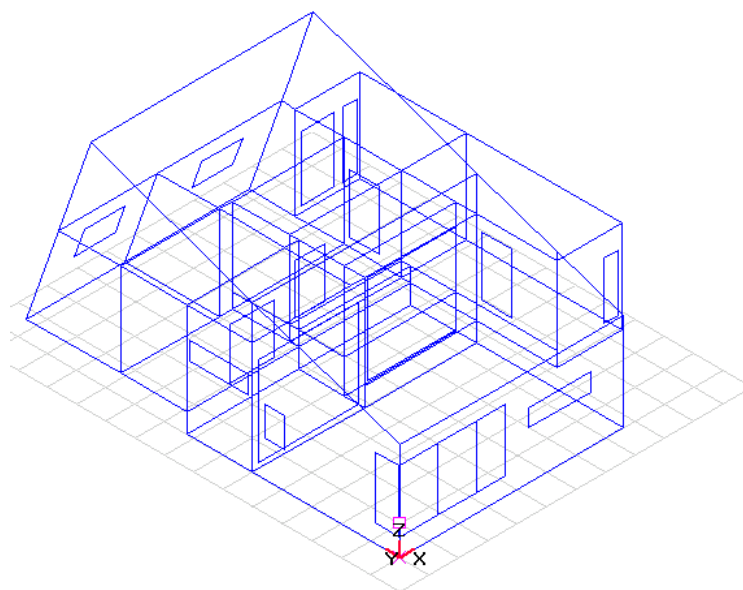


Jesper Kragh
Svend Svendsen

Lavenergihus i Sisimiut
Beregnet varmebehov



DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Rapport R-103
BYG·DTU
November 2004
ISBN=87-7877-169-2

Indholdsfortegnelse

1	Formål.....	3
2	Beskrivelse af lavenergihuset	4
2.1	Klimaskærmskonstruktioner.....	6
2.2	Konstruktionssamlinger og linietab.....	12
2.3	Vinduer og Døre	13
2.4	Mekanisk ventilation med varmegenvinding.....	14
2.5	Varmesystem.....	16
2.6	Internt varmetilskud.....	16
2.7	Solvarmeanlæg	16
3	Simuleringsresultater	17
3.1	Simuleret opvarmningsbehov jf. bygningsreglement	17
3.2	Simuleret opvarmningsbehov med klimadata fra Sisimiut.....	17
4	Konklusion	18

