion at kunne måle CO_2.

Kalibrering

Eltek-målere (GD-47) er kalibreret iht. et præcisionsinstrument, *INNOVA 1412*, se figur G.8. Igennem afsnittet er alle referencer hentet fra Lumasense Inc.'s hjemmeside [Lumasense Inc., 2015]

Figur G.8. Fotoakustisk gasmonitor *INNOVA 1412*.

INNOVA 1412 er et fotoakustisk gasmonitor instrument, hvilket kort fortalt betyder, at instrumentet optager en gas, som forsegles i et indre kammer. Udstrålingen fra en infrarød kilde absorberes i den optagede gas gennem et vindue, hvilket giver anledning til en tryk- og temperaturforandring. Forandringen skaber bølgefrekvenser, der optages af mini mikrofoner. Ud fra dette signal udregnes CO_2-koncentration af den optagede gas. Se figur G.9.



Figur G.9. Fremgangsmetode for *INNOVA 1412*.

Fremgangsmetoden for kalibreringen af Eltek-målerne ift. INNOVA 1412 er en simpel proces, som gentages over flere omgange. INNOVA'en placeres forskellige steder under forskellige omstændigheder, hvor der kan forventes forskellige CO_2-niveauer. Derefter måler instrumentet kontinuerligt i en periode på minimum fem minutter for at få en så nøjagtig koncentration som mulig.

Ved hjælp af denne fremgangsmetode fastlægges det, hvordan CO_2-målernes værdier skal korrigeres for at få den helt nøjagtige værdi.

Udendørs forurening

INNOVA 1412 benyttes til at fastlægge den ydre forurening af CO_2, da vejrstationen ikke måler denne selv. Det betyder udendørskoncentrationen af CO_2 bestemmes ud fra en spotmåling.

Spotmålingerne er foretaget over to forskellige dage, 24/03 og 25/03, hvor resultatet begge dage gav den samme koncentration på 329 ppm, hvilket er lavere end forventninger for standardværdierne, hvor der normalt bruges en udendørs forureningskoncentration på 350 - 380 ppm [Peter Klingenberg, Indeklimaportalen, 2014]. *Living Lab* er placeret tæt på en motorvej, så en højere end den observerede koncentration ville ikke have været urealistisk. Vinden de to pågældende dage kom hovedsageligt fra SØ, hvilket kan medvirke til, at koncentrationen der måles, er mindre end den eksempelvis vil være på en dag med vestenvind fra motorvejen.

G.1.3 Trykdifferens

Måling af trykdifferensen for ventilationen i tilgangsrøret til hvert rum måles af Eltek-modellen *GD-84*, se figur G.10.

Figur G.10. Trykdifferensmåler [WessexPower, 2015b].

Trykket, der registreres i Eltek-måleren, er det dynamiske tryk, p_{dyn}. Det dynamiske tryk anvendes sammen med tværsnitarealet af røret til at finde luftstrømmen:

$$p_{dyn} = \frac{1}{2}\rho V^2 = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{A}\right)^2 \Leftrightarrow Q = \sqrt{\frac{2p_{dyn}}{\rho}}A \tag{G.1}$$

Hvor:

p_{dyn}	Dynamisk tryk [Pa]
ρ_{luft}	Luftdensitet = 1,205 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
V	Lufthastighed [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]
Q	Volumestrøm [$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$]
A	Tværsnitsareal af rør [m^2]

For de to forskellige rum findes to forskellige rørstørrelser. For *Green Tech Start Up* er røret 315 mm i diameter, og *Netværkslokomotivet* 160 mm.

Trykket der registreres af Eltek-målerne kommer fra instrumentet pitotrør. Pitotrøret muliggør målingen af det dynamiske tryk via udtrykket givet for det totale tryk, se formel G.2.

$$p_{tot} = p_{dyn} + p_{stat} \tag{G.2}$$

Hvor:

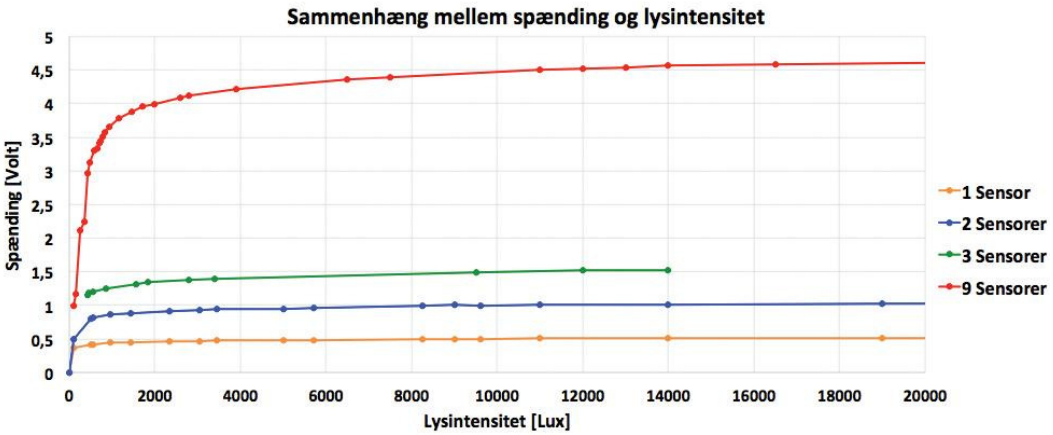
p_{tot}	Totale tryk [Pa]
p_{stat}	Statisk tryk [Pa]

Trykket registreres af Eltek-måleren og sendes videre til Squirrel loggeren, hvorefter data bruges til videre behandling.

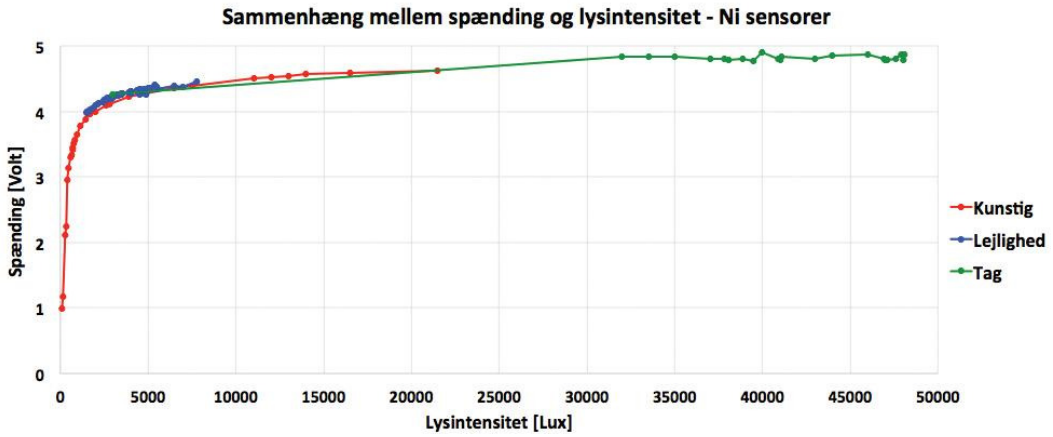
G.1.4 Lyssensor

Lyssensorerne, som måler den indvendige lysintensitet fra solen, er lavet af ni enkelte sensorer, der sættes sammen til at måle en større fælles spænding. Antallet på ni sensorer blev fundet via forsøg ved gradvist at sammensætte flere lyssensorer, indtil en tilstrækkelig spænding måles. Der regnes derefter om til lux via den fundne relation og et luxmeter, som fungerer som kalibreringsinstrumentet. Herved findes den direkte sammenhæng mellem målt spænding og den tilsvarende lysstyrke i lux. Databehandlingen i Excel-format findes i appendiks A.28

Den gradvise forøgelse af antal sensorer og et udført forsøg for de ni sammensatte sensorer ses på figurerne G.11 og G.12.



