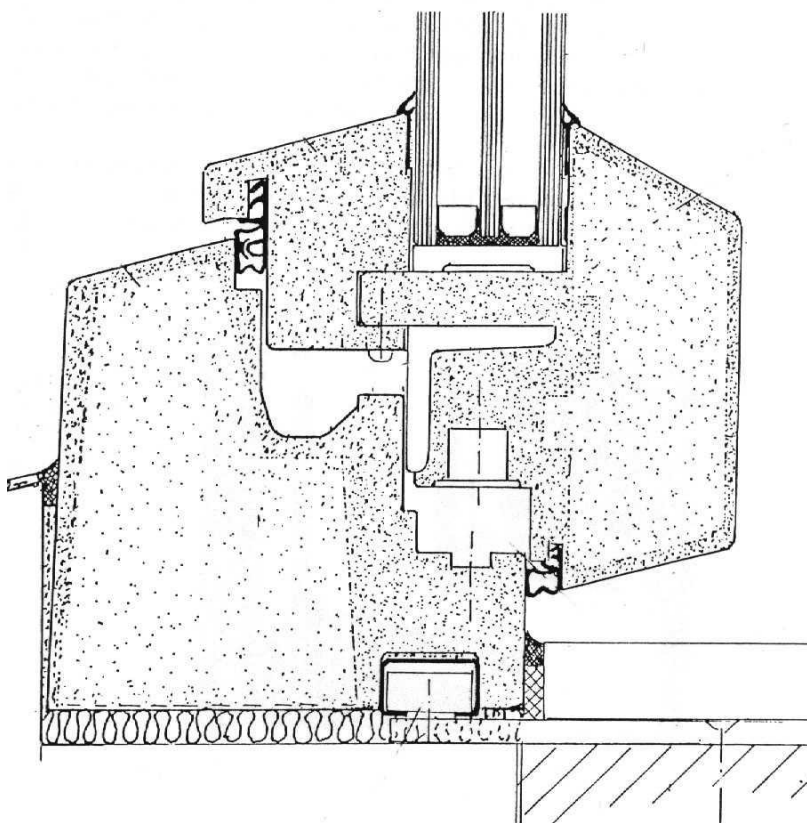


## RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

Kompendium 12:

### VINDUER MED ISOLEREDE RAMME-KARMPROFILER





# Indholdsfortegnelse

<b>FORORD TIL KOMPENDIUM 12.....</b>	<b>5</b>
<b>1 MULIGHEDER FOR UDVIKLING AF RAMME-KARMPROFILER.....</b>	<b>7</b>
<b>2 METODE TIL ANALYSE AF RAMME-KARMPROFILERS VARMETABSKOEFFICIENT .....</b>	<b>8</b>
<b>3 GENNEMGANG OG ANALYSE AF FORBEDRINGSMULIGHEDER.....</b>	<b>9</b>
3.1 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF TRÆ OG TRÆ-ALUMINIUM.....	9
3.1.1 Realiserede forbedringer .....	9
3.1.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer af træprofil.....	10
3.1.3 Isolering af ramme-karmprofil .....	10
3.1.4 Glasliste af PVC i stedet for aluminium.....	11
3.1.5 Tætning af luftspalte.....	11
3.1.6 Træprofil erstattes af puren .....	12
3.1.7 Kombination af tiltag .....	12
3.2 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF PVC .....	13
3.2.1 Realiserede forbedringer .....	13
3.2.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer.....	13
3.2.3 Isolering af hulrum.....	13
3.2.4 Flere inddelinger af spalten mellem rammen og karmen .....	14
3.2.5 Ændret materialevalg til de afstivende profiler .....	15
3.2.6 Kombination af tiltag .....	16
3.2.7 Profil udelukkende af glasfiberarmeret polyester.....	16
3.3 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF ALUMINIUM .....	17
3.3.1 Realiserede forbedringer .....	17
3.3.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer.....	17
3.3.3 Isolering af større hulrum .....	17
3.3.4 Smållere kuldebroafbrydelse .....	17
3.3.5 Ændring af glasbærerens materiale .....	18
3.3.6 Kombinationer.....	18
3.4 DET TEKNISK MULIGE .....	19
3.5 BEGRÆNSNING FOR ALUMINIUMSPROFIL .....	19
<b>4 ANDRE IKKE-VARMETEKNISKE FORHOLD.....</b>	<b>20</b>
4.1 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF TRÆ OG TRÆ-ALUMINIUM.....	20
4.2 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF PVC .....	20
4.3 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER AF ALUMINIUM.....	20
<b>5 UTRADITIONELLE RAMME-KARMKONSTRUKTIONER.....</b>	<b>21</b>
5.1 RAMME-KARMKONSTRUKTIONER I GLASFIBERARMERET POLYESTER .....	21
5.2 RAMME-KARMKONSTRUKTION AF ISOLERINGSMATERIALE .....	21
5.3 BREDERE RAMME-KARMKONSTRUKTIONER .....	22
5.4 FINSKE KASSEVINDUER .....	22
<b>6 LITTERATUR .....</b>	<b>23</b>

<b>BILAG A :THERM ANTAGELSER.....</b>	<b>24</b>
<b>BILAG B: THERM RESULTATER OG UDREGNINGER .....</b>	<b>26</b>
6.1 B1 DATA FOR REFERENCERAMME-KARMPROFILET AF TRÆ BEKLÆDT MED ALUMINIUM. ....	27
6.2 B2 DATA FOR REFERENCERAMME-KARMPROFILET AF PVC.....	28
6.3 B3 DATA FOR REFERENCERAMME-KARMPROFILET AF ALUMINIUM.....	29
<b>ADRESSELISTE .....</b>	<b>30</b>

## Forord til kompendium 12

Indenfor de seneste 20 år er ruders energimæssige egenskaber blevet forbedret med omkring en faktor 3. Udviklingen indenfor ramme-karmkonstruktioner har imidlertid ikke fulgt med, og der er derfor behov for at videreudvikle ramme-karmkonstruktioner med henblik på at opnå bedre energimæssige egenskaber.

I Kompendiet vises det, hvordan der ved at isolere, anvende andre materialer eller foretage små ændringer i konstruktionen af ramme-karmprofiler kan opnås markante forbedringer. Dette gøres ved at ændre på nogle af referencevinduerne fra kompendium 1, 2 og 3. Det er valgt at tage udgangspunkt i et træ-aluminiums-, et PVC- og et aluminiumsprofil.

Derudover beskrives forskellige utraditionelle ramme-karmkonstruktioner og, resultater der kan opnås med helt andre slags isolerede ramme-karmkonstruktioner

I dette kompendium behandles kun mulighederne for at mindske ramme-karmprofilers varmetabskoefficient. Varmetabet fra vinduers ramme-karmprofil kan også reduceres ved at gøre profilerne smalere. Dette belyses i kompendium 13. Ramme-karmprofilets udformning har også indflydelse på linjetabet for samlingen mellem muren og vinduet. Dette er belyst i kompendium 14.

Målgruppen for kompendium 12 er hovedsageligt forskellige vinduesproducenter, som kan hente inspiration til udvikling af nye bedre ramme-karmprofiler.

Kompendiet er udført med bevilling fra energistyrelsen i henhold til lov om stats-tilskud til produktrettede energibesparelser som en del af projektet: ”Projekt vindue, den produktrettede indsats på vinduesområdet. GENEREL UNDERSTØTTELSE AF VIRKSOMHEDERS PRODUKTUDVIKLING”. Fase 1. J.nr. 75661/00-0008.

Følgende har medvirket til udarbejdelsen af kompendiet:

Inge Dalgaard, Jacob Birck Laustsen og Svend Svendsen.

Kompendiet har været til høring hos projektets følgegruppe.

Konstruktiv kritik og forslag til forbedringer modtages gerne og kan sendes til:

Professor Svend Svendsen  
Danmarks Tekniske Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Bygning 118, Brovej  
DK-2800 Kgs. Lyngby

Denne version af kompendiet med nr. U-0011 erstatter den tidligere version med nr. U-055.

### Copyright

Copyright © DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet, januar 2009

Materialet må i sin helhed frit kopieres og distribueres uden vederlag.

Eftertryk i uddrag er tilladt, men kun med kildeangivelsen:  
*Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 11: ”Vinduer med isolerede ramme-karmprofiler”.*  
DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet, januar 2009



# 1 Muligheder for udvikling af ramme-karmprofiler

Vinduer som helhed har et varmetab, som er ca. 10 gange større end klimaskærmens andre varmetab. I lavenergihuse kan transmissionstabet gennem vinduerne udgøre op til 70% af det samlede varmetab. Derfor er det vigtigt, at få udviklet vinduer med mindre varmetabskoefficient.

Indtil energiruder dvs. ruder med lavemissionsbelægning på glasset og argonfyldning blev udviklet, var ruden den svage del i vinduet og derfor blev ramme-karmkonstruktionen i lang tid betragtet, som værende ”god nok”. Det har betydet, at der ikke er sket nogen egentlig varmeteknisk udvikling indenfor ramme-karmkonstruktioner, idet der ikke var det store behov for det. Situationen har imidlertid ændret sig, og i dag er ramme-karmkonstruktionen ofte det svageste led i vinduerne. Derfor foregår der et uforholdsmæssigt stort varmetab ud gennem ramme-karmkonstruktionen, som i typiske danske vinduer løber op i 50-100% mere end for ruden.

Målet er at reducere varmetransporten gennem ramme-karmprofiler for såvel nye som eksisterende vinduer. Forbedring af ramme-karmprofiler med henblik på at nedbringe varmeledningen kan ske udfra forskellige metoder.

- Der isoleres i allerede tilstedeværende hulrum eller der udskiftes massivt materiale til isoleringsmateriale. Isoleringsmaterialet lægges så vidt muligt udfor ruden.
- Spalten mellem ramme og karm afskærms mod vind, for derved at gøre denne uventileret. Ideelt ville det være en fordel at gøre spalten og hulrum flade, idet der dermed opstår et hulrum med en mindre ækvivalent varmeledningsevne.
- Idet traditionelle afstivningsprofiler i stål i plasticvinduer har meget høje varmeledningsevner, udskiftes disse til afstivningsprofiler i andre materialer med lavere varmeledningsevne. Gene-

relt bør metalprofiler omkranses af isolering.

- I moderne flerkantede plastpofiler er der mange hulrum. Idet små hulrum har en lavere ækvivalent varmeledning end større hulrum, inddeles hulrumene.

I afsnit 3 vil der være en beskrivelse af forskellige udenlandske producenters forbedrede produkter, herunder de energimæssige opnåede resultater og belysning af de ikke-varmetekniske problemer.

Endvidere skitseres forskellige forbedringsforslag til de forskellige typer ramme-karmkonstruktioner. Her vil den varmetekniske forbedring og anvendeligheden blive belyst og analyseret.

## 2 Metode til analyse af ramme-karmprofilers varmetabskoefficient

For at kunne vurdere om de nævnte ændringer forbedrer ramme-karmens energimæssige egenskaber, må der foretages beregninger, som dokumenterer forbedringerne. Beregningerne udføres i programmet Therm, som er beskrevet i kompendium 3. For at have et reelt sammenligningsgrundlag, regnes kun på vinduer med ydre mål på 1,23m \* 1,48m. Ruderne som isættes ramme-karmkonstruktionen er alle 4 mm klart floatglas, spalte med argon (90/10), 4 mm glas med lav emissions belægning i position 3, men med varierende afstand mellem glassene, alt afhængigt af profiltypen. Ruderne og afstandsprofilerne svarer til de i kompendium 3 beskrevne.

Ud fra de beregninger der foretages i Therm, kan U-værdien for rammen, linietabet mellem glas og ramme og vinduets samlede U-værdi udregnes vha. følgende formler:

U-ramme fås ud fra nedenstående udtryk, som opfylder CEN 10077-2:

$$U_r = \frac{U_{tot1} l_{tot} - U_p l_p}{l_r}$$

hvor

$U_{tot1}$  er ramme-karmkonstruktionens U-værdi når der er indsat et isoleringspanel

$l_{tot}$  er den samlede bredde for panelet og ramme-karmkonstruktionen

$U_p$  er panelets 1-dimensionale U-værdi

$l_p$  er panelets bredde (altid 0,190m)

$l_r$  er ramme-karmkonstruktionens bredde.

Linietabet beregnes ud fra nedenstående udtryk:

$$\psi_g = U_{tot2} l_{tot} - U_g l_g - U_r l_r$$

hvor

$U_{tot2}$  er ramme-karmkonstruktionens U-værdi, når ruden er indsat, udregnet vha. Therm

$U_g$  er rudens center U-værdi

$l_g$  er rudens bredde i Therm (altid 0,190m)

Idet både  $U_r$  og  $\psi_g$  er udtryk for hvor ”gode” profilers energimæssige egenskaber er,

skal der tages højde for dem begge ved vurderingen af forbedringsforslagene. For bedre at kunne sammenligne forskellige ramme-karmprofiler sammenføres  $U_r$  og  $\psi_g$  derfor til en samlet størrelse  $L$ , som er udtryk for det ekstra varmetab i forhold til det endimensionale tab gennem ruden.  $L$  kan altså bruges som et mål for varmetabet gennem ramme-karm og samlingen mellem rude og ramme, uafhængigt af udstrækningen af konstruktionen. Dvs. det endimensionale varmetab gennem en linie mellem muren og ruden.  $L$  bestemmes af nedenstående udtryk:

$$L = l_r(U_r - U_g) + \psi_g$$

Denne størrelse bruges til at sammenligne forskellige profiler.

Den totale U-værdi for vinduet fås af nedenstående udtryk:

$$U_{total} = \frac{A_g U_g + l_g \Psi_g + A_r U_r}{A'}$$

$A_g$  er glasarealet i  $m^2$

$l_g$  er omkredsen af glasarealet i m

$A_r$  er ramme-karmarealet i  $m^2$

$A'$  er det samlede areal for vinduet

Alle antagelser der er foretaget til simuleringerne i programmet Therm er beskrevet i Bilag A :Therm antagelser.

Alle beregninger for alle profilerne er detaljeret gengivet i Bilag B: Therm resultater og udregninger.

På baggrund af disse resultater og andre ikke-varmetekniske forhold vurderes det i afsnit 3, hvorvidt forbedringsforslagene er fornuftige.

Forbedringstiltagene skal, så vidt det er muligt, ikke være for omfattende i forhold til de forbedringer der kan opnås, og forbedringstiltagene skal være realiserbare. Derudover må det også vurderes om de nye materialer kan leve op til holdbarheds- og styrkekriterier og derudover skal de være velegnede til genbrug.

Hvorvidt de nye produkter kan leve op til holdbarhedskrav, dokumenteres bedst ved efterprøvning i klimaældningsmaskiner. Dette vil evt. ske i et efterfølgende projekt.



### 3 Gennemgang og analyse af forbedringsmuligheder

I dette kapitel gennemgås hvilke forbedringer der pt. er opnået for forskellige ramme-karmprofiler og hvilke muligheder der er for at forbedre de eksisterende profiler.

Der tages udgangspunkt i tre forskellige ramme-karmprofilyper, som også er beskrevet og anvendt i kompendium 1 til 5. Disse tre referenceprofiler er:

- Ramme-karm af træ beklædt med aluminium (Figur 3)
- Ramme-karm af PVC (Figur 7)
- Ramme-karm af aluminium (Figur 13)

Idet ramme-karmprofiler af hhv. træ og træ beklædt med aluminium har næsten de samme energimæssige egenskaber, betragtes de under et. Det er derfor valgt at tage udgangspunkt i træprofilet beklædt med aluminium.

Ved hjælp af Therm beregnes U- og  $\psi$ -værdierne for forskellige forbedringsmuligheder af ramme-karmprofilerne ved at udskifte eller tilføje materialer i de tre referenceramme-karmprofiler. Idet der anvendes en referencerude beregnes også en samlet U-værdi for hele vinduet. Ligeledes beregnes L-værdien, som kan anvendes til at sammenligne ramme-karmprofiler.

De forskellige forslag er ikke vurderet mht. realiserbarhed men primært medtaget, for at analysere hvilke varmetekniske forbedringer der kan opnås.

#### 3.1 Ramme-karmkonstruktioner af træ og træ-aluminium

##### 3.1.1 Realiserede forbedringer

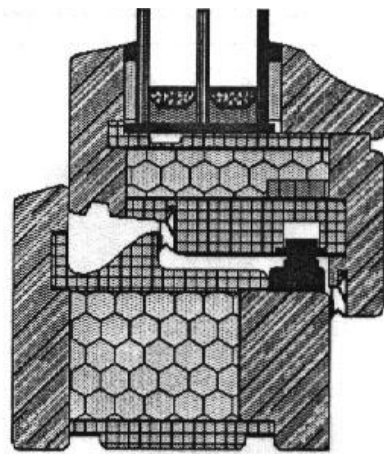
De tyske firmaer "eurotec" og "puren" opbygger deres ramme-karmprofil af en kerne, med to forskellige isoleringsmaterialer, som ligger umiddelbart udfør ruden (umiddelbart under ruden på Figur 1).

Yderst afsluttes der med en træbeklædning.

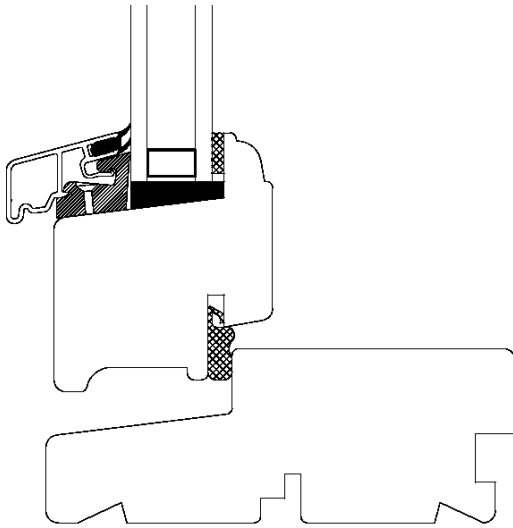
I "eurotecs" ramme-karmkonstruktion, Figur 1, er de lodrette omkransninger udført i træ og de vandrette i purenit. Derimellem er udfyldt med Polyuretanskum. Samlet er der opnået en U-værdi på  $0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,

hvilket er en af de bedste værdier, der er opnået indenfor ramme-karmprofiler.

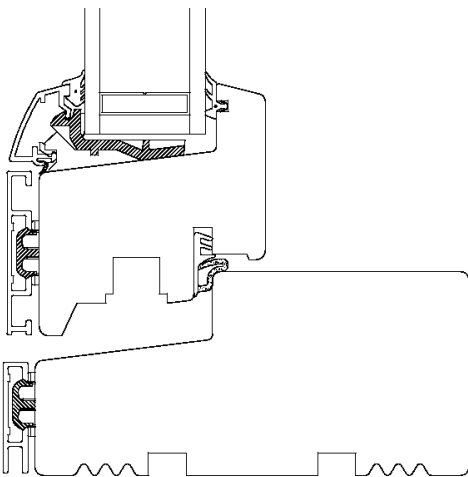
Det tyske firma "Holz Schiller" fremstiller et vindue med "integreret regnskinne" og opnår dermed en tætning af luftspalten. Derudover opnås der også en forøgelse i tværsnittet af karmen og dermed en yderligere forbedring af ramme-karmprofilet. "Holz Schiller" har udviklet en ramme-karmkonstruktion kaldet "Thermotur Passivhauskantel", som har en U-værdi på ca.  $0,63 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Udover træ indgår isoleringsmaterialet Polyurethan i presset og skummet form. Det er muligt at genbruge materialet, og det kan tilbageleveres i enhver tænkelig form til producenten "puren".



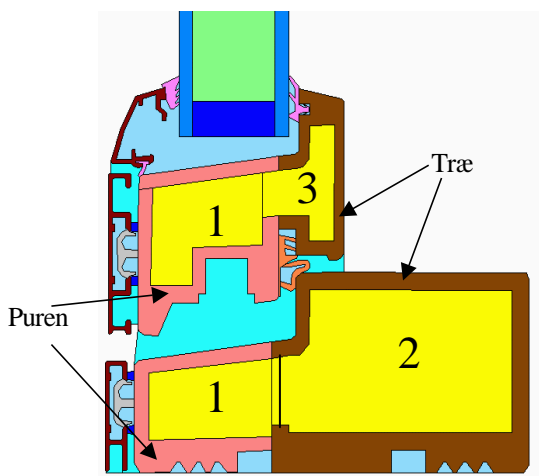
Figur 1. Isoleret træprofil fra Eurotec



Figur 2. Ramme-karm af træ



Figur 3. Ramme-karm af træ beklædt med aluminium (reference).



Figur 4. Træprofil med isolering. Isoleringen er opdelt i tre trin. En del af rammen og karmen er erstattet med puren (lyserød).

### 3.1.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer af træprofilen

Der tages udgangspunkt i referencevinduet, Figur 3, hvor rammen og karmen er udført i træ og er beklædt med aluminium. Vinduet har én rude. Idet vinduets samlede areal er  $1,48\text{m} \times 1,23\text{m}$ , bliver glas procenten på 71%. Rudens centerU-værdi er  $1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Til sammenligning er et ramme-karmprofil af udelukkende træ vist i Figur 2.

Resultaterne fra Therm-beregningerne er vist i Tabel 1.

### 3.1.3 Isolering af ramme-karmprofilen

Ud fra erfaringerne fra de tyske producenter er det oplagt, at forsøge at isolere ramme-karmkonstruktionen, ved at erstatte træet med hård isolering udadtil og traditionel isolering indadtil, på ikke synlige steder. På de synlige overflader bibeholdes træoverfladen.

Isoleringen af profilen deles op i 3 trin (se Figur 4) for at anskueliggøre hvor stor effekt de enkelte trin har. De forskellige trin er vist i Figur 4 og består af:

1. Rammen og karmen erstattes udfor ruden med en hård isolering, Puren ( $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ ) udadtil og indadtil isoleres med traditionel "blød" isolering ( $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ ).
2. Karmen udhules yderligere. Dvs. udadtil bibeholdes træ og indvendigt lægges traditionel isolering.
3. Rammen isoleres på det sidste stykke indadtil med traditionel isolering, men også her beholdes det indvendige træ.

Der foretages beregninger i Therm for hver af de tre isoleringstrin. De 3 isoleringstrin gennemregnes også i det tilfælde hvor den "bløde" isolering ( $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ ), erstattes med et isoleringsmateriale med en lavere varmeledningsevne ( $\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$ ). Resultaterne er vist i Tabel 1.

Ud fra Tabel 1 ses det, at der er store fordele ved, at indlægge isoleringsmateriale i ramme-karmprofilerne. Jo mere isoleringsmateriale der indlægges jo mere forbedres profils U-værdi. Det er endvidere muligt at forbedre profilen endnu mere ved at benytte fenolskum med isolerende gas

( $\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$ ) i stedet for traditionel isolering ( $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ ).

Forholdsmæssigt opnås der mest ved den første isoleringsstribе, og virkningen falder langsomt derefter. Derimod får det bedre isoleringsmateriale ( $\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$  i stedet for  $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ ) større betydning, jo bedre profilets isolans er.

Linjetabet reduceres ligeledes generelt ved isolering af ramme-karmkonstruktionen. Der er dog ikke den store forskel på linjetabet ved de tre isoleringstrin.

Af Figur 5 fremgår det at L, som udtrykker det samlede ekstra tab for ramme-karmen i forhold til ruden, reduceres for hvert af de tre isoleringstrin der gennemføres. Værdierne er endvidere lavest med isolering kl. 26. Isolering af alle tre trin med den bedste isolering medfører ca. en halvering af L-værdien i forhold til referenceprofilеt.

Der opnås altså en stor forbedring ved at isolere ramme-karmprofilеt. At effekten af isoleringen af ramme-karmkonstruktionen i forhold til transmissionstabet for hele vinduet ikke er større skyldes, at U-værdien for referenceruden har relativt større betydning for den samlede U-værdi for vinduet pga. det større areal. Når der udvikles ramme-karmkonstruktioner med så store forbedringer, vil det være naturligt at skifte ruden til en tilsvarende lav U-værdi.

### 3.1.4 Glasliste af PVC i stedet for aluminium

En traditionel ramme-karmkonstruktion er ofte forsynet med en udvendig glasfals af aluminium, som har en varmeledningsevne på  $160 \text{ W/mK}$ . For at undersøge om det har nogen effekt for varmetabet erstattes aluminiumet af PVC, som har en varmeledningsevne på  $0,17 \text{ W/mK}$ .

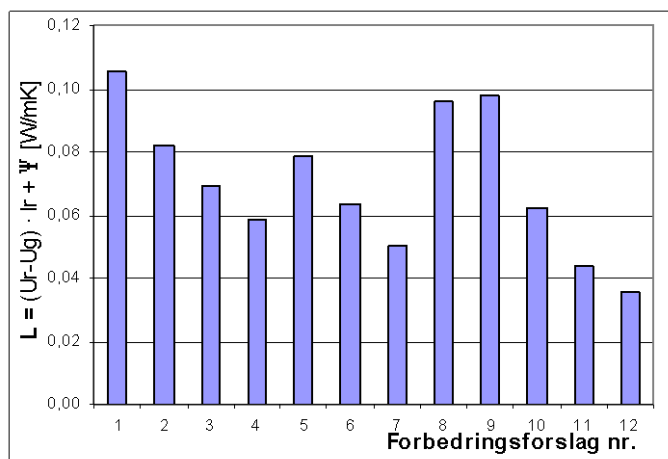
Udfra Tabel 1 ses det, at denne udskiftning af glaslisten fra aluminium til PVC har en lille, men ikke ubetydelig betydning for U-værdien, som forbedres fra 1,40 til 1,38  $\text{W/m}^2\text{K}$ . Ved udskiftning af glaslisten fra aluminium til PVC ændres liniетabet stort set ikke. Samlet ses en forbedring af ramme-karmkonstruktionens L-værdi på ca. 8 % ved at ændre glasfalsen.

### 3.1.5 Tætning af luftspalte

Som det ses af Figur 3 bevirker luftspalten mellem rammen og karmen, at der næsten er kontakt mellem ude- og indeluft. Inde- og udeluften er kun adskilt af en enkelt gummiliste. Betydningen af luftspalten mellem ramme-karm-profilet undersøges derfor. Tætning af spalten mellem rammen og karmen kan evt. etableres vha. en gummilæbe på karmens yderside. Ved at lukke spalten på profilets udvendige side, bliver spalten uventileret. Dette er simuleret i Therm ved at ændre forholdene i luftspalten efter reglerne i CEN 10077-2. Resultaterne ses i Tabel 1.

**Tabel 1 Ramme-karmkonstruktion af træ beklædt med aluminium.**

nr.	Tiltag	U-ramme $\text{W/m}^2\text{K}$	$\psi$ (linietab) $\text{W/mK}$	U-total $\text{W/m}^2\text{K}$	$L = I_r \cdot (U_r - U_g) + \psi$ $\text{W/mK}$
1	Reference vindue (Figur 3)	1,40	0,0817	1,45	0,1052
2	Isolering,1, $\lambda=0,039$	1,23	0,0763	1,39	0,0816
3	Isolering,2, $\lambda=0,039$	1,11	0,0769	1,35	0,0694
4	Isolering,3, $\lambda=0,039$	1,03	0,0745	1,32	0,0585
5	Isolering,1, $\lambda=0,026$	1,20	0,0766	1,38	0,0787
6	Isolering,2, $\lambda=0,026$	1,05	0,0774	1,34	0,0635
7	Isolering,3, $\lambda=0,026$	0,96	0,0738	1,30	0,0503
8	Glasfals af alu. erstattes af PVC	1,38	0,0750	1,43	0,0964
9	Tætning af luftspalte	1,33	0,0854	1,44	0,1014
10	Alt træ erstattes af puren	1,02	0,0791	1,33	0,0621
11	Isol. $\lambda=0,039$ , tætning af luftspalte og glasfals af alu. erstattes af PVC	0,88	0,0757	1,28	0,0436
12	Isol. $\lambda=0,026$ , tætning af luftspalte og glasfals af alu. erstattes af PVC	0,81	0,0746	1,26	0,0351



**Figur 5. Varmetabskoefficienten L ved de forskellige forbedringsforslag af profilet af træ og metal.**

Af Tabel 1 ses det, at tætningen af luftspalten mellem rammen og karmen har en lille, men ikke ubetydelig betydning for U-værdien.

Til gengæld stiger linietalet svagt ved tætningen, og det resulterer også i, at L-værdien kun reduceres meget lidt (forbedringsforslag 9). Der er altså ikke vundet meget ved at tætte luftspalten, men på den anden side er det kun et simpelt indgreb.

### 3.1.6 Træprofil erstattes af puren

Det er undersøgt hvilken betydning det vil have for de energimæssige egenskaber at erstatte alt træet i profilet med puren, som har en varmeledningsevne på 0,07 W/mK. Træs varmeledningsevne er 0,13 W/mK. Ændringen giver klare forbedringer af de varmetekniske egenskaber i forhold til referenceprofilet. Således reduceres  $U_r$  fra 1,40 til 1,02 W/m<sup>2</sup>K og  $\psi$  fra 0,0817 til 0,0791 W/mK. Det resulterer i, at L-værdien reduceres med 41 %. Der opnås dog ikke så gode energimæssige egenskaber som ved at bevare en ydre ”skal” af træ og isolere profilet indvendig med blød isolering med  $\lambda = 0,026$  W/mK, som beskrevet i afsnit 3.1.3 trin 3.

### 3.1.7 Kombination af tiltag

Det ses af Tabel 1, at jo bedre isoleret ramme-karmprofilet er, jo mere indflydelse får de enkelte indgåede dele.

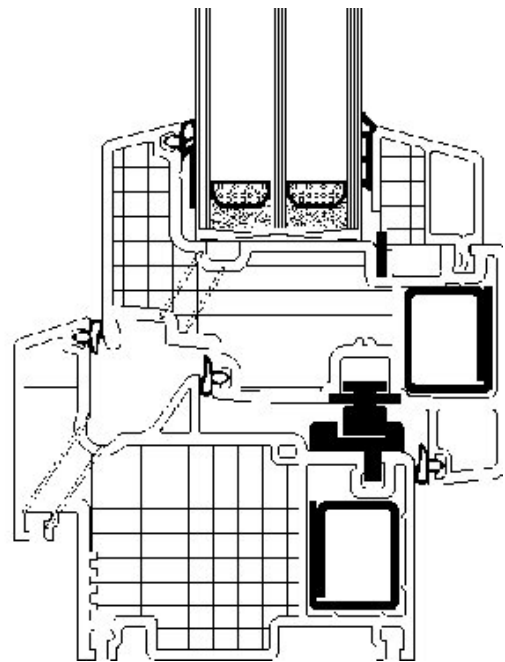
Dvs. at hvis der i ramme-karmprofilet indlægges en stor mængde isolering, er det endnu vigtigere at få lukket luftspalten mellem rammen og karmen og/eller udskifte glasfalsen fra aluminium til PVC.

### 3.2 Ramme-karmkonstruktioner af PVC

#### 3.2.1 Realiserede forbedringer

Det tyske firma ”Weru” ilægger løse isole-ringsbaner i deres ramme-karmprofiler, hvilket også muliggør en ren sortering af materialerne i genbrugsfasen. Yderligere oplysninger findes på <http://www.weru.com/>

”Eurotec” har lavet en ramme-karmkonstruktion i PVC, som er isoleret i hulrummene med Polyurethanskum. Som det ses på Figur 6 er isoleringen ført uafbrudt fra ruden og ned gennem rammen og karmen. Dermed er der opnået en U-værdi på  $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



Figur 6. Eurotec's PVC-profil.

#### 3.2.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer

Der tages udgangspunkt i referencevinduet, Figur 7, hvor rammen og karmen er udført i PVC. For at styrke konstruktionen anvendes afstivningsprofiler af jern i både rammen og karmen. Idet vinduets samlede areal er  $1,23\text{m} \times 1,48\text{m}$ , bliver glasprocenten på 69% og rudens center U-værdi er  $1,13 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ .

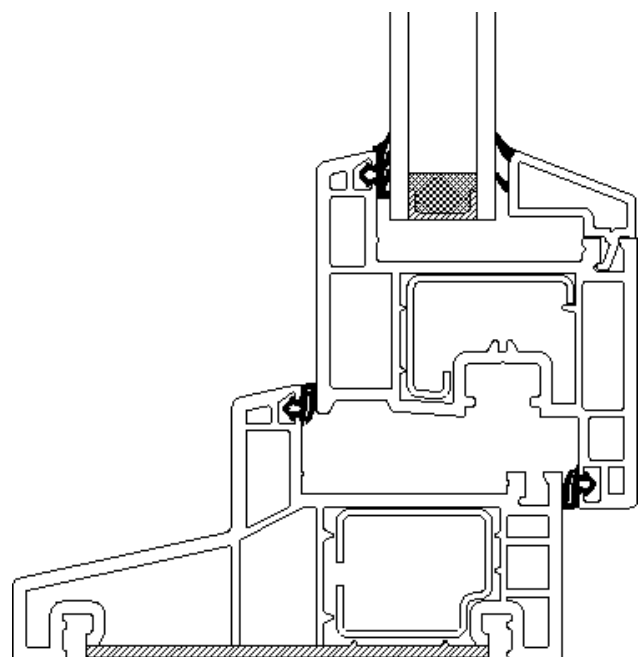
Resultaterne fra Therm-beregningerne er vist i Tabel 2 side 16.

#### 3.2.3 Isolering af hulrum

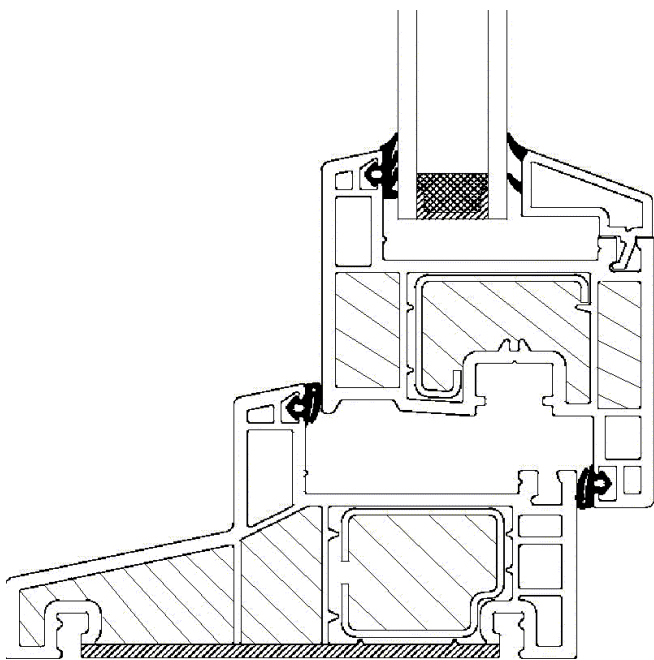
Det undersøges hvor stor en betydning det har at udfylde PVC-profilets hulrum med forskellige slags isoleringsmaterialer. Fordelen ved udfyldningen af PVC-profilet er, at der i forvejen forefindes en stabiliserende skal, og det derfor er muligt at benytte isoleringsmaterialer med lille densitet og dermed en lav varmeledningsevne.

Ilægningen af isoleringen vil ikke ændre på forarbejdningsprocessen, men kun tilføje den et yderligere forarbejdningsstrin.

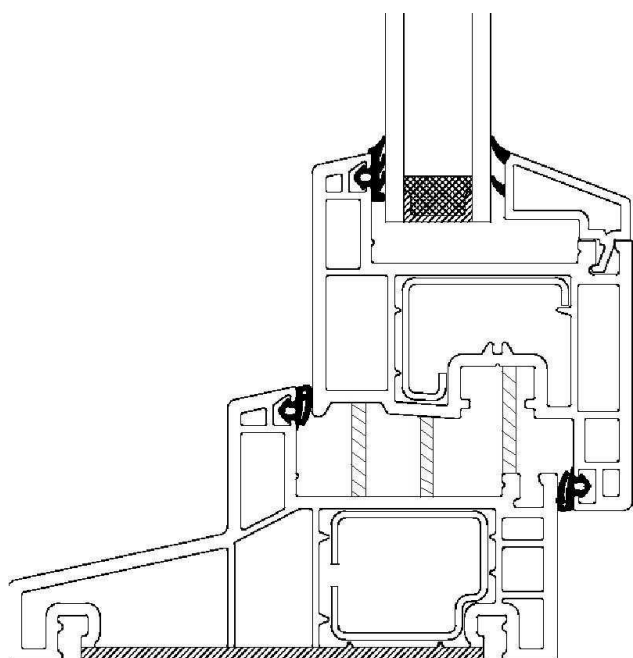
PVC-profilet isoleres med et løst indlagt isoleringsmateriale i de større hulrum (de skraverede hulrum på Figur 8), som har varmeledningsevnen  $0,039 \text{ W}/\text{mK}$ .



Figur 7. Ramme-karmprofil af PVC (reference).



**Figur 8. PVC-profilet er isoleret med isoleringsmåtter i de skraverede hulrum.**



**Figur 9. PVC-profil med ekstra inddeling af hulrummene i spalten mellem rammen og karmen. De ekstra inddelinger er markeret på figuren med en skravering.**

Ligeledes isoleres der med isoleringsmateriale, som har en varmeledningsevne på  $0,026 \text{ W/mK}$ .

Fordelen ved den løst indlagte isolering er, at adskillelsen af materialerne ved genbrug forløber uden problemer.

I Tabel 2 ses at isolering af ramme-karmprofilet medfører en betydelig reduktion af profilets transmissionstab, og at reduktionen er afhængig af isoleringsmaterialets varmeledningsevne.

I Tabel 2 ses at ved isolering af hulrummene forværres linietafet en anelse, men af L-værdien fremgår det, at profilet samlet set forbedres markant, når der indføres isolering  $\lambda=0,039$  i de større hulrum og endnu mere med isolering  $\lambda=0,026$ . L-værdien reduceres med hhv. 14 og 22 %

Problemet med isoleringsmaterialet med  $\lambda=0,026 \text{ W/mK}$  er, at der på nuværende tidspunkt ikke findes tilstrækkelig dokumentation for deres holdbarhed. I den samlede forbedring regnes der derfor ikke med det bedste isoleringsmateriale, men derimod på det realistiske tilfælde med den traditionelle isolering.

### 3.2.4 Flere inddelinger af spalten mellem rammen og karmen

I spalten mellem rammen og karmen er et stort hulrum. Idet varmeledningsevnen falder med reducere af hulrummet, inddeles spalten først én gang og senere 3 gange. Se Figur 9. Skillevæggene må selvfølgelig være gummiprofiler som giver fuld åbningsmulighed for rammen.

Af resultaterne i Tabel 2 fremgår det, at de i Figur 9 viste to tiltag giver en vis reduktion af ramme-karmprofilets U-værdi. Derimod har vist sig, at en finere inddeling ikke vil resultere i varmetekniske forbedringer af betydning. Det bemærkes, at bare én opdeling af luftspalten mellem rammen og karmen har stor betydning.

Ved ekstra inddeling af hulrummet forværres linietafet stort set ikke og samlet set opnås der også en forbedring af L-værdien og af vinduets U-værdi. L-værdien reduceres med hhv. 7 % for én inddeling og 13 % for tre inddelinger.

En inddeling af spalten kunne i praksis udføres i form af sæt af gummilister.

### 3.2.5 Ændret materialevalg til de afstivende profiler

Traditionelt forsynes de fleste PVC-rammekarmprofiler i dag med afstivende stålprofiler, som har en meget høj varmeledningsevne ( $\lambda$  ca. 50 W/mK). Det undersøges om de varmetekniske egenskaber forbedres ved at erstatte de afstivende stålprofiler med slidsede stålprofiler eller profiler af glasfiberarmeret polyester.

Stålprofilerne i ramme-karmprofilet i Figur 7 udskiftes således henholdsvis til glasfiberarmeret polyester ( $\lambda = 0,2-0,3$  W/mK) og slidsede stålprofiler. Varmeledningsevnen for slidsede stålprofiler er ikke præcist fastlagt, men størrelsesordenen er ( $\lambda = 5-17$  W/mK).

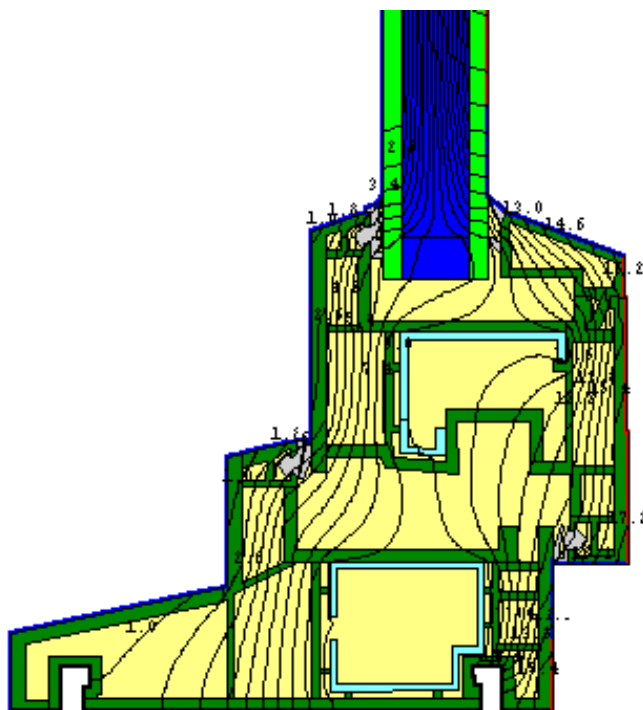
I Figur 10 er isotermerne (beregnet i Therm) for Pvc-profilet med afstivere af jern vist. Det ses, at stålprofilerne har stort set samme temperatur over det hele pga. at materialet leder varmen meget godt.

I Figur 11 er isotermerne (beregnet i Therm) for Pvc-profilet med afstiverer af glasfiberarmeret polyester vist. Det fremgår tydeligt, at det glasfiberarmerede polyesters lave varmeledningsevne bevirker, at temperaturerne er mere jævnt fordelt over ramme-karmprofilet.

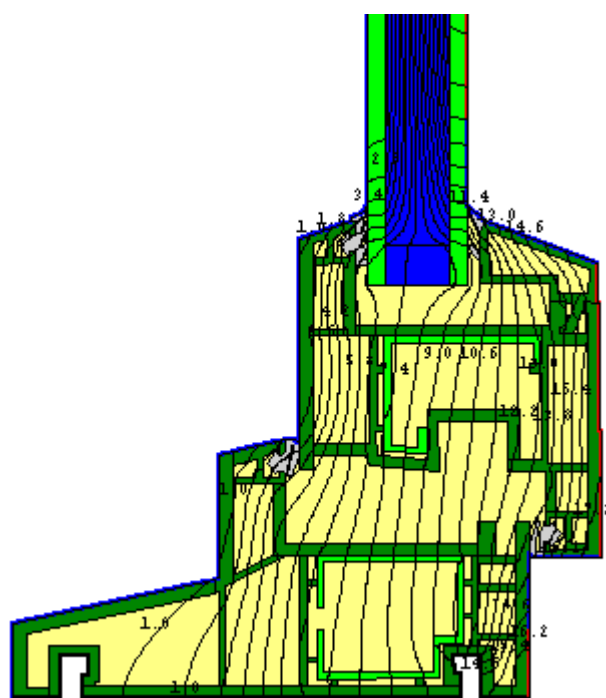
Det fremgår tydeligt af resultaterne i Tabel 2, at de bedste resultater vedr. de afstivende profiler opnås med glasfiberarmeret polyester, hvorved ramme-karmprofilets U-værdi reduceres fra 1,72 til 1,39 W/mK.

De ændrede materialer af de afstivende profiler resulterer i et lidt større linjetab, men samlet forbedres vinduets U-værdi og L-værdien betydeligt, når de afstivende stålprofiler erstattes af glasfiberarmeret polyester. L-værdien reduceres med 27 % ved at anvende afstivningsprofiler af glasfiberarmeret polyester i stedet for stål.

Imidlertid er glasfiberarmeret polyester ikke et traditionelt afstivende materiale, hvilket måske i nogle lande vil skabe problemer. Derfor er det også interessant at se på, hvilke forbedringer der kan opnås med mere traditionelle afstivende profiler. Det



Figur 10. Isothermer i ramme-karmprofilet af PVC med afstivere af stål. Beregnet i Therm.



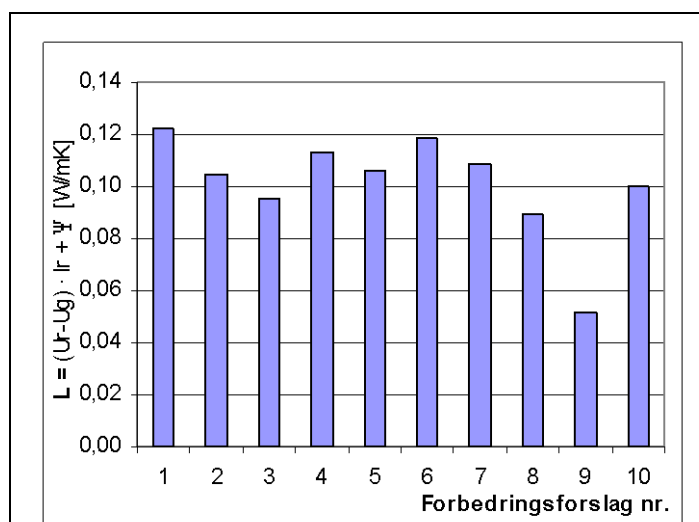
Figur 11. Isothermer i ramme-karmprofilet af PVC med afstivere af glasfiberarmeret polyester. Beregnet i Therm.

bemærkes, at de afstivende profiler har en meget stor betydning for styrken af den samlede ramme-karmkonstruktion.

### 3.2.6 Kombination af tiltag

Idet de forskellige tiltag muligvis har indflydelse på hinanden, ses der også på den samlede forbedring. De forskellige materia- lers egenskaber går selvfølgelig igen ved sammensætningen af materialerne, og idet ændringen af de afstivende profiler indebærer en stigning i linjetabet, giver kombinationen af de forskellige tiltag også en stigning i linieta- bet.

Til gengæld resulterer kombinationen af de forskellige tiltag i en markant reduktion af U-værien for ramme-karmprofilen fra 1,72 til 1,11 W/m<sup>2</sup>K. L-værdien, som tager højde for både U<sub>r</sub> og Ψ reduceres med hele 52 %. Der er altså tale om en virkelig stor forbedring af de varmetekniske egenskaber ved at gennemføre de omtalte forbedringer. Dette ses også af Figur 12 forbedringsforslag 9.



Figur 12. Varmetabskoefficienten L ved de forskellige forbedringsforslag af profilet af PVC.

### 3.2.7 Profil udelukkende af glasfiber- armeret polyester

Idet de styrkemæssige egenskaber for glas- fiberarmeret polyester som nævnt er særde- les gode, er det undersøgt, om det er fordel- agtigt at erstatte hele profilet inkl. afstiv- ningsprofilerne med dette materiale. Bereg- ningerne viser dog, at dette tiltag ikke for- bedrer profilet varmetekniske. Tværtimod forværres både U- Ψ- og L-værdien. Dette skyldes at glasfiberarmeret polyester har en højere varmeledningsevne end PVC.

Tabel 2 Ramme-karmkonstruktion af PVC

	Tiltag	U-ramme	ψ (linieta- b)	U-total	L = 1 <sub>r</sub> *(U <sub>r</sub> - U <sub>g</sub> ) + ψ
		W/m <sup>2</sup> K	W/mK	W/m <sup>2</sup> K	W/mK
1	Reference vindue (Figur 7)	1,72	0,0544	1,45	0,1220
2	isolering, λ=0,039 i hulrum	1,56	0,0551	1,40	0,1044
3	isolering, λ= 0,026 i hulrum	1,48	0,0555	1,38	0,0956
4	Et hulrum mere i spalten mellem ramme og karm	1,64	0,0546	1,42	0,1130
5	Tre hulrum mere i spalten mellem ramme og karm	1,58	0,0546	1,41	0,1061
6	Stål profil⇒slidset stålprofil, λ=17	1,68	0,0551	1,44	0,1181
7	Stål profil⇒slidset stålprofil, λ=5	1,58	0,0566	1,41	0,1081
8	Stål profil⇒glasfiber armeret polyester	1,39	0,0592	1,36	0,0890
9	Kombination (iso.λ=0,039, glasfiberarmeret polyester og ekstra inddeling)	1,06	0,0597	1,26	0,0516
10	PVC og stål erstattes af glasfiberarmeret polyester	1,77	0,0641	1,49	0,1374



### 3.3 Ramme-karmkonstruktioner af Aluminium

#### 3.3.1 Realiserede forbedringer

Der forefindes ikke vinduesproducenter, som opbygger ramme-karmkonstruktioner udelukkende af aluminium, og som samtidig har opnået et lavt transmissionsstab. Dette skyldes, aluminiums gode varmeledningsevne ( $\lambda = 160 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Der findes ramme-karmkonstruktioner som har en aluminiumskal og er udfyldt med Polyurethan og dermed har opnået U-værdier mellem 2,2 og 1,5  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Fordelene ved aluminium er at det har meget gode styrkemæssige egenskaber: Dette gør det teknisk muligt, at lave meget smalle konstruktioner, hvilket har andre fordele. Dette belyses i kompendium 14.

#### 3.3.2 Vurdering og analyse af mulige forbedringer

Der tages udgangspunkt i referencevinduet, Figur 13, hvor rammen og karmen er udført i aluminium og med en indbygget kuldebroafbryder. Idet vinduets samlede areal er  $1,48\text{m} \cdot 1,23\text{m}$ , bliver glas procenten på 83% og rudens center U-værdi er  $1,14 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

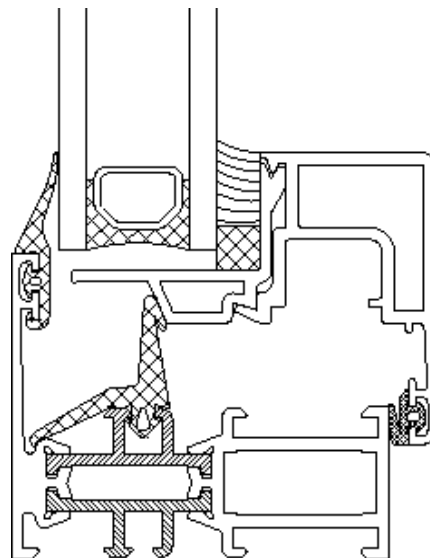
Resultaterne fra Therm-beregningerne er vist i Tabel 3.

#### 3.3.3 Isolering af større hulrum

Isolering af de store hulrum vil ikke have den store effekt, idet aluminiums varmeledningsevne er meget stor ( $\lambda=160\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ), hvilket bevirker, at aluminiumet vil lede hovedparten af varmestrømmen udenom hulrummene.

#### 3.3.4 Smallere kuldebroafbrydelse

Pga. aluminiums høje varmeledningsevne, er det nødvendigt at anvende en kuldebroafbrydelse af et andet materiale med lavere varmeledningsevne mellem den ydre og indre del af profilet, hvis U-værdien skal ned på et rimeligt niveau. Kuldebroafbryderen skal dog samtidig have gode styrkemæssige egenskaber, da den er en del af den bærende



Figur 13. Ramme-karmprofil af aluminium. (Reference). Venstre side vender ud.

konstruktion. I referenceprofilet i Figur 13 anvendes en kuldebroafbryder af Polyamid med  $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  og med en tykkelse på 1,8 mm.

For at reducere varmetransporten gennem kuldebroafbryderen, erstattes den af en kuldebroafbryder med mindre godstykkelse, men med de samme styrkemæssige egenskaber i samme materiale. Den nye kuldebroafbryder har en gennemsnitlig godstykkelse på 0,8 mm. Af Thermresultaterne i Tabel 2 fremgår det, at ramme-karmens U-værdi reduceres fra 2,76 til 2,68. Altså en lille men dog betydelig forbedring. Udskiftningen bevirker også en reduktion af linjetabet, og L-værdien reduceres med 4 %. Altså en beskednen forbedring.

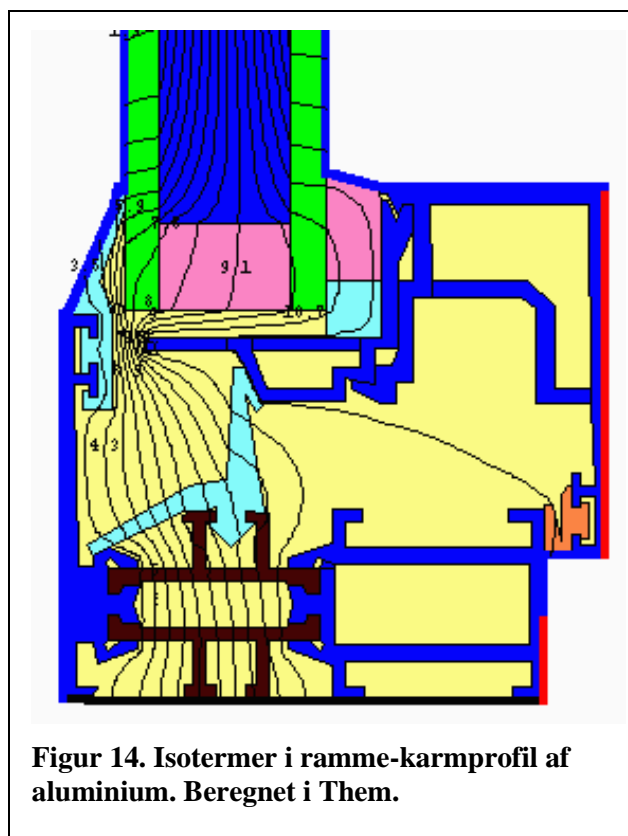
### 3.3.5 Ændring af glasbærerens materiale

Et af problemerne for ramme-karmprofilet i Figur 13 består i, at glasbæreren af aluminium næsten forbinder profilets to sider. Pga. aluminiums høje varmeledningsevne vil hele glasbæreren have stort set samme temperatur som indersiden af rammen. Dette er illustreret i Figur 14, hvor isotermerne i profilet er indtegnet vha. Therm. Det ses, at isotermerne ligger tæt mellem glasbæreren og karmen, hvilket indikerer, at temperaturforskellen mellem de to dele er stor. Det kan betyde at der, selvom glasbæreren og karmen ikke er i direkte kontakt, sker en stor varmetransport fra glasbæreren til den venstre del af karmen. Derfor undersøges det, hvor stor betydning en udskiftning af glasbærerens materiale har for U-værdien.

I Tabel 3 fremgår det, at ved at anvende en glasbærer af glasfiberarmeret polyester i stedet for aluminium reduceres varme-strømmene gennem profilet og ramme-karmprofilets U-værdi reduceres fra 2,76 til 2,30 W/mK. Altså en klar forbedring. Linjetabskoefficienten stiger en anelse, men af tabellen og figur 15 fremgår det, at L-værdien reduceres.

### 3.3.6 Kombinationer

Ved at kombinere de to foregående forbedringsmuligheder: Smalere kuldebroafbryder og glasbærer af glasfiberarmeret polyester opnås en bedre energimæssige



**Figur 14. Isotermer i ramme-karmprofil af aluminium. Beregnet i Them.**

egenskaber for profilet. På denne måde er aluminiumets store ledning afbrudt over hele ramme-karmprofilets højde. Med de to tiltag opnås en reduktion af L-værdien på 21 % på trods af at linjetabet øges fra 0,0877 til 0,0910 W/mK.

En kombination af at beholde aluminiumsbeklædningen udvendigt, erstatte glasbæren i aluminium til glasfiberarmeret polyester og, udføre den indvendige del i glasfiberarmeret polyester, anses for en måske utraditionel løsning, men profilet vil stadig være et aluminiumsprofil. Det vil være muligt, idet glasfiberarmeret polyester er lige så stærkt som aluminium. Gennemføres dette, opnås der næsten en halvering i ramme-karmkonstruktionens U-værdi (fra 2,76 til 1,60) og tilmed en betydelig reduktion af linjetabet. L-værdien reduceres ved denne kombination af forbedringer med 45 %. Det er altså en meget stor forbedring af profilets varmetekniske egenskaber.

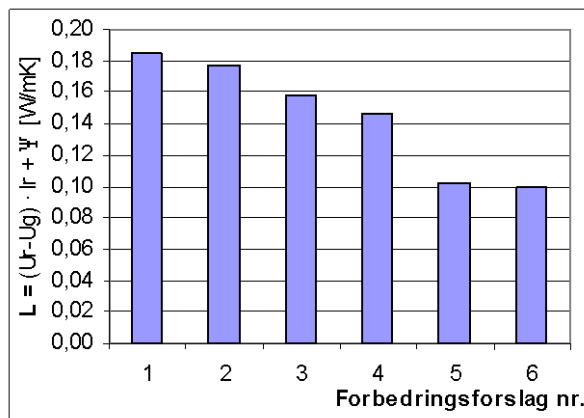
### 3.4 Det teknisk mulige

Det undersøges også, hvad der teknisk set er muligt at opnå med slanke profiler, idet alt aluminiumsmaterialet erstattes af glasfiber armeret polyester.

Det er muligt at anvende glasfiberarmeret polyester i stedet for aluminium overalt i profilet uden at ændre profilets udformning, idet de to materialer som nævnt har de samme styrkemæssige egenskaber. Derved vil det slanke profil kunne bibeholdes til fordel for en stor glasprocent. Det fremgår af Tabel 3, at der med denne løsning opnås en U-værdi for profilet på 1,57 W/mK, hvilket er en meget stor forbedring i forhold til referenceprofilet. Det er dog stort set ikke bedre end profilet med kombination af glasbærer af plastic, smallere kuldebroafbryder og glasfiberarmeret polyester på indersiden men aluminium på ydersiden.

### 3.5 Begrænsning for Aluminiumsprofil

Det er imidlertid umuligt at reducere transmissionstabet for et vindue, ned på de samme lave værdier, som der er mulighed for med træ og PVC vinduer. Derfor vil aluminiumsvinduet skulle konkurrere på sin smalle konstruktion. Dermed ikke sagt, at man ikke bør foretage de forbedringer, som det er muligt og ikke mindst hensigtsmæssigt at lave. De fleste ændringer er forholdsvis små, og vil derfor ikke ændre betydeligt på produktionsgangen.



Figur 15. Varmetabskoefficienten L ved de forskellige forbedringsforslag af profilet af aluminium.

Tabel 3 Ramme-karmkonstruktion af aluminium

	Tiltag	U-ramme W/m <sup>2</sup> K	ψ (linjetab) W/mK	U-total W/m <sup>2</sup> K	L = l <sub>r</sub> * (U <sub>r</sub> - U <sub>g</sub> ) + ψ W/mK
1	Reference vindue (Figur 13)	2,76	0,0877	1,66	0,1851
2	Smallere kuldebroafbryder	2,68	0,0850	1,63	0,1776
3	Aluminiums glasbærer udskiftes af plastik glasbærer	2,30	0,0879	1,58	0,1576
4	Plastik glasbærer og smallere kuldebroafbrydelse	2,06	0,0910	1,54	0,1463
5	Udv. alu bek., glasbærer af plastik og indv. glasfiber.	1,60	0,0737	1,42	0,1013
6	Profil udelukkende i glasfiberarmeret polyester	1,57	0,0734	1,41	0,0992

## 4 Andre ikke-varmetekniske forhold

Imidlertid er der også visse holdbarhedsmæssige forhold knyttet til anvendelse af nye produkter, herunder isoleringsproduktet puren.

Genbrugsmulighederne er afgørende for, hvorvidt et produkt kan leve op til tidens standarder. Derfor har det tyske firma ”puren” udviklet to forskellige processer til genbrug af isoleringsmaterialerne. Ved den ene metode, ”Glycose”, opstår der af affaldsstofferne et nyt råstof, som kan benyttes til produktion af PUR-hårdtskum, og dermed bliver behovet for nye råstoffer formindsket.

Ved den anden metode ”Klebepressverfaren” bliver PUR-produktionsreststoffer presset til purenit-plader. Yderligere information kan hentes på [www.puren.com/fs\\_recycling.htm](http://www.puren.com/fs_recycling.htm).

De ovenstående forslag til forbedringer i afsnit 3 er foretaget ud fra ønsket om, at nedbringe varmetabet.

Forbedringsforslagenes øvrige anvendelighed og realiserbarhed bør bl.a. vurderes ud fra følgende kriterier:

- Styrke
- Stivhed
- Teknisk muligt, befæstelse af beslag, mulighed for vedligeholdelse af beslag m.m.
- Materialernes pris (”erstatningspris”)
- Materialernes holdbarhed
- Ændring af fremstillings proces
- Ventilering
- Indbrudssikring
- Vedligeholdelsesfrihed
- Udseende

I det følgende gennemgås andre ikke-varmetekniske forhold som der bør tages højde for i forbindelse med udvikling af ”bedre” ramme-karmprofiler.

### 4.1 Ramme-karmkonstruktioner af træ og træ-aluminium

Varmetekniske er træ, som udgangspunkt, et utroligt godt materiale, og det bliver endnu

bedre når der indlægges isolering. Træ er imidlertid ikke vedligeholdelsesfrit og derfor er det en fordel med en aluminiumsbelægning. Indadvendende træ er heller ikke vedligeholdelsesfrit, men til gengæld et foretrukket materiale hos mange forbrugere. Den indlagte Puren er statisk ligeså godt, som træ, så erstatningen vil ikke forårsage styrkemæssige problemer. Det største problem anses at være ændringen i fremstillingsprocessen, men varmetekniske er der virkelig en forskel.

### 4.2 Ramme-karmkonstruktioner af PVC

De nævnte forbedringsforslag beskrevet i afsnit 3.2 ændrer hverken på de styrkemæssige forhold, fremstillingsproceduren, udseendet eller vedligeholdelsesfriheden. Forbedringsforslagene vil derimod kun ændre på de varmetekniske forhold i positiv retning. Forbedringerne kan så at sige opnås uden de store anstrengelser og uden de store omkostninger.

Mht. en enkelt ekstra inddeling af luftspalten mellem rammen og karmen vil den eksempelvis kunne foretages ved at montere en gummilæbe, men hvis der skal laves endnu flere inddelinger vil det muligvis ændre produktionsgangen. Isolering af ramme-karmprofilet er desuden anvendelig ved renovering.

### 4.3 Ramme-karmkonstruktioner af aluminium

De forskellige forbedringsforslag beskrevet i afsnit 3.3 vil hverken ændre på de styrkemæssige forhold, fremstillingsproceduren, udseendet eller vedligeholdelsesfriheden. Forbedringerne der kan opnås er ikke voldsomme, men det vil omkostningerne til forbedringerne heller ikke være.

## 5 Utraditionelle ramme-karmkonstruktioner

En udvikling af ramme-karmkonstruktioner indebærer også utraditionelle løsninger. Derfor kombineres traditionelle materialer på forskellig vis, men der fremstilles også ramme-karmkonstruktioner af utraditionelle materialer, som f.eks. et ramme-karmprofil udelukkende i isoleringsmateriale eller helt i glasfiberarmeret polyester. Det anses for interessant at belyse hvilke fordele og ulemper der er tilknyttet til de mere utraditionelle ramme-karmkonstruktioner, idet det dermed vurderes om der er en fremtid for de mere utraditionelle ramme-karmkonstruktioner.

### 5.1 Ramme-karmkonstruktioner i glasfiberarmeret polyester

Den canadiske vinduesproducent ”Omniglass” fremstiller ramme-karmkonstruktioner, som udelukkende fremstilles i glasfiberarmeret polyester. Se Figur 16. Glasfiberarmeret polyester har adskillige fordele. Materialet er lige så stærkt, som traditionelt aluminium og derfor behøves der ikke forstærkninger i profilet. Profilvæggene er tilmed smalle (1,8 mm) og den samlede ramme-karmkonstruktion kan derfor gøres meget smal. Derudover er der mulighed for isolering i profilets hulrum.

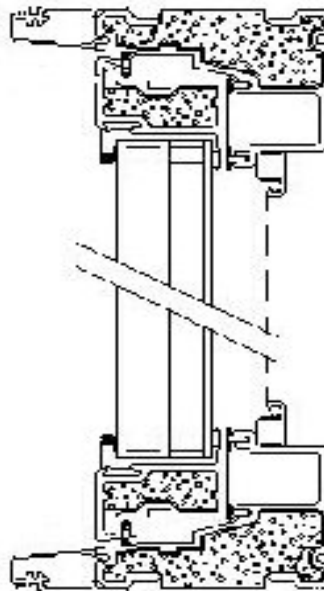
Yderligere informationer om produkter fra Omniglass findes på

<http://www.omniglass.com/>

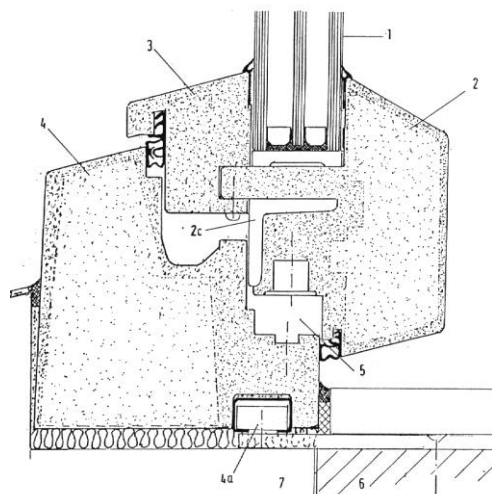
Glasfiberarmeret polyester er modstandsdygtigt overfor fugtighed og har en lige så lille varmeudvidelses koefficient som glas. Udfra disse lovende materiale egenskaber virker det oplagt, at undersøge ramme-karmkonstruktionens varmetekniske egenskaber.

### 5.2 Ramme-karmkonstruktion af isoleringsmateriale

Det tyske ”Wärme-Plus-Fenster”, se Figur 17, som er udviklet til passivhuse, er opbygget af et to-lags isoleringssystem. Ud for ruden og rundt i kanten er der isoleret med et hårdt isoleringsmateriale, Purenit ( $\lambda = 0,05-0,075 \text{ W/mK}$ ), som kan optage glassets vægt plus vindpåvirkninger.



Figur 16. Omniglass's ramme-karmprofil af glasarmeret polyester.



Figur 17. Wärme-Plus-Fenster. Nr. 2 er et traditionelt ”blødt” isoleringsmateriale og nr. 3 er et ”hårdt” isoleringsmateriale.

Den resterende del af ramme-karmprofilet udfyldes med PU-isoleringskum ( $\lambda = 0,03$  W/mK), som har en bedre varmeisolerings-ejne end det hårde isoleringsmateriale.

Denne sammensætning af forskellige isoleringsmaterialer har vist sig at have en tæthed og stivhed der ligger over det gennemsnitlige og med denne opbygning opnås en samlet U-værdi for hele vinduet på  $0,75 \text{ W/m}^2$

Yderligere oplysninger vedrørende isoleringsmaterialer kan hentes på <http://www.puren.de>.

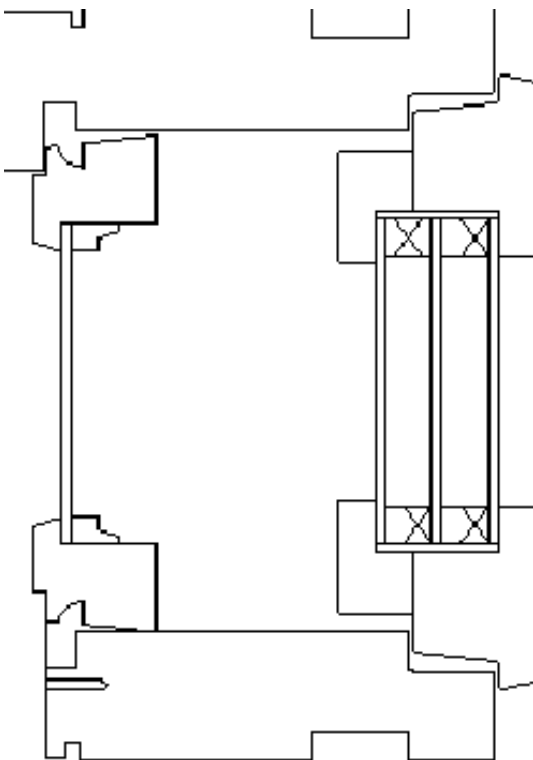
Af genbrugshensyn limes de bærende profiler til siderne af ramme-karmkonstruktionerne, idet det dermed er lettere at adskille de indgåede materialer.

### 5.3 Brede ramme-karmkonstruktioner

I forbindelse med en af NUTEK afholdt konkurrence viste de to delte vindere, at ved en forøgelse af ramme-karmkonstruktionen, samt benyttelse af optimale ruder, er det muligt at opnå samlede vindues U-værdier på  $0,73-0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 5.4 Finske kassevinduer

Ramme-karmkonstruktionen består af træ og er ca. 200 mm bred og fås med forskellige kombinationer af ruder, som til dels er koblet. Se Figur 18. Med denne konstruktion er det muligt, at opnå U-værdier ned til  $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figur 18. Finsk 3-lags termorude med koblet ramme.

## 6 Litteratur

- [1] Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Miljø- og Energiministeriet 1996.
- [2] KLIMA 2012, Status og perspektiver for dansk klimapolitik, Miljø- og Energi- ministeriet, marts 2000.
- [3] *Ramme-karmkonstruktioner til højsolerende vinduer, September 1992*
- [4] *Fachdokumentation Nr. 3 "Superfenster im Passivhaus", Oktober 1996*
- [5] *4. Passivhaus Tagung, Marts 2000*
- [6] *Protokollband Nr. 14 „Passivhaus-Fenster“, December 1998*
- [7] *Tilæg 1 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab, Tillæg omhandlende vin- duer og yderdøre, August 1997*
- [8] *CEN/TC 89 WI 23.2, februar 2000*
- [9] *Analysis of calculated and measured energy properties of windows, Februar 2000*
- [10] *Ps Holz Information, "Thermodur Passivhauskantel"*
- [11] *Window innovatiosn '95, Juni 95*
- [12] *Vinduets ABC, rational*

## Bilag A :Therm antagelser

De forskellige ramme-karmkonstruktioner er opbygget I simuleringsprogrammet Therm. Efter optegning tillægges hvert område forskellige materialeegenskaber. Systemets kanter påføres randbetingelser. De anvendte overgangsisolanser er:

$R_u=$	$23 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}, T=0 \text{ }^\circ\text{C}$
$R_i=$	$8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}, T=20 \text{ }^\circ\text{C}$
$R_{\text{reduceret, stråling}}=$	$5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}, T=20 \text{ }^\circ\text{C}$

For at checke at alle flader bliver medtaget i beregningerne, kontrolleres det, at den indvendige og udvendige længde, som U-værdien er regnet ud fra, er den samme (eller i det mindste at der kun er en meget lille afvigelse på et par  $\mu$ ). Dermed bliver den indvendige og udvendige U-værdi også næsten lig hinanden.

Der udregnes både en værdi, når der kun er indsat panel (bruges til udregning af U-værdi for rammen) og når der er indsat rude (bruges til at udregne U-værdi for det samlede vindue og linielabet).

Materialernes varmeledningsevne anvendt i de tre vinduesmodeller:

<b>(Træ-aluminium)</b>	<b>[W/m·K]</b>
Træ	0,13
Purenit(hård isolering)	0,07
Aluminium	160
PVC	0,17
TPE	0,25
EPDM	0,25
POM	0,31
Iso0.04	0,04
Polyurethanskum	0,026
Isolering39	0,039
Afstandsæk	4
Glass	1
Mellemrumæk	0,036
Uventileret hulrum(simplified,CEN)	0
Let ventileret hulrum (simplified, CEN (slightly ventila)	0

<b>(PVC)</b>	<b>[W/m·K]</b>
POM	0,31
Iso0.04(panel)	0,04
Stål/jern	48
PVC	0,17
Polyurethanskum	0,026
Isolering39	0,039
Uventileret hulrum(simplified,CEN)	0
Mellemæk15	0,021
Afstand2,9	2,9
Glas	1
Glasfiberarmeret polyester	0,5*
Rustfast stål	17



\*varmeledningsevnen er blevet fordoblet, idet det tænkes at profiltykkelsen fordobles. Dermed bibeholdes de oprindelige mål i modellen. Imidlertid vides det, at afstivningsstålprofilet er lavet af stål med en godstykkelse på 1,5mm og glasfiberarmeret polyester laves med 1,8 mm godstykkelse. Derfor kan de opnåede resultater blive endnu bedre end de angivne hvis 1,8 mm glasfiberarmeret polyester er stærkt nok..

(Aluminium)	[W/m·K]
Aluminium	160
Polyamid 6,6 (1,8mm)	0,30
Polyamid0,8 (0,8mm)	0,14
TPE	0,25
EPDM	0,25
Silikone	0,35
Uventileret hulrum	0**
Polyurethanskum	0,026
Isolering39	0,039
Iso0.04	0,04
Glas	1
Afstand1,7	1,7
Mellemæk15	0,021

\*\*Ifølge ”Forudsætninger for beregning af U-værdi for ramme-karm profiler i aluminium” opdeles de uventilerede hulrum i tilfælde af indsnævninger i mindre hulrum, som naturlig følge af geometrien. Derudover regnes der detaljeret på ramme-karmkonstruktionen, ligeledes i overensstemmelse med før nævnte rapport. Emissiviteten sættes til 0,2 på blanke overflader, dvs. på glasbæreren og i indvendige hulrum.

## Bilag B: Therm resultater og udregninger

Værdierne U-tot1 fås fra Therm, når der er indsat et panel. U-tot2 fås, når der er indsat en rude.

**U-ramme** fås ud fra nedenstående ligning (som er benyttet i Excel-regnearket U.værdi.ramme):

$$U_{\text{ramme}} = \frac{U_{\text{tot1}} \cdot l_{\text{tot}} - U_p \cdot l_p}{l_r}$$

hvor

$U_{\text{tot1}}$  er ramme-karmkonstruktionens U-værdi når der er indsat et panel

$l_{\text{tot}}$  er den samlede længde for panelet og ramme-karmkonstruktionen

$U_p$  er panels U-værdi (udregnes som ved DS 418)

$l_p$  er panelets længde (altid 0,190m)

$l_r$  er ramme-karmkonstruktionens længde

**Linietabet** beregnes ud fra nedenstående ligning:

$$\Psi_g = U_{\text{tot2}} \cdot l_{\text{tot}} - U_g \cdot l_g - U_r \cdot l_r$$

hvor

$U_{\text{tot2}}$  er ramme-karmkonstruktionens U-værdi, når ruden er indsat

$U_g$  er rudens center U-værdi

$l_g$  er rudens længde i Therm (altid 0,190m)

**Vinduets samlede U-værdi** beregnes som:

$$U_{\text{total}} = \frac{A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g + A_r \cdot U_r}{A'}$$

$A_g$  er glasarealet i m<sup>2</sup>

$l_g$  er omkredsen af glasarealet i m

$A_r$  er ramme-karmarealet i m<sup>2</sup>

$A'$  er det samlede areal for vinduet

### 6.1 B1 Data for referenceramme-karmprofil af træ beklædt med aluminium.

Træ: Samlet areal 1,8204 m<sup>2</sup>, glaslængde 4,5652 m, glasareal 1,2869 m<sup>2</sup>, ramme areal 0,5335m<sup>2</sup> (isoleringspanelets bredde: 0,032m, længden af rammen: 0,10685m og total længde: 0,296906m, U.vindue.center:1,18 W/m<sup>2</sup>·K, U<sub>p</sub>=1,0325 W/m<sup>2</sup>·K)

	U-tot1	U.tot2	U-ramme	ψ (linietab)	U-total
Reference vindue	1,1630 ((1,1632))	1,5326 ((1,5498))	1,3956	0,0817	1,4481
Isolering,1,λ=0,039	1,0680	1,4560	1,1316	0,0872	1,3845
Isolering,2,λ=0,039	1,0296	1,4123	1,0249	0,0856	1,3492
Isolering,3,λ=0,039	1,0061	1,3773	0,9596	0,0822	1,3215
Isolering,1,λ=0,026	1,0535	1,4441	1,0913	0,0880	1,3746
Isolering,2,λ=0,026	1,0093	1,3937	0,9685	0,0861	1,3340
Isolering,3,λ=0,026	0,9807	1,3479	0,8890	0,0810	1,2979
Glasfals af alu.⇒PVC	1,1557	1,5025	1,3753	0,0750	1,4252
Tætning af luftspalte	1,1378	1,5097	1,3256	0,0824	1,4293
Profil af Purenit	1,0283	1,3890	1,0213	0,0791	1,3318
Alle, iso λ=0,039, tætning af luftspalte og Glasfals af alu.⇒PVC	0,9771	1,3263	0,8790	0,07566	1,2815
Alle, iso λ=0,026, tætning af luftspalte og Glasfals af alu.⇒PVC	0,9530	1,2986	0,8120	0,0746	1,2592

Profil, udelukkende i isoleringsmateriale (skallen udgøres af purenit som har λ=0,07W/m<sup>2</sup>·K), men idet materialet har lignende egenskaber med træ, benyttes træmodel til simuleringerne i Therm.

	U-tot1	U.tot2	U-ramme	ψ (linietab)	U-total
iso λ=0,039	0,9784	1,3356	0,8826	0,0780	1,2886
iso λ=0,026	0,9521	1,3056	0,8095	0,0769	1,2644

## 6.2 B2 Data for referenceramme-karmprofilet af PVC.

PVC: Samlet areal 1,8204 m<sup>2</sup>, glaslængde 4,5037 m, glasareal 1,2521 m<sup>2</sup>, ramme areal 0,5683m<sup>2</sup>(isoleringspanelets bredde: 0,023m, længden af rammen: 0,11454m og total længde: 0,30498m, U.vindue.center:1,13 W/m<sup>2</sup>·K, U<sub>p</sub>=1,3450 W/m<sup>2</sup>·K)

	U-tot1	U.tot2	U-ramme	ψ (linietab)	U-total
Reference vindue	1,4846 ((1,4857))	1,5289 ((1,5291))	1,7218	0,0544	1,449
+isolering, λ=0,039	1,4235	1,4703	1,5591	0,0551	1,4004
+isolering, λ= 0,026	1,3950	1,4429	1,4833	0,0555	1,3775
Et hulrum mere i spalten mellem ramme og karm	1,4541	1,4991	1,6406	0,05458	1,4244
Tre hulrum mere i spalten mellem ramme og karm	1,4325	1,4775	1,5831	0,05458	1,4065
stål⇒slidset stålprofil, λ=17	1,4673	1,5141	1,6758	0,0551	1,4368
stål⇒slidset stålprofil, λ=5	1,4307	1,4823	1,5783	0,0566	1,4100
stål⇒glasfiber armeret polyester	1,3608	1,4208	1,3922	0,0592	1,3582
Begge (iso λ=0,039, glasfiber.. og ekstra inddeling)	1,2377	1,2996	1,0597	0,0597	1,2558
Profil og afstiver af glasfiberarmeret polyester λ=0,5	1,5030	1,5791	1,7708	0,0641	1,4885
Profil og afstiver af glasfiberarmeret polyester λ=0,25	1,3896	1,4573	1,4689	0,0615	1,3879

### 6.3 B3 Data for referenceramme-karmprofilet af aluminium.

Aluminium: Samlet areal 1,8204 m<sup>2</sup>, glaslængde 4,9392 m, glasareal 1,5091 m<sup>2</sup>, ramme areal 0,3113m<sup>2</sup>(isoleringspanelets bredde: 0,023m, længden af rammen: 0,060099m og total længde: 0,250331m, U.vindue.center:1,14 W/m<sup>2</sup>·K, U<sub>p</sub>=1,3450 W/m<sup>2</sup>·K)

	U-tot1	U.tot2	U-ramme	ψ (linie-tab)	U-total
Reference vindue	1,8291 ((1,8272))	2,0305 ((2,0315))	3,3665	0,089372	1,7632
Reference vindue, detaljeret udregning	1,6759 (1,6846) 1,6933	1,8735 (1,8794) 1,8853	2,7646	0,08772	1,6558
Smallere kuldebroafbryder	1,6377 (1,6647) 1,6917	1,8456 (1,8487) 1,8517	2,6817	0,0850	1,6343
Aluminiumsglasbæreren erstattes af en plastik glasbærer	1,5480 (1,5742) 1,6004	1,7829 (1,76955) 1,7562	2,3048	0,0879	1,5776
Glasbærer i plastik og smallere kuldebro	1,4822 (1,51595) 1,5497	1,7366 (1,7241) 1,7116	2,0624	0,0910	1,5448
Udv.bek. alu, plastik glasbærer, indiv. Glasfiberarm. P.	1,3930 (1,4041) 1,4152	1,5503 (1,5429) 1,5355	1,5963	0,0737	1,4180

Tallene i parentes er gennemsnittet af den indvendige og udvendige "U-værdi" i Therm.

Idet det ud fra [11] vides, at glasfiberarmeret polyester er lige så stærkt, som traditionelt metal, ændres aluminiumet i aluminiumsprofilet til glasfiberarmeret polyester,  $\lambda=0,25$  W/m·K

	U-tot1	U.tot2	U-ramme	ψ (linietab)	U-total
Glasfiberarmeret polyester	1,3966	1,5341	1,5650	0,073376	1,4118

Udfor reference vinduet, står tallene i to parenteser for de U-tot1 og U-tot2 værdier der fås i modellerne, som er benyttet til rapporten "Analysis of calculated and measured energy properties of windows". Det bemærkes at der er en lille afvigelse til disse tal. Denne afvigelse skyldes, at der til rapporten kun er regnet med en U-værdi, baseret på de indvendige arealer og at der ved ovenstående beregninger er taget et gennemsnit af de indvendige og udvendige baserede U-værdier. Derudover er der også fundet en mindre fejl i træprofilet fra rapporten, så her forekommer der en lidt større afvigelse.

Dvs. hvis der var brugt tallene i parenteserne, ville der også være fremkommet de tal, som fremgår af rapporten.

## Adresseliste

<b>Adresse:</b>	<b>Kontaktpersoner:</b>
<b>BYG•DTU</b> Danmarks Tekniske Universitet Bygning 118, Brovej 2800 Kgs. Lyngby Tlf. 45 25 18 55 <a href="http://www.byg.dtu.dk/">http://www.byg.dtu.dk/</a>	Svend Svendsen (45 25 18 54) Toke Rammer Nielsen (45 25 18 60)
<b>Energimærkningsordningens sekretariat</b> TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 22	Hans Nielsen Peter Vestergaard
<b>Vinduesproducenternes Samarbejdsorganisation</b> TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 19	
<b>Glasbranche Foreningen</b> Gothersgade 160 1123 København K Tlf. 33 32 23 11 <a href="http://www.glasnet.dk/">http://www.glasnet.dk/</a>	
<b>Glasindustriens Samarbejdsorganisation</b> Naverland 2 2600 Glostrup Tlf. 43 46 63 23 <a href="http://www.glasindustrien.dk/gs">http://www.glasindustrien.dk/gs</a>	
<b>Dansk Standard</b> Kollegievej 6 2920 Charlottenlund Tlf. 39 96 61 02 <a href="http://www.ds.dk/">http://www.ds.dk/</a>	
<b>Statens Byggeforsknings Institut</b> Postboks 119 2970 Hørsholm Tlf. 45 86 55 33 <a href="http://www.sbi.dk/">http://www.sbi.dk/</a>	
<b>Teknologisk Institut</b> Teknologiparken Kongsvangs Alle 29 8000 Århus C Tlf. 72 20 10 00 <a href="http://www.teknologisk.dk/">http://www.teknologisk.dk/</a>	Århus: Robert Knudsen, komponentcentret  Taastrup: Lars Olsen Tommy Nielsen
<b>Institut for Bygningsteknik</b> Aalborg Universitet Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg Tlf. 96 35 85 39 <a href="http://www.civil.auc.dk/i6/">http://www.civil.auc.dk/i6/</a>	Henrik Brohus
<b>Energistyrelsen</b> Amaliegade 44 1256 København K Tlf. 33 92 67 00 <a href="http://www.ens.dk/">http://www.ens.dk/</a>	