#### Institut for Byggeri & Anlæg

Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg Telefon: 99 40 85 32 www.byggeri.aau.dk

#### Projekt

Masterprojekt Indeklima og Energi

#### Titel

Dynamiske facader

#### Undertitel

Energimæssigt potentiale af EnergyFrames

#### Projektperiode

Masterprojekt 01-09-2013 til 16-06-2014

Deltagere

Kim Jønsson

Mikkel Vindelev

#### Vejledere

Per Kvols Heiselberg Rasmus Lund Jensen

Oplagstal: 5

Sidetal: 130

Bilagsantal: 59

Appendix-CD

Afsluttet: 05-06-2014

#### Synopsis

Formålet med dette projekt er, at fastlægge effekten ved en dynamisk facade bestående af produktet EnergyFrames. Dette gøres ved ekspermentelt at bestemme transmissionskoefficienten og solvarmetransmittansen for vinduer med EnergyFrames. Dette muliggør beregning af de samlede materialeparametre, som skal benyttes til bygningsberegninger.

For at fastlægge om EnergyFrames har et potientiale i praksis, udføres målinger på et enfamiliehus som renoveres med EnergyFrames. Ud fra målingerne opstilles beregningsmodeller, som kan beregne bygningens energiforbrug på årsbasis, for at finde den totale effekt af EnergyFrames.

Slutteligt analyseres effekten af forskellige styringsstrategier, på forskellige løsninger af EnergyFrames. Her ses på forskellige bygningsperioder, for at bevise hvilken EnergyFrames der bør benyttes ved de forskellige perioder, samt hvilken styring der er optimal at benytte. Projektet består af en rapport med et med tilhørende bilag, samt en appendix-CD. Rapporten er opbygget så der først kommer en konklusion på projektet og efterfølgende er rapporten opdelt i tre dele som hver især indeholder forudsætningen for konklusionen.

Appendix-CD'en indeholder beregninger og yderligere dokumentation, som ikke er medtaget i rapporten. Beregninger, regneark, simulleringsmodeller og tegninger mv. er alle placeret på appendix-CD'en. Indholdsfortegnelsen for appendix-CD'en er vist i bilag A på side 131.

Kapitlerne i rapporten er nummereret kronologisk og deres figurer, tabeller og ligninger er nummereret i henhold til nummeret på det kapitel, hvor de vises. Det betyder, at den første tabel i det andet kapitel vil blive navngivet tabel 2.1, den anden tabel vil blive navngivet 2.2 osv. Beskrivelser af tabeller og figurer er givet under den pågældende tabel eller figur og en reference er angivet, når et objekt ikke er produceret af projektgruppen.

I projektet vil kildehenvisningerne være opbygget, så der i teksten refereres til bøger med [Efternavn, År], til standarder og anvisninger refereres med [Titel, År] og til hjemmesider refereres med [Hjemmesidens navn, År]. Kilderne vil under Litteratur være fuldstændige. Her angives bøger med forfatter, titel, udgave og forlag, mens internetsider angives med forfatter, titel og år. Er der ingen kilde, har projektgruppen selv udarbejdet det pågældende og ved dokumentation henvises til Appendix-CD, som er vedhæftet projektet.

Mål på figurer vil have enheden [mm], medmindre andet er angivet af enten figur eller figurtekst.

## Indholdsfortegnelse

Kapite	l 1 Indledning	1
1.1	EnergyFrames	2
1.2	Projektformulering	7
1.3	Projektafgrænsning	8
Kapite	l 2 Konklusion	9
Del I	- Karakterisering af EnergyFrames indvirkning på	
	vinduers materialeparametre	
Kapite	1 3 Eksperimentelt setup af hotbox	13
3.1	Anvendt hotbox	13
3.2	Testelement	14
3.3	Hotbox målezone	21
3.4	Hotbox klimazone	26
Kapite	1 4 Kalibrering af hotbox	33
4.1	Varmestrøm gennem målezonens vægge	33
4.2	Isolans af det omsluttende panel	35
4.3	Konvektionsfaktor	39
4.4	Total overgangsisolans	44
4.5	Dokumentation af strålingsfordeling fra kunstig sol $\ \ldots \ \ldots \ \ldots \ \ldots \ \ldots$	46
Kapite	1 5 Eksperimentel bestemmelse af materialeparametre	47
5.1	Forsøgsbeskrivelse	47
5.2	Bestemmelse af transmissionskoefficient	48
5.3	Bestemmelse af solvarmetransmittans	50
Kapite	l 6 Teoretisk beregning af transmissionskoefficient	53
6.1	Isolans af testvinduer	54
6.2	Isolans af luftfyldte hulrum	54
6.3	Isolans af EnergyFrames	57
6.4	Effekt af EnergyFrames på testvinduer	57
6.5	Rammens effekt	59
6.6	Samlet transmissionskoefficient medregnet ramme	62
6.7	Transmissionskoefficient af vinduer med EnergyFrames	63
Kapite	17 Teoretisk beregning af solvarmetransmittans	65
Kapite	l 8 Opsummering	67
Del I	I - Onsite undersøgelse af enfamiliehus	
Kanite	l 9 Enfamiliehus uden EnergyFrames	71
9.1	Bygningsbeskrivelse	71
5.1	<b>7</b> ,9	11

9.2  Målinger	73 81
Kapitel 10 Enfamiliehus med EnergyFrames    10.1 Bygningsbeskrivelse    10.2 Målinger    10.3 BSim model	<b>85</b> 85 86 94
Kapitel 11 Potientiale af EnergyFrames    11.1 Teoretisk forbedring med EnergyFrames    11.2 BSim beregning	<b>97</b> 97 98
Kapitel 12 Opsummering	99
Del III - Karakterisering af EnergyFrames indvirknin på bygningers energiforbrug	ıg
Kapitel 13 Bygningers energiforbrug    13.1 Model    13.2 Beregningsprogram    13.3 Definition af cases    13.4 Vejrdata    13.5 Energiforbrug af casebygninger    13.6 Energiforbrug af casebygninger    13.7 Energiforbrug af casebygninger    13.8 Strategiers indvirkning på bygningers energiforbrug    14.1 EnergyFrames på casebygninger    14.2 Styringsstrategier    14.3 Strategiers indvirkning på energiforbrug    14.4 EnergyFrames med tekstildug    14.5 EnergyFrames med transparent plade	$\begin{array}{c} 103 \\ \dots & 103 \\ \dots & 104 \\ \dots & 105 \\ \dots & 105 \\ \dots & 106 \\ \dots & 107 \\ \hline \\ 111 \\ \dots & 111 \\ \dots & 111 \\ \dots & 115 \\ \dots & 116 \\ \dots & 118 \end{array}$
14.6 EnergyFrames med efterisoleret plade	123 1 <b>2</b> 7
Litteratur	129
Bilag A Appendix-CD	131
Bilag B Bestemmelse af vinduers transmissionskoefficient	133
Bilag C Linjetabskoefficent for det omsluttende panel	139
Bilag D Bestemmelse af vinduers solvarmetransmittans	141
Bilag E Definition af hotbox	147
Bilag F Kalibrering af måleudstyr	149
Bilag G Målepunkter omsluttende panel	157

Bilag H	Kunstig sol	159
Bilag I	Resultat af eksperimentel transmissionskoefficient	161
Bilag J	Resultat af eksperimentel solvarmetransmittans	165
Bilag K	Beregnet effekt af EnergyFrames	167
Bilag L	Input til BSim	169
Bilag M	Styringstrategier for EnergyFrames med tekstildug	179
Bilag N	Styringstrategier for EnergyFrames med plade	181
Bilag O	Resultatgrafer for EnergyFrames med tekstildug	185
Bilag P	Grafer for EnergyFrames med pladeløsninger	189

## Indledning

I Danmark står bygningsmassen for omkring 40 % af det samlede energiforbrug, og nybyggeriet supplerer årligt bygningsmassen med cirka 1 % [Arkitektforeningen, 2013]. Dette indikerer at det eksisterende byggeris kvalitet og energiforbrug, har stor betydning for målsætningen med at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen. I 2006 er der indgået en aftale om at energikravene skærpes med 25 % i år 2010, 2015 og 2020. Samtidigt med at energikravene er blevet skærpet, er kravene til indeklimaet ligeså. Dette har medført en tendens til at bygge velisolerede, kompakte og sydvendte huse og kontorer med lavt eller ingen opvarmningsbehov. Dermed er problemstillingen ved nybyggeriet gået fra at hedde "Hvordan holdes energien indenfor klimaskærmen?" til "Hvordan optimeres varmetabet, så der både tages højde for varme- og kølebehov?".

Denne problemstilling er forstærkes yderligere af vinduets udvikling, i tæt forbindelse med den arkitektoniske trend og den teknologiske udvikling. Vinduets primære funktioner er at opfylde et behov for dagslys, men har også stor indflydelse på energiforbruget. Herudover er glas et symbol på magt og prestige, hvorfor facaden bliver et symbol på brugeren. Vinduer er gået fra at have større årligt varmetab end varmetilførsel, til nu at have en større varmetilførsel end varmetab. Dette skaber, sammen med det øgede glasareal, et større kølebehov. Udover at vinduer lukker meget sollys ind er de også dårligere isolerende end den resterende klimaskærm, som dermed skaber de et større varmebehov.

Denne nye problemstilling har gjort projekteringen af bygninger væsentlig vigtigere og mere kompleks, hvorfor der kræves nye og innovative løsninger både med hensyn til facadeudformning, men også i forhold til sammenspil mellem mikroklimaet og bygningen. Dette kræver et større samarbejde mellem arkitekter og ingeniører.

Når en avanceret facade projekteres, bør denne kunne tilgodese et acceptabelt indeklima, beskytte mod støjgener, fremme gode daglysforhold og minimere energiforbruget til både opvarmning og køling. Dette kan ske på mange måder, hvor der tages højde for mere eller mindre alle punkter. Der kan ændres på vinduestypen, som kan mindske varmebehovet, med risiko for at øge kølebehovet og skabe lysgener med skær fra solen.

En måde at kunne varetage alle punkter, er ved at skabe en intelligent facade. Den intelligente facade, er en facade som kan ændre funktion og justere materialeparametre, ved styring efter behov i bygningen og måske endda lære af skiftende omgivelser og herved forudse fremtiden for at efterkomme brugerens behov. Denne evne til at skifte karakteristika kan omsættes til hvad Darwin udtalte, altså at overlevelse afhænger af evnen til at tilpasse sig et skiftende miljø [Wigginton og Harris, 2004]. Dette er præcis ideen med en intelligent facade, nemlig at udnytte facaden til at nedbringe energifforbrug og forbedre indeklimaet, på baggrund af tilpasning til mikroklimaet.

En intelligent facade, har et element som kan justeres efter forholdene omkring eller i bygningen. Dette element kan eksempelvis være åbningen af vinduer i en såkaldt Double

Skin Facade, for at kunne sænke tilførslen af uønsket solenergi før den når ind i rummene, uden indflydelse på dagslystilførslen. Et eksempel af to muligheder ved en Double Skin Facade kan ses af figur 1.1.



*Figur 1.1.* Eksempel på hvordan en Double Skin Façade kan fungere. [Sinclair, Phillips og Mezhibovski, 2009]

Figur 1.1 viser muligheden af at kunne få frisk luft ind i bygningen efter at den er blevet opvarmet i hulrummet og ligeledes muligheden for at udskifte luften i hulrummet og herved køle rummet.

En anden type intelligent facade, er en dynamisk facade. Det dynamiske i facaden kan være bevægelige dele, der kan benyttes som solafskærmning eller ekstra isolering af vinduerne. Det kan også være vinduer med Phase Changing Material (PCM), som vil ændre gennemsigtigheden af vinduet, når der er for meget solstråling.

Det smarte ved en dynamisk facade med bevægelige dele er, at facaden kan designes så den kan justeres efter forholdene, hvilket kan have positiv indvirkning på både energi og indeklima. Ved at anvende en dynamisk facade med bevægelige dele, gives mulighed for i at justere facadens materialeparametre. Et eksempel herpå kan være en dynaminsk facade med mulighed for at ændre vinduets materialeparametre ved at kører en skodde for vinduet. Derved kan anvendes et vindue med højere solvarmetransmittans så der i perioder med høj solintensitet, kan udnyttes den gratis tilførelse af energi, mens der i perioder med varmetab tilføres ekstra isoleringsevne ved forbedring af transmissionstabet.

#### 1.1 EnergyFrames

EnergyFrames er et dynamisk facade koncept, som netop bygger på at kunne justere energibalancen over vinduer på baggrund af tilføre vinduer en bevægelig ramme, som kan være isolerende, solafskærmende eller en kombination heraf.

#### 1.1.1 Baggrund

EnergyFrames er et projekt skabt af idéen om at skabe: "Et industrielt, kommercielt dynamisk facade og vinduesafskærmningssystem, som kan reducere energiforbruget i bygninger både i Danmark og internationalt. Det skal hjælpe med til at få både nye og eksisterende bygninger til at møde de meget skrappere energi- og miljøkrav i de nye bygningsreglementer og certificeringer" [Stegger, 2011]. Partnerne bag projektet er:

- Art Andersen
- Inwido
- Statens Byggeforsknings Institut
- Juul Architects
- Elcanic

Baggrunden for projektet er, at der nationalt og internationalt stadig bliver strengere og strengere krav til energiforbruget i bygninger. Dermed er der skabt et behov for, enten at kunne producere energi for at holde det samlede energiforbrug nede, eller at øge klimaskærmens energieffektivitet ved at udnytte mikroklimaet omkring bygningen til gavn for bygningens energiforbrug og indeklima. [Stegger, 2011]

#### 1.1.2 Produktet

EnergyFrames er en dynamisk rammeløsning, som kan køres for vinduet, og være solafskærmende, isolerende eller en kombination heraf. Disse rammer kan trækkes for vinduet og have en gunstig indvirkning på bygningens energiforbrug. Dette kan eksempelvis ske ved, at kører en isolerende ramme for vinduet om natten, og herved øge isolansen i perioder, hvor der i bygningen er et behov for opvarmning. Ligeledes kan en solafskærmende ramme køres for i perioder, hvor solindstrålingen vil medføre et kølebehov. På baggrund heraf, er det med EnergyFrames muligt at reducere bygningers energiforbrug.

EnergyFrames er konstrueret til at kunne monteres på vinduesrammen, og kan dermed monteres på stort set alle typer vinduer. Da produktet er anvendeligt på alle typer bygninger, er det essentielt, at have flere varianter af EnergyFrames, som kan opfylde forskellige bygningers behov. Forskellige løsningstyper kan ses af figur 1.2.



Figur 1.2. Tre skitser af hvordan EnergyFrames ser ud. Til venstre er en løsning med en transparent plade, i midten er en persienneløsning og til højre er en tekstilløsning. [Stegger, 2011]

Af figur 1.2 ses tre forskellige løsninger. Fælles for alle løsningerne er, at der er et stort

udvalg af farver og de bygger på at kunne udnytte solens energi når det er til gavn for bygningen og dens brugere, og afskærme energien fra solen når denne er til gene. Den første løsning til venstre på figuren er en pladeløsning, hvor pladen både kan være translucent eller helt uigennemsigtig. Udover at være solafskærmende er den også isolerende.

Persienneløsningen, i midten, kan fås i forskellige materialer og farver, ligeledes for at kunne give forskellige udtryk ved forskellige bygninger. Ved denne løsning, frem for tekstilløsningen, fås der større variation af solafskærmningsfaktoren.

Tekstilløsningen, til højre, kan som sagt fås i mange forskellige farver og materialetæthed. Dermed kan der skabe forskellige arkitektoniske udtryk og medføre mere eller mindre solafskærmning.

#### 1.1.2.1 Tekstildug

Denne løsning er opbygget af en ramme hvor en perforeret tekstildug er påspændt. Dugen består af polyester/PVC, som kan produceres i forskellige farver. Ligeledes kan andelen af perforering varieres, så det samlede åbningsareal kan udgøre 0-60 % af overfladen, hvilket har stor indvirkning på andelen af solstråling og luft, som lukkes igennem dugen. Billedeksempler på anvendelse af tekstildugen kan ses af figur 1.3.







(b) Farvebrug af dugen

Figur 1.3. Eksempel på forskellig brug af tekstildugen. [Serge Ferrari, 2014]

Figur 1.3 viser forskellige muligheder med tekstildugen. I dette projekt benyttes den som solafskærmning, men som billederne indikerer, kan dugen fås i forskellige farver og med forskellige symboler påtrykt. Derfor kan tekstildugen, samtidig med at have en positiv effekt på energiforbruget og indeklimaet i bygningen, også give bygningen et ønsket arkitektonisk udtryk.

Tekstildugens formål er at afskærme for solen, og dermed kunne skabe et godt komfortniveau i forhold til sollys samtidig med at begrænse kølebehovet. Tekstildugen forventes ikke at have indvirkning på vinduers transmissionstab, ligesom den heller ikke forventes at påvirke vinduets tæthed, da dugen er perforeret og dermed ikke er lufttæt.

Løsningen fungerer som en on/off-løsning som enten afskærmer eller er kørt fra. Der vil ikke være mulighed for løbende justering af afskærmningsfaktoren, som der eksempelvis vil være ved en justerbar persienneløsning. Dog vil brugeren kunne justere dugen, så den eksempelvis kører for halvdelen af vinduet, hvis der er brug for at afskærme for den direkte solstråling. Dog vil dette være begrænset af hvilken side dugen har sin "holdeplads" når

den er kørt fra, da det er fra denne side der kan lukkes stykvis for.

#### 1.1.2.2 Persienneløsning

Persienneløsningen består af en ramme hvori lameller er monteret horisontalt. Løsningen giver mulighed for at justere effektiviteten af solafskærmningen ved rotation af lamellerne, så løsningen er tilpasset solens position og ønskede forhold i rummet. Samtidigt kan hele rammen også køres fra vinduet for at give fuldt sollys. Lamellerne er udformet af aluminiumsprofiler med en tætning, hvilket medvirker til at persiennen kan afskærme al sollys. Billeder af persienneløsningen kan ses af figur 1.4.



(b) Lamel med tætning (

(c) Composit lamel

Figur 1.4. Forskellige muligheder for lamelløsning. [Stegger, 2011; Steffensen, 2014]

Figur 1.4 viser, at der ligesom ved tekstildugen, kan fås forskellige farver og dermed kan der ændres på udseendet af bygningen. Figuren viser også forskellige løsninger til hvordan lamellen gøres bevægelig.

Ligesom tekstildugen forventes denne løsning ikke at have indvirkning på vinduets transmissionskefficient og tæthed, men primært at påvirke vinduets solvarme- og lystransmittans, ellers er det transmission gennem vinduet. Fordelen ved denne løsning, sammenlignet med tekstildugen, er at denne giver mulighed for justering af afskærmningsgraden.

#### 1.1.2.3 Pladeløsning

(a) Aluminiums lamel

Denne løsning er opbygget af en ramme hvori der monteres en plade af hærdet glas, metal eller polycarbonat. Pladens tykkelse kan variere fra 6 - 30 mm og bag denne er der mulighed for at tilføje forskellige isolerende materialer. [Steffensen, 2014]

Løsningen giver altså stor mulighed for at specialdesigne det endelige produkt, som dog har en vægtbegrænsning på 60 kg. Formålet med denne løsning er at kunne ændre transmissionskoefficienten og solvarmetransmittansen af vinduet. Eksempler på denne løsning kan ses af figur 1.5 på næste side.



Figur 1.5. Eksempler på plader, som kan anvendes i denne løsning. [Sabic Innovative Plastics, 2014c]

Figur 1.5 viser muligheden for at få pladeløsningen i forskellige farver. Pladen kan ligeledes fås med anderledes opbygning og struktur af overfladen, for at give både anderledes solafskærmning, men også et andet udtryk af bygningen.

En af de plader som kan anvendes er en Lexan\* multi-wall fra [Sabic Innovative Plastics, 2014b], hvilket er en polycarbonat-plade som fås opbygget af forskellige strukturer, med forskellige materiale<br/>egenskaber til følge. Pladetykkelsen varierer mellem 4-50 mm og er opbygget af 2-9 parallelle plader, som holdes sammen af forskellige strukturer. Pladerne fås med en transmissionskoefficient på 0,99-3,96 W/m<sup>2</sup>K, en solvarmetransmittans på 52-83 % og en lystransmittans på 50-83 % for en klar plade.

Disse parametre kan dog alle sænkes yderligere ved at tilføje et isolerende og/eller uigennemsigtigt materiale bag denne plade, og på denne måde ændre materialeparametrene for det samlede produkt. Ud over dette er det ligeledes, for dette produkt, muligt at producere pladen i forskellige farver, hvilket er med til at give slutproduktet forskellige udtryk og ændre på lysforholdene i bygningen.

I forhold til de to andre løsninger, giver denne løsning større mulighed for at specialdesigne løsningen til lige netop den situation, hvori produktet skal anvendes. Løsningen giver samtidigt mulighed for at tilføre en ændring af transmissionskoefficienten, som forventes påvirket, ved anvendelse af de andre løsninger. Denne løsning er, ligesom det er tilfældet for tekstildugen, en on/off-løsning som ikke giver mulighed for løbende justering, som det ses ved persiennen.

#### 1.1.3 Styringsstrategi og brugerkontrol for systemet

Da produktet ikke er færdigudviklet, er der ikke lavet nogen egentlig styringsstrategi endnu. Styringen foregår ved, at der opsættes en trykknap ved hvert vindue hvor EnergyFrames er monteret og herfra kan brugeren køre rammen for eller fra vinduet manuelt.

Idéen med styringen er, at lave den automatisk med intelligent styring, som skal minimere energiforbruget og samtidigt sikre optimalt indeklima og komfort i brugstiden. Det er tiltænkt at alt brugerstyring af EnergyFrames skal kunne ske fra en app på en smartphone, som vist på figur 1.6 på næste side. [Stegger, 2011]



Figur 1.6. Skitse af app'en til brugerstyring af EnergyFrames. [Stegger, 2011]

Den automatiske styring af EnergyFrames er tiltænkt at skulle begrænse varmetabet og optimere energitilførslen, når der haves et varmebehov, og samtidigt reducere energitilførslen og øge energitabet i perioder med kølebehov, og på den baggrund reducere energiforbruget. Dette gøres ved at der lukkes når der er for meget sollys og åbnes når sollyset kan udnyttes og at der natisoleres når vinduerne alligevel ikke benyttes, og der ikke vil kunne drages fordel af et energitilskud fra omgivelserne.

EnergyFrames forventes ligeledes have en støjreducerende effekt og dermed kunne en eventuel styring også regulere efter støjniveau, altså for at skabe øget komfort for brugeren. [Stegger, 2011] Da EnergyFrames er en lukket ramme der kører for vinduet, forventes det også at produktet vil kunne benyttes som en form for indbrudssikring.

Da produktet vil påvirke flere parametre, vil det i udviklingen af styringen være nødvendigt at opstille en prioritering af produktets primære formål, da disse parametre, ikke altid vil have ens påvirkning af en justering, derfor vil der i perioder kunne opstå modsatrettet effekt at styringen.

#### 1.2 Projektformulering

Formålet med dette projekt er at klarlægge EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug. Dette gøres på baggrund af:

- Karakterisering af EnergyFrames indvirkning på vinduers materialeparametre
  - Transmissionskoefficient
  - Solvarmetransmittans
- Karakterisering af EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug
  - Ved måling af udvalgt casehus
  - Ved undersøgelse af styringsstrategier

#### 1.3 Projektafgrænsning

Undersøgelsen af EnergyFrames skal danne grundlag for at definere effekten af produktet. Projektet afgrænses til, kun at omhandle EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug, hvorfor indflydelsen på indeklimaet i bygninger ikke vil blive belyst.

I første del undersøges materialeparametrene af EnergyFrames på baggrund af eksperimentelle forsøg. Forsøgene begrænses til at omhandle EnergyFrames med tekstildug og plade, mens det fravælges at undersøge persienneløsningen. Pladeløsningen undersøges for en transparent isolerende plade. Effekten af materialeparametrene undersøges yderligere ved at efterisolere pladeløsningen, hvorved isolansen øges og transmittansen fjernes. Undersøgelsen sker ud fra tre testvinduer med varierede materialeparametre. Dette skal danne grundlag for at analysere effekten for forskellige typer vinduer. Forsøgsresultaterne sammenholdes med beregninger af transmissionkoefficienten og solvarmetransmittansen for at eftervise beregningsmetoden.

Anden del omhandler måling af forbedringpotentialet ved anvendelse af EnergyFrames i praksis. Dette sker på et udvalgt enfamiliehus som renoveres med EnergyFrames. For at bestemme effekten af EnergyFrames, skal bygningen karaktiseres med og uden EnergyFrames. Målingerne for perioden med EnergyFrames sker udelukkende på baggrund af EnergyFrames med en transparent plade, mens styring udelukkende sker ud fra brugerkontrol. For at skabe grundlag for sammeligning af målingerne, måles mikroklimaet, mens der i bygningen måles energiforbrug, lufttemperatur, CO<sub>2</sub>-niveau, relativ luftfugtighed og anvendelse af EnergyFrames. Da måleperioden er meget kort til to målinger af bygningen, vælges det at benytte dataet til at opbygge en model af bygningen i BSim, som dermed kan regne på årsbasis. På baggrund af målingerne af bygningen, kalibreres modellen til at kunne simulere de målte forhold. Herved skabes en model som kan afspejle virkeligheden. Modellen udvides til at beregne for DRY og dermed beregnes effekten af EnergyFrames på årsbasis, hvorved der ligeledes skabes sammenlignelige data for bygningen.

I tredje del fokuseres på effekten af EnergyFrames på en casebygning, hvor materialeparametrene varieres, for at indikere forskellige byggeperioder. Dette gøres da EnergyFrames er skabt til, at kunne benyttes ved nybyggeri såvel som renovering. Det vælges at fastlægge indvirkningen på energiforbruget udelukkende på baggrund af en model af et etagebyggeri. Der opstilles 11 forskellige facadeelementer som definerer bygninger opført fra 1850 og frem til nutiden. Disse bygninger benyttes sammen med forskellige styringsstrategier. For at gøre modellerne sammenlignelige, fastlægges ens bygningsdata hvorfor der, foruden anvendt EnergyFrames, styringstrategi og vejrforhold, udelukkende vil forekomme variation af bygningsfacadens materialeparametre.

# Konklusion 2

For at validere målingerne foretaget i hotbox, er transmissionskoefficienten for de tre testvinduer fastlagt. Dette gøres da transmissionskoefficienten kendes for disse vinduer og dermed skal måleresultatet være det samme. På baggrund af undersøgelsen af de tre testvinduer, er der oplevet mindre divergens mellem målte og opgivet transmissionskoefficienter. Grunden til dette er måleusikkerhed på udstyret benyttet og resultaterne af kalibrering, som har vist mindre stabile forhold. Det er dog valgt at betegne resultaterne som troværdige.

Ud fra forsøgene af vinduer med EnergyFrames med tekstildug, er det eftervist, at denne løsning ikke har indflydelse på den samlede transmissionskoefficient. For de to pladeløsninger er der dokumenteret at der vil vil forekomme en reduktion af at transmissionskoefficienten. Reduktionen vil være størst ved vinduer med høj transmissionskoefficient. Ud fra resultaterne er det set, at den procentvise effekt af EnergyFrames er faldende med vinduets transmissionskoefficient. Måleresultaterne har vist en reduktion på 20-40 % for den transparente plade og for den efterisolerede er reduktionen 30-55 %.

På baggrund af beregning af den samlede transmissionskoefficient for vinduer med EnergyFrames, er det fastlagt at en simpel beregning af forbedringen vil være for optimistisk. Ved beregning af den samlede transmissionskoefficient har den simple beregning vist en forbedring som vil være op mod dobbelt så stor som den aktuelle, især ved vinduer med lav transmissionskoefficient. Dette er fordi der ikke er taget højde for effekten af rammen, som er lavet af aluminium og er uisoleret. Ved beregning hvor der tages højde for dette som et linjetab, er der fundet frem til en god sammenhæng mellem målt og beregnet reduktion af transmissionskoefficienten.

På baggrund af beregningerne kan det ses, at en forbedring af rammen vil kunne forbedre det samlede produkt. Dette kunne gøres ved både at isolere rammen og tætne samlingen mellem ramme og plade.

Ligesom ved målingerne af transmissionskoefficient, er testvinduerne benyttet til at validere troværdigheden af målingerne for solvarmetransmittans. Dette antages at være acceptabelt i forhold til måleusikkerheden.

Undersøgelsen af EnergyFrames indflydelse på vinduers solvarmetransmittans, har vist en meget lille målt effekt af løsningerne. Beregningen af solvarmetransmittansen viser, at den samlede solvarmetransmittans vil være 65 % lavere end vinduets, ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug. Ved anvendelse af EnergyFrames med transparent plade viser beregningen, at effekten heraf er noget mindre, men at solvarmetransmittansen dog sænkes med 28-30 %. På baggrund af dette er det valgt, ikke at stole på resultaterne fra målingerne.

Ud fra målingerne på enfamiliehuset, der er valgt som testcase af EnergyFrames, har der

ikke kunnet eftervises en effekt af anvendelse af EnergyFrames. Dette er på baggrund af at undersøgelsen med og uden EnergyFrames, er udført på forskellige tidspunkter og dermed på baggrund af forskellige vejrforhold. Dette gør at resultaterne ikke er sammenlignlige. For at kunne bestemme effekten er der derfor lavet beregnigner i BSim på årsbasis. Ud fra beregningerne i BSim, har der heller ikke kunne ses en tydelig effekt af EnergyFrames. Effekten af EnergyFrames i beregningerne har givet en forbedring af energiforbruget på cirka 0,6 % af varmeforbruget. Grunden til at effekten er så lav er, at ændringen der er sket på bygningen kun står for cirka 3 % af den samlede klimaskærm. Resultaterne viser at EnergyFrames har en effekt, men at for at opnå en større effekt, bør ændres påen større del af klimaskærmen. Alternativt skal der udelukkende ses på forbedringen der opnås på rummene, hvor EnergyFrames benyttes.

Simuleringerne af casebygningen, har vist at EnergyFrames med tekstildug, primært bør anvendes på sydvendte facader. Styringen skal være baseret på hvornår der opleves et kølebehov, og aktivering i perioder med varmebehov, vil have negativ indvirkning på energiforbruget.

Det er eftervist at EnergyFrames med transparent plade, vil have en positiv indvirkning på energiforbruget, hvor af størrelsen afhænger af bygningens materialeparametre og styringsstrategi. Løsningen vil både kunne medføre positiv indvirkning på varme- og kølebehovet for bygningen.

Effekten af den efterisolerede pladeløsning, er dokumenteret at være meget afhængig af styringsstrategien, samt at denne løsning primært vil medføre positiv effekt i perioder hvor solen ikke er tilstede. Dette skal ses på baggrund af at løsningens solvarmetransmittans medfører, at alle tilskud fra solen afskærmes ved aktivering.

### Del I

### Karakterisering af EnergyFrames indvirkning på vinduers materialeparametre



I denne del foretages en eksperimentel karakterisering af EnergyFrames indvirkning på vinduers materialeparametre. Dette gøres på baggrund af en hotbox undersøgelse hvorved indflydelsen på vinduers transmissionskoefficient og solvarmetransmittans fastlægges. Undersøgelsen udføres med baggrund i [ISO/FDIS 12567, 1999] og [NFRC 201, 2001] som er gennemgået i bilag B og D. Undersøgelsen udføres for flere vinduer for at kunne validerer effekten af EnergyFrames i kombination med vinduer med forsellige materialeparametre.

Efterfølgende beregnes indflydelsen på baggrund af [DS 418, 2011] og [DS 13363, 2007]. På baggrund af disse, ønskes det at kunne beregne effekten af EnergyFrames for alle vinduer.

## Eksperimentelt setup af hotbox 3

Bestemmelsen af transmissionkoefficient og solvarmetransmittans udføres som et hotbox eksperiment, på baggrund af standarderne [ISO/FDIS 12567, 1999] og [NFRC 201, 2001] beskrevet i bilag B og D. I dette kapitel gennemgås det eksperimentelle setup, der danner grundlag for udførelsen af forsøget. Kalibrering af måleudstyr er beskrevet i bilag F.

#### 3.1 Anvendt hotbox

Til undersøgelsen af EnergyFrames anvendes en kalibreret hotbox. En beskrivelse af princippet for en hotbox, samt virkemåden for forskellige hotbox typer, er beskrevet i bilag E. Hotboxen er modificeret så den, udover at kunne anvendes til måling af transmissionskoefficient, U, også kan anvendes til måling af solvarmetransmittans, g.

Den er modificeret, ved at endevæggen af klimazonen, er udskiftet med et vindue, som muliggør påvirkning af testvinduet med naturlig eller kunstig solstråling. Udover modificeringen af klimazonens endevæg, er begge zoner forsynet med både varmeog køleanlæg. Målezonen er forsynet med et vandbaseret køleanlæg og et el baseret varmeanlæg, begge med ventilation. I klimazonen er ligeledes placeret et vandbaseret køleanlæg med ventilator og derudover er placeret en el radiator. En principskitse at denne hotbox kan ses af figur 3.1.



Figur 3.1. 2D principskite af anvendt beskyttet hotbox med kunstig sol.

Som det kan ses af figur 3.1, er klimazonen højere end målezonen. Hotboxen er konstrueret sådan for at kunne placere varme- og køleanlæg uden at disse vil kunne skabe skyggegener for solens påvirkning af testelementet. Billeder af hotboxen kan ses af figur 3.2 på den følgende side.



Figur 3.2. Hotbox anvendt til undersøgelse af transmissionskoefficient og solvarmetransmittans.

Til undersøgelsen anvendes en kunstig sol, for ikke at være afhængig af tilstedeværelsen af mængden af naturligt sollys. Ligeledes fordrer klimazonens dybde, stråling vinkelret på testelementets overflade, for at hindre skyggegener på dele af elementet.

#### 3.2 Testelement

Testelementet opdeler den samlede hotbox i en måle- og en klimazone. Det er valgt at flytte testelementet ind i målezonen, som angivet af figur 3.3.



Figur 3.3. 2D principskitse af en beskyttet hotbox med indvendigt monteret testelement.

Testelementet er et vindue med EnergyFrames. På baggrund af anbefaling i [ISO/FDIS 12567, 1999] anvendes et vindue af størrelsen 1480x1230 mm.

#### 3.2.1 Vinduer

EnergyFrames er som udgangspunkt tiltænkt både at kunne anvendes ved nybyggeri og renoveringsopgaver. Til bestemmelsen af effekten af de valgte EnergyFrames indvirkning på vinduers materialeparametre, er det valgt at anvende flere forskellige vinduer. Dette gøres for at klarlægge indflydelsen af EnergyFrames på forskellige vinduer, med forskellige U- og g-værdier, og dermed give et indblik i effekten ved brug af EnergyFrames ved nybyggeri og renovering.

Til udførelsen af disse undersøgelser, er der valgt tre vinduer af størrelsen 1480x1230 mm. Vinduerne er opbygget med identiske karme, som er en 50x114 mm karm med en

hvid overfladebehandling, med en glasandel på 85,7 %. Vinduerne er opbygget med tre forskellige ruder, en tolags termorude og en to- og en trelags energirude. Vinduerne med materialeparametre er vist af tabel 3.1.

			Ene	rgi	Termo
The last	Vinduesnummer	[-]	1	2	3
	Antal lag	[-]	2	2	3
	Transmissions- koefficient, $U_w$	$[W/m^2K]$	2,71	1,26	0,90
	Solvarmetrans- mittans, $g_q$	[%]	80	63	50
	Lystransmittans, $LT$	[%]	83	80	71
	Energibalance, $E_{ref}$	$[kWh/m^2]$	-110,1	-7,9	$^{3,2}$

**Tabel 3.1.** Billede af og materialeparametre for testvinduer. [kpk Døre og vinduer, 2014a; kpk Døre og vinduer, 2014b; kpk Døre og vinduer, 2014c]

Divergens i transmissionskoefficient og solvarmetransmittans, medfører at vinduernes energibalance over året,  $E_{ref}$ , har stor variation for de tre vinduer. Derfor anses disse vinduer som repræsentative for de mest gængse vinduestyper både i nybyggeri og renovering.

#### 3.2.2 Det omsluttende panel

I bilag B beskrives at testelementet er placeret i et omsluttende panel, som angivet af figur B.1 på side 134. Af figuren kan det ses at testvinduet anbefales placeret i midten af det omsluttende panel, hvilket skal have en dybde på mindst 100 mm eller karmens dybde og maksimalt være 200 mm dybere end karmen. Den vertikale overflade af karmen skal flugte med den vertikale overflade af det omsluttende panel på den varme side. Materialet der anvendes til det omsluttende panel må maksimalt have en varmeledningsevne,  $\lambda$ , på 0,04 W/mK. Samtidigt er det anbefalet at panelet bør have en højde og bredde på mindst 200 mm til afgrænsningen af måleområdet.

Åbningen i målezonen er 1500x1500 mm mens vinduerne måler 1480x1230 mm. Forskellen på disse to dækkes af det omsluttende panel med et areal på 0,43 m<sup>2</sup>. Ved central placering af vinduet fås en åbning på 10 mm i top og bund og 135 mm i hver side.

Der er arbejdet med forskellige løsninger for konstruering af det omsluttende panel og princippet for tre løsningsforslag til siderne, er illustreret af figur 3.4 på den følgende side. Løsningsforslagene er identiske uanset om der ses på siderne eller bund og top. Løsningerne kan frit kombineres så det er en type i siderne og en anden i bund og top.



Figur 3.4. Tre mulige løsninger på konstruktion af det omsluttende panels sider. Den røde stiplede linje angiver hvor panel og testelement skilles fra hinanden.

Løsning 1 som er angivet af figur 3.4(a), er en løsning hvor der laves et panel til hvert testvindue, og panelet monteres fast på vinduet. Derved vil der skulle bygges tre paneler og dette vil medføre en risiko for en lille forskel på panelerne. Med en forskel i panelerne kan der være behov for kalibrering af hvert panel eller accept af en mulig forskel på de tre paneler. Alternativt skal panelet flyttes mellem de tre vinduer.

Løsning 2 set af figur 3.4(b) vil, i modsætning til løsning 1, muliggøre at samme panel fastmonteres i boksen, og at kun vinduet skiftes. For at fastholde vinduet, placeres beslag hen over hvert hjørne.

Løsning 3 vist på figur 3.4(c), bygger på et 20 mm smallere panel, hvilket muliggør at lave en todelt træramme rundt om vinduet. Denne løsning gør, at det ikke er nødvendigt, at placere udvendige beslag til at holde panel og vindue sammen. Derudover vil der ved denne løsning være mulighed for, at placere et tætningsbånd mellem de to trærammer, hvilket sikrer lufttæthed af denne løsning.

Ud fra samme principper som for siderne er ligeledes tre mulige løsninger på et omsluttende panel i top og bund, efter samme princip som for siderne. Da der kun er 10 mm de to steder, vil der her kun fokuseres på en træramme, uden isolering. Denne løsning overholder ikke kravet om en varmeledningsevne på 0,04 W/mK, men dette er besluttet som en acceptabel løsning, da målezonens åbning og vinduernes størrelse sætter begrænsningen.

Det er valgt at benytte løsning 3, da denne løsning gør at det ikke er nødvendigt at placere udvendige beslag til fastholdelse af vinduerne og ved at bruge denne løsning kan samlingen gøres helt tæt ved montering af tætningsbånd. Den konstruerede løsning kan ses af figur 3.5 på modstående side.



Figur 3.5. Konstrueret omsluttende panel monteret i hotbox.

Med monteringen af testvinduet i boksen kan de to zoner samles, og dermed er boksen opdelt i en måle- og klimazone.

#### 3.2.2.1 Overfladetemperaturdifferens

For at kunne fastlægge varmestrømmen gennem det omsluttende panel, skal overfladetemperaturdiffenrensen over det omsluttende bestemmes. Derfor skal overfladetemperaturen bestemmes for den indvendige overflade,  $\theta_{s,i,sur}$ , og udvendige overfladflade,  $\theta_{s,e,sur}$ . Af figur B.2 på side 135, er det angivet at der skal placeres otte termoelementer centralt på det omsluttende panel ind- og udvendigt.

Af [ISO/FDIS 12567, 1999, figur 5], er det dog angivet at der ved et panel med en bredde på mindre end 200 mm, vil der på den varme side kunne anvendes lufttemperatur i stedet for overfladetemperaturen. Af afsnit 3.2.1 på side 14 fremgår at dette er tilfældet. Derfor må det anvendes at den indvendige overfladetemperatur,  $\theta_{s,i,sur}$ , er lige den indvendige lufttemperatur,  $\theta_{c,i}$ . Det er dog valgt at måle overfladetemperaturen i de otte punkter centralt placeret på panelet, hvilket er angivet af figur 3.6. Placeringen er den samme både ind- og udvendigt.