Figur G.11. Forskellige spændinger for forskellige antal sammensatte lyssensorer.



Figur G.12. Sammenhæng mellem spænding og lysintensitet for ni sensorer foretaget under forskellige forhold.

Bemærk, der på figur G.11 vises de indledende målinger for en lampe (*kunstig*) inden udvendige målinger foretages. Figur G.12 viser de efterfølgende fulde målinger af lampen, en måling foretaget på et tag, og en måling placeret i en højtliggende lejlighed for at minimere måleforstyrrelser.

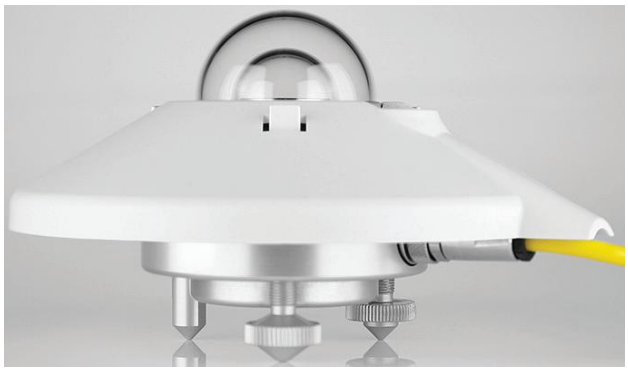
Det viser sig, at målingerne med en, to og tre sensorer giver for små spændinger ift. 2.000 lux. Derfor valgtes det at sætte ni sammen, på baggrund af tendensen af de tre foregående forsøg og det praktiske aspekt med at sammensætte ni sensorer i et 3×3 format.

Det blev beskrevet i afsnit 4.1, at 2.000 lux er grænsen for hvor blændingsgener vil opstå, hvilket sammenlignet med figur G.11 viser en ikke-stagneret kurve ved 2.000 lux ift. de øvrige kurver, som ville give resultater, der ved 2.000 lux vil være for upålidelige. Derfor benyttes ni sammensatte sensorer videre i databehandlingen. Det ses, at kurven først ved ca 5.000 lux begynder at stabilisere, og usikkerheden derefter vil være for stor.

Den udvendige lysintensitet findes blot vha. vejrstationens data, der tilgås fra *Green Tech Centers* egen hjemmeside [Green Tech Center, 2015].

G.2 Solstråling

Det anvendte pyranometer er modellen *CMP10* og er produceret af *Kipp & Zonen* [Kipp & Zonen, 2015]. Da der ikke har været muligt at anskaffe pyranometre af nyere dato end den anvendte model, er modellen den mest nøjagtige til rådighed. Derfor anses den, som værende mest præcis ift. den reelle solintensitet og kalibreres ikke videre. Det formodes dog, at pyranometret måler tæt på den nøjagtige solintensitet, da den foruden er af nyere dato. Figur G.13 viser pyranometret.



Figur G.13. *Kipp & Zonen* CMP10 pyranometer.

Til målingen af solintensiteten placeres denne på en vandret flade ovenpå *Living Lab*s tag. Derved måles den globale solstråling, dvs. den direkte, diffuse og reflekterende solstråling. Den reflekterende del ses der dog bort fra, da pyranometret er placeret på en vandret flade, hvilket medfører, at reflekterende lys på instrumentet er minimalt. Den er endda yderligere formindsket, da der foruden findes en brystning på taget, som sørger for reflekterende lys i endnu mindre grad påvirker instrumentet. Taget selv er også sort, hvilket betyder det absorberer størstedelen af lyset, og det reflekterende sollys reduceres markant. På figur G.13 ses en skærm er pålagt selve instrumentet. Denne blev i opsætningen forglemt.

Pyranometret måler ikke den globale solstråling direkte, men i form af en elektrisk spænding. Denne spænding omregnes da til en solintensitet via en opgivet konstant omregningsfaktor fra *Kipp & Zonen*, se formel G.3:

$$\mathrm{S} = \frac{\mathrm{P}}{9,49 \cdot 10^{-6} \ \frac{\mathrm{V\ m^2}}{\mathrm{W}}} \tag{G.3}$$

Hvor:

S	Global solstråleintensitet $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2}}]$
P	Målt spænding [V]
$9,49 \cdot 10^{-6} \ \frac{\mathrm{V\ m^2}}{\mathrm{W}}$	Omregningsfaktor

Da der skal anvendes en stråling, som er fordelt på hver facade, er en beregningsmetode anvendt, som fordeler den beregnede globale solstråling om til direkte og diffus solstråling, se appendiks A.15. Beregningsmetoden er baseret på en metode udviklet af Danmarks Tekniske Universitet, DTU [Hans Lund, 1985]. Dette benyttes senere til fremstillingen af den præcise vejrfil til BSim for måleperioden for *Living Lab*. BSim fordeler da endvidere den direkte og diffuse stråling ud til de forskellige facader. Mere om dette i afsnit 8.1.6.

Efter pyranometret er sat op på taget af *Living Lab*, forbindes den til et digitalt multimeter, *Prema 5017*, se figur G.14.

Figur G.14. Digitalt multimeter Prema 5017.

Signalet sendes til en bærbar, som kører et LabView script, der logger de målte solintensiteter.

G.3 Træk

Igennem dette afsnit dækkes det tekniske bag trækundersøgelser, som er beskrevet i afsnit 7.1.2. Træk måles via et softwareprogram udviklet af Dantec. Softwaren kaldes *ComfortSense*, hvori det er muligt at designe firkantede rum i tre dimensioner og observere, hvordan luftstrømninger varierer over det pågældende rum. Henvisninger til data eller informationer omkring Dantec *ComfortSense* findes i datablad [Dantec Dynamics, 2014].

