

Bæredygtigt arktisk byggeri i det 21. århundrede - Energirigtige vinduer

Statusrapport 3 til
VILLUM KANN RASMUSSEN FONDEN

Rapport SR 06-04
BYG·DTU
Maj 2006
ISSN 1601 - 8605

Energirigtige vinduer
Statusrapport 3 til
VILLUM KANN RASMUSSEN FONDEN

Jacob Birck Laustsen
Jesper Kragh
Svend Svendsen

Indhold

Indhold	5
Forord	6
Indledning	6
Forskningsindhold	6
Nyt vindues design	6
Ruden	6
Ramme/karm	8
Samlet vindue	9
Renovering af forsøgsopstilling - Hot Box	10
Styringsprincip	12
Fremtidige aktiviteter	13
Referencer	14
Publikationer	15
Præsentationer	15
Bilag 1. Overheads til præsentationen "Improved Windows for Cold Climates"	16

Forord

Dette er statusrapport 3 for projektet med titlen *Energirigtige vinduer* støttet af VILLUM KANN RASMUSSEN FONDEN.

Indledning

I projektets tredje år har der været fokus på udvikling af den nye vinduestype, som skal give positivt energitilskud ved både danske og grønlandske forhold. For at kunne vurdere vinduets energimæssige egenskaber er der foretaget beregninger af vinduet termiske egenskaber vha. en detaljeret metode, som tager hensyn til konvektion i de store hulrum i ruden. Derforuden er der gennemført en gennemgribende renovering af DTU's Guarded hot box, som vil blive brugt til måling af vinduets transmissionskoefficient.

I det følgende beskrives arbejdet med de enkelte emner.

Forskningsindhold

Nyt vindues design

Der er blevet arbejdet på at udvikle et nyt vindue optimeret på følgende punkter:

- Smal ramme/karmkonstruktion der optimerer solindfaldet og har lav U-værdi
- Dyb ramme/karmkonstruktion der dækker over stor isoleringstykkelse i ydervæggen og derved mindsker linietabet ved mur/vinduessamlingen.
- Vindue/rude med mulighed for indbygning af solafskærmning.
- Rude bestående af tre separate glas, hvilket bevirker lang levetid, da ruden således ikke er forseglet.

Det er forsøgt at konstruere vinduet så simpelt og enkelt som muligt for at opnå lang holdbarhed, stabil drift og enkel anvendelse.

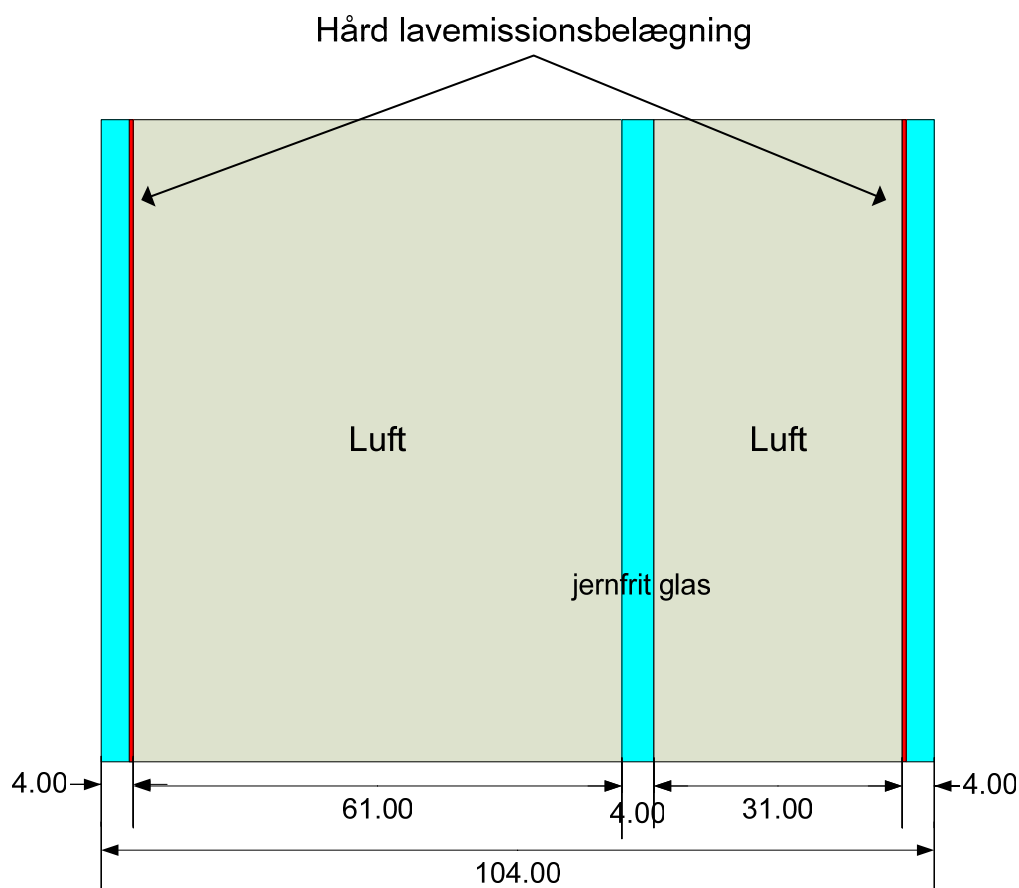
Vinduet konstrueres som et "vippevindue", som åbnes/lukkes ved at det vippes omkring aksler monteret mellem ramme og karm midt på vinduet. Herved sikres adgang til begge sider af vinduet i forbindelse med pudsning.