*Figur 3.6.* Målepunkter og sensorer ind- og udvendigt. Målepunkterne på figur 3.6(c) er vist med mål på figur G.1 på bilag G.

Overfladetemperaturdifferensen af det omsluttende panel,  $\Delta \theta_{s,sur}$ , bestemmes som differensen af gennemsnitstemperaturen af de otte målepunkter ind- og udvendigt.

#### 3.2.2.2 Linjetabskoefficient

Linjetabskoefficienten for det omsluttende panel,  $\Psi_{edge}$ , er beskrevet i afsnit B.1.1.3 på side 137. Denne faktor fastlægges af tabel C.1 på side 139. Ud fra tabellen ses det at karmens dybde, w, som er 114 mm og falsdybden, d, som er 0 mm, ikke er indeholdt i tabellen. Af tabellen er linjetabskoefficienten ikke angivet for mindre end 40 mm falsdybde. Ved lineær ekstrapolation, vil koefficienten blive omkring 0, og derfor vælges denne værdi. Det linjetab der vil kunne opstå, vil i stedet medregnes i varmestrømmen gennem det omsluttende panel,  $\Phi_{sur}$ , som bestemmes ved kalibrering.

#### 3.2.3 EnergyFrames

Det er valgt undersøge EnergyFrames med tekstildug og transparent og efterisoleret plade. Produktet er beskrevet i afsnit 1.1.2 på side 3.Til undersøgelsen anvendes et standard størrelse vindue som måler 1480x1230 mm [ISO/FDIS 12567, 1999]. Derfor anvendes EnergyFrames der passer hertil.

#### 3.2.3.1 Tekstilløsning

Det er valgt at undersøge tekstilløsningen, som er beskrevet i afsnit 1.1.2.1 på side 4. Tekstilløsningen som er anvendt til undersøgelsen kan ses af figur 3.7.



(a) Tekstildugsløsning





(c) Hjørnesamling bagfra

Figur 3.7. Tekstilløsning til undersøgelse i hotbox.

Åbningsarealet for den anvendte dug er 30 % [Steffensen, 2014], og som det kan ses af billederne, så er der anvendt en hvid dug. Data for tekstildugen kan ses af tabel 3.2.

	Reference		371-790
	Farve	[-]	Hvid
	Vægt	$[g/m^2]$	440
	Porøsitet	[-]	$\pm 20\%$
	Transmission	[%]	30
	Refleksion	[%]	56
	Absorption	[%]	14
	Solvarmetransmittans	[%]	32
2 3 4	Temperaturområde	[°C]	-30/70

Tabel 3.2. Parametre for tekstildug i hvid og grå. [Stamisol, 2014]

Af tabellen er transmission, refleksion, absorption og solvarmetransmittans for anvendt tekstil angivet. Samtidigt er det angivet hvordan det vil forholde sig hvis den samme tekstil i grå anvendes, hvilket samlet vil medfører en lavere solvarmetransmittans.

#### 3.2.3.2 Transparent pladeløsning

(a) Transparent pladeframe

Det er ligeledes valgt at undersøge den transparente pladeløsning, som er beskrevet i afsnit 1.1.2.3 på side 5. Den EnergyFrames som er anvendt til undersøgelsen kan ses af figur 3.8.



(c) Hjørnesamling bagfra

Figur 3.8. Transparent pladeløsning til undersøgelse i hotbox.

(b) Hjørnesamling

Som omtalt i afsnit 1.1.2.3 på side 5, giver denne løsning mulighed for anvendelse af en lang række plader af forskellig opbygning, farve og tykkelse, hvilket giver mulighed for stor variation i løsningens materialeparametre. Pladen som anvendes til undersøgelsen, er en LT2UV206RS30 Clear og materialeparametre er angivet i tabel 3.3.



**Tabel 3.3.** Parametre for transparent plade type LT2UV206RS30 Clear. [Sabic Innovative Plastics, 2014b, side 11]

Pladen øger isolansen og vil reducere tilførslen af solenergi ved reduktion af solvarme- og lystransmittans.

#### 3.2.3.3 Efterisoleret pladeløsning

Den sidste løsning der undersøges, er den transparente pladeløsning, hvor der indvendigt i rammen placeres en 40 mm polystyren plade. Dette er illustreret af figur 1.1.2.3 på side 5.



Figur 3.9. Efterisoleret pladeløsning til undersøgelse i hotbox.

Ved at indsætte en polystyrenplade, ændres løsningen til ikke at være gennemsigtig og samtidigt tilføres ekstra isolans. Dog vil det fjerne tilskuddet af dagslys. Materialeparametrene af pladen kan ses af 3.4.

$\fbox{LT2UV206RS30 Clear + 40 mm polystyren}$					
Farve	[-]	$\mathrm{Klar}/\mathrm{Hvid}$			
Tykkelse	[mm]	60,0			
Vægt	$[\mathrm{kg}/\mathrm{m}^2]$	$\approx 3,0$			
Ribbeafstand	[mm]	20,0			
${\it Transmissionskoefficient}$	$[W/m^2K]$	Kendes ikke			
Lystransmittans	[%]	—			
Soltransmittans	[%]	—			

Tabel 3.4. Parametre for transparent plade type LT2UV206RS30 Clear som er ekstra isoleret.

Denne løsning er altså ikke en standard løsning, men en løsning udelukkende konstrueret for at undersøge hvor stor betydning en plade med større isolans, vil medfører på den samlede transmissionskoefficient af vindue og EnergyFrames.

#### 3.2.4 Montering af EnergyFrames

EnergyFrames skal monteres udvendigt på et vindue. Dette gøres ved at montere en ramme på vinduet, og fastgøre EnergyFrames derpå. Ved montering af EnergyFrames på en bygning, konstrueres en ramme, som giver mulighed for at EnergyFrames af en motor kan køres for og fra. Størrelsen af den anvendte hotbox giver dog ikke mulighed for dette, og derfor er kun monteret den del af rammen som muliggør, at EnergyFrames kan fastmonteres på vinduet. Denne ramme kan ses af figur 3.10 på modstående side.



Figur 3.10. Ramme til montering af EnergyFrames monteret på vindue.

For at fastholde EnergyFrames til denne ramme, er specialdesignet en træliste, som monteres i top og bund af rammen. Disse lister kan ses af figur 3.11.



(a) Træliste top

(b) Træliste bund

(c) Monteret EnergyFrames

Figur 3.11. Montering af EnergyFrame på vindue.

Figur 3.11(a) viser en træliste designet til at kunne gå ind i rammen på vinduet, og fastholde EnergyFrames på vinduet. I bunden er monteret en liste, som har til hensigt at holde korrekt afstand mellem ramme og EnergyFrames.

#### 3.3 Hotbox målezone

Den røde boks som anvendes til målezone, er opbygget af 300 mm polystyren med lav varmeledningsevne, som skal begrænse varmestrømmen mellem målezone og omgivelser. Dette er omsluttet af en skal af krydsfinerplader med en tykkelse på 12 mm, hvilket betyder at væggene har en samlet tykkelse på 324 mm. Boksen måler 2148x2148x1824 mm udvendigt og har et indvendigt rum med en åbning på 1500x1500 mm som vendes ind mod klimazonen, og har en indvendig dybde ligeledes på 1500 mm.

I målezonen placeres en baffel, som det er angivet af figur B.2 på side 135. Dette medfører at der vil forekomme to rum i målezonen, et bagrum bag baffen og et forrum mellem baffel og testelement. Boksen og en principskitse af den indvendige zoneopdeling kan ses af figur 3.12 på den følgende side.



Figur 3.12. Målezone og placering af baffel.

#### 3.3.1 Varme- og kølesystem

Målezonen er udstyret med både et varme- og et køleanlæg, hvilket gør at boksen er i stand til at stabilisere, både ved temperaturer koldere og varmere end omgivelserne. Systemerne kan ses af figur 3.13.



(a) Udvendig blandesløjfe

(b) Indvendigt varme- og køleesystem

**Figur 3.13.** Varme- og kølesystem i målezonen. Varmesystemet er placeret nederst og kølesystemet øverst.

Varmesystemet er et ventilator med en elektrisk varmeflade. Det gør at systemet både er hurtigt reagerende og samtidigt også er med til at skabe en god opblanding i zonen, hvilket er essentielt ved disse forsøg. Varmefladen kan levere ca. 0,5 kW, mens der fra ventilatorer i varme- og køleanlæg og ventilator af forrum henover baffel og andet elektrisk udstyr i zonen, leverer ca. 0,2 kW. Den tilførte energi måles med en PEJ1606 elmåler, som udsender en puls for hver 0,5 Wh. Pulsen opsamles af et BTR S0/M4 pulsmodul med M-Bus kommunikation.

Kølesystemet fungerer med vand som medium. Af figur 3.13(b), kan fremløb og retur ses til venstre for køleanlægget. Slangerne går gennem målezonens væg til en blandesløjfe placeret udvendigt på boksen. Målingen af energi foretages med en Brunata HGQ

energimåler [Brunata, 2014], hvor energien bestemmes ved at en flowsensor via ultralyd måler flowet, og to PT100 temperaturfølere, placeret i henholdsvis fremløb og retur, måler temperaturdifferencen. Energien beregnes på baggrund af formel D.6 på side 144.

#### 3.3.2 Styring af zonens temperatur

I bagrummet af målezonen er placeret to PT100 sensorer, som anvendes til at styre temperaturen i zonen. Det er valgt at styre på baggrund af den operative temperatur,  $\theta_n$ , som er en vægtning af luft- og strålingstemperatur. Dette er valgt, da overfladen af følerne ikke er forsølvet og dermed vil måling af lufttemperaturen ikke kunne udføres korrekt. Den operative temperatur måles ved at isolere det meste af føleren med polystyren og placere toppen hvor sensoren i en bordtennisbold med huller, så der kan være udskiftning af luften. Både polystyren og bordtennisbold er malet grå. De to sensorer kan ses af figur 3.14.



Figur 3.14. Temperatursensorer til måling af operativ temperatur i målezonen.

De to følere er placeret i samme højde i hver side af zonen. Dette er gjort for at kontrollere stabiliteten af temperaturen i zonen, som er afhængig af god opblanding.

For at kunne stabilisere temperaturen i zonen, er styringen af varme- og kølesystemet essentielt. Varmesystemet betegnes som et hurtigtvirkende system mens kølesystemet reagerer langsommere. Derfor er det valgt at systemet kører med konstant køling. Derved skal variation af det hurtigtvirkende varmesystem skabe balance mellem, køling, varmetab til omgivelser, varmetab gennem testelement og varmesystemet.

#### 3.3.3 Baffel med ventilation

Der placeres en baffel i målezonen og derved skabes to zoner i målezonen, som beskrevet af principskitsen vist affigur 3.12(b) på forrige side. For at stabilisere temperaturen i hele målezonen monteres en ventilator, som skal sørge for at skifte luften mellem for- og bagrum. I toppen af baflen placeres en ventilator som suger luften ud af forrummet og tilbage i bagrummet. Dette sug medfører at der i en spalte i bunden suges luft ind i forrummet fra bagrummet. Baflen med ventilationssystem kan ses af figur 3.15 på den følgende side.



(a) Ventilator

(b) Baffel med målepunkter

Figur 3.15. Samlet baffelsystem i målezonen.

I [ISO/FDIS 12567, 1999, afsnit A.3] er opstillet tre senarier for beregningen af middelstrålingstemperaturen fra baflen til vinduet,  $\theta_r$ . Den indvendige middelstrålingstemperatur,  $\theta_{r,i}$ , bestemmes ud fra en indvendig fals skabt af det omsluttende panel. Eftersom vindueskarm og det omsluttende panel har samme dybde kan strålingstemperaturen,  $\theta_{r,i}$ , sættes lig baffeltemperaturen,  $\theta_{b,i}$ , som er den gennemsnitlige overfladetemperatur af baflen. Denne temperatur bestemmes ved måling med termoelementer, og af figur B.2 på side 135 er der angivet ni punkter som bør anvendes, hvilket dog i denne situation er begrænset til seks. Overfladen opdeles i 2x3 felter og temperaturføleren placeres centralt i hvert felt. Dette kan ses af figur 3.15(b).

#### 3.3.4 Måling af lufttemperatur i målezonen

Lufttemperaturen i målezonen skal fastlægges, og af [ISO/FDIS 12567, 1999, afsnit 5.5] er det anbefalet at måle lufttemperaturen i ni punkter som ses af figur B.2 på side 135. Det er dog valgt at nøjes med tre punkter. Dette gøres på baggrund af at der i klimazonen ligeledes skal måles lufttemperatur, og at det her vil skabes skyggegener for den kunstige sol. Lufttemperaturen måles i tre højder, hvilket kan ses af figur 3.16.







(a) Lufttemperaturfølere

(b) Føler fra siden

(c) Føler nedefra

Figur 3.16. Følere til måling af lufttemperatur i målezonens forrum.

Lufttemperaturen måles af et termoelement placeret i et forsølvet, ventileret rør. Dette gøres for at termoelementet ikke påvirkes af stråling. Igennem røret suges luften for

at undgå at tilføre energi til luften fra ventilatoren. Lufttemperaturen bestemmes som gennemsnittet af de tre målinger.

#### 3.3.5 Dokumentation af lufthastighed i målezonen

Som beskrevet i bilag B, skal lufthastigheden holdes mindre end 0,3 m/s. For at dokumentere dette, er placeret et Dantec Flowmaster type 54N60 præcisionsanemometer i forrummet af målezonen. Lufthastigheden dokumenteres med en punktmåling, da ventilationen vil være konstant. Anemomenteret og resultat af måling kan ses af figur 3.17.



(a) Anemometer



(b) Målt lufthastighed angivet med blå, mens middel per minut er angivet med rød

Figur 3.17. Dokumentering af lufthastighed i forrummet.

Som det ses af figur 3.17(b), har lufthastigheden kun oversteget grænsen på 0,3 m/s i et enkelt punkt under kontrollen over fem timer, hvilket er fundet acceptabelt.

#### 3.3.6 Beregning af varmestrømmen gennem testelement

De to standarder, beskrevet i bilag B og D, bygger på samme princip, men divergerer i bestemmelsen af varmestrømmen gennem testelementet,  $q_{sp}$  og  $\Phi_{sp}$ . Princippet er det samme, at bestemme varmestrømmen ud fra en energibalance, men ved sammenligning af formlerne, henholdsvis formel B.7 på side 137 og formel D.3 på side 143, kan det ses at det i [ISO/FDIS 12567, 1999] bestemmes som en varmestrøm per arealenhed [W/m<sup>2</sup>] og i [NFRC 201, 2001] som en varmestrøm [W]. Derudover er der stor forskel i antallet af faktorer. Derfor fastlægges en metode som anvendes for begge standarder som er tilpasset hotboxens systemer. Målezonen er tidligere beskrevet at være udstyret med et varme- og et køleanlæg. Varmesystemet har elektrisk opvarmning mens kølingen foregår med vand som medium. Ud fra dette ændres formlerne B.7 på side 137 og D.3 på side 143, til formel 3.1.

$$\Phi_{sp} = \Phi_{el} - \Phi_{fluid} - \Phi_{walls} - \Phi_{sur} \tag{3.1}$$

Hvor:

$$\Phi_{sp}$$
Varmestrøm gennem testvindue [W] $\Phi_{el}$ Elektrisk energi tilført målezonen [W] $\Phi_{fluid}$ Energi fjernet med kølesystem [W] $\Phi_{walls}$ Varmestrøm til omgivelserne gennem målezonens vægge [W] $\Phi_{sur}$ Varmestrøm gennem det omsluttende panel [W]

Energien der tilføres via el i målezonen og den energi der fjernes via køleanlægget måles

af hotboxens styring, og er beskrevet i afsnit 3.3.1 på side 22. Outputtet fra styringen er energien tilført eller fjernet [W].

De resterende varmestrømme fastlægges ud fra kalibrering beskrevet i kapitel 4. For at kunne bestemme varmestrømmen til omgivelserne er der placeret en lufttemperatursensor udenfor målezonen. Denne sensor er opbygget på samme måde som de tre sensorer som er placeret i målezonen, beskrevet i afsnit 3.3.4 på side 24.

#### 3.4 Hotbox klimazone

Den blå boks som anvendes til klimazone, er ligeledes opbygget af 300 mm polystyren med lav varmeledningsevne og en skal af krydsfinerplader på 12 mm. Boksen måler 2838x2148x800 mm udvendigt og et indvendigt rum på 2190x1500x780 mm. Siden som vendes mod målezonen er dog begrænset af en plade som går 750 mm ned fra toppen af boksen, og derved er åbningen mod målezonen 1764x1500 mm. Rummet bag pladen anvendes til placering af varme- og køleanlæg.

I modsætning til målezonen, placeres der i denne zone ikke en baffel. Dette gøres ikke, da en baffel vil skygge for strålingen fra den kunstige sol. Til gengæld placeres en robot med et pyranometer, hvilket muliggør at måle solstrålingen på testelementets overflade. Klimazonen kan ses af figur 3.18.



Figur 3.18. Anvendt klimazone.

#### 3.4.1 Varme- og kølesystem

I klimazonen er placeret et varme- og et kølesystem, som muliggør både at tilføre og fjerne energi. I modsætning til i målezonen, skal energien som tilføres og fjernes ikke måles, da størrelsen heraf ikke er nødvendig for at opstille en energibalance for klimazonen. Varme- og kølesystemet er placeret i toppen af klimazonen, for ikke at skabe skyggegener for strålingen fra den kunstige sol. Systemerne kan ses af figur 3.19 på næste side.



(a) Udvendig kølesystem

(b) Varme- og kølesystem i klimazonen

Figur 3.19. Varme- og kølesystem placeret til klimazonen.

Som varmesystem er placeret en el-radiator med en effekt på 2 kW. Radiatoren er i modsætning til varmen i målezonen ikke kombineret med ventilation, og er derved afhængig af kølesystemets ventilation.

Kølesystemet til klimazonen er opbygget med et udvendigt køleanlæg som leverer kold kølevæske til en indvendig køleflade med ventilation. Kølesystemet er designet til at kunne fjerne den store effekt som kan tilføres med den kunstige sol.

#### 3.4.2 Styring af zonens temperatur

I klimazonen er placeret en temperatursensor hvorefter kølesystemet styres og to sensorer til måling af operativ temperatur i zonen, som varmen styres på baggrund af. De to operative temperatursensorer er lavet efter samme princip som til målezonen, beskrevet i afsnit 3.3.2 på side 23. Følerne og placeringen heraf kan ses af figur 3.20.



(a) Føler til køling



(b) Operativ temperatursensor bund



(c) Operativ temperatursensor top

Figur 3.20. Temperatursensorer til måling af operativ temperatur og styring af køling i klimazonen.

Temperatursensoren som kølesystemet styres efter, er placeret i den ene side af klimazonen, i en højde omkring midten af zonen. De to operative sensorer er placeret i hver side af zonen i top og bund af boksen. Dette er gjort for at kunne kontrollere stabiliteten af temperaturen i zonen, og for at finde det mest korrekte gennemsnit af den operative temperatur. Temperaturen i klimazonen er styret af to forskellige systemer. Kølingen er styret af en styring i anlægget som styrer efter temperaturføleren tilkoblet anlægget, vist af figur 3.20(a) på forrige side. I styringen i køleanlægget sættes en temperatur som styringen ved brug af køleanlægget skal holde i zonen. Varmesystemet styres af en styring på baggrund af gennemsnittet af de operative temperaturer målt i zonen.

#### 3.4.3 Baffel

I klimazonen placeres ikke en baffel, da denne vil skygge for den kunstige sol. I stedet er det valgt at anvende glasruden i endevæggen af boksen som baffel. Derfor måles overfladetemperaturen af denne ligeledes i seks punkter, hvilket er angivet af figur 3.21.



 $Figur\ 3.21.$ Målepunkter for overfladetemperatur af baffel i klimazonen.

Overfladetemperaturen måles med termoelementer, og da der ligesom i målezonen, ikke er en fals, anvendes baffeltemperaturen også her som strålingstemperatur.

#### 3.4.4 Måling af lufttemperatur i klimazonen

Måling af lufttemperaturen i klimazonen sker på baggrund af samme forudsætninger som i målezonen, beskrevet i afsnit 3.3.4 på side 24, hvor sensorerne kan ses af figur 3.16(b)-3.16(c) på side 24.

De tre lufttemperatursensorer i klimazonen er placeret i samme positioner som i målezonen. Sensorerne kan ses af figur 3.22.



Figur 3.22. Lufttemperatursensorer i klimazonen.

Gennemsnittet af temperaturen målt med de tre sensorer, anvendes som lufttemperatur i klimazonen.
# 3.4.5 Dokumentation af lufthastighed i klimazonen

Ligesom i målezonen, er der krav til lufthastigheden i klimazonen. I bilag B er det beskrevet at hastigheden i klimazonen mindst skal være mindst 1,5 m/s og justeres så  $R_{s,t} = R_{(s,t),st} \pm 0,01$ . I klimazonen er ventilationen dog et on/off system, og derfor er det ikke muligt at ændre hastigheden.

Hastigheden er dokumenteret med et Dantec Flowmaster type 54N60 præcisionsanemometer placeret centralt i klimazonen. Da lufthastigheden ikke kan justeres, er det valgt udelukkende at dokumentere denne med en punktmåling. Dette er gjort så der under undersøgelsen af solvarmetransmittans, ikke vil forekomme skyggegener grudnet dette udstyr. Placering af anemometret og resultat af målingen kan ses af figur 3.23.



(a) Anemometer



(b) Målt lufthastighed angivet med blå, mens middel per minut er angivet med rød

Figur 3.23. Dokumentering af lufthastighed i klimazonen.

Som det kan ses af figur 3.23, er lufthastigheden kun omkring 0,3 m/s i hele perioden, og er derfor meget lavere en de krævede 1,5 m/s. Det er dog valgt at accepterer dette da, det ikke er muligt at justere ventilationen i zonen.

# 3.4.6 Kunstig sol og måling af solintensitet

En kunstig sol anvendes til at kunne simulere den stråling som naturligt kommer fra solen. Den kunstige sol kan ses i figur 3.24.



(a) Kunstig sol forfra

(b) Monteret pære

(c) Kunstig sol

*Figur 3.24.* Den anvendte kunstige sol. Illustration med mål kan ses af figur H.1 på bilag H. Solen består at en perforeret plade, med en hulafstand på 50 mm i x- og y-retningen. Dette muliggør at rokere rundt på fatninger og derved skabe den mest optimale fordeling. En tegning med mål af denne plade kan ses af figur H.1 på side 159.

Men udover placeringen, har pæren i sig selv også stor indflydelse på strålingen. En pære er opbygget af en lyskilde der stråler, som er omsluttet af et glas. Glassets transmittans har stor indflydelse på hvor stor en del af strålingen der lukkes igennem, og lyskilden har indflydelse på hvilken strålingsfordeling der fremkommer. Dette er angivet for pærer af typen Osram Vitalux, som anvendes til forsøget af figur 3.25, hvor det ligeledes er angivet hvordan spektralfordelingen af naturligt sollys.



(a) Spektralfordelingen af naturligt sollys [Københavns Universitet, 2014]



(c) Osram vitalux forhold af solens spektralfordeling [Osram, 2010]



(b) Spektralfordeling af Osram Vitalux pærer [Osram, 2008]



(d) Transmittans af forskellige typer pæreglas (Ultra Vitalux anvendes) [Osram, 2007]

Figur 3.25. Sammenligning af naturligt og kunstigt sollys ved brug af Osram Vitalux.

Som det kan ses af figur 3.25, vil der forekomme divergens mellem naturligt og kunstigt lys ved brug af Osram Vitalux pærer. Denne divergens er nød til at blive accepteret, da det er vurderet ikke at være muligt at anvende naturligt lys.

Udover divergensen mellem naturligt og kunstigt lys, vil pæren påvirkes af brændetiden, og strålingen ændres med tiden. Dette er illustreret af tabel 3.5.

Brændetid		[h]	1	500	1000
Strålingsstyrke		[lx]	14.400	13.700	10.800
UVB	(280-315  nm)	$[W/m^2]$	$^{3,0}$	$1,\!8$	$^{1,1}$
UVA	(315-400  nm)	$[W/m^2]$	$13,\!6$	$11,\!0$	$7,\!3$
Synligt	(400-780 nm)	$[W/m^2]$	$41,\!4$	39,0	29,7
Strålingsvinkel		[°]	30	30	30

Tabel 3.5. Parametre for Osram Vitalux, ved en afstand på 500 mm. [Osram, 2008; Osram, 2010]

Den sidste parameter der påvirker strålingsstyrken af den kunstige sol, er effekten af strømforsyningen, som vil varierer med tiden.

For at kunne fastlægge strålingsstyrken på testelementets overflade, er monteret en robot i klimazonen, hvorpå et Zonen & Kipp CMP 11 pyranometer er monteret. Robotten kan ses af figur 3.26.



(a) Robot med pyranometer

(b) Måleområde

Figur 3.26. Pyranometer på robot i klimazonen med angivelse af måleområde.

Robotten kan flyttes i et kartesisk koordinatsystem, og kan varieres op til 1130 mm i x-retningen, og 1259 mm i y-retningen.

Kalibrering af hotbox

I dette kapitel beskrives kalibrering af den anvendte kalibrerede hotbox og tilhørende resultater. Slutteligt vil være en dokumentation af den anvendte kunstige sols stråling.

# 4.1 Varmestrøm gennem målezonens vægge

Varmestrømmen  $\Phi_{walls}$ , er den varmestrøm der opstår fra målezonen til omgivelserne grundet temperaturdifferens over målezonens vægge. Ved kalibrering bestemmes denne energi afhængig af temperaturen målt i rummet omkring zonen og indvendigt i målezonen. Varmestrømmen indgår i formel 3.1 på side 25 og derfor skal denne faktor bestemmes.

### 4.1.1 Forsøgs- og beregningsgennemgang

Varmestrømmen til omgivelserne fastlægges afhængig af den omgivende temperatur,  $\theta_{c,env}$ , og temperaturen indvendigt i målezonen. I målezonen er det valgt at anvende den operative temperatur målt med de to sensorer, som er beskrevet i afsnit 3.3.2 på side 23.

For at kunne bestemme varmetabet til omgivelserne, skal varmetabet til klimazonen være kendt. Da isolansen af det omsluttende panel endnu ikke er kendt, er det ikke muligt at beregne denne varmestrøm. Derfor holdes en konstant, ens temperatur i måle- og klimazonen, hvilket vil medføre at der ikke vil være en varmestrøm mellem de to zoner. Dermed vil energien der tabes fra målezonen udelukkende overføres til omgivelserne.

Kalibreringen udføres ved at stabilisere begge zoner med ens temperatur, og måle den energi der tilføres og fjernes fra målezonen. Ud fra den målte energi opsættes en energibalance, med varmetabet til omgivelserne som ubekendt. Samtidigt måles lufttemperaturen i målezonen,  $\theta_{c,mz}$ , og lufttemperaturen i omgivelserne,  $\theta_{env}$ . Dermed kan det specifikke varmetab beregnes af formel 4.1.

$$Ht_{walls} = \frac{\Phi_E}{\Delta \theta_{walls}} = \frac{\Phi_{el} - \Phi_{fluid}}{\theta_{c,i} - \theta_{c,env}}$$
(4.1)

Hvor:

$Ht_{walls}$	Specifik varmetab gennem målezonens vægge mod omgivelserne $\left[\mathrm{W}/\mathrm{K}\right]$
$\Phi_E$	Balance mellem tilført og fjernet energi til målezonen [W]
$\Delta \theta_{walls}$	Temperaturdifferens over målezonens vægge [K]
$\Phi_{el}$	Elektrisk energi tilført målezonen [W]
$\Phi_{fluid}$	Energi fjernet med kølesystem [W]
$\theta_{c,i}$	Lufttemperatur i målezonen [°C]
$\theta_{c,env}$	Omgivende lufttemperatur [°C]

Forsøget udføres ved tre temperaturer for at dokumentere stabiliteten af beregningen, og derfor er det valgt at udføre forsøget ved omkring 5, 30 og 40 °C.

# 4.1.2 Resultat

Ud fra tre forsøg bestemmes den specifikke varmestrøm gennem målezonens vægge mod omgivelserne af formel 4.1 på forrige side. Resultaterne for de tre forsøg er angivet i tabel 4.1.

			Målezonetemperatur [°C]		
			5	30	40
$\Phi_{el}$	[W]	målt	629,21	$152,\!98$	210,61
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	700,90	$123,\!34$	$163,\!49$
$\Phi_E$	[W]	$\Phi_{el} - \Phi_{fluid}$	$-71,\!69$	$29,\!64$	$47,\!12$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	4,75	$29,\!82$	39,78
$\theta_{c,env}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	$24,\!44$	$21,\!06$	$24,\!88$
$\Delta \theta_{walls}$	$[^{\circ}C]$	$ heta_{c,mz} -  heta_{c,env}$	-19,69	8,76	$14,\!90$
Ht	[W/K]	formel 4.1	$3,\!64$	$3,\!38$	$3,\!16$

**Tabel 4.1.** Resultatgennemgang af bestemmelsen af det specifikke varmetab til omgivelserne fra<br/>målezonen.

Formel 4.2 er den lineære regression for det specifikke varmtab. Derved kan varmetabet gennem målezonens vægge beregnes af formel 4.3.

$$Ht_{walls} = -0.0123 \cdot (\theta_{c,i} - \theta_{c,env}) + 3.4110 \tag{4.2}$$

$$\Phi_{walls} = Ht_{walls} \cdot (\theta_{c,i} - \theta_{c,env}) \tag{4.3}$$

Hvor:

$Ht_{walls}$	Specifik varmetab gennem målezonens vægge mod omgivelserne $\left[\mathrm{W/K}\right]$
$\theta_{c,i}$	Lufttemperatur i målezone [°C]
$\theta_{c,env}$	Lufttemperatur i omgivelserne [°C]
$\Phi_{walls}$	Varmetab gennem målezonens vægge mod omgivelserne [W]

Figur 4.1 viser specifik varmetab gennem vægge i forhold til temperaturdifferens.



Figur 4.1. Specifik varmestrøm gennem målezonens vægge som funktion af temperaturdifferensen mellem målezonenss operative temperatur og omgivelsernes lufttemperatur.

Det ses af 4.1 at de målte specifikke varmetab ikke er ens i alle forsøgene. Baggrunden for dette kan være måleusikkerhed og at forholdene ikke har været helt stationære. Den omgivende lufttemperatur har ikke været fuldstændigt stationær. Køleanlæggene er placeret i laboratoriet og kører kun periodevist. Derfor afgives energi til rummet i perioder, hvilket det er oplevet har medført at rumtemperaturen har svinget. Dette kunne løses ved at placere anlæggene i et andet rum. Dette har dog ikke været muligt, og derfor er det valgt at acceptere den lineære interpolation, da der ikke i nogen af situationerne er en stor forskel imellem målt og interpoleret specifik varmetab.

# 4.2 Isolans af det omsluttende panel

For at kunne fastlægge varmestrømmen gennem det omsluttende panel, bestemmes panelets isolans,  $R_{sur}$ . Panelets isolans bestemmes af varmestrømmen når der holdes en konstant temperaturdifferens mellem måle- og klimazone. Dermed kan der opstilles en energibalance for målezonen. Ved kalibrering bestemmes  $R_{sur}$  på baggrund af middeltemperaturen af det omsluttende panel.

### 4.2.1 Forsøgs- og beregningsgennemgang

Som beskrevet i afsnit B.1.1 på side 136, er der tre varmestrømme mellem måle- og klimazonen, nemlig varmestrømmen gennem testelementet,  $q_{sp}$ , varmestrømmen gennem det omsluttende panel,  $\Phi_{sur}$ , og linjetabet mellem testelement og det omsluttende panel,  $\Phi_{edge}$ .

Linjetabet beregnes af formel B.8 på side 137, som er afhængig to konstanter, omkredsen,  $L_{edge}$ , og linjetabskoefficienten,  $\Psi_{edge}$ , der bestemmes af tabel C.1. Derudover er linjetabet afhængig af den konvektive temperaturdifferens, som måles i de to zoner. Som det kan ses af tabel C.1 vil linjetabet være nul. Dog vil linjetabet blive målt med i varmestrømmen gennem det omsluttende panel.

Dermed er der kun to ukendte varmestrømme, nemlig gennem testelementet og gennem det omsluttende panel. Ved at placere et kalibreringspanel med kendt isolans kan varmestrømmen gennem dette element bestemmes hvilket medfører at der kun er en ukendt varmestrøm, altså varmestrømmen gennem det omsluttende panel. Varmestrømmen gennem det omsluttende panel. På baggrund af dette kan isolansen af det omsluttende panel bestemmes af formel 4.4.

$$R_{sur} = \frac{A_{sur} \cdot \Delta\theta_{s,sur}}{\Phi_{in} - \Phi_{cal} - \Phi_{edge}}$$
(4.4)

Hvor:

$R_{sur}$	Isolans af det omsluttende panel $[m^2K/W]$
$A_{sur}$	Areal af omsluttende panel $[m^2]$
$\Delta \theta_{s,sur}$	Overfladetemperatur differens over det omsluttende panel [°C]
$\Phi_{in}$	Effekt tilført til målezonen, med hensyntagen til varmetab/-tilskud til
	omgivelser [W]
$\Phi_{cal}$	Varmestrøm gennem kalibreringspanel [W]
$\Phi_{edge}$	Linjetab mellem vindue og omsluttende panel [W]

For at kunne udføre denne kalibrering, skal der anvendes et panel med kendt isolans. I dette tilfælde er det valgt at anvende et af vinduerne som senere anvendes til undersøgelse af Energy Frames som er beskrevet i afsnit 3.2.1 på side 14. Det er valgt at anvende det vindue med størst isolans, altså energi<br/>ruden med en transmissionskoefficient på 0,90 W/m²K og materiale<br/>parametrene for dette vindue er angivet i tabel 3.1 på side 15.

# 4.2.1.1 Areal af omsluttende panel

Det omsluttende panel dækker det resterende areal af åbningen i målezonen, som beskrevet i afsnit 3.2 på side 14. I afsnittet er det ligeledes beskrevet at dette vil medføre et areal af det omsluttende panel på  $0,43 \text{ m}^2$ .

### 4.2.1.2 Overfladetemperaturdifferens over det omsluttende panel

Overfladetemperaturdifferensen beregnes som forskellen mellem den indre og ydre overfladetemperatur af det omsluttende panel. Temperaturerne bestemmes som beskrevet i afsnit 3.2.2.1 på side 17.

### 4.2.1.3 Effekt tilført til målezonen

Energibalancen for energien tilført til målezonen, er en balance af den energi der tilføres målezonen i el, den energi der fjernes af kølesystemet og den energi der tilføres/fjernes fra målezonen gennem væggene der vender mod omgivelserne.  $\Phi_{in}$  bestemmes af formel 4.5.

$$\Phi_{in} = \Phi_{el} - \Phi_{fluid} - \Phi_{walls} \tag{4.5}$$

Hvor:

$\Phi_{in}$	Effekt tilført til målezonen, med hensyntagen til varmetab/-tilskud til
	omgivelser [W]
$\Phi_{el}$	Tilført elektrisk energi til målezonen [W]
$\Phi_{fluid}$	Energi fjernet fra målezonen med kølesystem [W]
$\Phi_{walls}$	Varmestrøm til omgivelserne gennem målezonens vægge, se formel 4.3 [W]

Bestemmelsen af parametrene  $\Phi_{el}$  og  $\Phi_{fluid}$  er beskrevet i afsnit 3.3.6 på side 25, og den sidste parameter,  $\Phi_{walls}$ , bestemmes af formel 4.2 på side 34 bestemt af kalibreringen.

### 4.2.1.4 Varmestrøm gennem kalibreringspanel

Ved at placere et kalibreringspanel med kendte materialeparametre, kan varmestrømmen gennem panelet bestemmes af formel 4.6.

$$\Phi_{cal} = A_{cal} \cdot q_{cal} \tag{4.6}$$

Hvor:

 $\begin{array}{l} \Phi_{cal} & \mbox{Varmestrøm gennem kalibreringspanel [W]} \\ A_{cal} & \mbox{Areal af kalibreringspanel [m^2]} \\ q_{cal} & \mbox{Varmestrøm stæthed gennem kalibreringspanel [W/m^2]} \end{array}$ 

Arealet af kalibreringspanelet skal have samme størrelse som testelementet, og derfor måle 1480x1230 mm, altså 1,82 m<sup>2</sup>. Varmestrømmen gennem kalibreringspanelet er afhængigt af temperaturdifferensen over panelet og isolansen heraf, hvilket bestemmes af formel 4.7 på næste side.

$$q_{cal} = \frac{\Delta \theta_{s,cal}}{R_{cal}} \tag{4.7}$$

Hvor:

$$\begin{array}{l} q_{cal} & \mbox{Varmestrømstæthed gennem kalibreringskanel [W/m^2]} \\ \Delta \theta_{s,cal} & \mbox{Overfladetemperaturdifferens over det omsluttende panel [°C]} \\ R_{cal} & \mbox{Termisk isolans af kalibreringspanel [m^2K/W]} \end{array}$$

Overfladetemperaturdifferensen over kalibreringspanelet bestemmes ved at måle overfladetemperaturen i ni punkter på hver side af panelet. Overfladen inddeles 3x3 lige store rektangler, og midt i hvert rektangel placeres et termoelement til måling af overfladetemperatur. Gennemsnittet af de ni temperaturer fastlægges som overfladetemperaturen.

I dette tilfælde er det valgt at anvende et vindue hvor transmissionskoefficienten allerede er kendt. Transmissionskoefficienten er beregnet for en standardiseret overgangsisolans på 0,17 m<sup>2</sup>K/W, som beskrevet i bilag B. Da der anvendes overfladetemperaturer af kalibreringspanelet skal overgangsisolansens isolerende effekt ikke medregnes. Derfor bestemmes isolansen af materialelagene i det anvendte vindue på baggrund af formel B.1 på side 133.

Det er valgt at anvende et vindue med standardiseret transmissionskoefficient på 0,90  $W/m^2K$ . Ved at omskrive formel B.1 på side 133 fås formel 4.8.

$$R_{i} = \frac{1}{U_{st}} - \left(R_{(s,i),st} + R_{(s,e),st}\right)$$
(4.8)

Hvor:

$R_i$	Isolans for de enkelte lag $[m^2K/W]$
$R_{(s,i),st}$	Standardiseret overgangsisolans ved den indvendige overflade,
	se tabel B.1 på side 138 $[m^2K/W]$
$R_{(s,e),st}$	Standardiseret overgangsisolans ved den udvendige overflade,
	se tabel B.1 på side 138 $[m^2K/W]$
$U_{st}$	Transmissionskoefficient $[W/m^2K]$

Ud fra formel 4.8 beregnes isolansen af vinduet som anvendes til kalibrering,  $R_{cal}$ . På baggrund af denne isolans bestemmes varmestrømmen gennem kalibreringspanelet ud fra lufttemperaturdifferencen.  $R_{cal}$  er beregnet til 0,941 m<sup>2</sup>K/W.

### 4.2.1.5 Linjetab mellem vindue og omsluttende panel

Som beskrevet i afsnit 3.2.2.2 på side 18 er linjetabskoefficienten,  $\Psi_{edge}$ , fastlagt til 0, hvilket på baggrund af formel B.8 på side 137 vil dette medføre at linjetabet er  $\Phi_{edge} = 0$ .

