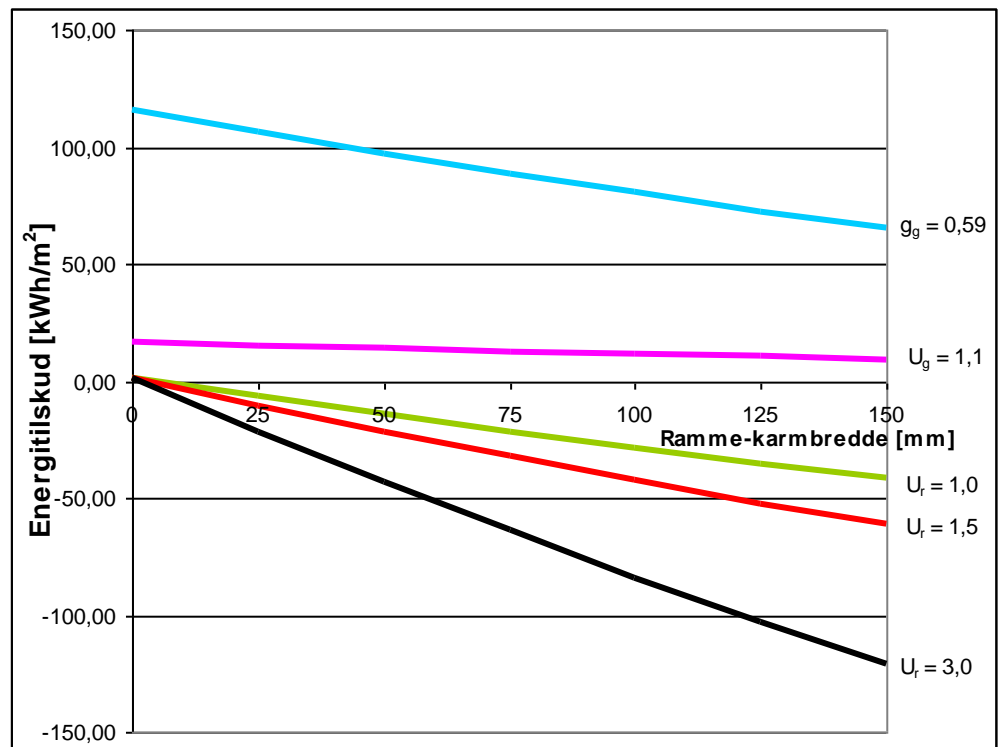


RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

kompedium 9:

OVERSIGT OVER MULIGHEDER FOR UDVIKLING AF BEDRE RUDER OG VINDUER



Indholdsfortegnelse

FORORD TIL KOMPENDIUM 9	5
1 UDVIKLING AF VINDUER MED BEDRE ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER	7
1.1 RUDE OG RAMME-KARM	7
1.2 VINDUE OG MUR.....	9
2 STATUS OVER TYPISKE VINDUESLØSNINGERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER	11
2.1 TYPISKE VINDUER	11
2.1.1 Ramme-karm af træ	11
2.1.2 Ramme-karm af træ beklædt med aluminium.....	11
2.1.3 Ramme-karm af PVC.....	11
2.1.4 Ramme-karm af aluminium	12
2.1.5 Ramme-karm af blandede materialer	12
3 MULIGHEDER FOR UDVIKLING AF RUDER OG VINDUER MED BEDRE ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER	14
3.1 MULIGHEDER FOR UDVIKLING AF RUDER MED STØRRE ENERGITILSKUD	14
3.2 MULIGHEDER FOR UDVIKLING AF KANTKONSTRUKTIONER MED REDUCERET KULDEBRO	15
3.3 MULIGHEDER FOR AT FORBEDRE ISOLEREDE RAMME-KARMPROFILER.....	16
3.3.1 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af træ beklædt med aluminium.....	16
3.3.2 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af PVC.....	17
3.3.3 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af aluminium	17
3.3.4 Alternativ udformning af ramme-karm.....	18
3.4 UDVIKLINGSMULIGHEDER FOR SMALLERE RAMME/KARMPROFILER.....	19
3.4.1 Eksempel på smallere ramme-karmprofiler	19
3.5 UDVIKLINGSMULIGHEDER FOR MONTERING AF VINDUER I FORSKUDT FALS.....	20
3.6 UDVIKLINGSMULIGHEDER FOR VINDUER MED MINDRE LINJETAB I SAMLINGEN MELLEML VINDUE OG MUR	21
4 KOMBINATION AF FORBEDRINGER	22
4.1 VINDUER	22
4.2 VINDUE-MURLØSNINGER	23
5 LITTERATUR	26
6 ADRESSELISTE	27

Forord til kompendium 9

I det eksisterende byggeri og i nybyggeriet er der store muligheder for at opnå energibesparelser ved brug af bedre vinduer.

Med indførelsen af energimærkningen af ruder og vinduer er der skabt grundlag for konkurrence på de energimæssige egenskaber. Der er således fordele i udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber. Der er derfor behov for, at understøtte udviklingen af ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

I dette kompendium behandles mulighederne for at produktudvikle ruder og vinduer med henblik på at opnå bedre energimæssige egenskaber.

Vinduer består af en række enkeltelementer, som hver især kan have stor indflydelse på vinduets energimæssige egenskaber. Det er derfor valgt, at behandle vinduets enkelte dele hver for sig og beskrive dem i hvert sit kompendium. Nærværende kompendium 9 er således en indledende sammenfatning over status og udviklingsmuligheder for vinduer baseret på de efterfølgende kompendier som har fokus på følgende områder:

- Ruder med større energitilskud
- Rudekantkonstruktioner med reduceret kuldebro
- Isolerede ramme/karmprofiler
- Smaller ramme/karmprofiler
- Vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur

Disse fem delemner beskrives efterfølgende i hvert sit kompendium.

Målgruppen for kompendium 9 er hovedsagelig rude- og vinduesproducenter.

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.

Før udgivelsen har udkast til kompendiet været til høring hos følgegruppen. Denne foreløbige version har dog endnu ikke været til høring.

Følgende har medvirket til udarbejdelsen af kompendiet:

Jacob Birck Laustsen, Svend Svendsen og Peter Noýe.

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

Professor Svend Svendsen
Danmarks Tekniske Universitet
BYG•DTU
Bygning 118, Brovej
DK-2800 Kgs. Lyngby

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 9: ”Oversigt over muligheder for udvikling af bedre ruder og vinduer”.

DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009

1 Udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber

I dette kompendium fokuseres på udvikling af bedre vinduer med hensyn til de energimæssige egenskaber. Målet er således, at udvikle samlede vinduesløsninger som medvirker til at reducere varmebehovet i bygninger.

I forbindelse med udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber er det nødvendigt, at undersøge alle de indgående dele energimæssigt. Herunder er det også vigtigt, at undersøge samlingen mellem vindue og mur, da denne kan give anledning til kuldebroer, der skyldes vinduet.

Hvis man skal have det fulde udbytte af udviklingsarbejdet er det nødvendigt, at analysere hver enkelt del i forhold til den samlede effekt vinduet har på bygningens varmebehov.

1.1 Rude og ramme-karm

Ved udvikling af energimæssigt bedre vinduer er det nødvendigt, at tage hensyn til både varmetabet ud gennem vinduet og den tilførte solenergi ind gennem vinduet. Målet er derfor, at reducere vinduets U-værdi og øge vinduets g-værdi.

Det bedste mål for vurdering af vinduets samlede energimæssige egenskaber er energitilskuddet E. Energertilskuddet udtrykker den solenergi, som transmitteres ind i bygningen gennem vinduet minus varmetabet ud gennem vinduet. Dette er således en funktion af både vinduets U- og g-værdi:

$$E = K_{\text{sol}} g - K_{\text{tab}} U.$$

Energertilskuddet bestemmes for et referencenus vha. udtrykket:

$$E_{\text{reference}} = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

(Se i øvrigt kompendium 1).

De energimæssigt bedre løsninger opnås altså ved en kombination af en høj g-værdi og en lav U-værdi. En lav U-værdi opnås først og fremmest ved at anvende materialer med lav varmeledningsevne, men også lin-

jetabet mellem rude og ramme-karm og mellem ramme-karm og muren spiller en vigtig rolle.

Vinduets g-værdi afhænger af det anvendte glas (og belægningen), men i høj grad også af glasarealet. Der kan derfor ofte opnås store energimæssige besparelser ved at reducere arealet af ramme-karmdelen af vinduet.

Dette er illustreret i Figur 1, hvor energitilskuddet for forskellige vinduer er optegnet som funktion af ramme-karmens bredde. Alle vinduerne har de ydre dimensioner 1,2 x 1,2 m. I alle vinduerne anvendes en rude med center U-værdi på 1,1 W/m²K.