Ruden

Ruden er opbygget af tre lag glas. Det yderste og det inderste glas har en tykkelse på 4 mm og en hård lavemissionsbelægning vendende mod hulrummet. Det midterste glas er et 4 mm jernfrit glas uden belægning. Afstanden mellem glassene er hhv. 61 og 31 mm og hulrummene er fyldt med luft. Ruden er ikke forseglet men er svagt ventileret gennem en

lille åbning, hvor et filter forhindrer støv i at trænge ind. Herved undgås afstandsskinner, som normalt anvendes i energiruder og medfører uønskede kuldebroer. Det betyder også at rudedelen vil få en meget lang levetid, da ruden ikke kan punktere. Hvis ramme og karmprofilerne laves af glasfiberarmeret polyester, kan der forventes en meget lang levetid af hele vinduet – i princippet svarende til bygningens levetid.

Den store afstand mellem glassene er bl.a. valgt for at give plads til at indbygge forskellige former for solafskærmning eller et ekstra isolerende lag, som kan anvendes om natten. Ruden er vist i Figur 1.



Figur 1 Ruden består af tre lag glas med stor afstand og luft i hulrummene.

Da glas/rudeproducenterne desværre ikke kan levere jernfrit glas med lavemissionsbelægning er det kun det midterste glas som er jernfrit.

Data for ruden er vist i Tabel 1.

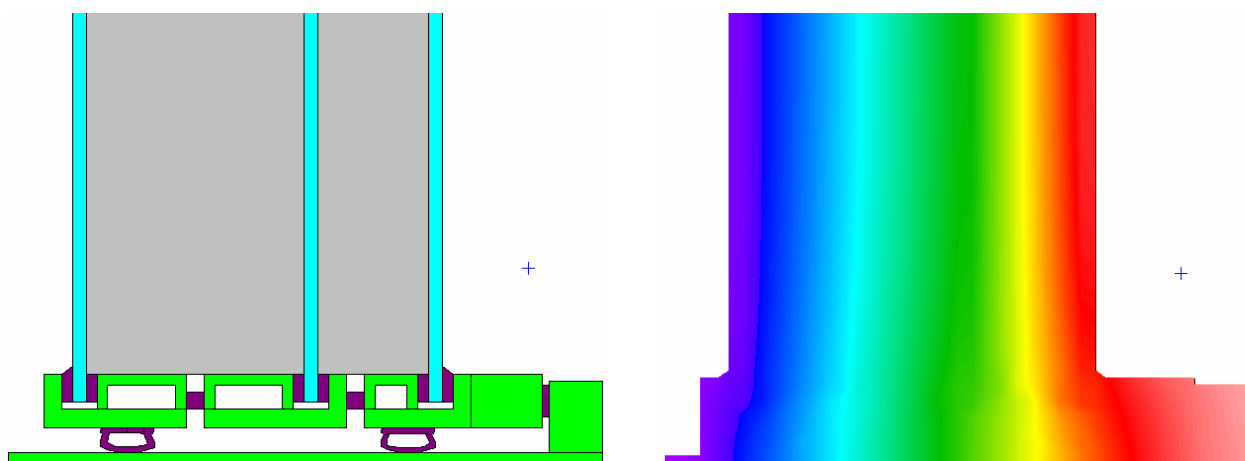
Tabel 1 viser data for 3 lags ruden. Beregnet i WINDOW 6.

U-værdi	0,99	W/m ² K
g-værdi	0,58	-
τ-værdi	0,64	-
Energitilskud, DK	25	kWh/m ² pr. år

Hvis det var muligt at anvende jernfrit glas i alle tre lag ville g-værdien øges til 0,64, hvilket ville medføre en betydelig stigning i energitilskuddet. Der er derfor et behov for at rudeproducenterne begynder at producere jernfrit glas med lavemissionsbelægning.

