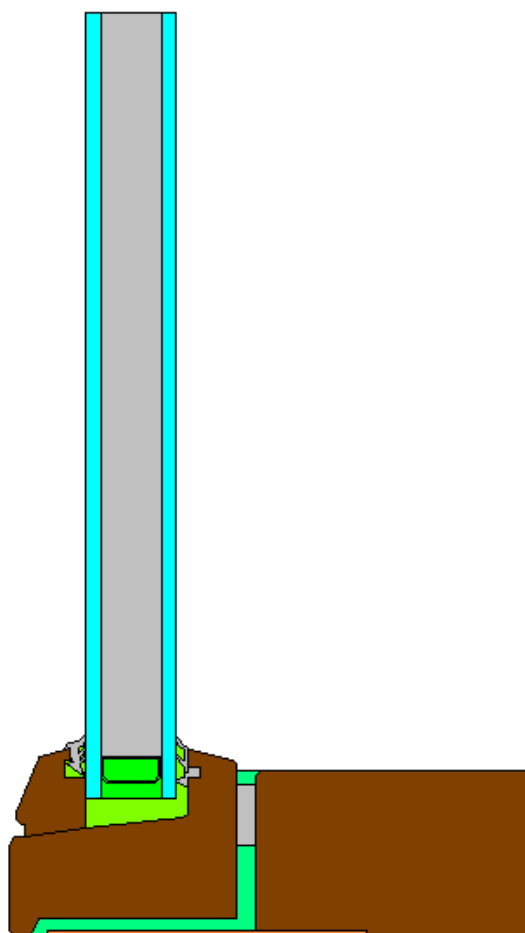


RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

Kompendium 13:

VINDUER MED SMALLE RAMME-KARMPROFILER



Indholdsfortegnelse

FORORD TIL KOMPENDIUM 13.....	4
1 METODE TIL ANALYSE AF BETYDNINGEN AF RAMME- KARMPROFILERS BREDE FOR VINDUETS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER..	6
1.1 VINDUETS VARMETRANSMISSIONSKOEFFICIENT	6
1.2 UDVIDET LINJETAB	6
1.3 TOTAL SOLENERGITRANSMITTANS	7
1.4 ENERGITILSKUD	7
2 EFFEKTEN AF SMALLE RAMME-KARMPROFILER.....	8
2.1 GENERELT	8
2.2 RAMMEKARM PROFILETS INDFLYDELSE PÅ VINDUETS ENERGITILSKUD	8
2.3 SAMMENFATNING	9
3 EKSEMPLER PÅ SMALLE RAMME-KARMPROFILER	10
3.1 DAGSLYS	12
3.2 SMALLE RAMME-KARMPROFILERS BETYDNING FOR ANDRE KLIMASKÆRMSFUNKTIONER	13
3.3 OMKOSTNINGER VED PRODUKTION AF SMALLE RAMME-KARMPROFILER.....	13
4 VINDUER MONTERET I FORSKUDT FALS	14
4.1 RAMME-KARMPROFIL AF BLANDEDE MATERIALER	15
4.2 RAMME-KARMPROFIL AF TRÆ	16
4.3 SAMLET VURDERING AF FORSKUDT FALS	17
5 NÆRE SKYGGERS EFFEKT PÅ DET TOTALE SOLINDFALD GENNEM VINDUER	18
5.1 BESKRIVELSE AF KORREKTIONSKOEFFICIENTER FOR NÆRE SKYGGER.....	18
5.2 BESTEMMELSE AF DEN ØJEBLIKKELIGE SKYGGEKORREKTIONSKOEFFICIENT X_s	19
5.3 BESTEMMELSE AF DEN SAMLEDE SKYGGEKORREKTIONSKOEFFICIENT F_s	21
5.3.1 f_s for vinduets placering i murhullet	22
5.3.2 f_s for udhæng	29
5.4 SKYGGEKORRIGERET ENERGITILSKUD	30
LITTERATUR	32
APPENDIKS A THERM ANTAGELSER	33
APPENDIKS B THERM RESULTATER OG UDREGNINGER.....	34
APPENDIKS C BEREGNINGSEKSEMPEL, VINDUE MED RAMME-KARM AF BLANDEDE MATERIALER MONTERET I FORSKUDT FALS, RETVINKLET.....	35

Forord til kompendium 13

Udviklingen indenfor vinduesområdet har gennem de seneste 20 år betydet en væsentlig forbedring af vinduets energimæssige egenskaber. Udviklingen har dog primært været fokuseret på vinduets transparente del, selve ruden og ikke ramme-karmdelen. Dette har betydet, at en stadig større del af vinduets samlede varmetab relateres til ramme-karmdelen, hvorfor det energi- og totaløkonomisk er blevet mere interessant at videreudvikle ramme-karmkonstruktioner.

En åbenbar udvikling indenfor ramme-karmkonstruktioner er at lave smallere ramme-karmprofiler. Herved opnås et større transparent areal og dermed forøget solindfald gennem den samlede vindueskonstruktion. Ligeledes minimeres ramme-karmens indflydelse på vinduets samlede varmetab.

I kompendiet vises det, hvorledes ramme-karmprofilens dimensioner påvirker vinduets samlede energimæssige egenskaber, herunder varmetab og solenergitilførsel.

Indledningsvist gennemgås den bagvedliggende teori for ramme-karmens betydning i det samlede vindue. Der laves en generel udredning af smallere ramme-karmprofilers indflydelse på energitilskuddet og efterfølgende foretages en undersøgelse af en række konkrete ramme-karmprofiler.

For at vurdere den energimæssige betydning af montering af vinduer i forskudt fals i stedet for lige fals gennemgås forskellige forslag til udformning og placering af falsen.

Endelig opstilles der en metode til at korrigere for de nære skygger, som opstår pga. vinduets placering i murhullet og evt. udhæng og herudfra vurderes det, om skyggeeffekten er større for vinduer med smallere ramme-karmprofiler.

I dette kompendium behandles alene konsekvenserne ved anvendelse af smallere ramme-karmprofiler. Varmetabet fra vinduernes ramme-karmprofiler kan også reduceres ved f.eks. isolering af disse. Dette belyses i kompendium 12.

Ramme-karmprofilens indflydelse på linjetabet for samlingen mellem muren og vinduet belyses i kompendium 14.

Målgruppen for kompendium 13 er hovedsageligt vinduesproducenter, som kan hente inspiration til udvikling af smallere ramme-karmprofiler.

Kompendiet er udført med bevilling fra Energistyrelsen i henhold til lov om statstilskud til produktrettede energibesparelser i projekt: GENEREL UNDERSTØTTELSE AF VIRKSOMHEDERS PRODUKTUDVIKLING, fase 1. Jnr. 75661/00-0008

Følgende har medvirket til udarbejdelsen af kompendiet:

Peter Noyé, Jacob B. Laustsen og Svend Svendsen.

Kompendiet har været til høring hos projektets følgegruppe: Rationel A/S, Velfac A/S, Primo A/S, H.S. Hansen A/S, Rolltech A/S, Teknologisk Institut, Energistyrelsen, Glasbrancheforeningen og V4-Gruppen som består af Storke vinduer A/S, Idealcombi A/S, O. Vinduer og KPK Døre og vinduer.

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

Professor Svend Svendsen
Danmarks Tekniske Universitet
DTU Byg
Bygning 118, Brovej
DK-2800 Kgs. Lyngby
Tlf: 45251854
Fax: 45934430
E-mail: ss@byg.dtu.dk

Denne version af kompendiet med nr.
U-0012 erstatter den tidligere version med
nr. U-056.

Copyright

Copyright © DTU Byg, Danmarks Tekni-
ske 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 egenska-
ber. Kompendium 13: "Vinduer med smalle-
re ramme-karmprofiler".*

*DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet,
januar 2009*

1 Metode til analyse af betydningen af ramme-karmprofilers bredde for vinduets energimæssige egenskaber

Analyse af konsekvenserne ved anvendelse af smallere ramme-karmprofiler undersøges lettest udfra vinduets samlede varmetransmissionskoefficient, U og vinduets totale solenergitransmittans, g -værdien.

Såvel varmetransmissionskoefficient som den totale solenergitransmittans afhænger af ramme-karmprofilens udformning og størrelse, og kan bestemmes udfra udtrykkene som beskrevet i de følgende afsnit.

Ved anvendelse af nedenstående udtryk er det væsentligt, for at kunne opnå sammenlignelige størrelser, at anvende samme rudedtype, og samme udvendige dimensioner på vinduerne.

1.1 Vinduets varmetransmissionskoefficient

I henhold til DS-418 tillæg 1 [1] udregnes varmetransmissionskoefficienten for et vindue udfra nedenstående udtryk:

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

hvor

- A_g er glasarealet [m^2]
- U_g er rudens center U -værdi [W/m^2K]
- l_g er omkredsen af glasarealet [m]
- Ψ_g er den lineære transmissionskoefficient for rudens afstandsprofil [W/mK]
- A_r er ramme-karmarealet i [m^2]
- U_r er ramme-karmprofilens U -værdi [W/m^2K]
- A' er det samlede areal for vinduet [m^2]

Hertil benyttes beregningsprogrammet Therm [4], der er udførligt beskrevet i kompendium 3.

Standardværdier for U_r og Ψ_g findes i DS 418 tillæg 1 [3], men de kan også bestemmes ifølge EN ISO 10077-2 [5] ved en detaljeret beregning af de specifikke konstruktioner.

Ramme-karmprofilens U -værdi fås udfra nedenstående udtryk:

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

hvor

- U_{tot1} er ramme-karmprofilens U -værdi når der er indsat et panel [W/m^2K]
- l_{tot} er den samlede bredde for panelet og ramme-karmkonstruktionen [m]
- U_p er panels U -værdi (udregnes som endimensional værdi) [W/m^2K]
- l_p er panelets bredde (altid 0,190m)
- l_r er ramme-karmkonstruktionens bredde. [m]

Linjetabet beregnes også ved brug af Therm udfra nedenstående udtryk:

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

hvor

- U_{tot2} er ramme-karmkonstruktionens U -værdi, når ruden er indsat, udregnet vha. Therm [W/m^2K]
- U_g er rudens center U -værdi [W/m^2K]
- l_g er rudens bredde i Therm (altid 0,190m)

1.2 Udvidet linjetab

Som beskrevet i kompendium 12 og kompendium 14 kan effekterne af samlingen, væg, ramme-karm og rude beskrives ved det udvidede linjetab. Det udvidede linjetab beskriver de ekstra tilskud til varmetabet som opstår i samlingen mellem væg og ramme-karm og ramme-karm og rude set i forhold til det tilsvarende ved en ideel samling af rude og mur, hvor kun center U -værdierne for ruden og muren indgår.

Regnes der med et udvidet linjetab, er det muligt at beskrive det samlede varmetab for en murkonstruktion inklusiv ramme-karm og vindue ved murens U -værdi, rudens center U -værdi og linjetabet som tillægges over længden af samlingen mellem ramme-karmen og fugen mellem mur og vindue. Det udvidede linjetab udregnes udfra nedenstående udtryk:

$$L = U_{tot3} \cdot l_{tot3} - U_r \cdot l_v - U_{mur} \cdot l_{mur}$$

Hvor

U_{tot3} er den samlede U-værdi for hele mur- og vinduesudsnittets, udregnet vha. Therm [W/m²K]

l_{tot3} er hele mur- og vinduesudsnittets længde [m]

l_v er hele vinduets længde [m]

U_{mur} er murens U-værdi (for endimensionel varmemestrøm) [W/m²K]

l_{mur} er længden af muren og kalfatringsfugen. [m]

Den udvidede linjetabskoefficient, L, er yderligere beskrevet i kompendium 14.

1.3 Total solenergitransmittans

Den totale solenergitransmittans for vinduet bestemmes ved nedenstående udtryk:

$$g = \frac{g_g \cdot A_g + g_r \cdot A_r}{A}$$

hvor

g_g er den totale solenergitransmittans for ruden

A_g er arealet af vinduets transparente del [m²]

g_r er den totale solenergitransmittans for ramme-karm (som regel 0)

A_r er arealer af vinduets ramme-karm [m]

1.4 Energitilskud

Energitilskuddet for et vindue defineres, som den solenergi som transmitteres ind gennem vinduet minus varmetabet ud gennem vinduet. Begge størrelser summeres over fyringsperioden. Energitilskuddet er afhængigt af vinduets U- og g-værdi og udtrykker hvorvidt vinduet bidrager positivt eller negativt til bygningens energibalance. Et positivt energitilskud betyder, at vinduet tilfører huset varme i fyringssæsonen. Energitilskuddet er baseret på et referencehus i fyringssæsonen vha. følgende udtryk:

$$E = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U_{total} \quad [\text{kWh/m}^2]$$

Grundlaget for udtrykket er omtalt i kompendium 1.

2 Effekten af smalle ramme-karmprofiler

2.1 Generelt

Ved anvendelse af smalle ramme-karmprofiler opnås en række fordele både hvad angår varmetransmissionskoefficienten såvel som solenergitransmittansen for det samlede vindue. Det skal understreges, at der i kompendiet fokuseres på vinduer til opvarmningsdominerede bygninger, hvor man ønsker højest muligt energitilskud gennem vinduerne.

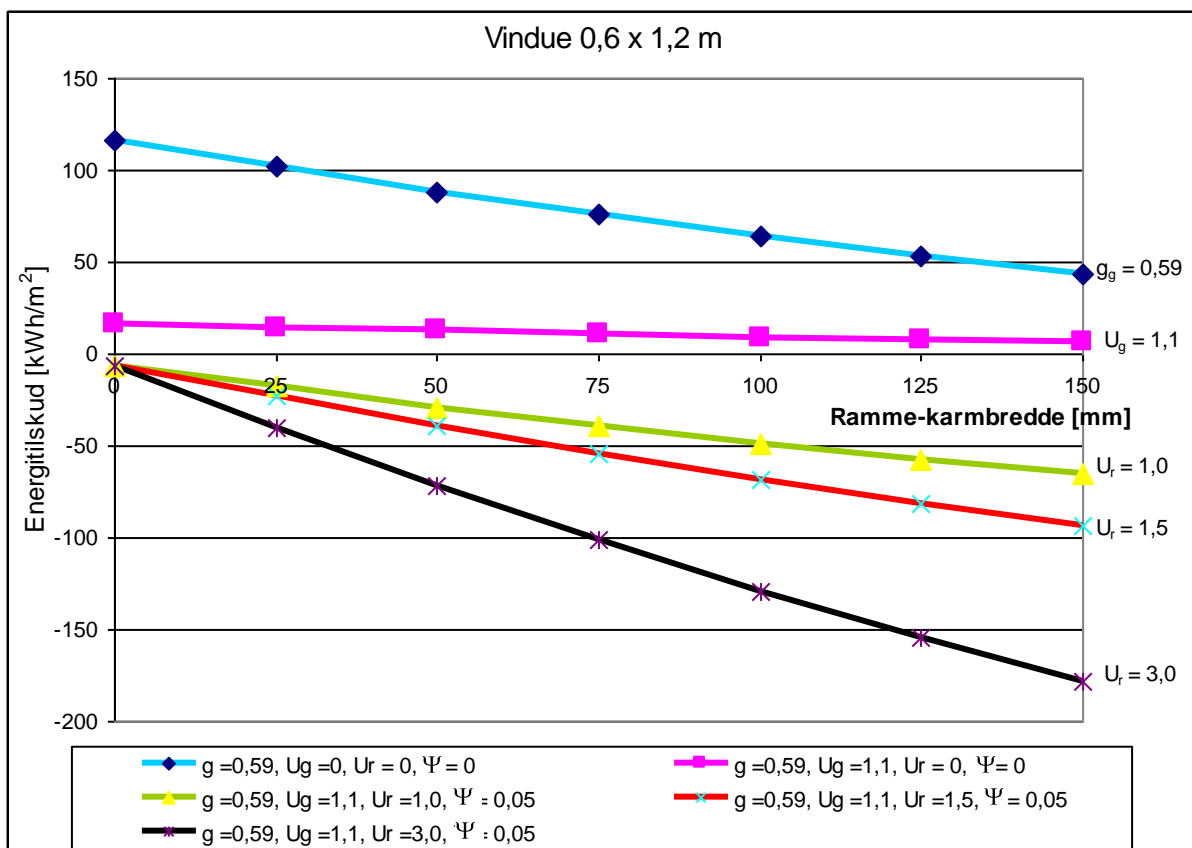
Ved udvikling af energimæssigt bedre vinduer er det nødvendigt at tage hensyn til både varmetabet ud gennem vinduet og den tilførte solenergi ind gennem ruden. Gennem ramme-karmprofilet opnås intet positivt energitilskud, og idet ramme-karmprofilet ydermere ofte har den dårligste U-værdi, kan vinduers samlede energitilskud øges ved at anvende smallere ramme-karmprofiler.