Træk udregnes efter hvor mange procent, der kan forventes at føle træk. Trækprocenten, også kaldet DR (*Draught Rate*), udregnes på følgende måde [International-Standard, 2005]:

$$DR = (34 - t_{a,l}) \left(\bar{v}_{a,l} - 0,05\right)^{0,62} (0,37\ \bar{v}_{a,l}\ Tu + 3,14) \tag{G.4}$$

Hvor:

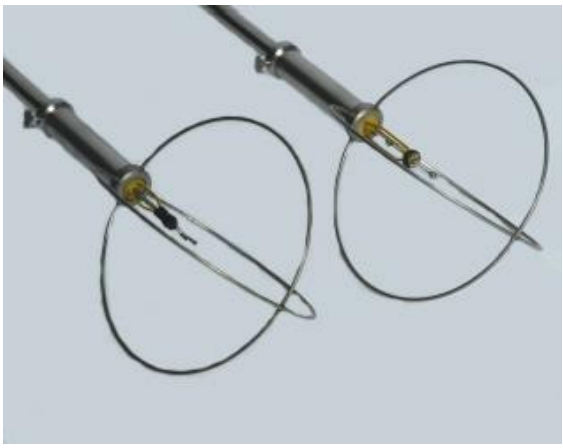
$t_{a,l}$	Lokal lufttemperatur [°C]
$\bar{v}_{a,l}$	Gennemsnitlig lokal lufthastighed [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]
Tu	Lokal turbulensintensitet [-]

Idet dette er en tilnærmet formel, der forsøger af forudsige trækprocenten, er visse antagelser lavet. Det er i formlen antaget, at aktiviteterne af personerne ikke overstiger kategorien *kontorarbejde/maskinskrivning* (1,2 met) og er mest sandhedsgivende i nakkehøjde. Det er derfor muligt, at DR overstiger 100 % i arm- og fodhøjde, hvorved DR fastsættes til 100 %.

Yderligere antages det, at lufttemperaturen ligger mellem 20 °C og 26 °C og lufthastigheder maks. ligger på 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, da alt over 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ formodes at medføre træk. Omvendt, for målte lufthastigheder under 0,05 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ anvendes 0,05 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, da lufthastigheder under denne ikke formodes at medføre træk.

Turbulensintensiteten, Tu, angives i procent, og hvis denne ikke kendes sættes den til 40 %. Dette medfører atter, at den udregnede trækprocent kan overstige 100 %, hvor 100 % da er slutresultatet.

Proberne, der anvendes og sættes til Dantec systemet, er af typen *54T33*, og ses på figur G.15



Figur G.15. Probe 54T33 til måling af trækprocent, *DR*.

Praktisk set udføres trækmålinger som spotmålinger de dage, hvor det er muligt. De forsøges at foretages under så forskellige forhold som muligt mht. vejret.

G.4 Webcam

Til observation af brugen vinduer og EnergyFrames samt personbelastning, anvendes webcam med forbrugernes samtykke. Webcam modellen er *Logitech HD Pro Webcam C920*, se figur G.16.

Figur G.16. Logitech HD Pro Webcam 920 [Logitech, 2015].

Der anbringes ét i *Netværkslokomotivet* og to i *Green Tech Start Up* grundet dets størrelse og afdækning af flere vinkler er nødvendigt.

G.5 Vejrstation

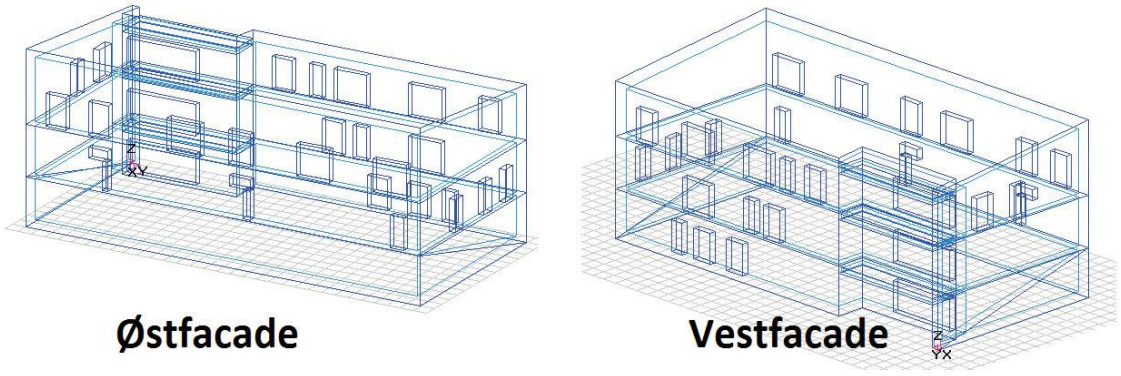
Som tidligere nævnt er en vejrstation allerede installeret af *Green Tech Center* gældende for hele domicilet. I samarbejde med GK og Insero (som står for databehandlingen til visuelle dataformidlinger via hjemmesiden) er det muligt at trække data ud fra vejrstationen, hvilket der er opnået tilgang til. Listen indeholder følgende:

- Relativ luftfugtighed [%]
- Illuminans (nord, syd, øst og vest) [lux]
- Regnindikation [-]
- Udetemperatur [°C]
- Vindretning [°]
- Vindhastighed $[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}]$

Relevente parametre fra ovennævnte anvendes videre i energibalanceberegninger i BSim.

BSim model af Living Lab før måleperioden H

For at lave indeklimaberegninger er *Living Lab* modelleret i simuleringsprogramet BSim. I dette appendiks bliver opbygningen og tilhørende antagelser til den originale BSim model beskrevet. I appendiks A.11 findes modellen i elektronisk form. På figur H.1 er BSim modellen vist både fra øst- og vestfacaden.



Figur H.1. BSim modellen vist fra øst- og vestfacaden.

H.1 Opbygningen

Dimensionerne af bygningsdelene i *Living Lab* er baseret på en Revit fil fra Rambøll (appendiks A.29). Konstruktionernes parametre såsom g- og U-værdier er fra den opdateret Be10 model (appendiks A.30).

H.1.1 Termiske zoner

I BSim modellen er der lavet to termiske zoner, et af hvert lokale, som ses på figur H.2.

Figur H.2. De to definerede termiske zoner.

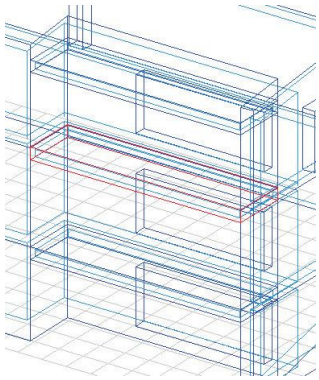
Udover de to termiske zoner, er resten af bygningen lavet som adskillelige rum, som ikke er termiske zoner. I disse rum er temperaturen sat til at følge *Green Tech Start Up*s temperatur.