Ramme/karm

Ramme/karmen er lavet af standardprofiler i glasfiberarmeret polyester. Ramme/karmen er vist i Figur 2.



Figur 2. Tværsnit af ramme/karmprofilet til venstre og til højre ses et isotermbillede.

Vinduet karm udgøres af en 3mm glasfiberplade, hvor der på den nederste halvdel af vinduet på den indvendige side er monteret et firkantprofil til montering af lukketøj.

Tætningen af vinduet sker ved at gummilister monteret på rammen glider på plads mod små buede forhøjninger på karmen når det lukkes. Vinduet fastholdes vha. kombinerede håndtag og hasper monteret mellem ramme og karm.

Da ruden ikke er forsegleet kan der med tiden være brug for at rengøre glassene i hulrummene og servicere den indbyggede solafskærmning. Derfor konstrueres rammen således at den kan åbnes to steder for at få adgang til hulrummene.

Ramme/karmprofilet har en beregnet U-værdi på 1,38 W/m²K. Til beregningen af U-værdien er benyttet *Therm 6* med importeret konvektionsmodel af ruden fra *Window 6*.

Samlet vindue

Med den ovenfor beskrevne rudeløsning og ramme/karmkonstruktion får vinduet i standarddimensionen 1,48 x 1,23 m en samlet U-værdi på 1,02 W/m²K, g-værdi på 0,54 svarende til et årligt energitilskud på 14 kWh/m² i dansk klima og hhv. 76 og 61 kWh/m² i Grønland zone 1 og 2 (typisk vindue med 2-lags energirude har energitilskud på ca. -40 kWh/m² i DK). Dvs. at vinduet har positivt energitilskud og bidrager dermed positivt til rumopvarmningen af bygningen i løbet af fyringssæsonen. En væsentlig grund til dette er det meget store glasareal som medfører, at der transmitteres meget solstråling ind. Det store rudeareal sikrer også, at der kommer mest muligt dagslys ind gennem vinduet, hvilket der er behov for ved anvendelse af tre-lags ruder.

Energitilskuddet er størst i Grønland pga. de mange solskinstimer i løbet af fyringssæsonen, som strækker sig over hele året.

Den færdige prototype på vinduet forventes færdig juni 2006 hvorefter målingerne på vinduet kan starte.

Renovering af forsøgsopstilling - Hot Box

En ældre forsøgsopstilling på BYG-DTU er blevet renoveret og opdateret i forbindelse med projektet for at kunne foretage målinger på det nyudviklede vindue samt forskellige rude-løsninger bestående af flere lag glas med stor glasafstand.

Opstillingen, der i det følgende benævnes Hot box'en, kan måle vinduers varmetransmissionskoefficient også kaldet U-værdien. Hot box'en er som udgangspunkt designet til at måle på vinduer i standarddimensionen 1,48 x 1,23 m. Et billede af Hot box'en ses på Figur 4.



Figur 3 Billede af Hot box'en i BYG-DTU's forsøgshal.

Hot boxen består af:

- En kold sektion
- En målesektion der omslutter måleemnet (vinduet)
- En guard sektion der omslutter målekassen.