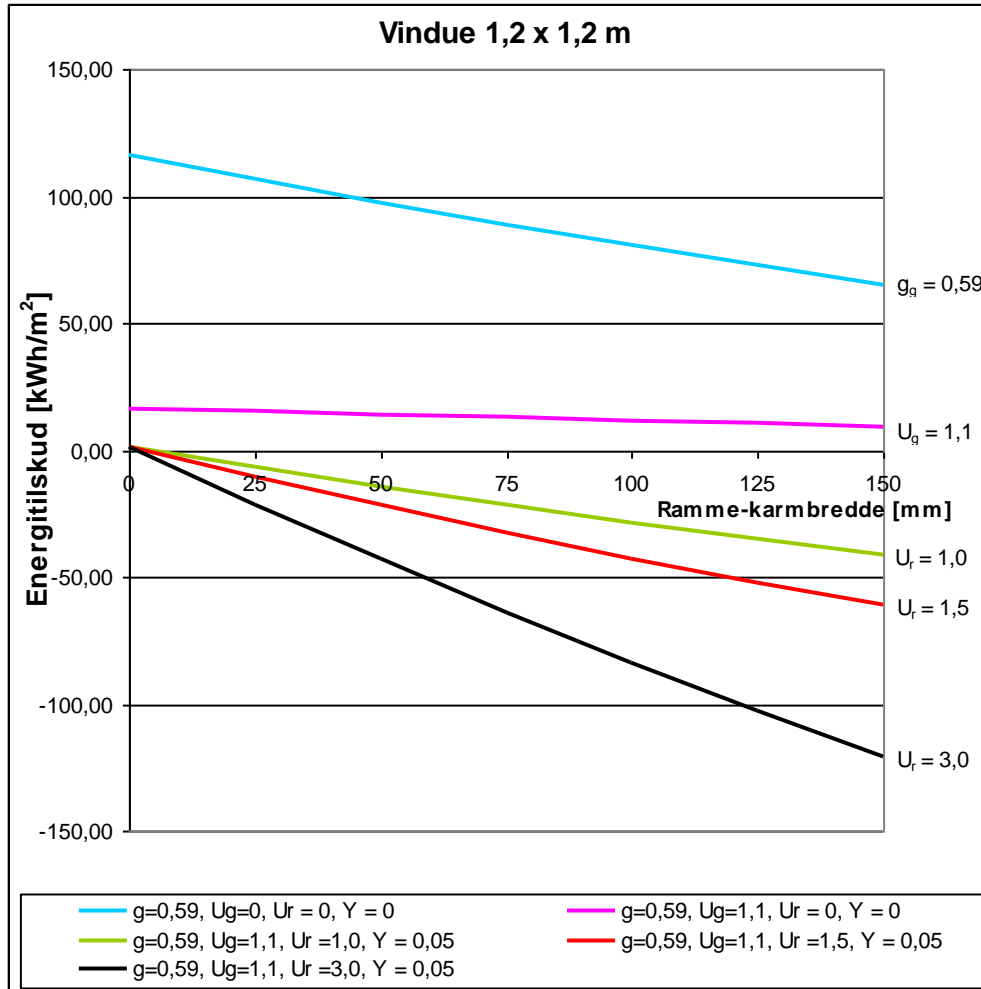
For at analysere de enkelte dele af vinduets bidrag til energitilskuddet, beskrives ovenstående vha. følgende udtryk, som danner grundlaget for kurverne i Figur 1:

$$E = \begin{aligned} & K_{\text{sol}} * g_g * F_A \\ & - K_{\text{tab}} * U_g * F_A \\ & - K_{\text{tab}} * U_r * (1 - F_A) \\ & - K_{\text{tab}} * \Psi * F_L \end{aligned}$$

hvor $F_A = (b-2a)(h-2a)/bh$
 $F_L = [2(b-2a) + 2(h-2a)]/bh$
a er ramme-karmprofilets bredde
b er vinduets bredde
h er vinduets højde
 g_g er glassets totale solenergitransmittans
 U_g er glassets center U-værdi
 U_r er ramme-karmens U-værdi
 Ψ er linjetabet mellem ramme-karm og rude

Den øverste kurve i Figur 1 viser energitilskuddet for selve ruden, idet der ses bort fra varmetab. Dvs. den solenergimængde, som transmitteres ind gennem ruden. Det ses at energitilskuddet falder, når ramme-karmprofilets bredde øges, og glasarealet dermed reduceres.

I den næste kurve medtages også varmetab fra ruden. Det er altså energitilskuddet gennem vinduet idet varmetab fra ruden medtages. Varmetabet fra ramme-karmdelen er ikke medtaget. Det ses her, at ramme-karmprofilets bredde kun har ringe indflydelse på energitilskuddet. Det skyldes, at mens solindfaldet gennem ruden falder, reduceres varmetabet ud gennem ruden



Figur 1. Energitilskuddet for forskellige vinduer som funktion af ramme-karmprofilets bredde

også, idet glasarealet falder relativt i forhold til hele vinduet.

De tre nederste kurver viser energitilskuddet gennem tre vinduer med samme rudetype men forskellige ramme-karmprofiler med U_r -værdier på hhv. 1, 1,5 og 3,0 W/m^2K . For disse tre vinduer er linjetabet for kantkonstruktionen mellem rude og ramme-karm også medtaget ($\Psi_{\text{rude-ramme}} = 0,05 W/mK$). Figuren indikerer, at energitilskuddet falder for alle tre vinduer, når ramme-karmprofilets bredde øges. Det fremgår også, at jo større U_r -værdi jo hurtigere falder energitilskuddet, når ramme-karmbredden øges. Det betyder f.eks., at vinduet med U_r på 3 W/m^2K har samme energitilskud ved en ramme-karmbredde på 50 mm, som vinduet med U_r på 1 W/m^2K har ved en ramme-karmbredde på 150 mm. Dette betyder altså, at det samme energitilskud kan opnås ved kombinationer af ramme-karmarealet/profilets bredde og U -værdi.

Tendensen i Figur 1 indikerer, at der er mange forhold som der skal tages højde for i forbindelse med udvikling af vinduesløsninger med bedre energimæssige egenskaber. Det er ikke nok kun at fokusere på en ting ad gangen, men de enkelte deløsninger bør sammenkobles til en samlet optimal løsning, hvor det er afvejet hvilke tiltag der, har størst betydning for varmetabet og solindfaldet gennem den samlede konstruktion.

1.2 Vindue og mur

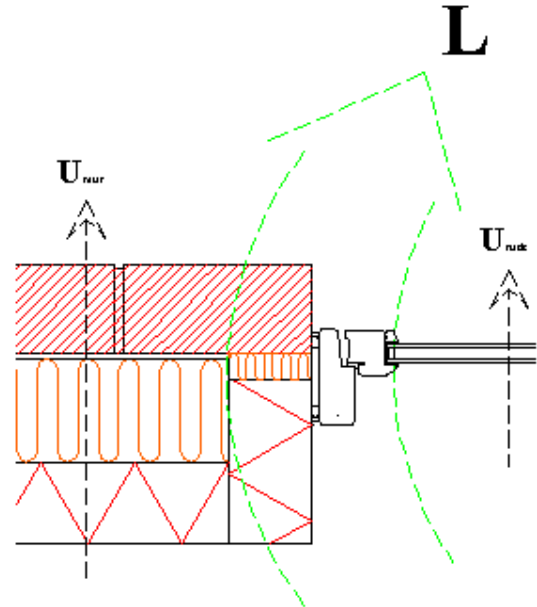
Som tidligere nævnt, har samlingen mellem vindue og mur indflydelse på varmetabet, idet den sammensatte konstruktion i samlingen giver anledning til kuldebroer som medfører ekstra varmetab.

Den ideelle situation ville være, at kunne samle ruden og muren (uden fals) direkte med hinanden i en samling, som ikke giver anledning til ekstra varmetab grundet 2-dimensionale varmestrømme. Dette er i praksis umuligt, idet det er nødvendigt med en opmuring i murfalsen samt en ramme-karmkonstruktion til at fastholde ruden. Disse ekstra konstruktioner bidrager til 2-dimensionel varmeledning og en forringelse af murens og rudens U-værdi. De ekstra varmetab der uundgåeligt opstår i en virkelig samling mellem rude og mur kan samles under det udvidede linjetab L og angives med enheden W/mK, se Figur 2. L medtager altså alt det ekstra varmetab, der opstår i fals, fuge og rammekarm samt i samlingerne. De enkelte bidrag er vist i Figur 3. Det skal præciseres, at denne udvidede linjetabsstørrelse ikke er standardbetegnelse som det i f.eks. DS418 Tillæg 4 beskrevne.