### 4.2.2 Resultat

Tabel 4.2 på den følgende side viser resultatgennemgangen til bestemmelse af isolansen af det omsluttende panel.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	0,43	0,43	0,43
$\theta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!54$	25,77	$34,\!26$
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	$^{5,19}$	$5,\!88$	$6,\!10$
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	$\theta_{s,i,sur} - \theta_{s,e,sur}$	$4,\!35$	$19,\!89$	$28,\!16$
$\Phi_{el}$	[W]	målt	$631,\!82$	$197,\!13$	$327,\!84$
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	$650,\!69$	$120,\!87$	192,77
$\theta_{c,env}$	$[^{\circ}C]$	målt	$20,\!87$	$21,\!32$	$20,\!65$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	10,03	$30,\!00$	40,00
$\Delta \theta_{c,walls}$	$[^{\circ}C]$	$ heta_{c,i} -  heta_{c,env}$	-10,83	$^{8,68}$	$19,\!36$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	-38,39	$28,\!68$	$61,\!41$
$\Phi_{in}$	[W]	formel 4.5	$31,\!06$	$55,\!89$	$81,\!42$
$A_{cal}$	$[m^2]$	_	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$
$\theta_{s,i,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	9,31	$26,\!37$	$35,\!18$
$\theta_{s,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!87$	$7,\!24$	7,75
$\Delta \theta_{s,cal}$	$[^{\circ}C]$	_	$^{3,44}$	$19,\!13$	$27,\!43$
$R_{cal}$	$[m^2K/W]$	formel 4.8	$0,\!94$	$0,\!94$	0,94
$q_{cal}$	$[W/m^2]$	formel 4.7	$^{3,65}$	$20,\!33$	$29,\!15$
$\Phi_{cal}$	[W]	formel 4.6	$6,\!65$	$37,\!01$	$53,\!06$
$\Phi_{edge}$	[W]	formel B.8	0,00	$0,\!00$	0,00
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.4	0,08	$0,\!45$	$0,\!43$

 $\label{eq:table_$ 

Formel 4.9 er den lineære regression for isolansen.

$$R_{sur} = 0.0158 \cdot (\theta_{s,i,sur} - \theta_{s,e,sur}) + 0.0555 \tag{4.9}$$

Hvor:

$R_{sur}$	Isolans af det omsluttende panel $[m^2K/W]$
$\theta_{s,i,sur}$	Indvendig overfladetemperatur af det omsluttende panel [°C]
$\theta_{s,e,sur}$	Udvendig overfladetemperatur af det omsluttende panel [°C]





Figur 4.2. Isolans af det omsluttende panel som funktion af panelets middeltemperatur.

Isolansen af det omsluttende panel, burde antage samme værdi i alle forsøg. Dette er dog ikke set ved disse forsøg som dokumenteret af figuren. Ved de to forsøg med størst diffenrens ses lighed i målt isolans, mens der i førsøget med lavest temperaturdifferens er målt en som er i omegnen af 20 % af de to andre. Det forventes at dette skyldes en måleusikkerhed. Måleusikkerhedens indflydelse vil kunne have større påvirkning på resultatet ved en lav temperaturdifferens end ved en stor.

Det er dog valgt at anvende denne kalibrering, da der ved forsøgene vil anvendes en stor temperaturdifferens, hvorfor den beregnede isolans vil være i området, hvor der er tiltro til resultatet.

# 4.3 Konvektionsfaktor

For at kunne bestemme transmissionskoefficienten for et vindue, skal den samlede målte termiske transmission beregnes. Denne faktor er afhængig af den operative temperaturforskel mellem de to zoner, hvilket bestemmes af formel B.9 på side 138.

Den operative temperatur er afhængig af konvektionsfaktoren,  $F_c$ , som beskriver i hvor stor grad den konvektive temperatur (lufttemperatur) påvirker den operative temperatur sammenholdt med den radiative temperatur (strålingstemperatur). Derfor skal konvektionsfaktoren bestemmes for begge zoner.

# 4.3.1 Forsøgs- og beregningsgennemgang

Konvektionsfaktoren bestemmes ved udførelse af en kalibrering ud fra samme princip som i afsnit 4.2 på side 35. Faktoren bestemmes af formel 4.10.

$$F_c = \frac{h_c}{h_c + h_r} \tag{4.10}$$

Hvor:

 $F_c$  Konvektionsfaktor [-]

 $h_c$  | Konvektiv varmestrøm [W/m<sup>2</sup>K]

 $h_r$  | Radiativ varmestrøm [W/m<sup>2</sup>K]

Konvektionsfaktoren er afhængig af den konvektive og radiative varmestrøm.

### 4.3.1.1 Radiativ varmestrøm

De radiative varmestrømme opstår mellem to overflader der ser hinanden, og i dette tilfælde er det mellem vindue eller kalibreringspanel og baffel og/eller omsluttende panel. Strålingen er afhængig af strålingsfaktorer og varmestrømskoefficienter, og beregnes af formel 4.11 på den følgende side.

$$h_r = \alpha_{cb} \cdot h_{cb} + \alpha_{cp} \cdot h_{cp} \tag{4.11}$$

Hvor:

$h_r$	Radiativ varmestrøm $[W/m^2K]$
$\alpha_{cb}$	Strålingsfaktor fra baffel til vindue eller kalibreringspanel [-]
$h_{cb}$	Sortlegeme radiativ varmestrømsko efficient mellem kalibreringspanel og baffel $\rm [W/m^2K]$
$\alpha_{cp}$	Strålingsfaktor fra det omsluttende panels fals til vindue eller kalibreringspanel [-]
$h_{cp}$	Sortlegeme radiativ varmestrømsko efficient mellem kalibreringspanel og det omsluttende panel $\rm [W/m^2K]$

Strålingsfaktorerne bestemmes af formel 4.12 og 4.13.

$$\alpha_{cb} \cong \epsilon_{cal} \cdot \epsilon_b \cdot [f_{cb} + (1 - \epsilon_p) \cdot f_{cp} \cdot f_{pb}]$$
(4.12)

$$\alpha_{cp} \cong \epsilon_{cal} \cdot \epsilon_p \cdot [f_{cp} + (1 - \epsilon_b) \cdot f_{cb} \cdot f_{bp} + (1 - \epsilon_p) \cdot f_{cp} \cdot f_{pp}]$$

$$(4.13)$$

Hvor:

$\alpha_{cb}$	Strålingsfaktor fra baffel til vindue eller kalibreringspanel [-]
0	Strålingsfaktor fra det omsluttende panels fals til vindue eller
$\alpha_{cp}$	kalibreringspanel [-]
f	Vinkelfaktor mellem to overflader [-]
$\epsilon$	Halvkugle emissivitet [-]
- cb	fra kalibreringspanel til baffel
- cp	fra kalibreringspanel til det omsluttende panels fals
- pb	fra det omsluttende panels fals til baffel
- bp	fra baffel til det omsluttende panels fals
- pp	fra det omsluttende panels fals til det omsluttende panels fals

Faktorerne som de to formler er afhængige af er henholdsvis vinkelfaktorer og emissionsfaktorer. Vinkelfaktorerne kan enten beregnes eller bestemmes ved opslag i tabel 4.3, hvor vinkelfaktorer er angivet i forhold til dybden af falsen.

	Falsdybde [mm]				
	0	50	100	150	200
$f_{cb}$	1,000	$0,\!930$	$0,\!867$	0,809	0,756
$f_{pp}$	0,000	$0,\!059$	$0,\!103$	$0,\!142$	$0,\!177$
$f_{cp} = f_{bp}$	0,000	$0,\!070$	$0,\!133$	$0,\!191$	$0,\!244$
$f_{pb}$	0,500	$0,\!471$	$0,\!449$	$0,\!429$	$0,\!412$

Tabel 4.3. Vinkelfaktorer for et vindue af størrelse 1230x1480 mm på baggrund af falsdybde.[ISO/FDIS 12567, 1999, tabel A.1]

På baggrund af at det omsluttende panel er konstrueret med samme dybde som vinduet, og at der derfor ikke vil opstå en fals, hverken ind- eller udvendigt, er det vurderet ikke at

være nødvendigt at udfører en beregning af disse vinkelfaktorer. Vinkelfaktorerne i både måle- og klimazone er ens, grundet at der ingen fals er på nogen af siderne, og ud fra tabel 4.3 på forrige side er vinkelfaktorerne fastlagt som angivet i tabel 4.4.

$$\begin{array}{ccc} f_{cb} & 1,000 \\ f_{cp} & 0,000 \\ f_{pb} & 0,500 \\ f_{bp} & 0,000 \\ f_{pp} & 0,000 \end{array}$$

Tabel 4.4. Vinkelfaktorer for kalibrering.

I begge zoner fastlægges emissionsfaktor af henholdsvis kalibreringspanel, baffel og det omsluttende panel. I begge zoner vil emissionsfaktoren af kalibreringspanelet og det omsluttende panel være ens. Emissionsfaktorerne er angivet af tabel 4.5.

Emissionsfaktor	Materiale	Område	Valgt
$\epsilon_{cal}$	Glas	0,920 - 0,940	$0,\!930$
$\epsilon_{b,i}$	Sortmalet aluminium	0,890 - 1,000	$0,\!950$
$\epsilon_{b,e}$	Glas	0,920 - 0,940	$0,\!930$
$\epsilon_{p,e}$	Lyst træ	0,885-0,950	0,920

Tabel 4.5. Emissionsfaktorer for kalibrering. [The Engineering ToolBox, 2014]

Grundet vinkelfaktorerne er det dog ikke nødvendigt at fastlægge det omsluttende panels emissionsfaktor, da formel 4.13 på modstående side vil give 0. Med strålingsfaktorerne bestemt, skal varmestrømskoefficienterne bestemmes, hvilket sker på baggrund af formel 4.14 og 4.15.

$$h_{cb} = \sigma \cdot \left(T_{cal}^2 + T_b^2\right) \cdot \left(T_{cal} + T_b\right) \tag{4.14}$$

$$h_{cp} = \sigma \cdot \left(T_{cal}^2 + T_p^2\right) \cdot \left(T_{cal} + T_p\right) \tag{4.15}$$

Hvor:

h	Sortlegeme radiativ varmestrømskoefficient mellem kalibreringspanel og
$n_{cb}$	baffel $[W/m^2K]$
Ь	Sortlegeme radiativ varmestrømskoefficient mellem kalibreringspanel og det
$n_{cp}$	omsluttende panel $[W/m^2K]$
$\sigma$	Stefan-Bolzmann konstant $(5,67 \cdot 10^{-8})$ [W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
$T_{cal}$	Absolut overfladetemperatur af kalibreringspanel [K]
$T_b$	Absolut overfladetemperatur af baffel [K]
$T_p$	Absolut overfladetemperatur af det omsluttende panels fals [K]

På baggrund af at strålingsfaktoren  $\alpha_{cp}$  giver 0 grundet vinkelfaktorerne, vil varmestrømskoefficienten  $h_{cp}$  være uden betydning.

### 4.3.1.2 Konvektiv varmestrøm

Den konvektive varmestrøm bestemmes som den resterende del af den samlede varmestrøm med baggrund i den radiative varmestrøm, af formel 4.16.

$$h_c = \frac{q_{cal} - h_r \cdot |\theta_r - \theta_{cal}|}{|\theta_c - \theta_{cal}|}$$
(4.16)

Hvor:

$$\begin{array}{ll} h_c & \mbox{Konvektiv varmestrøm [W/m^2K]} \\ q_{cal} & \mbox{Varmestrømstæthed [W/m^2]} \\ h_r & \mbox{Radiativ varmestrøm [W/m^2K]} \\ \theta_r & \mbox{Middel strålingstemperatur [°C]} \\ \theta_{cal} & \mbox{Middel temperatur af kalibreringspanel [°C]} \\ \theta_c & \mbox{Middel lufttemperatur [°C]} \end{array}$$

Bestemmelse af varmestrømstætheden gennem kalibreringspanelet,  $q_{cal}$ , er tidligere beskrevet i afsnit 4.2.1.4 på side 36. Middelstrålingstemperaturen,  $\theta_r$ , er lig baffeltemperaturen,  $\theta_b$ , da der er en fals mindre end 50 mm [ISO/FDIS 12567, 1999, afsnit A.3].

### 4.3.2 Resultat

Tabel 4.6 viser resultatgennemgangen for bestemmelse af konvektionsfaktoren i målezonen.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	1	1
$\alpha_{cb,i}$	[-]	formel 4.12	0,88	0,88	0,88
$T_{cal,i}$	[K]	_	$282,\!46$	$299,\!52$	$308,\!33$
$T_{b,i}$	[K]	_	$283,\!05$	$302,\!45$	$312,\!33$
$h_{cb,i}$	$[W/m^2K]$	formel 4.14	$^{5,13}$	$6,\!18$	6,78
$\alpha_{cp,i}$	[-]	formel 4.13	$0,\!00$	$0,\!00$	0,00
$T_{p,i}$	[K]	_	$0,\!00$	$0,\!00$	$0,\!00$
$h_{cp,i}$	$[W/m^2K]$	formel 4.15	$0,\!00$	$0,\!00$	$0,\!00$
$h_{r,i}$	$[W/m^2K]$	formel 4.11	$4,\!53$	$^{5,46}$	$5,\!99$
$R_{cal}$	$[m^2K/W]$	formel 4.8	$0,\!94$	$0,\!94$	$0,\!94$
$\theta_{s,i,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	9,31	$26,\!37$	$35,\!18$
$\theta_{s,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!87$	$7,\!24$	7,75
$\Delta \theta_{s,cal}$	$[^{\circ}C]$	_	$3,\!44$	$19,\!13$	$27,\!43$
$q_{cal}$	$[W/m^2]$	formel 4.7	$^{3,65}$	$20,\!33$	$29,\!15$
$\Phi_{cal}$	[W]	formel 4.6	$6,\!65$	$37,\!01$	$53,\!06$
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!90$	$29,\!30$	$39,\!18$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!69$	$27,\!94$	$37,\!02$
$h_{c,i}$	$[W/m^2K]$	formel 4.16	$2,\!53$	2,77	$2,\!83$
$F_{c,i}$	[-]	formel 4.10	$0,\!36$	$0,\!34$	0,32

Tabel 4.6. Resultatgennemgang af bestemmelse af konvektionsfaktor i målezonen.

Tabel 4.7 på næste side viser resultatgennemgangen for bestemmelse af konvektionsfaktoren i klimazonen.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	1	1
$\alpha_{cb,e}$	[-]	formel 4.12	0,86	0,86	0,86
$T_{cal,e}$	[K]	_	$279,\!02$	280, 39	$280,\!90$
$T_{b,e}$	[K]	_	$282,\!22$	$282,\!46$	$282,\!22$
$h_{cb,e}$	$[W/m^2K]$	formel 4.14	$^{5,01}$	$5,\!05$	$5,\!06$
$\alpha_{cp,e}$	[-]	formel 4.13	$0,\!00$	$0,\!00$	$0,\!00$
$T_{p,e}$	[K]	_	$0,\!00$	$0,\!00$	$0,\!00$
$h_{cp,e}$	$[W/m^2K]$	formel 4.15	$0,\!00$	0,00	$0,\!00$
$h_{r,e}$	$[W/m^2K]$	formel 4.11	$4,\!34$	$4,\!37$	$4,\!38$
$R_{cal}$	$[m^2K/W]$	formel 4.8	$0,\!941$	$0,\!941$	$0,\!941$
$\theta_{s,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	9,31	$26,\!37$	$35,\!18$
$\theta_{s,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!87$	$7,\!24$	7,75
$\Delta \theta_{s,cal}$	$[^{\circ}C]$	_	$3,\!44$	$19,\!13$	$27,\!43$
$q_{cal}$	$[W/m^2]$	formel 4.7	$3,\!65$	$20,\!33$	$29,\!15$
$\Phi_{cal}$	[W]	formel 4.6	$6,\!65$	$37,\!01$	$53,\!06$
$ heta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!07$	$9,\!31$	9,07
$\theta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	4,77	$4,\!91$	4,77
$h_{c,e}$	$[W/m^2K]$	formel 4.16	9,31	4,84	$7,\!84$
$F_{c,e}$	[—]	formel 4.10	$0,\!68$	$0,\!53$	0,64

Tabel 4.7. Resultatgennemgang af bestemmelse af konvektionsfaktor i klimazonen.

Formel 4.17 og 4.18 er de lineære regressioner for konvektionsfaktoren.

$$F_{c,i} = -0,0014 \cdot q_{sp} + 0,3639$$

$$F_{c,e} = -0,0026 \cdot q_{sp} + 0,6622$$

$$(4.17)$$

$$(4.18)$$

Hvor:

 $\begin{array}{l|l} F_{c,i} & \mbox{Intern konvektionsfaktor [-]} \\ F_{c,e} & \mbox{Ekstern konvektionsfaktor [-]} \\ q_{sp} & \mbox{Varmestrømstæthed gennem testelement } [W/m^2] \end{array}$ 

Figur 4.3 viser den konvektionsfaktor i de to zoner i forhold til varmestrømmen hen over vinduet.



Figur 4.3. Ind- og udvendig konvektionsfaktor som funktion af varmestrømstæthed,  $q_{sp}$ .

Af figur 4.3 på foregående side kan det ses at den konvektionsfaktor i målezonen, passer godt overens med den lineære regression og samtidigt er nogenlunde stabil. For klimazonen er yderpunkterne ligeledes rimeligt ens, men med en varmestrømstæthed gennem elementet på omkring 20 W/m<sup>2</sup>, har den konvektionsfaktor været lavere. Det er dog valgt at anvende den lineære regression.

# 4.4 Total overgangsisolans

Da der ikke nødvendigvis er en overgangsisolans på  $0.17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ , som er den standardiserede værdi, er det vigtigt at bestemme overgangsisolansen som vil forekomme i de to zoner.

### 4.4.1 Forsøgs- og beregningsgennemgang

Overgangsisolanser beskriver isolansen der er grundet overgang mellem luft og en fri overflade. Overgangsisolansen medfører en temperaturforskel mellem overfladetemperatur og operativ temperatur. Den totale overgansisolans er så isolansen ind- og udvendigt samlet. Den totale overgangsisolans bestemmes af samme forsøg, som faktorerne  $R_{sur}$  og  $F_c$ , og beregnes af formel 4.22, udledt af formel 4.19-4.21.

$$R_{s,t} = \frac{\Delta\theta_{n,cal} - \Delta\theta_{s,cal}}{q_{cal}} \tag{4.19}$$

$$R_{s,i} = \frac{\theta_{n,i,cal} - \theta_{s,i,cal}}{q_{cal}} \tag{4.20}$$

$$R_{s,e} = \frac{\theta_{s,e,cal} - \theta_{n,e,cal}}{q_{cal}} \tag{4.21}$$

$$R_{s,t} = R_{s,i} + R_{s,e} = \frac{\theta_{n,i,cal} - \theta_{n,e,cal} + \theta_{s,e,cal} - \theta_{s,i,cal}}{q_{cal}}$$
(4.22)

Hvor:

$$\begin{array}{lll} R_{s,t} & \mbox{Total overgangsisolans } [m^2 {\rm K} / {\rm W}] \\ \Delta \theta_{n,cal} & \mbox{Operativ temperaturdifferens } [^{\circ}{\rm C}] \\ \Delta \theta_{s,cal} & \mbox{Overfladetemperaturdifferens } [^{\circ}{\rm C}] \\ q_{cal} & \mbox{Varmestrømstæthed gennem kalibreringspanel } [{\rm W} / {\rm m}^2] \\ R_{s,i} & \mbox{Indvendig overgangsisolans } [{\rm m}^2 {\rm K} / {\rm W}] \\ \theta_{n,i,cal} & \mbox{Indvendig operativ temperatur } [^{\circ}{\rm C}] \\ \theta_{s,i,cal} & \mbox{Indvendig overfladetemperatur } [^{\circ}{\rm C}] \\ R_{s,e} & \mbox{Udvendig overfladetemperatur } [^{\circ}{\rm C}] \\ R_{s,e,cal} & \mbox{Udvendig operativ temperatur } [^{\circ}{\rm C}] \\ \theta_{n,e,cal} & \mbox{Udvendig operativ temperatur } [^{\circ}{\rm C}] \\ \end{array}$$

Bestemmelse af varmestrømstætheden gennem kalibreringspanelet,  $q_{cal}$ , er tidligere beskrevet i afsnit 4.2.1.4 på side 36.

# 4.4.2 Resultat

Tabel 4.8 på modstående side viser resultatgennemgangen for overgangsisolansen.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	1	1
$F_{c,i}$	[-]	formel 4.10	0,36	$0,\!34$	0,32
$F_{c,e}$	[—]	formel 4.10	$0,\!68$	$0,\!53$	$0,\!64$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!69$	$27,\!94$	$37,\!02$
$ heta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	4,77	$4,\!91$	4,77
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!90$	$29,\!30$	$39,\!18$
$ heta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!07$	$9,\!31$	$9,\!07$
$\theta_{n,i,cal}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$9,\!83$	$28,\!84$	$38,\!48$
$\theta_{n,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$6,\!14$	$7,\!00$	$6,\!31$
$\theta_{s,i,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!31$	$26,\!37$	$35,\!18$
$\theta_{s,e,cal}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!87$	$7,\!24$	7,75
$\Delta \theta_{s,cal}$	$[^{\circ}C]$	_	$3,\!44$	$19,\!13$	$27,\!43$
$R_{cal}$	$[m^2K/W]$	formel 4.8	$0,\!941$	$0,\!941$	$0,\!941$
$q_{cal}$	$[W/m^2]$	formel 4.7	$3,\!65$	$20,\!33$	$29,\!15$
$R_{s,t}$	$[m^2K/W]$	formel 4.22	$0,\!07$	$0,\!13$	$0,\!16$

Tabel 4.8. Resultatgennemgang af bestemmelse af overgangsisolans.

Formel 4.23 er den lineære regression for overgangsisolansen.

$$R_{s,t} = 0.0038 \cdot q_{sp} + 0.0563 \tag{4.23}$$

Hvor:





Figur 4.4. Total overgangs isolans som funktion af varmestrømstæthed,  $q_{sp}$ .

Af figuren ses at der med en lav varmestrømstæthed gennem testelementet, er oplevet en meget lavere total overgangsisolans end det i [ISO/FDIS 12567, 1999] er foreskrevet. Dette kan skyldes måleusikkerhed. Derudover har det ikke været muligt at justere hastigheden af luftstrømningerne, hvorfor det ikke har været muligt at justere forholdene. Det ses at den lineære regression har stor sammenhæng med de målte isolanser.

# 4.5 Dokumentation af strålingsfordeling fra kunstig sol

For at dokumentere strålingsfordelingen fra den kunstige sol, laves en måling hvor pyranometeret sættes til at måle i 64 punkter jævnt fordelt over vinduets overflade, med måling i et minut per punkt. Figur 4.5 viser fordelingen målt hen over vinduet. På figuren viser y-aksen højden af vinduet, x-aksen viser bredden af vinduet og farveindikatoren viser strålingsniveauet. Cirklerne på plottet indikerer målepunkterne og mellem disse målepunkter laves automatisk fordeling. Som det kan ses af figuren er målepunkterne ikke jævnt fordelt på højde af vinduet. Grunden til dette er fordi robotten hvor pyranometeret er monteret på ikke dækker hele vinduet.



Figur 4.5. Strålingsfordeling på testelement. Cirkler indikerer målepunkter.

Af figur 4.5 kan det ses at maksimum strålingsniveau er omkring 460 W/m<sup>2</sup> og minimum er omkring 340 W/m<sup>2</sup>. Dette anses som en acceptabel fordeling og der laves ikke nogen ændringer, for at gøre fordelingen mere jævn. Gennemsnittet for fordelingen har i forsøget været 409 W/m<sup>2</sup>.

# Eksperimentel bestemmelse af 5 materialeparametre

I dette kapitel gennemgås resultat af transmissionskoefficient og solvarmetransmittans for EnergyFrames på baggrund af undersøgelse i hotbox. Undersøgelse udføres i kombination med tre vinduer og resultater beregnes på baggrund af [ISO/FDIS 12567, 1999] og [NFRC 201, 2001] beskrevet i bilag B og D. Setup i hotbox, testvinduer og EnergyFrames er beskrevet i kapitel 3.

# 5.1 Forsøgsbeskrivelse

Undersøgelsen af transmissionskoefficient og solvarmetransmittans, er opdelt i to separate forsøg. For at opnå optimale testbetingelser, er det vigtigt at opnå stabile temperaturer i måle- og klimazone og ligeledes en stabil temperatur af omgivelserne. Dette er vigtigt da temperaturerne påvirker målezonen og vil skabe varmetransport gennem zonens vægge mod omgivelserne og til klimazonen på baggrund af temperaturdifferens. Derfor bør alle temperaturer være stabile optil start af og under forsøgene. Når stabile temperaturer er opnået, startes forsøgene og måles over fem timer.

Under forsøgene ønskes der opretholdt en stor temperaturforskel, hvilket skal medføre mindre usikkerhed på målingerne. Derfor er styringen indstillet til at skulle holde en operativ temperatur på 40 °C i målezonen og 5 °C i klimazonen. Temperaturerne er valgt ud fra, at der ved for høje temperaturer i målezonen, er oplevet at termoelementer fastgjort med tape er løsnet sig. I klimazonen er det valgt at holde en temperatur over frysepunktet, da der ved for lavt setpunkt, er oplevet problemer med tilfrysning af kølesystemet, hvilket har medført at forringet stabilitet af temperaturen.

# 5.1.1 Undersøgelse af transmissionskoefficient

Undersøgelsen at transmissionskoefficient udføres for de tre testvinduer, uden EnergyFrames og med tekstil-, transparent og efterisoleret pladeløsning, altså i alt 12 forsøg. Først udføres forsøget for et vindue alene, hvorefter forsøget udføres for vinduet med EnergyFrames. Dette gøres for alle testvinduer. Målinger udføres som beskrevet i kapitel 3

# 5.1.2 Undersøgelse af solvarmetransmittans

Undersøgelsen af solvarmetransmittans udføres ligeledes for de tre testvinduer, men ved disse forsøg udføres undersøgelsen ikke for den efterisolerede pladeløsning, som antages at have en transmittans på 0. Derfor udføres forsøget kun for vinduerne alene og i kombination med tekstil- og transparent pladeløsning.

I forhold til undersøgelsen af transmissionskoefficient, skal testelementet under disse forsøg bestråles med lys fra den anvendte kunstige sol. Derfor skal strålingen måles under forsøgene. Dette gøres ved at måle solintensiteten i de 64 punkter angivet af figur 4.5 på forrige side, hvor robotten er indstillet til at måle i et minut, hvorefter der skiftes position. Efter målinger i alle 64 punkter startes forfra, og sådan fortsættes under hele forsøgsperioden. Gennemsnittet heraf anvendes som strålingsintensitet,  $E_S$ .

# 5.2 Bestemmelse af transmissionskoefficient

På baggrund af målingerne beregnes transmissionskoefficienten for testvinduerne med og uden EnergyFrames. Dette gøres på baggrund af [ISO/FDIS 12567, 1999] som er gennemgået i bilag B på side 133. Som angivet af [ISO/FDIS 12567, 1999] beregnes den standardiserede transmissionskoefficient,  $U_{st}$ , på baggrund af lufttemperatur. Derfor tages højde for overgangsisolansen, som er fastlagt ved kalibrering, hvilket er beskrevet i afsnit 4.4 på side 44. Med udgangspunkt i variationen i de beregnede totale overgangsisolanser, er det valgt også at beregne transmissionskoefficienten på baggrund af overfladetemperaturen af testelementet, hvilket muliggør at at udelade effekten af overgangsisolanser i beregneingen. Den standardiserede transmissionskoefficient på baggrund af overfladetemperaturer angives som  $U_{st,s}$ . Af tabel 5.1 ses en resultatgennemgang for beregning af transmissionskoefficient for de tre testvinduer uden EnergyFrames.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	408,85	347,21	332,02
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	198,78	$194,\!93$	$194,\!80$
$ heta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	$20,\!09$	$21,\!11$	$21,\!57$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$33,\!82$	$36,\!12$	$36,\!98$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	$63,\!01$	$60,\!05$	$58,\!64$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	$0,\!43$	$0,\!43$	$0,\!43$
$ heta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	$32,\!14$	33,73	$34,\!31$
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	6,02	$6,\!14$	$6,\!22$
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	$26,\!12$	$27,\!59$	$28,\!09$
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	$0,\!47$	$0,\!49$	$0,\!50$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	$23,\!97$	$24,\!12$	$24,\!17$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	$131,\!38$	$75,\!89$	$62,\!43$
$A_{sp}$	$[m^2]$	_	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$
$q_{sp}$	$[W/m^2]$	$\Phi_{sp}/A_{sp}$	$72,\!17$	$41,\!69$	$34,\!29$
$F_{c,i}$	[-]	formel 4.17	0,26	$0,\!31$	$0,\!32$
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$38,\!15$	$38,\!90$	$39,\!17$
$ heta_{n,i}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$37,\!01$	$38,\!05$	$38,\!48$
$F_{c,e}$	[-]	formel 4.18	$0,\!47$	$0,\!55$	$0,\!57$
$\theta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	4,81	$4,\!82$	4,74
$ heta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$^{9,11}$	$^{9,21}$	$9,\!22$
$ heta_{n,e}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	7,07	$6,\!78$	$6,\!65$
$\Delta \theta_n$	$[^{\circ}C]$	_	$30,\!36$	$31,\!28$	$31,\!41$
$U_m$	$[W/m^2K]$	formel B.4	2,41	$1,\!33$	$1,\!08$
$R_{s,t}$	$[m^2K/W]$	formel 4.23	0,33	$0,\!22$	$0,\!19$
$R_{(s,t),st}$	$[m^2K/W]$	tabel B.1	0,17	$0,\!17$	$0,\!17$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	formel B.3	$3,\!93$	$1,\!42$	$1,\!10$
$U_{st,s}$	$[W/m^2K]$	_	$2,\!67$	$1,\!37$	$1,\!03$

Tabel 5.1. Resultatgennemgang af bestemmelse af transmissionskoefficient for vinduer uden EnergyFrames.

Af tabel 5.1 kan det ses, at der er stor variation mellem de to standardiserede transmissionskoefficienter, hvor beregningen på baggrund af lufttemperatur giver højest

resultater. Ved at sammenligne med værdierne opgivet af producenten, fra tabel 3.1 på side 15, kan det ses, at disse generelt er lavere, end dem der er bestemt ved denne undersøgelse. Dog er  $U_{st,s}$  for vindue 3 beregnet til 0,04 W/m<sup>2</sup>K lavere end den opgivne. På baggrund af dette og de beregnede overgangsisolanser fra kalibreringen, er det valgt at stole på transmissionskoefficienterne beregnet på baggrund af overfladetemperaturerne.

Beregningen er på samme vis gennemgået for de tre testvinduer med EnergyFrames af tekstil- og transparent og efterisoleret pladeløsning, hvilket kan ses af tabel I.1-I.3 på bilag I. Resultaterne af målingerne er opsummeret i tabel 5.2, hvor den af producenten oplyste transmissionskoefficient ligeledes er angivet.

			Tabal	Inw	ido vin	due
			Taber	1	2	3
IIdan EnanguEnanga	$[W/m^2K]$	Fra producent	3.1	2,71	$1,\!26$	0,90
Uden EnergyFrames	$[W/m^2K]$	Målt	5.1	$2,\!67$	$1,\!37$	$1,\!03$
Tekstildug	$[W/m^2K]$	Målt	I.1	$2,\!66$	$1,\!41$	$0,\!97$
Transparent plade	$[W/m^2K]$	Målt	I.2	$1,\!54$	$0,\!97$	$0,\!84$
Efterisoleret plade	$[W/m^2K]$	Målt	I.3	1,21	$0,\!82$	0,71

**Tabel 5.2.** Måleresultater af transmissionskoefficient  $U_{st,s}$  sammen med opgivet transmissionskoefficient.

For vinduerne med EnergyFrames med tekstildug kan det ses, at de beregnede standardiserede transmissionskoefficienter, varierer  $-0.06 - 0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$  fra koefficienterne for vinduerne uden. Dette betegnes som måleusikkerhed på forsøget og på baggrund af resultaterne ses der ikke en ændring af vinduers transmissionskoefficient ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug.

For vinduerne med EnergyFrames af transparent og efterisoleret pladeløsning, kan der dog ses en tydelig forbedring af transmissionskoefficienten og også en øget effekt af at efterisolere den transparente pladeløsning. På baggrund af de målte transmissionskoefficienter, beregnes den procentvise forbedring ved anvendelse af EnergyFrames i forhold til den målte transmissionskoefficient af de anvendte vinduer, hvilket er angivet af tabel 5.3.

		Inw	rido v	indue
		1	2	3
Tekstildug	[%]	1	-3	6
Transparent plade	[%]	43	29	19
Efterisoleret plade	[%]	55	40	31

**Tabel 5.3.** Procentvis forbedring af transmissionskoefficient af anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames.

Af tabel 5.3, kan det ses at for EnergyFrames med tekstildug er forbedringen på -3-6 %, hvilket forventes udelukkende at skyldes måleudsikkerhed. For EnergyFrames med transparent plade kan ses en forbedring på 19-43 % mens den efterisolerede plade vil medføre en forbedring på 31-55 %. Det kan ligeledes ses at målingerne har vist, at den efterisolerede plade har medført en yderligere forbedring af transmissionskoefficienten på 11-12 procentpoint. Det ses ligeledes at jo højere vinduets transmissionskoefficient er, jo større forbedring er fastlagt.

# 5.3 Bestemmelse af solvarmetransmittans

På baggrund af målingerne beregnes solvarmetransmittansen for testvinduerne med og uden EnergyFrames ud fra [NFRC 201, 2001] som er gennemgået i bilag D. Af tabel 5.4 ses en resultatgennemgang for beregning af solvarmetransmittans for de tre testvinduer uden EnergyFrames.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	0,00	0,00	0,00
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	229,00	$229,\!00$	$229,\!00$
$\theta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	29,34	$31,\!91$	$30,\!61$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	39,82	40,72	$36,\!38$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	$35,\!05$	$26,\!81$	$30,\!92$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	0,43	$0,\!43$	$0,\!43$
$\theta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	38,12	$38,\!37$	$32,\!89$
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	11,47	$11,\!81$	$10,\!97$
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	$26,\!65$	$26,\!56$	$21,\!92$
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	0,48	$0,\!47$	$0,\!40$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	24,02	$24,\!02$	$23,\!43$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	286,40	$278,\!16$	$281,\!69$
$A_{sp,U}$	$[m^2]$	_	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	tabel 5.1	2,67	$1,\!37$	$1,\!03$
$ heta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	2,19	$2,\!43$	$0,\!85$
$\Phi_U$	[W]	formel D.7	183,19	$95,\!20$	66,76
$A_{sp,g}$	$[m^2]$	_	1,56	$1,\!56$	$1,\!56$
$E_S$	$[W/m^2]$	målt	380,15	$399,\!66$	$397,\!95$
$g_g$	[—]	formel D.2	0,83	$0,\!63$	$0,\!59$

**Tabel 5.4.** Resultatgennemgang af bestemmelse af solvarmetransmittans for vinduer uden EnergyFrames.

Ved at sammenholde angivede og beregnede solvarmetransmittanser for ruderne uden EnergyFrames kan det ses, at der forekommer en afvigelse på 0,00-0,09, hvilket betragtes som acceptabelt.

Beregningen er på ligeledes gennemgået for de tre vinduer med EnergyFrames med tekstildug og transparent plade, hvilket kan ses af tabel J.1 og J.2 på bilag J. Resultaterne af målingerne er opsummeret i tabel 5.5.

			Tabal	Inw	ido vir	idue
			Taber	1	2	3
Ildon EnorgyEnormog	[-]	Fra producent $g_g$	3.1	0,80	$0,\!63$	0,50
Uden EnergyFrames	[-]	Målt $g_g$	5.4	$0,\!83$	$0,\!63$	$0,\!59$
Tekstildug	[-]	Målt $g_g$	J.1	0,74	$0,\!65$	$0,\!55$
Transparent plade	[-]	Målt $g_g$	J.2	$0,\!65$	$0,\!60$	$0,\!55$

Tabel 5.5. Måleresultater af soltransmittansen sammen med opgivet solvarmetransmittans.

For vinduerne med Energy Frames med tekstildug kan det ses, at solvar<br/>metransmittansen sænkes -0.02 - 0.09 <br/>og for Energy Frames med transparent plade forekommer en nedsættelse på 0,03-0,18. Det ses at nedsættelsen er størst ved anvendelse af den transparente plade men at effekten ved begge EnergyFrames er meget varierende. Den største ændring er målt ved testvindue 3, som også har det højeste udgangspunkt. Ud fra de målte solvarmetransmittanser, beregnes den procentvise nedsættelse af solvarmetransmittans ved anvendelse af EnergyFrames, hvilket er angivet i tabel 5.6.

		Inwido vindue		
		1	2	3
Tekstildug	[%]	1	-3	6
Transparent plade	[%]	22	5	7

**Tabel 5.6.** Procentvis nedsættelse af soltransmittansen for anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames.

Af tabel 5.6 kan ses de procentvise ændringer af solvarmetransmittans, beregnet på baggrund af udførte målinger. Det ses at der generelt er målt en meget lille ændring, endda i et af tilfældene en stigning. På baggrund af at tekstilen fra producenten har en angivet solvarmetransmittans på 0,32, kan det konkluderes at der ved tilførslen af denne afskærmning, burde kunne ses en langt større effekt. Det samme gør sig gældende for den transparente plade, som fra producenten har en angivet solvarmetransmittans på 0,64, som dog er højere end for tekstildugen, men nedsættelsen vist i tabellen, vurderes stadig at være for lille. Derfor er målingerne af solvarmetransmittans vurderet at være utroværdige. Grunden til at forsøgene giver så besynderlige resultater kan være, at når den kunstige sol tændes, medfører dette en stor stigning af rumtemperaturen i laboratoriet på omkring 10 °C. Dette giver et problem, da den anvendte Helios datalogger vil begynde at have en stigende usikkerhed når temperaturen overstiger 24 °C. Dette har under forsøgende været oversteget med 3-8 °C, hvilket har medført en øget måleusikkerhed.

Under forsøgene har det ikke været muligt at sænke omgivelsernes lufttemperatur, da der i samme periode er udført andre forsøg i laboratoriet. Hertil har rummets ventilationsanlæg været anvendt og derfor har det ikke været muligt at sænke indblæsningstemperaturen eller øge lufttilførslen.

Temperaturen af klimazonen har under forsøgene været mere svingende, end det er oplevet under undersøgelsen af transmissionskoefficient. Under forsøgene har de operative temperatursensorer målt lang højere temperaturer end den målte lufttemperatur og temperaturen som kølingen styres efter. Dette har gjort at varmen i zonen under forsøgene ikke aktiveres og da denne er tiltænkt at skulle stabilicere zonen, har det det større udsving på stabiliteten af zonen.

En anden parameter som har indflydelse på resultaterne kan være, at pyranometeret som er kalibreret ud fra naturlig solstråling, ikke er blevet påvirket af stråling af tilstrækkeligt høj intensitet under kalibreringen. Dette kan medføre en større usikkerhed på kalibreringen og derved påvirke hældningskoefficienten, a, for kalibreringsudtrykket for pyranometeret.

En løsning af på dette kunne være en kalibrering af hotboxen med den kunstige sol tændt. På baggrund af dette kunne muligvis opnås bedre resultater.

# Teoretisk beregning af transmissionskoefficient

I dette kapitel beregnes transmissionskoefficenten for de tre EnergyFrames på baggrund af [DS 418, 2011]. Slutteligt sammenlignes med resultaterne fra forsøgene i kapitel 5.

For at kunne bestemme effekten af EnergyFrames, beregnes den samlede transmissionskoefficient af de tre EnergyFrames kombineret med de tre vinduer, som er anvendt ved forsøgene. Da der for vinduet kun er kendt en samlet transmissionskoefficient, er det valgt at regne isolansen heraf som jævnt fordelt. Da EnergyFrames dækker både karm og rude, har dette ingen betydning for det samlede resultat. På baggrund af at rammen på EnergyFrames kun udgør 7,6 % af det samlede overfladeareal, er det valgt udelukkende at lave beregningerne på baggrund af løsningens materiale. Derfor negligeres ligeledes effekten af linjetab og kuldebroer, hvorfor det må forventes, at beregningen vil medføre en større forbedring end den målte. Transmissionskoefficienten beregnes som en 1D varmestrøm af formel 6.1 [DS 418, 2011, afsnit 6.1].

$$U = \frac{1}{R_{s,i} + R_{s,e} + \sum_{i=1}^{n} R_i}$$
(6.1)

Hvor:

UTransmissionskoefficient  $[W/m^2K]$  $R_{s,i}$ Overgangsisolans ved den indvendige overflade  $[m^2K/W]$  $R_{s,e}$ Overgangsisolans ved den udvendige overflade  $[m^2K/W]$  $R_i$ Isolans for de enkelte lag  $[m^2K/W]$ nAntal lag [-]

Dimensionerne af de tre vinduer og tre EnergyFrames varierer. De tre EnergyFrames er skitseret monteret på Inwido vindue 1, hvilket kan ses af figur 6.1.



*Figur 6.1.* Illustration af de tre EnergyFrames monteret på vindue med ramme. Området indenfor den stiplede røde linje er EnergyFrames.

For at kunne beregne transmissionskoefficienten, skal isolansen af de enkelte materialelag kendes. Som illustreret af figur 6.1 på forrige side, vil der skabes et hulrum mellem EnergyFrames og vindue. Dette hulrum vil påvirke den samlede isolans, og derfor skal effekten at dette også bestemmes.