Målet er derfor, at reducere vinduets U-værdi og øge vinduets g-værdi, ved at gøre ramme-karmarealet mindre.

2.2 Rammekarm profilets indflydelse på vinduets energitilskud

Den mest oplagte fordel ved at anvende smallere ramme-karmprofiler er, at glasarealet øges hvorved der opnås et større solindfald ind gennem vinduet med bibeholdt dimensioner for murhullet. Dette er illustreret i Figur 1 og Figur 2, hvor energitilskuddet for forskellige vinduer er optegnet som funktion af ramme-karmprofilets bredde. Sammenhængene er vist for et vindue på 0,6 x 1,2 m og for et vindue på 1,2 x 1,2 m, for at kunne sammenligne ramme-karmbreddens betydning for hhv. et lille og et stort vindue.

Den øverste kurve i Figur 1 og Figur 2 viser energitilskuddet for ruden alene, idet det antages at både rudens og ramme-karmens U-værdi = 0 W/m²K. Dvs. den solenergimængde, som transmitteres ind



Figur 1. Energitilskuddet for vindue på 0,6 x 1,2m som funktion af ramme-karmprofilets bredde.

gennem ruden. Det ses at energitilskuddet falder, når ramme-karmprofilets bredde øges, begrundet i det faldende transparente areal.

I næstøverste kurve medtages også rudens U-værdi altså varmetabet gennem denne, men kun gennem ruden. Idet energitilskuddet er mere afhængigt af g -værdien end U -værdien for den aktuelle rude, reduceres rudens afhængighed af ramme-karmbredden i forhold til energitilskuddet alene. Derudover falder solindfaldet gennem ruden, men glasarealet falder også næsten tilsvarende.

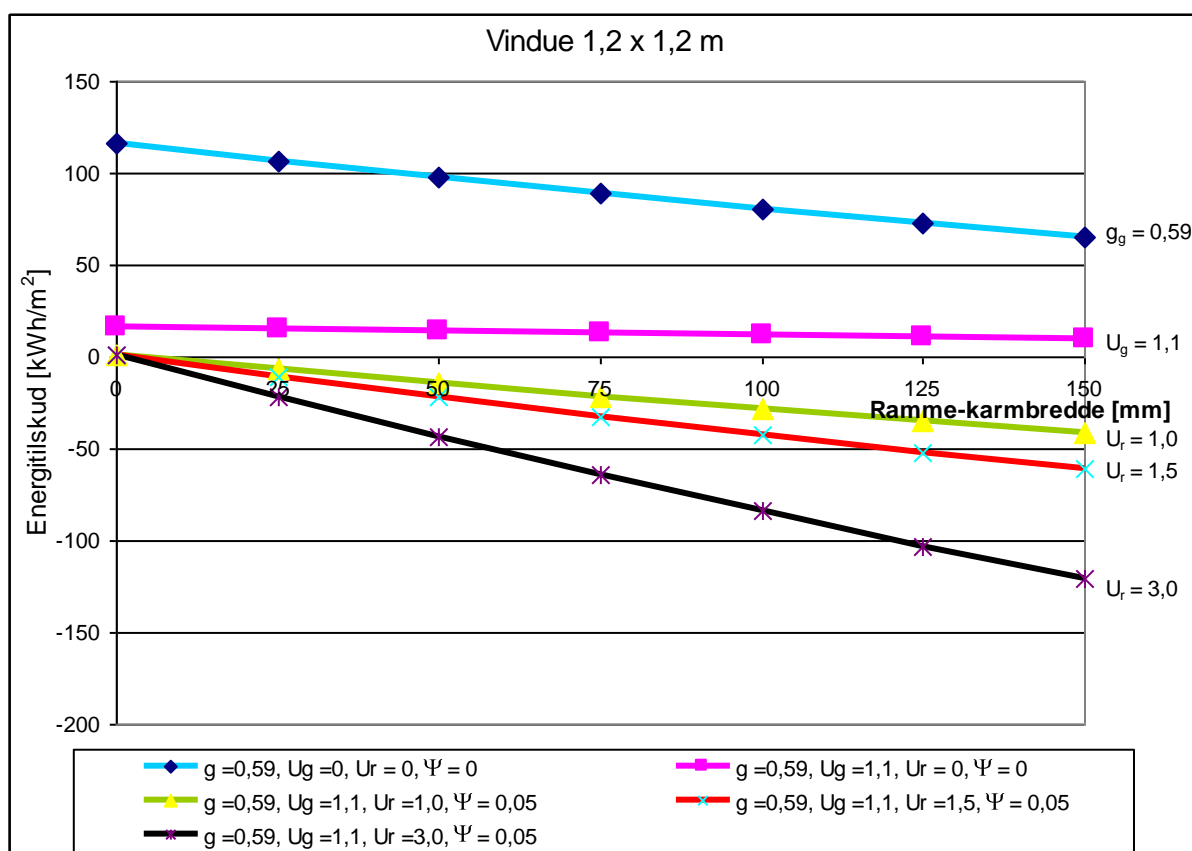
De tre nederste kurver viser det aktuelle energitilskud gennem tre vinduer med samme rude men med forskellige ramme-karmprofiler med U_r -værdier på hhv. 1,0 1,5 og 3,0 W/m^2K . Figuren indikerer, at energitilskuddet falder for alle tre vinduer, når ramme-karmprofilets bredde øges. Det fremgår også, at jo større U_r -værdi jo hurtigere falder energitilskuddet, når ramme-karmbredden øges.

Dette skyldes, at der i det tilfælde hvor U -værdien for ramme-karm og rude næsten er den samme, vil forskellen kun udgøres i det manglede transparente areal, hvor der ikke kan foregå et energitilskud. Derimod vil forskellen ved en høj U -værdi for ramme-karm både udgøres af en meget dårligere U -værdi, et større linjetab, samt manglende energitilskud.

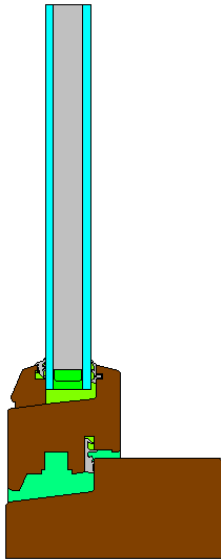
Af Figur 2 fremgår det, at et vindue med U_r på 3,0 W/m^2K har samme energitilskud ved en ramme-karmbredde på 50 mm, som et vindue med U_r på 1,0 W/m^2K har ved en ramme-karmbredde på 150 mm.

2.3 Sammenfatning

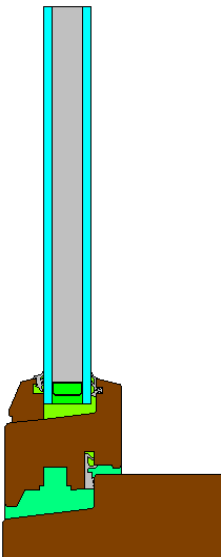
Ud fra Figur 1 og Figur 2 ses det, at jo mindre vinduet er, jo større betydning har bredden af ramme-karmkonstruktionen, idet ramme-karmkonstruktionen ved et mindre vindue udgør en større procentdel af vinduet.



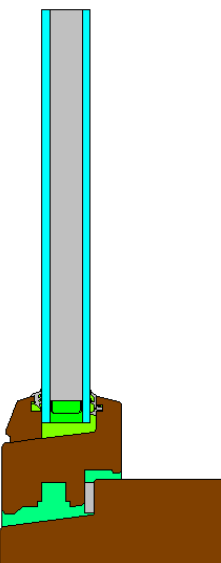
Figur 2. Energitilskuddet for vindue på 1,2 x 1,2m som funktion af ramme-karmprofilets bredde.



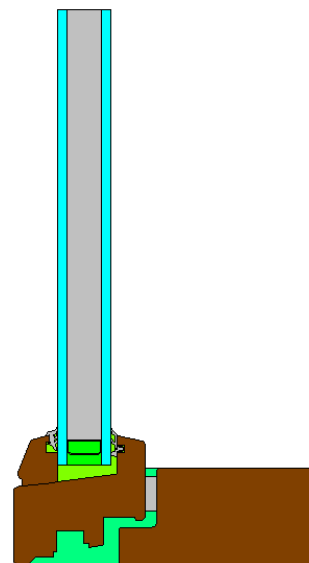
Figur 3, Trævinduets oprindelige udformning. Reference



Figur 4, Trævinduet med smallere karm.



Figur 5, Trævinduet med smallere ramme og karm.



Figur 6, Trævinduet med smallere ramme, rykket ned foran karmen.

3 Eksempler på smalle ramme-karmprofiler

Til illustration af smallere ramme-karmprofilers betydning for de energimæssige egenskaber foretages i det følgende beregninger på vinduer med forskellige ramme-karmprofiler af træ.

Som rude benyttes i alle vinduerne en 2-lags energirude med en U_g -værdi på $1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en g -værdi på $0,59$. Rudens afstandsprofil er af aluminium. De viste eksempler i Figur 3 til Figur 6 er tværsnit af profilerne i siderne af vinduerne, hvor glaslisten er af træ. I bunden af vinduet vil glaslisten ofte være lavet af aluminium.

Trævinduet i sin oprindelige udformning er vist på Figur 3. Dette vindue anvendes som reference. I Figur 4 er vist et tilsvarende vindue hvor karmen er gjort 1 cm smallere, hvilket bevirker, at vinduets transparente areal øges. Rammen er uændret.

I Figur 5 er er det transparente areal øget yderligere ved at lave rammen 0,8 cm smallere. Karmen er den samme som i Figur 4.

I Figur 6 er vist et forslag til et ramme-karmprofil, hvor der er fjernet en del af karmen. Dette giver plads til at rammen kan rykkes længere ned foran karmen, hvorved bredden af profilet reduceres yderligere. Udfræsningen i rammen er bevaret, så det samme monteringsbeslag kan anvendes.

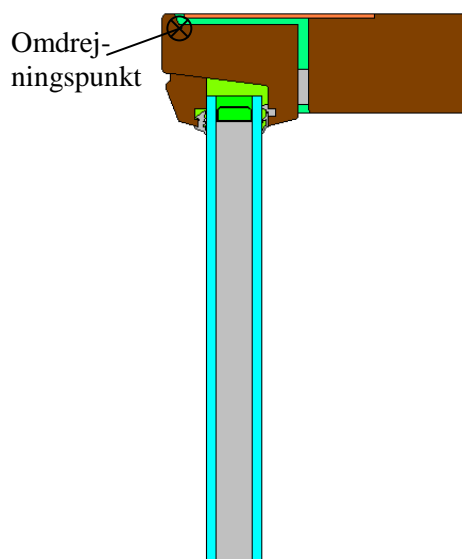
I Figur 7 er vist et forslag til et endnu smallere ramme-karmprofil. Her er den yderste del af karmen fjernet helt, således at rammen kan rykkes helt ud foran karmen, så den flugter med underkanten af karmen. Samtidig er karmen gjort dybere indadtil for at opnå den nødvendige styrke og for at kunne dække over en større del af kuldebroafbrydelsen.

Udfræsningerne i rammen er fjernet, så rammen er mere massiv for at opnå større styrke. Dette betyder, at der skal anvendes et andet ophængningsprincip. F.eks. kan vinduet monteres tophængt. Omdrejningspunktet for tophængt vinduet ved åbning er vist med ⊗ på Figur 7. Placeringen af omdrejningspunktet kan være vigtigt, da der skal være plads til rammens hjørner, når vinduet åbnes.

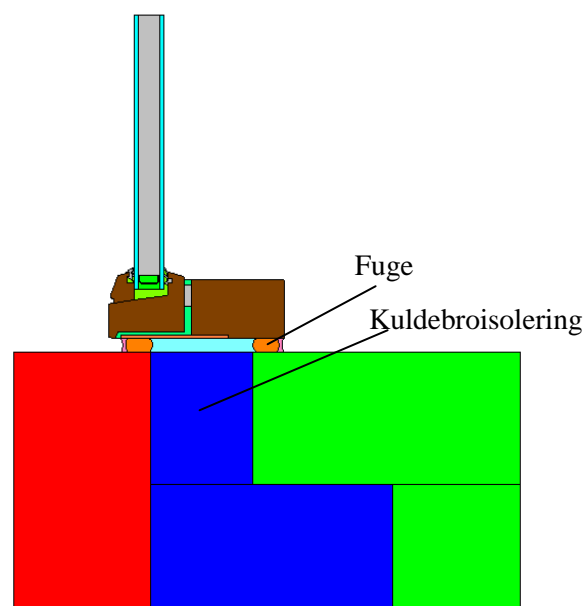
Da ruden så vidt muligt, for at reducere varmetabet, bør placeres i forlængelse af kuldebroafbrydelsen i murfalsen, er der placeret en 2mm plastplade i karmens underkant ud under rammen. Herved kan vinduet rykkes længere ind over kuldebroafbrydelsen, og profilet kan dække over en bredere kuldebroafbrydelse. Vinduets placering i forhold til muren er vist i Figur 8.

For alle ramme-karmudformningerne er U_r og ψ_g fundet ved detaljerede beregninger som omtalt i afsnit 1. Ligeledes er den samlede U-værdi og den totale solenergitransmittans, g, beregnet for de fire vinduer, som alle har en ydre dimension på 1,23m×1,48m. Resultaterne ses i Tabel 1.

Af Tabel 1 fremgår det, at g-værdien generelt forbedres for de smallere ramme-karme, idet glasarealet øges.



Figur 7, Trævinduet (tophængt) med smallere ramme, rykket helt ned foran karmen. Plastplade indsat i karmen for at dække over kuldebroisolering.



Figur 8. Placering af det lille rammekarmprofil over kuldebroisoleringen.

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

Udformning		Bredde Ramme-karm	g-værdi Vindue	U-ramme	ψ (linjetab)	U-total	E (energitil- skud)
		[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/mK]	[W/m ² K]	[kWh/m ²]
Reference	Figur 3	0,1073	0,42	1,39	0,0717	1,39	-44
Smallere karm	Figur 4	0,0973	0,43	1,43	0,0719	1,40	-42
Smallere ramme	Figur 5	0,0893	0,44	1,39	0,0712	1,39	-38
Smallere ramme	Figur 6	0,0625	0,49	1,39	0,0676	1,37	-28
Smallere ramme	Figur 7	0,0532	0,50	1,30	0,0661	1,34	-23

Profilen i Figur 4 og Figur 5 giver kun en beskedent forbedring af g-værdien, mens profilerne i Figur 6 og Figur 7, hvor rammen er rykket ud foran karmen, får betydeligt bedre g-værdier end referencevinduet.