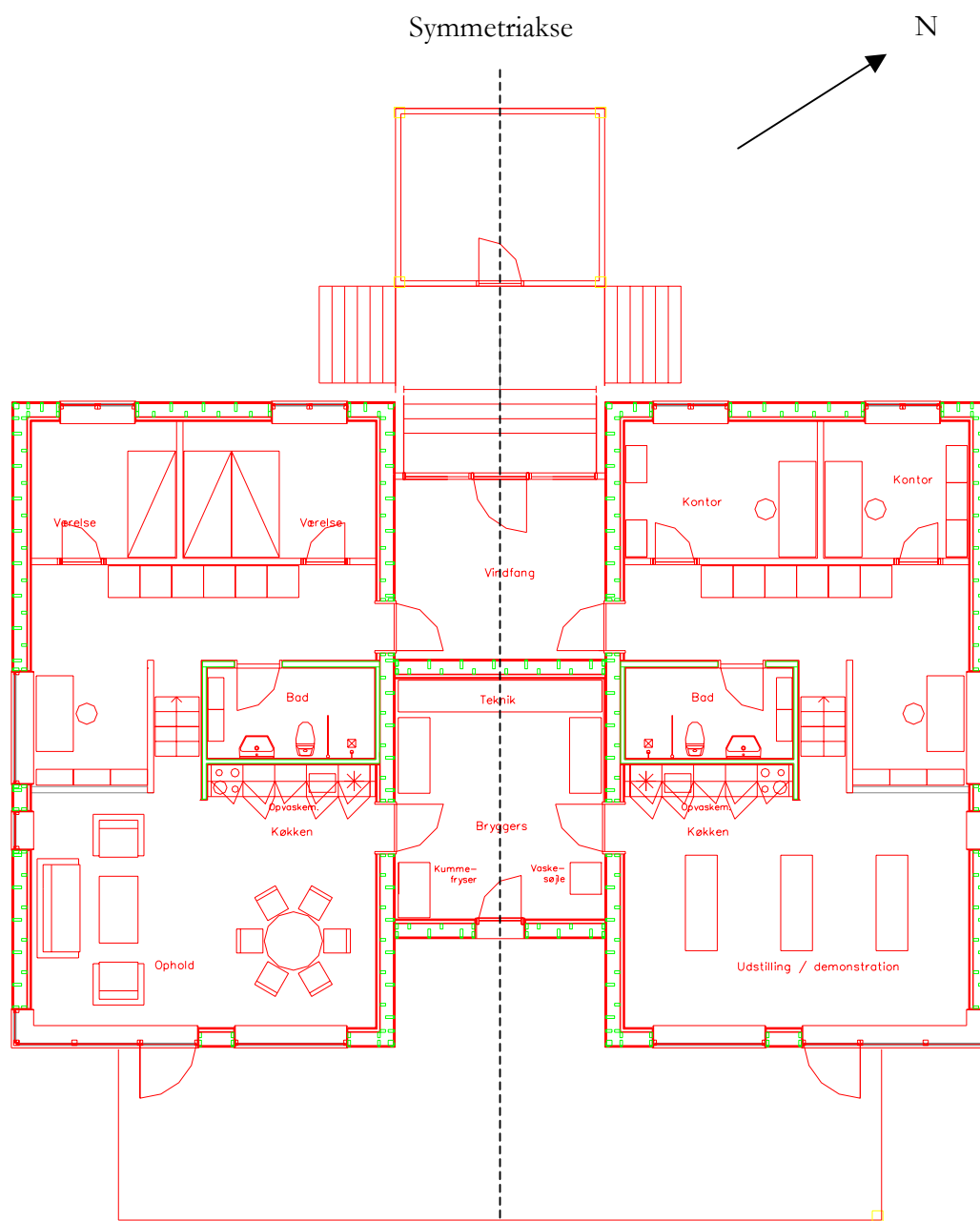
1 Formål

Formålet med nærværende rapport vedrørende lavenergihuset i Sisimiut er at foretage en detaljeret simulering af opvarmningsbehovet med udgangspunkt i den af Rambøll A/S, Sisimiut, udarbejdede tekniske beskrivelse af lavenergihuset /1/. Beregning skal således vise, hvorvidt målsætningen om et samlet opvarmningsbehov på maks. halvdelen af det forventede krav i det kommende grønlandske bygningsreglementet kan opfyldes.

Til analysen benyttes beregningsprogrammet BSim2002 /2/, der med en stor mængde af inputs om: konstruktionernes opbygning, vinduer, ventilationsløsning, brugeradfærd og ikke mindst vejrdato kan beregne husets opvarmningsbehov time for time gennem hele året.

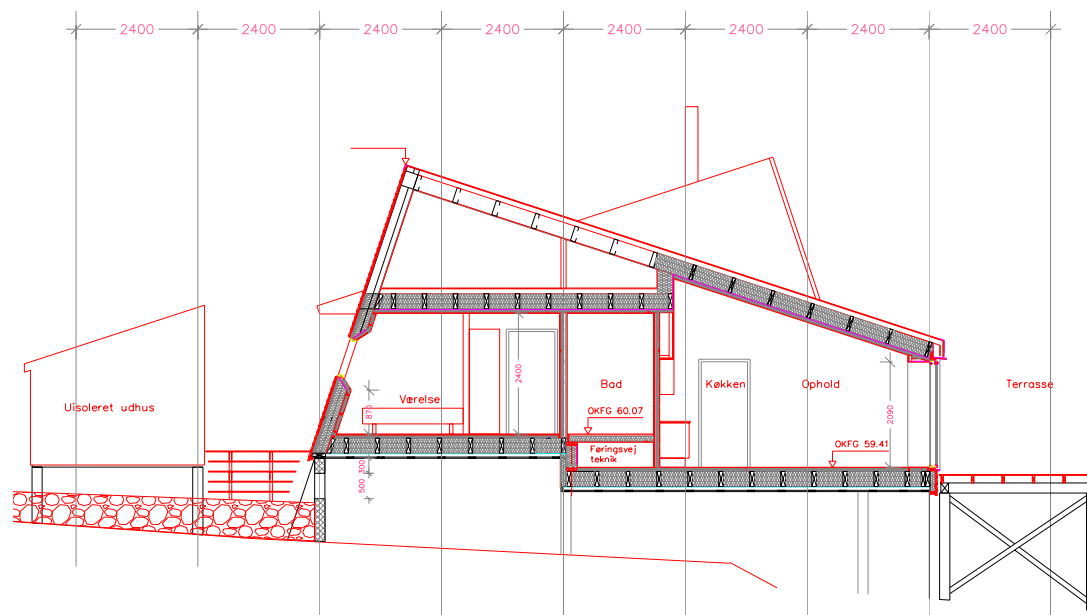
2 Beskrivelse af lavenergihuset

I det følgende gennemgås de vigtigste input til simuleringen. På figur 1 ses lavenergihusets stueplan. Da huset ses at være symmetrisk omkring midten er det valgt kun at opbygge en model af det ene dobbelthus og halvdel af mellembygningen (bryggers og vindfang). Der ses bort fra den mindre forskel der vil være i solindfald gennem vinduerne i gavlene.