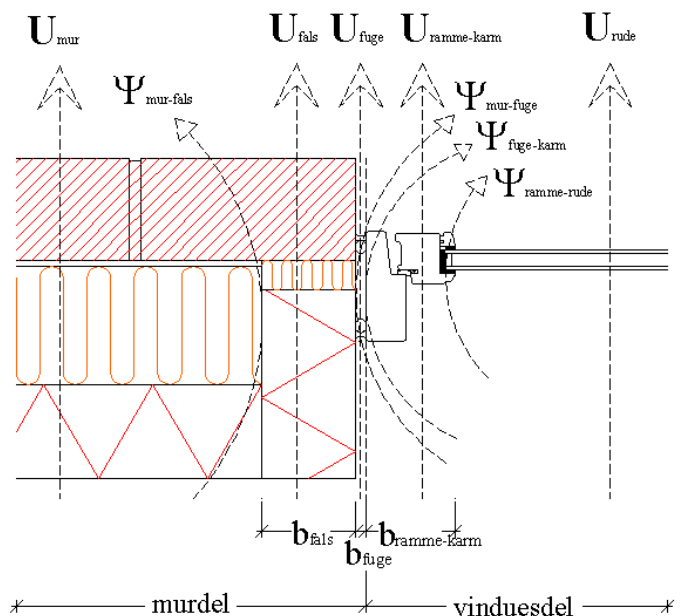
I det samlede linjetab, L, medtages der altså bidrag fra de 4 linjetab, der opstår i hhv. kuldebroen i falsen, $\Psi_{\text{mur-fals}}$, i samlingen mellem vindue og mur, $\Psi_{\text{mur-fuge}}$ og $\Psi_{\text{fuge-karm}}$, og endelig mellem rude og ramme, $\Psi_{\text{ramme-rude}}$. Endvidere medtages effekten af, at falsen og fugen mellem vindue og mur har en ringere U-værdi end muren, samt at ramme-karmprofilet har en ringere U-værdi end ruden.

Samlet kan det udvidede linjetab bestemmes ved følgende udtryk:

$$L = b_{\text{fals}}(U_{\text{fals}} - U_{\text{mur}}) + \Psi_{\text{mur-fals}} + b_{\text{fuge}}(U_{\text{fuge}} - U_{\text{mur}}) + \Psi_{\text{fuge-mur}} + \Psi_{\text{fuge-karm}} + b_{\text{ra-karm}}(U_{\text{ra-karm}} - U_{\text{rude}}) + \Psi_{\text{ra-rude}}$$



Figur 2. Det udvidede linjetab mellem rude og mur.

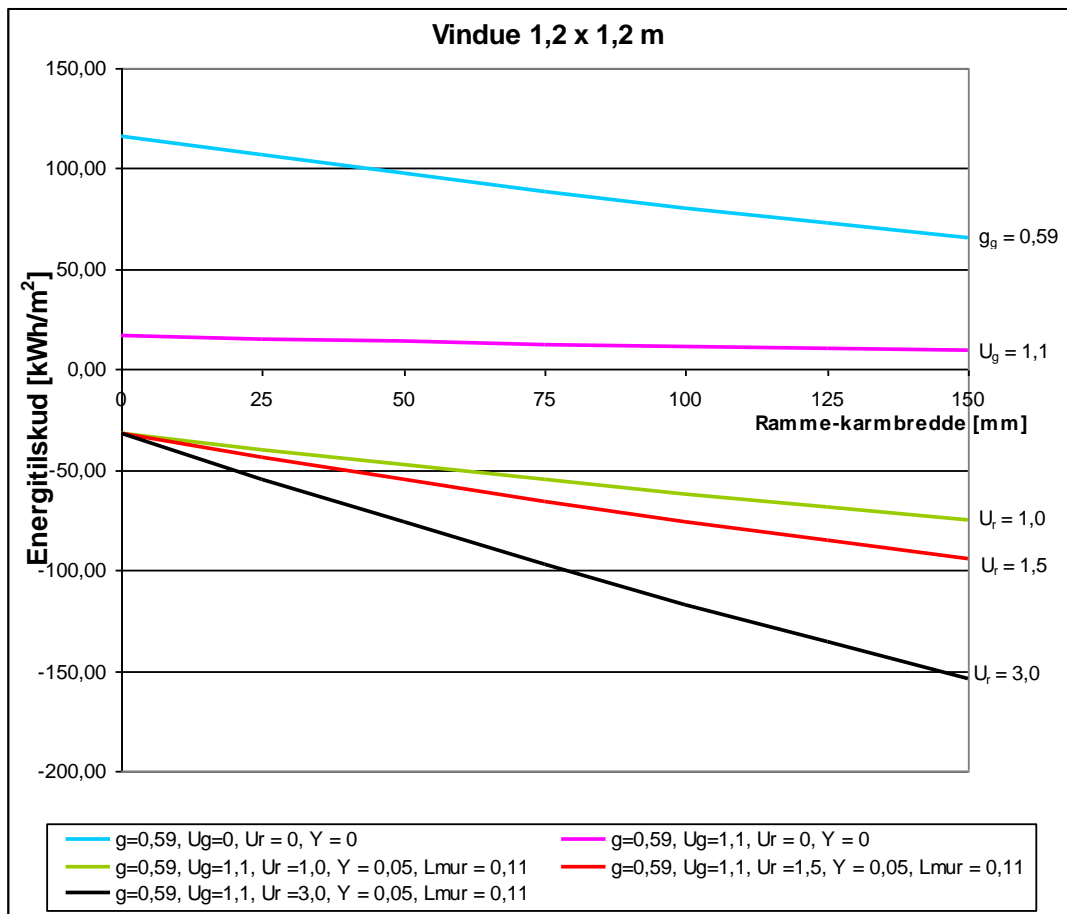


Figur 3. Det udvidede linjetab mellem rude og mur.

På samme måde som for ruden og ramme-karmen (Figur 1), er der konstrueret en figur hvor samlingen mellem mur og vindue er medtaget. Se Figur 4. Funktionerne er baseret på følgende udtryk, som svarer det foregående dog med et ekstra led, som tager højde for det ekstra tab gennem samlingen mellem muren ved samlingen, L_{mur} .

$$E = K_{sol} * g_g * F_A - K_{tab} * U_g * F_A - K_{tab} * U_r * (1 - F_A) - K_{tab} * \Psi_{rude-ram} * F_L - K_{tab} * L_{mur} * 2(h+b)/b * h$$

I Figur 4 ses de samme tendenser som i Figur 1, at energitilskuddet generelt falder, når ramme-karmbredden øges. Det ses, at energitilskuddet for de samlede vinduer med hhv. $U_r = 1, 1,5$ og $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ er noget lavere end de tilsvarende i Figur 1. Dette skyldes det ekstra varmetab fra mur-vindue samlingen, beskrevet ved L .



Figur 4 Energitilskuddet for forskellige vinduer som funktion af ramme-karmprofillets bredde. Det udvidede linjetab L_{mur} er medtaget i de tre nederste kurver.

2 Status over typiske vinduesløsningers energimæssige egenskaber.

Grundlaget for at foreslå muligheder for udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber er de nuværende vinduers opbygning og energimæssige egenskaber.

2.1 Typiske vinduer

I det følgende gives eksempler på typiske vinduer på det danske marked fordelt på fem typiske profiltyper.

2.1.1 Ramme-karm af træ

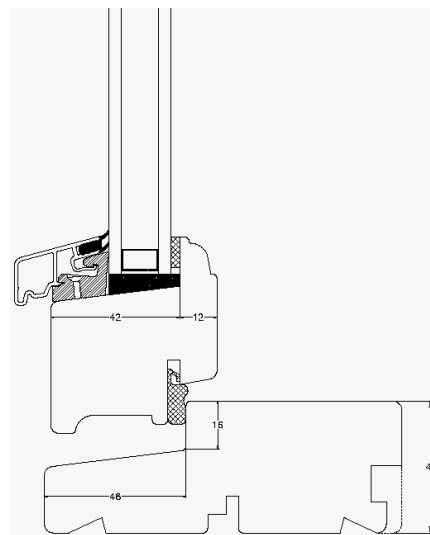
Rame-karmprofilet i Figur 5 består af massivt træ og har en U-værdi på $U_r = 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. For det samlede vindue med standarddimensionerne $1,23 \times 1,48\text{m}$ og en rude med center U-værdi på $U_g = 1,14$ fås $U_{\text{total}} = 1,73 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.1.2 Ramme-karm af træ beklædt med aluminium