U-værdien for ramme-karmprofilen øges lidt når karmbredden reduceres i Figur 4, men den forbedres, når rammen gøres smallere. Reduktionen af den totale U-værdi for vinduet, forbedres dog noget mindre, hvilket først og fremmest skyldes, at rudens U-værdi relativt betyder mest pga. arealforholdet.

Der opnås ikke nogen forbedring af U_r for profilen ved at gennemføre ændringen fra Figur 5 til Figur 6, men til gengæld reduceres linjetabet, hvilket giver en beskedent forbedring af U_{total} . På den anden side stiger g-værdien væsentligt for ramme-karmprofilen i Figur 6. Dette bevirker også, at energitilskuddet øges betydeligt. De største energimæssige forbedringer fås dog for ramme-karmprofilen i Figur 7, hvor både U_r - og g-værdien forbedres væsentligt, hvilket bevirker, at energitilskuddet stiger fra de oprindelige -44 til -23 kWh/m².

Der kan altså opnås betydelige energibesparelser ved at reducere ramme-karmbredden i vinduer.

Figur 6 og Figur 7 er kun forslag til smallere udformninger ramme-karmprofiler og bør undersøges nærmere mht. styrke, tæthed og holdbarhed mm., før de kan anvendes i praksis. Den endelige udformning kan derfor variere fra den her viste, men forslagene giver et godt indblik i hvilket potentiale der er for energibesparelser ved at reducere ramme-karmbredden i vinduer.

Ifølge afsnit 2, som beskriver effekten af smallere ramme-karmprofiler, opnås der en endnu større effekt ved et vindue med min-

dre dimensioner. For at illustrere dette med et eksempel, er der foretaget beregninger for et vindue med dimensionerne $0,59\text{m} \times 1,19\text{m}$. Resultaterne fremgår af Tabel 2. Da referencevinduet dimensioner er formindsket, udgør ramme-karmen en større del af vinduet, og dermed bliver vinduets g-værdi mindre. Idet både vinduets U-værdi, og g-værdi herved forværres, falder vinduets energitilskud fra -42 ved de oprindelige dimensioner til -78 kWh/m².

Det ses også af Tabel 2, at differencen i de forskellige tiltag stiger, og dermed også ramme-karmens betydning, når vinduets dimensioner gøres mindre. For små vinduer er det således en endnu større fordel at reducere ramme-karmbredden i relation til det samlede energitilskud.

I kompendium 9 og 14 er vist et eksempel på en alternativ vinduesløsning med en endnu smallere ramme-karmkonstruktion og endnu bedre energimæssige egenskaber. I dette vindue er der anvendt tre lag glas med usædvanlig stort mellemrum, og rude og ramme er kombineret i en mere samlet konstruktion.

3.1 Dagslys

En anden fordel ved anvendelse af smallere ramme-karmkonstruktioner er, at der opnås en øget dagslystransmission, idet det transparente areal af vinduet er øget. Dette er en fordel fordi det giver øget komfort for beboerne i bygningen. Den øgede dagslystransmission betyder endvidere, at der kan spares på elregningen til elektrisk belysning. Forholdene om dagslystransmission er ikke behandlet nærmere her, men der henvises til By og Bygs dagslysprojekt med J. nr. 75661/99-0003.

Tabel 2. Beregnede energimærkningsdata for vinduer med dimensionerne: $0,59\text{m} \times 1,19\text{m}$

Udformning		Bredde Ramme-karm	g-værdi Vindue	U-ramme	ψ (linjetab)	U-total	E (energitilskud)
		[m]	[-]	[W/m ² K]	[W/mK]	[W/m ² K]	[kWh/m ²]
Reference	Figur 3	0,1073	0,31	1,39	0,0717	1,54	-78
Smallere karm	Figur 4	0,0973	0,33	1,43	0,0719	1,55	-75
Smallere ramme	Figur 5	0,0893	0,35	1,39	0,0712	1,53	-70
Smallere ramme	Figur 6	0,0625	0,42	1,39	0,0676	1,51	-54
Smallere ramme	Figur 7	0,0532	0,44	1,30	0,0661	1,47	-47

3.2 Smalle ramme-karmprofilers betydning for andre klimaskærmsfunktioner

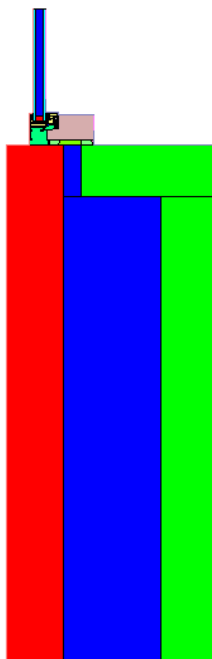
Udover at forbedre vinduets energimæssige egenskaber er det vigtigt, at vinduets øvrige klimaskærmsfunktioner bevares. Næmlig at afskærme påvirkninger fra udeklimaet, så der opnås et komfortabelt indeklima i huset. Det er vigtigt, at det smallere ramme-karmprofil konstrueres således, at det stadig er regntæt og samtidig leder overskydende vand væk fra konstruktionen så fugt og rådskader undgås. Derudover sætter de styrkemæssige forhold begrænsninger for, hvor smal rammen kan være, idet den udover at kunne bære sig selv og ruden, skal kunne modstå trykpåvirkninger mm. og der skal være plads til montering af beslag.

Der er ikke umiddelbart nogle problemer med at opfylde de øvrige klimaskærmsfunktioner mht. vind- og regntæthed, for de nævnte ramme-karmforslag idet den udvendige side af rammen er uændret. Der vil i toppen af vinduet ikke være den store forskel på den foreslåede konstruktion og de løsninger, der anvendes i dag mht. tæthed. For at vurdere de statiske egenskaber er det nødvendigt at gennemføre praktiske tests af de styrkemæssige forhold samt holdbarheden i det hele taget.

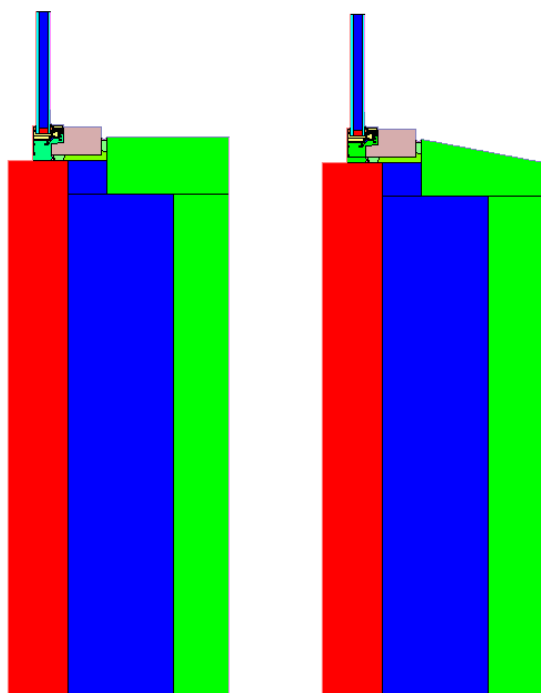
3.3 Omkostninger ved produktion af smalle ramme-karmprofiler

Som det fremgår af Figur 3 til Figur 7 er der ikke store konstruktionsmæssige forskelle på de foreslåede ramme-karmprofiler. Der er primært tale om forskelle på godstykkelsen.

Det vurderes, at omkostningerne i forbindelse med produktion af smallere ramme-karmkonstruktioner ikke vil være højere end for traditionelle profiler. Der er dog sandsynligvis ekstraomkostninger forbundet med selve omstillingen af produktionen, men på længere sigt vil dette næppe have betydning. Altså må det forventes, at de nye produkter kan produceres til samme pris som de nuværende.



Figur 9. Vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i lige fals. Reference



Figur 10. Vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i forskudt fals, hhv. retvinklet og skrå

4 Vinduer monteret i forskudt fals

En række elementer fra princippet omkring smalle ramme-karmprofiler kan opnås ved montering af vinduet i forskudt fals, idet der i en forskudt fals opnås en højere solenergitransmittans i forhold til det indvendige murhul sammenlignet med en lige fals. Samtidig kan anvendelse af forskudt fals bevirke, at det udvidede linjetab L -værdien for samlingen og U -værdien for den samlede konstruktion reduceres.

I Figur 9 er vist en almindelig montering af et ramme-karmprofil af blandede materialer i en lige fals. I det viste eksempel anvendes en forholdsvis smal kuldebroisolering, idet karmen skal kunne dække over den.

I Figur 10 er vist to eksempler på montering i henholdsvis retvinklet og skrå forskudt fals. Sidstnævnte montering reducerer skyggeeffekter af lysningen og forøger således dagslystilgangen til opholdszonen. I Figur 11 er vist tilsvarende eksempler på montering i henholdsvis retvinklet og skrå forskudt fals, men hvor falsen er rykket op, så den flugter med karmen.

Montering i en forskudt fals stiller pr. definition krav om forskellige dimensioner af murhullet i for- og bagmur. Brug af forskudt fals kan være værdifuldt med hensyn til fastgørelse og fugning af vinduer samt i arkitektonisk sammenhæng (idet rammen ikke kan ses indefra). I forbindelse med monteringen antages en tolerance på 3-5 mm for det præfabrikerede letbetonelement og karmen. Ved samtidig at affase 5 mm af kanterne på letbetonelementet og karmen opnås tilfredsstillende samlinger.

Der er i det følgende udført beregninger af de energimæssige egenskaber for ramme-karmprofiler monteret i forskudte false ved brug af beregningsprogrammet Therm og principperne fra DS418, tillæg 4 [6].

Til beregningerne er anvendt et referencevindue med de ydre mål 1,23 x 1,48 m og en 2-lags energirude med en center U -værdi på 1,13 W/m²K og med en g -værdi på 0,59. Beregningerne er gennemført for hhv. et vindue med en ramme-karm i blandede materialer og et vindue med et ramme-karmprofil af træ.

4.1 Ramme-karmprofil af blandede materialer

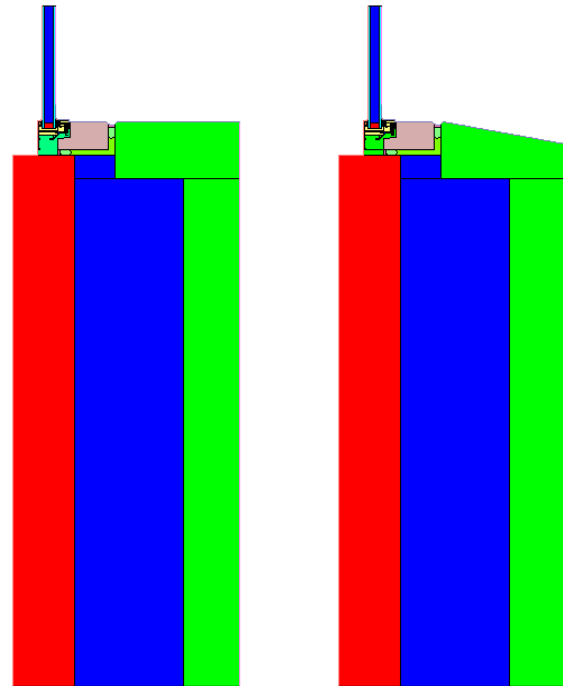
Det her anvendte ramme-karmprofil i blandede materialer udgør med en ramme-karmbredde på ca. 56 mm et i forvejen forholdsvis smalt ramme-karmprofil. Rammen er af aluminium og plast. Karmen er af træ. Med denne sammensætning opnås en U_r -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og et linjetab på $\psi = 0,05 \text{ W/mK}$.

Af sammenligningshensyn er der udregnet energitilskud for et facadestykke inkl. vindue med dimensionerne $2\text{m} \times 2,3\text{m}$. Der tages udgangspunkt i et vindue med de ydre dimensioner $1,23\text{m} \times 1,48\text{m}$. Der er dog medtaget et beregningseksempel på samme vindue i dimensionerne $1,29\text{m} \times 1,54\text{m}$, svarende til at det indre murhul har samme dimensioner som ved montering i lige fals. Vinduet er monteret i et facadestykke, som udefra og indefter er opbygget af 108mm tegl, 190mm isolering, 100mm porebeton og 70mm kuldebroisolering.

I Tabel 3 ses U -værdi og energitilskud for hhv. referencevinduet og muren, og i Tabel 4 ses U -, g - og L -værdier (se afsnit 1.2) for hele konstruktionsudsnittet for de fem konstruktioner skitseret i Figur 9 - Figur 11.

De totale U -værdier i Tabel 4, er udregnet ud fra en vægtning af rudens og murens U -værdi og dertil er lagt det udvidede linjetab, som også inkluderer effekter af ramme-karmprofilet.

Den totale solenergitransmittans er ligeledes baseret på de $2\text{m} \times 2,3\text{m}$, og er dermed en vægtning af rudens g -værdi på $0,59$ samt ramme-karmens og murens g -værdi på $0,0$.



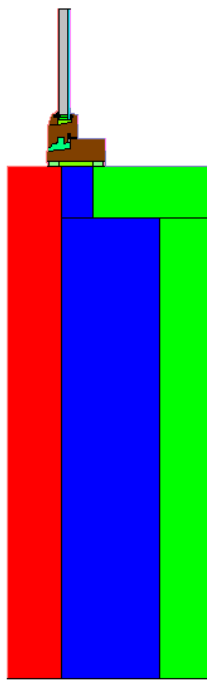
Figur 11. Vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i forskudt fals, hhv. retvinklet og skrå og med overkanten af falsen flugtende med karmen.

Tabel 3. U -værdi og energitilskud for referencevinduet af blandede materialer (Figur 9) og for den rene mur

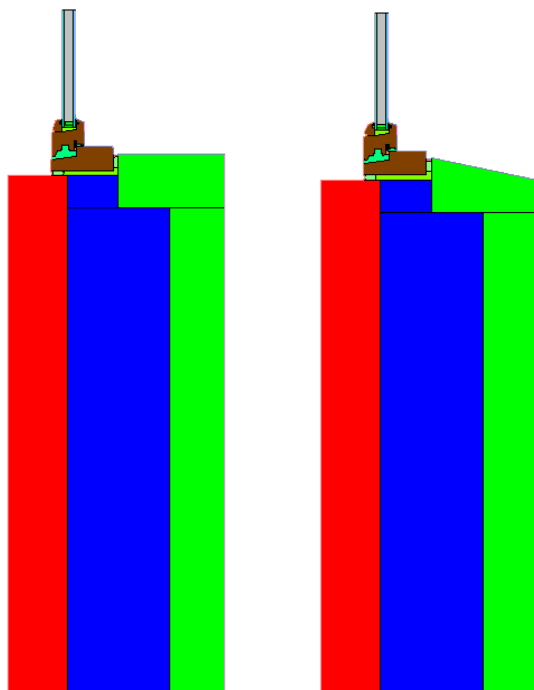
	U -værdi [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Energitilskud [kWh/m^2]
Vindue	1,55	-40,9
Mur	0,176	-15,9

Tabel 4. Energitilskud for $2 \times 2,3 \text{ m}$ mur med vindue med ramme-karmprofil af blandede materialer

Falstype	Dimensioner ydre murhul [m]	U -værdi total [$\text{W/m}^2\text{K}$]	g -værdi total [-]	L -værdi [W/mK]	Energitilskud [kWh/m^2]
Lige (Reference)	$1,23 \times 1,48$	0,835	0,197	0,239	-36,8
Forskudt retvinklet	$1,23 \times 1,48$	0,798	0,197	0,208	-33,5
Forskudt retvinklet	$1,29 \times 1,54$	0,844	0,216	0,208	-33,7
Forskudt retvinklet flugter	$1,23 \times 1,48$	0,790	0,197	0,201	-32,7
Forskudt retvinklet flugter	$1,33 \times 1,58$	0,866	0,230	0,201	-33,0
Forskudt skrå	$1,23 \times 1,48$	0,798	0,197	0,207	-33,4
Forskudt skrå	$1,29 \times 1,54$	0,843	0,216	0,207	-33,7
Forskudt skrå flugter	$1,23 \times 1,48$	0,790	0,197	0,200	-32,7
Forskudt skrå flugter	$1,33 \times 1,58$	0,865	0,230	0,200	-33,0



Figur 12. Ramme-karm af træ monteret i lige fals. Reference



Figur 13. Ramme-karm af træ monteret i forskudt fals, hhv. retvinklet og skrå.