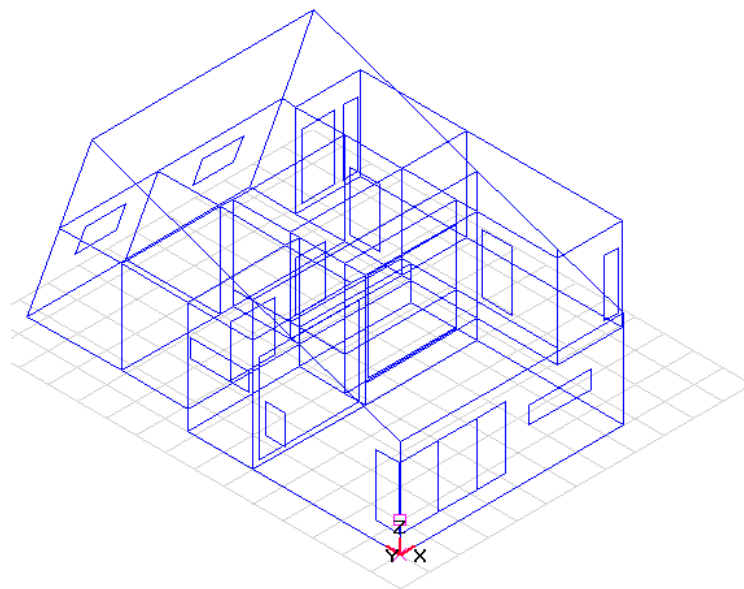
Figur 1 Stueplan af lavenergihuset. Huset består af to separate boliger med fælles vindfang og bryggers/teknik rum

På figur 2 ses et tværsnit af lavenergihusets. Tag- og loftisolering videreføres i samme plan i mellembbygningen (bryggers og vindfang).



Figur 2 Tværsnit af lavenergihuset

På figur 3 ses den opbyggede simuleringsmodel foretaget i simuleringsprogrammet BSim2002. Huset er i simuleringsmodellen orienteret -56° fra nord.



Figur 3 Simuleringsmodel fra BSim2002

2.1 Klimaskærmskonstruktioner

I tabel 1 til tabel 5 er beskrevet de forskellige klimaskærmskonstruktioners opbygning med tilhørende beregning af konstruktionernes U-værdier (Varmetransmissionskoefficienter i $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

Tabel 1 Beregning af tagkonstruktionens U-værdi

TAGKONSTRUKTION

Konstruktionsbeskrivelse	Tykkelse [mm]	Varmeledningsevne [W/mK]	Isolans [m ² K/W]
Udvendig overgangsisolans	-	-	0,04
Tagpap	-	-	-
Krydsfiner	16	0,13	0,12
Lægteunderlag (u.ventileret)	100	-	0,16
Isoleringslag 1 (3 x 100)	300	0,050	6,05
krydsfiner	12	0,13	0,09
Pe-folie	-	-	-
Isoleringslag 2	50	0,046	1,08
Krydsfiner	12	0,13	0,09
Gips	13	0,25	0,05
Indvendig overgangsisolans	-		0,10
Samlet isolans			7,79
U-værdi [W/m²K]			0,13

Beregning af inhomogene materialelag

Isoleringslag 1

Samlet bredde	775	mm	λ
Kerto bjælke bredde	90	mm	0,13
Isolerings bredde	685	mm	0,039
λ'	0,050	W/mK	

Isoleringslag 2

Samlet bredde	611	mm	
Lægte bredde	50	mm	0,13
Isolerings bredde	561	mm	0,039
λ'	0,046	W/mK	

Tabel 2 Beregning af loftkonstruktionens U-værdi

LOFTKONSTRUKTION

Konstruktionsbeskrivelse	Tykkelse [mm]	Varmeledningsevne [W/mK]	Isolans [m²K/W]
Udvendig overgangsisolans	-	-	0,04
Tagrum	-	-	0,30
Krydsfiner	9	0,13	0,07
Isoleringslag 1 (3 x 100)	300	0,052	5,72
krydsfiner	12	0,13	0,09
Pe-folie	-	-	-
Isoleringslag 2	50	0,046	1,08
Krydsfiner	12	0,13	0,09
Gips	13	0,25	0,05
Indvendig overgangsisolans	-		0,10
Samlet isolans			7,55
U-værdi [W/m²K]			0,13

Beregning af inhomogene materialelag

Isoleringslag 1

Samlet bredde	611	mm	λ
Kerto bjælke bredde	90	mm	0,13
Isolerings bredde	521	mm	0,039
λ'	0,052	W/mK	

Isoleringslag 2

Samlet bredde	611	mm	λ
Lægte bredde	50	mm	0,13
Isolerings bredde	561	mm	0,039
λ'	0,046	W/mK	

Tabel 3 Beregning af ydervægskonstruktionens U-værdi

YDERVÆG

Konstruktionsbeskrivelse	Tykkelse [mm]	Varmeledningsevne [W/mK]	Isolans [m ² K/W]
Thermowood-træbekld.	25	-	-
Afstandslister (Ventileret hulrum)	12	-	-
Isolans af ovennævnte ¹	-	-	0,13
TYVEK – dug	-	-	-
Vindgips	9	0,25	0,04
Isoleringslag 1 (150+100)	250	0,048	5,17
krydsfiner	12	0,13	0,09
Isoleringslag 2	50	0,046	1,08
Krydsfiner	12	0,13	0,09
gips	13	0,25	0,05
Indvendig overgangsisolans	-		0,13
Samlet isolans			6,78
U-værdi [W/m²K]			0,15

Beregning af inhomogene materialeg

Isoleringslag 1

Samlet bredde	611 mm	λ
Stolpe bredde	63 mm	0,13
Isolerings bredde	548 mm	0,039
λ'	0,048 W/m ² K	