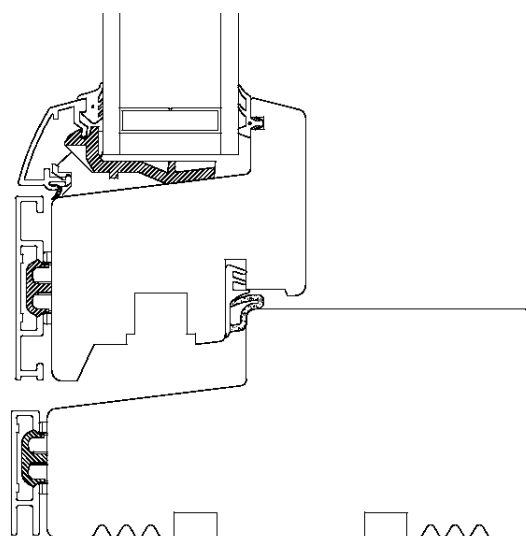
Ramme-karmprofilet i Figur 6 består af massivt træ beklædt på ydersiden med aluminium. Profilet har en U-værdi på $U_r = 1,42 \text{ W/m}^2\text{K}$. For det samlede vindue med standarddimensionerne $1,23 \times 1,48\text{m}$ og en rude med center U-værdi på $U_g = 1,18$ fås $U_{\text{total}} = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.1.3 Ramme-karm af PVC

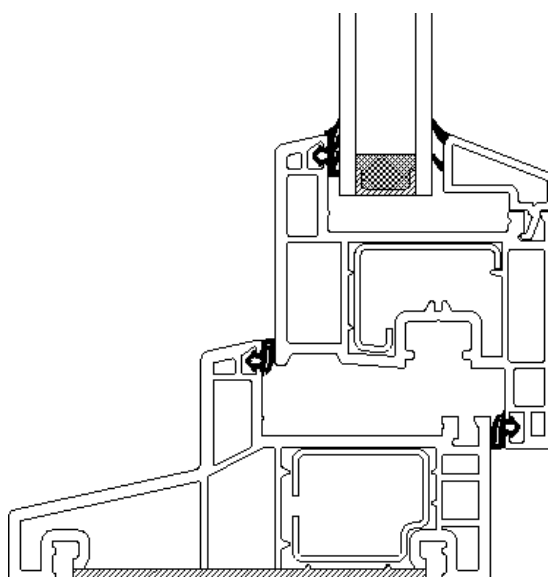
Ramme-karmprofilet i Figur 7 har en U-værdi på $U_r = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. For det samlede vindue med standarddimensionerne $1,23 \times 1,48\text{m}$ og en rude med center U-værdi på $U_g = 1,13$ fås $U_{\text{total}} = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$.



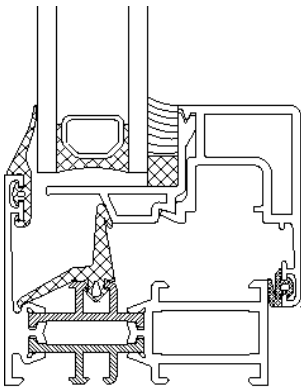
Figur 5. Type 1. Ramme-karm af træ.



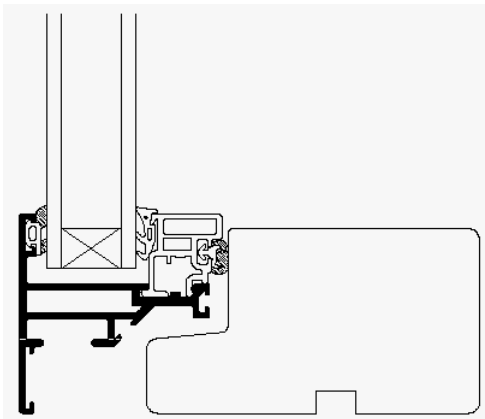
Figur 6. Type 2. Ramme-karm af træ beklædt med aluminium.



Figur 7. Ramme-karmkonstruktion af plast (venstre side vender mod ude).



Figur 8. Type 4. Ramme-karm af aluminium.



Figur 9. Type 5. Ramme-karm af blandede materialer.

2.1.4 Ramme-karm af aluminium

Ramme-karmprofilet i Figur 8 har en $U_r = 2,76 \text{ W/m}^2\text{K}$. For det samlede vindue med standarddimensionerne 1,23 x 1,48m og en rude med center U -værdi på $U_g = 1,14$ fås $U_{\text{total}} = 1,66 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.1.5 Ramme-karm af blandede materialer

Et eksempel på en konstruktion af blandede materialer er vist i Figur 9. Der indgår aluminium og plast i rammekonstruktionen og træ i karmkonstruktionen. Herved fås et vejrbestandigt ydre og et traditionelt indre. Ramme-karmprofilet i Figur 9 har en $U_r = 2,76 \text{ W/m}^2\text{K}$. For det samlede vindue med standarddimensionerne 1,23 x 1,48m og en rude med center U -værdi på $U_g = 1,13$ fås $U_{\text{total}} = 1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I Tabel 1 er de energimæssige data for de fem vinduestyper vist. I Tabel 2 er de enkelte delelementers bidrag til vinduernes energitilskud beregnet og vist. Udover bidragene fra selve vinduet er varmetabet gennem mur-vinduesamlingen beregnet ud fra den samlede konstruktions L -værdi.

Tabel 1. Data for typiske vinduer

Vindue	Bredde [mm]	Højde [mm]	Ramme-karm bredde [mm]	g-total [%]	U_g [$\text{W/m}^2\text{K}$]	U_r [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Ψ [W/mK]	U_{vindue} [$\text{W/m}^2\text{K}$]
1. Træ	1230	1480	97	43	1,16	1,67	0,089	1,52
2. Træ og aluminium	1230	1480	107	42	1,18	1,42	0,0817	1,46
3. PVC	1230	1480	115	41	1,13	1,72	0,0544	1,46
4. Aluminium	1230	1480	60	49	1,14	2,76	0,0877	1,66
5. Blandede materialer	1230	1480	56	50	1,13	2,76	0,0491	1,56

Tabel 2. Bidrag til energitilskud for typiske vinduer

Vindue	Solindfald [kWh/m^2]	Varmetab [kWh/m^2]			Energitilskud [kWh/m^2]	Varmetab [kWh/m^2]	Energitilskud [kWh/m^2]
		Rude	Ramme-karm	Samling ramme-karm			
1. Træ	84,7	-76,6	-40,6	-20,5	-53,0		
2. Træ og aluminium	81,9	-75,4	-37,1	-18,5	-49,0	-10,5	-59,5
3. PVC	79,7	-70,2	-48,6	-12,2	-51,2	-11,0	-62,3
4. Aluminium	96,1	-85,4	-42,6	-21,5	-53,5		
5. Blandede materialer	97,4	-85,8	-39,9	-12,1	-40,4		

Det ses, at der er nogen forskel på de forskellige vinduers energimæssige egenskaber og dermed også på deres energitilskud. Her spiller materialevalg og dimensionerne en vigtig rolle. Af vinduerne i tabellerne har ramme-karmprofilerne af træ og PVC de laveste U-værdier, men til gengæld er aluminiumramme-karmprofilerne smallere med en højere g-værdi til følge. Dette er medvirkende til at forskellen i energitilskud ikke er større.

3 Muligheder for udvikling af ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

I det følgende gennemgås forskellige muligheder for at forbedre vinduers energimæssige egenskaber ved at foretage ændringer i vindueskonstruktionerne eller ved at anvende andre materialer. De fleste af beregningerne af forskellige forbedringsforslag er foretaget i programmet Therm. Selve analysen af udviklingsmulighederne er grundigt beskrevet i kompendium 10 til 14. I disse kompendier er de fleste muligheder gennemgået, mens der i dette kompendium kun gengives nogle udvalgte af de energimæssigt bedste forslag.

3.1 Muligheder for udvikling af ruder med større energitilskud

Ved at anvende jernfattigt glas kan ruders totale solenergitransmittans øges, idet den i glasset absorberede del af solstrålingen reduceres fra ca. 8 % til 2 %. Tilsvarende reduktioner af den absorberede solstråling kan opnås ved at anvende antirefleksionsbehandlet glas. Ingen af de to tiltag har nævneværdig indflydelse på rudens U-værdi.

Varmetabet ud gennem ruder kan reduceres, ved at anvende glas med lavemissionsbelægning og f.eks. argon eller krypton i fyldningen mellem glassene.

Alle disse tiltag er medvirkende til at opnå større energitilskud gennem ruderne til bygningen.

I kompendium 10 "Ruder med større energitilskud" er forskellige forbedringsmuligheder analyseret, og i Tabel 3 nedenfor ses udvalgte løsninger som medfører forbedringer af energitilskuddet. Energitilskuddet i Tabel 3 er beregnet ud fra referencehusmetoden som anvendes i forbindelse med klassifikation af ruder (se afsnit 1.1).

Der tages udgangspunkt i en referencerude bestående af 4mm alm. floatglas, 15 mm 90/10 argon/luftblanding og 4mm alm. floatglas med lavemissionsbelægning $\epsilon = 0,1$.