I appendiks C ses et eksempel på en detaljeret beregning for et vindue monteret i forskudt fals.

Sammenlignes resultaterne, ses at der opnås en lille forbedring i energitilskuddet ved at montere ramme-karmen i en forskudt fals, idet både U- og L-værdien reduceres. Energitilskuddet stiger yderligere når det forskudte falselement rykkes op så det flugter med karmen. Samtidigt skal det noteres, at det ved montering i en forskudt fals er muligt at forøge g-værdien relateret til det indvendige murhul uden at forøge dimensionen af dette (se g-værdien i række 2 til 3 og række 4 til 5 osv. i Tabel 4).

4.2 Ramme-karmprofil af træ

Ramme-karmprofilet som blev brugt som reference i afsnit 3, Figur 4, er ligeledes undersøgt i forskudt fals.

Beregninger er udført analogt til det beskrevne i afsnit 4.1. Dog er murkonstruktionens kuldebroisolering i falsen forbedret fra 70mm til 95 mm. Dette er begrundet i træramme-karmprofilets større dybde. Igen ses det af Figur 12, at ramme-karmprofilet kun kan dække over en forholdsvis smal kuldebroisolering. Dette problem kan løses ved montering i forskudt fals, som vist i Figur 13 og Figur 14.

Beregningerne er her udført for henholdsvis en lige fals (Figur 12) og for en forskudt hhv. retvinklet og skrå fals (Figur 13). Tilsvarende er der udført beregninger for montering i hhv. retvinklet og skrå forskudt fals, hvor falsen er rykket op, så den flugter med karmen (Figur 14). De beregnede resultater fremgår af Tabel 6 og Tabel 5.

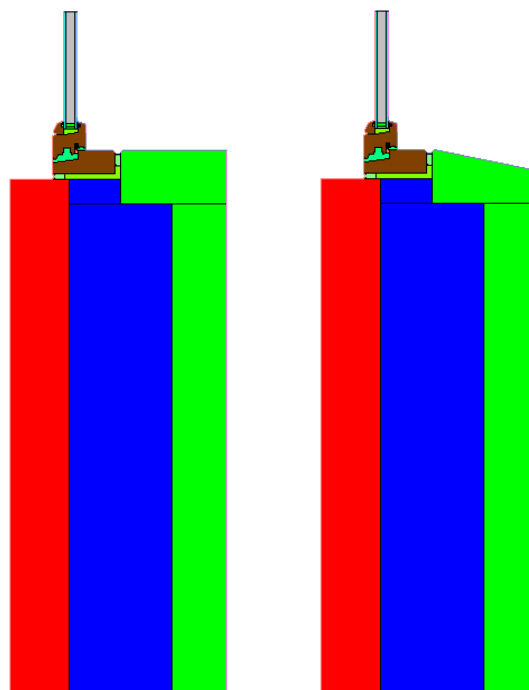
Af Tabel 5 ses det igen, at der netto er en marginal forbedring i energitilskuddet til opholdszonen ved montering i forskudt fals. Som I forrige afsnit er der her foretaget beregninger for et vindue af en sådan størrelse at det indvendige murhuls dimensioner bibeholdes i forhold til montering i lige fals. Herved opnås et større lys- og solenergiindfald i relation til dimensionerne af det indre murhul. Resultaterne i Tabel 5, række 2 og 4, 6, 8 og 10 viser samtidigt at dette er sket uden at forøge opvarmningsbehovet.

4.3 Samlet vurdering af forskudt fals

Samlet viser resultaterne i Tabel 4 og Tabel 5, at der kan opnås forbedringer af de energimæssige egenskaber ved at montere vinduer i forskudt fals i stedet for lige fals. Om der anvendes skrå eller retvinklet forskudt fals har ifølge ovenstående beregninger stort set ingen betydning for den samlede konstruktions energimæssige egenskaber. Den energimæssige forbedring er størst når falselementet rykkes helt op, så overkanten flugter med karmen.

Forbedringerne er dog generelt så små, at det ikke alene ud fra et energimæssigt synspunkt kan betale sig, at montere vinduer i forskudt fals. At der ikke opnås en større energimæssig gevinst ved montering i forskudt fals, skyldes bl.a., at en del af muren herved udskiftes med vindue som har en højere U-værdi. For sydvendte vinduer vil energitilskuddet være en del større og dermed bedre end muren. Til gengæld er der en byggeteknisk fordel idet vinduet kan monteres over en bred kuldebroisolering ved at fugen fastgøres indvendig på falselementet.

Der er ikke umiddelbart problemer med opnåelse af de øvrige sædvanlige klimaskærmsfunktioner i forhold til udeklimaet ved montering af vinduer i forskudt fals, idet den udvendige side af konstruktionen er uændret. Derimod ændres den indvendige side af mur/vindueskonstruktionen, da ruden går længere ud til muren. Vinduesmonteringen i forskudt fals medfører således, at det indvendige murareal øges, og at vindueslysningerne og vinduespladen rykkes længere ind mod ruden. Disse ændringer har primært betydning i arkitektonisk henseende og for den praktiske anvendelse af vinduet (placering af urtepotter mm).



Figur 14. Ramme-karm af træ monteret i forskudt fals, hhv. retvinklet og skrå og med overkanten af falsen flugtede med karmen.

Tabel 6. U-værdi og energitilskud for referencevinduet af træ (Figur 12) og for den rene mur.

	U-værdi [W/m ² K]	Energitilskud [kWh/m ²]
Vindue	1,45	-49
Mur	0,176	-16

Tabel 5, Energitilskud for 2×2,3 m mur med vindue med ramme-karmprofil af træ

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	0,746	0,171	0,164	-33,9
Forskudt retvinklet	1,23×1,48	0,722	0,171	0,143	-31,7
Forskudt retvinklet	1,29×1,54	0,764	0,189	0,143	-31,9
Forskudt retvinklet flugter	1,23×1,48	0,716	0,171	0,138	-31,2
Forskudt retvinklet flugter	1,33×1,58	0,786	0,202	0,138	-31,4
Forskudt skrå	1,23×1,48	0,722	0,171	0,143	-31,7
Forskudt skrå	1,29×1,54	0,764	0,189	0,143	-31,9
Forskudt skrå flugter	1,23×1,48	0,717	0,171	0,138	-31,2
Forskudt skrå flugter	1,33×1,58	0,787	0,202	0,138	-31,5

5 Nære skyggers effekt på det totale solindfald gennem vinduer

Effekten af de nære skygger, som opstår pga. vinduets placering i muren og evt. udhæng og fremspring samt skygger fra vinduets ramme-karmprofil er ikke inkluderet i de sædvanlige energimærkningsdata for ruder og vinduer. Disse skygger har dog indflydelse på hvor meget solvarme der i realiteten tilføres det bagvedliggende rum gennem vinduet.

Ved anvendelse af vinduer med smallere ramme-karmprofiler øges g -værdien for vinduet, men de vinduesnære skygger vil få relativt større betydning for det samlede solindfald, idet det transparente areal går længere ud mod muren. Denne skyggeeffekt kan således (dog i mindre grad) modvirke førnævnte fordel ved den øgede g -værdi i forbindelse med smalle ramme-karmprofiler (se afsnit 3).

Ved at inkludere effekterne af varierende indfaldsvinkel og de vinduesnære skygger kan den resulterende effekt på det totale solenergiinddrag gennem vinduer ved forskellige orienteringer og klimaer beregnes.

Effekten af de nære skygger fra murhullets sider og/eller udhæng og fremspring kan bestemmes ved hjælp af detaljerede bygningssimuleringsprogrammer. Sådanne programmer er dog ofte tidskrævende at bruge og er derfor ikke egnede til i praksis at foretage hurtige vurderinger og sammenligninger af forskellige vinduesprodukter.

For at tilvejebringe en mere direkte måde at sammenligne vinduesprodukter, er der derfor i dette afsnit optegnet kurver med skyggekorrektionskoefficienter for solenergiinddraget for forskellige murhulsdybder og ramme-karmprofiler. Ved hjælp af kurverne kan man således bestemme skyggekorrektionen for forskellige udhæng og murhulsdybder samt ramme-karmprofiler i vinduer. Ved at kombinere skyggekorrektionen med det sædvanlige udtryk for energitilskuddet beskrevet i kompendium 1 (eller energitilskudsdiagrammerne), kan det skyggekorrigerede energitilskud for vinduer bestemmes.

Korrektionskoefficienterne for de nære skygger er opstillet som linieværdier efter samme princip som den lineære transmissionskoefficient Ψ for varmetab. Dvs., at den lineære skyggekorrektionskoefficient er et udtryk for det solenergiinddrag, som tilbageholdes pga. skygger pr m skygge giver.

Korrektionskoefficienterne er beregnet ud fra solalgoritmer beskrevet i [7] kombineret med geometriske skyggeforholdsregninger på timebasis, som kan beregne den tilførte solenergiindmængde gennem et vindue, idet der tages hensyn til de nære skygger.

5.1 Beskrivelse af korrektionskoefficienter for nære skygger

Energitilskuddet gennem et vindue kan bestemmes ved hjælp af udtrykket:

$$Q_{\text{energitilskud}} = Q_{\text{sol}} - Q_{\text{tab}} \quad [\text{kWh}]$$

hvor

Q_{sol} er solindfaldet ind gennem vinduet [kWh]

Q_{tab} er varmetabet ud gennem vinduet [kWh]

(se også kompendium 1)

Det tilsvarende energitilskud korrigeret for de vinduesnære skygger bestemmes som:

$$Q_{\text{energitilskud,net}} = Q_{\text{sol,net}} - Q_{\text{tab}} \quad [\text{kWh}]$$

hvor

$Q_{\text{sol,net}}$ er det skyggekorrigerede solindfald som transmitteres ind gennem vinduet [kWh]

I dette udtryk er det kun det første led, $Q_{\text{sol,net}}$, som påvirkes af de nære skygger.

Dette bestemmes som:

$$Q_{\text{sol,net}} = \sum_{\text{fyr/som}} (\Phi_{\text{sol,net}}) \Delta t \quad [\text{kWh}]$$

hvor

$\Phi_{\text{sol,net}}$ er det skyggekorrigerede solindfald pr tidsskridt [kW]

fyr/som indikerer at der regnes for fyrringssæsonen eller sommerperioden

Δt er længden af tidsskridtet [h].

Ved beregningerne er det kun den direkte solstråling, som er korrigeret for de nære skygger. At korrigere den diffuse og reflekterede del af solstrålingen er kompliceret, idet samtidig med at skyggegeveren vil forhindre en del diffus solstråling, vil det direkte og diffuse solindfald på skyggegeveren kunne reflekteres og dermed bidrage til solindfald. Der er altså tale om to modsatrettede effekter, som kun kan beregnes ved et detaljeret kendskab til skyggegeveren mht. refleksion. Dette er illustreret i Figur 15. Der er derfor i denne undersøgelse ikke taget højde for skyggeeffekten på den diffuse og reflekterede solstråling. Dette svarer til at forudsætte at de to modsatrettede effekter er omtrent ens.

Dette betyder, at det er nødvendigt at tage udgangspunkt i det oprindelige udtryk for solindfaldet, hvor der korrigeres for g -værdiens afhængighed af indfaldsvinklen i . Dette er yderligere beskrevet i kompendium 1 appendiks B.

Det skyggekorrigerede solindfald $\Phi_{sol,net}$ beregnes ved udtrykket:

$$\Phi_{sol,net} = g \left(H_{dir} \cdot \left(1 - \tan^p \left(\frac{i}{2} \right) \cdot (A_g - x_s \cdot l_s) \right) + (H_{diff} \cdot f \cdot A_g) \right)$$

hvor

g er rudens totale solenergitransmittans for vinkelret solstråling

H_{dir} er den direkte solbestrålingsstyrke på vinduet [W/m²]

H_{diff} er den diffuse solbestrålingsstyrke på vinduet [W/m²]

p er vinkelafhængighedsfaktoren
 i er solstrålingens indfaldsvinkel [°].
 f er en faktor der korrigerer den totale solenergitransmittans for diffus solstråling.

A_g er vinduets glasareal [m²]

l_s er længden af ruden (parallelt med skyggegeveren) der udsættes for skygger [m].

x_s er den øjeblikkelige bredde af skyggen på ruden for den aktuelle skyggegever [m].

Korrektionen for de nære skygger baseres altså direkte på arealet af glasset som dækkes af skygger.

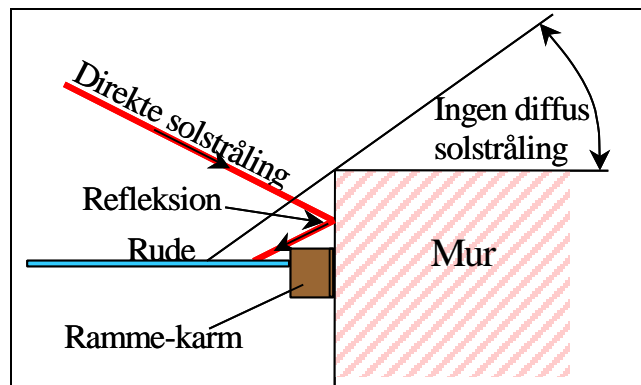
x_s vil blive anvendt i det kommende energitilskudsprogram, som vil kunne beregne

energitilskud for ruder og vinduer i konkrete situationer. Programmet udarbejdes i forbindelse med færdiggørelsen af kompendium 7.

Den samlede lineære skyggekorrektionskoefficient f_s over en periode (fx fyringssæsonen) bestemmes som en vægtet middelværdi af x_s m.h.t. solbestrålingsstyrken og g -værdien i hvert tidsskridt. Dette beskrives yderligere i afsnit 5.3.

5.2 Bestemmelse af den øjeblikkelige skyggekorrektionskoefficient x_s

Den øjeblikkelige skyggekorrektionskoefficient x_s opdeles i princippet i fire bidrag svarende til hver af de fire sider af vinduet.



Figur 15 Vandret snit i vinduesfals. De vinduesnære omgivers indflydelse på solstråling. Muren giver en skygge, men kan også medføre ekstra refleksion.

Idet der kun korrigeres for den direkte del af solstrålingen antages det dog, at der ikke forekommer nogen skyggepåvirkning fra mur-vinduesamlingen ved vinduets bund, og skyggekorrektionskoefficienten fra bunden af vinduet sættes derfor lig 0.

Det betyder, at korrektionskoefficienten x_s for de nære skygger er opdelt i tre koefficienter $x_{s,v}$, $x_{s,h}$ og $x_{s,t}$ for hhv. venstre side, højre side og toppen svarende til de tre af vinduets sider som påvirkes af nære skygger.