I den kolde sektion findes et kølesystem samt en vindsimulator

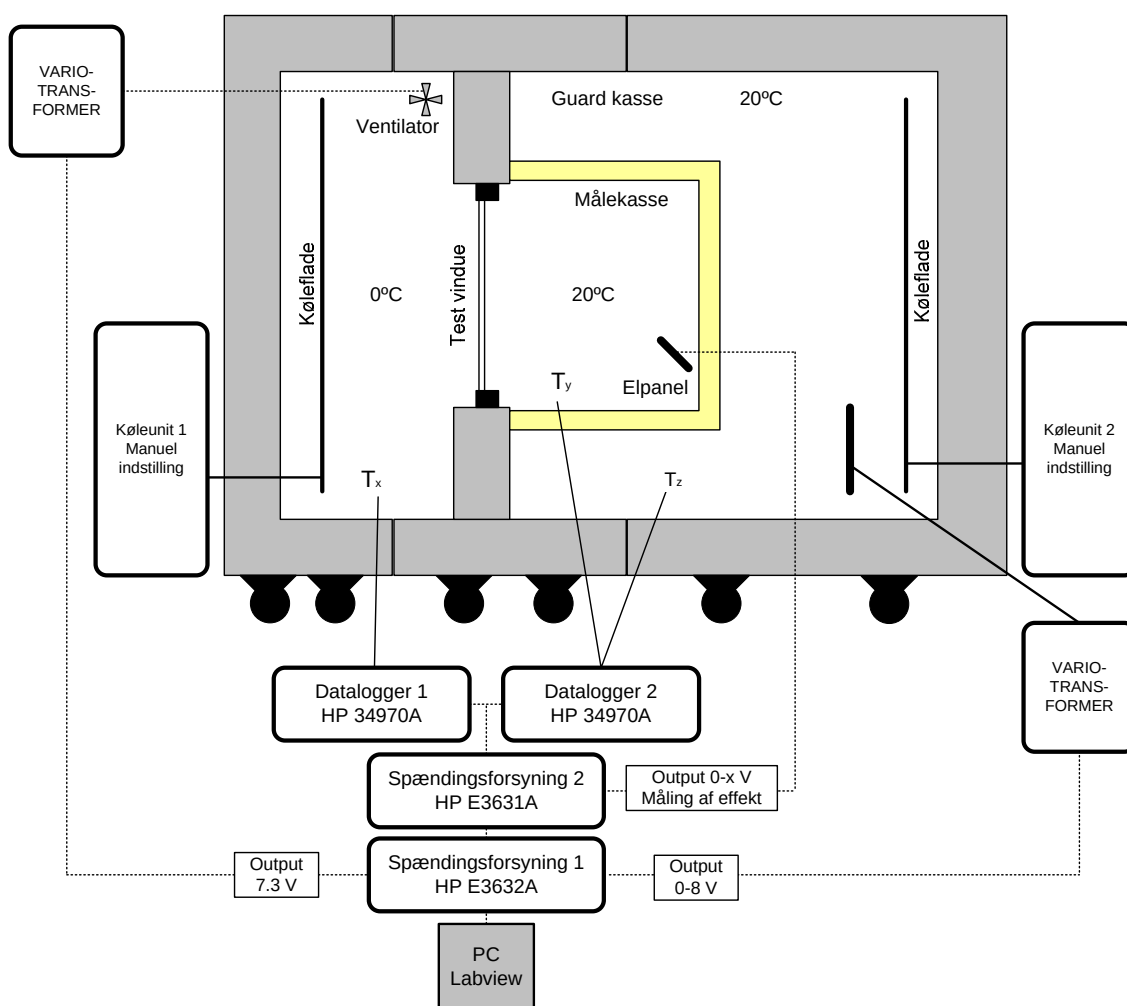
I målekassen findes ét elpanel

I guardsektion findes et kølesystem samt et elpanel

Figur 4 viser en skitse af opstillingen. Princippet i forsøgsopstillingen er at der haves en temperaturforskel over vinduet på 20°C og en temperaturforskel over målekassens sider tæt på 0°C, således at der ikke er nogen varmestrøm gennem målekassen. Den effekt der afsættes i målekassen for at opretholde de ønskede 20°C vil derfor udelukkende transmitteres ud gennem vinduet og er dermed et mål for, hvor stort varmetabet er gennem vinduet.

To separate køleenheder er koblet til hhv. den kolde kasse og guard kassen. Det i dette projekt opbyggede måleprogram styrer to HP 34970A dataloggere til opsamling af temperaturmålinger, én HP E3632A spændingsforsyning til styring af lufthastigheden i den kolde kasse og til styring af et elpanel i guard kassen, samt én HP E3631A spændingsforsyning til styring af elpanelet i selve målekassen.

Principskitse af Hot box



Figur 4 Principskitse af Hot box'en med tilhørende måle- og styresystem.

For at benytte Hot box'en i dette projekt har det været nødvendigt at opdatere opstillingen med et nyt måleprogram samt datalogningsudstyr mm. Ligeledes har det været nødvendigt at udføre en omfattende kalibrering efter gældende standard ISO 12567-1 *Thermal performace of windows and doors – Determination of thermal transmittance by hotbox*.

Til kalibreringen blev lavet to kalibreringspaneler opbygget af ét lag EPS150 beklædt med 4 mm glas på begge sider. Kalibreringspanelernes samlede tykkelse var hhv. 28 mm og 58 mm. EPS materialets varmeledningsevne blev målt af producenten ved en "Lambda 10" måling, hvorved kalibreringspanelernes samlede isolans er kendt med stor nøjagtighed. Dette udnyttes bl.a. til at bestemme den samlede overgangsisolans som vinduesmålingen senere korrigeres for og derfor skal kendes nøjagtigt.

En tidligere undersøgelse på DTU har vist, at den traditionelle metode til måling af overfladetemperaturer ved fastgørelse af termoelementtråde med tape er behæftet med mindre fejl, idet omgivelsernes temperatur fejlagtigt indgår i målingen med en andel på ca. 10 %. Derfor blev der udviklet en ny måleteknik som bruges til måling af kalibreringspanelernes overfladetemperaturer. Den nye metode anvender fladklemte termoelementtråde som er limet fast på ruden og malet hvide, hvilket bevirker at andelen af målt omgivelsestemperatur reduceres til ca. 2 %.