Af tabellen fremgår det, at energitilskuddet øges fra 19 til 36 kWh/m² ved at anvende en rude med jernfattigt glas, krypton/luft 90/10 i hulrummet mellem glassene og lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$. Det øgede energitilskud skyldes først og fremmest den forbedrede U-værdi, som er reduceret fra 1,32 til 1,08 W/m²K.

Ved at anvende en rude af 4mm antirefleksionsbehandlet jernfattigt glas, 90/10 argon/luftblanding i mellemrummet, og alm. floatglas med lavemissionsbelægning $\epsilon = 0,1$ øges energitilskuddet til 37 kWh/m². Denne forbedring skyldes først og fremmest den forbedrede g-værdi, som er steget fra 0,66 til 0,75.

Tabel 3. Muligheder for at forbedre ruder.

Rude	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi	Energitilskud [kWh/m ²]
Reference: 4mm float, 90/10 argon/luft, 4mm float m. $\epsilon = 0,1$	1,32	0,66	10
4mm jernfattig, 90/10 krypton/luft, 4mm float m. $\epsilon = 0,04$	1,08	0,64	28
4mm antirefleks + jernfattig, 90/10 argon/luft, 4mm float m. $\epsilon = 0,1$	1,32	0,75	28

3.2 Muligheder for udvikling af kantkonstruktioner med reduceret kuldebro

Ved at anvende kantkonstruktioner med lavere ækvivalent varmeledningsevne kan vinduets U-værdi reduceres og risikoen for kondensdannelse mindskes. Dette er vist i kompendium 11 "Kantkonstruktioner med reduceret kuldebro", hvor de energimæssige egenskaber for forskellige kantkonstruktioner er analyseret.

Traditionelle afstandsprofiler er lavet af aluminium eller stål, som har gode styrkemæssige egenskaber. Pga. aluminium og ståls høje varmeledningsevner betyder det dog at kantkonstruktionerne kommer til at virke som en kuldebro i samlingen mellem rude og ramme. Ved at anvende andre materialer med lavere varmeledningsevner, så som plast eller rustfrit stål, i profiler, som samtidigt er slanke, kan kuldebroeffekten fra kantkonstruktionen nedsættes.

I Tabel 4 er resultaterne for et afstandsprofil af plast vist sammen med et traditionelt profil af aluminium som reference. Det ses, at ved at anvende et afstandsprofil af plast med rustfrit stålindlæg opnås forbedringer på både U-værdien for et standard vindue og på risikoen for kondensdannelse på indersiden af ruden.

I Tabel 5 ses bidragene til energitilskuddet for to forskellige vinduer (1230 x 1480 mm), hvor det traditionelle aluminiumsafstandsprofil skiftes ud til et af plast med rustfrit stålindlæg. Det ses, at varmetabet gennem samlingen mellem rude og ramme reduceres for begge vinduer, når der anvendes afstandsprofil af plast i stedet for aluminium.

Tabel 4. Kantkonstruktioner i ramme-karmprofil af træ og aluminium. Værdier for afstandsprofiler af hhv. aluminium og plast.

Kantkonstruktion		Alu	plast
Dimensioner inkl. afstandsprofil	(h x b) [mm]	9,5 x 24	11 x 24
Ækvivalent varmeledningsevne λ_k	[W/mK]	3,6	0,3
Varmeoverføringskoefficient L	[W/mK]	1,43	0,14
Linietaf Ψ_g	[W/mK]	0,085	0,040
U-værdi	[W/m ² K]	1,46	1,34
Kondensmodstandsfaktor f_{Rsi}		0,515	0,650
Antal timer årligt med risiko for kondens. v. en fugtpr. på 9,5 kg/d	[timer]	22	6
	[timer]	2614	182

Kantkonstruktion:

a: Traditionelt aluminiums afstandsprofil

e: Afstandsprofil af plast med rustfrit stålindlæg.

En fugtproduktion på 9,5 kg/d svarer til en familie på fire personer.

Tabel 5. Bidrag til energitilskud for vindue med ramme-karmprofil af træ beklædt med aluminium og forskellige kantkonstruktioner

Ramme-karmprofil	Kantkonstruktion	Solindfald [W/m ² K]	Varmetab [W/m ² K]			Energitilskud [kWh/m ²] Samlet vindue
			Rude	Ramme-karm	Samling ramme-karm	
Træ og aluminium	Aluminium	81,9	-75,4	-37,0	-19,3	-49,7
	Plast	81,9	-75,4	-37,0	-9,1	-39,1
Plast	Aluminium	79,7	-70,2	-48,5	-12,2	-51,2
	Plast	79,7	-70,2	-48,5	-7,5	-46,7

3.3 Muligheder for at forbedre isole-rede ramme-karmprofiler

På trods af at der er opnået forholdsvis lave U-værdier for moderne ramme-karmprofiler, er der et stort potentiale i at udvikle ramme-karmprofiler med bedre energimæssige egenskaber. Vha. af programmet Therm er der i kompendium 12 udført beregninger af U- og Ψ -værdier, for forskellige forbedringsmuligheder af tre af de i afsnit 2 nævnte ramme-karmprofiler. Der er endvidere beregnet en ny sammensat linjetabskoefficient $L_{\text{rude-ramme}}$, som er udtryk for det ekstra varmetab gennem samlingen i forhold til det endimensionale tab gennem ruden. L kan bruges som et mål for varmetabet gennem ramme-karm og samlingen mellem rude og ramme, uafhængigt af udstrækningen af konstruktionen. L bestemmes af nedenstående udtryk:

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

hvor

- l_r er ramme-karmprofilets bredde
- U_r er ramme-karmprofilets U-værdi
- U_g er rudens center U-værdi
- Ψ_g er linjetabskoefficienten for kantkonstruktionen.

I det følgende gennemgås eksempler på udviklingsmuligheder for ramme-karmprofiler.

3.3.1 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af træ beklædt med aluminium.

Da træprofilet og profilet af træ beklædt med aluminium har næsten samme varme-tekniske egenskaber, er de behandlet under et. Således tages der udgangspunkt i ramme-karmprofilet af træ beklædt med aluminium. Ved at udskifte den indvendige kerne af både rammen og karmen med isole-ringsmateriale ($\lambda=0,039$), men bibeholde træet udvendig, reduceres U_r fra 1,40 til 1,02 W/m²K. Træprofilet er endvidere erstattet udfor ruden af hård isolering (purenit $\lambda=0,07$). Samtidig er glasfalsen af aluminium erstattet af PVC, og luftspalten mellem ramme og karm er tætnet med en gummiliste. Dette medfører en forbedring af vinduets samlede U-værdi fra 1,45 til 1,28 W/m²K, og L-værdien reduceres til under det halve. Disse tiltag giver altså betydelige energimæssige forbedringer. Resultaterne er vist i Tabel 6.

Tabel 6 Ramme-karmkonstruktion af træ beklædt med aluminium

Tiltag	U_r W/m ² K	ψ (linietab) W/mK	U-total W/m ² K	$L = l_r(U_r - U_g) + \psi$ W/mK
Reference vindue (Figur 6)	1,40	0,0817	1,45	0,1052
Isol. $\lambda=0,039$, tætning af luftspalte og glasfals af alu \Rightarrow PVC	0,88	0,0757	1,28	0,0436

3.3.2 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af PVC.

Der tages udgangspunkt i referencevinduet, Figur 7, hvor rammen og karmen er udført i PVC. For at styrke konstruktionen anvendes afstivningsprofiler af stål i både rammen og karmen.

For at reducere varmetabet gennem stålprofilerne, som er indsat for at afstive rammen og karmen, ændres disse til glasfiberarmeret polyester, som har en lavere varmeledningsevne og gode styrkemæssige egenskaber. Derfor udfyldes hulrummene med isoleringsmateriale ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), og luftspalten mellem ramme og karm inddeles i mindre hulrum. Effekten af ændringerne fremgår af Tabel 8. Det fremgår, at der opnås markante forbedringer af både U-værdi og L-værdi.

3.3.3 Muligheder for at forbedre ramme-karmprofiler af aluminium

Der tages udgangspunkt i referencevinduet, Figur 8, hvor rammen og karmen er udført i aluminium og med en indbygget kuldebroafbryder.

Som bekendt har aluminium en meget høj varmeledningsevne. Dette gør, at det er meget svært, at fremstille ramme-karmprofiler af aluminium med en lav U-værdi. Derfor er der foretaget beregninger for et tilsvarende profil men som er lavet af glasfiberarmeret polyester, som skulle kunne opfylde de styrkemæssige krav og samtidig have en væsentlig lavere varmeledningsevne.

Resultaterne af beregningerne ses i Tabel 7. Det ses, at der opnås betydelige forbedringer af både U- og L-værdi.