# 6.1 Isolans af testvinduer

For at kunne beregne transmissionskoefficienten af vindue og EnergyFrames, skal isolansen af vinduernes materialelag bestemmes. Materialelagenes isolans beregnes af formel 6.2.

$$R_{i} = \frac{1}{U_{st}} - \left(R_{(s,i),st} + R_{(s,e),st}\right)$$
(6.2)

Hvor:

$R_i$	Isolans for de enkelte lag $[m^2K/W]$
$U_{st}$	Transmissionskoefficient $[W/m^2K]$
$R_{(s,i),st}$	Indvendig standardiseret overgangsisolans, se tabel B.1 $[m^2K/W]$
$R_{(s,e),st}$	Udvendig standardiseret overgangsisolans, se tabel B.1 $\rm [m^2K/W]$

På baggrund af formel 6.2, beregnes isolansen af de anvendte vinduer, hvilket er angivet i tabel 6.1.

Transmissionskoefficient		(	Opgive	t	Målt			
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3	
$U_{st,w}$	$[W/m^2K]$	2,71	$1,\!26$	$0,\!90$	$2,\!67$	$1,\!38$	$1,\!04$	
$R_{(s,i),st}$	$[m^2K/W]$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	
$R_{(s,e),st}$	$[m^2K/W]$	0,04	$0,\!04$	$0,\!04$	$0,\!04$	$0,\!04$	$0,\!04$	
$R_w$	$[m^2K/W]$	0,20	$0,\!62$	$0,\!94$	$0,\!20$	$0,\!55$	$0,\!79$	

**Tabel 6.1.** Isolans af anvendte vinduers samlede materialelag. Transmissionskoefficienter fra tabel 3.1 på side 15 og standardiserede overgangsisolanser fra tabel B.1 på side 138.

Af tabel 6.1 kan det ses at resultatet af beregningen af isolans ud fra opgivet og målt transmissionskoefficient, er tættest på hinanden jo mindre transmissionskoefficienten er.

# 6.2 Isolans af luftfyldte hulrum

Hulrummet der skabes mellem EnergyFrames og vindue, vil i sig selv skabe en isolans. Effekten heraf er afhængigt af dybden af hulrummet og om dette ventileres. Isolansen opdeles på baggrund af ventilationen af hulrummet, i følgende tre kategorier:

- Ikke ventileret hulrum
- Svagt ventileret hulrum
- Ventileret hulrum

Isolansen af disse hulrum, kan bestemmes på baggrund af [DS 418, 2011, afsnit 6.4], for luftfyldte hulrum, der:

- $\bullet$ er begrænset af parallelle flader vinkelret på varmestrømmen, med et emissionstal større end0.8
- har en tykkelse i varmestrømmens retning, der er mindre end 0,1 gange den mindste dimension af hulrummets længde eller bredde, dog højst 0,3 m

Begge disse forhold er overholdt, og derfor bestemmes hulrummets isolans på baggrund af [DS 418, 2011, afsnit 6.4].

### 6.2.1 Ikke ventileret hulrum

For et ikke ventileret hulrum, fastsættes isolansen af hulrummet efter tabel 6.2.

Hulrum	Ikke ventileret hulrum
[mm]	$[m^2K/W]$
0	0,00
5	$0,\!11$
7	$0,\!13$
10	$0,\!15$
15	$0,\!17$
25 - 300	$0,\!18$

Tabel 6.2. Isolans af ikke ventilerede hulrum ved vandret varmestrømsretning.[DS 418, 2011,<br/>tabel 6.4.1]

Hvis det isolerende lag mod det fri, har små åbninger, kan det betragtes som ikke ventileret, hvis det samlede åbningsareal ikke overstiger:

- $\bullet~5~{\rm cm^2}$  pr. m vandret længde for lodrette hulrum
- $5 \text{ cm}^2 \text{ pr. m}^2$  overflade areal for vandrette hulrum

Der kan altså være en begrænset ventilering af hulrummet, hvor det vil blive betragtes som ikke ventileret.

### 6.2.2 Svagt ventileret hulrum

Dette hulrum, er når det isolerende lag mod det fri har små åbninger, som overholder:

- $5 \text{ cm}^2 < \text{lodrette hulrum} < 15 \text{ cm}^2 \text{ pr. m vandret længde}$
- $5 \text{ cm}^2 < \text{vandrette hulrum} < 15 \text{ cm}^2 \text{ pr. m}^2$  overflade areal

For et svagt ventileret hulrum, anvendes halvdelen af isolansen for et ikke ventileret hulrum, hvilket angivet i tabel 6.2.

### 6.2.3 Ventileret hulrum

Hvis kravene til et ikke ventileret eller svagt ventileret hulrum ikke overholdes, betragtes hulrummet som ventileret. I denne situation vil isolansen af alle lag mellem hulrummet og den udvendige overflade ikke medtages og den udvendige overgangsisolans sættes lig den indvendige. For en vandret varmestrøm vil dette medføre, at den udvendige overgangsisolans sættes lig 0,13 m<sup>2</sup>K/W i stedet for 0,04 m<sup>2</sup>K/W.

### 6.2.4 Effekt af EnergyFrames tæthed

Effekten af de tre typer hulrum, er beregnet på baggrund af de tre vinduer, med et ikke ventileret, svagt ventileret og et ventileret hulrum. Beregningen er udført for en plade med en varmeledningsevne  $\lambda = 0,038$  W/mK, hvilket svarer til polystyrenpladen som er brugt som efterisolering. Hulrummets isolans er valgt efter mindst 25 mm hulrum. Beregningen ved at variere pladens tykkelse og ventileringsgraden af hulrummet og er udført uden indflydelse af rammen på EnergyFrames. Resultatet er illustreret af figur 6.2.



Figur 6.2. Samlet transmissionskoefficient afhængig af pladens tykkelse og ventilationen af hulrummet.

Af figur 6.2 kan det ses, at ved et ventileret hulrum har tykkelsen og derved isolansen af den anvendte EnergyFrames ingen indflydelse, hvilket er grundet, at alt udenfor hulrummet ikke medregnes, men at den ydre overgangsisolans blot sættes lig den indre overgangsisolans.

Det kan af figuren ligeledes ses at effekten af om hulrummet er ikke ventileret eller svagt ventileret er størst ved en lav isolans af den anvendte EnergyFrames. Dette sker på baggrund af, at når tykkelsen øges, vil effekten af hulrummet mindskes, da den udgør en mindre del af den samlede isolans.

### 6.2.5 Isolans af hulrum ved de tre EnergyFrames

I afsnit 3.2.3.1 på side 18 er det angivet, at tekstilen har et åbningsareal på 30 %, hvilket gør at kravene til ikke ventilerede og svagt ventilerede hulrum ikke er overholdt, da dette vil medfører en åbning på 3000 cm<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> overfladeareal. Derfor beregnes denne løsning med et ventileret hulrum, hvilket medfører at den ydre overgangsisolans skal være 0,13 m<sup>2</sup>K/W i stedet for 0,04 m<sup>2</sup>K/W.

Ved de to pladeløsninger, er pladens overflade tæt, men tætningen mellem rammen på vindue og EnergyFrames, som er vist på figur 6.1 på side 53, forventes ikke at slutte helt

tæt. Derfor er det valgt at beregne for et svagt ventileret hulrum. Rammen der monteres udvendigt på vinduet har en dybde større end 25 mm, og på baggrund af dette kan isolansen af hulrummet af tabel 6.2 på side 55 fastsættes til 0,18 m<sup>2</sup>K/W, og for et svagt ventileret hulrum, er isolansen halvdelen, altså 0,09 m<sup>2</sup>K/W.

# 6.3 Isolans af EnergyFrames

Isolansen af de enkelte EnergyFrames, bestemmes af formel 6.2 på side 54 ud fra de af producenten fastlagte transmissionskoefficienter, ligesom det er gjort for vinduerne. Da den sidste løsning er en efterisolering af den transparente pladeløsning, skal effekten af dette ligeledes bestemmes. Dette gøres af formel 6.3, på baggrund af tykkelsen af materialet og dets varmeledningsevne.

$$R_{EF} = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{i,EF} \tag{6.3}$$

Hvor:

 $\begin{array}{ll} R_{EF} & \mbox{Termisk isolans af EnergyFrames } [m^2 {\rm K} / {\rm W}] \\ d_j & \mbox{Tykkelse af ekstra materialelag } [m] \\ \lambda_j & \mbox{Varmeledningsevne af ekstra materialelag } [{\rm W} / {\rm mK}] \\ R_{i,EF} & \mbox{Isolans af standard EnergyFrames, se formel 6.2 på side 54 } [m^2 {\rm K} / {\rm W}] \\ \end{array}$ 

		Tolestildur	Transparent	Efterisoleret
		Tekstildug	plade	plade
$R_{(s,i),st}$	$[m^2K/W]$	0,13	0,13	0,13
$R_{(s,e),st}$	$[m^2K/W]$	0,04	$0,\!04$	0,04
$U_{st,EF}$	$[W/m^2K]$	_	$1,\!61$	$1,\!61$
$R_{i,EF}$	[W/mK]	_	$0,\!45$	$0,\!45$
$d_{Polystyren}$	[mm]	_	—	40,00
$\lambda_{Polystyren}$	[W/mK]	_	—	0,038
$R_{EF}$	$[m^2K/W]$	0,00	$0,\!45$	$1,\!50$

På baggrund af dette, er isolansen af EnergyFrames beregnet, hvilket er angivet i tabel 6.3.

**Tabel 6.3.** Isolans af anvendte EnergyFrames samlede materialelag. Transmissionskoefficienter fra tabel 3.1 på side 15 og standardicerede overgangsisolanser fra tabel B.1 på side 138.

Isolansen af tekstilen er udelukkende beregnet på baggrund af isolansen af hulrummet, og derfor beregnes ikke nogen isolans af EnergyFrames med tekstil. Dette er grundet den store åbningsgrad, hvorfor hulrummet fastlægges som ventileret. Derfor har den faktiske isolans af materialet ingen betydning i den videre beregning. Det ses at der på baggrund af denne beregning, uden indflydelse af rammen, vil være stor forbedring af isolansen, ved at efterisolere pladeløsningen.

# 6.4 Effekt af EnergyFrames på testvinduer

Isolansen af vinduer, hulrum og EnergyFrames er bestemt i afsnit 6.1-6.3. Transmissionskoefficienten beregnes af formel 6.4 som tager udgangspunkt i formel 6.1 på side 53.

$$U_{st,tot,calc} = \frac{1}{R_{(s,i),st} + R_{(s,e),st} + R_w + R_{hulrum} + R_{EF}}$$
(6.4)

Hvor:

$U_{st,tot,calc}$	Samlet transmissionskoefficient for vindue og Energy Frames $[\rm W/m^2 \rm K]$
$R_{(s,i),st}$	Overgangsisolans ved den indvendige overflade $[m^2K/W]$
$R_{(s,e),st}$	Overgangsisolans ved den udvendige overflade $[m^2K/W]$
$R_w$	Isolans af vindue $[m^2K/W]$
$R_{hulrum}$	Isolans af hulrum $[m^2K/W]$
$R_{EF}$	Isolans af EnergyFrames $[m^2K/W]$

På baggrund af formel 6.4 på forrige side, er de samlede transmissionskoefficienter for tekstil, transparent- og efterisoleret plade beregnet. Dette er gjort både på baggrund af de af producenten fastlagte og de målte transmissionskoefficienter for vinduerne. Resultaterne for de tre EnergyFrames er angivet i tabel K.1 - K.3 på bilag K. Den beregnede forbedring for de tre vinduer med de tre anvendte EnergyFrames, er angivet af figur 6.3, for de opgivne transmissionskoefficienter.



Figur 6.3. Beregnet forbedring og procentvis forbedring af vinduers transmissionskoefficient, ved anvendelse af EnergyFrames, på baggrund af opgivet transmissionskoefficienter for vinduerne.

Af figur 6.3 kan det ses at der på baggrund af beregningerne, vil være en forbedring af transmissionskoefficienten ved alle kombinationer af testvinduer og EnergyFrames. Forbedringen vil være størst ved den efterisolerede pladeløsning og mindst ved tekstilen. Den procentvise forbedring øges med transmissionskoefficienten af vinduet.

De beregnede procentvise forbedringer er angivet af tabel 6.4 på næste side, hvor der ligeledes er angivet, hvor stor afvigelse der er i forhold til de målte forbedringer, angivet i tabel 5.3 på side 49.

Transmissionskoefficient		(	Opgivet	J	Målt			
Inwido vindue		[-]	1	2	3	1	2	3
$U_{st}$		$[W/m^2K]$	2,71	$1,\!26$	$0,\!90$	$2,\!67$	$1,\!37$	$1,\!03$
	Tekstildug	[%]	1	-3	6	1	-3	6
Målt	Transparent plade	[%]	43	29	19	43	29	19
	Efterisoleret plade	[%]	54	39	30	54	39	30
Beregnet	Tekstildug	[%]	20	10	7	19	11	9
	Transparent plade	[%]	59	41	33	59	43	36
	Efterisoleret plade	[%]	81	67	59	81	69	62
	Tekstildug	[%]	3177	-439	21	3138	-468	38
Forskel	Transparent plade	[%]	40	39	73	39	47	91
	Efterisoleret plade	[%]	48	66	87	48	71	98

**Tabel 6.4.** Beregnet forbedring af transmissionskoefficient af anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames. Derudover sammenligning af målte og beregnede forbedringer.

Det kan ses af tabel 6.4, at det beregnede potentiale generelt er meget større end det målte. Dette kan skyldes at antagelserne om tætheden af hulrummet er for optimistiske, i forhold til de forhold der har været under forsøgene. Det forventes dog at hovedårsagen til afvigelserne er, at rammen har stor betydning og at det derfor ikke er tilstrækkeligt blot at undlade denne i beregningerne.

Rammens betydning bør være stor, da rammen er lavet af aluminium og er uisoleret, hvilket vil medføre en stor varmestrøm sammenlignet med den transparente og efterisolerede plade.

For tekstilen, kan det konkluderes i forhold til de målte resultater, at dugen ikke bør medtages i beregningerne af den samlede transmissionskoefficient, og at der derfor ikke skal medregnes et hulrum ved denne situation, men i stedet blot anvendes vinduets transmissionskoefficient.

# 6.5 Rammens effekt

For at fastlægge effekten af rammen, er det valgt at anse dennes indvirkning som et linjetab. Transmissionskoefficenten af vinduer, med hensyntagen til linjetab, kan beregnes af formel 6.5 på den følgende side [DS 418, 2011, afsnit 6.8.1].

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g + A_p \cdot U_p + A_f \cdot U_f + l_k \cdot \Psi_k}{A_g + A_p + A_f}$$
(6.5)

Hvor:

U Transmissionskoefficient vindue [W/m<sup>2</sup>K]

- $A_g$  | Glasareal [m<sup>2</sup>]
- $U_q$  | Transmissionskoefficient midt på rude [W/m<sup>2</sup>K]
- $l_g$  | Omkreds af glasareal [m]
- $\Psi_g$  | Linjetab for rudens afstandsprofil [W/mK]
- $A_p$  | Fyldningsareal [m<sup>2</sup>]
- $U_p$  | Transmissionskoefficient for fyldning [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_f$  | Rammekarmsareal [m<sup>2</sup>]
- $U_f$  | Transmissionskoefficient for rammekarm [W/m<sup>2</sup>K]
- $l_k$  Længde af andre lineære kuldebroer [m]
- $\Psi_k$  | Linjetab for andre lineære kuldebroer [W/mK]

Af formel 6.5, kan den samlede transmissionskoefficient for et vindue beregnes, ud fra transmissionskoefficient og areal af glas, eventuelle fyldninger og rammekarm, linjetab mellem vindue og karm og andre linjetab.

I denne situation haves en samlet transmissionskoefficient for vinduerne og EnergyFrames, og haves et ukendt linjetab grundet rammen. Derfor forkortes formlen, og hvorved formel 6.6 fremkommer. Ved at omskrive denne formel, kan linjetabskoefficienten grundet rammen bestemmes, som vist af formel 6.7.

$$U_{st,tot,meas} = U_{st,tot,calc} + \frac{l_k \cdot \Psi_k}{A_w}$$
(6.6)

$$\Psi_k = \frac{(U_{st,tot,meas} - U_{st,tot,calc}) \cdot A_w}{l_k} \tag{6.7}$$

Hvor:

Målt transmissionsko efficient af vindue med Energy Frames $[\rm W/m^2 K]$
Areal vindue $[m^2]$
Samlet transmissionsko efficient beregnet uden ramme $[\rm W/m^2 \rm K]$
Længde af andre lineære kuldebroer [m]
Linjetab for andre lineære kuldebroer $[W/mK]$

Da der er relativ stor forskel på målt og opgivet transmissionskoefficient for to af de tre vinduer, er det valgt udelukkende af udfører denne kontrol på baggrund af de målte transmissionskoefficienter. Beregningen af linjetabskoefficienten i de seks situationer, beregnet af formel 6.7, er angivet af tabel 6.5 på næste side

		Transparent plade			Efterisoleret plade			
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3	
$U_{st,meas}$	$[W/m^2K]$	2,67	$1,\!37$	$1,\!03$	$2,\!67$	$1,\!37$	$1,\!03$	
$U_{st,tot,calc}$	$[W/m^2K]$	1,09	0,79	$0,\!66$	$0,\!51$	$0,\!43$	$0,\!39$	
$A_w$	$[m^2]$	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$	
$l_k$	[m]	5,42	$^{5,42}$	$^{5,42}$	$^{5,42}$	$^{5,42}$	$5,\!42$	
$\Psi_k$	[W/mK]	0,150	$0,\!064$	0,062	$0,\!239$	$1,\!141$	$0,\!114$	

**Tabel 6.5.** Beregnet linjetabskoefficient.  $U_{st,tot,calc}$  kommer fra tabel K.2 og K.3 på baggrund af målte transmissionskoefficienter.

For at kunne beregne linjetabskoefficienten for ethvert vindue, bestemmes en lineær sammenhæng mellem linjetabskoefficienterne for henholdsvis den transparente og efterisolerede pladeløsning. For de to EnergyFrames er a, b og  $R^2$  for linjetabskoefficienten angivet i tabel 6.6.

	Transparent plade	Efterisoleret plade
a	0,057	0,076
b	-0,003	0,036
$R^2$	0,967	1,000

**Tabel 6.6.** a og b koefficienter til beregning af lineær linjetabskoefficient,  $\Psi_k$ , og R<sup>2</sup> som beskriver præcisionen.

De målte og og lineært beregnede linjetabskoefficienter er illustreret af figur 6.4.



*Figur 6.4.* Beregnede linjetabskoefficienter på baggrund af forsøg, og beregnede lineær linjetabskoefficienter afhængig af transmissionskoefficienten af vinduet.

Af figur 6.4, kan det ses at den lineære ligning for den efterisolerede plade, går igennem alle beregnede linjetabskoefficienter, og derfor er beskrivende for de målte situationer. For den transparente plade går den lineære ligning ikke igennem alle punkter, men ligger dog ikke langt fra.

# 6.6 Samlet transmissionskoefficient medregnet ramme

Transmissionskoefficienten med indflydelse af rammen, beregnes ud fra de i afsnit 6.4 på side 57 transmissionskoefficienter uden indvirkning af rammen, ud fra linjetabet bestemt i afsnit 6.5 på side 59, af formel 6.8, mens linjetabet beregnes af formel 6.9.

$$U_{st,tot} = U_{st,tot,calc} + \frac{l_k \cdot \Psi_k}{A_w} \tag{6.8}$$

$$\Psi_k = a \cdot U_{st,w} + b \tag{6.9}$$

Hvor:

$U_{st,tot}$	Transmissionskoefficient af vindue med EnergyFrames $[W/m^2K]$
$A_w$	Areal af vindue $[m^2]$
$U_{st,tot,calc}$	Samlet transmissionsko efficient beregnet uden ramme $[\rm W/m^2 \rm K]$
$l_k$	Længde af andre lineære kuldebroer [m]
$\Psi_k$	Linjetab for andre lineære kuldebroer $[W/mK]$
a	Hældningskoefficient for lineær linjetabskoefficient, se tabel 6.6 [-]
$U_{st,w}$	Transmissionskoefficient af vindue uden Energy Frames $\rm [W/m^2K]$
b	Skæringskoefficient for lineær linjetabskoefficient, se tabel 6.6 [-]

Resultatet af beregningen er angivet af tabel 6.7.

		Transparent plade			Efterisoleret plade		
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3
$A_w$	$[m^2]$	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$
$U_{st,tot,calc}$	$[W/m^2K]$	1,09	0,79	$0,\!66$	0,51	$0,\!43$	$0,\!39$
a	[-]	0,057	$0,\!057$	$0,\!057$	0,076	$0,\!076$	$0,\!076$
$U_{st,w,meas}$	$[W/m^2K]$	2,67	$1,\!37$	$1,\!03$	$2,\!67$	$1,\!37$	$1,\!03$
b	[-]	-0,003	-0,003	-0,003	0,036	0,036	0,036
$l_k$	[m]	5,42	$5,\!42$	$5,\!42$	5,42	$^{5,42}$	$^{5,42}$
$\Psi_k$	[W/mK]	0,148	$0,\!074$	$0,\!054$	0,239	$1,\!140$	$0,\!114$
$U_{st,tot}$	$[W/m^2K]$	1,534	$1,\!009$	$0,\!827$	1,220	$0,\!849$	0,731
Forbedring	[%]	43	26	20	54	38	29
Målt forbedring	[%]	43	29	19	55	40	31
Procentpoints forskel	[%]	0	3	-1	1	2	2

**Tabel 6.7.** Beregnet transmissionskoefficient af vinduer med EnergyFrames med indflydelse af rammen.

Af tabel 6.7 kan det ses, at der ved at medregne rammens indflydelse, vil opnås samme forbedring, eller få procentpoint fra. Derved er det nu muligt at beregne effekten af EnergyFrames på baggrund af at fastlægge transmissionskoefficienten af vindue og EnergyFrames, som i afsnit 6.4 på side 57, og efterfølgende beregne transmissionskoefficienten med rammens indflydelse, som det er gjort i dette afsnit.

# 6.7 Transmissionskoefficient af vinduer med EnergyFrames

I de foregående afsnit, er det dokumenteret, at det er muligt at beregne transmissionskoefficienten af vinduer med EnergyFrames Derfor er opstilles formel 6.10 til beregning af transmissionskoefficienten for et vindue med EnergyFrames af pladeløsningerne. Formlen tager udgangspunkt i beregningerne tidligere i kapitlet, og samler beregningerne i en formel.

$$U_{st,tot} = \frac{1}{R_{(s,i),st} + R_{(s,e),st} + R_w + R_{hulrum} + R_{EF}} + \frac{l_k \cdot (a \cdot U_{st,w} + b)}{A_w}$$
(6.10)

På baggrund af at isolansen af vinduet beregnes af formel 6.2 på side 54, kan  $R_{(s,i),st} + R_{(s,e),st} + R_w$  forkortes til  $1/U_{st}$ . Derved fås formel 6.11. Dette kan dog kun gøres ved ikke og svagt ventileret hulrun. For ventilerede hulrum skal effekten af  $R_{hulrum}$  og  $R_{EF}$  sættes lig 0.

$$U_{st,tot} = \frac{1}{\frac{1}{U_{st,w}} + R_{hulrum} + R_{EF}} + \frac{l_k \cdot (a \cdot U_{st,w} + b)}{A_w}$$
(6.11)

Hvor:

Be regnet transmissionskoefficient af vindue med Energy Frames $[\rm W/m^2 K]$
Indvendig standardiceret overgangsisolans, se tabel B.1 $[m^2K/W]$
Udvendig standardiceret overgangsisolans, se tabel B.1 $[m^2K/W]$
Isolans af vindue $[m^2K/W]$
Isolans af hulrum $[m^2K/W]$
Isolans af EnergyFrames, se tabel 6.3 $[m^2K/W]$
Samlet transmissionsko efficient beregnet uden ramme $[\rm W/m^2 K]$
Længde af andre lineære kuldebroer [m]
Hældningskoefficient for lineær linjetabskoefficient, se tabel $6.6$ [-]
Transmissionskoefficient af vindue uden EnergyFrames $[W/m^2K]$
Skæringskoefficient for lineær linjetabskoefficient, se tabel $6.6$ [-]
Areal vindue $[m^2]$

På baggrund af denne formel, kan transmissionskoefficienten for et vindue med EnergyFrames af de to pladeløsninger bestemmes, mens de tidligere er konkluderet der ikke vil forekomme nogen effekt af tekstilløsningen. Af figur 6.5 på næste side, er illustreret den beregnede transmissionskoefficient og forbedringen heraf, for de tre løsninger, ved anvendelse af vinduer med en transmissionskoefficient på 0,90-2,71 W/m<sup>2</sup>K.



Figur 6.5. Beregnet transmissionskoefficient og forbedring heraf som følge af EnergyFrames.

Af figur 6.5 kan det ses at der ingen effekt vil være af tekstilen, mens den efterisolerede plade vil medfører en større forbedring end den transparente. Det kan ligeledes ses at forskellen mellem de to pladeløsninger er stigende med transmissionskoefficienten af vinduet.
# Teoretisk beregning af **7** solvarmetransmittans

I dette kapitel beregnes solvarmetransmittansen for EnergyFrames på baggrund af [DS 13363, 2007]. Efterfølgende sammenlignes med resultaterne fra forsøgene i kapitel 5. Der beregnes ikke for den efterisolerede pladeløsning, da det antages at polystyrenpladen, vil medføre at transmittansen af denne løsning er lig 0.

Solvarmetransmittansen beregnes som en total transmittans ud fra en udvendig solafskærmning på et vindue. Figur 7.1 viser dette tilfælde.



Figur 7.1. Karakteristisk position af udvendig solafskærmning. [DS 13363, 2007, figur 2]

Hvor:

- 1. Udvendig
- 2. Solafskræmning
- 3. Ikke ventileret hulrum
- 4. Glas
- 5. Indvendig

Til beregning af den samlede solvarmetransmittans anvendes formel 7.1.

$$g_{g,tot} = \tau_{e,B} \cdot g_g + \alpha_{e,B} \cdot \frac{G}{G_2} + \tau_{e,B} \cdot (1-g) \cdot \frac{G}{G_1}$$

$$\tag{7.1}$$

$$G = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2}}$$
(7.2)

Hvor:

$g_{tot}$	Total solvar metransmittans af vindue og Energy Frames $[-]$
$ au_{e,B}$	Transmittans af afskærmning $[-]$
$g_g$	Solvarmetransmittans af rude $[-]$
$\alpha_{e,B}$	Absorption af afskærmning $[-]$
G	Termisk ledning $[W/m^2K]$
$G_2$	Termisk ledningskonstant $G_2 = 10 \; [W/m^2 K]$
$G_1$	Termisk ledningskonstant $G_1 = 5 \ [W/m^2K]$
$U_g$	Transmissionko efficient af rude $[\rm W/m^2 \rm K]$

	Transmission	Refleksion	Absorption
Tekstildug	0,30	$0,\!56$	0,14
Transparent plade	$0,\!64$	$0,\!30$	0,06

Transmissions-, refleksions- og absorptionskoefficient for de to EnergyFrames, som benyttes til beregning af solvarmetransmittans, er angivet af tabel 7.1.

**Tabel 7.1.** Materialedata for de to typer af EnergyFrames. [Stamisol, 2014] [Sabic Innovative Plastics, 2014b, side 11]

Tabel 7.2 indeholder dataet for ruderne i de tre vinduer som er benyttet i forsøgene.

Inwido vindue	1	2	3
Transmissionskoefficient rude	2,73	$1,\!13$	0,72
Termisk ledning	$1,\!51$	$0,\!84$	$0,\!59$
$\operatorname{Solvarmetransmittans}$	0,80	$0,\!63$	$0,\!50$

**Tabel 7.2.** Karakteristika for ruder. Transmissionskoefficienten for ruderne, er angivet på vinduerne, mens den termiske ledning er beregnet af formel 7.2 på foregående side og solvarmetransmittansen er angivet i tabel 3.1 på side 15.

Tabel 7.3 viser solvarmetransmittansen for de tre vinduer med EnergyFrames både målt og beregnet.

		Te	ekstildı	ıg	Trans	sparent	plade
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3
$g_{g,tot,calc}$	[-]	$0,\!28$	$0,\!22$	$0,\!18$	$0,\!56$	$0,\!45$	$0,\!36$
$g_{g,tot,meas}$	[-]	$0,\!62$	$0,\!54$	$0,\!46$	$0,\!54$	$0,\!50$	$0,\!45$
Beregnet ændring	[%]	65	65	65	30	29	28
Målt ændring	[%]	10	-4	6	22	4	8

Tabel 7.3. Beregnet og målt solvarmetransmittans for de tre vinduer.

Som det kan ses af tabel 7.3, er der for tekstildugen meget stor forskel på målt og beregnet ændring af den samlede solvarmetransmittans. Det skal dog tilføjes at resultaterne for målingerne virker meget små. For den transparente plade, er ændringerne, tættere på hinanden, men der er dog stadig en væsentlig forskel.

# Opsummering 8

På baggrund af undersøgelsen af transmissionskoefficient for de tre testvinduer, er der oplevet mindre divergens mellem målte og opgivet transmissionskoefficienter. Grunden til dette er at kalibreringen af den anvendte hotbox, har givet et specifikt varmetab til omgivelserne som har varieret i forhold til temperaturdifferensen. Herudover har isolansen af det omsluttende panel ligeledes varieret i forhold til temperaturdifferensen. På baggrund af dette må der påtænkes at være en hvis usikkerhed, hvilket sammenligningen mellem opgivet og målt transmissionskoefficient for vinduerne også viser.

Ud fra forsøgene af vinduer med EnergyFrames med tekstildug, er der fundet frem til at denne ikke har indflydelse på den samlede transmissionskoefficient. For pladeløsningerne er der fundet frem til at der vil være en forbedring. Denne forbedring vil være størst ved vinduer med høj transmissionskoefficient. Det er ligeledes fundet frem til, at en efterisoleret pladeløsning vil medføre en større forbedring af transmissionskoefficienten, men at den procentvise effekt heraf er faldende med vinduets transmissionskoefficient.

På baggrund af beregningen af den samlede transmissionskoefficient for vinduerne med plader, er det fastlagt at der ved beregning udelukkende på plade uden ramme vil forekomme forbedringen af den samlede transmissionskoefficient vil være op mod dobbelt så stor, især ved vinduer der har en lav transmissionskoefficient. Sammenholdes dette med beregningen med hensyn til rammens indflydelse, medfører det god sammenhæng med virkeligheden, kan det konkluderes, at den uisolerede ramme som kun står for 8 % af EnergyFrames overfladeareal, har meget stor indflydelse på forbedringen af transmissionskoefficienten ved anvendelse af EnergyFrames. På baggrund af dette må det formodes at en forbedring af rammen vil kunne medføre en endnu større effekt af anvendelsen af EnergyFrames med pladeløsninger. Med baggrund i beregningen er der fastlagt en metode, hvorved den samlede transmissionskoefficient kan fastlægges. Dette gøres af beregning på baggrund af valg af EnergyFrames og vinduets transmissionskoefficient. Metoden er dokumenteret at have en usikkerhed på forbedret på -1-3 procentpoint. Dette er fastlagt af sammenligning sammenligning af måling og beregning på de tre anvende vinduer med transparent og efterisoleret plade.

Ved undersøgelserne af solvarmetransmittans kan det ses, at den målte effekt er meget lille. På baggrund af dette er det valgt ikke at stole på resultaterne. Beregningen af solvarmetransmittans viser, at den samlede solvarmetransmittans vil være 65 % lavere end vinduets, ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug. Ved anvendelse af EnergyFrames med transparent plade viser beregningen, at effekten heraf er noget mindre, men at solvarmetransmittansen dog sænkes med 28 - 30 %.

Resultaterne viser at hvis der udelukkende ønskes solafskærmning, vil en tekstildug medføre en stor reduktion af tilført energi. Hvis der ønskes en isolerende løsning, vil den transparente plade medføre en reduktion i varmetab grundet reduceret transmissionskoefficient, men vil kun reducere tilførslen af solenergi med 28-30 %.

Ønskes det at opnå en endnu større reduktion af transmissionskoefficienten, vil der kunne anvendes en plade med større isolans, hvilket dog samtidigt vil medfører en større reduktion i tilførslen af solenergi. Beregningerne har dog vist at det primært er ved vinduer med høj transmissionskoefficient at dette vil være gavnligt, i form af at holde varmen i bygningen. Dette kan dog stadig anvendes ved bygninger hvor der ønskes en løsning som i perioder kan holde på energien, og i andre perioder, medfører en stor reduktion af energien der tilføres fra solen.

# Del II

# On-site undersøgelse af enfamiliehus



I denne del af rapporten arbejdes med et enfamiliehus i Nibe. Først vil der blive udført målinger på indeklima og energiforbrug i huset som det er uden EnergyFrames, hvilket skal danne grundlag for opbygning og kalibrering af en BSim model. Denne model anvendes senere til at beregne energiforbruget og indeklimaet i huset efter montering af EnergyFrames, hvilket der også måles på i huset. Disse modeller skal beregne energiforbruget for bygningen på årsbasis, for at kunne definere effekten af EnergyFrames.

# Enfamiliehus uden EnergyFrames

I dette kapitel beskrives enfamiliehuset som er udvalgt til testcase af EnergyFrames. Bygningens nuværende indeklima og energiforbrug beskrives ud fra målinger. Med udgangspunkt i målingerne opbygges en beregningsmodel i BSim, som benyttes til beregning af bygningens energiforbrug på årsbasis. Denne beregning skal benyttes i sammenhæng med beregning af bygningen med EnergyFrames, for at se en effekt af renovering med EnergyFrames. Kalibrering af anvendt måleudstyr er beskrevet i bilag F.

# 9.1 Bygningsbeskrivelse

Bygningen der er udvalgt som casehus, er et enfamiliehus beliggende sydøst for Nibe, som vist på figur 9.1.



Figur 9.1. Placering af casehus. [Google, 2014]

Huset er beliggende på Hobrovej 52 ved Nibe. Det er opført i 1973 og har et grundplansareal på 127 m<sup>2</sup>. Bygningen er valgt på baggrund af, at det er et gammelt hus, og det har behov for en renovering. Producenten af EnergyFrames vil gerne benytte EnergyFrames på nybyggeri såvel som renoveringer. I dette projekt tages der udgangspunkt i en renovering med EnergyFrames og resultaterne fra testhuset, vil vise om der i parksis vil ses en forbedring af husets energiforbrug. Huset er beboet af en familie bestående af to voksne og to små børn. Af figur 9.2 på den følgende side ses to af husets facader.



(a) Sydvest facade

(b) Nordvest facade

Figur 9.2. Sydvest og nordvest facade af testhuset.

Af figur 9.2(a) kan det ses, at der er et farveskift på taget. Grunden til dette er at der er lavet en tilbygning i 1984/1985. Tilbygningen er den del der har mørkere tag. Konstruktionernes opbygning er fundet fra tegninger af denne tilbygning og er antaget at være ens med resten af bygningen. Dette er gjort da der ikke findes data på resten af bygningen. I tabel 9.1 er konstruktionsopbygningerne benyttet til beregningsmodellen.

Konstruktion	Materiale	Længde [mm]	U-værdi $[W/m^2K]$
	Mursten	108	
Ydervæg	Isolering	75	$0,\!43$
	Mursten	108	
	Beton	20	
Gulv	Leca	100	$0,\!44$
	Beton	100	
	Eternit bølgeplader	_	
Tag	Lægter	—	$0,\!41$
	${\rm Isolering}/{\rm Spær}$	100	

Tabel 9.1. Konstruktionsopbygninger.

Huset er et to-planshus og grundplanen for henholdsvis stueplan og 1. sal er vist af figurerne 9.3 og 9.4 på næste side. Tilbygningen består af rum 1, 2, 3 og 10 som er vist på figur 9.3 og 9.4. Huset er forsynet med et olie og et koks fyr som begge er placeret i rum 5 som er Grovkøkkenet. Fyret afgiver meget energi til rummet som gør det væsentlig varmere end resten af rummene.



Figur 9.3. Grundplan af stueetagen for casehus. Nordøst facaden er nederst på tegningen.



Figur 9.4. Grundplan af førstsalen for casehus. Nordøst facaden er nederst på tegningen.

Førstesalen er anvendt til værelser og soverum, hvorfor etagen primært anvendes om natten.

## 9.2 Målinger

For at bestemme EnergyFrames indvirkning på energiforbruget, skal bygningens nuværende energiforbrug og indeklima klarlægges. Disse målinger skal danne grundlag for en beregningsmodel, som beregner energiforbruget på årsbasis. Derfor er det valgt at måle energiforbruget for bygningen, ved måling af bygningens strømforbrug og energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand. Derudover laves måling på indeklimaet for hele bygningen. Det er valgt at måle temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau. Af tabel 9.2 på den følgende side er det angivet hvilke målinger der udføres i rummene i husets stueetage.

Rum nr.	Rum navn	Temperatur	Relativ luftfugtighed	$\rm CO_2$ -niveau
1	Opholdsstue	х	х	х
2	Toilet	х	х	
3	Gang			
4	Køkken	х	х	х
5	Grovkøkken	х	х	х
6	Vindfang			
7	Trappegang	x	х	х
8	Bad	x	х	
9	Spisestue	х	Х	х

Tabel 9.2. Målinger i stueetagen.

Af tabel 9.3 er det angivet hvilke målinger der udføres i rummene på husets 1. sal.

Rum nr.	Rum navn	Temperatur	Relativ luftfugtighed	$\rm CO_2$ -niveau
10	Soveværelse	х	х	х
11	Stines værelse	x	х	x
12	Marks værelse	х	х	х
13	Gæsteværelse	х	х	х
14	Fordelingsgang	x	X	

Tabel 9.3. Målinger på 1. sal.

Målingen for huset er foretaget fra den 10. februar 2014 til den 24. marts 2014. Målingerne fra denne periode sammenlignes med en beregningsmodel, for at verificere at modellen repræsenterer virkeligheden. Dermed kan laves beregninger på baggrund af DRY for at lave beregninger for hele år.

I rapporten er det valgt at fremhæve resultaterne fra opholdsstuen og spisestuen, da det er i disse rum EnergyFrames opsættes og dermed også i disse rum der er størst mulighed for en ændring i indeklimaet. Resultaterne fra de andre rum findes på Appendix-CD i mappen "Måleresultater fra Nibe/Resultat uden EnergyFrame".

#### 9.2.1 Opholdsstue

Figur 9.5 på modstående side viser temperatur, relativ luftfugtighed og  $CO_2$ -niveau målt i opholdsstuen for perioden den 10. februar til den 24. marts. Det kan ses af figuren at der i rummet holdes en relativ høj temperatur i det meste af perioden på over 24 °C. Der er nogle få lavpunkter, men dette kan forklares med at der kan være blevet luftet ud i rummet.  $CO_2$ -niveauet varierer fra omkirng 500 ppm til omkring 900 ppm med få peak over. Den relative luftfugtighed ligger meget jævnt mellem 20 - 40 %. Ud fra  $CO_2$ -niveauet og den relative luftfugtighed i rummet, indikeres det at der enten opleves en lav belastning, eller et højt luftskifte.



Figur 9.5. Måleresultater for opholdsstuen. Hver gridpunkt på grafen angiver midnat.





Figur 9.6. Måleresultater for opholdsstuen for uge 7. Hver gridpunkt på grafen angiver midnat.

Ud fra figuren kan det ses, at CO<sub>2</sub>-niveauet begynder at stige i rummet fra omkring kl 12 dagligt, og dermed må der være aktivitet i huset.

### 9.2.2 Spisestue

Figur 9.7 viser temperatur, relativ luftfugtighed og  $CO_2$ -niveau målt i spisestuen for perioden den 10. februar til den 24. marts. I dette rum kan det ses, at temperaturen er meget stabil omkring 22 °C, dog med nogle få punkter med lave temperaturer. I forhold til opholdsstuen varierer  $CO_2$ -niveauet og den relative luftfugtighed mere, hvilket kunne indikerer, at dette rum har en større personbelastning.  $CO_2$ -niveauet varierer fra omkring 500 ppm til 1300 - 1400 ppm med få peak over. Den relative luftfugtighed varierer omkring 40 %, og kommer over 60 % ved flere lejligheder.



Figur 9.7. Måleresultater for spisestuen. Hver gridpunkt på grafen angiver midnat.

Figur 9.8 på næste side viser målingerne for uge 7.



Figur 9.8. Måleresultater for spisestuen for uge 7. Hver gridpunkt på grafen angiver midnat.