Det blev valgt at benytte softwareprogrammet Labview til programmering af måleprogrammet. Måleprogrammet styrer de to HP 34970A dataloggere der opsamler ca. 120 temperaturmålinger samt de to spændingsforsyninger (HP E3631A og HP E3632A) der leverer en styrespænding til vindsimulator og til de to elpaneler i hhv. guard kassen og målekassen.

Styringsprincip

Princippet i forsøgsopstillingen er at temperaturdifferensen over målekassens sider styres efter at være 0 °C, hvorved der ikke haves nogen varmestrøm gennem disse flader. Den effekt der afsættes i målekasse er derved et mål for varmestrømmen gennem måleemnet.

Følgende styres af måleprogrammet:

Temperaturen i guard kassen styres med et setpunkt for elpanelet på 20,0 °C. Kølesystemet køler konstant med en temperatur på ca. 12 °C. Herefter varmes op med et elpanel til de 20,0 °C, idet elpanelet er lettere og hurtigere at regulere med. Styringen vil dermed også virke selvom temperaturen i forsøgshallen er højere end 20 °C.

Den effekt der afsættes af elpanelet i målekasse styres efter at temperaturdifferensen over målekasse skal være 0,0 °C. Derved ligger temperaturen i målekassen meget tæt på 20 °C også.

Temperaturen i den kolde kasse styres/sættes manuelt ved brug af den udvendige styrenhed på køleenheden. Det er ikke så afgørende hvad temperaturen sættes til blot skal den være konstant over flere timer således at stationære temperaturer er opnået.

Vindsimulatoren i den kolde sektion styres af en styrespænding. Styrespændingen er en fast værdi som er fundet under kalibreringen (mellem 0-8 V).

Kalibreringen

Kalibreringen består af tre målinger med det tynde panel og tre målinger med det tykke panel. Den første måling foretages med det tynde kalibreringspanel ved en temperatur i den kolde kasse på 0 °C og 20 °C i målekassen. Målingen skal bl.a. benyttes til at bestemme styresignalet til vindsimulatoren i den kolde kasse, således at den samlede overgangsisolans bliver 0,17 m²K/W. Med det tynde panel foretages endnu to andre målinger ved andre temperaturniveauer hvorefter tilsvarende målinger foretages med det tykke kalibreringspanel.

Hot boxen er stort set klar til at der kan foretages de ønskede målinger.

Fremtidige aktiviteter

I sidste del af projektet er det planlagt at gennemføre målinger af U-værdi og overfladetemperaturer på det udviklede vindue. Der laves målinger med forskellige kombinationer af solafskærmninger samt evt. isolerende skodder. Måleresultaterne verificeres med beregnede resultater hvorved den nye beregningsmetode verificeres.

Referencer

- TNO. (2004). *Advanced Window Information System, WIS –window simulation program*, TNO Building and Construction Research, Delft (NL).
- Pilkington. (2003). *Glas 04. Program til beregning af ruders termiske og optiske egenskaber*, Pilkington Danmark, Glostrup (DK). (2003)
- CEN (2003). *EN ISO 10077-2. 2003. European Standard. Thermal performance of windows, doors and shutters – calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames*.
- ISO (2001). *ISO/DIS 15099. International Standard. Thermal performance of windows, Doors and Shading Devices – Detailed Calculations*.
- LBNL 1. (2006). *Therm 6.0 Research v 6.0.02, Finite element simulator, (2003)*, Lawrence Berkley National Laboratory, USA.
- LBNL 2. (2006). *WINDOW 6.0 Research v 6.0.30 Window simulation program*, Lawrence Berkley National Laboratory, USA.
- Lundstrøm C. (2002) *Varmeteknisk analyse af vinduer. BYG.DTU, Kgs. Lyngby, (DK). (2002)*

Publikationer

Improved Windows for Cold Climates, Laustsen, J. B., Svendsen S., Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, marts 2005, Nordic Symposium on Building Physics, Reykjavik 13-15 June 2005.

(Vedlagt Statusrapport 2, maj 2005)

Præsentationer

Improved Windows for Cold Climates, Laustsen, J. B., Svendsen S., Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, marts 2005, Nordic Symposium on Building Physics, Reykjavik 13-15 June 2005.

Se bilag 1

Bilag 1. Overheads til præsentationen "Improved Windows for Cold Climates".

7th Nordic Building Physics Symposium in Reykjavik, June 13 – 15 2005.

Improved Windows for Cold Climates

Jacob Birck Laustsen
and
Svend Svendsen

Technical University of Denmark

Technical University of Denmark



Aim of project

Investigate the possibilities for developing
windows with improved energy performance
for cold climates.