Tabel 8 Ramme-karmkonstruktion af PVC

Tiltag	U_r W/m ² K	ψ (linietab) W/mK	U-total W/m ² K	$L = I_r(U_r - U_g) + \psi$ W/mK
Reference vindue (Figur 7)	1,72	0,0544	1,45	0,1220
Kombination (iso. $\lambda=0,039$, glasfiberarmeret polyester og ekstra inddeling)	1,0597	0,0597	1,26	0,0516

Tabel 7 Ramme-karmkonstruktion af aluminium

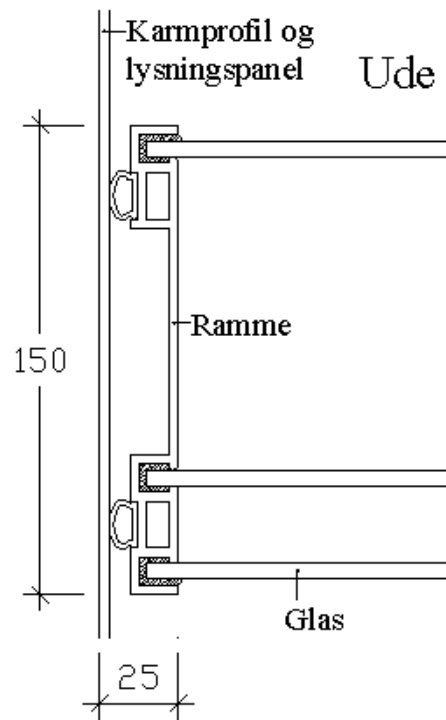
Tiltag	U_r W/m ² K	ψ (linietab) W/mK	U-total W/m ² K	$L = I_r(U_r - U_g) + \psi$ W/mK
Reference vindue (Figur 8)	2,76	0,0877	1,66	0,1851
Profil udelukkende i glasfiberarmeret polyester	1,57	0,0734	1,41	0,0992

3.3.4 Alternativ udformning af ramme-karm

Udover at forbedre de traditionelle ramme-karmprofiler, er der foretaget beregninger for et alternativt vindue. Figur 10 viser et forslag til en ramme-karmkonstruktion af glasfiberarmeret polyester, der både er meget smal og dyb. Der er plads til 3 glas med usædvanligt stort mellemrum, hvilket gør at rammens dybde er helt oppe på 150 mm. Karmen kan dog gøres vilkårlig dyb og derved dække over store isoleringstykkelser i muren. Vinduet kaldes Kombinationsvinduet, idet det kombinerer rude og ramme til en mere samlet konstruktion. Vinduet, som dog stadig kun foreligger på skitseplanet, er et forslag fra Svend Svendsen, IBE.

Idet vinduets samlede areal er $1,23\text{m} \cdot 1,48\text{m}$ og ramme-karmbredden er 25 mm, bliver glas procenten på 93%. Rudens center U-værdi er $0,93\text{ W/m}^2\text{K}$ og g-værdien er 0,58. Resultaterne af beregningerne ses i Tabel 9.

I Tabel 10 er de enkelte bidrag til energitilskuddet for forbedringerne i de fire vinduer vist. For de første tre vinduestyper ses det, som ventet, at de største reduktioner i varmetabet er sket i ramme-karmkonstruktionen. Med hensyn til varmetabet gennem samlingen mellem rude og ramme-karm ses både forbedringer og for-



Figur 10. Alternativ ramme-karmkonstruktion udført i glasfiberarmeret polyester og med plads til 3 glas.

ringelser.

Energitilskuddet forbedres for alle tre vinduestyper, men det er dog stadig negativt. For kombinationsvinduet fås derimod et positivt energitilskud, som resultat af et stort solindfald og lave varmetab.

Tabel 9 Kombinationsvindue

Tiltag	U_r W/m ² K	ψ (linietab) W/mK	U-total W/m ² K	$L = l_r(U_r - U_g) + \psi$ W/mK
Kombinationsvindue (Figur 10)	1,074	0,0222	1,023	0,0182

Tabel 10. Bidrag til energitilskud for vinduer med isolerede ramme-karmprofiler

Vindue	Solindfald [W/m ² K]	Varmetab [W/m ² K]			Energitilskud [kWh/m ²]
		Rude	Ramme-karm	Samling ramme-karm	Samlet vindue
Træ og aluminium	81,9	-75,4	-37,1	-18,5	-49,0
Træ og aluminium, isoleret	81,9	-75,4	-23,3	-17,2	-33,9
PVC	79,7	-70,2	-48,5	-12,2	-51,2
PVC, Isoleret	79,7	-70,2	-31,4	-13,5	-35,4
Aluminium	96,1	-85,4	-42,6	-21,5	-53,5
Aluminium, glasfiberarmeret polyester	96,1	-85,4	-24,3	-18,0	-31,6
Kombinationsvindue	105,6	-77,1	-7,1	-5,8	15,7

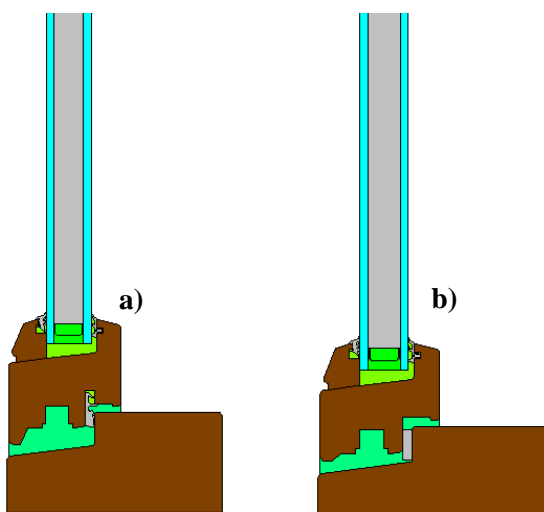
3.4 Udviklingsmuligheder for smallere ramme/karmprofiler.

Anvendelse af smallere ramme-karmprofiler bevirker, at glasarealet øges, hvorved der opnås en større samlet g-værdi for vinduet. Samtidig minimeres effekten af ramme-karmens normalt dårligere U-værdi (i forhold til ruden).

3.4.1 Eksempel på smallere ramme-karmprofiler

Figur 11 a) viser et typisk vindue af træ med dimensionerne 1,23m × 1,48m. b) viser et tilsvarende vindue, hvor ramme-karmprofilet er gjort smallere. Endelig er der i Figur 12 vist et vindue hvor ramme-karmprofilet er gjort endnu smallere, idet karmen er rykket ned foran karmen. I Tabel 11 er de beregnede energimærkningsdata for de tre vinduer vist. Det ses, at ved at gøre ramme-karmen smallere, ændres ramme-karmprofilets U-værdi ikke for vinduet i Figur 11, men derimod øges vinduets totale solenergitransmittans, g, hvorved der opnås et større energitilskud.

For vinduet i Figur 12, hvor ramme-karmbredden er væsentligt mindre reduceres ramme-karmens U-værdi og g-værdien øges markant. Dette resulterer i et betydeligt større energitilskud. Det er altså muligt at opnå store energimæssige forbedringer ved at reducere ramme-karmbredden på en forholdsvis simpel måde.



Figur 11.
a) Trævinduets oprindelige udformning. Reference.
b) Trævinduet med smallere ramme og karm.

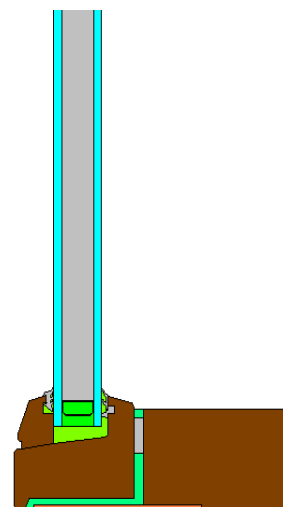
Tabel 11. Beregnede energimærkningsdata for vinduer med dimensionerne: 1,23m×1,48m

Udformning	Bredde Ramme-karm	g-værdi Vindue	U-ramme	E energitilskud
	[m]	[-]	[W//m ² ·K]	[kWh/m ²]
Reference	0,1073	0,42	1,39	-44
Smallere ramme-karm	0,0893	0,44	1,39	-38
Ramme flyttet ned foran karm	0,0532	0,50	1,30	-23

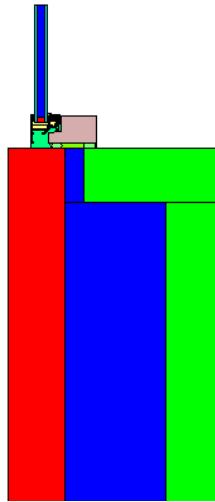
Tabel 12. Beregnede energimærkningsdata for vinduer med dimensionerne: 0,59m×1,19m