Hver af de tre koefficienter bestemmes for specifik orientering og geometriforhold. I Figur 16 er principperne for skyggeberegningerne vist. Det ses, at skyggeeffekten afhænger af geometriforholdene for samlingen af vindue og mur og ramme-karmens bredde og dybde.

Skyggerne opdeles i en primær skygge, som dannes fra hjørnet af murhullets forkant og en sekundær skygge, som dannes af vinduets ramme-karmprofil. Overgangen fra den primære til den sekundære skygge bestemmes af den kritiske vinkel v_k . I Figur 16 er dette illustreret for et sydvendt vindue. På tidspunkter hvor solens azimut er numerisk større end den kritiske vinkel dannes skyggen af murhullet - altså den primære skygge. Når solens azimut passerer den kritiske vinkel overtager den sekundære skygge fra rammekarmprofilen, indtil azimut er lig med 0° . Tilsvarende forløb i omvendt rækkefølge gælder for vinduets modsatte side. For vinduets overkant er skyggerne en funktion af både azimut og solhøjde $h\phi_{sol}$. Den sekundære skygge er i reglen væsentligt mindre end den primære skygge, men kan i visse situationer have nogen betydning. For at kunne regne på vilkårligt orienterede vinduer, omskrives solens azimut az_{sol} til en orientering $az_{sol-vin}$, som er solens azimut minus vinduets orientering az_{vin} .

$$az_{sol-vin} = az_{sol} - az_{vin} \quad [^\circ]$$

Skygger i venstre og højre side:

(benævnelserne fremgår af Figur 16)

Kritisk vinkel:

$$v_k = \text{Arctan} \left(\frac{x_{gm}}{y_{gm} - y_{gr}} \right)$$

Skyggelængde:

$$v \geq v_k: \quad x_{s,pri} = y_{gm} \cdot \tan(az_{sol-vin}) - x_{gm}$$

$$v \leq v_k: \quad x_{s,sek} = y_{gr} \cdot \tan(az_{sol-vin})$$

Skygger i toppen:

Der benyttes samme geometri som i Figur 16, dog udledes formlerne ved at se på trekantene i et plan der indeholder solstrålen.

Kritisk vinkel:

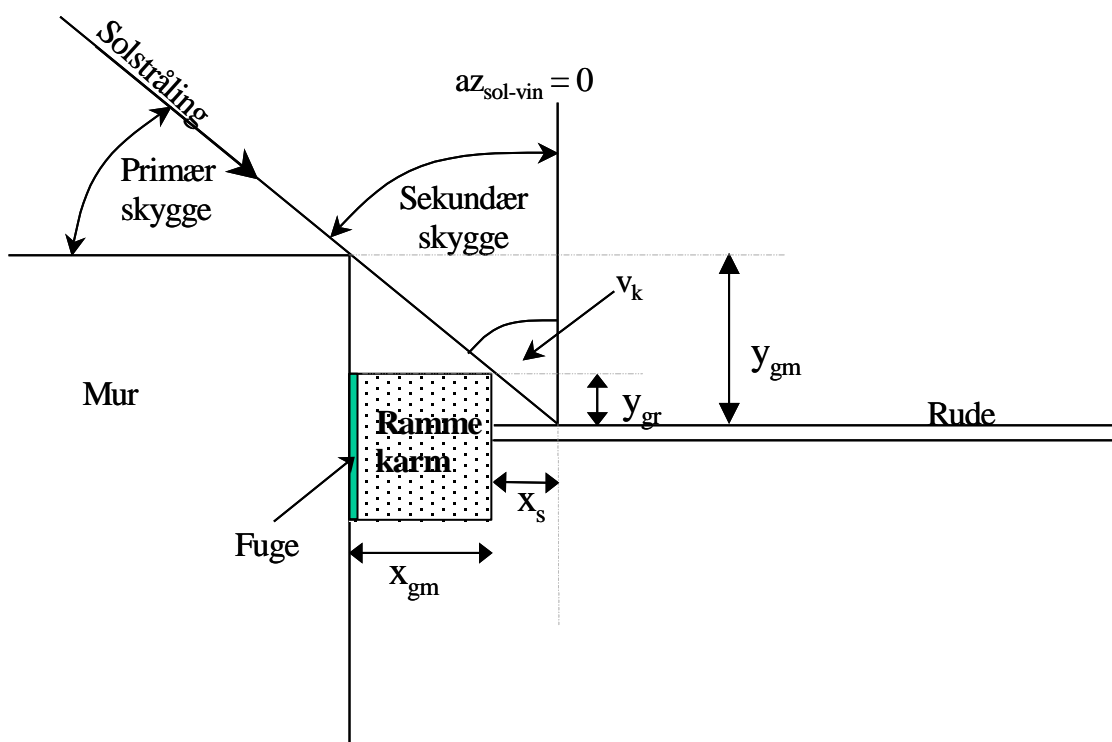
$$v_k = \text{Arctan} \left(\frac{x_{gm}}{(y_{gm} - y_{gr}) / \cos(az_{sol-vin})} \right)$$

Skyggelængde:

$$v \geq v_k: \quad x_{s,pri} = y_{gm} \cdot \frac{\tan(h\phi_{sol})}{\cos(az_{sol-vin})} - x_{gm}$$

$$v \leq v_k: \quad x_{s,sek} = y_{gr} \cdot \frac{\tan(h\phi_{sol})}{\cos(az_{sol-vin})}$$

x_s er en øjebliksværdi som gælder for det indeværende tidsskridt.



Figur 16. Vinduesnære skygger på sydvendt vindue. Skyggen dannes enten fra murhullets kant eller fra vinduets ramme-karmprofil.

x_{gm} er den samlede bredde af kalfatringsfugen og ramme-karmprofilet.

Det er i alle beregningerne antaget, at kalfatringsfugen er 10 mm tyk. Dvs. at ramme-karmbredden er lig $x_{gm} - 0,01$ m.

Betydningen af at de enkelte skygger overlapper hinanden i hjørnerne på visse tidspunkter er negligeret.

5.3 Bestemmelse af den samlede skyggekorrrektionskoefficient f_s

Ud fra de øjeblikkelige skyggekorrrektionskoefficienter $x_{s,v}$, $x_{s,h}$ og $x_{s,t}$ beskrevet i foregående afsnit 5.2, bestemmes de tilsvarende samlede skyggekorrrektionskoefficienter $f_{s,v}$, $f_{s,h}$ og $f_{s,t}$, som gælder for en længere periode (fx fyringssæsonen).

Hver enkelt f_s -værdi bestemmes som en vægtet middelværdi af den tilsvarende x_s m.h.t. solbestrålingsstyrken og g-værdien i hvert tidsskridt.

De tre midlede korrrektionskoefficienter får således også enheden [m] og er et udtryk for skyggekorrrektionen pr. m skygge giver over en samlet periode, hvor hver koefficient udtrykker hvor meget middelbredden af skyggen er.

De lineære skyggekorrrektionskoefficienter er bestemt for forskellige vindue/murgeomterier for fyringssæsonen (24/9 – 13/5) samt for sommerperioden (14/5 – 23/9). Beregningerne er foretaget vha. en række sol- og skyggealgoritmer i programmet Matlab[11]. Der er anvendt timer som tidsskridt og vejrdata er hentet fra referenceåret DRY [8] for København. Solalgoritmerne er baseret på [7].

Betydningen af skyggerne fra selve ramme-karmprofilet er for typiske vinduer som nævnt væsentligt mindre end den primære skygge fra muren. Den skyggegivende del af rammen er kun glaslisten som for typiske vinduer er mellem 0,5 og 2 cm tyk. Glaslisten er endvidere for de fleste vinduer skrånende udad, hvilket betyder, at skyggen fra glaslisten bliver yderligere reduceret. Betydningen af glaslistens skyggepåvirkning af f_s er vist i Tabel 7 og Tabel 8, hvor der er regnet for hhv. vindue uden glasliste, svarende til at ruden sidder helt fremme i plan med rammens yderkant, og vindue med 2

cm tyk glasliste, som går vinkelret ud fra ruden. Ramme-karmbredden for begge vinduer er 10 cm. Murhuldsdybden er afstanden fra glassets yderside til murens yderkant (Y_{gm} på Figur 16).

Det ses af Tabel 7 og Tabel 8, at skyggeeffekten fra glaslisten er ganske lille. Afvigelsen af f_s er størst for små murhuldsdybder, idet skyggen fra murkanten her i størstedelen af tiden falder på vinduesrammen/karmen. Afvigelsen bliver dog aldrig større end ca. 0,011 m i tilfældet med ramme-karmbredde på 10 cm, og den vil være endnu mindre ved smallere ramme-karmbredder. Dette er ganske lidt i forhold til det samlede areal af typiske vinduer. Da ovenstående værdier endvidere er beregnet med en glasliste, som er tykkere end i de fleste typiske vinduer, er det derfor valgt, at se bort fra skyggeeffekten fra glaslisten i de efterfølgende beregninger.

Tabel 7. Skyggekorrrektionskoefficienter uden glasliste

Murhuldsdybde [m]	$f_{s,v}$ [m]	$f_{s,h}$ [m]	$f_{s,t}$ [m]
0,00	0,000	0,000	0,000
0,07	0,003	0,002	0,001
0,12	0,010	0,009	0,010
0,52	0,122	0,112	0,197

Tabel 8. Skyggekorrrektionskoefficienter med glasliste på 2 cm

Murhuldsdybde [m]	$f_{s,v}$ [m]	$f_{s,h}$ [m]	$f_{s,t}$ [m]
0,00	0,007	0,006	0,011
0,07	0,008	0,007	0,011
0,12	0,013	0,012	0,016
0,52	0,123	0,113	0,197

Det er ved beregningerne antaget, at skyggekorrektionskoefficienterne er uafhængige af vinduets højde og bredde, på trods af at skyggearealet pr m i praksis vil blive en anelse større jo større vinduet er, idet skyggen på visse tidspunkter vil nå over til den modsatte side af vinduet. Denne fejl er større jo større murhulsdybden eller udhængt/fremspringet er. I Tabel 9 er procentvise forskel på skyggekorrektionskoefficienterne beregnet for vinduer med H x B på hhv. på 1 x 1 og 10 x 10 m, idet der er taget hensyn til vindernes geometri.

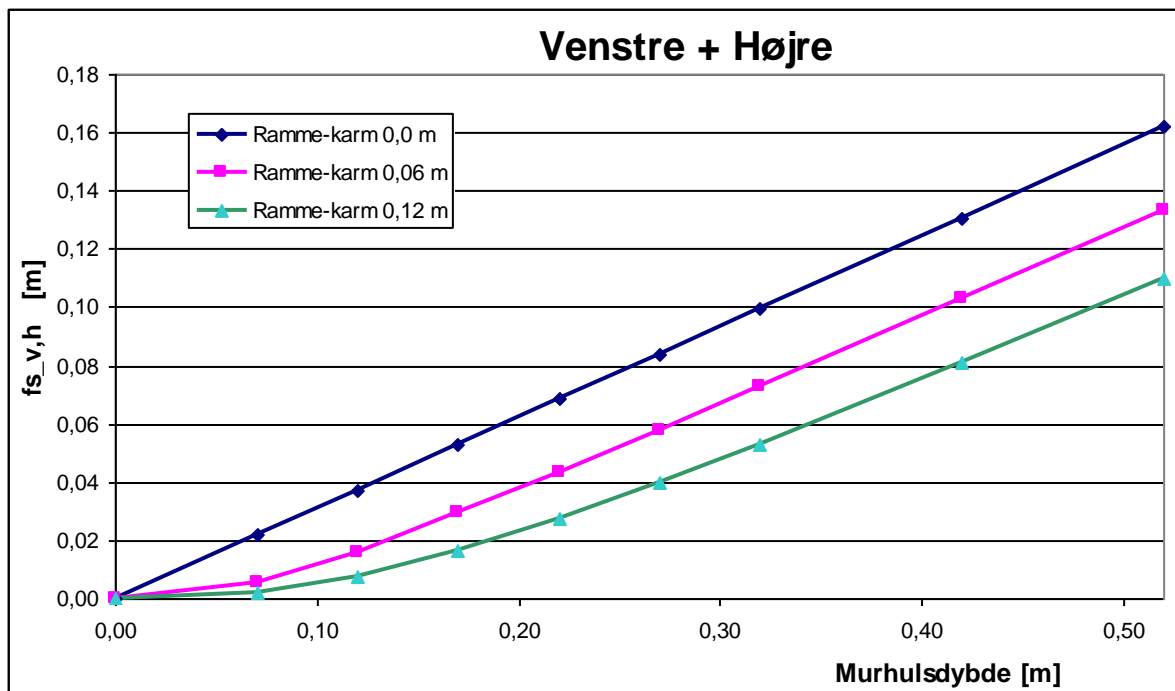
Af Tabel 9 fremgår det, at fejlprocenten for skyggegivere på op til 25 cm i vindue på 1 x 1 m er ganske lille, men når murhulsdybden stiger over 50 cm øges fejlen. Det er på dette grundlag valgt at bestemme skyggekorrektionskoefficienterne uafhængigt af dimensionerne på vinduerne, svarende til at vinduerne regnes uendeligt store. Dette svarer til at koefficienterne for hhv. venstre og højre side er uafhængige af bredden og koefficienterne for toppen er uafhængige af højden. Dette sikrer samtidig, at man altid er på den sikre side. Det betyder dog, at skyggekorrektionskoefficienterne kun er gældende for lodrette skyggegivere hvis længde ikke overstiger halvdelen af vinduets bredde og vandrette skyggegivere hvis længde ikke overstiger halvdelen af vinduets højde.

5.3.1 f_s for vinduets placering i murhullet

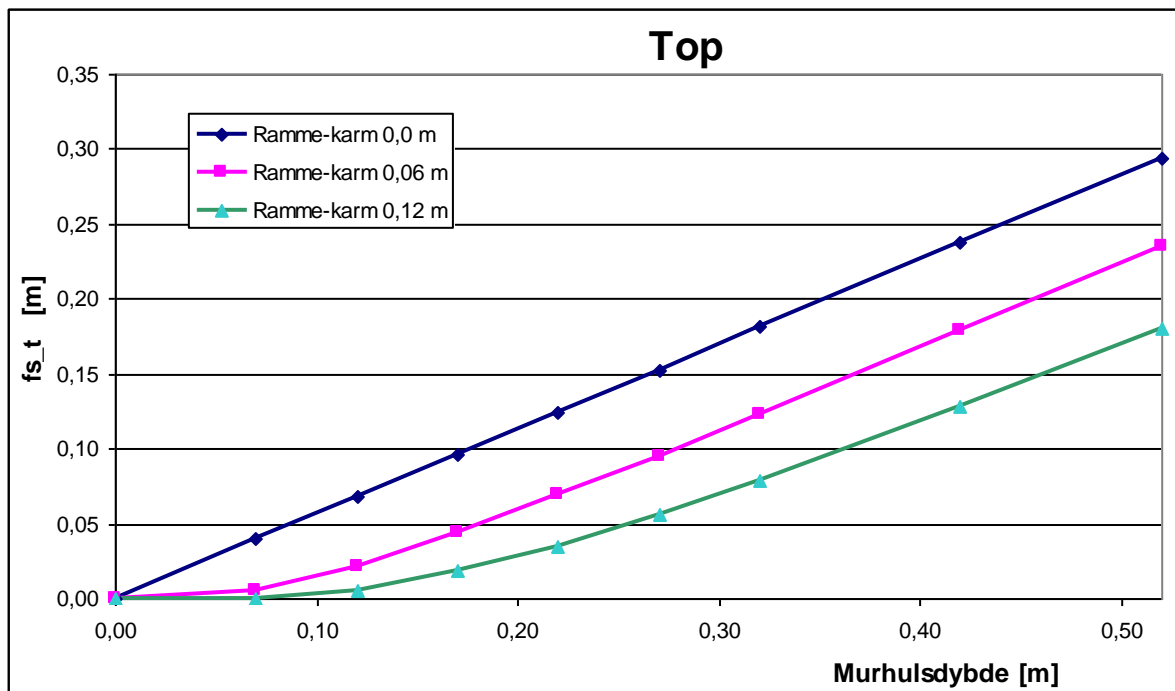
På de følgende sider er skyggekorrektionskoefficienterne f_s vist for forskellige udformninger af skyggegivere (murhulsdybde) for hhv. syd-, vest-, øst- og nordvendte vinduer vist. Da solindfaldet og skyggepåvirkningen fra øst og vest for sydvendte vinduer er næsten ens, (blot modsat rettet) er $f_{s,v}$ og $f_{s,h}$ slået sammen som middelværdier. Dette er gjort for alle de fire orienteringer, da geometriforholdene i begge sider af typiske vinduer er ens, på trods af at skyggepåvirkningen for højre og venstre side af vinduer orienteret mod øst eller vest er meget forskellig. Samtidig er figurerne for vinduer vendt mod øst og vest slået sammen. Kurverne for f_s for venstre + højre gælder således for skyggerne i begge sider af vinduet på én gang. Ved anvendelse af f_s for venstre og højre side skal der således ganges med 2, svarende til længden af hhv. højre og venstre side af vinduet.