H.1.2 Problemstilling vedrørende materialeparametre

I den oprindelige Be10 model er der opgivet U-værdier for konstruktionsdelene. I BSim modellen ønskes disse U-værdier at være gældende for konstruktionsdelene i kombination med tykkelsen af konstruktionsdelen fra Revit modellen. En uoverensstemmelse mellem tykkelserne og U-værdierne i BSim har givet komplikationer. Ved indtastning i BSim af materialers tykkelser fra Revit, findes U-værdien at være langt højere end givet i Be10. Dette skyldes materialeparametrene såsom varmeledningsevnen, λ, afgiver. Varmeledningsevnen ændres derfor ved de forskellige materialer indtil den reelle U-værdi findes. Dette resulterer i meget lave varmeledningsevner, der virker urealistiske. Da varmeledningsevnen ikke yderligere bruges i analyser og resultater, foretrækkes det at modificere denne frem for at ændre tykkelser af konstruktionsdelene, hvilket vil give forkerte indvendige volumener, der vil influerer beregninger af ventilation o.l.

H.1.3 Overhæng

En udfordring der forekom ved modelleringen var at få indsat overhængene på vestfacaden. Geometrisk er det problematisk at lave dem, da der skal tilføjes en på hver etage. For at imødekomme dette problem blev hvert overhæng lavet som en ekstern bygning. På denne måde sikres de rigtige dimensioner og at skygning for vinduet er realistisk. På figur H.3 ses overhængene (det midterste overhæng er markeret med rød).



Figur H.3. Illustration af overhængene.

H.2 Systemer og vigtige indtastninger

I dette afsnit beskrives, hvilke systemer og vigtige indtastninger der er gjort i BSim.

H.2.1 Personbelastning

Ved inspektionen af *Living Lab* blev det erfaret, at personbelastningen varierede meget i begge rum. Det er vurderet:

- At der gennemsnitligt er 2 personer i *Green Tech Start Up* i timerne fra kl. 08:00 - kl. 16:00 i hverdagene.
- At der gennemsnitligt er 2,5 personer i *Netværkslokomotivet* i timerne fra kl. 08:00 - kl. 16:00 i hverdagene.

I timerne uden for brugstiden samt i weekenden antages lokalerne ikke at have nogen personbelastning. Personerne i lokalerne er observeret til at have et aktivitetsniveau der svarer til 1,2 met. For en gennemsnitlig person med et overfladeareal på 1,8 m^2, svarer det til en varmeafgivelse på 126 W pr. person. [Hyldgaard et al., 1997]

H.2.2 Opvarmning

Ved inspektionen af *Living Lab*, blev det observeret at lokalerne *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet*, opvarmes vha. radiatorer. I *Green Tech Start Up* er der opstillet fire radiatorer af typen 2PK/22, som har målene og effekter som vist i tabel H.1:

Højde [m]	**Længde [m]**	**Effekt [W]**
0,8	0,655	903
1,2	0,655	1.355
1,2	0,655	1.355
4,0	0,355	2.718
Total		**6.331**

Tabel H.1. Data for radiatorerne i *Green Tech Start Up*.

I *Netværkslokomotivet* er der placeret en radiator der opvarmer hele rummet. Radiatoren måler 2,5 m × 0,655 m, og er af typen 2PK/22, og har en maksimal effekt på 4.515 W.

I brugstiden er radiatorerne for begge lokaler sat til at have et setpoint på 20 °C, og uden for brugstiden til 18 °C.

Data for radiatorerne er fundet ud fra RIOpanel Standard datablad [Rio Panel, 2015].

H.2.3 Ventilation

Ved inspektionen af *Living Lab*, blev det observeret, at ventilationsanlægget er et VAV-anlæg. Det vurderes at ventilationsanlægget har en køle- og varmeflade. Den ventilerede luftmængde, der anvendes i *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* er ukendt, så der anvendes designkriteriet for CR 1752's ventilationsmængde for et åbent kontorrum, der er på 0,7 $\frac{l}{s\ m^2}$ [CEN Report, 1998]. Den ventilationsmængden for *Green Tech Start Up* beregnes dermed til 0,0799 $\frac{m^3}{s}$ og *Netværkslokomotivet* til 0,0392 $\frac{m^3}{s}$.

SEL-værdien samt effektiviteten for ventilationsanlægget er fundet ud fra opgivet Be10-model til hhv. 1,5 $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$ og 0,83. SEL-værdien i BSim udregnes ud fra tryktab for ventilationsanlægget og effektiviteten:

$$\text{SEL} = \frac{\Delta P}{\eta} \tag{H.1}$$

Hvor:

SEL	SEL-værdi [$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$]
ΔP	Samlet tryktab for ventilationsanlægget [Pa]
η	Ventilationsanlæggets effektivitet [-]

Tryktabsfordelingen er derved: Indblæsning = 645 Pa, Udsugning = 600 Pa. Maksimal energi til opvarmning og køling i ventilationsanlægget er sat til 2 kW for at sikre at de kan opvarme/køle luften optimalt.

VAV-anlægget er sat til at kunne tredoble ventilationsmængden, hvis nødvendigt. Den laveste indblæsningstemperatur er sat til 18 °C og den maksimale temperatur til 30 °C. Opvarmningssetpoint er sat til 20 °C i brugstiden og 18 °C uden for brugstiden og kølesetpointet er sat til 25 °C. Forøgelse af ventilationsmængden sker, hvis CO_2-niveauet overstiger 800 ppm. Uddybning for valg af CO_2-niveau på 800 ppm, findes i afsnit 7.1.3.

Ventilationsanlægget er aktiveret i hverdagene i brugstiden +/- 1 time. Tidsperioden er derfor fra kl. 07:00 til kl. 17:00.

H.2.4 Infiltration

Det vurderes at *Living Lab* skal overholde energirammen for Lavenergiklasse 2015. Kravet for infiltration for denne klasse er at infiltrationsniveauet ikke må overstige 1 $\frac{\text{l}}{\text{s m}^2}$ ved en trykprøvning på 50 Pa, q_{50} [EnergiStyrelsen, 2011]. Det er antaget at infiltrationen er på niveau med kravet, og til omregning af kravet, anvendes formlerne:

Brugstid:

$$q_{brugs} = 0,04 + 0,06 q_{50} \tag{H.2}$$

Uden for brugstid:

$$q_{u.brugs} = 0,06 q_{50} \tag{H.3}$$

Infiltrationen for *Green Tech Start Up* beregnes til 0,0907 h^{-1} i brugstiden og 0,0544 h^{-1} uden for brugstiden. For *Netværkslokomotivet* beregnes infiltrationen til 0,1047 h^{-1} i brugstiden og 0,0628 h^{-1} uden for brugstiden. Brugstiden er defineret til at være fra kl. 08:00 til kl. 16:00 i hverdagen.

H.2.5 Elektronisk udstyr

Det er observeret at i *Green Tech Start Up* er der to stationære computere med tilhørende skærm, som anvendes i brugstiden (kl. 08:00 - kl. 16:00 i hverdagene). I brugstiden bruger det elektroniske udstyr 252 W, mens uden for brugstiden er det 10,1 W for stand-by.