Udformning	Bredde Ramme-karm	g-værdi Vindue	U-ramme	E energitilskud
	[m]	[-]	[W//m ² ·K]	[kWh/m ²]
Reference	0,1073	0,31	1,39	-78
Smallere ramme-karm	0,0893	0,35	1,39	-70
Ramme flyttet ned foran karm	0,0532	0,44	1,30	-47

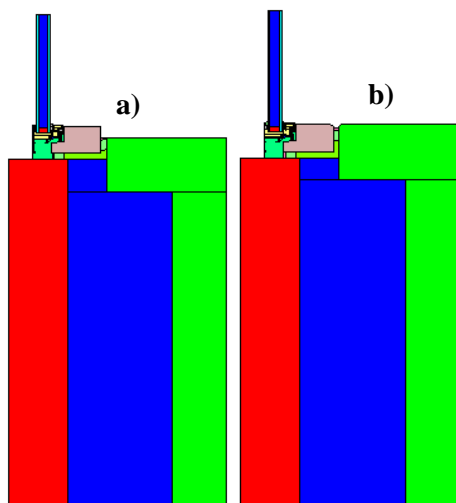
I Tabel 12 er energimærkningsdata vist for tilsvarende vinduer med mindre dimensioner. Det ses, at for det mindre vindue fås en lavere g-værdi og dermed et lavere energitilskud. Det skyldes at jo mindre vinduet er, jo større andel udgør ramme-karmen. Det fremgår også, at ramme-karmbreddens betydning for energitilskuddet er større jo mindre vinduet er.



Figur 12, Trævinduet med smallere ramme, rykket helt ned foran karmen. Plastplade er indsat i karmen for at dække over kuldebroisoleringen i muren.



Figur 13. Vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i lige fals (reference).



Figur 14. To eksempler på vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i forskudt fals.

3.5 Udviklingsmuligheder for montering af vinduer i forskudt fals

Den største fordel ved at formindske ramme-karmarealet er at solenergitransmissionen øges. Denne effekt forsøges kopieret ved at montere vinduet i en forskudt fals, idet der herved kan opnås en relativt større solenergitransmission i forhold til det indre murhul. Samtidig kan varmetabet i samlingen reduceres.

For at vurdere de energimæssige fordele ved at montere vinduer i forskudt fals i stedet for lige fals, er der i Kompendium 13 foretaget beregninger af energimærkningsdata for forskellige falsløsninger. Der er regnet på et facadeudsnit på 2,0m × 2,3m med et vinduet isat.

I Figur 13 er vist et vindue monteret i lige fals. Denne bruges som reference.

I Figur 14 a) og b) er vist eksempler på vinduer monteret i forskudt fals. I a) er falsen placeret ca. halvt oppe på karmen og i b) er den forskudte fals placeret således at den flugter med karmen.

Det anvendte vindue er lavet af blandede materialer (se Figur 9) og har dimensionen 1,23m × 1,48m og. Der er dog medtaget beregningseksempler på samme vindue i dimensionerne 1,29m × 1,54m og 1,33m×1,58m, svarende til at det indre murhul har samme dimensioner som ved montering i lige fals.

De beregnede energimæssige data er vist i Tabel 13.

Af Tabel 13 fremgår det, at en montering i forskudt fals forbedrer den udvidede linjetabskoefficient, L, og U-værdien for den samlede konstruktion. Herved opnås en beskedne stigning af energitilskuddet.

Tabel 13. Energitilskud for 2m × 2,3m mur med vindue.

Falstype	Dimensioner ydre murhul [m]	U-værdi total [W/m ² K]	g-værdi total [-]	L-værdi [W/mK]	Energitilskud [kWh/m ²]
Lige (Reference)	1,23×1,48	0,835	0,197	0,239	-36,8
Forskudt a)	1,23×1,48	0,798	0,197	0,208	-33,5
Forskudt a)	1,29×1,54	0,844	0,216	0,208	-33,7
Forskudt b)	1,23×1,48	0,790	0,197	0,201	-32,7
Forskudt b)	1,33×1,58	0,866	0,230	0,201	-33,0

3.6 Udviklingsmuligheder for vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur

Ved at udvide kuldebroafbrydelsen ved falsen kan U-værdien og Ψ reduceres. Der er i kompendium 14 foretaget beregninger af de energimæssige egenskaber for forskellige murkonstruktioner kombineret med nogle af vinduestyperne beskrevet i afsnit 2.1 samt det såkaldte kombinationsvindue (Figur 10), som også er beskrevet i kompendium 14.

Udvalgte resultater fra undersøgelsen er vist i Tabel 14.

Det ses, at murkonstruktionen har stor indflydelse på linjetabet Ψ_s mellem vindue og mur og det udvidede linjetab L. En afbrydelse af kuldebroen ved falsen med en kuldebrosiolering er således vigtig for at nedsætte varmetabet.

Det ses også, at kombinationsvinduet generelt har noget lavere værdier af både L og Ψ_s end det traditionelle vindue af træ belædt med aluminium. Dette kan indikere, at bredere ramme-karmprofiler, fordeler isotermerne mere jævnt i konstruktionen, hvorved L-værdien nedsættes med et lavere varmetab til følge.

Tabel 14. Murkonstruktioner med

L- og Ψ_s -værdier	Ramme-karm af træ belædt med aluminium (Figur 6)	Kombinationsvinduet (Figur 10)
Tegl-tegl 125 mm isol. fuldmuret fals	L =0,3734 Ψ_s =0,0874	L =0,2290 Ψ_s =0,0455
Tegl-porebeton 125 mm isol. 32 mm kuldebrosiol.	L =0,1656 Ψ_s =0,0206	L =0,0597 Ψ_s =0,0173
Tegl-porebeton 190 mm isol. 32 mm kuldebrosiol.	L =0,1772 Ψ_s =0,0308	L =0,0698 Ψ_s =0,0261
Tegl-porebeton 190 mm isol. 77 mm kuldebrosiol.	L =0,1486 Ψ_s =0,0179	L =0,0410 Ψ_s =0,0130

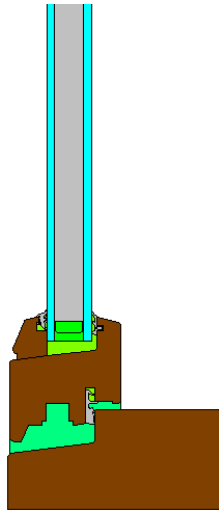
4 Kombination af forbedringer

For at vurdere forbedringerne af de enkelte delelementer er der i det følgende foretaget beregninger for kombinationer af de enkelte tiltag.

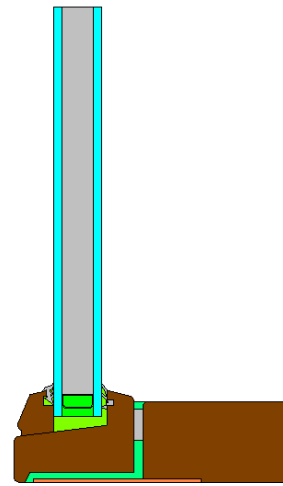
4.1 Vinduer

Med udgangspunkt i et typisk trævindue beskrevet i afsnit 3.4 er der sammensat et energimæssigt bedre vindue ved at kombinere de bedste løsninger for hhv. rude, kantkonstruktion og ramme-karmprofil.

Referencevinduet er vist i Figur 15. og det forbedrede vindue er vist i Figur 16. I det



Figur 15. Trævinduets oprindelige udformning. Reference.



Figur 16. Det energimæssigt forbedrede vinduet.

forbedrede vindue er der anvendt en energirude med en ny forbedret lavemissionsbelægning på det inderste lag glas, som lader mere solenergi passere ind. Samtidig er der i det yderste lag anvendt jernfattigt glas, som også forbedrer g-værdien. Data og det beregnede energitilskud for de to vinduer er vist i Tabel 15.

Det fremgår af Tabel 15, at der ved at kombinere de enkelte energimæssigt forbedrede dele af vinduet kan opnås en meget stor forbedring af det samlede energitilskud. Undersøgelsen viser, at det ved indførelse af forholdsvis simple ændringer og anvendelse af elementer som er tilgængelige på det danske marked, er muligt at lave vinduer med to lag glas som giver et positivt energitilskud.