På ugebasis ser temperaturen rigtig jævn ud. Det samme gør den relative luftfugtighed, som har sine toppunkter på samme tid som  $CO_2$ -niveauet. Det kan ses på  $CO_2$ -niveau at det stiger fra omkring kl 12 til kl 24 hvorefter den falder igen.

#### 9.2.3 Resultater for alle rum

Figur 9.9 og 9.10 viser minimum, maksimum og middel for temperatur og  $CO_2$ -niveau for alle rum i bygningen. Af figur 9.9 kan det ses at den gennemsnitlige temperatur er forholdsvis høj i alle rum undtagen gæsteværelset. Grunden til at temperaturen er lav i dette rum er fordi det normaltvis ikke benyttes. Ydermere kan det ses at der er stor variation i temperatur. For at beregningsmodellen kan vise det korrekte energiforbrug er det vigtigt at disse temperatursvingninger medtages.



Figur 9.9. Middeltemperatur målt med maksimum og minimum vist.

Figur 9.10 viser minimum, maksimum og middel  $CO_2$ -niveau for hele bygningen. Niveauet vist i figuren er det absolutte niveau altså med udeniveau. Som det kan ses af figuren er niveauet for hele bygningen meget lavt. Da der ikke er mekanisk ventilation i bygningen, kan det lave niveau betyde at bygningen er meget utæt, at der luftes meget ud eller også kan det være fordi alle rum holdes åbne og dermed er der et stort volumen  $CO_2$ -indholdet kan opblandes i.



Figur 9.10. Gennemsnitligt CO<sub>2</sub>-niveau målt med maksimum og minimum vist.

### 9.2.4 Energiforbrug

Figur 9.11 viser energiforbruget pr. dag opdelt på varmt brugsvand, elforbrug og rumopvarmning.



Figur 9.11. Energiforbrug for måleperioden sammenholdt med udetemperaturen.

Det kan ses af figur 9.11, at energi til rumopvarmning står for langt den største del af det samlede energiforbrug. Det ses også at udetemperaturen har en stigende tildens, mens energiforbruget har en faldende. Hvilket passer godt overens med hvad der forventes.

VBV	El	Rum opv	Total
[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
145	361	4973	5479

Tabel 9.4. Energiforbrug målt over perioden fordelt på varmt brugsvand, el og rumopvarmning.

Tabel 9.4 viser det summerede energiforbrug for perioden fordelt på de tre forskellige energiforbrugende systemer.

#### 9.2.5 Infiltration

Til simulering af bygningens energiforbrug og indeklima er det vigtigt, at have fastlagt alle inputparametre. For at bestemme infiltrationen af de forskellige rum, benyttes den målte  $CO_2$ -koncentration. Når koncentrationen i rummet er faldende, og da der ikke er nogen form for mekanisk ventilationsanlæg, vil det være utætheden i klimaskærmen, der vil fjerne  $CO_2$ -koncentration. På baggrund af fortyndingsligningen fås ligning 9.1 på den følgende side, som beregner luftskiftet på baggrund af  $CO_2$ -koncentrationen [Aalborg Universitet, 1997].

$$q_{inf} = \frac{\ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right)}{\tau_2 - \tau_1} \tag{9.1}$$

Hvor:

$q_{inf}$	Luftskifte på baggrund af gas koncentration $[h^{-1}]$
$c_1$	Gaskon centration ved tiden $\tau_1$ [ppm]
$c_2$	Gaskoncentration ved tiden $\tau_2$ [ppm]
$ au_2$	Tid [h]
$ au_1$	Tid [h]

Ligning 9.1 udtrykker det nødvendige luftskifte for at fjerne den målte ændring af  $CO_2$ niveau til forskellen i tid. Figur 9.12 viser et eksempel af fundne maksimum og minimum koncentrationer for spisestuen for den 12. februar.



Figur 9.12. CO<sub>2</sub>-koncentration med maks. og min. punkter for spisestuen den 12. febuar. Kryds indikere et maksimumpunkt og bolle indikere et minimumspunkt.

Figur 9.13 på næste side viser et eksempel af fundne maksimum og minimum koncentration for opholdsstuen for den 15. februar.



Figur 9.13. CO<sub>2</sub>-koncentration med maks. og min. punkter for opholdsstuen den 15. febuar.

Rum	Opholdsstue	Spisestue	Spisestue Køkken		n Trappegang
	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$
Min	0,007	0,011	0,012	0,011	0,016
Mean	0,048	0,076	0,060	$0,\!114$	0,085
Max	0,120	0,227	$0,\!135$	0,363	0,200
Rum	Gæsteværelse	Marks v	ærelse	Soveværelse	Stines værelse
	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	<sup>L</sup> ]	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$
Min	0,009	0,01	6	0,014	0,013
Mean	0,033	0,08	6	0,074	0,089
Max	0,071	0,21	1	$0,\!174$	0,233

I tabel 9.5 ses de beregnede ventilationsmængder for de forskellige rum.

Tabel 9.5. Beregnet infiltration ud fra CO<sub>2</sub>-niveauet.

### 9.3 BSim model

Der opbygges en model af bygningen i BSim. Modellen skal afspejle det målte indeklima på samme tid med at den benytter det samme energiforbrug som er målt over perioden. BSim-modellen er opbygget som huset er og har et volumen på  $382,19 \text{ m}^3$  og et opvarmet etageareal på  $182 \text{ m}^2$ . Information omkring konstruktioner og rummene kan ses i bilag L i tabel L.1 til L.16.

Modellen er opbygget med alle 14 rum med hver sin termiske zone, for bedre at kunne styre energiforbruget og dermed temperaturen i hvert rum. Figur 9.14 på næste side viser et 3D model af huset fra BSim.



Figur 9.14. BSim model af huset.

For at kunne kalibrere BSim-modellen med målingerne, er det vigtigt, at have de samme udeforhold som under måleperioden og derfor skal målingerne fra vejrstationen benyttes i modellen. Grundet problemer med kalibrering af udstyr til solmåling og relativ luftfugtighed, kan disse ikke benyttes. Istedet er det valgt at benytte data fra en vejrstation i Silkeborg for disse parametre [Vejret i Silkeborg, 2014]. Vejrdataet der benyttes i modellen kan ses i figur 9.15.



*Figur 9.15.* Udeklima benyttet i modellen. Temperatur og vind er målt i Nibe. Sol og relativ luftfugtighed er målt i Silkeborg [Vejret i Silkeborg, 2014].

For at få modellen til at passe med målingerne, er middel infiltrationerne først sat ind i modellen som basis luftskifte og disse er sat til at kunne variere efter udeforhold. Herefter er der set på sammenhængen mellem målt og simulerede temperaturer ud fra minimum, maksimum og middel. Der er set på alle disse fordi der har været stor variation på rumtemperaturen hen over måleperioden som vist af figur 9.9 på side 78. Dermed skal modellen også kunne variere tilsvarende i rumtemperatur. Temperaturen er kalibreret ved at justere opvarmningseffekten på hvert rum individuel, og derefter er middeltemperaturen kontrolleret med middeltemperaturen fra målingerne. Når disse har passet, er der set på minimum og maksimum og har disse ikke varieret nok eller for meget er der ændret på setpunktstemperaturen indtil forholdene er fundet tilfredsstillende. Figur 9.16 viser sammenhængen mellem den målte og simulerede temperatur for huset.



Figur 9.16. Sammenhæng mellem målt og beregnet temperatur.

Den optimale beregningsmodel vil give sammenhængen hvor de målte værdier er lig de beregnede, men dette er ikke muligt. Det kan ses af figur 9.16 at temperaturen i simuleringen minder om hvad der er målt over perioden den 10. februar til den 24. marts. Af figuren kan det ses at der ved målingen er målt lave temperaturer i Spisestuen, men beregningen viser højere temperaturer. Dette kan skyldes at rummet har været udluftet, hvilket ikke er medtaget i beregningen. For at kunne sige noget om sammenhængen mellem de målte og beregnede data, er der beregnet Pearson korrelationskoefficient for hvert rum. Pearson korrelationskoefficient er en værdi der kan være mellem -1 og 1. Hvis værdien giver nul er der ingen korrelation, hvorimod hvis den er -1 eller 1 er der hhv. negativ eller positiv korrelation. Tabel 9.6 viser korrelationskoefficienterne for hvert rum.

Opholdsstue	Spisestue	Køkken	Grovkøkk	en Tra	ppegang	g Gæsteværelse
[-]	[—]	[—]	[-]		[—]	[—]
-0,30	-0,03	-0,21	$0,\!01$		-0,03	$0,\!17$
Marks værels	e Sovevær	else Stir	ies værelse	Toilet	Bad	Fordelingsgang
[-]	[-]		[—]	[—]	[—]	[—]
0,11	-0,19		0,04	-0,33	-0,03	-0,19

Tabel 9.6. Pearson korrelationskoefficient for tempearturen i hver rum.

Som det kan ses af tabel 9.6 på forrige side er korrelationskoefficienterne forholdsvis lave hvilket betyder der ikke er stor korrelation mellem de målte værdier og de beregnede. For at kunne acceptere simuleringsmodellen som værende troværdig mangler det at energiforbruget minder om det målte. Sammenligningen af energiforbruget kan ses i figur 9.17.



Figur 9.17. Sammenhæng mellem målt og beregnet energiforbrug.

Af figur 9.17 kan det ses, at energiforbruget ved målingen og simuleringen minder om hinanden med enkelte timeværdier som ligger langt fra. Pearson korrelationskoefficient for energiforbruget er beregnet til 0,44. I tabel 9.7 sammenlignes det summerede energiforbruget mellem målingen og simuleringen. Som det kan ses, er forskellen omkring 2%, og dermed accepteres modellen som være troværdig.

Energi målt	Energi beregnet	Forskel
[kWh]	[kWh]	[%]
5334	5427	$1,\!7$

Tabel 9.7. Energiforbrug målt og beregnet for energi til El og rumopvarmning.

# Enfamiliehus med EnergyFrames 10

I dette kapitel arbejdes videre med målinger i Nibe efter EnergyFrames er opsat. BSimmodellen opdateres til at inddrage EnergyFrames og der laves igen en kalibrering af modellen så den passer med målingerne.

# 10.1 Bygningsbeskrivelse

Den eneste ændring der er sket på bygningen er at der er opsat EnergyFrames på nogle udvalgte rum. Rummene der er udvalgt til at have EnergyFrames er Opholdsstuen og Spisestuen som er to tilstødende rum og kan ses på figur 10.1.



Figur 10.1. Grundplan af stueetagen for casehus. Nordøst facaden er nederst på tegningen.

Det er alle vinduerne i disse rum der er opsat EnergyFrames på. På figur 10.1 er disse vinduer vist med et nummer. Grunden til at disse rum er valgt er fordi brugerne normalvis benytter afskærmning i form af gardiner og dermed vil de kunne bruge EnergyFrames i stedet. Brugerne afskærmer både for at holde solskær væk, men også for at dække af til omgivelserne. Dette sker ikke i andre rum og dermed opsættes der ikke EnergyFrames på andre rum. På denne baggrund er det vurderet, i samråd med Inwido og beboerne, at det er for disse rum at EnergyFrames vil benyttes mest. Rummene der er udvalgt vender mod hhv. nordøst og sydøst. På figur 10.2 på næste side ses de to facader hvor der er opsat EnergyFrames.



(a) Nordøst facade



(b) Sydøst facade

(c) Nordøst facade



EnergyFramen der er benyttet er en pladeløsning, som udelukkende et brugerstyret. Pladen der benyttes er en transparent plast plade som virker isolerende og er valgt i samråd med Inwido og brugeren. Materialeparametrene for pladen kan ses i tabel 10.1.

	Tykkelse	U-værdi	g-værdi
	[mm]	$[W/m^2K]$	[-]
LT2UV206RS30	20	$1,\!61$	0,64

Tabel 10.1. Materialedata for pladeløsning. [Sabic Innovative Plastics, 2014a]

## 10.2 Målinger

Målingerne er foretaget fra den 21. april til 26. maj og er foretaget som beskrevet i kapitel 9. Udover målingerne beskrevet i kapitel 9, måles positionen af EnergyFramen på hver vindue, for at kunne implementere brugerstyringen i beregningsmodellen.

## 10.2.1 Opholdsstue

Figur 10.3 på næste side viser målingerne i Opholdsstuen.



Figur 10.3. Måleresultater for Opholdsstuen.

Ved at sammenligne figur 10.3 med figur 9.5 på side 75, kan det ses at temperaturen er faldet lidt og at  $CO_2$ -niveauet er steget. At  $CO_2$ -niveauet er steget kunne betyde at der ikke luftes ud så tit efter EnergyFrames er opsat, da EnergyFrame skal køres væk fra vinduet for at det kan åbne. EnergyFrames har ligeledes ikke været indjusteret korrekt, hvilket har betydet at, de ikke kører helt fra, men stopper lidt før. Dette har gjort at ved forsøg på at åbne vinduer, har vinduet ramt imod EnergyFramen. Dette skyldes udelukkende en justeringsfejl og er ikke en generel effekt af at anvende produktet. At temperaturen er faldet kunne indikere at rumopvarmning er slukket.

### 10.2.2 Spisestue

Figur 10.4 på den følgende side viser måleresultaterne for Spisestuen.



Figur 10.4. Måleresultater for Spisestuen.

Ved at sammenligne figur 10.4 med figur 9.7 på side 76, kan det igen ses at  $CO_2$ -niveauet er steget. Temperaturen er også blevet mere varierende.

#### 10.2.3 Resultater for alle rum

Figur 10.5 viser minimum, maksimum og middel af temperaturen målt i huset. Som det kan ses af grafen varierer temperaturen meget.



Figur 10.5. Middeltemperatur målt med maksimum og minimum vist.

Figur 10.6 viser minimum, maksimum og middel af  $CO_2$ -niveau. Igen er gennemsnittet meget ens i hele bygningen. Ved at se på maksimum kan det ses at Spisestuen har det højeste niveau. Dette kunne indikere at det er dette rum der benyttes mest, eller også at de ikke udlufter så meget her som i de andre rum.



Figur 10.6. Middeltemperatur målt med maksimum og minimum vist.

#### 10.2.4 EnergyFrames

For at kunne implementere EnergyFrames i beregningsmodellen, er det nødvendigt at vide hvordan brugerne benytter systemet. Dette gøres ved at fastlægge sandsynligheden for om EnergyFrames benyttes eller ej på timebasis. Sandsynligheden bestemmes for hverdage og for weekender da huset benyttes anderledes i disse to tilfælde. Figur 10.7 på næste side viser den procentvise placering af EnergyFrames for hverdage på timebasis, hvilket ligeledes er illustreret for weekender af figur 10.8 på den følgende side.



Figur 10.7. Placering af EnergyFrames på timebasis for hverdage. Vinduets placering er angivet af figur 10.1 på side 85.

Som det kan ses af figur 10.7 er EnergyFrames næsten altid for på alle vinduerne fra kl 24 til 7. Udenfor dette tidsrum benyttes EnergyFramen lidt forskelligt. I tidsrummet 8 til 16 benyttes EnergyFramen oftere end den er fra. I tidsrummet 17 til 23 benyttes EnergyFramen næsten ikke i Spisestuen og for Opholdsstuen er det samme tildens som i tidsrummet 8 til 16.



Figur 10.8. Placering af EnergyFrames på timebasis for weekender. Vinduets placering er angivet af figur 10.1 på side 85.

Som det kan ses af figur 10.8 på modstående side er EnergyFrames altid for på alle vinduerne fra kl 23 til 6. Udenfor dette tidsrum benyttes den igen lidt forskelligt, hvor den oftes ikke benyttes. Eftersom figur 10.7 på forrige side og 10.8 på modstående side er gennemsnitsværdier og der kun er målt over 5 uger laves gennemsnittet over 5 værdier. Som det kan ses af figurerne er EnergyFramen kun delvis for i nogle timer og dette er ikke sket ved målingerne. Dette gør det svært at lave en generel styring benyttet. Derfor laves et plot af placeringen over hele perioden som kan ses i figur 10.9 og 10.10. Figur 10.9 viser EnergyFrames placering på timebasis for hele måleperioden for Spisestuen. Fra disse grafer ses en tildens til, at EnergyFramen i dette rum benyttes fra kl. 23 til kl. 8.



Figur 10.9. EnergyFrames placering for Spisestuen. 100 % betyder er EnergyFramen er helt for.Vinduets placering er angivet af figur 10.1 på side 85.

Figur 10.10 på den følgende side viser EnergyFrames placering på timebasis for hele måleperioden for Opholdsstuen. Fra graferne kan det ses at EnergyFramen benyttes mere i Opholdsstuen end i Spisestuen. Igen kan der ses en tildens til at EnergyFrames benyttes fra kl. 23 til kl. 8, dog benyttes EnergyFramen mere udenfor dette tidsrum end i Spisestuen.





Figur 10.10. EnergyFrames placering for Opholdsstuen. 100 % betyder er EnergyFramen er helt for. Vinduets placering er angivet af figur 10.1 på side 85.

Da styringen af solafskærmningen med skodder i BSim er meget simpel, laves en simpel styring. Derfor vælges det at benytte en styring der kører EnergyFrames for kl. 23 til 8.

For at kunne bestemme hvorfor brugerne anvender EnergyFrames som de gør, er udleveret et afkrydsningsskema de skal udfylde når de ændrer placeringen af EnergyFramen på hver vindue. For at gøre det lettere for brugeren at bestemme hvorfor de benytter EnergyFramen er der defineret grunde som kan ses i tabel 10.2.

For vinduet	Fra vinduet
Dagslys	Dagslys
Isolering	Solvarme
Kigge ind	Udluftning
Andet	Udsyn
	Andet

Tabel 10.2. Kategorier for begrundelse til benyttelse af EnergyFrames.

Figur 10.11 på modstående side viser den procentvise fordeling for, begrundelsen til at køre EnergyFrames for vinduerne. På hverdage og i weekenden benyttes EnergyFrames hovedsagligt for at afskærme mod omgivelserne, men også for at isolere.



Figur 10.11. Begrundelse for at køre EnergyFrames for vinduet for henholdsvis hverdage og weekender.

Figur 10.12 viser den procentvise fordeling for grunden til at køre EnergyFrames fra vinduerne. Igen er grunden den samme i både weekender og i hverdage. Grunden til at køre EnergyFramen fra vinduet er for at få sollys ind i bygningen, men også for at kunne se ud.



Figur 10.12. Begrundelse for at køre EnergyFrames fra vinduet for henholdsvis hverdage og weekender.

Ved spørgeskemaerne har "andet" bestået af test af EnergyFrames og rengøring af vinduer.

#### 10.2.5 Energiforbrug

Figur 10.13 på den følgende side viser energiforbruget for bygningen sammen med udetemperaturen.



Figur 10.13. Energiforbrug for måleperioden sammenholdt med udetemperaturen.

Af figur 10.13 kan det ses at rumopvarmningen er slukket den 21. maj.

Tabel 10.3 viser det samlede energiforbrug for måleperioden.

VBV	El	Rum opv	Total
[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
137	277	1176	1589

Tabel 10.3. Energiforbrug målt over perioden fordelt på varmt brugsvand, el og rumopvarmning.

## 10.3 BSim model

BSim modellen der benyttes af huset er den samme som beskrevet afsnit 9.3 på side 81. EnergyFrames indsættes i modellen som skodder og værdierne der benyttes kan ses i tabel 10.4.

Isolans	$0,\!451$
${ m Solvarmetransmittans}$	$0,\!64$
Temperatur setpunkt	40
Tidsangivelse	23-8

Tabel 10.4. Input værdier af EnergyFrames til BSim.

Skodder i BSim styres ud fra et temperatur setpunkt. Hvis udetemperaturen er højere end det valgte setpunkt indenfor tidsangivelsen benyttes skodden ikke. Ved denne simulering er der valgt et højt setpunkt, for at skodden altid benyttes indenfor tidsangivelsen. Isolansen angivet er isolansen af EnergyFramen uden overgangsisolans.

Figur 10.14 på næste side viser sammenhængen mellem de målte og simulerede temperaturer. For at få modellen til at passe overens med målingerne er der ændret på setpunkterne i forhold til den første model. Dette er gjort fordi temperaturen generelt

har været lavere i denne periode hvilket indikere at setpunktstemperaturen i bygningen er sænket. Af figur 10.14 kan det ses at der er en rimelig sammenhæng mellem målingerne og beregningerne. Der kan igen ses en mindre forskel i resultaterne og setpunkterne angivet i modellen er ramt flere gange.



Figur 10.14. Sammenhæng mellem målt og beregnet temperatur.

Figur 10.15 viser sammenhængen mellem energiforbruget målt og energiforbruget beregnet. Her er der større forskel på mellem målingerne og beregningerne.



Figur 10.15. Sammenhæng mellem målt og beregnet energiforbrug.

For at kunne acceptere denne forskel skal der ses på det samlede energiforbrug. Det samlede energiforbrug i beregningen og ved målingen er vist i tabel 10.5.

Energi målt	Energi beregnet	Forskel
[kWh]	[kWh]	[%]
1423	1447	$1,\!69$

Tabel 10.5. Energiforbrug målt og beregnet for energi til El og rumopvarmning.

Der kan af tabel 10.5 ses at der kun opleves en lille en forskel mellem modellen og virkligheden og dermed accepteres modellen.

# Potientiale af EnergyFrames 11

I dette kapitel undersøges potientialet af EnergyFrames for enfamiliehuset. Dette gøres både med en simpel beregning der viser om der bør være en forbedring ved beregningsmodellerne og med beregningsmodellerne bestemt i kapitel 9 og 10. Beregningsmodellerne simuleres med og uden EnergyFrames, for at kunne bestemme potientialet af EnergyFrames på bygningen på årsbasis.

# 11.1 Teoretisk forbedring med EnergyFrames

Måleperioderne som er benyttet som baggrund for beregningsmodellerne, har været meget korte. Dette har gjort det svært at lave en ordenlig model for bygningen. Derfor laves en simpel beregning på forbedringen af transmissionstabet for at eftervise om det bør være muligt at se en forskel på modellerne. Da EnergyFrames kun benyttes på udvalgte rum vil et muligt potentiale være bestemt af hvor meget af klimaskærmen der forbedres. Fordelingen af klimaskærmen kan ses i tabel 11.1.

Konstruktion	Areal	Andel af klimaskærmen
	$[m^2]$	[%]
Væg	$114,\!44$	$28,\!17$
Gulv	$127,\!28$	$31,\!33$
Tag	$130,\!88$	$32,\!22$
Vinduer i alt	$33,\!62$	8,28
Vinduer med EnergyFrame	$11,\!43$	2,81

Tabel 11.1. Fordeling af konstruktionstyper for bygningen.

I forhold til den samlede klimaskærm sker der kun en ændring på 2,81 %. Da andelen der ændres er meget lille og vil det være meget svært at se en ændring af energiforbruget på modellerne. For yderligere at bestemme potentialet på bygningen laves en simpel beregning for hver konstruktions transmissionstab. Resultaterne af transmissionstabet kan ses i tabel 11.2.

Konstruktion	Areal	U-værdi	Specifik Varmetab
	$[m^2]$	$[W/m^2K]$	[W/K]
Væg	$114,\!44$	$0,\!43$	49,21
Gulv	$127,\!28$	$0,\!44$	$56,\!00$
Tag	$130,\!88$	$0,\!41$	$53,\!66$
Vinduer	$22,\!19$	$2,\!60$	$57,\!69$
Vinduer uden EnergyFrame	$11,\!43$	$2,\!60$	29,72
Vinduer uden EnergyFrame	$11,\!43$	1,52	$17,\!37$

Tabel 11.2. Transmissionstab for konstruktionsdele af bygningen.

Som det kan ses af tabel 11.2 er det en meget lille del af klimaskærmen der består af vinduer med EnergyFrames. Ved beregning af disse vinduer med og uden EnergyFrames

fås et specifik varmetab på henholdsvis 17,37 og 29,72 W/K. Dette er en forbedring på 41,56 % for vinduerne. Ved at bestemme transmissionstabet for hele bygningen, fås et tab på 246,29 W/K uden brug af EnergyFrames og 233,94 W/K med. Dette giver en forbedring for bygningens transmissionstab på 5 %, altså bliver resultatet meget anderledes ved at se på bygningen som helhed. Ud fra dette resultat vil effekten af EnergyFrames på årsbasis nok ende med at være småt, hvorfor det på baggrund af målinger er svært at fastlægge.

## 11.2 BSim beregning

I kapitel 9 på side 71 og 10 på side 85 er det fastslået at der er forskellige kontrolstrategier for opvarmningen. Disse to forskellige kontrolstrategier for hvert rum implementeres i samme model. Modellen beregnes med og uden EnergyFrames. Resultatet af disse to simuleringer kan ses i tabel 11.3.

Energitype	Uden EnergyFrames	Med EnergyFrames	Forskel
	[kWh pr. år]	[kWh pr. år]	[%]
Opvarmning	30470	30294	$0,\!58$
Infiltration	-17213	-17367	-0,89
Solstråling	7655	7463	$2,\!51$
Personbelastning	4198	4198	0
Udstyr	1937	1937	0
Transmission	-27046	-26524	$1,\!93$

Tabel 11.3. Energiforbrug med og uden EnergyFrame.

Fra tabel 11.3 kan det ses at der er en meget lille forbedring ved brug af EnergyFrames. I modellen er EnergyFrames sat til at være benyttet fra kl 23 til 8 alle årets dage. Dette giver dermed en forbedring af ca. 3 % af den samlede klimaskærm på 37,5 % af året, altså en meget lille forbedring. I beregningsmodellerne er varmeanlægget sat til at kunne variere meget i temperatur, da dette er målt.

For bedre at kunne se en effekt af EnergyFrames er det måske mere rimeligt at sætte et varmeanlæg op i bygningen der altid kan holde setpunktstemperaturen. Dette vil holde en konstant temperatur i bygningen og dermed vil svingningerne i varmeanlægget fra kalibreringsmodellerne ikke medtages. Resultatet af denne beregning kan ses i tabel 11.4.

Energitype	Uden EnergyFrame	Med EnergyFrame	Forskel
	[kWh pr. år]	[kWh pr. år]	[%]
Opvarmning	32264	31538	2,25
Infiltration	-18204	-18193	0,06
Solstråling	7681	7492	$2,\!46$
Personbelastning	4198	4198	0
Udstyr	1937	1937	0
Transmission	-27875	-26972	$3,\!24$

Tabel 11.4. Energiforbrug med og uden EnergyFrame ved konstant temperatur.

Som det kan ses af tabel 11.4 er der en forbedring, selvom den stadig er lille. Dette passer meget godt overens med den simple beregning, nemlig at der bør være en forbedring, selvom den er lille.

# opsummering 12

BSim modellerne er lavet på baggrund af meget korte måleperioder, som har været usædvanlig varme i forhold til normalen. Dette har gjort at det er svært at stole helt på modellerne. Modellerne er også begrænset af systemerne i BSim. For bedre at medtage alt der er sket i bygningen, bør hvert system sættes til at styre efter hver målt timeværdi. Dette vil være utrolig tidskrævende og derfor er der lavet simplere styringer. Dog har det samlede energiforbrug for bygningen passet meget godt overens med målingerne.

Ud fra den simple beregning af bygningen er det vist at casen der er valgt til at eftervise effekten af EnergyFrames i praksis kun har opsat EnergyFrames på cirka 3 % af den samlede klimaskærm. Da andelen af klimaskærmen der er ændret er så lav vil det medføre at det er utrolig svært at se en ændring i bygningens energiforbrug.

Ved at se på forbedringen af vinduerne, har den simple beregning vist at forbedringen vil være i omegnen af 40 % for transmissionstabet. For hele klimaskærmen vil potentialet være cirka 5 %. Ved en beregning i BSim med konstant indetemperatur har potentialet være omkring 3 % på transmissionstabet.

Alt dette viser at der ikke i parksis kan ses en forbedring af bygningen, da der næsten ingen ændring er sket. Dog viser de simple beregninger at der bør være en forbedring, selvom den er lille.
# Del III

# Karakterisering af EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug

-				
-		8		

I denne del foretages karakterisering af EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug ud fra bygningssimuleringer. Simuleringen udføres for bygninger fra forskellige perioder, for at undersøge om der vil forekomme det samme potentiale for alle bygninger. Undersøgelsen udføres for alle undersøgte EnergyFrames.

For at fastlægge potentialet af produktet, udarbejdes forskellige styringsstrategier. Alle strategier undersøges på alle casebygninger. Ud fra resultaterne, vurderes det om det er samme strategier der vil være bedst for alle bygninger og om det er for alle retninger der vil forekomme et potentiale. Da energiforbruget i stor grad afhænger af mikroklimaet, varieres dette for at kontrollere robustheden.

# **Bygningers energiforbrug**

I dette kapitel gennemgås en generel undersøgelse af bygningers energiforbrug. Undersøgelsen tager udgangspunkt i en model af et etagehus, hvor materialeparametre for vinduer og ydervæg varieres. For at kontrollere vejrforholdenes indvirkning anvendes forskelligt vejrdata, hvilket ligeledes beskrives. Undersøgelsen danner grundlag for analyse af EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug på baggrund af forskellige styringsstrategier.

## 13.1 Model

Modellen der anvendes, er opstillet på baggrund af et etagehus, defineret i [SBi 213, 2002] som eksempel i beregningsprogrammet Be10. En illustration af bygningen kan ses af figur 13.1.



Figur 13.1. Anvendt etagehus. [SBi 213, 2002, side 111]

Etagehuset indeholder 12 lejligheder fordelt på tre etager. Bygningen er opdelt i seks mindre lejligheder, med et bruttoareal på 65,5 m<sup>2</sup> og seks større lejligheder, med et bruttoareal på 91,2 m<sup>2</sup>. Bygningen er defineret med en altan på 5 m<sup>2</sup> til hver lejlighed. Denne altan udelades dog af beregningerne, for at holde modellen simpel. På denne måde udelades eventuelle effekter af skygge grundet altanerne.

Bygningens grundplan måler 34,0x10,6 m, og facaden har en højde på 9,0 m, hvilket medfører at bygningen har et samlet facadeareal på 802,8 m<sup>2</sup>, hvor af 243,0 m<sup>2</sup> af arealet udgøres af vinduer og yderdøre. Dette svarer til 30 % af arealet. I beregningerne defineres dette udelukkende som vinduer, og fordeles jævnt på alle facader. Facaderne mod nord og syd har et areal på 306,0 m<sup>2</sup>, mens facaderne mod øst og vest har et areal på 95,4 m<sup>2</sup>. Det er valgt at have 30 % vinduesareal i alle orienteringer, for at have et ens grundlag til at vurdere effekten af EnergyFrames på. Bygningens bebyggede areal er 360,4 m<sup>2</sup>, hvilket medfører et samlet opvarmet areal på 1081,2 m<sup>2</sup>. Bygningen er defineret med en uopvarmet kælder som ikke medtages i denne beregning.

Bygningen har balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding med en temperaturvirkningsgrad på 70 %. I bygningen er behovstyret udsugning fra køkken og badeværelse, med en nominel luftstrøm på 35 l/s pr. lejlighed. For bygningen er angivet en infiltration på 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup>.

## 13.2 Beregningsprogram

Det er valgt at anvende et beregningsprogram udviklet af [Liu, 2013] til at simulere energiforbruget for bygninger. Programmet beregner efter samme princip som beregningsprogrammet BSim. Dette program beregner dog energiforbruget for en bygning, baseret på et energiforbrug for bygningens facader individuelt. Det er valgt at anvende dette beregningsprogram, da programmet muliggør at definere forskellige styringsstrategier. [DS/EN ISO 13790, 2008; EN 410, 1998; EN 673, 2002]

## 13.2.1 Bygningens facade

Facaden er defineret som et samlet areal, der opdeles på væg og vinduer. For facaden fastlægges orienteringen som enten, nord, syd, øst eller vest. Facadens vægandel er defineret ud fra et areal og en transmissionskoefficent, mens facadens vinduer og EnergyFrames defineres ud fra areal, transmissionskoefficient og solvarmetransmittans. Transmissionstabet gennem tag og terrændæk medtages ikke i beregningen.

## 13.2.2 Intern belastning

Bygningens interne belastning er defineret som 10  $W/m^2$  i bygningens brugstid. Beregningsprogrammet er defineret til beregninger for kontorbygninger. Derfor defineres i programmet arbejdstiden for hverdage, hvilket er ændret, så der ligeledes kan beregnes for boliger, og derfor er ændret så der kan defineres en tilstedeværelse mandag-fredag og en tilstedeværelse for weekenden, lørdag-søndag. Brugstiden er defineret til at være 16-7 i hverdage og 0-24 i weekender.

## 13.2.3 Varme, køling og ventilation

Varmen beregnes ud fra et defineret set punkt, som er valgt til 20 °C. Ligeledes er kølingen, hvor det er valgt at fastsætte setpunktet til 25 °C. Ventilationen af bygningen er defineret som en infiltrationsmængde og en mekanisk ventilationsmængde.

Da denne beregning både fokuserer på ældre og nyere bygninger er det valgt at fastsætte en højere infiltration, for at være mere beskrivende for den gennemsnitlige anvendte bygning. Det er valgt at bruge samme infiltration for alle bygninger, for at udelukke denne effekt når bygningerne senere sammeholdes. Infiltrationen er 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> på baggrund af modellen. Den mekaniske ventilation er defineret til 1,2 l/s pr. m<sup>2</sup>.

## 13.2.4 Kontrolstrategi for naturlig ventilation

Programmet har en kontrol af naturlig ventilation på baggrund af et setpunkt af indeog udetemperaturen. Det er valgt at anvende denne funktion, så naturlig ventilation kan aktiveres når indetemperaturen overstiger 23 °C når udetemperaturen er mindst 12 °C.

## 13.2.5 Vejrdata

Programmet anvender vejrdata fra DRY og er udelukkende påvirket af udetemperaturen og stråling fra solen. Solens stråling er defineret som direkte og diffus stråling på en nord-, syd-, øst- og vestvendt lodret facade.

## 13.2.6 Energiforbrug

Energiforbruget for bygningen beregnes ud fra et energiforbrug til varme, køling og ventilation. Programmet giver ligeledes mulighed for at medregne energiforbruget til

belysning, men dette er valgt ikke at have aktiveret, for at udelukke denne effekt. Effekten af belysning vil kunne sænke forbruget til varme og hæve behovet for køling. Det er antaget at belysning er med i den interne belastning. Da programmet regner for en facade af gangen, er det samlede energiforbrug for bygningen, fastlagt som summen af de fire facaders energiforbrug.

## 13.3 Definition af cases

EnergyFrames er tiltænkt at kunne anvendes ved både nybyggeri og renoveringsopgaver. Det er det essentielt at danne grundlag for analyse af bygninger med forskellig materialekarakteristika. Derfor er defineret otte bygningsperioder, som skal danne grundlag for byggeri af forskellig perioder:

- 1850 1930
- 1931 1950
- 1951 1960
- 1961 1972
- 1973 1978
- 1979 1998
- 1999 2006
- 2007 2011

Perioderne er defineret på baggrund af byggeår. For hver byggeperiode defineres en casebygning, som vil være beskrivende for byggeri i denne kategori. Derfor defineres materialeparametre for hver casebygning. For at fastlægge de mest sandsynlige materialedata benyttes data fra Be10 beregninger benyttet ved byggetilladelser for nybyggeri og renovering af etageboliger fra [Jensen, 2014]. Ud fra dataet bestemmes de gennemsnitlige materialeværdier for hver defineret byggeperiode.

Der er ligeledes defineret tre casebygninger på baggrund af de tre Inwido vinduer, som er anvendt til hotbox forsøg. De tre casebygninger, har alle en ens og lavere transmissionskoefficient af ydervæggen sammenholdt med de otte resterende casebygninger. Bygningerne skal danne grundlag for analyse af nybyggeri med forskellige vinduer. Materialekarakteristika for casebygningerne er angivet af tabel 13.1 på den følgende side.

	Vinc	lue	Væg	Vægtet	
Bygning	U-værdi	g-værdi	U-værdi	U-værdi	
	$[W/m^2K]$	[-]	$[W/m^2K]$	$[W/m^2K]$	
1850 - 1930	2,60	0,72	$1,\!00$	1,48	
1931 - 1950	2,60	0,72	$1,\!07$	$1,\!53$	
1951 - 1960	2,54	$0,\!63$	$1,\!01$	$1,\!47$	
1961 - 1972	2,48	0,70	$0,\!92$	$1,\!39$	
1973 - 1978	$2,\!59$	$0,\!68$	$0,\!80$	$1,\!34$	
1979 - 1998	2,48	0,70	$0,\!38$	$1,\!01$	
1999 - 2006	$1,\!66$	$0,\!60$	$0,\!30$	0,71	
2007 - $2011$	$1,\!62$	$0,\!65$	$0,\!23$	$0,\!65$	
Inwido 1	2,71	0,80	0,13	0,90	
Inwido $2$	1,26	$0,\!63$	$0,\!13$	$0,\!47$	
Inwido 3	0,90	$0,\!50$	$0,\!13$	$0,\!36$	

**Tabel 13.1.** Materialedata fra BBR-registeret og for tre konstruktioner baseret på anvendte Inwido vinduer. Den vægtede transmissionskoefficient er facadens gennemsnitlige U-værdi, udfra andel af facadens samlede konstruktion.

På baggrund af modellen beskrevet i afsnit 13.1 på side 103, definerer materialeparametrene i tabel 13.1 de 11 casebygninger.

## 13.4 Vejrdata

For at kunne analysere robustheden af EnergyFrames indflydelse på bygningers energiforbrug, udføres beregningerne udover på baggrund af DRY vejrdata ligeledes for vejrdata målt i Danmark for årene 1975-1989. Beregningsprogrammet er afhængig af udetemperaturen og solstråling. Variationen heraf dokumenteres på baggrund af månedsværdier illustreret ud fra maksimum-, middel- og minimumstemperaturer. Af figur 13.2 er udetemperaturen illustreret.



Figur 13.2. Månedlig udetemperatur på baggrund af vejrdata for 1975-1989.

Af figur 13.2, kan det ses at der forekommer størst variation af udetemperaturen i vinterperioden, hvor en maksimale måledlige variation i omegnen af 11  $^{\circ}$ C. Variationen er

mindre i sommerperioden, hvor variationen ligeledes er mere stabil og 3-5 °C. Den direkte og diffuse solstråling er illustreret af figur 13.3.



Figur 13.3. Månedlig direkte og diffus solstråling på baggrund af vejrdata for 1975-1989.

Af figur 13.3 kan det ses, at der generelt vil være mest stråling om sommeren og at strålingsniveauet af den direkte stråling vil være højest. Ligeledes ses det at variationen af den direkte stråling er langt større end den diffuse. Da det vides at solstråling kan medføre et kølebehov, ses det af figuren, at det er relevant at variere vejrdata, for at analysere effekten af EnergyFrames.

## 13.5 Energiforbrug af casebygninger

Energiforbruget for de 11 casebygninger er simuleret på baggrund af de 16 forskellige vejrdata og det årlige energiforbrug for hver casebygning er illustreret af figur 13.4.



Figur 13.4. Årligt energiforbrug for casebygningerne.

Det kan af figur 13.4 på forrige side ses, at alle casebygningernes energiforbrug er mærkbart påvirket af vejrforholdene. Det ses at der generelt vil være et fald i årligt samlet energiforbrug, jo nyere byggeår bygningen har. På baggrund af disse simuleringer er det gennemsnitlige energiforbrug for de 11 casebygninger fastlagt som gennemsnitsværdi for de 16 år. Dette kan ses af figur 13.5, hvor variationen af det samlede energiforbrug pr m<sup>2</sup> for årene ligeledes er illustreret.



Figur 13.5. Gennemsnitligt energiforbrug for casebygninger.

Energiforbrugene fra figur 13.5 er angivet af tabel 13.2.

	${ m Energiforbrug} \; [{ m kWh/m^2} \; { m pr. \ {lpha}r}]$					
Bygning	Opvarmning	Køling	Ventilation	Total		
1850 - 1930	181,88	$5,\!14$	46,29	$233,\!30$		
1931 - 1950	$184,\!97$	$5,\!03$	$46,\!29$	$236,\!29$		
1951 - 1960	$184,\!82$	$3,\!92$	$46,\!29$	$235,\!04$		
1961 - 1972	$176,\!85$	$5,\!04$	$46,\!29$	$228,\!18$		
1973 - 1978	$174,\!43$	$4,\!86$	$46,\!29$	$225,\!58$		
1979 - 1998	$153,\!06$	$6,\!06$	$46,\!29$	$205,\!41$		
1999 - 2006	$137,\!60$	$5,\!17$	$46,\!29$	$189,\!05$		
2007 - $2011$	$132,\!00$	$6,\!33$	$46,\!29$	$184,\!63$		
Inwido 1	142,95	8,55	46,29	197,79		
Inwido $2$	$121,\!56$	$6,\!64$	$46,\!29$	$174,\!50$		
Inwido 3	119, 19	$4,\!45$	$46,\!29$	$169,\!93$		

Tabel 13.2. Gennemsnitligt energiforbrug for casebygninger.

Af figur 13.5, kan det ses at energiforbruger er faldende jo nyere en bygning der er simuleret for. Det kan samtidigt ses at energiforbruget især er faldende for perioderne 1979-1998 og 1999-2006. For bygningerne viser simuleringerne generelt at energiforbruget vil variere

omkring  $\pm$  35-45 kWh/m<sup>2</sup> per år. Energiforbruget til ventilation er konstant for alle bygningerne uanset byggeperiode på baggrund af en konstant ventilationsmængde for alle bygninger. Derudover er energiforbruget til ventilation udelukkende drift af anlægget. Opvarmning og køling af ventilationsluften indgår i disse kategorier. Det ses at kølebehovet for bygningerne generelt set er begrænset. Dog ses der at, ved at sammenholde med materialeparametrene for de 11 casebygninger angivet i tabel 13.1 på side 106, at de største kølebehov fremkommer ved kombinationen af høj solvarmetransmittans og og lav transmissionskoefficient.

På baggrund af de tre bygninger opstillet ud fra Inwido vinduerne, kan det af figur 13.5 på modstående side ses, at vinduerne har stor indflydelse på energiforbruget for bygningerne. Det ses at bygningen med vinduet med størst transmissionskoefficient vil have et energiforbrug, som svarer til en bygning opført i årene 1979-2006. Det kan ligeledes ses at bygningerne med vinduerne med de lavere transmissionskoefficienter, generelt har de laveste energiforbrug. Derfor er forudsætningerne opfyldt i forhold til, at disse bygninger skal danne baggrund for bygninger opført efter 2011, som forventes at have et lavere energiforbrug.

# EnergyFrames indvirkning 14 på bygningers energiforbrug

I dette kapitel bestemmes EnergyFrames effekt på bygningers energiforbrug på baggrund af forskellige styringsstrategier. Undersøgelsen udføres for en model af et etagehus ud fra 11 forskellige bygninger fra forskellige byggeperioder. Grundlaget for undersøgelsen er beskrevet i kapitel 13. EnergyFrames indvirkning på vinduers materialeparametre fastlægges på baggrund af undersøgelser udført i projektets Del I.

## 14.1 EnergyFrames på casebygninger

For de 11 casebygningers vinduer fastlægges materialeparametrene, transmissionskoefficient og solvarmetransmittans, ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug, transparent eller efterisoleret plade. Materialeparametrene beregnes på baggrund af undersøgelserne i projektets Del I, hvor det er dokumenteret at transmissionskoefficienten kan beregnes af formel 6.11 på side 63. Metoden er dog kun baseret på vinduer af størrelsen 1480x1230 mm. Solvarmetransmittansen kan beregnes af formel 7.1 på side 65. Materialeparametrene angivet i tabel 14.1 er beregnet ud fra disse formler.

	Tekstildug		Transpare	nt plade	Efterisoleret plade	
Bygning	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi
	$[W/m^2K]$	[-]	$[W/m^2K]$	[-]	$[W/m^2K]$	[-]
1850 - 1930	2,60	0,26	1,52	$0,\!52$	1,12	0,00
1931 - 1950	$2,\!60$	$0,\!26$	$1,\!52$	$0,\!52$	$1,\!12$	$0,\!00$
1951 - 1960	2,54	$0,\!24$	$1,\!50$	$0,\!48$	$1,\!10$	$0,\!00$
1961 - 1972	2,48	$0,\!26$	1,48	$0,\!51$	$1,\!09$	$0,\!00$
1973 - 1978	2,59	$0,\!25$	$1,\!52$	$0,\!50$	$1,\!12$	$0,\!00$
1979 - 1998	2,48	$0,\!26$	$1,\!48$	$0,\!51$	$1,\!09$	$0,\!00$
1999 - 2006	$1,\!66$	$0,\!22$	$1,\!16$	$0,\!45$	0,85	$0,\!00$
2007 - 2011	1,62	$0,\!23$	$1,\!14$	$0,\!47$	$0,\!84$	$0,\!00$
Inwido 1	2,71	0,28	1,56	$0,\!56$	1,15	0,00
Inwido $2$	1,26	$0,\!22$	0,96	$0,\!45$	0,73	$0,\!00$
Inwido 3	0,90	$0,\!18$	0,76	$0,\!37$	0,59	$0,\!00$

**Tabel 14.1.** Transmissionskoefficient og solvarmetransmittans for de 11 vinduer med EnergyFrames med tekstildug, transparent og efterisoleret plade.

Materialeparametrene i tabel 14.1, danner grundlag for den videre undersøgelse af EnergyFrames indvirkning på bygningers energiforbrug.

## 14.2 Styringsstrategier

Styringen af EnergyFrames, har betydning for bygningers energiforbrug, da strategien har indvirkning på energibalancen over vinduet. Styringen vil være afhængig af om der er tale om en isolerende og solafskærmende løsning, altså en pladeløsning, eller om der er tale om en løsning der udelukkende er solafskærmende, altså en tekstilløsning.

## 14.2.1 Styring af tekstilløsning

Tekstilløsningen påvirker udelukkende solvarmetransmittansen, og derved vil denne løsning udelukkende påvirke energiforbruget, ved at nedsætte kølebehovet. Styring af denne løsning, sker på baggrund af følgende tre styringsstrategier.

#### Strategi 1 - Kølebehov

Denne styring vil aktivere solafskærmning, når der opstår et kølebehov.

## Strategi 2 - Udenfor brugstid

Denne styring vil aktivere solafskærmningen, når der ikke er tilstedeværelse af bygningens brugere.

## Strategi 3 - Kølebehov og ingen tilstedeværelse

Denne styring vil aktivere solafskærmning, når der opstår et kølebehov, dog kun hvis brugeren ikke er tilstede.

Styringsstrategierne er vist som diagrammer af figur M.1-M.3 på bilag M.

I perioder hvor EnergyFrames med tekstildug aktiveres, vil der kunne forekomme en reduktion i tilførelsen af naturligt lys, som vil medfører et øget behov for kunstigt lys. Dette medtages ikke i beregningerne.

## 14.2.2 Styring af isolerende og solafskærmende plader

Pladeløsningerne påvirker både termisk transmissionen og solvarmetransmission grundet solens stråling gennem vinduet. Denne type EnergyFrames, har to funktioner, nemlig at mindske energitabet når der opstår et varmebehov, og at mindske energitilskuddet når der forekommer et kølebehov.

Når et varmebehov er opstået, skal EnergyFrames:

- køres for, når dette vil medfører en større reduktion i transmissionstab end det medførte fald i solvarmetransmission.
- køres fra, når dette vil medfører en større ændring i solvarmetransmission end den medførte forbedring i transmissionstab grundet ekstra isolans.

Dette skal sikre at, energitilskuddet gennem vinduet udnyttes i situationer, hvor dette vil medføre et større tilskud end reduktionen i transmissionstab grundet øget isolans. På samme måde vil EnergyFrames, ved et kølebehov skulle:

- køres for, når dette vil medføre en større reduktion i solvarmetransmission end reduktionen der vil opstå i transmissionstab.
- køres fra, når dette vil medfører en mindre stigning i solvarmetransmission end stigningen i transmissionstab.

Dermed skal EnergyFrames reducere den tilførte energi fra solen, i situationer hvor transmissionstabet ikke sænkes så meget, at denne reduktion er større end det energi der solenergi der afskærmes. Styringen af EnergyFrames vil dog ikke kun ske på baggrund af effektivisering af energiforbruget, men vil i høj grad også være påvirket af bygningens brug. Derfor er der opstillet seks parametre, som styringen af EnergyFrames kan påvirkes af. Styringen af EnergyFrames vil ske på baggrund af:

#### • Udenfor brugstid

Denne styring vil afskærme i perioder hvor brugeren ikke er tilstede i bygningen.

#### • Natafskærmning

Natafskærmningen vil medfører at der i perioden kl 22-7 vil være aktivering af EnergyFrames.

#### • Solopgang og -nedgang

Solopgang og -nedgang, medfører at der i perioden hvor solen er på himlen ikke vil blive aktiveret EnergyFrames.

#### • Varmebehov

Styring i forhold til varmebehovet vil medfører, at EnergyFrames aktiveres, i perioder hvor der er brug for tilførelse af varme i bygningen for at opretholde setpunktstemperaturen for bygningen.

#### • Kølebehov

Styringen vil aktiverer EnergytFrames i perioder, hvor der opstår et kølebehov i bygningen.

#### • Energibalance

Da aktivering af EnergyFrames påvirker tilførelsen af energi fra solen og transmissionstabet, vil styring efter dette medføre, styring efter behov, kun sker ud fra en energibalance som viser, at styringen vil medføre den ønskede effekt

#### • Tilstedeværelse af brugeren

Tilstedeværelsen af brugeren vil som udgangspunkt medfører, at det i brugstiden, ikke vil være muligt at aktivere EnergyFrames. Styringen vil dog i kombination med natafskærmning, lade denne styring aktivere.

Styringen vil ligeledes kunne ske på baggrund af en kombination af disse. Det er valgt at beregne for 14 styringer, som er listet i det følgende. Styringerne kan have modsigende interesser, i disse situationer, vil det være beskrevet i stratergierne herunder, hvilken parameter som vil være dominant.

#### Strategi 1 - Tilstedeværelse

Denne styring vil aktivere EnergyFrames i de perioder, hvor brugeren ikke er tilstede. Da det er defineret at brugeren ikke er tilstede i tidsrummet 7-16 på hverdage, vil denne styring aktivere 2349 timer årligt.

#### Strategi 2 - Natafskærmning

Styringen aktiverer EnergyFrames hver nat fra kl 22-7. Styringen er simpel og vil køre ens hver dag hele året, og har til formål at mindske varmetabet når udetemperaturen over døgnet er lavest. Samtidigt vil denne styring primært være for når brugeren normalt sover, og derfor ikke genere udsynet. Denne styring vil være for 3285 timer om året svarende til 38 % af tiden.

#### Strategi 3 - Natafskærmning og udenfor brugstid

Denne styring aktiverer EnergtFrames hver nat mellem kl 22-07, og vil ligeledes aktivere EnergyFrames når der ikke er tilstedeværelse i rummet/bygningen. Styringen kombinerer styring 1 og 2, og vil afskærme 5634 timer årligt.

#### Strategi 4 - Solopgang og -nedgang

Denne styring aktiverer EnergyFrames når solen er gået ned og indtil solopgang. På denne måde vil der ikke opstå en reduktion af tilskud fra solen. Styringen vil være aktiv 4303 timer årligt, svarende til 49 % af tiden.

#### Strategi 5 - Solopgang og -nedgang og udenfor brugstid

Denne styring aktiverer EnergyFrames når solen er nede, ligesom styring 3, og vil derudover aktivere når der ikke er tilstedeværelse i rummet/bygningen. Derfor vil styringen mindst aktivere EnergyFrames 4303 timer på baggrund af dagslængden, men perioder uden tilstedeværelse vil øge antallet af aktive timer. Ud fra defineret brugstid vil dette medføre at EnergyFrames aktiveres 6561 timer årligt.

#### Strategi 6 - Varmebehov

Denne styring vil aktivere EnergyFrames for vinduet når der opstår et varmebehov i bygningen.

#### Strategi 7 - Varmebehov hvis ingen tilstedeværelse

Denne strategi vil aktivere EnergyFrames i perioder hvor der er et varmebehov, men kun hvis brugeren ikke er tilstede i bygningen.

#### Strategi 8 - Varmebehov hvis ingen tilstedeværelse og natafskærmning

Denne styring aktiverer EnergyFrames ligesom styring 6, men vil dog i perioder med varmebehov stadig aktivere EnergyFrames i perioden fra kl 22-7.

#### Strategi 9 - Varmebehov og energibalance

Denne styring vil aktivere EnergyFrames når der er et varmebehov i bygningen, hvis en energibalance viser positiv effekt heraf.

#### Strategi 10 - Varmebehov og energibalance hvis ingen tilstedeværelse

Denne styring vil aktivere EnergyFrames ligesom styring 6, men vil dog kun kunne gøre det, i perioder hvor der ikke er tilstedeværelse i bygningen.

Strategi 11 - Varmebehov, energibalance, tilstedeværelse og natafskærmning Denne strategi vil aktivere EnergyFrames ligesom styring 9, men vil dog altid aktivere mellem kl 22-7, hvis der er et varmebehov.

#### Strategi 12 - Varme-, kølebehov og energibalance

Denne styringsstrategi vil tage højde for energibalancen over vinduet, på baggrund af om der er et behov for varme eller køling. Dette betyder at EnergyFrames vil aktiveres i perioder hvor der er et varmebehov samtidigt med at energitabet over vinduet vil være større uden EnergyFrames end med. Ligeledes vil EnergyFrames aktiveres i perioder hvor der er behov for køling samtidigt med at energitabet over vinduet med EnergyFrames vil være større end med blot gennem vinduet. Dette vil sige at den aktiveres når der er et kølebehov og transmissionstabet er mindre end tilskuddet fra solen.

- Strategi 13 Varme-, kølebehov og energibalance hvis ingen tilstedeværelse Denne strategi aktiverer EnergyFrames på samme måde som strategi 11, men vil dog ikke kunne være aktiv når der er tilstedeværelse af brugeren.
- Strategi 14 Varme-, kølebehov og energibalance hvis ingen tilstedeværelse og natafskærmning

Denne strategi kører som strategi 12, men tager højde for at der om natten, altså perioden fra kl 22 - 7, vil kunne aktiveres EnergyFrames selvom brugeren er tilstede.

Styringsstrategierne er vist som diagrammer af figur N.1-N.14 på bilag N.

En parameter som ikke er medregnet i dette, er EnergyFrames effekt på energiforbruget til kunstig belysning. Da aktivering af EnergyFrames vil medfører en reduktion i den tilførte solstråling, vil dette medfører en reduktion i tilførelsen af naturligt lys. Dette kan medfører at der oftere vil være tændt for den kunstige belysning. Dette vil der dog ikke blive taget højde, da effekten herpå ikke er dokumenteret i målingerne, og det ikke er sikkert, at brugeren vil slukke lyset, i perioder hvor det naturlige lys er tilstrækkeligt.

## 14.3 Strategiers indvirkning på energiforbrug

For at undersøge EnergyFrames indvirkning på energiforbruget for casebygningerne, er energiforbruget for de 11 casebygninger simuleret med de tre forskellige EnergyFrames. Disse 33 cases er simuleret for hver styringsstrategi tilhørende den anvendte type EnergyFrames, som hver er simuleret på baggrund af DRY og 15 års vejrdata for årene 1975-1989. Da undersøgelsen skal klarlægge EnergyFrames indvirkning på energiforbruget, sammenholdes dette med energiforbruget for bygningen uden EnergyFrames, hvilket er beskrevet i kapitel 13.

Undersøgelsen af EnergyFrames tager derfor udgangspunkt i simulering af ialt 22.528 facader, fordelt på 704 facader uden EnergyFrames, 2.112 facader med EnergyFrames med tekstildug og 19.712 facader med EnergyFrames med pladeløsning fordel lige på transparent og efterisoleret plade. Det er væsenligt at være opmærksom på at beregningerne sker for en facade ad gangen og at den samlede bygning er summen af de fire facader. Derfor svarer det sammenlagt til simulering af 5.632 bygninger, der er varieret på baggrund af byggeperiode, vejrdata, EnergyFrames og styringsstrategi.

Resultaterne af casebygningerne med EnergyFrames er beregnet som, en gennemsnitlig forbedring af energiforbruget i forhold til casebygningen uden EnergyFrames. Undersøgelsen er udført med 16 forskellige vejrdata. Der er ligeledes beregnet en standard afvigelse, hvilket er beskrivende for variationen af forbedringen. Standardafvigelsen beregnes på baggrund af formel 14.1 på næste side.

$$S = \left(\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2\right)^{1/2}$$
(14.1)

Hvor:

- $S \mid$  Standardafvigelse
- $n \mid$  Antal cases
- $i \mid$  Første medregnede case
- $x \mid Variabel$
- $\overline{x}$  | Sandt gennemsnitlig af variabel x for alle cases

Da solstrålingen varierer på de fire facader, gennemgås resultaterne for en facade af gangen.

## 14.4 EnergyFrames med tekstildug

I dette afsnit gennemgås resultaterne for anvendelse af EnergyFrames med tekstildug, som udelukkende er en solafskærmende løsning.

#### 14.4.1 Sydvendt facade

Styring 1 og 3 kontrollerer efter om der i bygningen opleves et kølebehov. Ved aktivering af EnergyFrames i disse perioder, bør energiforbruget sænkes. Forskellen på de to styringer er, at styring 3 ikke indenfor bygningens brugstid. Styring 2 vil udelukkende aktivere EnergyFrames udenfor bygningens brugstid. Derfor forventes at styring 1 vil medføre den største forbedring, da denne ikke hindres af tilstedeværelsen af brugeren. Forbedringen for de 11 casebygninger med EnergyFrames med tekstildug er angivet af 14.1.



Figur 14.1. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for sydvendt facade med EnergyFrames med tekstildug. Se zoom på positive resultater af figur O.1 på side 185.

Af figur 14.1 på forrige side kan der ses, en klar indflydelse af de tre styringsstrategier på bygningernes gennemsnitlige energiforbrug. Det kan ses at styring 2 medfører et større energiforbrug for bygningen, hvorfor intentionen for anvenden ikke er tilstede. Dette sker på baggrund af at solens energi i perioder med varmebehov holdes ude af bygningen.

Der ses tilgengæld en forbedring af energiforbruget ved styring 1 og 3, som aktiverer efter kølebehov. Det var forventes af styring 1 ville medføre den største forbedring, men dette har ikke været tilfældet i alle situationer. Dette kan være oplevet da styring efter kølebehov aktiveres ud fra om der i foregående time er oplevet et kølebehov. Derfor vil styringen være lidt træg, hvorfor der i nogle situationer vil være et kølebehov uden at styringen er aktiveret. Ligeledes kan det opleves at kølebehovet ophører men der går en time før styringen ikke længere er aktiv.

For de tre Inwido bygninger, kan det ses at der ved Inwido 3, vinduet med lavet transmissionskoefficient og solvarmetransmittans, opleves den mindste forbedring. De to andre bygninger har oplevet nogle af de største forbedringer. For Inwido 2 er der oplevet størst variation mellem styring 1 og 3.

Af figur 14.1 på modstående side ses der en generel tendens til, at forbedringen vil være mere varierende ved anvendelse af styring 1.

Af figur O.2 på side 185 er illustreret middelværdien af aktive timer i forhold til standardafvigelsen heraf. Dette er kun vist for styring 1 og 3, da styring 2 ikke vil variere men blot være aktiv i tidsrummet 7-16 på hverdage. Dette betyder at styringen vil være aktiv 2349 timer hvert år. Figuren underbygger at styring 1 vil være mere aktiv, da den ikke er begrænset af brgustiden. For begge styringer opleves dog en stor afvigelse mellem årene, som er markant større ved den mere aktive styring 1.

#### 14.4.2 Nord-, øst- og vestvendt facade

Forbedringen ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug, er ligeledes beregnet for facader orienteret mod nord, øst og vest. Resultateter er vist på Appendix-CD, mens et zoom på positive resultater kan ses af figur O.3, O.5 og O.7 på bilag O. Generelt opleves det for disse orienteringer ligeledes, at styring 2, som udenlukkende aktiveres udenfor brugstid, vil have en negativ indvirkning. I disse retninger vil der ikke opleves en ligeså stor negativ effekt som for den sydvendte facade, men det kan dog konkluderes at denne styring aldrig bør anvendes.

For styring 1 og 3, ses ligeledes lignende tendenser, som det er oplevet for den sydvendte facade, blot i mindre skala. Derfor ses det at effekten af disse styringer generelt vil have positiv indvirkning på energiforbruget. Det kan dog ses af standardafvigelsen, at der i forhold til størrelsen af den beregnede forbedring vil være en markant variation af forbedringen for de enkelte år. Standardafvigelsen har en størrelse i omegnen af den gennemsnitlige forbedring. Derfor må ved anvendelse af denne løsning forventes, at der i nogle år knabt vil opleves en forbedring, mens at der i andre år, vil opleves en procentvis noget større forbedring.

Figur O.4, O.6 og O.8 på bilag O, viser at styring 1 vil være mere aktiv end styring 3 uanset orientering. Det ses også at standardafvigelsen bliver større jo flere aktive timer der haves. Mængden af aktive timer er meget ens fordelt på de tre orienteringer, for hvilke der opleves meget mindre aktivering end det ses for den sydvendte facade illustreret af figur O.2 på side 185.

## 14.5 EnergyFrames med transparent plade

I dette afsnit gennemgås resultaterne for anvendelse af EnergyFrames med transparent plade, som både er en solafskærmende og isolerende løsning.

## 14.5.1 Sydvendt facade

Den beregnede forbedring er illustret af figur 14.2, for anvendelse af EnergyFrames med transparent plade på en sydvendt facade.



Figur 14.2. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for sydvendt facade med EnergyFrames med transparent plade. Se figur i A3 af figur 1 på bilag P.

Ved anvendelse af den transparente pladeløsning på en sydvendt facade, kan det ses af figur 14.2, at der generelt vil være en positiv forbedring.

Det kan ses af resultaterne for anvendelse af styring 1, som ved tekstilløsningen gav udelukkende negative resultater, at dette ved denne løsning, faktisk generelt giver positive resultater. Det er dog langt fra den mest optimale løsning.

## 14.5.1.1 Effekt af afskærmning om natten og når solen er nede

Styring 2 og 4, som henholdsvis afskærmer om natten og når solen er gået ned, viser, at der er et stor potentiale i at anvende denne løsning i perioder hvor der ingen solstråling er. Det ses generelt at der vil være positiv effekt af, at tilføre den ekstra isolering i disse perioder. Samtidigt ses det at det er bedst at afskærme hele perioden uden sol sammenhold med udelukkende at gøre det om natten. Ved styring 3 og 5 tilføjes afskærmning i perioderne udenfor bygningens brugstid. Det ses at denne ekstra tilføjelse til styringerne, generelt vil virke positivt i begge situationer.

## 14.5.1.2 Effekt af styring efter energibalance

Det kan af figuren ses at der opleves en meget lille ændring mellem styring 6 og 9, som er styring efter varmebehov og styring efter varmebehov ud fra energibalance. Grunden til dette formodes at være, at der generelt vil være varmebehov i store dele af tiden. Derfor vil der ligeledes langt oftest vil være fornuft i, at have aktiveret EnergyFrames og drage nytte af den øgede isolans. Derfor er der kun få perioder, hvor der vil være en forskel i om denne løsning aktiveres og på den baggrund, ses der ikke nogen større forskel i resultatet.

Det samme er oplevet for styring 7 og 10 og ligeledes for styring 8 og 11, hvor der ikke er oplevet nogen stor ændring grundet styring efter energibalancen over EnergyFrames.

## 14.5.1.3 Effekt af udelukkende at kunne aktivere udenfor brugstid

For at analysere effekten af at forhindre aktivering af EnergyFrames i perioder hvor der er personer i bygningen, sammenholdes resultaterne på baggrund af styring 6 og 7. Disse styringer aktiverer ved varmebehov, men styring 7 kan dog kun aktivere EnergyFrames i perioder uden personer i bygningen. Det ses at denne begrænsning vil medføre, en stor reduktion af forbedringen. Det er altså en stor hindring at skulle tage hensyn til tilstedeværelse af brugere, for bygninger hvor der primært er tilstedeværelse i perioder med varmebehov.

Ved at sammenholde resultaterne for styring 6 og 7 med resultaterne for styring 8, kan det dog ses, at en stor den af forbedringen, kan opnås ved at give lov til at afskærme om natten, selvom at brugeren er tilstede.

## 14.5.2 Effekt af styring efter varmebehov og natafskærmning

Ved at sammenligne styring 6, 7 og 11, kan det ses, at styring efter varmebehov har en stor betydning, da styring 6 kan medføre en stor forbedring af energiforbruget. Forbedringen vil dog generelt være størst ved bygninger med vinduer med høj transmissionskoefficient. Dette opleves på baggrund af at den største forbedring ved anvendelse af en isolerende plade, vil opleves ved vinduer med høj transmissionskoefficient.

Ved at sammenholde styring 6 og 7 kan det ses, at en stor del af forbedringen forsvinder, hvis det kun er muligt at aktivere EnergyFrames i perioder hvor bygningen er ubenyttet. Styring 11 viser dog at reduktionen er langt mindre, hvis det i perioder med varmebehov, uanset tilstedeværelse kan aktiveres EnergyFrames om natten.

## 14.5.2.1 Effekt af styring efter køling

Forskellen mellen styring 12-14 og 9-11, er udelukkende at styring 12-14 forsøger også at afskærme i situationer med kølebehov. At styre efter denne ekstra parameter viser for styring 12 og 13 en øget forbedring ved ligeledes at aktivere EnergyFrames i perioder hvor der opleves et kølebehov. For styring 14, har der ikke været oplevet nogen forbedring, hvilket skyldes en fejl i styringen, så styringen efter kølebehov ikke har været været aktiveret. På baggrund af de to andre styringer med hensyntagen til kølebehov, forventes det dog at denne løsning ligeledes vil medføre en forbedring ved styring 14.

## 14.5.2.2 Effekt ved godt og dårligt vindue i ny bygning

Det kan ses, ved at sammenholde resultaterne for bygning Inwido 1 og 3, at der generelt for nye bygninger, vil være langt større effekt, af at anvende EnergyFrames med transparent plade, ved vinduer med høj transmissionskoefficient end ved vinduer med lav. Baggrunden for dette er, at beregningerne har vist et langt større varmebehov, end behovet for køling, og derfor opleves den største forbedring ved Inwido 1, da der her vil være den største forbedring af transmissionskoefficienten.

#### 14.5.2.3 Aktive timer

Ligesom resultatet for forbedringen er der fokuseret på antallet af timer, hvor der er aktivering af EnergyFrames. Dette gøres ud fra en middelværdi for de 16 simulerede år, hvilet er sammenholdt med standardafvigelsen herfor. Dette er illustreret af figur 1 på bilag P. Af denne figur kan der ses at der for styring 1-5, ikke opleves variation, da standardafvigelsen er lig 0. Dette er på baggrund af at disse styringer udelukkende baserer på konstanterne; om det er udenfor brugstid, om solen er oppe, om det er nat eller en kombination af disse, hvorfor der ikke vil være variation for disse styringer. Derfor risikeres det at styringen er aktiv i perioder hvor dette ikke er til gunst og omvendt.

#### 14.5.3 Nordvendt facade

Forbedringen for en nordvendt facade med EnergyFrames med transparent plade er illustreret af figur 14.3.



Figur 14.3. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for nordvendt facade med EnergyFrames med transparent plade. Se figur i A3 af figur 2 på bilag P.

Undersøgelsens resultat som ses af figur 14.3, viser at der for denne facade er et lidt større potentiale af at anvende EnergyFrames. Dette sker på baggrund af at der for denne facade ikke opleves samme tilførsel af energi fra solen. Derfor vil den ekstra isolans medføre at der ikke tabes ligeså meget energi, mens reduktionen af solvarmetransmittans, ikke har en ligeså stor negativ effekt i perioder med varmebehov.

Den store forskel mellem resultaterne for en nord- og sydvendt facade er, at der for

denne facade er opnået generelt bedste resultater med styring 9 og 12. Det er altså mere avancerede styringer i forhold til for den sydvendte facade, som i denne situation giver de bedste resultater.

Udover dette er der oplevet de samme effekter af styringsparametrene, energibalance, tilstedeværelse, natafskærmning og køling.

#### 14.5.4 Øst- og vestvendt facade

Forbedringen for en øst- og vestvendt facade med EnergyFrames med transparent plade er illustreret af figur 14.4 og 14.5 på næste side.



Figur 14.4. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for østvendt facade med EnergyFrames med transparent plade. Se figur i A3 af figur 3 på bilag P.



Figur 14.5. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for vestvendt facade med EnergyFrames med transparent plade. Se figur i A3 af figur 4 på bilag P.

Af figurerne kan det ses, at effekten på de to overflader er meget identiske. Der er generelt samme tendens som oplevet for den nordvendte facade, men for disse facader kan det dog ses, at der i lidt flere tilfælde vil kunne opstå en negativ effekt af anvendelsen. Dette ses for facaderne med lavest transmissionskoefficient af væg, når dette er kombineret med de bedste vinduer. I disse situationer kan den ekstra isolans ikke modsvare tabet af energi tilført fra solen, hvorfor forbedringen bliver negativ.

## 14.6 EnergyFrames med efterisoleret plade

I dette afsnit gennemgås resultaterne for anvendelse af EnergyFrames med tekstildug, som er en isolerende og strålingsblokerende løsning.

#### 14.6.1 Sydvendt facade

Resultatet for anvendelse af EnergyFrames med efterisoleret plade på en sydvendt facade er vist af figur 14.6.



Figur 14.6. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for sydvendt facade med EnergyFrames med efterisoleret plade. Se figur i A3 af figur 5 på bilag P.

Af figur 14.6 kan det ses at det er meget få styringsstrategier, som vil være til gunst for bygningens energiforbrug. Da der anvendes en efterisoleret plade, vil den når den er aktiveret, afskærme helt for solen. Dette medfører at den gratis energi fra solen afskærmes helt. Det ses af figuren at næsten alle styringsstrategier, som afskærmer imens der er sol, vil medføre en forringelse. Forbedring med denne løsning ses på styring 2 og 4. Styring 2 er en natafskærmning og styring 4 er aktiv når solen er nede. Dermed kan der alligevel ikke udnyttes sollys og dermed vil en forbedring af transmissionstabet være positivt. Det kan ligeledes ses at for styring 3 vil forekomme en forbedring for Inwido 1 og for styring 5 vil der være en forbedring på Inwido 1 og for bygningsperiode 1979-1998. Forbedringen sker på disse bygninger fordi forbedringen på transmissionstabet er større end tabet af solenergi.

#### 14.6.2 Nordvendt facade

Resultatet for anvendelse af EnergyFrames med efterisoleret plade på en nordvendt facade er vist af figur 14.7.



Figur 14.7. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for nordvendt facade med EnergyFrames med efterisoleret plade. Se figur i A3 af figur 6 på bilag P.

Af figur 14.7 kan det ses at styring 1, 7, 10 og 13 aldrig vil give en positiv effekt. Styring 2 og 4 har en positiv effekt på alle bygningstyper. Disse styringer er igen hvor pladen benyttes når der ikke er sol og dermed ses der udelukkende en effekt af det ændrede transmissionstab. For styring 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12 og 14 viser det generelle resultat at der ikke er en forbedring på Inwido 2 og 3. Grunden til at disse ikke forbedres er, at transmissionskoefficienten af disse vinduer er god, hvorfor løsningen ikke vel medføre en større forbedring af transmission større end tabet af solenergi.

#### 14.6.3 Øst- og vestvendt facade

Resultatet for anvendelse af EnergyFrames med efterisoleret plade på en østvendt facade er vist af figur 14.8 og for en vestvendt facade af figur 14.9.



Figur 14.8. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for østvendt facade med EnergyFrames med efterisoleret plade. Se figur i A3 af figur 7 på bilag P.



Figur 14.9. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for vestvendt facade med EnergyFrames med efterisoleret plade. Se figur i A3 af figur 8 på bilag P.

Ved at sammenligne figur 14.8 på forrige side og 14.9 på foregående side kan det ses, at der for facader mod øst og vest, vil opleves næsten samme effekt af denne løsning. Det kan ses at styring 1, 4, 7, 10 og 13 alle vil forringe energiforbruget. Som der er set ved de andre retninger vil styring 2 og 4 også for øst og vest udelukkende have en positiv effekt på energiforbruget. For styring 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12 og 14 er det generelle resultat, at der er en positiv effekt på alle konstruktioner undtagen Inwido 2, Inwido 3, 1999-2006 og 2007-2011. Dette er bygningerne med lavest vægtet transmissionskoefficient, hvilket kan ses af tabel 13.1 på side 106. Ligesom for nord og syd er grunden at forbedringen på transmissionstabet ikke er stor nok til at opveje tabet af solenergi.

# Opsummering 15

Det er for EnergyFrames med tekstildug oplevet, at potentialet for forbedring af energiforbruget med denne løsning primært findes for en sydvendt facade. Dette er grundet at solintensiteten over året vil være højest her, hvorfor der også primært vil opstå kølebehov grundet indstråling gennem denne facade. Da denne løsning udelukkende er solafskærmende, har simuleringerne vist, at styringen af produktet er essentielt, da forkert brug vil medføre en forringelse af energiforbruget. Dette vil ske på baggrund af afskærmning i perioder med varmebehov. Derfor er det med løsningen vigtigt at styre ud fra et kølebehov. Simuleringerne har vist, at det vil være forskelligt om det vil være skidt, udelukkende at afskærme udenfor brugstiden, da resultaterne har varieret. Dette er udelukkende grundet styringens træghed, hvorfor en perfekt styring vil vise større potentiale hvis styringen ikke er begrænset, forudsat at der er et kølebehov i brugstiden.

For den transparente pladeløsning, er det set at det for en sydvendt facade, er afskærmning i perioder uden sol, der har størst effekt på energiforbruget. Der er ikke oplevet den forventede effekt af avanceret styring, hvilket kan være grundet systemets træghed, samt at der for denne facade vil opleves højest solintensitet. For en nordvendt facade med EnergyFrames med transparent plade, er der ligeledes oplevet et stort forbedringspotentiale, ligesom for den sydlige facade. I forhold til den sydlige facade, er der i dette tilfælde oplevet en positiv effekt af avanceret styring. Dette er grundet at solintensiteten på denne facade er lavere, hvorfor trægheden i styringen ikke på samme niveau, vil medføre en negativ effekt. For facaderne mod øst og vest ses samme tendens, dog i mindre skala. Da energiforbruget er beregnet som forbedringen pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal pr. år, vil facadens størrelse heller ikke kunne forventes at have samme indflydelse. Facaderne mod øst og vest har et areal svarende til 31 % af syd og nord, hvorfor forbedringen ikke kan forventes at være ligeså stor som for disse orienteringer.

Simuleringerne af bygninger med EnergyFrames med efterisoleret plade har vist, at det primært er styringerne der aktiverer når der ikke er tilstedeværelse af solen, som har positiv effekt. Dette betyder udelukkende at effekten af at afskærme tilskuddet fra solen vil være negativt, da meget gratis energi tabes. Derfor bør denne løsning ud fra resultaterne, udelukkende anvendes i perioder uden tilstedeværelse af solen. Det kan dog også konkluderes at det har stor betydning at afskærme solens stråling, hvorfor der i perioder med kølebehov og stor strålingsintensitet, ligeledes vil kunne opnås en effekt af denne løsning.

## Litteratur

- ISO 140 (1995). Acoustics Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. International Standard 140-3.
- Aalborg Universitet (1997). Grundlæggende klimateknik og bygningsfysik. 1. udgave. ISSN: 1395-8232 U9714. Aalborg Universitet.
- ISO 140 (1997). Acoustics Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmissiond. International Standard 140-1.
- EN 410 (1998). Glass in building Determination of luminous and solar characteristics of glazing. Europæisk Standard 410.
- ISO/FDIS 12567 (1999). Thermal performance of doors and windows –Determination of thermal transmittance by hot box method. International Standard 12567-1.
- NFRC 201 (2001). Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods. National Fenestration Rating Council 201.
- EN 673 (2002). Glass in building Determination of thermal transmittance (U value) Calculation method. Europæisk Standard 673.
- SBi 213 (2002). Bygningers energibehov. Statens Byggeforskningsinstitut 213.
- Wigginton, Michael og Jude Harris (2004). Intelligent Skins. 1. udgave. ISBN: 0-7506-4847-3. Elsevier.
- DS 13363 (2007). Solafskærmningsudstyr kombineret med ruder Beregning af sol- og lystransmission Del 1: Forenklet metode. Dansk Standard 13363-1.
- Osram (2007). Research & Development. Datablad Placering:
  - Appendiks-CD/Litteratur/MPDG-A\_108\_07.pdf.
- DS/EN ISO 13790 (2008). Bygningers energieffektivitet Beregning af energiforbrug til rumopvarmning og -køling. Dansk Standard 13790-2.
- Osram (2008). Ultra Vitalux. Datablad Placering:

Appendiks-CD/Litteratur/Ultra Vitalux - FIBEL.pdf.

Sinclair, Ray, Duncan Phillips og Vadim Mezhibovski (2009). Ventilating Façades. Artikel Placering:

Appendiks-CD/Litteratur/Ventilating Façades - Sinclair AJ Vol 51 2008.pdf.

- Osram (2010). ULTRA-VITALUX 300-280 E27. Datablad Placering:
  - Appendiks-CD/Litteratur/ULTRA-VITALUX 300-280 E27.pdf.
- DS 418 (2011). Beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard 418-7.
- Stegger, Bjørn (2011). EnergyFrames Et dynamisk energieffektivt facadeafskærmningssystem. PowerPoint Placering:

Appendiks-CD/Litteratur/ENERGY FRAMES - BS PRÆSENTATION - JUNI 2011.pptx.

Arkitektforeningen (2013). Task force - udvikling af den eksisterende bygningsmasse. Artikel. URL: http://arkitektforeningen.dk/artikel/nyheder/task-force-

udvikling-af-den-eksisterende-bygningsmasse (sidst set 29.04.2014).

udvinting-al-den-eksisterende-bygningsmasse (slast set 25.04.2014).

Liu, Mingzhe (2013). Beregning af bygningers energiforbrug. Aalborg Universitet.

- Brunata (2014). Brunata HGQ og HGS statisk elektronisk energimåler. Datablad Placering: Appendiks-CD/Litteratur/Brunata HGQ og HGS.pdf.
- Eltek dataloggers (2014). *Eltek dataloggers*. URL: http://www.eltekdataloggers.co.uk (sidst set 13.02.2014).
- Energieffektive bygninger (2014). Håndbog for energikonsulenter. URL: http://www. maerkdinbygning.dk/handbog/flerfamiliehuse/beregnet-forbrug-2012/ praciseringer/bygningsdele (sidst set 15.04.2014).
- Evitherm (2014). www.evitherm.org. URL: http://www.evitherm.org/default.asp? lan=1&ID=1004&Menu1=1004 (sidst set 28.02.2014).
- Google (2014). Google Maps. URL: https://www.google.dk/maps/preview (sidst set 03.03.2014).
- Honeywell (2014). Honeywell. URL: http://www.honeywell.com (sidst set 13.02.2014).

Jensen, Rasmus Lund (2014). Data fra Be10 for renovering af bygninger.

- Københavns Universitet (2014). Spektre. URL: http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/s/ spektre/ (sidst set 27.03.2014).
- kpk Døre og vinduer (2014a). 2 lag energi Premium med TGI spacer. Datablad Placering: Appendiks-CD/Litteratur/T107936-1 2 lag energi Premium med TGI spacer.pdf.

kpk Døre og vinduer (2014b). 2 lag termo med aluspacer. Datablad Placering: Appendiks-CD/Litteratur/T107935 2 lag termo med aluspacer.pdf.

- kpk Døre og vinduer (2014c). *3 lag energi Premium med TGI spacer*. Datablad Placering: Appendiks-CD/Litteratur/T107937-1 3 lag energi Premium med TGI spacer.pdf.
- Novasima (2014). Novasima. URL: http://www.novasina.com (sidst set 13.02.2014).
- PR Electronics (2014). *PR Electronics*. URL: http://www.prelectronics.com (sidst set 13.02.2014).
- Sabic Innovative Plastics (2014a). Lexan\* Thermoclear\* multi-wall. Datablad Placering: Appendiks-CD/Litteratur/Lexan Thermoclear multi-wall.pdf.

Sabic Innovative Plastics (2014b). Lexan\* Thermoclear\* Sheet - Make Light with versatile Lexan\* Thermoclear\* multiwall sheet. Datablad Placering:

- Sabic Innovative Plastics (2014c). Sabic Chemistry that matters. URL: https://sfs.sabic.eu/ (sidst set 29.04.2014).
- Serge Ferrari (2014). Composite membranes. URL: http://en.sergeferrari.com/ (sidst set 29.04.2014).
- Stamisol (2014). Stamisol 371FT. Datablad Placering:

Appendiks-CD/Litteratur/STAMISOL 371FT\_GB.pdf.