I *Netværkslokomotivet* er der fire stationære computere med tilhørende skærm samt en stor kopimaskine. Som tidligere nævnt i afsnit H.2.1, benyttes lokalet kun af 2 - 3 personer, hvilket er sat til 2,5 person. Alle computerne anvendes derfor ikke samtidigt, så det antages kun at 2,5 af computerne benyttes i brugstiden. Uden for brugstiden står udstyret på stand-by, og benytter dermed stadig lidt strøm. I brugstiden anvender det elektroniske udstyr 430 W, mens uden for brugstiden, 34,4 W.

Strømforbrug for de diverse udstyr er fundet ud fra data opgivet af Dong Energy [Dong energy, 2015].

H.2.6 Belysning

I lokalerne *Green Tech Start Up* og *Netværkslokomotivet* befinder der sig, hhv. 12 og 6 loftslamper. Hver lampe er udstyret med et lysstofrør med en effekt på 21 W. Det er vurderet:

- At lamperne er tændte i *Green Tech Start Up* i timerne fra kl. 08:00 til kl. 16:00 i hverdagene, hvor de har en samlet effekt på 252 W.
- At lamperne er tændte i *Netværkslokomotivet* i timerne fra kl. 08:00 til kl. 16:00 i hverdagene, hvor de har en samlet effekt på 126 W.

Belysningen i *Living Lab* er styret af bevægelsessensorer og reguleres efter *on/off* princippet. Belysningen er programmeret til at være konstant tændt i brugstiden i BSim.

H.2.7 Solafskærmning

Der er sat *Solarshading* på alle vinduer med påmonterede EnergyFrames i BSim. EnergyFrames med tekstil svarer til typen *Screen* i BSim, og skyggefaktoren er sat til 0,5. Der bliver reflekteret 46 % af sollyset og transmittansen er på 8 %, for de udvendige placeret solafskærmning. [Jessen, 2015a]

Solafskærmningen aktiveres kun hvis temperaturen i lokalet overstiger 25 °C. Der anvendes styringsmetoden *on/off*, så solafskærmningen er enten slået helt til eller fra.

Infiltration I

Dette appendiks er tilhørende afsnit 8.1.2 og fungerer som tillæg til uddybelse af dele fra afsnittet. I dette appendiks findes beskrivelser af:

- Fortyndingsligningen
- Følsomhedsanalyse ved aflæsning af henfald
- Boxplot fra analyserne på *Green Tech Start Up*
- Omregning af infiltrations krav

I.1 Fortyndingsligningen

Infiltrationen findes ved brug af fortyndingsligningen og få simple antagelser. Fortyndingsligningen ses i formel I.1.

$$c = \frac{q}{c_{ind}\ V}\left(1 - e^{-c_{ind}\ t}\right) + (c_0 - c_{ind})e^{-n\ t} + c_{ind} \tag{I.1}$$

Hvor:

c	Aktuel forureningskoncentration i rum [ppm]
q	Tilført forureningsstrøm fra personer [$\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}}$]
c_{ind}	Forureningskoncentration i indblæsning [ppm]
V	Rumvolumen [m^3]
t	Tidsinterval [h]
c_0	Forureningskoncentrationen ved begyndelsestidspunkt [ppm]
n	Luftskifte [h^{-1}]

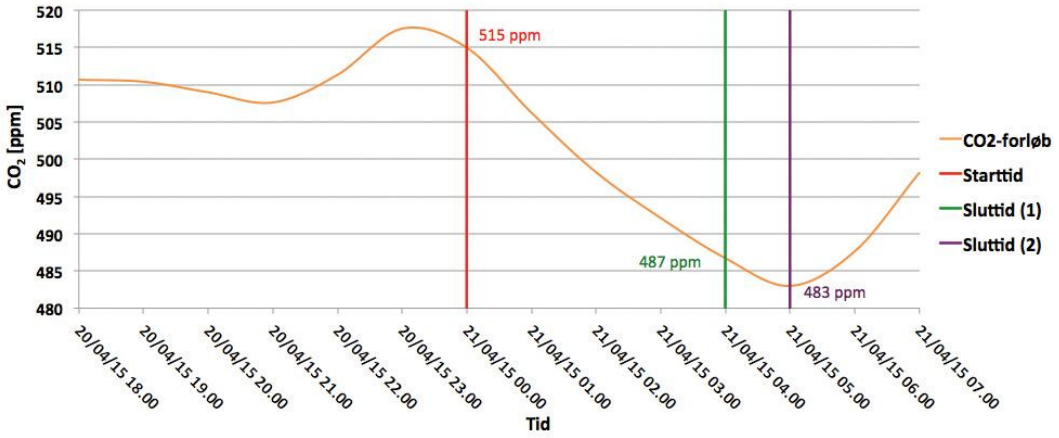
Ved at sørge for ventilationsanlægget ikke kører i det bestemte tidsinterval ($c_{ind} = 0$ ppm) for at udelukke tilførslen af frisk udefrakommende luft, kan infiltrationen findes i lokalerne, da den eneste lufttilførsel eller -fjernelse til lokalet er via utæthederne i klimaskærmen for det pågældende lokale. Der skal ikke være personer tilstede, da det vil forstyrre de målte værdier ved løbende at tilføre forurening til lokalet. Personbelastningen tages ikke med i beregningerne, dvs. første led fra formel I.1 negligeres.

Tiden, t, varierer alt efter tidsperioden, der undersøges for. Metoden for bestemmelsen af infiltration gentages over flere perioder, hvor koncentrationen stødt falder for at præcisere resultatet. Det betyder, at både start- og slutkoncentrationen, c_0 og c, for det givne tidsinterval skal bestemmes ud fra forureningsdata. Slutkoncentrationen, eller den aktuelle koncentration, indsættes i formel I.1.

Rumvolumen findes ved brug af tegninger af *Living Lab*, se appendiks A.3. Ved at benytte *målsøgning*-funktionen i Excel, findes infiltrationen, n, da samtlige øvrige værdier kendes.

I.2 Følsomhedsanalyse ved aflæsning af henfald

Som nævnt i afsnit 8.1.2 forekommer afvigelser ved aflæsning af CO_2 henfaldet. Der vises et eksempel, som er taget fra d. 20/04 til d. 21/04, hvilket er illustreret på figur I.1.



Figur I.1. Eksempel på følsomhed ved aflæsning af CO_2 henfald.