Tabel 9. Procentvis forskel på skyggekorrektionskoefficienter for vindue på 1x1m og vindue på 10x10 m.

Murhulsdybde [cm]	$f_{s,1x1} / f_{s,10x10}$ [%]		
	Venstre	Højre	Top
5	100	100	100
10	100	100	100
15	100	99	100
20	99	99	100
25	98	98	100
30	97	97	100
40	95	95	100
50	93	93	100
100	79	80	91
200	56	57	68

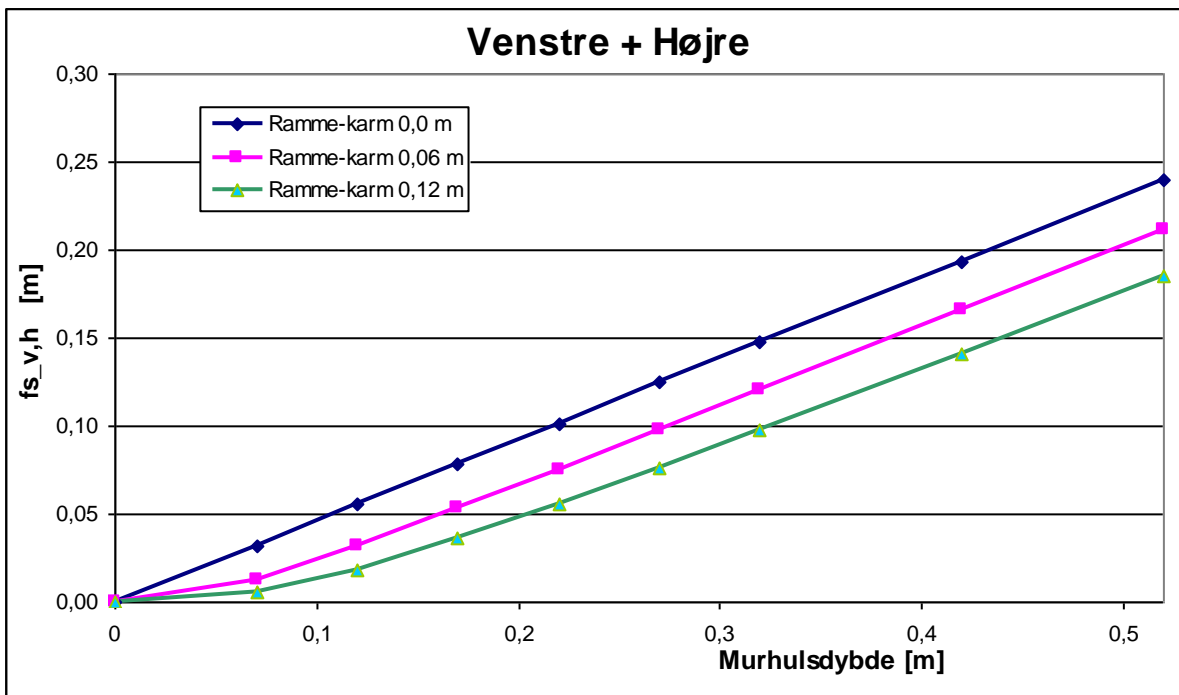


A. Middelværdi $f_{s,v,h}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s,v,h} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$

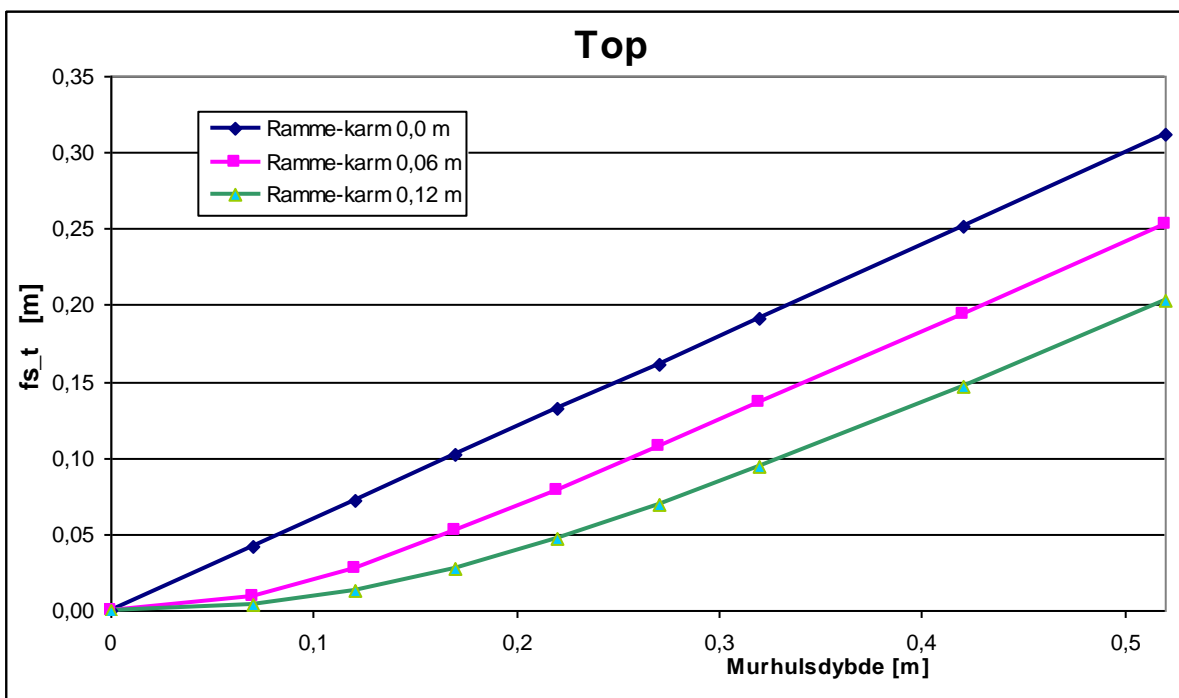


B. f_s for toppen af vinduer

Figur 17. Skyggekorrektionskoefficienter for forskellige ramme-karmbredder for syd- vendte vinduer i fyringssæsonen. Ramme-karmbredderne er inklusiv kalfatringsfugen på 10 mm.

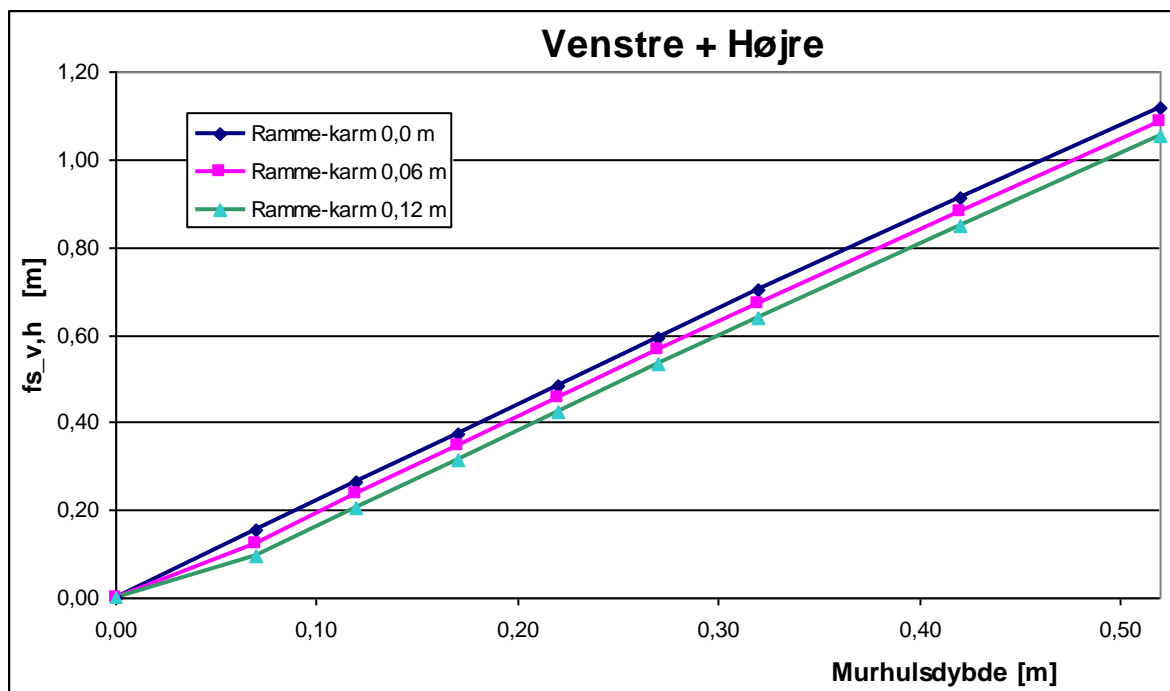


A. Middelværdi $f_{s_{v,h}}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s_{v,h}} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$

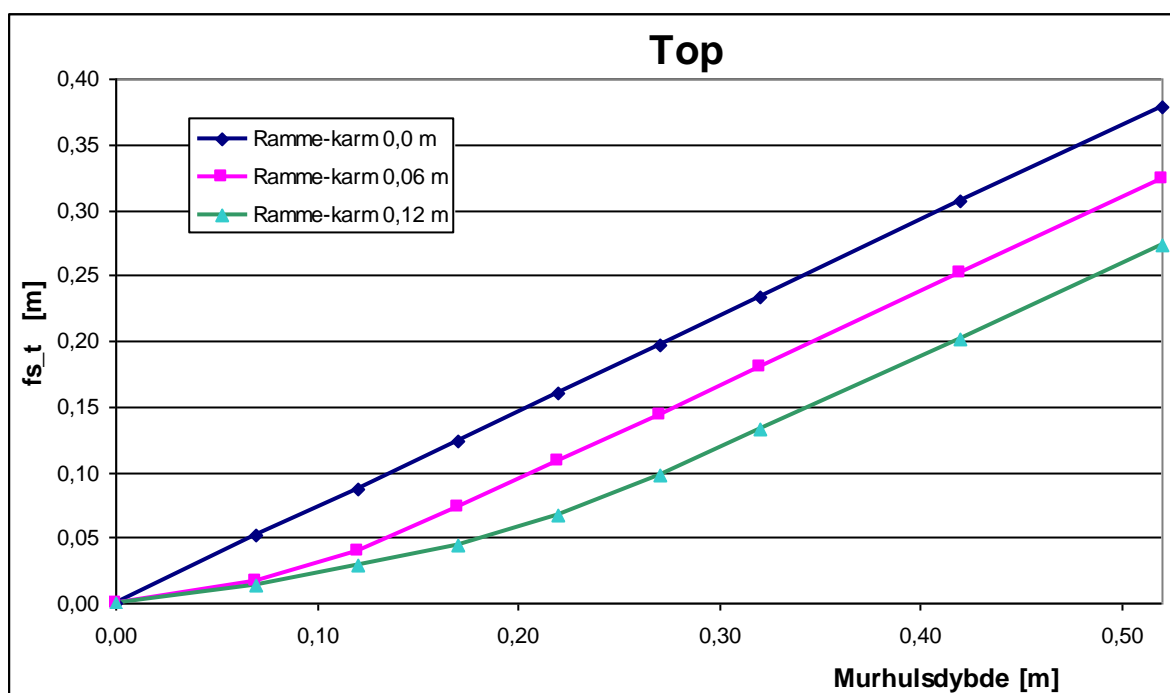


B. f_s for toppen af vinduer

Figur 18. Skyggekorrektionskoefficienter for forskellige ramme-karmbreder for øst/vestvendte vinduer i fyringssæsonen. Ramme-karmbrederne er inklusiv kalfatningsfugen på 10 mm.

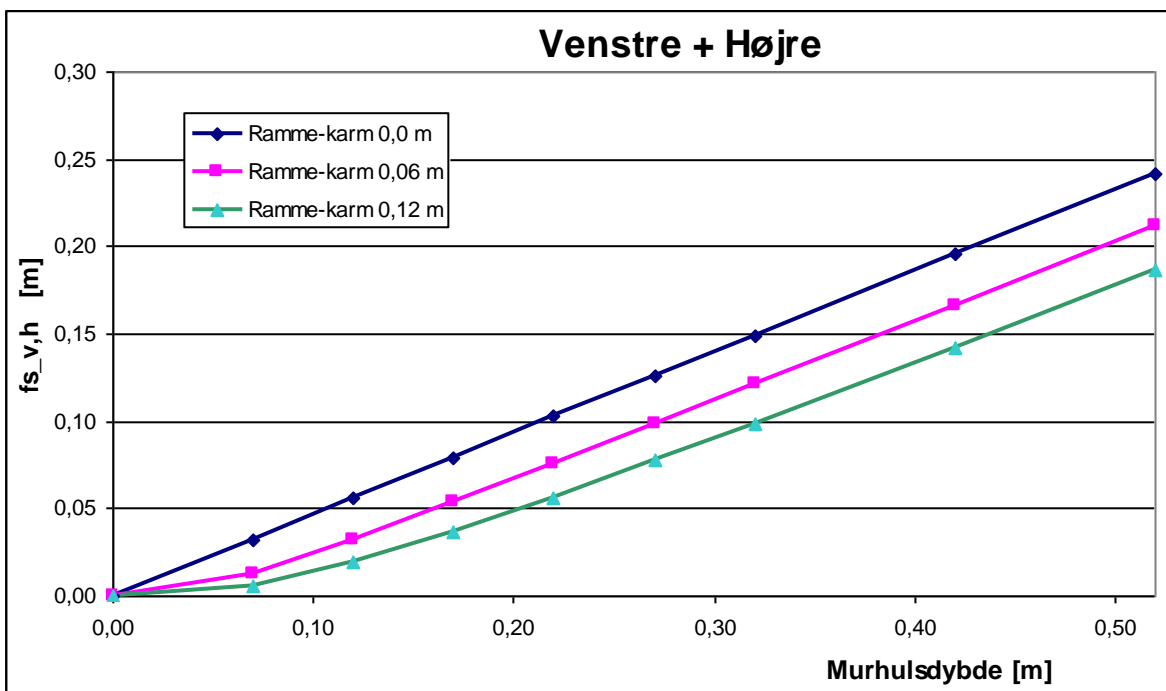


A. Middelværdi $f_{s,v,h}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s,v,h} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$