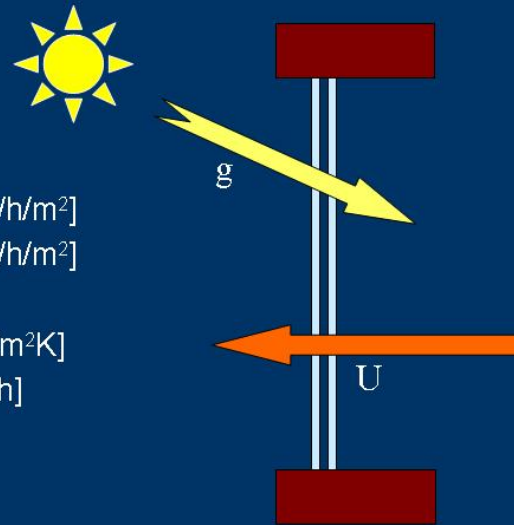
Technical University of Denmark



Net Energy Gain

$$E = I \cdot g - U \cdot G$$

E	Net energy gain	[kWh/m ²]
I	Solar radiation	[kWh/m ²]
g	Total solar energy transmittance	
U	Thermal transmittance	[W/m ² K]
G	Degree hours	[kKh]



Focus on residential buildings

Based on reference house with certain distribution of the windows

Shadow factor of 0.7

Technical University of Denmark



Climate of Greenland

Divided into two zones:

- Zone 1 South of the Arctic Circle
- Zone 2 North of the Arctic Circle



$$E_{GI_1} = 490 g - 186 U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$E_{GI_2} = 532 g - 223 U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Technical University of Denmark



Danish Climate

Heating season:
24 September to 13 May

Shadow factor of 0.7

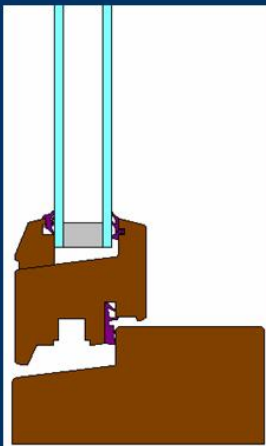
Net Energy gain:
 $E_{Dk} = 196 g - 90 U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$

Technical University of Denmark



Window types

The energy performance was evaluated for 7 different windows



Type 1 and 2

Typical frame profile of Wood. Width 10 cm
Standard low energy glazing

Type 1:

$$U_f = 1.30$$

$$U_w = 1.61$$

$$U_g = 1.28$$

$$g_w = 0.46$$

$$\Psi = 0.128$$

Type 2:

$$U_f = 1.37$$

$$U_w = 1.34$$

$$U_g = 1.17$$

$$g_w = 0.46$$

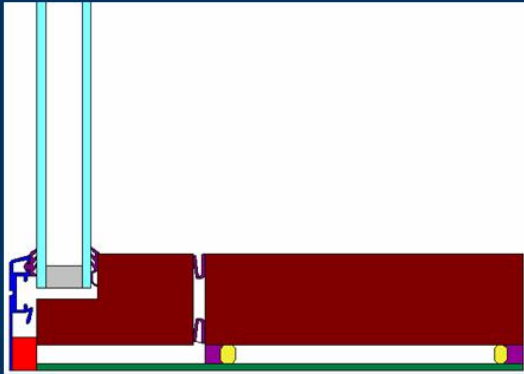
$$\Psi = 0.047$$

Technical University of Denmark



Improved Window Type 3

- Energy glazing with low iron glass
- Warm edge
- Slim frame of wood



- Low heat loss
- High solar gain

$$U_f = 1.33$$

$$U_w = 1.27$$

$$U_g = 1.15$$

$$g_w = 0.58$$

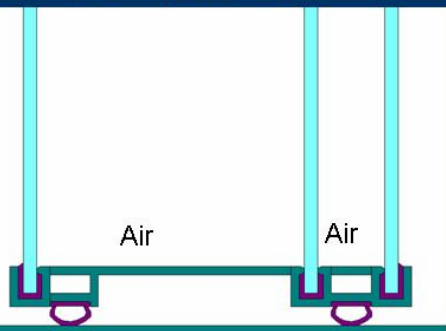
$$\Psi = 0.034$$

Technical University of Denmark



Window With Positive Net Energy Gain Type 4

Combination window



- Extra slim frame profile of 2.5 cm.
- Fibre glass reinforced polyester.
- Three layers of glass.
- Two hard low-e coatings
- Air gaps micro ventilated
- Air pressure neutralized through tubes with filters to outside