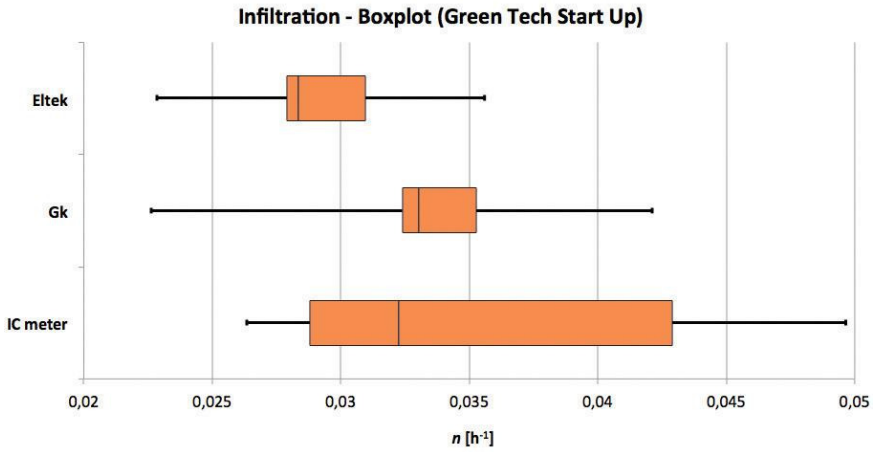
På figur I.1 ses, at der er valgt at undersøge fra kl. 00:00, hvor henfaldet begynder at danne en ekspotentiel tendens. Sluttiden vælges ved to tidspunkter for at sammenligne effekten på resultatet. Der vælges kl. 04:00 og kl. 05:00 (sluttid (1) og (2)). Ved brug af de aflæste CO_2-niveauer ved tidspunkterne bruges fortyndingsligningen og de to infiltrationsrater findes til:

- Ved brug af sluttid (1) = 0,0411 h^{-1}
- Ved brug af sluttid (2) = 0,0377 h^{-1}

Ved ændring af sluttidspunktet til et nyt som stadig udviser samme tendens, findes en ændring på 8 %, hvilket giver et tydeligt præg af følsomheden ved denne beregning af infiltrationen.

I.3 Boxplot fra analyserne på Green Tech Start Up

På figur I.2 vises boxplottet af resultaterne fra analyserne tilhørende *Green Tech Start Up*.



Figur I.2. Boxplot af spredningen af fundne infiltrationsrater i *Green Tech Start Up*.

I.4 Omregning af infiltrationskrav

Lavenergiklasse 2015 kræver, at utæthed i bygningen ikke overskrider 1 $\frac{\text{l}}{\text{s m}^2}$ ved en trykforskel på 50 Pa (q_{50}) [EnergiStyrelsen, 2011]. Dette ønskes omregnet til et luftskifte tilhørende de to lokaler. Det skal bemærkes, at kravene er for en bygning og ikke et lokale. Derfor kan værdierne ikke direkte sammenlignes, men bruges som vejledende værdier. Analyserne er lavet uden for brugstiden, og derfor bruges formel I.2 til beregning af infiltration, q [Aggerholm og Grau, 2011].

$$q = 0,06\ q_{50} = 0,06 \cdot 1\ \frac{\text{l}}{\text{s m}^2} = 0,06\ \frac{\text{l}}{\text{s m}^2} \tag{I.2}$$

Herefter omregnes luftmængden til luftskifte, n, for hhv. *Netværkslokomotivet* (formel I.3) og *Green Tech Start Up* (formel I.4):

$$n = \frac{0,06\ \frac{\text{l}}{\text{s m}^2} \cdot A \cdot 3.600\ \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000\ \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot V} \Rightarrow \frac{0,06\ \frac{\text{l}}{\text{s m}^2} \cdot 55,1\ \text{m}^2 \cdot 3.600\ \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000\ \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot 192,7\ \text{m}^3} = 0,0926\ \text{h}^{-1} \tag{I.3}$$

$$n = \frac{0,06\ \frac{\text{l}}{\text{s m}^2} \cdot 117,3\ \text{m}^2 \cdot 3.600\ \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000\ \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot 483,7\ \text{m}^3} = 0,0524\ \text{h}^{-1} \tag{I.4}$$

Hvor:

A	Areal af rum, *Netværkslokomotiv* = 55,1 m^2, *Green Tech Start Up* = 117,3 m^2
V	Rumvolumen, *Netværkslokomotivet* = 192,7 m^3, *Green Tech Start Up* = 483,7 m^3

Beregning af direkte og diffus solstråling J

Dette appendiks forklarer uddybende, hvordan der findes frem fordelingen mellem global, direkte og diffus solstråling.

Formel J.1 viser udregningen for den direkte solstråling, og formel J.2 viser udregningen for den diffuse stråling, som begge regnes ud fra den globale solstråling.

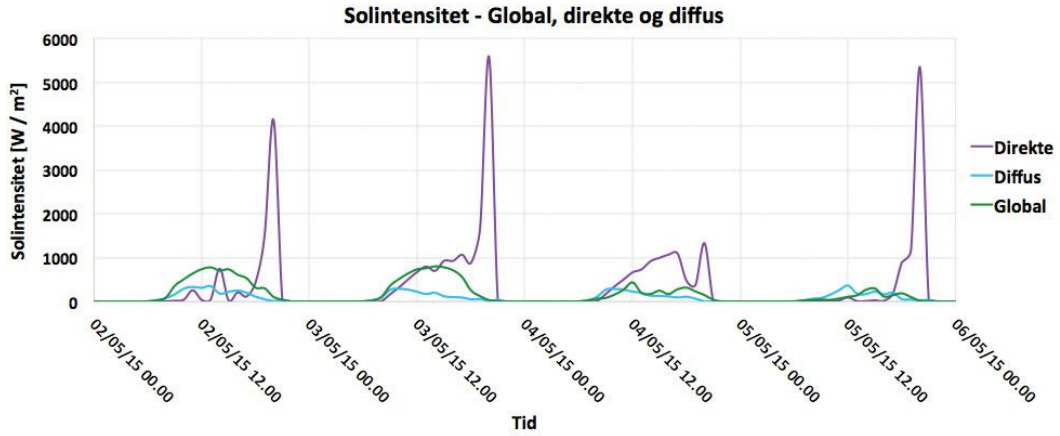
$$I_O = G_h \left(\frac{1 - RELD}{\sin(\mathrm{h})} \right) \tag{J.1}$$

$$D_h = G_h - I_O \sin(\mathrm{h}) \tag{J.2}$$

Hvor:

I_O	Direkte solstråling $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}]$
G_h	Global solstråling $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}]$
$RELD$	Faktor der tager højde for absolut luftfugtighed og forholdet mellem den globale og kosmiske stråling [-]
h	Solhøjde [°]
D_h	Diffus solstråling $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}]$

Ved benyttelse af de to ovenstående formler fås resultater som illustreret på figur J.1



Figur J.1. Global, direkte og diffus solstråling på *Living Lab*.

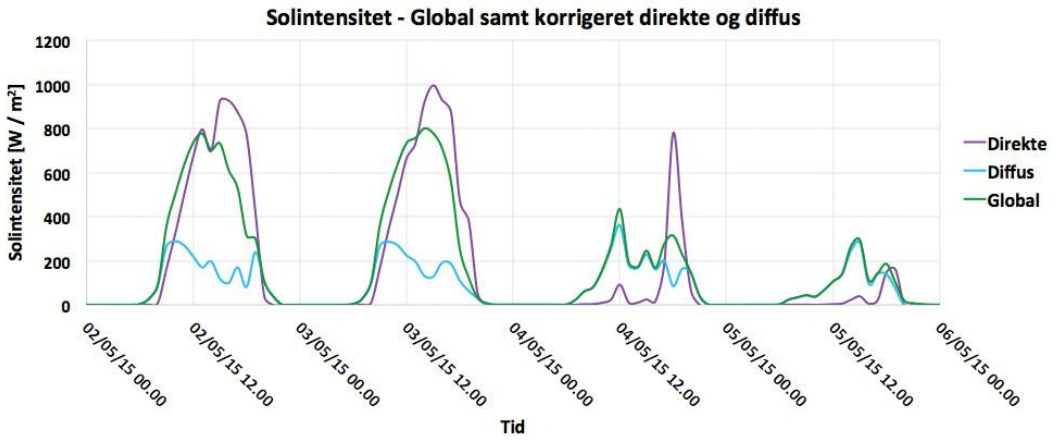
Det er iøjefaldende, at den direkte solstråling for aftentimerne eskalerer ud af proportioner med urealistiske og overdrevne værdier. Dette skyldes blot metodens beregningsmetode ikke fuldkomment præcist opdeler den globale solstråling, hvorfor der er indført en korrektion. Denne korrektion, i form af en empirisk fundet formel, betragter luftens masse, en såkaldt "apparent solar constant", *asc*, ved jordoverflade samt en udryddelseskonstant, se formel J.3.

$$I_{max} = asc\ DA\ e^{-EXT\ m} \tag{J.3}$$

Hvor:

I_{max}	Korrigeret direkte solstråling $[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}]$
asc	Apparent solar constant $= 1.119\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$
DA	Afstandsfaktor mellem jorden og solen [-]
EXT	Udryddelseskonstant [-]
m	Relativ luftmassefylde [-]

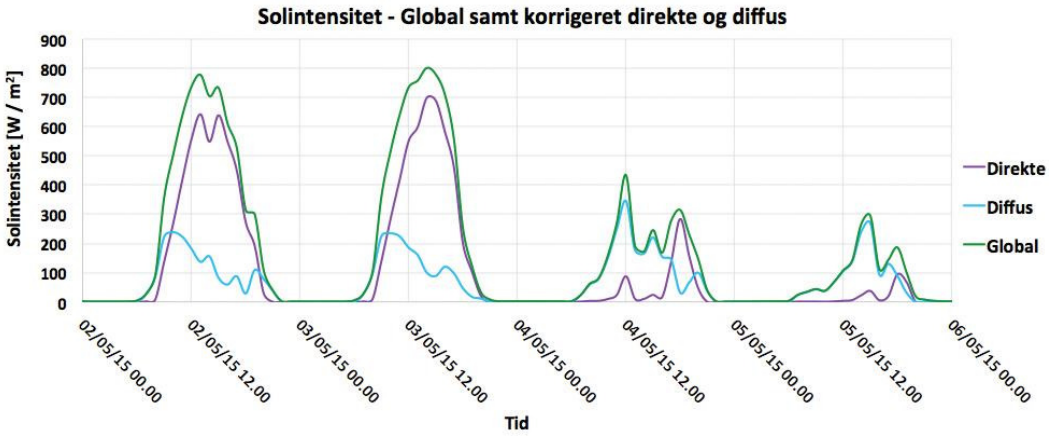
Viser det sig, at $I_O > I_{max} + 56\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$, reduceres I_O til I_{max} samtidigt med en ny diffus solstråling udregnes iflg. formel J.2. Da er den endelige fordeling af den globale solstråling beregnet, se figur J.2.



Figur J.2. Global solintensitet samt korrigeret direkte og diffus solstråling på *Living Lab*.

For de to skyfrie dage, ses den direkte solstråling at være dominerende, hvorimod der på de overskyede dage næsten kun forefindes diffus stråling på nær mod aftenstimerne, hvor der forekommer større perioder af direkte solstråling.

Det er interessant at bemærke, at selvom det er en skyfri himmel, findes et forholdsvist ens niveau af den diffuse stråling på tværs af alle fire døgn. Det skal atter bemærkes, at metoden ikke regner fuldkomment korrekt. Da den globale solintensitet er referencen bag metoden, skal summen af den direkte og diffuse svare til den global solintensitet. Forholdet mellem den direkte og diffuse multipliceres på den globale, hvorved nye resultater finde, se figur J.3.

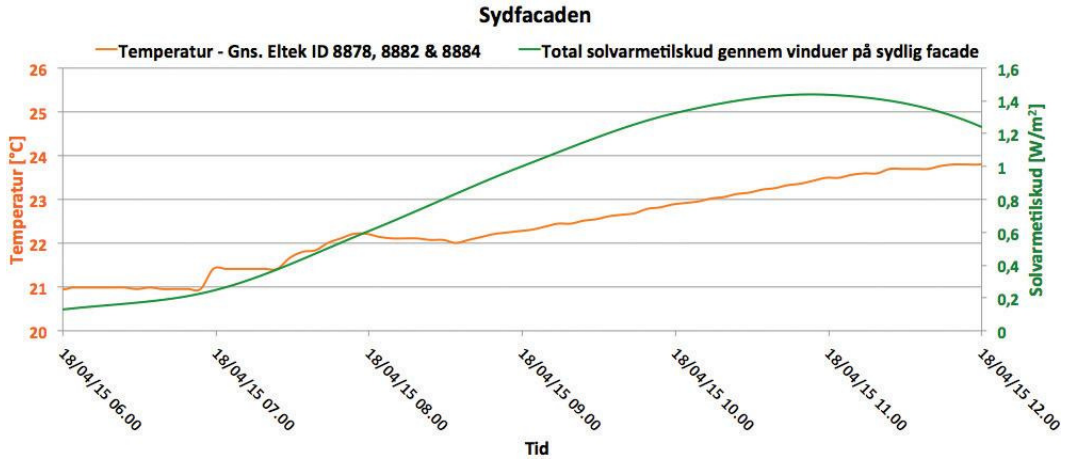


Figur J.3. Endelig fordeling af solstråling på *Living Lab*.

Denne metode anvendes til implementering af direkte og diffus stråling i vejrfilen i BSim.

Solvarmeanalyse K

I dette appendiks undersøges det ved hvilken intensitet, at solvarmetilskuddet begynder at opvarme lokalerne i et tilstrækkeligt omfang. Metoden, dette gøres ved, er at undersøge for en dag med klar himmel, og ved hvilken intensitet temperaturen stiger. Der vises et eksempel for sydfacaden d. 18/05. Temperaturerne er et gennemsnit af de tre Eltek-målere, der er placeret ved arbejdspladsen tættest på sydfacaden. Solvarmetilskuddet er beregnet i BSim, og er det samlede tilskud, der kommer ind igennem vinduerne på sydfacaden. Af denne grund er det ikke den samme værdi, der udgør et tilstrækkeligt solvarmetilskud for hver facade, da det også afhænger af antal vinduer. For sydfacaden bruges figur K.1 til aflæsning. Det er valgt, at værdien hvor solvarmetilskuddet begynder at opvarme lokalerne i et tilstrækkeligt omfang er ved 0,2 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. Denne værdi er valgt, da det vurderes, at temperaturen stiger med lidt forsinkelse efter solvarmetilskuddets indtrængen.



Figur K.1. Sammenligning af temperatur ved arbejdsplads og solvarmetilskud ved sydfacaden for den 18/05.

Værdierne findes på den samme måde for de andre facader og resulterer i:

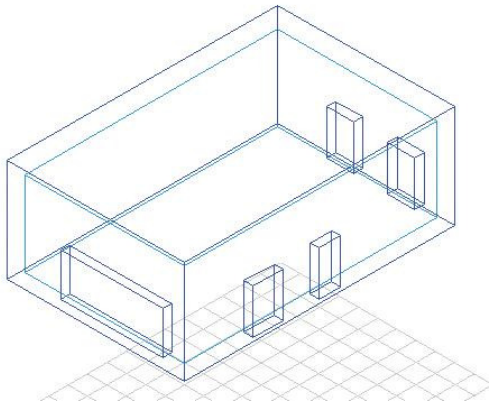
- Sydfacade - 0,2 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$
- Østfacade - 0,5 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$
- Vestfacade - 0,5 $\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$

Styringsstrategi med blænding i Green Tech Start Up L

I dette appendiks beskrives hvorledes blænding medtages i styringsstrategierne i BSim.

L.1 Geometrisk problematik i Green Tech Start Up

Blændinggener bliver defineret ved 2.000 lux og måles i øjenhøjde. I *Netværkslokomotivet* fungere dette tilstrækkeligt, men i *Green Tech Start Up* opstår der problemer med geometrien af rummet, da BSim kun laver dagslysberegninger for simple geometrier. Derfor bliver en simpel geometri af *Green Tech Start Up* udviklet, hvilket er illustreret på figur L.1.

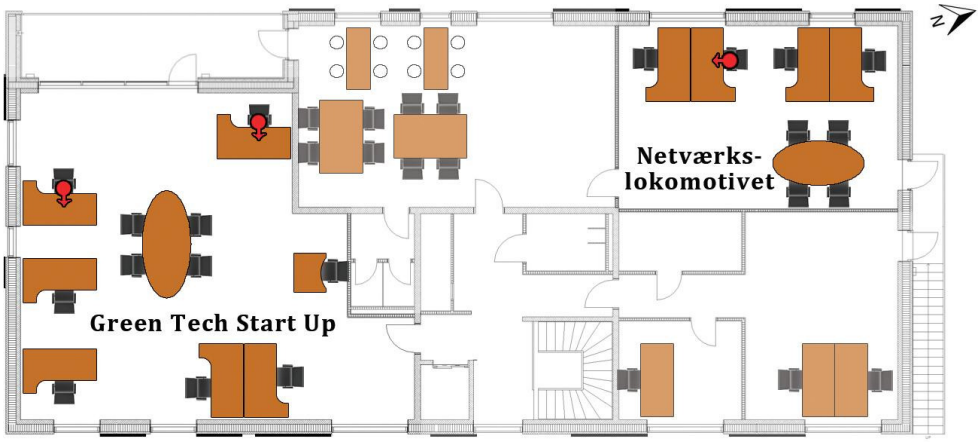


Figur L.1. Simpel model af *Green Tech Start Up* til beregninger af blænding.

I denne model undersøges der for de to steder, hvor der er brugere på arbejdspladserne (figur L.2). Det er ved de samme tidspunkter, der opstår blænding i den simple BSim model som i den årsbaseret BSim, derfor indsættes tidspunkterne i styringsstrategierne for blænding.

L.2 Fejlkilde ved reflekterende blænding

Som nævnt i afsnit 7.1.4 er der problemer med at registrere blændingsgenerne for personen placeret længst inde i rummet i *Green Tech Start Up* grundet, at brugeren ikke blændes fra direkte sollys.

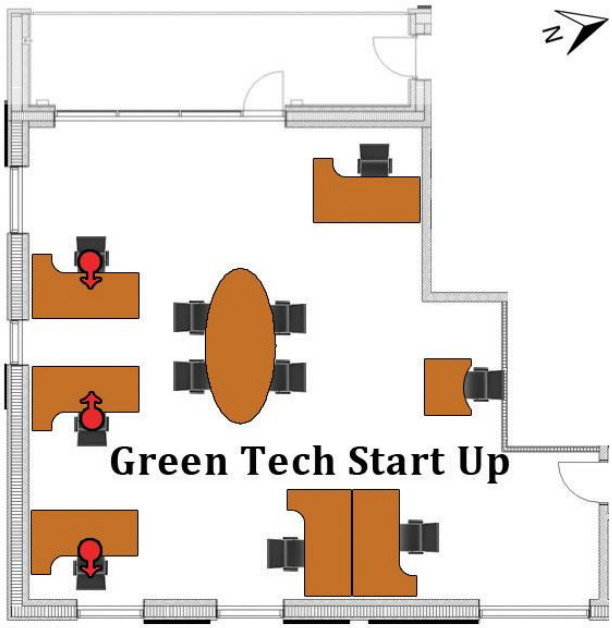


Figur L.2. Placeringer af simuleringspunkter for blænding inkl. orientering. Alle i 1,2 m højde.

BSim simuleringerne resulterer i, at lysintensiteten er langt fra 2.000 lux om morgenen omkring det tidspunkt, brugeren benytter EnergyFrames. I styringsstrategierne for blænding bliver den reflekterende type af blænding ikke registreret, og afskærmningen vil derfor bruges mindre i simuleringerne end i virkelighed. Da det er for tidskrævende ift. projektets deadline at lave en undersøgelse af alle fladers belægning findes et alternativ ikke til at rette op på denne fejlkilde.

L.3 Blændingsgener ved øgede personbelastning

Ved styringsstrategi for blænding ved den øgede personbelastning vælges det at lade styringen kører efter tre arbejdspladser, illustreret på figur L.3.



Figur L.3. Placeringer af simuleringspunkter for blænding inkl. orientering. Alle i 1,2 m højde.

Det skal bemærkes, at ved arbejdspladsen nede i venstre hjørne på figur L.3 vender punktet modsat vej af brugeren, men illustrerer i stedet computerskærmen, hvor blændingsgenerne vurderes til at have en grænse ved 2.000 lux. Det er kun det tilhørende vindue der vil køre for ved tilfælde af blændingsgener.