- Steffensen, Thomas (2014). Åbningsandel af anvendt tekstil. Email Placering:
- Appendiks-CD/E-mail/Thomas Steffensen Tekstilåbningandel.pdf.
- The Engineering ToolBox (2014). Emissivity Coefficients of some common Materials. URL: http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d\_447.html (sidst set 28.04.2014).
- Vejret i Silkeborg (2014). Vejret i Silkeborg. URL: http://www.silkeborg-vejret.dk/ index.php (sidst set 01.05.2014).
- Weast, Robert C. (2014). Density of water vs. temperature from Book: Handbook of Chemistry and Physics 53RD Edition. URL: http://www2.volstate.edu/chem/ 1110/Density\_of\_Water.htm (sidst set 07.02.2014).

Appendiks-CD/Litteratur/Multiwall\_LTC\_LR.pdf.



## A.1 BSim

Denne mappe indeholder alle BSim-modellerne benyttet i projektet.

## BSim - DRY - EnergyFrames

BSim-model som regner på baggrund af DRY. Modellen er med EnergyFrames.

## BSim - DRY - EnergyFrames - Konstant Temp

BSim-model som regner på baggrund af DRY og har konstant temperatur i bygningen. Modellen er med EnergyFrames.

## BSim - DRY - Ingen EnergyFrames

BSim-model som regner på baggrund af DRY. Modellen er uden EnergyFrames.

## BSim - DRY - Ingen EnergyFrames - Konstant Temp

BSim-model som regner på baggrund af DRY og har konstant temperatur i bygningen. Modellen er uden EnergyFrames.

## BSim - Nibe

BSim-model som regner på baggrund af målingerne foretaget i Nibe. Modellen er uden EnergyFrames.

## BSim - Nibe - EnergyFrames

BSim-model som regner på baggrund af målingerne foretaget i Nibe. Modellen er med EnergyFrames.

## A.2 Bygningers energiforbrug

Denne mappe indeholder beregningsprogrammet benyttet til beregning af bygningers energiforbrug baseret på forskellige styringsstrategier.

## A.3 E-mail

Denne mappe indeholder mail korrespondance med Thomas Steffensen vedrørende tekstildugen benyttet til EnergyFrames.

## A.4 Kalibrering

Denne mappe indeholder alle kalibreringsværdier for alt udstyr benyttet til forsøg udført i forbindelse med projektet.

## A.5 Litteratur

Denne mappe indeholder diverse litteratur benyttet i projektet.

## A.6 Måleresultater fra Hotbox

Denne mappe indeholder data fra alle forsøgene foretaget i hotboxen. Dataet i mappen er både rådataet fra forsøgene og resultaterne beregnet på baggrund af disse data. I mappen findes også plot der efterviser forholdene ved forsøgene.

## A.7 Måleresultater fra Nibe

I denne mappe findes rådata målt ved forsøgene i Nibe. Der findes både dataet målt på indeklimaet og energien. Udover rådataet findes også resultatbehandlingen foretaget på dataet.

## A.8 Teoretisk beregning af materialeparametre

I denne mappe findes beregningen af transmissionskoefficient og solvarmetransmittans. Beregninger er benyttet i sammenhæng med forsøgene af disse materialeparametre.

## A.9 Test af styringsstrategier

Denne mappe indeholder alle resultater på baggrund af styringsstrategierne. Ud over resultaterne forefindes også diverse plot som efterviser resultaterne.

## A.10 Vejrdata

Denne mappe indeholder alle vejrdata benyttet i projektet.

# Bestemmelse af vinduers transmissionskoefficient

I dette bilag gennemgås hvordan en standardiseret bestemmelse af vinduers termiske ydeevne udføres på baggrund af [ISO/FDIS 12567, 1999]. Først gennemgås hvad transmissionskoefficient er og derefter er en gennemgang af hvordan en bestemmelse af denne overordnet udføres. Undersøgelsen vil foregå i en kalibreret hotbox, som nævnt i kapitel 3, og derfor fokuseres udelukkende på hvordan undersøgelsen skal foregå i denne type hotbox.

Transmissionskoefficienten for et bygningselement, beskriver hvor stor en specifik varmetransport der vil opstå over elementet, på baggrund af en temperaturdifferens. Transmissionskoefficienten er både påvirket af bygningselementets isoleringsevne og overgangsisolanserne ved den ind- og udvendige overflade og beregnes af formel B.1 [DS 418, 2011, afsnit 6.1].

$$U = \frac{1}{R_{s,i} + R_{s,e} + \sum_{i=1}^{n} R_i}$$
(B.1)

Hvor:

Overgangsisolanserne er afhængige af varmestrømmens retning, altså om transporten foregår vandret, opad eller nedad, og beskriver den isolans der opstår grundet varmetransporten mellem luft og overflade. Til bestemmelse en af standardiseret transmissionskoefficient,  $U_{st}$ , er opstillet standardiserede værdier for disse isolanser, som fastlægges ved tabelopslag. Derudover er transmissionskoefficienten afhængig af isolansen af materialelagene, som bestemmes af formel B.2 [DS 418, 2011, afsnit 6.3], for et ubrudt, homogent materialelag.

$$R_i = \frac{d}{\lambda} \tag{B.2}$$

Hvor:

 $R_i$  | Isolans for de enkelte lag [m<sup>2</sup>K/W]

- d Materialelagets tykkelse [m]
- $\lambda$  | Varmeledningsevne for materiale [W/mK]

Bestemmelse af transmissionskoefficienten udføres på baggrund af [ISO/FDIS 12567, 1999] ved eksperiment i hotbox. Bestemmelsen udføres ved at placere testvinduet i et

omsluttende panel med høj termisk isolans, som har til formål at fastholde vinduet i korrekt position og separere måle- og klimazone. Testvinduet bør vælges i en størrelse som er typisk for vinduer der anvendes i praksis, og der henvises til at standarderne for lydmålinger, [ISO 140, 1997] og [ISO 140, 1995], som anvender vinduer der måler 1480x1230 mm. En illustration af hvordan vinduet placeres i det omsluttende panel kan ses af figur B.1.



Figur B.1. Vindue i omsluttende panel. Dimensioner i mm. [ISO/FDIS 12567, 1999, figur 1]

Den standardiserede transmissionskoefficient,  $U_{st}$ , beregnes af formel B.3.

$$U_{st} = \frac{1}{\frac{1}{U_m} - R_{s,t} + R_{(s,t),st}}$$
(B.3)

Hvor:

 $\begin{array}{ll} U_{st} & {\rm Standardiseret\ transmissionskoefficient\ [W/m^2K]}\\ U_m & {\rm Samlet\ målt\ termisk\ transmittans\ [W/m^2K]}\\ R_{s,t} & {\rm Total\ overgangsisolans\ af\ vindue[m^2K/W]}\\ R_{(s,t),st} & {\rm Samlet\ standardiseret\ overgangsisolans\ [m^2K/W]} \end{array}$ 

Bestemmelse af den samlede standardiserede overgangsisolans,  $R_{(s,t),st}$ , sker på baggrund af europæiske standarder for overgangsisolanser. Bestemmelse af de to andre faktorer sker på baggrund af målinger. Måleudstyr anbefales placeret som vist på figur B.2 på næste side.



Figur B.2. Anbefalet placering af måleudstyr. Et kryds angiver en temperaturføler og en cirkel angiver måling af lufthastighed. [ISO/FDIS 12567, 1999, figur 5]

Af figur B.2 ses placeringen af to bafler, en i hver zone. Baflerne skal placeres med en afstand på mindst 50 mm fra det omsluttende panel på den kolde side, klimazonen, og mindst 150 mm fra panelet på den varme side, målezonen. Dette skal sikre naturlig konvektion. I målezonen skal det sikres, at der ved brug af ventilator, er en lufthastighed på maksimalt 0,3 m/s udenfor testelementets grænselag. I klimazonen skal lufthastigheden være mindst 1,5 m/s ved kalibrering, men justeres så den samlede overgangsisolans justeres, så den samlede overgangsisolans ved forsøgene,  $R_{s,t}$ , tilnærmelsesvis er lig den samlede standardiserede overgangsisolans,  $R_{(s,t)st}$ , hvilket medfører at  $R_{s,t} = R_{(s,t)st} \pm 0,01$  m<sup>2</sup>K/W.

Af figur B.2 er angivet de punkter hvor det af [ISO/FDIS 12567, 1999] anbefales at måle overflade- og lufttemperaturer. Det anbefales at der måles lufttemperatur i mindst ni punkter i hver zone, og at der i samme positioner måles overfladetemperaturer på både bafler og testelementet.

Udover måling af overfladetemperaturer på bafler og testelementet, anbefales det også at placere otte temperaturfølere på hver side af de vertikale overflader af det omsluttende panel der vender ud mod de to zoner, for at måle overfladetemperaturen heraf. Ved anvendelse af et omsluttende panel der er bredere end karmen for testvinduet, skabes en fals, og det anbefales også at måle overfladetemperaturer for disse overflader.

## B.1 Samlet målt termisk transmittans

Den samlede målte termiske transmittans,  $U_m$ , er den samlede målte transmissionskoefficient medregnet overgangsisolanser. Denne værdi bestemmes af formel B.4.

$$U_m = \frac{q_{sp}}{\Delta\theta_n} \tag{B.4}$$

Hvor:

 $U_m$ Samlet målt termisk transmittans  $[W/m^2K]$  $q_{sp}$ Varmestrømstæthed gennem testelement  $[W/m^2]$  $\Delta \theta_n$ Operativ temperaturdifferens mellem de to zoner [°C]

#### B.1.1 Varmestrømstæthed gennem testelement

For at fastlægge varmestrømstætheden gennem testvinduet,  $q_{sp}$ , opstilles en energibalance for målezonen. Energibalancen vil være påvirket af varmestrømmen mellem målezonen og omgivelserne og varmestrømmen til klimazonen. Varmestrømmen til omgivelserne kan både medføre et energitab og et -tilskud, afhængig af temperaturdifferencen. Varmestrømmen mellem måle- og klimazone vil medføre et energitab, grundet temperaturdifferencen mellem zonerne. Denne varmestrøm kan deles i en varmestrøm gennem det omsluttende panel, en varmestrøm igennem testvinduet og et linjetab imellem disse to. Varmestrømstætheden gennem testvinduet beregnes af formel B.5.

$$q_{sp} = \frac{\Phi_{in} - \Phi_{sur} - \Phi_{edge}}{A_{sp}} \tag{B.5}$$

Hvor:

 $\begin{array}{ll} q_{sp} & \mbox{Varmestrømstæthed gennem testelement [W/m^2]} \\ \Phi_{in} & \mbox{Effekt tilført til målezonen, med hensyntagen til varmetab/-tilskud til omgivelser [W]} \\ \Phi_{sur} & \mbox{Varmestrøm gennem det omsluttende panel [W]} \\ \Phi_{edge} & \mbox{Linjetab mellem vindue og omsluttende panel [W]} \\ A_{sp} & \mbox{Areal af testvindue [m^2]} \end{array}$ 

#### B.1.1.1 Energi tilført målezonen

For at holde en stabil temperatur i målezonen, tilføres der energi samtidig med at der fjernes energi. Den tilførte energi kommer fra varmefladen hvorimod der fjernes energi i kølesystemet, varmetab til klimazonen og varmetab til omgivelserne. Dette gør at  $\Phi_{in}$  skal være en balance mellem energi fjernet og tilført zonen og beregnes af formel B.6.

$$\Phi_{in} = \Phi_{el} - \Phi_{fluid} - \Phi_{walls} \tag{B.6}$$

Hvor:

$\Phi_{in}$	Effekt tilført til målezonen, med hensyntagen til varmetab/-tilskud til
	omgivelser [W]
$\Phi_{el}$	Tilført elektrisk energi til målezonen [W]
$\Phi_{fluid}$	Energi fjernet fra målezonen med kølesystem [W]
$\Phi_{walls}$	Varmestrøm til omgivelserne gennem målezonens vægge, se formel 4.3 [W]
#### B.1.1.2 Varmestrøm gennem det omsluttende panel

Varmestrømmen gennem det omsluttende panel,  $\Phi_{sur}$ , fastlægges ud fra overfladetemperaturdifferencen over det omsluttende panel og beregnes af formel B.7.

$$\Phi_{sur} = \frac{A_{sur} \cdot \Delta \theta_{s,sur}}{R_{sur}} \tag{B.7}$$

Hvor:

$\Phi_{sur}$	Varmestrøm gennem det omsluttende panel [W]
$A_{sur}$	Areal af det omsluttende panel $[m^2]$
$\Delta \theta_{s,sur}$	Overfladetemperaturdifferens over det omsluttende panel [°C]
$R_{sur}$	Termisk isolans af det omsluttende panel $[m^2K/W]$

For at kunne bestemme differensen af overfladetemperaturen, anvendes de temperaturer der måles på begge sider af det omsluttende panel, som er vist på figur B.2 på side 135. Den termiske isolans af det omsluttende panel, fastlægges ved kalibrering af hotboxen.

#### B.1.1.3 Linjetab mellem vindue og omsluttende panel

Samlingen imellem testvindue og det omsluttende panel vil medføre et linjetab,  $\Phi_{edge}$ , som beregnes af formel B.8.

$$\Phi_{edge} = L_{edge} \cdot \Psi_{edge} \cdot \Delta \theta_c \tag{B.8}$$

Hvor:

 $\begin{array}{l} \Phi_{edge} & \mbox{Linjetab mellem vindue og omsluttende panel [W]} \\ L_{edge} & \mbox{Omkredsen af vinduet [m]} \\ \Psi_{edge} & \mbox{Linjetabskoefficient [W/mK]} \\ \Delta \theta_c & \mbox{Lufttemperaturdifferens mellem de to zoner [°C]} \end{array}$ 

For at bestemme luft temperaturdifferensen mellem de to zoner, foreslås det at måle luft temperaturen i mindst ni punkter i hver zone. Disse ni punkter fremgår af figur B.2 på side 135. Linjet abskoefficienten,  $\Psi_{edge}$ , kan beregnes, men i [ISO/FDIS 12567, 1999] er dog en tabel, hvor linjet abskoefficienten kan bestemmes på baggrund af dybden af karm og fals og det omsluttende panels varmeled ningsevne. Derfor skal det først fastlægges, hvordan det omsluttende panel konstrueres, før at denne faktor kan bestemmes. Tabellen kan ses i bilag C.

#### **B.1.1.4** Areal af testvindue

Dette areal,  $A_{sp}$ , er over arealet af både rude og karm. Tidligere er det angivet, at der bør anvendes et standard størrelse vindue, hvilket måler 1480x1230 mm.

#### B.1.2 Operativ temperaturdifferens mellem måle- og klimazone

Den operative temperatur<br/>differens er forskellen mellem den operative temperatur,<br/>  $\theta_n$ , i måle- og klimazone. Den operative temperatur i måle- og klimazone beregnes af formel B.9 på næste side.

$$\theta_n = F_c \cdot \theta_c + (1 - F_c) \cdot \theta_r \tag{B.9}$$

Hvor:

- $\theta_n$  | Operativ temperatur [°C]
- $F_c$  | Konvektionsfaktor [-]
- $\theta_c$  | Lufttemperatur [°C]
- $\theta_r$  | Middelstrålingstemperatur [°C]

#### B.1.2.1 Konvektionsfaktor

Konvektionsfaktoren,  $F_c$ , angiver hvor stor en del af varmestrømmen der skyldes konvektion i forhold til stråling. Der vil være en faktor for henholdsvis måle- og klimazonen,  $F_{c,i}$  og  $F_{c,e}$  og bestemmes ved kalibrering. Faktoren kan variere afhængig af zonens opsætning.

#### B.1.2.2 Lufttemperatur

Bestemmelse af lufttemperaturen,  $\theta_c$ , anbefales målt i mindst ni punkter i hver zone, og anbefalede positioner er angivet af figur B.2 på side 135.

#### B.1.2.3 Middelstrålingstemperatur

Den sidste parameter for at kunne beregne den operative temperatur er middelstrålingstemperaturen,  $\theta_r$ . Denne parameter er ligesom Konvektionsfaktoren afhængig af opsætningen i zonen, hvilket afgør om denne parameter skal beregnes ud fra en kalibrering, eller om denne kan sættes lig baffeltemperaturen [ISO/FDIS 12567, 1999, afsnit A.3].

### B.2 Den totale overflades overgangsisolans

Den totale overgangsisolans,  $R_{s,t}$ , dækker over summen af den indre og ydre overgansisolans,  $R_{s,i}$  og  $R_{s,e}$ , som påvirker testelementet under, de i hotboxen opstillede forhold. Denne overgangsisolansen bestemmes ud fra en kalibrering af hotboxen.

#### **B.3** Standardiseret overgangsisolans

Den standardiseret overgangsisolans,  $R_{(s,t),st}$ , kommer af europæisk standardiserede indre og ydre overgangsisolanser. Overgangsisolanserne er afhængige af strømningsretningen, opad, nedad eller vandret, og er angivet i tabel B.1.

	Varmestrømmens retning				
	Opad	Vandret	Nedad		
$R_{(s,i),st}$	0,10	0,13	$0,\!17$		
$R_{(s,e),st}$	$0,\!04$	$0,\!04$	$0,\!04$		

Tabel B.1. Standardiseret indre og ydre overgangsisolanser afhængig af strømningsretning. Værdierne er angivet i m<sup>2</sup>K/W. [DS 418, 2011, tabel 6.2.1]

Af [DS 418, 2011, afsnit 6.2] er det defineret, at det for komponenter med ukendt varmestrømsretning anvendes værdier for vandret varmestrøm. Derfor kan den samlede standardiseret overgangsisolans fastlægges som  $R_{(s,t),st} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$ , hvilket stemmer overens med det som er angivet i [ISO/FDIS 12567, 1999, afsnit 6.4].

# Linjetabskoefficent for det omsluttende panel



Figure B.2:- Test specimen with frame width w

		Ψ <sub>edge</sub> W/(m ⋅ K)				Ψ <sub>edge</sub> W/(m ⋅ K)			
w	d	λ <sub>sur</sub> W/(m⋅K)	λ <sub>sur</sub> W/(m·K)	λ <sub>sur</sub> W/(m⋅K)	w	d	λ <sub>sur</sub> W/(m⋅K)	λ <sub>sur</sub> W/(m·K)	λ <sub>sur</sub> W/(m·K)
mm	mm	0,030	0,035	0,040	mm	mm	0,030	0,035	0,040
	60	0,0112	0,0126	0,0139		40	0,0029	0,0033	0,0036
	80	0,0142	0,0160	0,0177		80	0,0063	0,0071	0,0079
40	120	0,0189	0,0214	0,0238	100	120	0,0093	0,0106	0,0118
	160	0,0230	0,0262	0,0292		160	0,0120	0,0138	0,0155
	200	0,0263	0,0299	0,0335		200	0,0144	0,0166	0,0186
	50	0,0079	0,0088	0,0097		40	0,0026	0,0029	0,0032
	80	0,0119	0,0135	0,0150		80	0,0057	0,0064	0,0072
50	120	0,0163	0,0185	0,0206	110	120	0,0085	0,0097	0,0109
	160	0,0201	0,0229	0,0256		160	0,0111	0,0127	0,0143
	200	0,0232	0,0265	0,0297		200	0,0134	0,0153	0,0173
-	40	0,0053	0,0059	0,0065	120	40	0,0023	0,0026	0,0028
	80	0,0103	0,0116	0,0129		80	0,0051	0,0058	0,0065
60	120	0,0144	0,0164	0,0183		120	0,0078	0,0089	0,0100
	160	0,0178	0,0204	0,0228		160	0,0102	0,0117	0,0132
	200	0,0208	0,0238	0,0267		200	0,0124	0,0143	0,0161
	30	0,0033	0,0036	0,0039	130	40	0,0021	0,0023	0,0026
	60	0,0068	0,0076	0,0084		80	0,0047	0,0053	0,0060
70	120	0,0126	0,0144	0,0161		120	0,0072	0,0082	0,0092
	160	0,0160	0,0183	0,0205		160	0,0095	0,0109	0,0123
	200	0,0188	0,0215	0,0241		200	0,0116	0,0133	0,0150
	20	0,0018	0,0020	0,0021		40	0,0019	0,0021	0,0023
	40	0,0038	0,0043	0,0047		80	0,0043	0,0049	0,0055
80	80	0,0079	0,0089	0,0099	140	120	0,0067	0,0076	0,0086
	160	0,0113	0,0129	0,0185		160	0,0089	0,0102	0,0114
	200	0,0171	0,0196	0,0220		200	0,0108	0,0125	0,0140
	10	0,0008	0,0009	0,0009		40	0,0017	0,0019	0,0021
	30	0,0024	0,0027	0,0029		80	0,0040	0,0045	0,0050
90	60	0,0052	0,0059	0,0065	150	120	0,0062	0,0071	0,0079
	120	0,0102	0,0116	0,0130		160	0,0083	0,0095	0,0107
	200	0,0157	0,0180	0,0202		200	0,0102	0,0117	0,0132

Table B.2: Line	ar thermal t	transmittance	for	test	specimen
-----------------	--------------	---------------	-----	------	----------

**Tabel C.1.** Linjetabskoefficient for testvindue.  $\Psi$ -værdier for mellemliggende  $\lambda_{sur}$  bestemmes ved lineær interpolation. Hvis w > 150 mm, er  $\Psi_{edge}$  meget lav og kan negligeres ( $\Psi = 0$ ). [ISO/FDIS 12567, 1999, figur og tabel B.2]

# Bestemmelse af vinduers D

I dette bilag gennemgås en standardiseret bestemmelse af vinduers solvarmetransmittans på baggrund af [NFRC 201, 2001]. Hotboxen, der vil blive anvendt til udførelsen af testen, er beskrevet i kapitel 3. Derfor vil der udelukkende fokuseres på hvordan bestemmelsen skal foregå i denne type hotbox. Først vil der være en gennemgang af hvad solvarmetransmittansen er, for derefter at gennemgå hvordan denne bestemmes.

Solvarmetransmittansen angiver, hvor stor en del af solens varme der når gennem en rude. Solvarmetransmittansen kan enten angives som rudens solvarmetransmittans,  $g_g$ , eller som vinduets solvarmetransmittans,  $g_w$ , som bestemmes af rudens solvarmetransmittans multipliceret med glasandelen for vinduet. [Energieffektive bygninger, 2014]

Princippet for bestemmelse af solvarmetransmittansen på baggrund af [NFRC 201, 2001], er angivet af figur D.1.



Figur D.1. Typiske komponenter anvendt i en målezone. [NFRC 201, 2001, figur 1]

Af figuren fremgår fem elementer som kræves for at udføre undersøgelsen, hvilket er:

- 1. Testelement
- 2. Målezone med omsluttende panel
- 3. Intern varme- og køleflade
- 4. Termisk loop
- 5. Ekstern solstrålingskilde

Formålet med denne opstilling er, at opstille et kontrolleret termisk miljø, som simulerer indeklimaet i en bygning, og at måle den indkommende solstråling. Ud fra denne test, beregnes solvarmetransmittansen af formel D.1 på næste side.

$$g_{sp} = \frac{\Phi_{net} - U_{st} \cdot A_{sp} \cdot \Delta\theta_c - \Phi_{env}}{A_{sp} \cdot E_S} \tag{D.1}$$

Hvor:

$g_{sp}$	Solvarmetransmittans af testelement [-]
$\Phi_{net}$	Effekt fjernet/tilført af varme- og kølesystem [W]
$U_{st}$	Transmissionskoefficient af testelement $[W/m^2K]$
$A_{sp,U}$	Areal for termisk varmestrøm gennem testelement $[m^2]$
$\Delta \theta_c$	Lufttemperaturdifferens over testelement [K]
Т	Total energi transmitteret gennem målezonens vægge, omsluttende panel
$\Phi_{env}$	og elektrisk energi til ventilatorer og pumper [W]
$A_{sp,g}$	Areal af den del solvarmetransmittans bestemmes for $[m^2]$
$E_S$	Strålingsintensitet $[W/m^2]$

Formel D.1 fastlægger den energi som tilføres målezonen grundet solstråling i forhold til det niveau som bestråler den ydre overflade. Dette gøres ved at tage den til målezonen tilførte energi og fratrække tabet til omgivelserne gennem målezonens vægge og det omsluttende panel og testelement på baggrund af temperaturforskel over elementerne. På baggrund af dette kan formlen forkortes til formel D.2.

$$g_{sp} = \frac{\Phi_{sp} - \Phi_U}{A_{sp} \cdot E_S} \tag{D.2}$$

Hvor:

 $\begin{array}{ll} g_{sp} & \text{Solvarmetransmittans af testelement [-]} \\ \Phi_{sp} & \text{Varmestrøm gennem testelement [W]} \\ \Phi_U & \text{Termisk varmestrøm gennem testelement [W]} \\ A_{sp,g} & \text{Areal af den del solvarmetransmittans bestemmes for [m<sup>2</sup>]} \\ E_S & \text{Solintensitet [W/m<sup>2</sup>]} \end{array}$ 

Tælleren i formel D.2 fastlægger den energi der tilføres målezonen, grundet solstråling på testelementet, ved at bestemme den energi der tilføres gennem testelementet og fratrække det energitab der vil forekomme gennem testelementet grundet termisk transmission. Denne energi divideres med det samlede solstrålingsenergi som bestråler ydersiden af testelementet. Derved fås solvarmetransmittansen. Formel D.2 anvendes videre frem.

### D.1 Varmestrøm gennem testelement

Varmestrømmen gennem testelementet,  $\Phi_{sp}$ , er den samlede energi, der tilføres gennem testelementet grundet temperaturforskellen over elementet og den strålingsenergi der transmitteres gennem elementet. Varmestrømmen bestemmes ud fra en energibalance for hele målezonen, hvilket gøres ud fra formel D.3 på modstående side.

$$\Phi_{sp} = \Phi_{walls} + \Phi_{sur} + \Phi_{edge} + \Phi_{fluid} + \Phi_{AUX}$$
(D.3)

Hvor:

$\Phi_{sp}$	Varmestrøm gennem testelement [W]
$\Phi_{walls}$	Varmestrøm gennem målezonens vægge [W]
$\Phi_{sur}$	Varmestrøm gennem det omsluttende panel [W]
$\Phi_{edge}$	Varmestrøm grundet linjetab [W]
$\Phi_{fluid}$	Energi fjernet med kølesystem [W]
$\Phi_{AUX}$	Energitilførsel til målezone af ventilatorer og pumper [W]

#### D.1.1 Varmestrøm gennem målezonens vægge

Varmestrømmen gennem målezonens vægge,  $\Phi_{walls}$ , er den energistrøm, som vil forekomme mellem målezonen og omgivelserne grundet temperaturdifferens. Varmestrømmen vil opstå gennem de fem overflader, som ikke vender imod klimazonen, når der er en temperaturdifferens mellem den indre og og ydre overflades temperaturer. Varmestrømmen beregnes af formel D.4.

$$\Phi_{walls} = UA_{walls} \cdot \Delta\theta_{s,walls} \tag{D.4}$$

Hvor:

 $\Phi_{walls}$ Varmestrøm gennem målezonens vægge [W] $UA_{walls}$ Samlet ledningsevne-areal af målezonens vægge [W/K] $\Delta \theta_{s,walls}$ Temperaturdifferens over målezonens vægge [°C]

#### D.1.1.1 Samlet ledningsevne-areal af målezonens vægge

Det samlede ledningsevne-areal,  $UA_{walls}$ , er produktet af transmissionskoefficient multipliceret med overfladearealet. Produktet er en konstant.

#### D.1.1.2 Temperaturdifferens over målezonens vægge

Temperaturdifferencen over væggene,  $\Delta \theta_{s,walls}$ , er temperaturforskellen mellem den indre og ydre overfladetemperatur, som påvirker målezonens energitab til omgivelserne. Denne parameter bestemmes ved måling af temperaturen.

#### D.1.2 Varmestrøm gennem det omsluttende panel

Testelementet er placeret i et omsluttende panel, som tilpasser elementet til hotboxen, og dækker det resterende areal mellem den måle- og klimazone, som ikke dækkes af testelementet. Varmestrømmen gennem dette omsluttende panel,  $\Phi_{sur}$ , beregnes af formel D.5.

$$\Phi_{sur} = U_{sur} \cdot A_{sur} \cdot (\theta_{s,i,sur} - \theta_{s,e,sur}) \tag{D.5}$$

Hvor:

$\Phi_{sur}$	Varmestrøm gennem det omsluttende panel [W]
$U_{sur}$	Transmissionsko efficient af omsluttende panel $[\rm W/m^2 \rm K]$
$A_{sur}$	Areal af omsluttende panel $[m^2]$
$\theta_{s,i,sur}$	Intern overfladetemperatur af omsluttende panel [°C]
$\theta_{s,e,sur}$	Ekstern overfladetemperatur af omsluttende panel [°C]

### D.1.2.1 Transmissionskoefficient af omsluttende panel

Transmissionskoefficienten af det omsluttende panel,  $U_{sur}$ , bestemmes ved kalibrering.

### D.1.2.2 Areal af omsluttende panel

Arealet af det omsluttende panel,  $A_{sur}$ , er det areal hvorigennem der vil være varmestrøm til klimazonen, foruden varmestrømmen gennem testelementet.

### D.1.2.3 Overfladetemperaturer af det omsluttende panel

Den in- og eksterne overfladetemperatur for det omsluttende panel,  $\theta_{s,i,sur}$  og  $\theta_{s,e,sur}$ , anvendes til bestemmelse af temperaturdifferencen, som det samlede varmetab gennem det omsluttende panel, er lineært afhængig af. Temperaturen måles på den indre og ydre overflade af panelet.

### D.1.3 Varmestrøm grundet linjetab

Ved samlingen mellem vinduet og det omsluttende panel, vil der være et linjetab,  $\Phi_{edge}$ , som er afhængig af temperaturforskellen. Dette linjetab er afhængigt af det omsluttende panel og bestemmes ved kalibrering af hotboxen.

# D.1.4 Varme fjernet med kølesystem

For at skabe en balance mellem tilskud og tab til målezonen, fjernes energi med et kølesystem,  $\Phi_{fluid}$ , med væske som medium. Energien bestemmes af formel D.6

$$\Phi_{fluid} = \rho \cdot C_p \cdot \dot{m} \cdot (\theta_{fluid,ex} - \theta_{fluid,in}) \tag{D.6}$$

Hvor:

$\Phi_{fluid}$	Energi fjernet med kølesystem [W]
ρ	Densitet af væske $[kg/m^3]$
$C_p$	Specifik varmekapacitet $[J/kgK]$
$\dot{m}$	Massestrøm $[kg/h]$
$\theta_{fluid,ex}$	Væsketemperatur af fremløb til køle anlæg [°C]
$\theta_{fluid,in}$	Væsketemperatur af retur fra køle anlæg $[^{\circ}\mathrm{C}]$

### D.1.4.1 Densitet af væske

Densiteten,  $\rho$ , der dækker over vægten per volumenenhed, for væsken, er afhængig af temperaturen, og findes af tabelopslag, for den anvendte kølevæske.

# D.1.4.2 Specifik varmekapacitet

Den specifikke varmekapacitet,  $C_p$ , er en konstant for den anvendte kølevæske, der beskriver mængden af energi der skal til for at opnå en temperaturændring per masseenhed.

### D.1.4.3 Massestrøm

Massestrømmen,  $\dot{m}$ , findes ved måling af flowet på kølekredsen.

### D.1.4.4 Væsketemperaturer

Væsketemperaturen for fremløb og retur,  $\theta_{fluid,ex}$  og  $\theta_{fluid,in}$ , for køleenheden måles. Temperaturdifferencen har lineær påvirkning på energien fjernet af køleanlægget.

# D.1.5 Energitilførsel til målezone af ventilatorer og pumper

Varmetilførslen til målezonen fra ventilatorer og pumper,  $\Phi_{AUX}$ , er energien til de ventilatorer og pumper der er placeret indeni zonen, for at skabe god opblanding og derved en lille temperaturgradient.

# D.2 Termisk varmestrøm gennem testelement

Varmestrømmen gennem testelementet grundet temperaturdifferens,  $\Phi_U$ , er afhængig af at lufttemperaturen i de to zoner. Varmestrømmen beregnes af formel D.7.

$$\Phi_U = U \cdot A_{sp} \cdot (\theta_{c,i} - \theta_{c,e}) \tag{D.7}$$

Hvor:

$\Phi_U$	Termisk varmestrøm gennem testelement [W]
U	Transmissionsko efficient for opstillede forhold $\rm [W/m^2K]$
$A_{sp,U}$	Areal for termisk varmestrøm gennem testelement $[\mathrm{m}^2]$
$\theta_{c,i}$	Lufttemperatur i målezone [°C]
$\theta_{c,e}$	Lufttemperatur i klimazone [°C]

### D.2.1 Transmissionskoefficient for opstillede forhold

Den standardiserede transmissionskoefficient af testelementet, U, skal være for de forhold der er under testforholdene, altså med tilpasset overgangsisolans. Dette bestemmes på baggrund af kalibrering.

#### D.2.2 Areal for termisk varmestrøm gennem testelement

Arealet at testelementet,  $A_{sp,U}$ , er overfladearealet hvorigennem termisk varmestrøm vil forekomme anvendes. Arealet er af hele vinduet med karm.

### D.2.3 Lufttemperaturer

Lufttemperaturen i målezonen,  $\theta_{c,i}$ , og lufttemperaturen i klimazonen,  $\theta_{c,e}$ , måles. Differencen på disse to temperaturer medfører en varmestrøm mellem zonerne gennem testelementet.

# D.3 Areal af den del solvarmetransmittans bestemmes for

Areal af testelementet,  $A_{sp,g}$ , er arealet af den del solvarmetransmittansen bestemmes for. Ved bestemmelse af rudens solvarmetransmittans,  $g_g$ , anvendes arealet af ruden, og ønskes det at bestemme det at bestemme vinduets solvarmetransmittans,  $g_w$ , anvendes arealet af hele vinduet.

# D.4 Solintensitet

Solintensiteten,  $E_S$ , er den strålingsstyrke, som påvirker den ydre overflade af testelementet. Strålingen måles med et pyranometer placeret i samme plan og med samme bestråling som testelementet.

# Definition af hotbox **E**

En hotbox er et forsøgsinstrument til måling af varmetransport i homogene og inhomogene bygningselementer, som anvendes til at karakterisere elementets isoleringsevne. Dette gøres ved at montere elementet mellem to bokse, hvorimellem der skabes en temperaturdifferens, normalvis stationær. Ved denne temperaturdifferens måles energitabet fra den varme boks, også kaldet målezonen, til den kolde boks, klimazonen, igennem testelementet. Ud fra dette bestemmes elementets transmissionskoefficient, U, som beskriver den samlede energitransport igennem elementet. [Evitherm, 2014]

I målezonen skal der være et varmeanlæg, som skal tilføre den energi, der gennem testelementet transporteres til klimazonen. I klimazonen skal der være et køleanlæg, som kan fjerne energien, der transporteres fra målezonen. I begge zoner placeres en ventilator, som skal sikre god opblanding, for at skabe en ensartet temperatur i hele zonen. En skitse af en hotbox kan ses af figur E.1.



Figur E.1. 2D principskitse af en hotbox.

Som det kan ses af figur E.1, vil boksene være åbne i den side der vender ind mod testelementet, men vil derudover have fem andre sider, som vil være påvirket af den omgivende temperatur. En temperaturdifferens over disse overflader, vil medføre varmetransport mellem zone og omgivelser. Dette tages højde for ved enten at kalibrere boksen og derved karakterisere varmetransporten på baggrund af temperaturforskellen eller ved anvendelse af en beskyttet hotbox.

Princippet bag en beskyttet hotbox er at målezonen beskyttes mod udeforholdene af en omkransende zone med samme temperatur som målezonen. Dette hindrer energitab fra målezonen til omgivelserne. På den måde vil målezonen udelukkende have et energitab til klimazonen gennem testelementet. En sådan hotbox er illustreret af figur E.2 på næste side.



 $Figur\ E.2.$  2D principskitse af en beskyttet hotbox.

# Kalibrering af måleudstyr

I dette bilag gennemgås principperne for kalibrering af anvendt måleudstyr samt en beskrivelse af hvordan kalibreringen er udført i praksis.

For at få pålidelige måleresultater, er det vigtigt at kalibrere måleudstyret. Dette vil medføre eventuelle forskelle i præcise og målte værdier kan mindskes, samt at eventuelle fejl på måleudstyret kan opdages.

Princippet for kalibrering er at sammeholde resultater fra udstyret med resultater fra udstyr der er med tilstrækkelig nøjagtighed.

Da kilden til en forskel i målte og korrekte værdier både kan skyldes måle- og opsamlingsudstyr, er det vigtigt at dette kalibreres sammen, hvilket vil give det bedste resultat. Ud fra resultaterne bestemmes et kalibreringsudtryk for sammenhængen mellem målte og præcise værdier, hvorved fejlen på anvendt udstyr korrigeres.

# F.1 Lineær kalibrering

Størstedelen af udstyret der anvendes til målinger i dette projekt bygger på en lineær sammenhæng imellem in- og output. Princippet for kalibrering af denne type måleudstyr er, at måle ved minimum tre forskellige niveauer, som er repræsentativ for måleområdet som udstyret skal anvendes i. Ved de forskellige valgte niveauer måles med reference og anvendt måleudstyr samtidig og ud fra resultaterne herpå, beregnes en lineær sammenhæng som udtrykkes ved en a og b koefficient.

I nogle tilfælde anvendes kalibreringen udelukkende til at tage højde for fejl i præcision af anvendte måleudstyr, mens det for andet udstyr ligeledes anvendes til at konvertere fra en outputenhed til korrekt enhed for det målte. Det er eksempelvis tilfældet for termoelementer, som udtrykker en temperatur som et spændingsoutput, hvorimod eksempelvis Eltek måleenheder foretager denne konvertering i udstyret. Fælles for begge situationer er at omregning fra målt til kalibreret værdi sker ved formel F.1.

$$y = a \cdot x + b \tag{F.1}$$

Hvor:

- $y \mid \text{Korrigeret/kalibreret output}$
- *a* Hældningskoefficient for hældning imellem målt og præcis værdi
- x | Ukorrigeret/målt output fra udstyr
- b Skæringskoefficient for skæring med y-aksen

For at opnå god præcision foretages målingerne over en længere tidsperiode og med et antal målinger der vurderes tilstrækkelig. Præcisionen af kalibreringen kan vurderes ud fra regressionskoefficienten, der beskriver i hvor høj grad der er lineær sammenhæng mellem ukorrigeret og korrigeret output.

# F.2 Temperatursensor til hotbox forsøg

I projektets hotbox forsøg anvendes termoelementer og RTD, Resistance Temperature Detectors, til måling af temperaturer. Begge sensortyper bygger på en lineær sammenhæng mellem in- og output. Inputtet består af temperaturpåvirkning sensoren påvirkes af og outputtet fremkommer som henholdsvis en spænding og en modstand. Princippet for kalibreringen er beskrevet i afsnit F.1 på foregående side.

Kalibreringen er foretaget ved at placere måle- og præcisionsudstyr i en Isocal termobrønd, som anvendes til at skabe stabile temperaturer ved forskellige niveauer. I Isocalen er placeret en metalblok indsats, som stabiliser og skaber en mere jævn fordeling af temperaturen, hvilket forbedrer kalibreringen. Kalibreringen er udført ved syv forskellige niveauer med et spænd på 7,5 °C i området -5 til 40 °C ved måling hvert 10. sekund over 20 minutter.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- F200 Precision Thermometer (reference)
- Isotech Isocal Venus 2140B
- Fluke Helios plus 2287A datalogger

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede temperatursensorer kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Kalibrering Termoelementer/\*.pdf"

# F.3 Pyranometer til hotbox forsøg

Under hotbox undersøgelsen anvendes et Kipp CMP 11 Pyranometer til at måle solintensitet, til målinger af solvarmetransmittans. Pyranometeret angiver solintensiteten som et spændingsoutput med lineær relation mellem in- og output. Derfor er princippet for kalibreringen som beskrevet i afsnit F.1 på forrige side.

Kalibreringen er foretaget ved at placere reference og anvendt pyranometer udenfor og på denne måde at kalibrere i forhold til naturligt lys. Outputtet fra referenceudstyret er spænding og denne spænding skal divideres med en konstant for at omregne til  $W/m^2$ . Ved at kalibrere i forhold til strålingsintensiteten, vil kalibreringen automatisk medfører denne omregning for det anvendte pyranometer fremover.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- Fluke Helios plus 2287A datalogger
- Zonen & Kipp CMP 21 Pyranometer (reference)

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede pyranometre kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Kalibrering af pyranometer til Hotbox.xlsx"

# F.4 Anemometer til hotbox forsøg

For at kunne kontrollere lufthastigheden under hotbox undersøgelsen, benyttes to Dantec Flowmaster type 54N60 anemometre placeret, et placeret i hver zone. Disse anemometre giver et spændingsoutput, som konverteres til en hastighed. Kalibreringen er foretaget ved at placere anemometerne i en vindtunnel, hvor hastigheden kan styres til ønskede niveauer. Hastigheden styres ved at måle tryktabet over en måleblænde hvor et givent tryktab giver en hastighed. Ydermere er der korrigeret for densiteten af luften i laboratoriet hvor kalibreringen er udført.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

• Fluke Helios plus 2287A datalogger

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede pyranometre kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Dantec anemometer 230.xlsx" og "Kalibrering/Dantec anemometer 242.xlsx"

# F.5 Energimålere til måling af køling i hotbox og energiforbrug i testhus

Til måling af energi i varme og brugsvandssystemer er anvendt Brunata HGQ energimålere som består af to PT100 temperaturfølere og en flowsensor der måler på baggrund af ultralyd.

# F.5.1 Temperatursensor

Temperaturfølerne kalibreres efter samme princip som for temperaturfølerne til hotbox, hvilket er beskrevet i afsnit F.2 på forrige side. Der er dog en lille ændring, da disse sensorer er kalibreret i vand, hvilket tidligere erfaringer har vist giver størst præcision. Dette er gjort ved at bruge en anden indsats, som er en aluminiumsbeholder som fyldes med demineraliseret vand. I bunden af beholderen placeres en speciel medfølgende magnet, som Isocalen kan rotere, hvilket opblander vandet og skaber ens temperatur i beholderen. Efterfølgende er måle- og referenceudstyr placeret i vandet, hvor en fjeder separerer magnet og måleudstyr. Kalibreringen af temperatursensorerne er udført ved fire temperaturer, 10, 35, 55 og 75 °C og målingerne er udført med en målefrekvens på en måling i minuttet over 10 minutter.

# F.5.2 Flowsensor

Flowsensorerne er kalibreret ved at lade sensorerne blive gennemstrømmet af vand, ved et nogenlunde konstant flow og opsamle væsken i en beholder. Ved vejning af beholderen før og efter forsøget, bestemmes densiteten af vandet som har gennemstrømmet målerne. Under forsøget har de kolde temperatursensorer logget temperaturen af væsken og ud fra kalibreringen at disse følere, er beregnet en gennemsnitstemperatur af vandet, hvilket ud fra densiteten af vand ved en given temperatur, kan omregnes til et gennemstrømmet volumen [Weast, 2014]. På baggrund af forsøgstiden, bestemmes flowet.

Ved at sammenholde specifikt volumen og målt volumen for flows på 57, 259, 1033 og 1116 l/h er flowsensorerne kalibreret efter princippet for lineær kalibrering beskrevet i afsnit F.1 på side 149.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- F200 Precision Thermometer
- Isotech Isocal Venus 2140B
- Vandbeholder med HBM Z6H2 200kg vægtmodul
- Brüel & Kjær strain indicator type 1526
- Fluke 365 PQ clamp meter

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede energimåleres flow- og temperatursensorer kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/BTR - Flow og temperatur.xlsx"

Til måling af køling i hotbox er anvendt Brunata 30835942, mens der i Nibe er anvendt Brunata 30835917 til måling af rumopvarmning og Brunata 30835942 til måling af varmt brugsvand.

# F.6 Luftkvalitetssensor til on-site målinger i testhus

Til on-site målingerne i testhuset i Nibe, anvendes luftkvalitetssensorer fra [Eltek dataloggers, 2014] af typerne GC10 og GD47 som måler temperatur og relativ luftfugtighedssensorer og GD47 måler ligeledes  $CO_2$ -niveau. Disse sensorer giver et output for hver af disse parametre af korrekt enhed, hvilket betyder, at kalibreringen udelukkende skal skabe relation mellem målte og præcise værdier. Dette gøres ud fra princippet for lineær sammenhæng beskrevet i afsnit F.1 på side 149.

Kalibreringen af disse sensorer er foretaget ved at placere reference og anvendt måleudstyr i den varme del af den anvendte hotbox. I boksen har temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau været stabiliseret ved tre niveauer.

# F.6.1 Temperatursensor

Kalibreringen af temperatur censorer er foretaget ved 10, 25 og 45 °C og målingerne er foretaget over mindst en time, hvor der er målt hvert fem<br/>te minut. Dette gør at der er midlet over 14, 13 og 21 målinger, ved de respektive temperaturer, for både præcisions og anvendt måleudstyr.

Styringen til hotboxen er anvendt til at skabe de tre forskellige temperaturniveauer.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- F200 Precision Thermometer
- Eltek WSR trådløs datalogger

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede temperaturfølere kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Eltek/\*.pdf"

# F.6.2 Relativ luftfugtighedssensor

Kalibreringen af sensorerne til måling af relativ luftfugtighed, er udført ved 12, 70 og 85 % og er ligeledes her foretaget over mindst en time med en målefrekvens på fem minutter på både måle- og referenceudstyr.

Ændringen af den relative fugtighed i hotboxen, er foretaget ved at placere fugtige klude som har afgivet fugt til luften.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- Novasina HyggroDat 100 luftfugtighedssensor
- Fluke 365 PQ clamp meter
- Eltek WSR trådløs datalogger

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibrerede sensorer til måling af relativ luftfugtighed kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Eltek/\*.pdf"

# F.6.3 CO<sub>2</sub>-sensor

 $CO_2$ -sensorerne er kalibreret ved niveauer omkring 450, 2000, 3800 ppm. Ved denne føler er der med måleudstyret målt hvert femte minut, hvilket vil sige at midling er lavet over henholdsvis 14, 13 og 21 målinger, ligesom for temperatur og relativ luftfugtighed, imens referencen har målt hvert 55. sekund, og derfor har målt med over fem gange så stor frekvens.

Niveauerne er skabt ved at tilføre  $CO_2$  til hotboxen og løbende justere grundet at boksens utæthed indenfor kort tid har medført en stor reduktion ved de højere niveauer. Derfor har der omkring hvert andet minut været tilført mere  $CO_2$ , for at opretholde et ønsket niveau i måleperioden.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- Brüel & Kjær type 1302 Multi-gas Monitor
- Brüel & Kjær type 1303 Multipoint Sampler and Doser
- Eltek WSR trådløs datalogger

Kalibrerings- og regressionsko<br/>efficienter for kalibrerede $\rm CO_2$ -sensorer kan ses på Appendix-<br/>CD under "Kalibrering/Eltek/\*.pdf"

# F.7 Vejrstation til testhus

Ved testhuset i Nibe er opstillet en vejrstation til måling af lokalt vejrdata, som måler:

- Lufttemperatur
- Relativ luftfugtighed
- CO<sub>2</sub>-niveau
- Solstråling
- Vindhastighed
- Vindretning

I det følgende gennemgås hvordan hver sensor er kalibreret.

# F.7.1 Lufttemperatur

Til måling af lufttemperatur i vejrstation anvendes en PT100 RTD sensor. Sensoren er tilkoblet et PR 5714 modul fra [PR Electronics, 2014], som konverterer sensorens output fra en modstand til en spænding som logges med GS44 spændingsmåler fra [Eltek dataloggers, 2014].

Kalibreringen består i dette tilfælde i en sammenhæng mellem en spænding målt af GS44 sensoren og temperaturen der påvirker PT100 føleren. Kalibreringen er foretaget ved at placere måle- og præcisionsudstyr i Isocal som anvendes og derved skabe stabile temperaturer ved forskellige niveauer. Kalibreringen er udført ved tre forskellige niveauer, hvor det har været ønsket at kalibrere føleren i hele det område føleren formodes at kunne blive udsat for, ved at kalibrere ved -30, 5 og 40 °C. Dette har dog ikke været muligt, da Isocalen, ikke kunne skabe en temperatur koldere end -0,3 °C ved kalibreringen. Temperaturen er målt hvert minut over ti minutter for både måleudstyr og referencen. Igen i dette tilfælde har temperaturfølerne været placeret i jernindsats, for at skabe mere stabile og jævnt fordelte temperaturer.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- F200 Precision Thermometer
- Isotech Isocal Venus 2140B
- Eltek WSR trådløs datalogger

Kalibrerings- og regressionsko<br/>efficienter for kalibrerede $\rm CO_2$ -sensorer kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Kalibrering u<br/>detemperaturføler og RH.xlsx"

# F.7.2 Relativ luftfugtighed

Til måling af relativ luftfugtighed er anvendt to HIH4000 sensorer fra [Honeywell, 2014]. Sensoren giver et spændingsoutput, som er lineært afhængigt af den relative luftfugtighed sensoren påvirkes af. Denne sensor er, ligesom temperatursensoren, tilkoblet en GS44 spændingsmåler fra [Eltek dataloggers, 2014] som logger spændingen.

Kalibreringen er foretaget ved brug af SAL-SC Check fra [Novasima, 2014], som er luftfugtighedsgeneratorer som på grundlag af mættede saltopløsninger, indenfor temperaturområdet 15-30 °C skaber en stabil luftfugtighed, hvilket anvendes til at kalibrere sensoren ud fra. Til kalibreringen er anvendt fem forskellige salte, som skaber relative luftfugtigheder på 11,3, 32,8, 52,9, 75,3 og 90,1 %. Den relative luftfugtighed der skabes er afhængig af temperaturen og er præcist angivet for, 15, 20, 25 og 30 °C på hver beholder.

Kalibreringen er udført ved at placere sensorerne i beholderen og logge spændingen hvert andet minut og temperaturen hvert minut i 40 minutter. For at beregne den præcise relative luftfugtighed er der anvendt lineær interpolation i det interval som temperaturen har lagt indenfor. Målingerne er udført for hver salt og kalibreringen er udført ud fra princippet om lineær kalibrering, hvilket er beskrevet i afsnit F.1 på side 149.

Det specifikke udstyr anvendt til kalibrering er:

- F200 Precision Thermometer
- Eltek WSR trådløs datalogger
- Novasima SAL-SC kalibreringssalte

Kalibrerings- og regressionsko<br/>efficienter for kalibrerede $\rm CO_2$ -sensorer kan ses på Appendix-<br/>CD under "Kalibrering/Kalibrering udetemperaturføler og RH.xlsx"

# F.7.3 CO<sub>2</sub>-niveau

 $CO_2$ -sensoren til vejrstationen er kalibreret i hotbox sammen med sensorer til måling af luftkvalitet. Fremgangsmåde og anvendt udstyr i er beskrevet i F.6.3 på side 153.

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibreret sensor til måling af CO<sub>2</sub> kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Kalibrering af CO<sub>2</sub>-føler vejrstation.xlsx"

# F.7.4 Solstråling

Kalibrering af føleren til måling af solstråling er foretaget som beskrevet i F.3 på side 150.

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibreret sensor til måling af solstråling kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Kalibrering af pyranometer til Nibe.xlsx"

# F.7.5 Vindhastighed og vindretning

Kalibrering af føleren til måling af vindhastighed er foretaget som beskrevet i F.4 på side 150. Den eneste forskel er, at denne føler også måler retning som er en spænding på 0 V for retning  $0^{\circ}$ , 1,8 V for retning  $180^{\circ}$ , 3,6 V for retning  $360^{\circ}$  og så fremdeles. Denne sensor er udelukkende kontrolleret.

Kalibrerings- og regressionskoefficienter for kalibreret sensor til måling af vinddata kan ses på Appendix-CD under "Kalibrering/Ultralyd anemometer - Vejrstation.xlsx"

# Målepunkter omsluttende panel G



Figur G.1. Placering af overfladetemperatursensorer på det omsluttende panel.

# Kunstig sol H



Figur H.1. Illustration af kunstig sol, med pærer i anvendte positioner.

# Resultat af eksperimentel transmissionskoefficient

I dette bilag forefindes resultatgennemgang af undersøgelsen af standardiceret transmissionskoefficient for testvinduer med anvendte EnergyFrames. Resultatgennemgangen for tesvinduer med EnergyFrames med tekstildug er angivet af tabel I.1, med transparent plade af tabel I.2 på næste side og med efterisoleret plade af tabel I.3 på side 163.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	388,16	345,20	329,68
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	195,75	$194,\!12$	$194,\!31$
$\theta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	$21,\!30$	$21,\!23$	20,10
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$34,\!52$	$36,\!36$	$36,\!98$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	$59,\!50$	$59,\!67$	$63,\!01$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	0,43	$0,\!43$	$0,\!43$
$\theta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	32,94	$33,\!98$	$34,\!17$
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	6,41	$6,\!26$	$6,\!11$
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	26,82	27,72	27,76
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	0,47	$0,\!49$	$0,\!50$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	24,01	$24,\!13$	$24,\!16$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	117,64	$75,\!23$	$55,\!61$
$A_{sp}$	$[m^2]$	_	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$
$q_{sp}$	$[W/m^2]$	$\Phi_{sp}/A_{sp}$	64,62	$41,\!32$	$30,\!55$
$F_{c,i}$	[—]	formel 4.17	0,27	$0,\!31$	0,32
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$38,\!38$	$38,\!98$	$39,\!17$
$ heta_{n,i}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	37,33	$38,\!17$	$38,\!46$
$F_{c,e}$	[-]	formel 4.18	0,49	$0,\!56$	$0,\!58$
$ heta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!18$	$^{5,12}$	$5,\!01$
$ heta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!85$	9,74	$9,\!37$
$ heta_{n,e}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	7,54	$7,\!18$	$6,\!83$
$\Delta \theta_n$	$[^{\circ}C]$	_	29,79	$31,\!00$	$31,\!64$
$U_m$	$[W/m^2K]$	formel B.4	$2,\!17$	$1,\!33$	0,97
$R_{s,t}$	$[m^2K/W]$	formel 4.23	0,30	$0,\!21$	$0,\!17$
$R_{(s,t),st}$	$[m^2K/W]$	tabel B.1	0,17	$0,\!17$	$0,\!17$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	formel B.3	3,04	$1,\!42$	$0,\!97$
$U_{st,s}$	$[W/m^2K]$	_	2,66	$1,\!41$	0,97

**Tabel I.1.** Resultatgennemgang af bestemmelse af transmissionskoefficient for vinduer med EnergyFrames med tekstildug.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	366,54	326,87	325,44
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	$197,\!86$	$194,\!04$	$194,\!82$
$\theta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	20,16	21,50	$20,\!27$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$35,\!89$	$36,\!91$	$37,\!29$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	$62,\!84$	$58,\!89$	$62,\!50$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	$0,\!43$	$0,\!43$	$0,\!43$
$\theta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	33,72	$34,\!36$	$34,\!42$
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	6,76	$6,\!62$	$6,\!40$
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	$26,\!96$	27,74	$28,\!02$
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	$0,\!48$	$0,\!49$	$0,\!50$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	$24,\!06$	$24,\!13$	$24,\!16$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	$89,\!66$	$57,\!65$	$51,\!61$
$A_{sp}$	$[m^2]$	_	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$
$q_{sp}$	$[W/m^2]$	$\Phi_{sp}/A_{sp}$	$49,\!25$	$31,\!67$	$28,\!35$
$F_{c,i}$	[—]	formel 4.17	$0,\!29$	$0,\!32$	0,32
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$38,\!80$	$39,\!17$	$39,\!27$
$ heta_{n,i}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$37,\!94$	$38,\!45$	$38,\!63$
$F_{c,e}$	[-]	formel 4.18	$0,\!53$	$0,\!58$	$0,\!59$
$\theta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$5,\!08$	$^{5,05}$	$4,\!94$
$\theta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!47$	$9,\!80$	$9,\!48$
$ heta_{n,e}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$7,\!13$	$7,\!05$	$6,\!81$
$\Delta \theta_n$	$[^{\circ}C]$	_	$30,\!81$	$31,\!40$	$31,\!82$
$U_m$	$[W/m^2K]$	formel B.4	$1,\!60$	$1,\!01$	$0,\!89$
$R_{s,t}$	$[m^2K/W]$	formel 4.23	0,24	$0,\!18$	$0,\!16$
$R_{(s,t),st}$	$[m^2K/W]$	tabel B.1	0,17	$0,\!17$	$0,\!17$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	formel B.3	1,81	$1,\!01$	$0,\!89$
$U_{st,s}$	$[W/m^2K]$	_	$1,\!54$	$0,\!97$	$0,\!84$

**Tabel I.2.** Resultatgennemgang af bestemmelse af transmissionskoefficient for vinduer med EnergyFrames med transparent plade.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	347,01	318,45	317,47
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	$197,\!17$	$193,\!51$	$194,\!12$
$ heta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	$20,\!64$	$21,\!40$	$19,\!99$
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$36,\!27$	$37,\!09$	$37,\!48$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	$61,\!48$	$59,\!22$	$63,\!32$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	$0,\!43$	$0,\!43$	$0,\!43$
$ heta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	33,70	$34,\!47$	$34,\!62$
$ heta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	$6,\!93$	$6,\!83$	6,75
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	26,78	$27,\!64$	$27,\!87$
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	$0,\!48$	$0,\!49$	$0,\!50$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	$24,\!04$	$24,\!12$	$24,\!15$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	$72,\!11$	$49,\!47$	$43,\!79$
$A_{sp}$	$[m^2]$	_	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$
$q_{sp}$	$[W/m^2]$	$\Phi_{sp}/A_{sp}$	$39,\!61$	$27,\!17$	$24,\!05$
$F_{c,i}$	[—]	formel 4.17	$0,\!31$	$0,\!33$	$0,\!33$
$ heta_{r,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$38,\!95$	$39,\!25$	$39,\!34$
$ heta_{n,i}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$38,\!12$	$38,\!55$	38,73
$F_{c,e}$	[-]	formel 4.18	$0,\!56$	$0,\!59$	$0,\!60$
$ heta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$^{5,03}$	$^{5,05}$	$5,\!00$
$ heta_{r,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	$9,\!57$	9,79	$9,\!39$
$ heta_{n,e}$	$[^{\circ}C]$	formel B.9	$7,\!03$	$6,\!99$	6,76
$\Delta \theta_n$	$[^{\circ}C]$	_	$31,\!09$	$31,\!56$	$31,\!97$
$U_m$	$[W/m^2K]$	formel B.4	$1,\!27$	$0,\!86$	0,75
$R_{s,t}$	$[m^2K/W]$	formel 4.23	$0,\!21$	$0,\!16$	$0,\!15$
$R_{(s,t),st}$	$[m^2K/W]$	tabel B.1	$0,\!17$	$0,\!17$	$0,\!17$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	formel B.3	1,34	$0,\!85$	0,74
$U_{st,s}$	$[W/m^2K]$	_	1,21	$0,\!82$	0,71

**Tabel I.3.** Resultatgennemgang af bestemmelse af transmissionskoefficient for vinduer med EnergyFrames med efterisoleret plade.

# Resultat af eksperimentel solvarmetransmittans

I dette bilag forefindes resultatgennemgang af undersøgelsen af solvarmetransmittans for testvinduer med anvendte EnergyFrames. Resultatgennemgangen for tesvinduer med EnergyFrames med tekstildug er angivet af tabel J.1 og med transparent plade af tabel J.2 på den følgende side.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3
$\Phi_{el}$	[W]	målt	0,00	0,00	0,00
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	229,00	$229,\!00$	$229,\!00$
$ heta_{env}$	$[^{\circ}C]$	målt	$_{30,45}$	$26,\!93$	31,70
$ heta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	målt	$35,\!93$	$37,\!98$	$34,\!17$
$\Phi_{walls}$	[W]	formel 4.2	31,44	$42,\!49$	$27,\!47$
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	0,43	$0,\!43$	$0,\!43$
$ heta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	34,21	$35,\!31$	30,77
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	målt	6,99	7,31	8,10
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	27,22	$28,\!00$	$22,\!66$
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	0,49	$0,\!50$	$0,\!41$
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	24,08	$24,\!16$	$23,\!54$
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	282,86	$293,\!98$	$278,\!35$
$A_{sp,U}$	$[m^2]$	_	1,82	$1,\!82$	$1,\!82$
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	tabel I.1	2,66	$1,\!41$	$0,\!97$
$ heta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	målt	3,24	$2,\!95$	$3,\!83$
$\Phi_U$	[W]	formel D.7	158, 17	89,73	$53,\!47$
$A_{sp,g}$	$[m^2]$	_	1,56	$1,\!56$	$1,\!56$
$E_S$	$[W/m^2]$	målt	400,66	$397,\!14$	$405,\!42$
$g_g$	[-]	formel D.2	0,74	$0,\!65$	$0,\!55$

 Tabel J.1. Resultatgennemgang af bestemmelse af g-værdi for vinduer med EnergyFrames med tekstildug.

Vindue	[-]	tabel 3.1	1	2	3	
$\Phi_{el}$	[W]	målt	0,00	0,00	0,00	
$\Phi_{fluid}$	[W]	målt	229,00	229,00	229,00	
$\theta_{env}$	$[^{\circ}C]$	${ m m}$ ålt	$29,\!88$	$28,\!13$	$31,\!65$	
$\theta_{c,i}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	$39,\!69$	$40,\!53$	$36,\!04$	
$\Phi_{walls}$	[W]	4.2	$33,\!29$	38,76	$27,\!64$	
$A_{sur}$	$[m^2]$	_	$0,\!43$	$0,\!43$	$0,\!43$	
$\theta_{s,i,sur}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	$37,\!15$	37,75	$32,\!37$	
$\theta_{s,e,sur}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	$9,\!15$	$_{9,02}$	$10,\!67$	
$\Delta \theta_{s,sur}$	$[^{\circ}C]$	_	$28,\!00$	28,73	$21,\!69$	
$R_{sur}$	$[m^2K/W]$	formel 4.9	0,50	$0,\!51$	$0,\!40$	
$\Phi_{sur}$	[W]	formel B.7	$24,\!16$	$24,\!23$	$23,\!40$	
$\Phi_{sp}$	[W]	formel 3.1	284,79	$290,\!32$	$278,\!37$	
$A_{sp,U}$	$[m^2]$	_	$1,\!82$	$1,\!82$	$1,\!82$	
$U_{st}$	$[W/m^2K]$	tabel I.2	$1,\!54$	$0,\!97$	$0,\!84$	
$\theta_{c,e}$	$[^{\circ}C]$	$\mathrm{m}$ ålt	$3,\!84$	$2,\!56$	$4,\!68$	
$\Phi_U$	[W]	formel D.7	100,31	66,92	47,77	
$A_{sp,g}$	$[m^2]$	_	1,56	1,56	$1,\!56$	
$E_S$	$[W/m^2]$	målt	397,80	$401,\!25$	402,89	
$g_g$	[-]	formel D.2	$0,\!65$	$0,\!60$	$0,\!55$	

**Tabel J.2.** Resultatgennemgang af bestemmelse af solvarmetransmittans for vinduer med EnergyFrames af transparent plade.

# Beregnet effekt af EnergyFrames

Transmissions	xoefficient	(	Opgive	t		Målt	
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3
$U_{st,w}$	$[W/m^2K]$	2,71	$1,\!26$	0,90	2,67	$1,\!37$	$1,\!03$
$R_{(s,i),st}$	$[m^2K/W]$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$
$R_{(s,e),st}$	$[m^2K/W]$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$
$R_w$	$[m^2K/W]$	0,20	$0,\!62$	$0,\!94$	0,20	$0,\!55$	$0,\!79$
$R_{EF,tekstil}$	$[m^2K/W]$	-	-	-	-	-	-
$U_{st,tot,calc,tekstil}$	$[W/m^2K]$	2,18	$1,\!13$	$0,\!83$	2,15	$1,\!22$	$0,\!94$

**Tabel K.1.** Beregnet transmissionskoefficient af anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames med tekstildug, på baggrund af opgivne og målte transmissionskoefficienter for vinduerne.

Transmissionskoefficient		Opgivet			Målt		
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3
$U_{st,w}$	$[W/m^2K]$	2,71	$1,\!26$	0,90	2,67	$1,\!38$	1,04
$R_{(s,i),st}$	$[m^2K/W]$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$	$0,\!13$
$R_{(s,e),st}$	$[m^2K/W]$	$0,\!04$	$0,\!04$	$0,\!04$	0,04	$0,\!04$	$0,\!04$
$R_w$	$[m^2K/W]$	0,20	$0,\!62$	$0,\!94$	0,20	$0,\!55$	$0,\!79$
$R_{hulrum}$	$[m^2K/W]$	$0,\!09$	$0,\!09$	$0,\!09$	$0,\!09$	$0,\!09$	$0,\!09$
$R_{EF,transparent}$	$[m^2K/W]$	$0,\!45$	$0,\!45$	$0,\!45$	$0,\!45$	$0,\!45$	$0,\!45$
$U_{st,tot,calc,transparent}$	$[W/m^2K]$	$1,\!10$	$0,\!75$	$0,\!61$	$1,\!09$	0,79	$0,\!66$

**Tabel K.2.** Beregnet transmissionskoefficient af anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames med transparent plade, på baggrund af opgivne og målte transmissionskoefficienter for vinduerne.

Transmissionskoefficient		Opgivet			Målt		
Inwido vindue	[-]	1	2	3	1	2	3
$U_{st,w}$	$[W/m^2K]$	2,71	$1,\!26$	0,90	2,67	$1,\!38$	1,04
$R_{(s,i),st}$	$[m^2K/W]$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$	0,13	$0,\!13$	$0,\!13$
$R_{(s,e),st}$	$[m^2K/W]$	0,04	$0,\!04$	$0,\!04$	0,04	$0,\!04$	$0,\!04$
$R_w$	$[m^2K/W]$	0,20	$0,\!62$	$0,\!94$	0,20	$0,\!55$	$0,\!79$
$R_{hulrum}$	$[m^2K/W]$	0,09	$0,\!09$	$0,\!09$	0,09	$0,\!09$	$0,\!09$
$R_{EF,efterisoleret}$	$[m^2K/W]$	1,50	$1,\!50$	$1,\!50$	1,50	$1,\!50$	$1,\!50$
$U_{st,tot,calc,efterisoleret}$	$[W/m^2K]$	0,51	$0,\!42$	$0,\!37$	0,51	$0,\!43$	$0,\!39$

**Tabel K.3.** Beregnet transmissionskoefficient af anvendte vinduer ved anvendelse af EnergyFrames med efterisoleret plade, på baggrund af opgivne og målte transmissionskoefficienter for vinduerne.

I dette bilag er listet inputs til BSim-modellen af huset i Nibe. Disse er opdelt på de forskellige rum i bygningen. Den samlede bygning har et samlet volumen på  $382,19 \text{ m}^3$  og et opvarmet etageareal på  $182 \text{ m}^2$ . Bygningens rotation er  $210^{\circ}$ . De forskellige rum er angivet navn, areal og volumen i tabel L.1.

Dum	Areal	Volumen
num	$[m^2]$	$[m^3]$
Bad	6,12	14,08
Forgang	6,21	$14,\!27$
Fordelingsgang	$18,\!47$	$22,\!80$
Grovkøkken	$12,\!17$	$27,\!99$
Gæsteværelse	$11,\!89$	$21,\!82$
Køkken	$11,\!60$	$26,\!69$
Marks værelse	10,57	$19,\!40$
Opholdsstue	$25,\!69$	$58,\!54$
Soveværelse	20,10	$33,\!33$
Spisestue	$27,\!05$	$62,\!22$
Stines værelse	12,81	$23,\!51$
Toilet	5,78	$13,\!18$
Trappegang	10,05	$23,\!12$
Vindfang	$3,\!36$	7,72

Tabel L.1. Areal og volumen af de forskellige rum i modellen.

Generelle konstruktionstyper og materialeparametre for disse er angivet af tabel L.2 på den følgende side.

Konstruktionstype	Materiale	U-værdi
	Mursten	
Ydervæg	Stone wool 45	0,425
	Mursten	
	Beton	
Gulv	Leca	0,443
	Beton	
	Eternit bølgeplader	
Tag	Lægter	0,412
	Stone wool 45	
	Glas:	
	Lystransmittans: 0,82	
Vinduer	U-værdi (center af glasset)	2,8
	Sollystransmittans: 0,76	
	Ramme:	1,3
Vdondan	Panel:	1,6
raeraør	Ramme:	1,3

Tabel L.2. Konstruktionstyper og materialeparametre.

Personbelastning, infiltration, opvarmning og udstyr for hvert rum er defineret af tabel L.3 - L.16.

Dad	Poglenivalgo	Tidsplan (schedules)		
Dau	Deskrivelse	Regulering	Tid	
Personer	4 personer,	0 % (0 - 7)	Altid	
	Heat gen.: 0,4 kW	25~%~(8 - $9)$		
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 24)		
	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid	
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$			
Innitration	Tmp factor: 0,2			
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$			
	Max power: 1 kW	FloorHeatCtrl	Varmesæsonen	
	Fixed part: 0	Factor: 1		
	Part to air: 0,8	Set point: 27,5 °C		
Omeraning		Max. overf. temp. 30 $^{\circ}\mathrm{C}$		
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Min power: 0,05 kW		
		Te min: 20 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Sensor zone: Bad		

 ${\it Tabel \ L.3.}$  System input parametre for Bad.

Fordolingsgang	Boskrivalso	Tidsplan (schedules)		
Fordeningsgang	Deskriveise	Regulering	Tid	
	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid	
Infiltration	Tmp factor: $0,2 /h/K$			
minitation	Tmp factor: 0,2			
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$			
	Max power: 0,5 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen	
	Fixed part: 0	Factor: 1		
	Part to air: 0,8	Set point: 26 $^{\circ}\mathrm{C}$		
Onumering		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$		
Opvarinning		Min power: 0,05 kW		
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Sensor zone:		
		Fordelingsgang		

Tabel L.4. System input parametre for Fordelingsgang.

Forgang	Boglerivalgo	Tidsplan (schedules)		
Forgang	Deskriveise	Regulering	Tid	
	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid	
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$			
Immiration	Tmp factor: 0,2			
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$			
	Max power: 0,1 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen	
	Fixed part: 0	Factor: 1		
	Part to air: 0,8	Set point: 22 $^{\circ}\mathrm{C}$		
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Min power: $0,05 \text{ kW}$		
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Sensor zone: Forgang		

Tabel L.5. System inputparametre for Forgang.

Croukekkon	Boglerivalgo	Tidsplan (schedules)		
GIUVKØKKEII	Deskriveise	Regulering	Tid	
	4 personer,	50 % (0 - 6)	Altid	
	Heat gen.: 0,4 kW	0 % (7 - 8)		
Personer	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	50~%~(9 - $16)$		
		$0\ \%\ (17$ - $22)$		
		50~%~(23 - $24)$		
	Basic air change: $0,114 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid	
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$			
Innitration	Tmp factor: 0,2			
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$			
	Max power: 0,5 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen	
	Fixed part: 0	Factor: 1		
	Part to air: 0,8	Set point: 29 $^{\circ}C$		
Oi		Design temp: -12 $^{\circ}C$		
Opvarmning		Min power: 0,05 kW		
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Sensor zone:		
		Grovkøkken		
	Heat gen: 0,6 kW	75 % (0 - 6)	Altid	
Udstyr	Part to air: 0,8	100 % (7 - 22)		
		75%(23-24)		

 ${\it Tabel} \ {\it L.6.}$  System input parametre for Grovkøkken.

Creatorralao	Boglerivolgo	Tidsplan (schedules)		
Gæsteværeise	Deskriveise	Regulering	Tid	
	Basic air change: $0,033 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid	
Infiltration	Tmp factor: $0,2 /h/K$			
minimutation	Tmp factor: 0,2			
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$			
	Max power: 0,3 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen	
	Fixed part: 0	Factor: 1		
	Part to air: 0,8	Set point: 21 $^{\circ}C$		
Onumering		Design temp: -12 $^{\circ}C$		
Opvarmning		Min power: 0,05 kW		
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$		
		Sensor zone:		
		Gæsteværelse		

<b><i>Tabel L.1.</i></b> System inputparametre for Gæsteværelse	Tabel L.7.	System	inputparametre	for	Gæsteværelse.
---	------------	--------	----------------	-----	---------------
Køkken	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)			
--------------	--	---------------------------------------	--------------		
		Regulering	Tid		
	4 personer,	0 % (0 - 7)	Altid		
	Heat gen.: 0,4 kW	75 % (8 - 9)			
Personer	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 16)			
		50~%~(17 - $19)$			
		0 % (20 - 24)			
	Basic air change: $0,060 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid		
Infiltration	Tmp factor: $0,2 /h/K$				
minitration	Tmp factor: 0,2				
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$				
	Max power: 1 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen		
	Fixed part: 0	Factor: 1			
	Part to air: 0,8	Set point: 27 $^{\circ}\mathrm{C}$			
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$			
		Min power: 0,05 kW			
		Te min: 17 $^{\circ}$ C			
		Sensor zone: Køkken			
Udstyr	Heat gen: 0,2 kW	0 % (0 - 7)	Altid		
	Part to air: 0,5	50 % (8 - 9)			
		0 % (10 - 16)			
		100 % (17 - 19)			
		0%(20-24)			

Tabel L.8.	System	inputparametre	for	Køkken.
		1 1		,

Marks værelse	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
	4 personer,	25 % (0 - 7)	Altid
Personer	Heat gen.: 0,4 kW	0 % (8 - 19)	
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	25 % (20 - 24)	
	Basic air change: $0,086 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$		
minitation	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 0,9 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 25 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvormning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvarinning		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 17 $^{\circ}$ C	
		Sensor zone:	
		Marks værelse	
Udstyr	Heat gen: 0,2 kW	0 % (0 - 7)	Altid
	Part to air: 0,5	50 % (8 - 19)	
		0 % (20 - 24)	

Tabel L.9. System input parametre for Marks værelse.

Opholdastuo	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
Opholassiae		Regulering	Tid
	4 personer,	0 % (0 - 7)	Altid
Personer	Heat gen.: 0,4 kW	50~%~(8 - $9)$	
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 16)	
		25~%~(17 - $19)$	
		50~%~(20 - $24)$	
	Basic air change: $0,048 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$		
minitation	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 4 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 27 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opumping		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvarinning		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone:	
		Opholdsstue	
Udstyr	Heat gen: 0,2 kW	0 % (0 - 7)	Altid
	Part to air: 0,5	25~%~(8 - $9)$	
		0 % (10 - 16)	
		25~%~(17 - $19)$	
		50 % (20 - 24)	

Tabel L.10. System input parametre for Opholdsstue.

Soveværelse	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
	4 personer,	100 % (1 - 7)	Altid
Personer	Heat gen.: 0,4 kW	100 % (22 - 24)	
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 16)	
	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltention	Tmp factor: $0.2 / h/K$		
mintration	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 0,7 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 24 $^{\circ}C$	
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone:	
		Soveværelse	

Tabel L.11. System inputparametre for Soveværelse.

Spigostuo	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
opisestue		Regulering	Tid
	4 personer,	0 % (0 - 7)	Altid
	Heat gen.: 0,4 kW	75~%~(8 - $9)$	
Personer	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 16)	
		50~%~(17 - $19)$	
		0 % (20 - 24)	
	Basic air change: $0,076 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltration	Tmp factor: $0,2 /h/K$		
minitation	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 1,1 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 23 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone: Spisestue	
Udstyr	Heat gen: 0,2 kW	0 % (0 - 7)	Altid
	Part to air: 0,5	50~%~(8 - $9)$	
		0 % (10 - 16)	
		100~%~(17 - $19)$	
		0%(20-24)	

Stines værelse	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
	4 personer,	25 % (0 - 7)	Altid
Personer	Heat gen.: 0,4 kW	0 % (8 - 19)	
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	25~%~(20 - $24)$	
	Basic air change: $0,089 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltration	Tmp factor: $0.2 / h/K$		
Immtration	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 0,8 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 24 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Onvermine		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvarinning		Min power: $0,05 \text{ kW}$	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone:	
		Stines værelse	
Udstyr	Heat gen: 0,2 kW	0 % (0 - 16)	Altid
	Part to air: 0,5	50~%~(17 - $21)$	
		0 % (22 - 24)	

Tabel L.13. System inputparametre for Stines værelse.

Toilet	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
	4 personer,	0 % (0 - 7)	Altid
Personer	Heat gen.: 0,4 kW	25~%~(8 - $9)$	
	${ m CO}_2$ gen.: 68 l/h	0 % (10 - 24)	
	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
T., Cl4	Tmp factor: $0,2 /h/K$		
Innitration	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 0,9 kW	FloorHeatCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 26 $^{\circ}C$	
O		Max. overf. temp. 30 $^{\circ}\mathrm{C}$	
Opvarmning		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 20 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone: Toilet	

Tabel L.14. System input parametre for Toilet.

Trappegang	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
	Basic air change: $0,085 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
Infiltration	Tmp factor: $0,2 / h/K$		
mmination	Tmp factor: $0,2$		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
Opvarmning	Max power: 0,5 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
	Part to air: 0,8	Set point: 23 $^{\circ}C$	
		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Min power: 0,05 kW	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone:	
		Trappegang	

Tabel L.15. System inputparametre for Trappegang.

Vindfang	Beskrivelse	Tidsplan (schedules)	
		Regulering	Tid
T Clu	Basic air change: $0,074 \text{ h}^{-1}$	100 % (0 - 24)	Altid
	Tmp factor: $0,2 /h/K$		
mmination	Tmp factor: 0,2		
	Wind factor: $0.2 \text{ s/m/h}$		
	Max power: 0,3 kW	HeatCoolCtrl	Varmesæsonen
	Fixed part: 0	Factor: 1	
Opvarmning	Part to air: 0,8	Set point: 21 $^{\circ}C$	
		Design temp: -12 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Min power: $0,05 \text{ kW}$	
		Te min: 17 $^{\circ}\mathrm{C}$	
		Sensor zone: Vindfang	

Tabel L.16. System input parametre for Vindfang.

# Styringstrategier for EnergyFrames med tekstildug

I dette bilag er diagrammer for styringsstrategierne for EnergyFrames med tekstildug. I diagrammerne angiver grøn "Ja" og rød "Nej".



Figur M.1. Diagram for styringsstrategi 1.



Figur M.2. Diagram for styringsstrategi 2.



Figur M.3. Diagram for styringsstrategi 3.

# Styringstrategier for N EnergyFrames med plade

I dette bilag er diagrammer for styringsstrategierne for EnergyFrames med pladeløsninger. I diagrammerne angiver grøn "Ja" og rød "Nej".



Figur N.1. Diagram for styringsstrategi 1.



Figur N.2. Diagram for styringsstrategi 2.



Figur N.3. Diagram for styringsstrategi 3.



Figur N.4. Diagram for styringsstrategi 4.



Figur N.5. Diagram for styringsstrategi 5.



Figur N.6. Diagram for styringsstrategi 6.



Figur N.7. Diagram for styringsstrategi 7.



Figur N.8. Diagram for styringsstrategi 8.



Figur N.9. Diagram for styringsstrategi 9.



Figur N.10. Diagram for styringsstrategi 10.



Figur N.11. Diagram for styringsstrategi 11.



Figur N.12. Diagram for styringsstrategi 12.



Figur N.13. Diagram for styringsstrategi 13.



Figur N.14. Diagram for styringsstrategi 14.

## Resultatgrafer for EnergyFrames med tekstildug



## 0.1 Sydvendt facade

Figur 0.1. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for sydvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.



Figur 0.2. Gennemsnitligt antal timer hvor EnergyFrames aktiveres ved casebygninger i forhold til standardafvigelse for sydvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.



Figur 0.3. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for nordvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.



Figur 0.4. Gennemsnitligt antal timer hvor EnergyFrames aktiveres ved casebygninger i forhold til standardafvigelse for nordvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.

#### 186

### O.3 Østvendt facade



Figur 0.5. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for østvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.



Figur 0.6. Gennemsnitligt antal timer hvor EnergyFrames aktiveres ved casebygninger i forhold til standardafvigelse for østvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.

### O.4 Vestvendt facade



Figur 0.7. Gennemsnitligt forbedring af casebygningers energiforbrug i forhold til standardafvigelse for vestvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.



Figur 0.8. Gennemsnitligt antal timer hvor EnergyFrames aktiveres ved casebygninger i forhold til standardafvigelse for vestvendt facade med EnergyFrames med tekstildug.

# Grafer for EnergyFrames med pladeløsninger

I dette bilag kan ses store figurer af resultaterne omkring styringen for de to pladeløsninger.

Indhold af appendix:

- 1. Transparent plade på sydlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 2. Transparent plade på nordlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 3. Transparent plade på østlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 4. Transparent plade på vestlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 5. Efterisoleret plade på sydlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 6. Efterisoleret plade på nordlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 7. Efterisoleret plade på østlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring
- 8. Efterisoleret plade på vestlig facade
  - Energiforbedring af styring
  - Benyttelse af styring