Isoleringslag 2

Samlet snit bredde	611 mm	λ
Lægte bredde	50 mm	0,13
Isolerings bredde	561 mm	0,039
λ'	0,046 W/m ² K	

¹ Jf. beregningsreglerne i DS418 6. udgave /3/

Tabel 4 Beregning af væg mod vindfang

VÆG MOD VINDFANG

Konstruktionsbeskrivelse	Tykkelse [mm]	Varmeledningsevne [W/mK]	Isolans [m²K/W]
Overgangsisolans	-	-	0,13
Gips	13	0,25	0,05
Krydsfiner	12	0,13	0,09
Isoleringslag 1 (150+100)	250	0,048	5,17
Krydsfiner	12	0,13	0,09
Isoleringslag 2	50	0,046	1,08
Krydsfiner	12	0,13	0,09
Gips	13	0,25	0,05
Indvendig overgangsisolans	-		0,13
Samlet isolans			6,88
U-værdi [W/m²K]			0,15

Beregning af inhomogene materialelag

Isoleringslag 1

Samlet bredde	611	mm	λ
Stolpe bredde	63	mm	0,13
Isolerings bredde	548	mm	0,039
λ'	0,048	W/m²K	

Isoleringslag 2

Samlet snit bredde	611	mm	λ
Lægte bredde	50	mm	0,13
Isolerings bredde	561	mm	0,039
λ'	0,046	W/m²K	

Ved beregning af gulvkonstruktionens U-værdi er følgende antaget at være gældende:

- Huset bygges på betonfundamenter med fri luftgennemstrømning, hvorfor det antages, at der på undersiden af gulvkonstruktionen haves udeklima.
- Huset udføres med gulvvarme. I følge DS 418 6. udgave /3/ beregnes gulvkonstruktionens U-værdi derved kun for de materialeg, der ligger mellem laget med gulvvarmeslangerne og udeklimaet.

Tabel 5 Beregning af gulvkonstruktionens U-værdi

GULVKONSTRUKTION (med gulvvarme)

Konstruktionsbeskrivelse	Tykkelse [mm]	Varmeledningsevne [W/mK]	Isolans [m ² K/W]
Udvendig overgangsisolans	-	-	0,04
Vindgips	9	0,25	0,04
Isoleringslag 1	300	0,052	5,72
krydsfiner	12	0,13	0,09
Pe-folie	-	-	-
Isoleringslag 2	50	0,046	1,08
Hvidolieret fyrretræ	20	0,13	~
Indvendig overgangsisolans	-		~
Samlet isolans			6,97
U-værdi [W/m²K]			0,14

Beregning af inhomogene materialeg i gulvkonstruktion:

Isoleringslag 1

Samlet bredde	611 mm	λ
Kerto bjælke bredde	90 mm	0,13
Isolerings bredde	521 mm	0,039
λ'	0,052 W/mK	

Isoleringslag 2

Samlet bredde	611 mm	λ
Lægte bredde	50 mm	0,13
Isolerings bredde	561 mm	0,039
λ'	0,046 W/mK	

I tabel 6 ses en samlet oversigt over de beregnede U-værdier for de forskellige klimaskærmskonstruktioner. Resultaterne er sammenlignet med kravene fra det kommende grønlandske bygningsreglement /4/.

Tabel 6 Beregnede U-værdier for de forskellige klimakonstruktioner sammenlignet med kravene fra det kommende grønlandske bygningsreglement.

Konstruktion	Isoleringstykkelse [mm]	U-værdi beregnet [W/m ² K]	U-værdi krav (GBR) [W/m ² K]
Gulv	350	0,14	0,15 ²
Ydervæg	300	0,15	0,20
Tag	350	0,13	0,15
Loft	350	0,13	0,15

Som det ses af tabel 6 er alle konstruktionernes U-værdier lavere end kravene i det kommende grønlandske bygningsreglement.

² Krav for gulvkonstruktion med gulvvarme

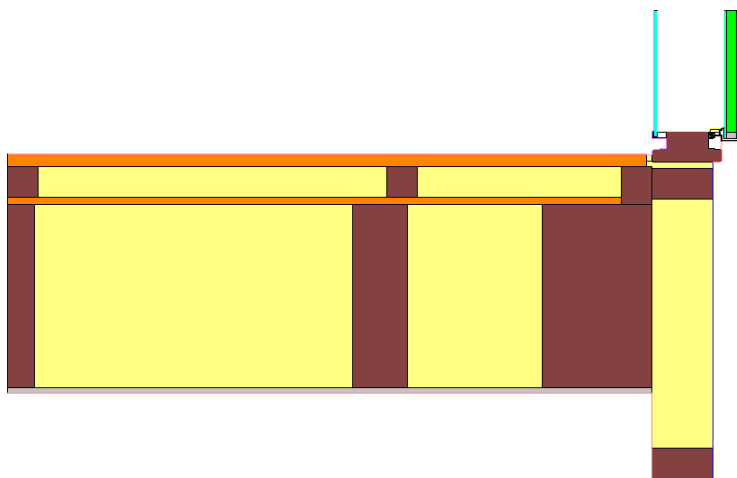
2.2 Konstruktionssamlinger og linietaf

De forskellige konstruktionssamlinger er skønmæssigt vurderet mht. om linietafet bør inkluderes i simuleringsmodellen. De fleste samlinger er udført med et ubrudt isoleringslag mellem ude- og indeklimaet og er derfor ikke kritiske.

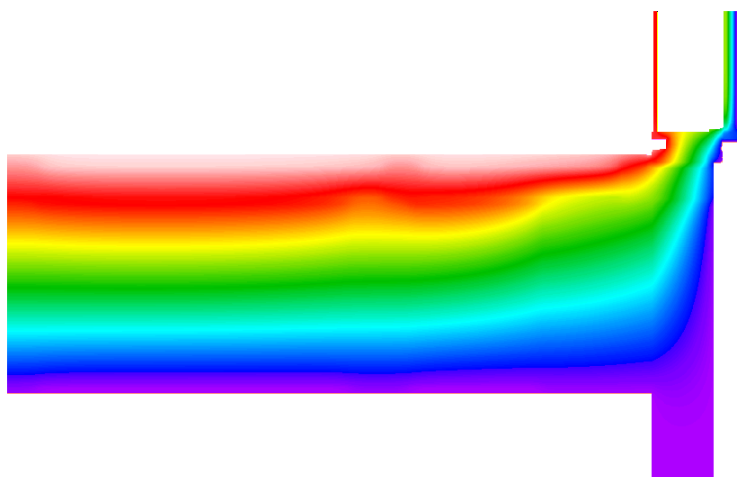
En nærmere analyse af vindue/gulv samlingen og ydervægshjørnesamlingen er dog foretaget ved en detaljeret modelopbygning i programmet *THERM* /x/.

Vindue/gulv samling

Nedenfor er beregnet linietafsværdien for samlingen mellem vindue og gulv.



Figur 4 Samling mellem gulv og vindue (VELFAC 200 bestående af energirude og koblet ramme)

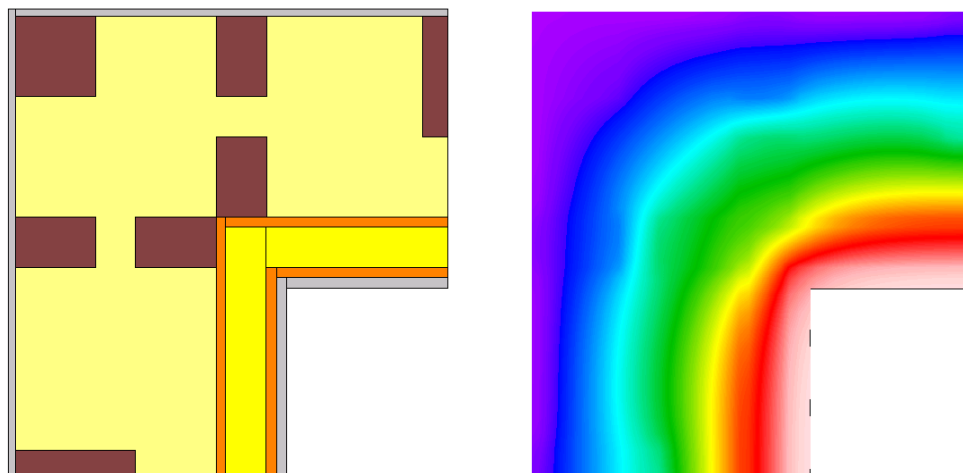


Figur 5 Isotermisk billede af samling mellem vindue og gulvkonstruktionen

Den beregnede linietafsværdi for samlingen mellem gulv og vindue er beregnet til 0,017 W/mK. Transmissionstabet gennem gulvet korrigeres for dette ekstra tab ved en forhøjet varmeledningsevne af isoleringen.

Hjørnesamling (af ydervæggene)

På figur 6 ses den opbyggede model til venstre og til højre ses et isothermisk billede af konstruktionen. Ydervægsbeklædningen (Thermowood) og det bagvedliggende hulrum er medtaget i den udvendige overgangsisolans jf. beregningsreglerne i DS 418 /3/.



Figur 6 Simuleringsmodel af hjørnesamling. Til højre ses et isothermiske billede af samlingen

Den beregnede linietafskoefficient for hjørnesamlingen af ydervæggene er bestemt til 0,015 W/mK. Da transmissionstabt gennem ydervæggene desuden beregnes af ydre mål kan dette linietaf negligeres i simuleringsmodellen.

De øvrige samlingers linietaf er vurderet til at være af mindre betydning og medtages ikke i simuleringen.

2.3 Vinduer og Døre

Til lavenergihuset benyttes tre typer vinduer:

Type 1: 1+2 løsning. Opbygget af et enkelt lag glas med hård lavemissionsbelægning og en 2-lags energirude.

Type 2: 3 lags løsning. Kombineret energirude og vakuumrude.

Type 3: 2+1 løsning. Opbygget af en energirude og et enkelt lag glas med en hård lavemissionsbelægning.

I tabel 7 er vist rudernes varmetekniske data med tilhørende beregning af rudens og vinduets energitilskud til en bygning opgjort som en vægtet middelværdi for de forskellige typiske vinduesorienteringer. Energitilskuddet er beregnet som det årlige solindfald transmitteret gennem rude/vinduet fratrasket varmetabet. Det antages at al solindfald gennem hele året kan anvendes til rumopvarmning i et arktisk

klima. Lavenergihuset forventes dog ikke at have et varmebehov i sommermånederne.

Tabel 7 Varmetabskoefficient (U_g, U_w), solenergitransmittans (g_g, g_w) og energitilskud (Q_r, Q_w). Index g for rude og w for vindue.

Type	U_g W/m ² K	g_g -	Q_r kWh/m ²	U_w W/m ² K	g_w -	Q_w kWh/m ²
1: 1+2	0,7	0,45	172	1,0	0,30	-17,3
2: 2+Vak.rude	0,7	0,40	136	1,1	0,27	-59,3
3: 2+1	0,8	0,56	228	1,1	0,47	67,1

Døre

Til lavenergihuset benyttes døre fra VELFAC type 231 og type 642 begge med glas i fyldningerne.

Der regnes med følgende ruderløsninger:

Type 231: U-værdi rude: 1,2 W/m²K.

Type 642: U-værdi rude: 1,4 W/m²K.

Ramme/karmens U-værdi er 3,18 W/m²K og Ψ -værdi 0,052 W/mK.

2.4 Mekanisk ventilation med varmegenvinding

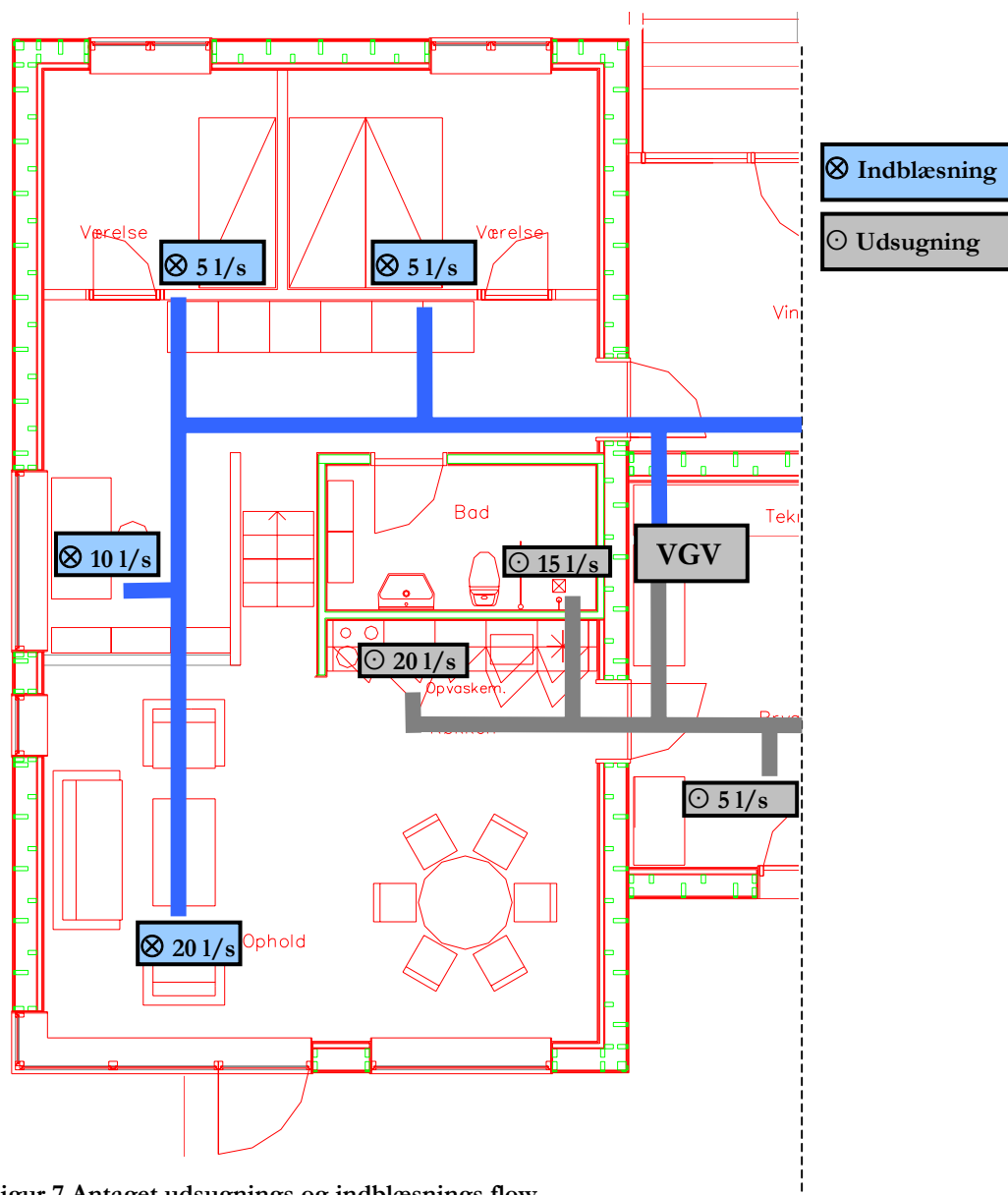
Ventilationstabet er simuleret ud fra følgende krav til udsugningsmængder jf. det kommende grønlandske bygningsreglement.

Køkken: 20 l/s

Bad & Toilet 15 l/s

Bryggers: 10 l/s (NB: I simuleringen kun 5 l/s grundet halvt bryggers areal)

For effektivt at fjerne fugt og lugtgener fra køkken, bad og bryggers foretages indblæsningen af frisk luft i værelser, gang og stue. (Indblæsningsmængden modsvare udsugningsmængden). Ventilationssystemet kan simuleres med en varmegenvindingsenhed, VGV, der fx. kan antages at have en temperatureffektivitet på 80 %. Dette antages at være tilfældet for den valgte løsning til lavenergihuset.



Figur 7 Antaget udsugnings og indblæsnings flow.

Interne luftbevægelser (mixing)

Simuleringsmodellen er opbygget således at badeværelset tilføres luft fra gangen svarende til de 15 l/s (udsugningskravet) og at køkken/alrummet tilføres 5 l/s. Fra køkkenet til bryggers tilføres ligeledes 5 l/s.

Det samlede luftvolumen af indblæsningsluft og afkastluft er således i overensstemmelse med de interne luftbevægelser.

Infiltration

Infiltration af ukontrolleret lufttilførsel gennem utætheder i bygningens klimaskærm er simuleret til 0,1 gang pr. time.

Udluftning

Ved rumtemperaturer over 25°C simuleres åbning af vinduer med et luftskifte på 3 gang pr. time.

2.5 Varmesystem

Varmesystemet udformes som gulvvarme trods det, at dette ikke er tilladt jf. det gældende bygningsreglement. Tilladelse til dette er dog ekstraordinært givet af bygningsmyndighederne i Grønland til dette forsøgshusbyggeri. Ved eftervisning af bygningsreglementets krav for opvarmningsbehovet er benyttet en rumtemperatur på 20°C gældende for alle rum.

Desuden er der foretaget supplerende analyser, hvor rumtemperaturen er varieret fra 20-23°C. I praksis vil en rumtemperatur i køkken/alrum, stue, gang, bryggers og værelser på 21-22 °C og i badeværelset på 23 °C være at forvente.

Det antages desuden at vindfanget er uopvarmet.

2.6 Internt varmetilskud

I simuleringen er benyttet et internt varmetilskud fra personer, elektriske apparater mm. på 5 W/m².

2.7 Solvarmeanlæg

Lavenergihuset udføres med et solvarmeanlæg dimensioneret til brugsvandsopvarmning og med mulighed for supplerende til rumvarme om sommeren. Dette er ikke medtaget i simuleringsmodellen, men er dog skønsmæssigt vurderet til analyse af resultaterne.

3 Simuleringsresultater

Opvarmningsbehovet simuleret med den beskrevne simuleringsmodel af det halve lavenergihuset er i det følgende ganget med 2, hvorved størrelserne er gældende for hele lavenergihuset.

3.1 Simuleret opvarmningsbehov jf. bygningsreglement

Ved eftervisning af bygningsreglementets krav for opvarmningsbehovet benyttes et referencevejrdataår gældende for det nordlige Grønland (landet nord for polar-cirklen /6/). Det skal bemærkes at kravene (energirammer) til opvarmningsbehovet i bygningsreglementet er fastlagt ud fra disse vejrdata. I afsnit 3.2 vil det forventede opvarmningsbehov blive simuleret med et reference vejrdataår gældende for Sisimiut.

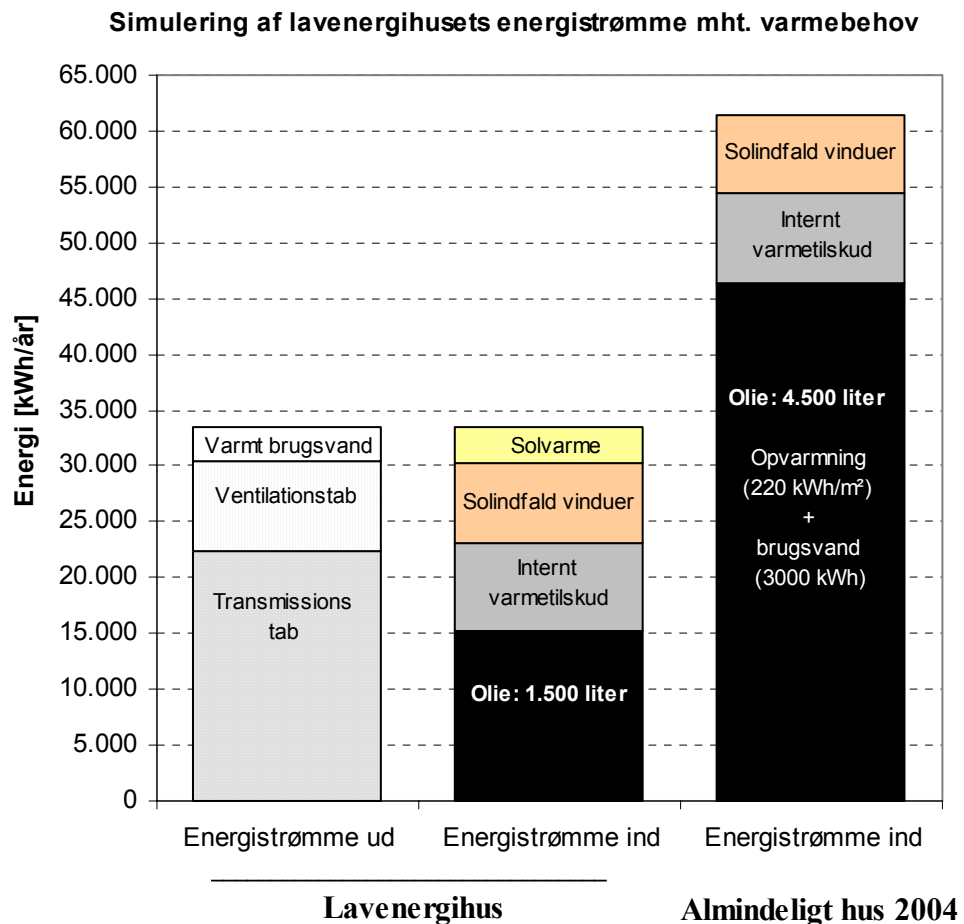
Det forventede energiramme krav i det kommende grønlandske bygningsreglement er for et etplanshus placeret i den nordlige zone af Grønland 835 MJ/m^2 svarende til ca. 230 kWh/m^2 . Energirammen er fastlagt ud fra antagelser om at ventilation med varmegenvinding endnu ikke kan indføres som krav, idet erfaringerne med varmegenvinding under arktiske forhold er meget få. Et standard grønlandsk enfamiliehus vil typisk kunne reducere det samlede varmebehov med 50 % ved anvendelse af ventilation med varmegenvinding. Indføres krav om ventilation med varmegenvinding vil energirammen således skulle reduceres til 160 kWh/m^2 . (50 % af de 230 kWh/m^2).

Et lavenergihus er historisk set defineret ved et varmebehov der maks. er 50 % af kravet i bygningsreglementet. Da lavenergihuset udføres med energieffektiv ventilation med varmegenvinding er målsætningen således et varmebehov på maks. 80 kWh/m^2 , hvilket således netop opfyldes.

Det simulerede opvarmningsbehov er, ved en rumtemperatur på 20°C og ved anvendelse af vejrdata fra zone 2, fundet til at være 78 kWh/m^2 , hvilket således opfylder målsætningen for lavenergihuset.

3.2 Simuleret opvarmningsbehov med klimadata fra Sisimiut

I det følgende vil simuleringsresultater foretaget med et referencevejrdataår gældende for Sisimiut /6/ blive præsenteret. På figur 8 ses hvorledes de forskellige energistrømme fordeler sig, idet der antages en ønsket rumtemperatur i bad på 23°C og i øvrige rum 21°C .



Figur 8 Fordeling af energistrømmene i lavenergihuset

Det samlede simulerede opvarmningsbehov for hele lavenergihuset er ca. 15.000 kWh/år. Sammenlignes lavenergihusets opvarmningsbehov med et almindeligt hus bygget i 2004 efter gældende bygningsreglement med et varmebehov på ca. 220 kWh/m² fås en besparelse pr. år på ca. 3.000 liter olie, idet det antages at brugsvandet udgør 3.000 kWh pr. år.

Med en oliepris i Grønland på 2,43 kr./7/ og en effektivitet af oliefyret på ca. 90 % vil dette svare til en årlig besparelse på mere end 8.000 kr. pr. år. Besparelsen set i forhold til den reelle verdensmarkedspris på fyringsolie er dog betydelig større.

4 Konklusion

Simuleringer af lavenergihusets opvarmningsbehov viser at dette ved optimale valg af løsninger for hhv. ventilation med varmegenvinding og vinduer netop burde kunne opfylde målsætningen om et opvarmningsbehov på max. halvdelen af bygningsreglementets energiramme krav. Resultatet af simuleringen viser et varmebehov på ca. 78 kWh/m².

Simulering med vejrdata gældende for Sisimiut viser et dette vil svare til et varmebehov på 15.000 kWh per år.

Referencer

- /1/ Lavenergihus i Sisimiut, Teknisk beskrivelse, Maj 2004.
- /2/ BSim2002, version 3, 4, 3, 16, Danish Building and Urban Research, 2970 Hørsholm, Denmark, 2002.
- /3/ DS 418 – 6.udgave 2002, Beregninger af bygningers varmetab, Dansk Standard
- /4/ Forslag, Grønlands Bygningsreglement 2002, 11.01.2002.
- /5/ GLAS02, version 2002©, Pilkington, 20002.
- /6/ ASIAQ, P.O Box 1003, DK-3900 Nuuk, Greenland, www.asiaq.gl
- /7/ <http://www.pilersuisoq.gl>