Non-sealed air gaps in glazing → longer service life

Large air gaps → integration of solar shading in glazing

$$U_f = 1.49$$

$$U_w = 0.97$$

$$U_g = 0.93$$

$$g_w = 0.54$$

$$\Psi = -$$

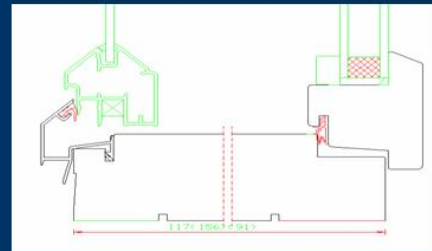
Technical University of Denmark



Window types

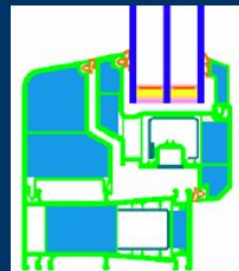
Type 6. Typical Finnish window. 1 + 2
Wood + aluminium. Frame width 11 cm

$$\begin{array}{lll} U_f = 1.32 & U_g = 1.01 & \Psi = 0.040 \\ U_w = 1.20 & g_w = 0.43 & \end{array}$$



Type 7. Typical "Passivhaus" window
PVC + PU-foam. Frame width 13 cm

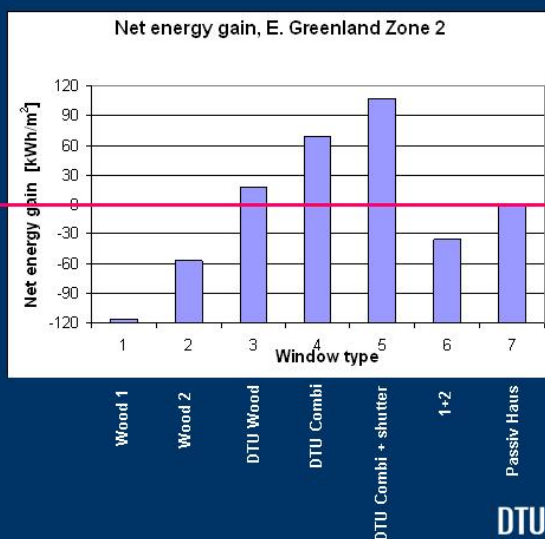
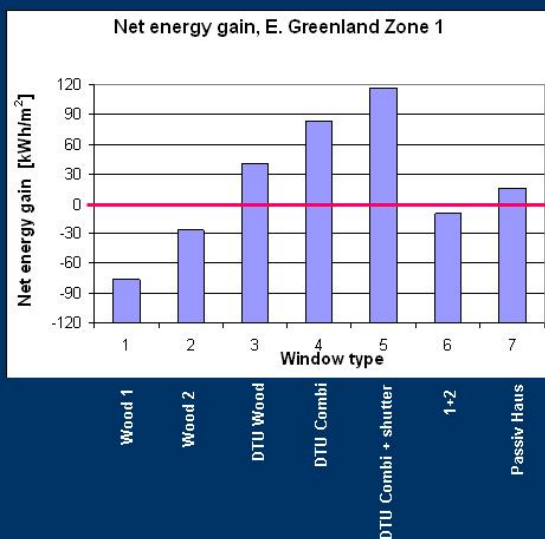
$$\begin{array}{lll} U_f = 0.75 & U_g = 0.7 & \Psi = 0.03 \\ U_w = 0.79 & g_w = 0.33 & \end{array}$$



DTU

Technical University of Denmark

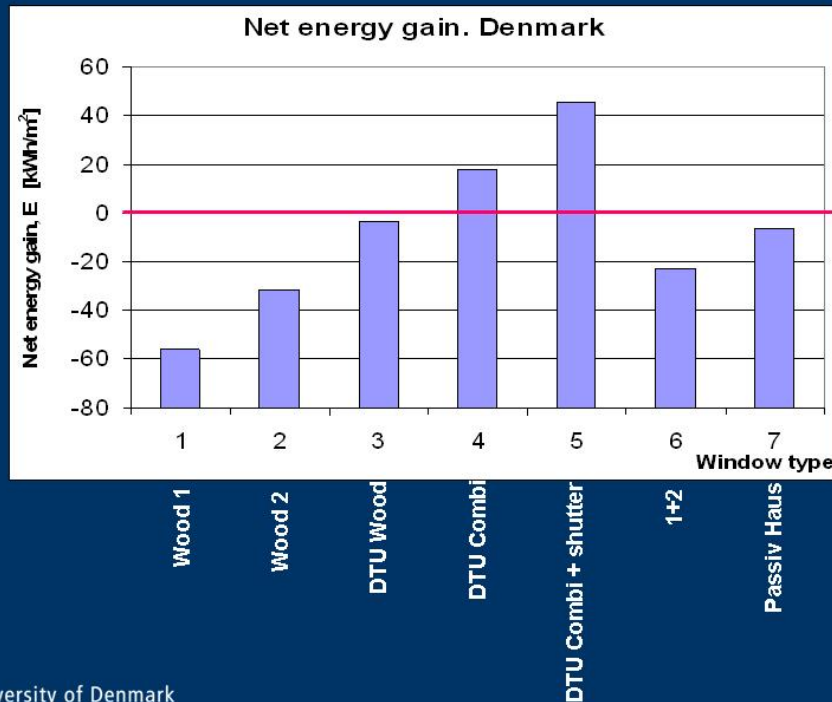
Net energy gain. Greenland



DTU

Technical University of Denmark

Net energy gain in Denmark



Technical University of Denmark

Simulations in BSim 2002

Energy consumption for heating and ventilation were determined for the windows used in typical houses in Greenland and Denmark



House A: (Arctic climate, Greenland)
Ilorput



House B: (Danish climate)
Snekkersten

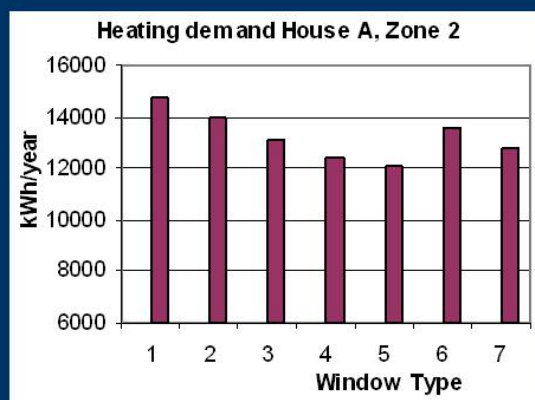
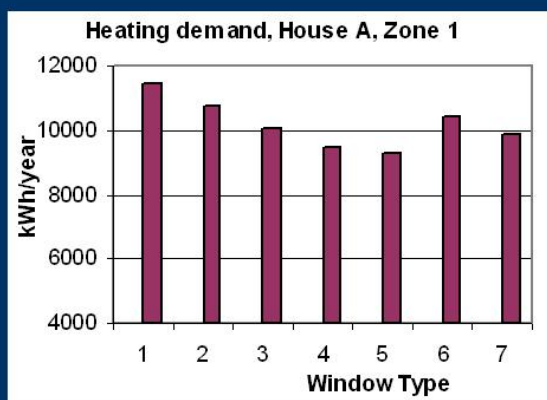
Technical University of Denmark

DTU

Energy consumption Greenland

Heating demand of building with the 7 window types.

Building simulations performed in BSim 2002



Technical University of Denmark

Energy consumption Greenland

Heating demand of building with the 7 window types.

Building simulations performed in BSim 2002

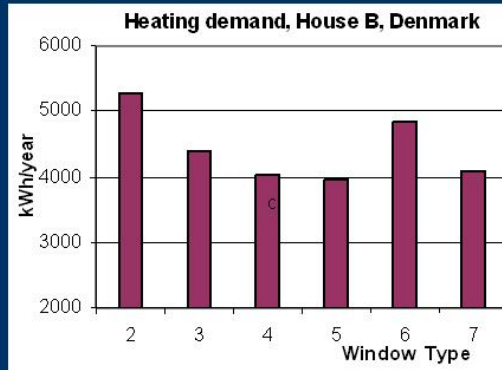
Window			Zone 1			Zone 2		
Type	U_{tot} W/m ² K	g_{tot}	Heating kWh/year	Solar gain kWh/year	Venting kWh/year	Heating kWh/year	Solar gain kWh/year	Venting kWh/year
1	1.61	0.46	11427	3016	-247	14751	3324	-200
2	1.34	0.46	10744	3016	-275	13930	3324	-230
3	1.23	0.58	10024	3830	-558	13254	4107	-460
4	0.97	0.54	9488	3578	-498	12434	3956	-462
5	0.97– 0.49	0.54– 0.0	9294	3536	-498	12090	3896	-459
6	1.20	0.43	10455	2872	-252	13580	3166	-210
7	0.79	0.33	9830	2204	-136	12811	2426	-113



Technical University of Denmark

Energy consumption Denmark

Building simulations performed in BSim 2002



	U_{tot}	g_{tot}	Heating	Solar gain	Venting
Type	W/m^2K		kWh/year	kWh/ year	kWh/ year
2	1.34	0.46	5274	1891	-136
3	1.23	0.58	4401	2705	-423
4	0.97	0.54	4032	2373	-344
5	0.97 – 0.49	0.54 – 0.0	3949	2349	-353
6	1.20	0.43	4836	1901	-162
7	0.79	0.33	4093	1582	-131

Technical Uni

DTU

Conclusion

- It is possible to develop windows with positive net energy gain in cold climates
- Increased glazing area → higher net energy gain
- Further improvements possible based on new window types
- Integrate solar shading devices in the new windows

Technical University of Denmark

DTU