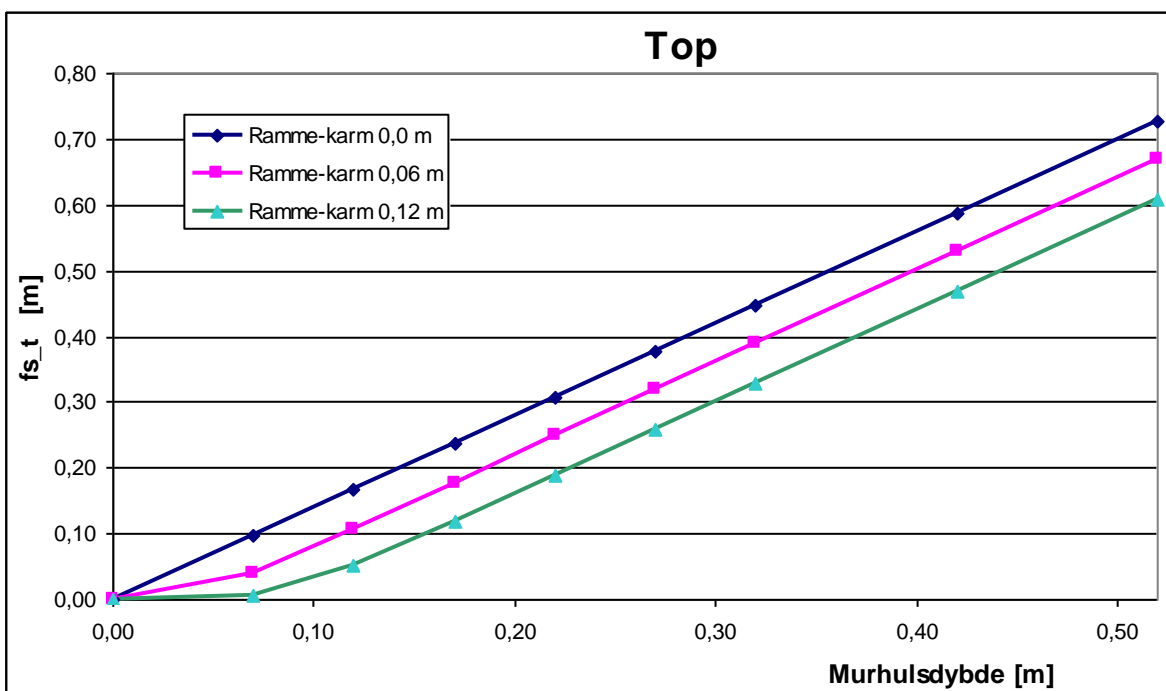


B. f_s for toppen af vinduer

Figur 19. Skyggekorrigeringskoefficienter for forskellige ramme-karmbredder for nordvendte vinduer i fyringssæsonen. Ramme-karmbredderne er inklusiv kalfatringsfugen på 10 mm.

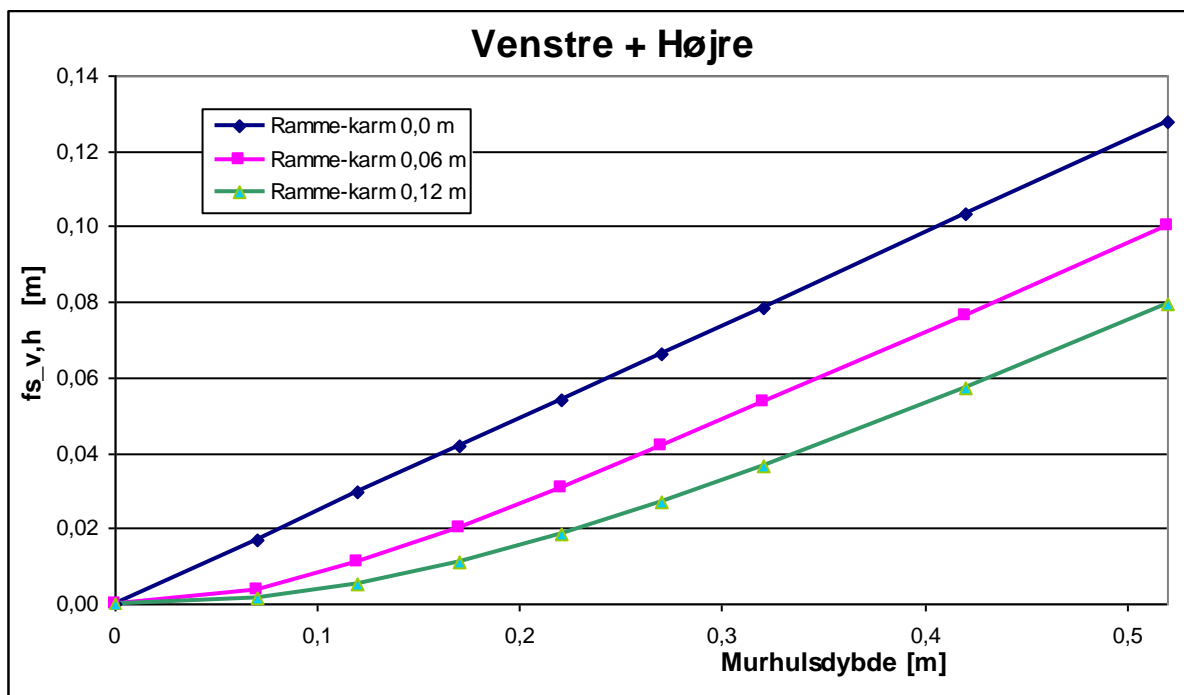


A. Middelværdi $f_{s_{v,h}}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s_{v,h}} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$

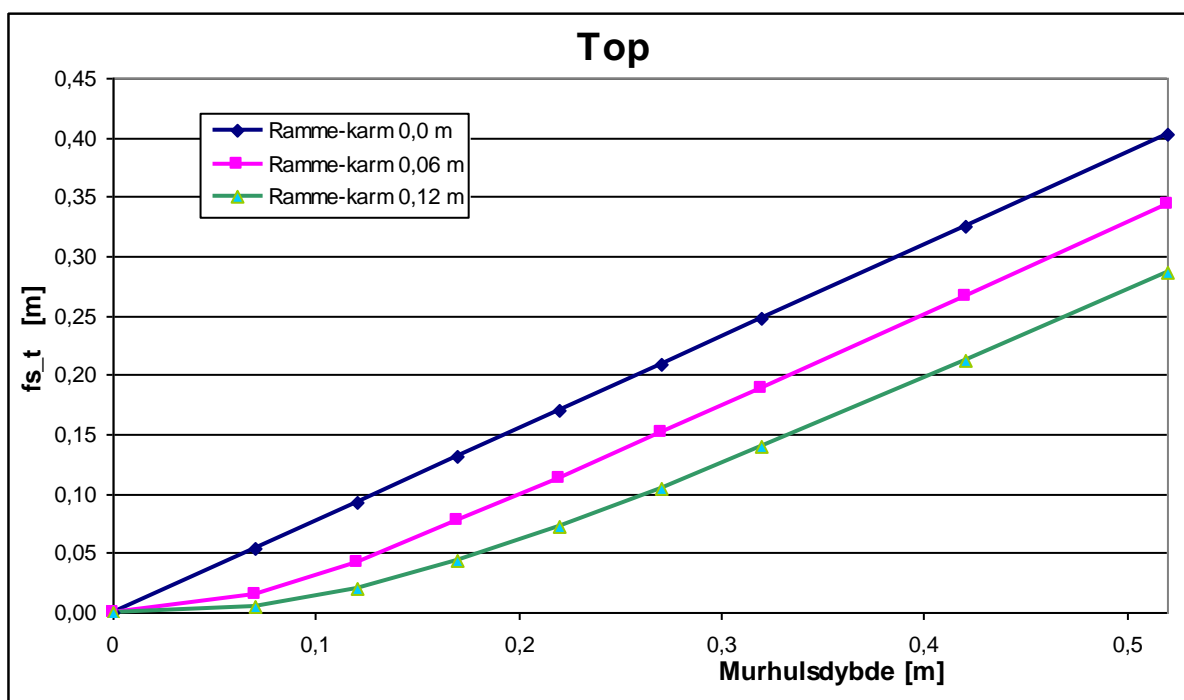


B. f_s for toppen af vinduer

Figur 20. Skyggekorrektionskoefficienter for forskellige ramme-karmbredder for syd- vendte vinduer i sommerperioden. Ramme-karmbredderne er inklusiv kalfatringsfugen på 10 mm.

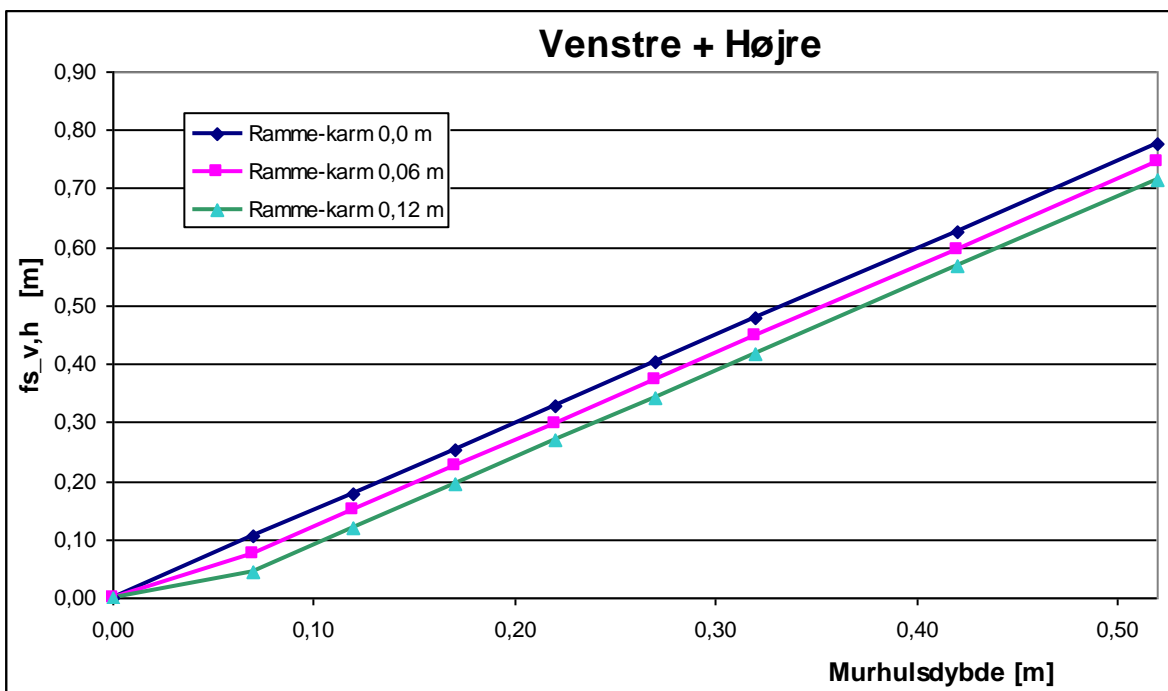


A. Middelværdi $f_{s_{v,h}}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s_{v,h}} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$

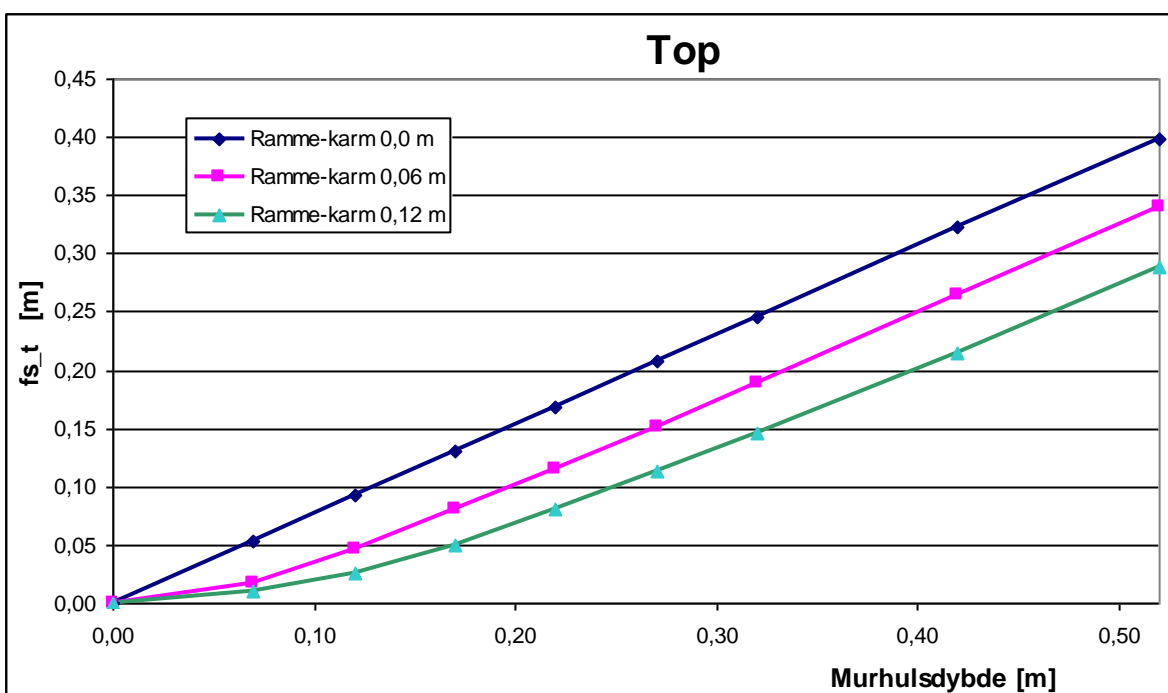


B. f_s for toppen af vinduer

Figur 21. Skyggekorrektionskoefficienter for forskellige ramme-karmbredder for øst/vestvendte vinduer i sommerperioden. Ramme-karmbredderne er inklusiv kalfatringsfugen på 10 mm.



A. Middelværdi $f_{s,v,h}$ af f_s fra højre og venstre side. $f_{s,v,h} = \frac{f_{s,v} + f_{s,h}}{2}$



B. f_s for toppen af vinduer

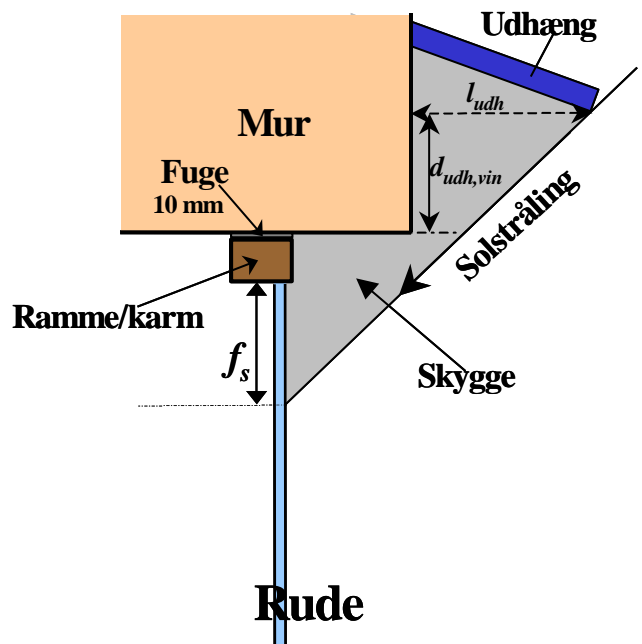
Figur 22. Skyggekorrektionskoefficienter for forskellige ramme-karmbreder for nordvendte vinduer i sommerperioden. Ramme-karmbrederne er inklusiv kalfatringsfugen på 10 mm.

Det fremgår af Figur 17 til Figur 22, at skyggekorrektionskoefficienterne øges når ramme-karmbredden reduceres. Dvs. at effekterne af de vinduesnære skygger får større betydning for vinduer med smallere ramme-karmprofiler. Skyggekorrektionskoefficienterne viser imidlertid, at de vinduesnære skygger kun har lille betydning for solindfaldet gennem vinduet og dermed energitilskuddet, dog afhængig af murhulsdybden. For typiske murhulsdybder på ca. 5 cm er skygevirksomheden i fyringssæsonen i det hele taget meget lille. Dette behandles også i afsnit 5.4.

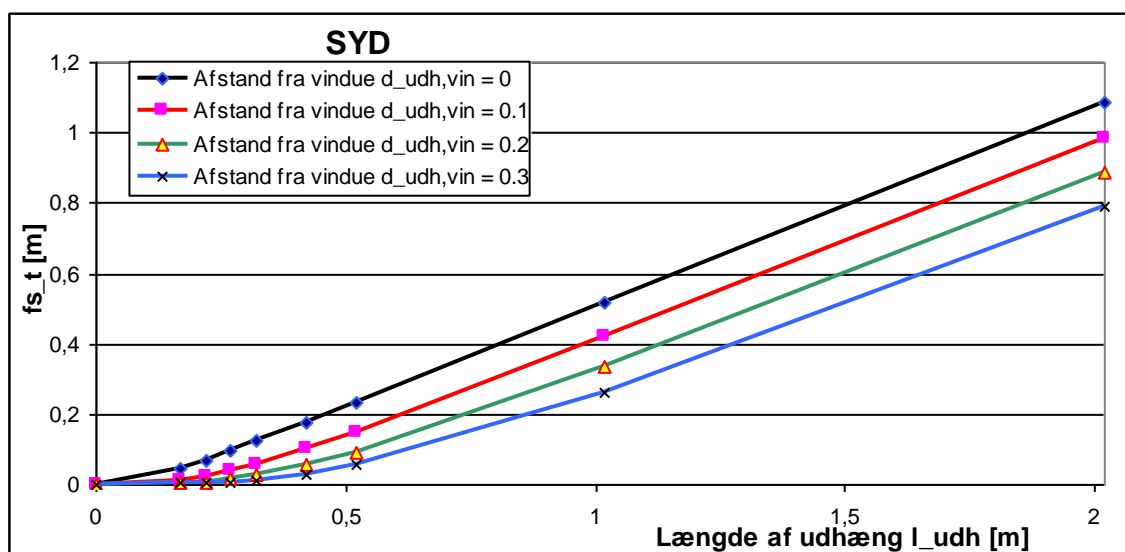
5.3.2 f_s for udhæng

I Figur 23 er skyggeforholdene i forbindelse med udhæng vist. Korrektionen for skygger er baseret på samme principper som skyggekorrektionen for varierende murhulsdybde, beskrevet i afsnit 5.2. Den primære skygge dannes af udhænget, og den sekundære skygge dannes af murhullets forkant. Der tages ikke højde for skygger fra selve vinduesrammen. Vinduesrammen har dog betydning for hvor stor en del af skyggen der rammer ruden og dermed også på størrelsen af f_s .

I Figur 24 er effekten af skygger fra udhæng over sydvendt vindue i fyringssæsonen vist. Der er regnet for udhæng med forskellig længde og afstand fra et vindue som er monteret i en murhulsdybde på 0,07 m. Vinduets ramme-karmbredde er 0,06 m.



Figur 23. Skygger fra udhæng. Der tages ikke højde for skyggen fra vinduesrammen.



Figur 24. Skyggekorrektionskoefficienter for udhæng placeret i forskellige afstande over sydvendt vindue i fyringssæsonen. Murhulsdybden er konstant 7 cm.

Det ses, at skyggeeffekten fra udhængt afhænger af både udhængets længde og hvor det er placeret.

I forbindelse med udhæng/fremspring som er placeret umiddelbart i forlængelse af murhullet dvs. $d_{udh,vin} = 0$ m kan værdierne i Figur 17 til Figur 22 for den tilsvarende murhulsdybde anvendes. Dog kan $f_{s,h}$ og $f_{s,v}$ kun anvendes, hvis fremspringet i begge sider af vinduet er ens.

5.4 Skyggekorrigeret energitilskud

Energitilskuddet gennem et vindue kan som beskrevet i kompendium 1 bestemmes ud fra udtrykket

$$E = g I_{korr} - U G \quad [\text{kWh/m}^2]$$

hvor

- g er total solenergitransmittans for vinduet for vinkelret indfald af solstråling
- U er varmetransmissionskoefficient for vinduet $[\text{W/m}^2\text{K}]$
- I_{korr} er solindfald korrigeret for g-værdiens afhængighed af indfaldsvinklen $[\text{W/m}^2]$
- G er gradtimer i fyringssæsonen baseret på indetemperatur på 20 °C $[\text{kKh}]$

Energitilskuddet for specifikke vinduesdimensioner bestemmes som

$$Q_{energitilskud} = A E \quad [\text{kWh}]$$

hvor A er arealet af vinduet $[\text{m}^2]$

Det skyggekorrigerede specifikke energitilskud $Q_{energitilskud,net}$ bestemmes ved at fratække den del af den direkte solstråling, som tilbageholdes pga. skygger fra det oprindelige energitilskud $Q_{energitilskud}$.

Dette gøres ved anvendelse af f_s ved udtrykket

$$Q_{energitilskud,net} = Q_{energitilskud} - f_s l_s g_g I_{dir}$$

hvor

- I_{dir} er den samlede direkte solbestråling korrigeret for g-værdiens indfaldsvinkelafhængighed for den aktuelle periode og orientering $[\text{W/m}^2]$
- g_g er den totale solenergitransmittans for ruden
- l_s er længden af ruden (parallelt med skyggegiven) der udsættes for skygger $[\text{m}]$.
- f_s er skyggekorrektionskoefficienten for den aktuelle side af vinduet gældende for den aktuelle periode og orientering. $[\text{m}]$

For at beregne det skyggekorrigerede energitilskud for en given periode, skal man altså kende den samlede direkte solstråling over den aktuelle periode. I Tabel 10 er den direkte solstråling korrigeret for g-værdiens indfaldsvinkelafhængighed vist for fyringssæsonen og sommerperioden, orienteret mod de fire verdenshjørner, samt for et referencehus med vinduesfordelingen:

Nord:	26 %
Syd:	41 %
Øst/vest:	33 %

Det er også muligt at bestemme det skyggekorrigerede energitilskud ved anvendelse af energitilskudsdiagrammerne bagest i kompendium 1 idet energitilskuddet E aflæses i det aktuelle diagram og multipliceres med vinduesarealet. Herefter fratrækkes den del af den direkte solstråling, som tilbageholdes pga. skygger svarende til ovenstående formel.

Tabel 10. Direkte solbestråling i kWh/m² korrigeret for g-værdiens indfaldsvinkelafhængighed ved forskellige orienteringer og for referencehuset.

	Syd	Nord	Øst/Vest	Referencehus
Fyringssæson	265,0	1,7	103,3	143,2
Sommerperiode	144,9	13,4	144,1	110,5

I Tabel 11 er det skyggekorrigerede energitilskud bestemt for forskellige murhulsdybder for de tre vinduer beskrevet i afsnit 3. Alle tre vinduer har ydre mål 1,23 x 1,48 m og en g-værdi for ruden på 0,59. Der er regnet for en vinduesfordeling som i referencehuset.

Det fremgår af resultaterne i Tabel 11, at energitilskuddet reduceres, når der korrigeres for de nære skygger, og reduktionen stiger for større murhulsdybder. Reduktionerne er dog små i forhold til forbedringen af energitilskuddet, som blev opnået ved anvendelse af smallere ramme-karmprofiler beskrevet i afsnit 3. Det kan altså konkluderes, at de samlede energimæssige egenskaber forbedres, når der anvendes smallere ramme-karmprofiler i vinduer placeret i typiske murhulsdybder på ca. 5-7 cm, også selvom der tages hensyn til de vinduesnære skygger.

Tilsvarende beregninger for udhæng over de samme vinduer er vist i Tabel 12. Der er her regnet med konstant murhulsdybde på 0,07 m.

Tabel 11. Energitilskud Q beregnet for de tre vinduer uden og med skygger ved forskellige murhulsdybder.

Ramme-karmbredde	U-værdi	Q _{energitilskud} (uden skygger)	Murhulsdybde	Q _{energitilskud,net} (med skygger)	Forskel
[m]	[W/m ² K]	[kWh]	[m]	[kWh]	[kWh]
0,098	1,40	-76,1	0,07	-76,9	0,7
			0,12	-78,9	2,8
0,089	1,38	-68,4	0,07	-69,2	0,8
			0,12	-71,5	3,1
0,054	1,39	-50,2	0,07	-52,1	1,8
			0,12	-55,5	5,3

Tabel 12 Energitilskud Q beregnet for de tre vinduer uden og med skygger ved forskellige udhæng. Udhænget er placeret i en afstand på 0,2 m over vinduet, og murhulsdybden er konstant 0,07 m.

Ramme-karmbredde	U-værdi	Q _{energitilskud} (uden skygger)	Udhæng l_{udh}	Q _{energitilskud,net} (med skygger)	Forskel
[m]	[W/m ² K]	[kWh]	[m]	[kWh]	[kWh]
0,098	1,40	-76,1	0,25	-77,3	1,2
			0,50	-81,5	5,3
0,089	1,38	-68,4	0,25	-69,7	1,3
			0,50	-74,1	5,7
0,054	1,39	-50,2	0,25	-52,6	2,4
			0,50	-57,8	7,6

Litteratur

- [1] Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Miljø- og Energiministeriet 1996.
- [2] KLIMA 2012, Status og perspektiver for dansk klimapolitik, Miljø- og Energiministeriet, marts 2000.
- [3] *Tillæg 1 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab, Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre, August 1997*
- [4] *THERM 2.1 fine element simulator*. University of California. 2000.
- [5] *En ISO 10077-2 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames*.
- [6] *Tillæg 4 til DS 418, Beregning af bygningers varmetab, Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og –vægge samt samlinger omkring vinduer og døre, juni 2000*
- [7] *Solstråling. Undervisningsnotat*
Jerry Møller Jensen
Institut for Bygninger og Energi, 1996
- [8] *Design Reference Year, DRY - et nyt dansk referenceår*
Jerry Møller Jensen og Hans Lund. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1995
- [9] *Forudsætninger for beregning af U-værdi for ramme-karmprofiler i aluminium. SR-0023, IBE, DTU, 2000.*
- [10] *EN 410. Glass in building - determination of luminous and solar characteristics of glazing.*
- [11] *MATLAB 5.3 The Mathworks, INC. 2000.* Edb-program til numeriske beregninger

Appendiks 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:

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

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 μm). 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 linjetabet).

Anvendte Materialernes varmeledningsevne:

Materiale	λ [W/m·K]
Aluminium	160
EPDM	0,25
EDPM-foam	0,08
Glas	1,00
Isolering39	0,039
PVC	0,17
Silikone	0,35
Træ	0,13
Tegl (formur)	0,78
Porebeton blok (fals)	0,26
Porebeton element (bagmur)	0,20
Ækvivalent varmeledningsevne for mellemrum i rude	0,023
Ækvivalent varmeledning for afstandsprofil	1,77
Let ventileret hulrum (simplified, CEN slightly ventilated)	0
Uventileret hulrum (simplified, CEN)	0

Appendiks B Therm resultater og udregninger

Værdien U_{tot1} fås fra Therm, når der er indsat et panel. U_{tot2} fås, når der er indsat en rude.

Ramme-karmprofillets U-værdi, U_r , fås ud fra nedenstående ligning:

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

hvor

- U_{tot1} er ramme-karmkonstruktionens U-værdi når der er indsat et panel
- l_{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

Den lineære transmissionskoefficient for rudens afstandsprofil, ψ_g , beregnes ud fra nedenstående ligning:

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

hvor

- U_{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, U_{total} , beregnes som:

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

- A_g er glasarealet i m²
- l_g er omkredsen af glasarealet i m
- A_r er ramme-karmarealet i m²
- A' er det samlede areal for vinduet

Appendiks C Beregningseksempel, vindue med ramme-karm af blandede materialer monteret i forskudt fals, retvinklet.

(se Figur 10)

VINDUE

Vindueshøjde:	1,48m	
Vinduesbredde:	1,23m	
Areal:	$h_{\text{vindue}} \cdot b_{\text{vindue}}$	$1,48\text{m} \cdot 1,23\text{m} = 1,82 \text{ m}^2$
U-center-værdi (rude):	1,13 W/m ² K	
g-værdi (rude)	0,59	
g-værdi (vindue)	$g_{\text{rude}} \cdot (A_{\text{rude}}/A_{\text{vindue}}) = 0,4975$	

MUR

Murhøjde:	2,3m	
Murbredde:	2,0m	
Areal:	$(h_{\text{mur}} \cdot b_{\text{mur}}) - (A_{\text{vindue}})$	$(2,3 \cdot 2,0) - 1,82 = 2,78 \text{ m}^2$
U-værdi:	0,1761 W/m ² K	
g-værdi:	0,0	
Længde af samling:	$2 \cdot h_{\text{vindue}} + 2 \cdot b_{\text{vindue}}$	$(2 \cdot 1,48) + (2 \cdot 1,23) = 5,42 \text{ m}$

SAMLET KONSTRUKTION

Vægtet U-værdi:	$(A_{\text{mur}} \cdot U_{\text{mur}} + A_{\text{vindue}} \cdot U_{\text{rude}} + L_{\text{samling}} \cdot I_{\text{samling}}) / (A_{\text{ialt}})$ $((2,78 \text{ m}^2 \cdot 0,1761 \text{ W/m}^2\text{K}) + (1,82 \text{ m}^2 \cdot 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}) + (5,42 \text{ m} \cdot 0,208 \text{ W/mK})) / (2,0 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m})$ $= 0,798 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vægtet g-værdi:	$(A_{\text{mur}} \cdot g_{\text{mur}} + A_{\text{vindue}} \cdot g_{\text{vindue}}) / A_{\text{ialt}}$ $(2,78 \text{ m}^2 \cdot 0,0 + 1,82 \text{ m}^2 \cdot 0,4975) / (2,0 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m}) = 0,197$
Energiltalskud:	$196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U$ $196,4 \cdot 0,197 - 90,36 \cdot 0,798 = -33,5 \text{ kWh/m}^2$

Udregning af L:

θ_{inde} :	20°C
θ_{ude} :	0°C
$U_{\text{tot fra Therm}}$:	0,5441 W/m ² K
U_{rude} :	1,13 W/m ² K
l_{total} :	1,225 m
$l_{\text{mur+fuge}}$:	0,97 m
Q'_{total} :	$U_{\text{tot Therm}} \cdot l_{\text{total}}$ $0,54441 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1,22502 \text{ m} = 0,6665 \text{ W/mK}$
$Q'_{\text{mur+fuge}}$:	$U_{\text{mur}} \cdot l_{\text{mur+fuge}}$ $0,1761 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,97012 \text{ m} = 0,1708 \text{ W/mK}$
Q'_{rude} :	$U_{\text{rude}} \cdot (l_{\text{total}} - l_{\text{mur+fuge}})$ $1,13 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (1,22502 - 0,97012) = 0,2880 \text{ W/mK}$
L-værdi:	$Q'_{\text{total}} - Q'_{\text{mur+fuge}} - Q'_{\text{rude}} = 0,208 \text{ W/mK}$