Tabel 15. Data for de to vinduer

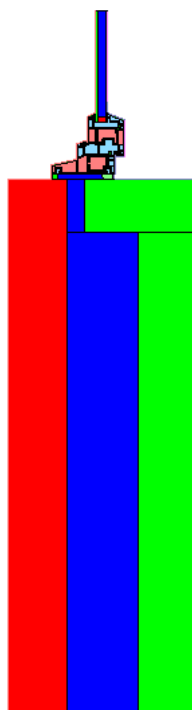
Referencevindue (Figur 15)			Energitilskud
Rude 4 mm alm. float 16 mm 90% argon 4 mm alm. float m. lavemissionsbelægning $\epsilon = 0,04$	$g = 0,59$	$U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	-44 kWh/m²
Kantkonstruktion, aluminium.	$\lambda = 1,77 \text{ W/mK}$	$\Psi = 0,0740 \text{ W/mK}$	
Ramme-karm. Træ	bredde = 10,7 cm	$U = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Vindue	$g = 0,42$	$U = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Forbedret vindue (Figur 16)			Energitilskud
Rude 4 mm jernfattigt glas 16 mm 90% argon 4 mm alm. float m. lavemissionsbelægning $\epsilon = 0,04$ Belægningen har forbedret soltransmittans	$g = 0,68$	$U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	1 kWh/m²
Kantkonstruktion, plast.	$\lambda = 0,34 \text{ W/mK}$	$\Psi = 0,0466 \text{ W/mK}$	
Ramme-karm. Træ	bredde = 5,0 cm	$U = 1,32 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Vindue	$g = 0,58$	$U = 1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$	

4.2 Vindue-murløsninger

Der er anvendt to murtyper:

Reference: 108mm tegl, 125 mm isolering og 100mm porebeton. Kuldebroyseringen ved murfalsen udgøres af 32 mm isolering.

Forbedret: 108mm tegl, 190 mm isolering og 100mm porebeton. Kuldebroyseringen ved murfalsen udgøres af 77 mm isolering.



Figur 18. Vindue-murkonstruktion sammensat af energimæssigt forbedrede delelementer. Ramme-karm af PVC

Disse to murtyper sammensættes med følgende vinduer:

PVC reference: Ramme-karmprofil som beskrevet i afsnit 3.3.2. $U_g = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rudens g-værdi er 0,59.

PVC forbedret: Ramme-karmprofilet er isoleret ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), og stålafstivningsprofilerne er erstattet med glasfiberarmet polyester (se afsnit 3.3.2). Hulrummet mellem ramme og karm er opdelt i to rum, og i ruden er der anvendt en afstandsskinne af plast og rustfrit stål (se afsnit 3.2). $U_g = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rudens g-værdi er 0,59.

Kombinationsvinduet

Vinduet er beskrevet i afsnit 3.3.4.

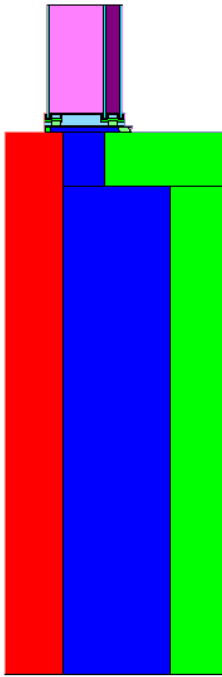
Beregninger

Konstruktionerne er opbygget i Therm, se Figur 18 og Figur 19. I Figur 17 og Figur 20 ses de beregnede isotermer gennem konstruktionerne.

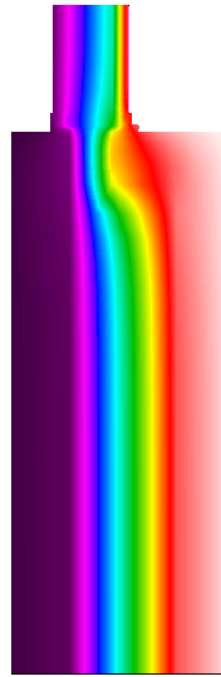
Resultaterne for beregningerne er vist i Tabel 16.



Figur 17. Isothermer i konstruktionen. Ramme-karm af PVC



Figur 19. Vindue-murkonstruktion Med kombinationsvindue.



Figur 20. Isothermer i konstruktionen med kombinationsvindue.

Tabel 16. Energitilskud for 2,0m × 2,3m kombinationer af mure og vinduer.

Mur	Vindue	Bredde Ramme- karm	g-værdi rude	U-værdi Total	L-værdi (se afsnit 1.2)	Samlet energi tilskud
		[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/mK]	[kWh/m ²]
Reference Tegl-porebeton, 125 mm isole- ring. 32 mm kuldebroiso.	Ref. PVC. Figur 7	0,115	0,59	0,81	0,1848	-41,6
Reference Tegl-porebeton, 125 mm isole- ring. 32 mm kuldebroiso.	Forbedret PVC Figur 7	0,115	0,59	0,68	0,0754	-29,9
Forbedret Tegl-porebeton, 190 mm isole- ring. 77 mm kuldebroiso.	Forbedret PVC Figur 7	0,115	0,59	0,62	0,0607	-24,7
Reference Tegl-porebeton, 125 mm isole- ring. 32 mm kuldebroiso.	Kombinationsvindue Figur 10	0,025	0,58	0,61	0,0845	-13,5
Forbedret Tegl-porebeton, 190 mm isole- ring. 77 mm kuldebroiso.	Kombinationsvindue Figur 10	0,025	0,58	0,55	0,0666	-7,9

Det ses i Tabel 16, at U-værdien for den totale konstruktion bestående af referencemure og PVC-vinduet forbedres fra 0,81 til 0,68 [W/m²K], ved at gennemføre ovennævnte forbedringstiltag på vinduet. Der sker ligeledes en betydelig forbedring af konstruktionens energitilskud. L-værdien beskrevet i afsnit 1.2 er reduceret til ca. det halve.

Ved anvendelse af den forbedrede mur med øget isoleringstykkelse, fås yderligere forbedringer i både U- og L-værdi og energitilskuddet.

Det tyder altså på, at de kombinerede forbedringer har en god effekt.

Det ses samtidigt at isotermerne i samlingen mellem mur rude over ramme-karmen løber næsten lige gennem konstruktionen uden voldsomme afbøjninger, hvilket kan betragtes som en klar indikation af et lavt linjetab for samlingen.

Konstruktionen med referencemuren og kombinationsvinduet giver en anelse lavere total Uværdi og et betydeligt større energitilskud, end konstruktionen med forbedret mur og forbedret PVC-vindue. Når kombinationsvinduet sammensættes med den forbedrede mur fås yderligere forbedrede værdier af både U, L og energitilskuddet.

Disse beregninger for kombinationer af de enkelte forbedrede dele er kun eksempler på mulige samlede løsninger. Der er behov for at foretage yderligere analyser af forskellige kombinationer af de enkelte dele i totale vindueskonstruktioner.

Ligeledes er analyserne af de forskellige dele af vindueskonstruktionerne beskrevet i kompendium 10 – 14, baseret på udvalgte udviklingsmuligheder. Der er behov for videre analyser, som kan belyse forskellige muligheder for at forbedre vinduers energimæssige egenskaber.

5 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] Kompendium 10: Ruder med større energitilskud, *Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009*
- [4] Kompendium 11: Kantkonstruktioner med reduceret kuldebro, *Institut for Bygge-ri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009*
- [5] Kompendium 12: Vinduer med isolerede ramme-karmprofiler, *Institut for Bygge-ri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009*
- [6] Kompendium 13: Vinduer med smalle ramme-karmprofiler, *Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009*
- [7] Kompendium 14: Vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur, *Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, Januar 2009*

6 Adresseliste

Adresse:	Kontaktpersoner:
DTU Byg Danmarks Tekniske Universitet Bygning 118, Brovej 2800 Kgs. Lyngby Tlf. 45 25 17 00 http://www.byg.dtu.dk/	Svend Svendsen (45 25 18 54) Toke Rammer Nielsen (45 25 18 60)
Energimærkningsordningens sekretariat TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 22	Hans Nielsen Peter Vestergaard
Vinduesproducenternes Samarbejdsorganisation TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 19	
Glasbranche Foreningen Gothersgade 160 1123 København K Tlf. 33 32 23 11 http://www.glasnet.dk/	
Glasindustriens Samarbejdsorganisation Naverland 2 2600 Glostrup Tlf. 43 46 63 23 http://www.glasindustrien.dk/gs	
Dansk Standard Kollegievej 6 2920 Charlottenlund Tlf. 39 96 61 02 http://www.ds.dk/	
Statens Byggeforsknings Institut Postboks 119 2970 Hørsholm Tlf. 45 86 55 33 http://www.sbi.dk/	
Teknologisk Institut Teknologiparken Kongsvangs Alle 29 8000 Århus C Tlf. 72 20 10 00 http://www.teknologisk.dk/	Århus: Robert Knudsen, komponentcentret Taastrup: Lars Olsen Tommy Nielsen
Institut for Bygningsteknik Aalborg Universitet Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg Tlf. 96 35 85 39 http://www.civil.auc.dk/i6/	Henrik Brohus
Energistyrelsen Amaliegade 44 1256 København K Tlf. 33 92 67 00 http://www.ens.dk/	

Noter: