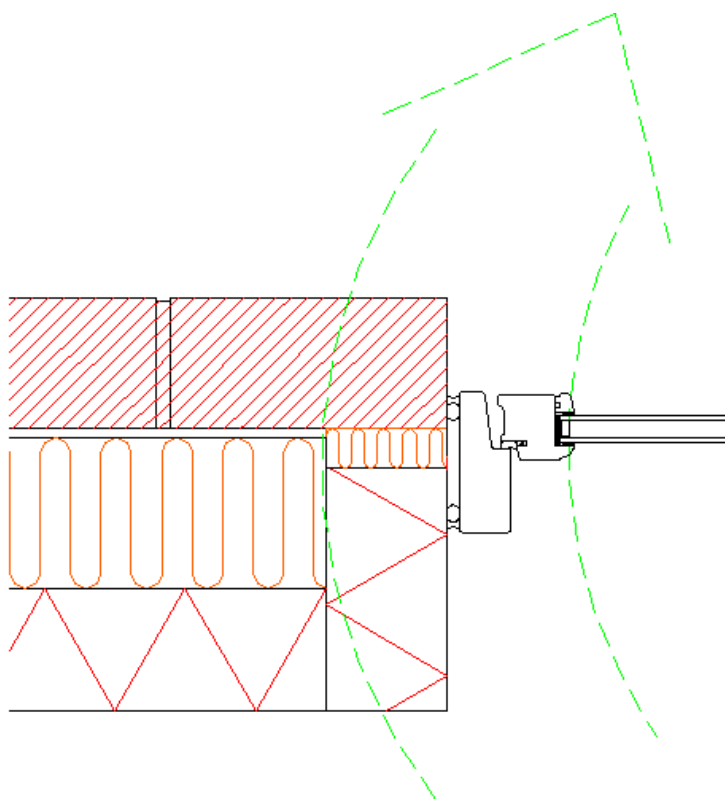


RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

Kompendium 14:

VINDUER MED MINDRE LINJETAB I SAMLINGEN MELLEM VINDUE OG MUR



Indholdsfortegnelse

FORORD TIL KOMPENDIERNE GENERELT	5
FORORD TIL KOMPENDIUM 14.....	7
1 RAMME-KARMTYPER	8
1.1 VINDUETS BESTANDDELE OG MONTERING.....	8
1.1.1 Ramme-karmtyper.....	8
1.1.2 Ramme-karm af træ.....	9
1.1.3 Ramme-karm af træ og aluminium	9
1.1.4 Ramme-karm af plast	9
1.1.5 Ramme-karm af aluminium	10
1.1.6 Ramme-karm af blandede materialer	10
1.1.7 Alternativ udformning af ramme-karm	10
2 MURLØSNINGER	12
2.1 TUNGE MURKONSTRUKTIONER.....	12
2.1.1 Tegl – isolering – tegl med fuldmuret fals	13
2.1.2 Tegl – isolering – letklinkerbeton	13
2.1.3 Tegl – isolering – porebeton.....	13
2.1.4 Betonsandwichelement.....	14
2.2 SIDE-, BUND- OG OVERFALS.....	14
2.2.1 Sidefals.....	14
2.2.2 Bundfals	14
2.2.3 Overfals.....	15
2.3 ØGEDE ISOLERINGSTYKKELSER	15
2.3.1 Forøget kuldebroisolering	15
2.3.2 Fremtidige isoleringstykkelser	15
2.3.3 Optimale isoleringstykkelser.....	16
3 VINDUE-MUR-KOMBINATIONER.....	17
3.1 FUNKTIONSKRAV	17
3.2 PLACERINGS- OG VINDUE I FORHOLD TIL ISOLERINGEN.....	17
3.3 MYNDIGHEDERNES KARV	17
3.4 EKSEMPLER PÅ VINDUE-MURKOMBINATIONER	18
4 LINJETAB FOR VINDUE-VÆG-SAMLINGEN.....	20
4.1 DET UDVIDEDE LINJETAB, L	20
4.1.1 Beregningsmetode for L.....	21
4.2 BEREGNINGSMETODE FOR LINJETABET I SAMLINGEN MELLEML VINDUE OG MUR, Ψ_s	22
4.3 BEREGNINGSRISULTATER FOR UDVALGTE VINDUE-MURKOMBINATIONER	23
4.3.1 Overholdelse af myndighedernes krav	23
4.3.2 Forskelle på murløsninger	24
4.3.3 Forskelle på ramme-karmprofiler.....	24
5 LITTERATUR	26
6 ADRESSELISTE.....	27
BILAG 1. ÆNDRINGER	28

Forord til kompendierne generelt

En af målsætningerne i regeringens energihandlingsplan Energi 21 [1] er at reducere energiforbruget i boliger ved gennemførelse af energibesparende foranstaltninger. Her spiller udvikling og anvendelse af energimæssigt bedre ruder og vinduer en vigtig rolle, idet en stor del af varmetabet fra boliger traditionelt set sker gennem vinduerne.

Ifølge Klima 2012 [2] skal der ske en intensivering af den produktrettede besparelsesindsats for vinduer mm.

Kompendiet indgår i en række kompendier, der skal være medvirkende til gennemførelsen af den produktrettede besparelsesindsats ved at informere om:

- Grundlæggende energimæssige egenskaber for ruder og vinduer
- Energimærkning af ruder og vinduer
- Muligheder for udvikling af energimæssigt bedre ruder og vinduer
- Projektering og anvendelse af energimæssigt bedre ruder og vinduer

Kompendierne behandler muligheder for at bestemme og forbedre ruder og vinduers termiske og optiske egenskaber. Ligeledes behandles ruder og vinduers indflydelse på bygningers totale energiforbrug og indeklima. En hovedmålsætning er at udvikle vinduer, som giver et positivt energitilskud i opvarmningsdominerede boliger.

Serien af kompendier omfatter foreløbig 5 færdige og 8 foreløbige kompendier, der er omtalt i det følgende.

Kompendium 1: "Grundlæggende energimæssige egenskaber"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælastere, leverandører.

Kompendiet omtaler ruder og vinduer m.h.t.:

- Materialer og opbygning
- Energimæssige egenskaber
- Energitilskud til bygningen

Kompendium 2: "Forenklede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata" og kompendium 3: "Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata"

Målgruppen er hovedsageligt producenter af ruder og vinduer.

Kompendierne giver producenterne vejledning i, hvordan de på en enkel eller en mere detaljeret måde kan bestemme energimærkningsdata og eventuelt energiklassifikation for deres produkter.

Kompendium 4: "Udvikling af energirigtige ruder og vinduer"

Målgruppen er hovedsageligt producenter af ruder og vinduer.

Kompendiet indeholder en række analyser af forbedringsmuligheder, som vil kunne virke som inspiration og hjælp til producenter, der ønsker at udvikle ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

Kompendium 5: "Energirigtigt valg af ruder og vinduer"

Målgruppen er rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer og tekniske forvaltninger.

Kompendiet behandler enkle og detaljerede programmer samt diagrammer til bestemmelse af opvarmningsbehov og indeklimaforhold i bygninger som funktion af de energimæssige egenskaber for ruder og vinduer.

Følgende kompendier findes kun i foreløbig version:

Kompendium 6: "Data for energimærkede ruder og vinduer"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælastere, leverandører.

Kompendiet giver en oversigt over energimærkede ruder og vinduer på det danske marked. Der gives oplysninger om ruder- og vinduesproducenter og energimærkningsdata for de enkelte produkter.

Kompendium 7: "Ruder og vinduers energitilskud"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælastere, leverandører.

I kompendiet foretages en følsomhedsanalyse af metoden til at klassificere ruder på basis af energitilskuddet til et referencehus. Der gives en vejledning i brugen af et program, som kan beregne energitilskuddet for ruder og vinduer i konkrete situationer.

Kompendium 8: Solafskærmning

Under udarbejdelse

Kompendium 9: "Oversigt over muligheder for udvikling af bedre ruder og vinduer"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, samt arkitekter og rådgivere indenfor byggeriet.

I dette kompendium gøres status over typiske vinduer på markedet med vægt på de energimæssige egenskaber. Forskellige muligheder for at udvikle ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber gennemgås. Denne gennemgang er en sammenfatning af de efterfølgende kompendier 10 – 14, hvor mulighederne for udvikling af ruder og vinduer gennemgås i detaljer.

Kompendium 10: "Ruder med større energitilskud"

Målgruppen er rude- og vinduesproducenter.

I dette kompendium undersøges ruders energitilskud beregnet på to forskellige måder. Ved en simpel diagrammetode og gennem et detaljeret beregningsprogram. Der gives eksempler på mulighederne for at forbedre ruderne, enten ved at nedsætte rudens U-værdi eller ved at øge rudens g-værdi.

Kompendium 11: "Kantkonstruktioner med reduceret kuldebro"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer.

Kompendiet giver en oversigt over forskellige kantkonstruktioner og deres egenskaber mht. varmetab og kondens i forskellige vinduestyper. Der gives ligeledes oplysninger om bedre afstandsprofiler.

Kompendium 12: "Vinduer med isolerede ramme-karmprofiler"

Målgruppen er hovedsageligt vinduesproducenter.

I kompendiet vises det, hvordan der kan opnås markante energimæssige forbedringer af ramme-karmprofiler ved at isolere dem, anvende andre materialer eller foretage ændringer i konstruktionen.

Kompendium 13: "Vinduer med smalle ramme-karmprofiler"

Målgruppen er rude- og vinduesproducenter.

I kompendiet undersøges effekten af, at gøre ramme-karmprofilet smallere. Ligeledes beregnes effekten af indsættelse af ramme-karmprofil i forskudt fals.

Kompendium 14: "Vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, arkitekter og rådgivere indenfor byggeriet.

Kompendiet indeholder en gennemgang af forskellige vindueskonstruktioner samt forskellige murløsninger. Disse forskellige konstruktioner kombineres og fordele og ulemper mht. størrelsen af samlingslinjetabet belyses. Der angives metoder til beregning af mur- og vindueskonstruktionens samlede ekstra linjetab, og linjetabet i samlingen mellem vindue og mur.

Kompendiernes udgivelse

Kompendierne findes i elektronisk version i formatet PDF, der kan læses med Acrobat Reader. De elektroniske versioner af kompendierne samt programmet Acrobat Reader findes på internetadressen <http://www.ibe.dtu.dk/vinduer>.

Kompendierne er udført med bevilling fra energistyrelsen i henhold til lov om stats-tilskud til produktrettede energibesparelser.

Forord til kompendium 14

I de tidligere udarbejdede kompendier er forskellige muligheder for at bestemme og forbedre ruder og vinduers termiske og optiske egenskaber undersøgt. Ligeledes er ruder og vinduers indflydelse på bygningers totale energiforbrug og indeklima behandlet.

Udover vinduernes egenskaber som komponenter er der også, i forbindelse med anvendelse i nybyggeriet, behov for at se på vinduernes egenskaber i forhold til klimaskærmen (mur) og hele det bagvedliggende rum. Med tillægget om kuldebroer til DS418 vil der være mere opmærksomhed på kuldebroisoleringen i vinduesfalsen og betydningen af vinduets placering. Der vil desuden med det kommende bygningsreglement 2005 skabes behov for vinduer med karme, der kan dække over en større isolering i muren.

Der er derfor behov for udvikling af vinduer med bedre egenskaber i forbindelse med sammenbygningen med mur og tag, både mht. mindre kuldebro i samlingen samt bredere karme, der kan dække over den større isolering i muren.

I dette kompendium sættes der fokus på vinduets samling til muren og muligheden for at mindske kuldebrovirkningen samt linjetabet på dette sted. Linjetabet benævnes også den lineære transmissionskoefficient. I dette kompendium vil dog kun blive benyttet benævnelsen linjetab. I Afsnit 1 gentages fra Kompendium 1 en gennemgang af et repræsentativt udvalg af de forskellige ramme-karmtyper, der findes på det danske marked samt et bud på en mulig udvikling fremover. Afsnit 2 er en beskrivelse af nuværende og nye typer mur-løsninger med større isoleringstykkelse og kuldebroisolering. Disse er blandt valgt på baggrund af kravene i det kommende BR2005 samt ud fra en totaløkonomisk vurdering. Afsnit 3 beskrives repræsentative kombinationer af de forskellige ramme-karmtyper og mur-løsninger fra de 2 foregående kapitler. Herudfra påpeges mangler og forbedringer foreslås. I afsnit 4 foretages en gennemgang af linjetabet samt det udvidede linjetab, L, der samler alle bidragene til det ekstra varmetab, der opstår i samlingen mellem rude og mur.

Til sidst præsenteres beregnede L-værdier og linjetab for udvalgte vindue-vægsamlinger, og der foretages en sammenligning og vurdering af de fundne resultater.

Målgruppen for kompendium 14 er rude- og vinduesproducenter, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, tekniske forvaltninger, byggemarkeder og forbrugere med særlig interesse.

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:

Stine Bjødstrup Jensen, Svend Svendsen og Peter Noyé.

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

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

Kompendiets indhold er senest revideret 26. marts 2001. En liste over ændringer der er foretaget i kompendiet siden første version findes i Bilag 1. Ændringer.

Denne version af kompendiet med nr. U-0013 erstatter den tidligere version med nr. U-057.

Copyright

Copyright © BYG•DTU, Danmarks Tekniske Universitet, august 2000

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 14: "Vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur". BYG•DTU, Danmarks Tekniske Universitet, august 2000

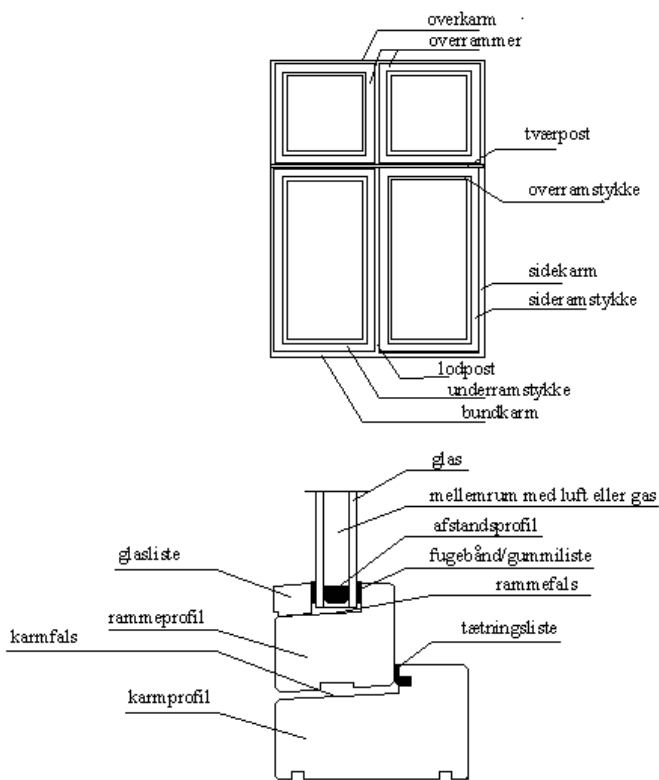
1 Ramme-karmtyper

1.1 Vinduets bestanddele og montering

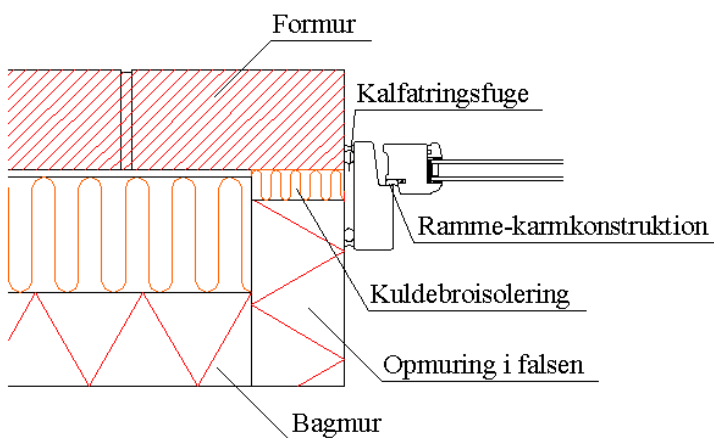
Et vindue består normalt af en rude placeret i en ramme, der fastgøres i en karm, så det er muligt at åbne og lukke vinduet. Vinduer, der ikke kan åbnes, består af en rude i en fast karm. Vinduets bestanddele er vist i Figur 1. Når et vindue monteres i murhullet, fastgøres karmens forreste del som regel til formuren og den bageste del til opmuringen i falsen, falselementet, hvorefter der tættes med kalfatringsfugen. Ved denne montering dækker karmen over den fritliggende isolering i falsen, den såkaldte kuldebroisolering. På Figur 2 er vist et vandret snit i sidefalsen.

1.1.1 Ramme-karmtyper

I de efterfølgende afsnit gennemgås et repræsentativt udvalg af de forskellige ramme-karmtyper, der findes på det danske marked. Desuden gives et eksempel en ny alternativ udvikling inden for ramme-karmkonstruktioner. For hver af de illustrerede typer angives karmens mål i dybden, dvs. afstanden mellem yderste og inderste faste kant. Desuden anføres et mål for, hvor stort et stykke af murens fritliggende isolering karmen kan dække over. Dette mål er dog absolut maksimum, idet det er fremkommet ved fra karmens bredde at fratrække den absolut mindste samlede fugelængde, der er ca. 34 mm. I praksis vil denne fugelængde ofte være større.



Figur 1. Vinduets bestanddele set forfra og i et lodret snit.



Figur 2. Vindue-mur-samlingens bestanddele set i et vandret snit.

1.1.2 Ramme-karm af træ

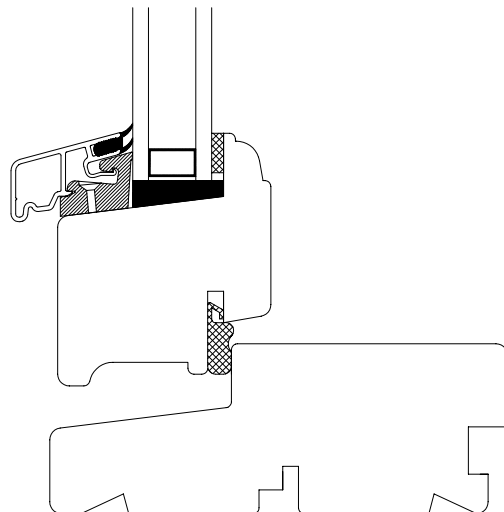
Træ har en lav varmeledningsevne, hvilket medfører et lavt varmetab for ramme-karmkonstruktioner udført i træ, se Figur 3. I den viste konstruktion har trækarmen en dybde på 116 mm.

1.1.3 Ramme-karm af træ og aluminium

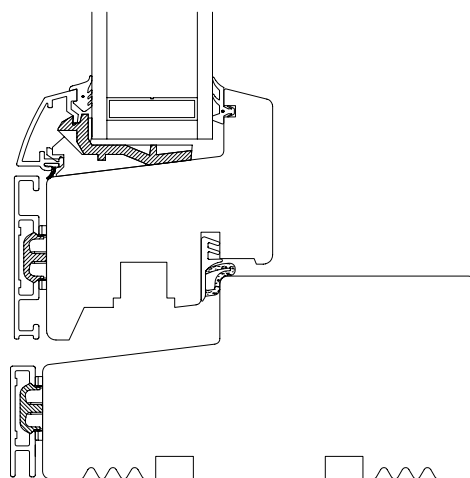
Ved at beklæde ramme-karmkonstruktioner af træ med aluminium kombineres træets gode isolerende egenskaber og lave pris med aluminiumsmaterialets gode vejrbestandighed, se Figur 4. I den her illustrerede konstruktion har karmens faste trædel en dybde på 115 mm. For både ramme-karmkonstruktionen af træ og træ beklædt med aluminium gælder, at ruden er placeret forholdsvis langt fremme i konstruktionen. Dette bevirker, at ruden bliver placeret lidt skævt for kuldebroisoleringen i falsen. De store dybder på de viste karme af træ betyder endvidere, at de kan dække over en kuldebroisolering i falsen på op til ca. 80 mm.

1.1.4 Ramme-karm af plast

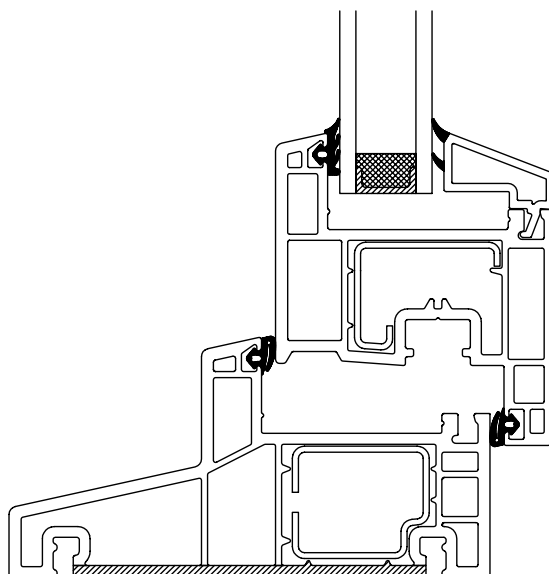
Ramme-karmprofiler af PVC fremstilles af materialebesparende og varmetekniske årsager som hule profiler, se Figur 5, idet PVC i forhold til træ har en varmeledningsevne der er ca. 3 gange højere. Den isolerende effekt i PVC-profilerne ligger således hovedsageligt i de luftfyldte hulrum. I dette profil er ruden placeret langt tilbage i konstruktionen. Dette skyldes, først og fremmest den lille ”tap” karmen har på ydersiden, men også at vinduet åbner indad. Den lille ”tap” er endvidere med til at give karmen dens store dybde på 120 mm, hvor ved den, ligesom de ovenstående trækarme, kan dække over store kuldebroisoleringstykkelser på op til 85 mm.



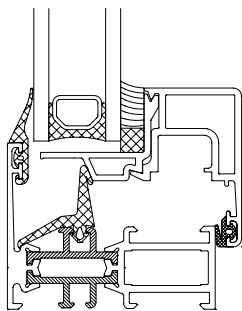
Figur 3. Bunden i ramme-karm af træ (venstre side er udvendig side)



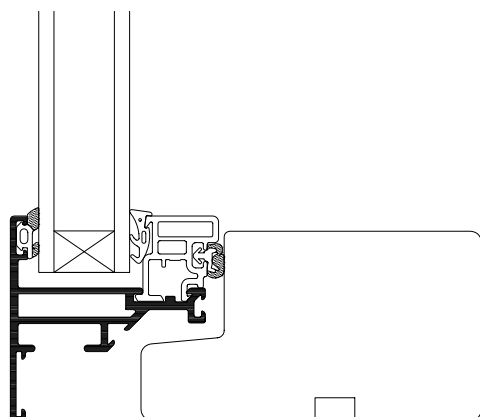
Figur 4. Bunden i ramme-karm af træ beklædt med aluminium (venstre side er udvendig side)



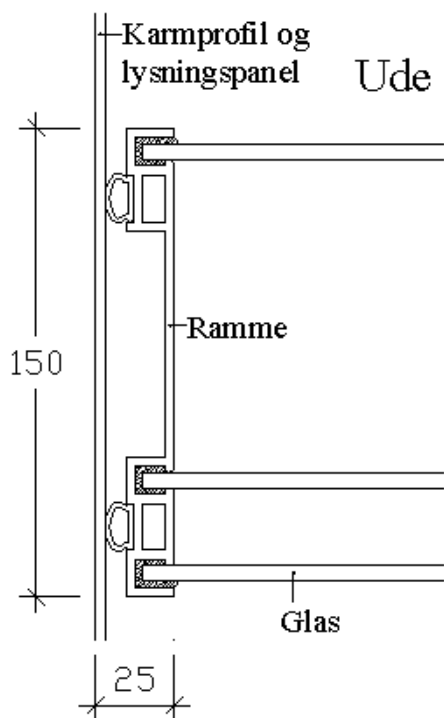
Figur 5. Ramme-karm af plast (pvc) (venstre side er udvendig side)



Figur 6. Ramme-karm af aluminium. Bemærk kuldebro-afbrydelsen mellem den udvendige og indvendige del af karmen (venstre side er udvendig side).



Figur 7. Ramme-karm af blandede materialer med rammekonstruktion af aluminium og plast og karmkonstruktion af træ (venstre side er udvendig side).



Figur 8. Alternativ ramme-karmkonstruktion udført i glasfiberarmeret polyester og med plads til 3 glas.

1.1.5 Ramme-karm af aluminium

Anvendelsen af aluminium til ramme-karmkonstruktioner reducerer vedligeholdelsesarbejdet til et minimum og muliggør opbygning af meget slanke profiler, se Figur 6. Karmens dybde er helt nede på 55 mm, og kan derfor være svær at tilslutte til en murs vinduesfals med kuldebroisolerings tykkelser større end 20 mm. Disse smalle ramme-karmprofiler af aluminium benyttes da også fortrinsvist til større glaspartier eller facader i fx kontorhuse. Da dette kompendium omhandler linjetab i samlingen mellem vindue og mur omtales denne ramme-karmkonstruktion ikke yderligere og medtages heller ikke i senere beregninger.

1.1.6 Ramme-karm af blandede materialer

Frem for at benytte hovedsageligt et enkelt materiale i ramme-karmkonstruktionen kan flere forskellige materialer benyttes. Et eksempel på en konstruktion af blandede materialer er vist i Figur 7. Med den viste opbygning er det muligt at lave en meget smal ramme-karmkonstruktion, således at en større solenergiudnyttelse gennem ruden sikres. Samtidig flyttes ruden dog helt ud yderst i konstruktionen, endda længere ud end den faste træ-karm (hvorunder montering og de tætsluttende fuger med muren udføres). Med denne yderlige placering er det derfor umuligt at få ruden placeret ud for kuldebroisoleringen i vinduesfalsen. Den viste karm har en dybde på 90 mm, som giver mulighed for at dække over en kuldebroisolering på op til 55 mm.

1.1.7 Alternativ udformning af ramme-karm

De nye typer murløsninger med øgede isoleringstykkelser stiller som tidligere nævnt større krav til ramme-karmkonstruktionernes evne til at dække over fritliggende isolering i falsen. Figur 8 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. Vinduet kaldes Kombinationsvinduet, idet det kombinerer rude og ramme til en mere samlet konstruktion. Desuden er dette vindue nemmere at kombinere med muren, uden et stort linjetab til følge, fordi det er så

dybt i karmen. Vinduet er et forslag fra Svend Svendsen, Institut for Bygninger og Energi, DTU. Det foreligger dog stadig kun på et skitseplan.

2 Murløsninger

I dette kapitel beskrives forskellige murløsninger med varierende isoleringstykkelser og kuldebroisolering. Både ældre, nuværende og fremtidige isoleringstykkelser og kuldebroisolering klarlægges, herunder undersøges også forbedrede og optimale løsninger. Herved medtages konstruktioner, der optræder i ældre bygninger, nybyggeri og konstruktioner, der kan overholde fremtidige krav til varmetab samt konstruktioner, der er varmeteknisk optimale set fra et totaløkonomisk synspunkt.

2.1 Tunge murkonstruktioner

I det følgende beskrives indledningsvis de forskellige tunge murtyper, der fortrinsvist bliver brugt i dansk nybyggeri. Først gives der dog et eksempel på en murkonstruktion, der fortrinsvist findes i det eksisterende byggeri. Der gives eksempler for en typisk konstruktion på både side-, bund- og overfals. Tegningerne er fremkommet med udgangspunkt i Kalk- & Teglværksforeningens Cd-rom ”Mur og tagdetaljer til AutoCAD” [4]. Efterfølgende gives en vurdering af, hvordan disse vil tage sig ud med de fremtidige forventede øgede isoleringstykkelser og større kuldebroisolering i falsen. Dette gøres ved at tage udgangspunkt i murtypen tegl – isolering – porebeton, da principperne ved den øgede isoleringstykkelser vil være de samme for de andre tunge konstruktioner.

Generelt er de tunge murkonstruktioner opbygget af to vanger, der er forbundet med bindere. Hulrummet herimellem er udfyldt med isolering. Den inderste vange, bagmuren, er den bærende, og den yderste vange, formuren, er i alle tilfælde en opmuret facade i teglsten. Formuren fungerer som regnskærm og beskytter desuden isoleringen mod gennemblæsning. Tegl kræver desuden kun et minimum af vedligeholdelse. Der er taget højde for et lufthulrum mellem isoleringen og teglmuren på ca. 7 mm, der uundgåeligt opstår ved opmuringen. Formur og bagmur forbindes med 4 bindere pr. m², for i forening at kunne optage vindlasten. Den lodrette last bæres af bagmuren alene.

2.1.1 Tegl – isolering – tegl med fuldmuret fals

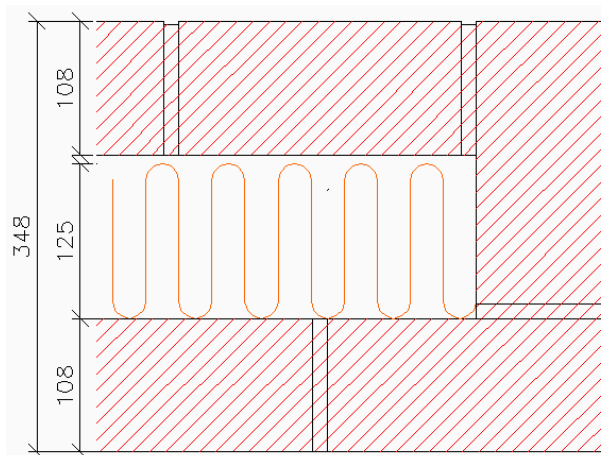
På Figur 9 ses et snit i sidefalsen på en traditionel murkonstruktion med tegl i både for- og bagmur. Konstruktionen er almindelig i det eksisterende byggeri. Falsen er fuldmuret, dvs. uden nogen form for kuldebroisolering. Dette resulterer i et forholdsvis højt linjetab der er mere end 2 gange højere end ved brug af 32 mm kuldebroisolering. Derfor benyttes den fuldmurede fals ikke i nybyggeriet.

2.1.2 Tegl – isolering – letklinkerbeton

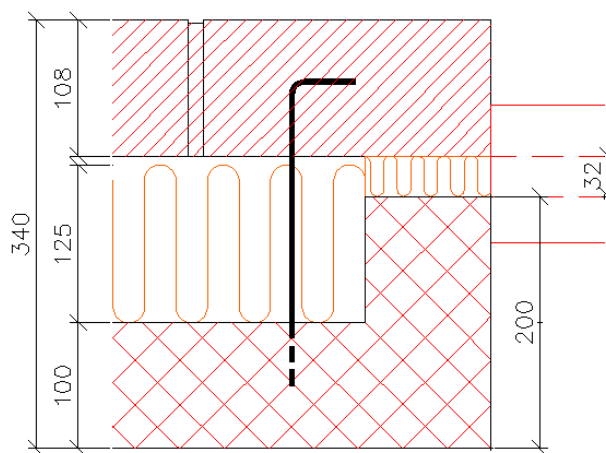
I den bærende bagmur kan der i stedet for tegl benyttes 100 mm letklinkerbeton, som har ca. 1/3 lavere varmeledningsevne end tegl. Bagmuren kan enten opføres af murblokke eller i hele elementer. Statisk set kan en opmuringen i falsen undlades, når bagmuren udføres i letklinkerbeton. Da de vinduestyper, der findes på det danske marked kun har karmbredder på op til 120 mm, bibeholdes opmuringen i falsen dog oftest alligevel, så det er muligt at lave tætsluttede fuger mellem karm og for- og bagmur. Figur 10 viser et eksempel på et snit i sidefalsen på en murløsning, med 125 mm hulrumsisolering, 100 mm letklinkerbetonelement, der i falsen er 200 mm, og med 32 mm kuldebroisolering. Det er med de fuldt optrukne linjer illustreret, at vinduet med fordel placeres udfør kuldebroisoleringen. Herved er det muligt at lave en tæt fuge mellem karm og for- og bagmur, og der opnås et mindre linjetab i samlingen mellem mur og vindue (se afsnit 3).

2.1.3 Tegl – isolering – porebeton

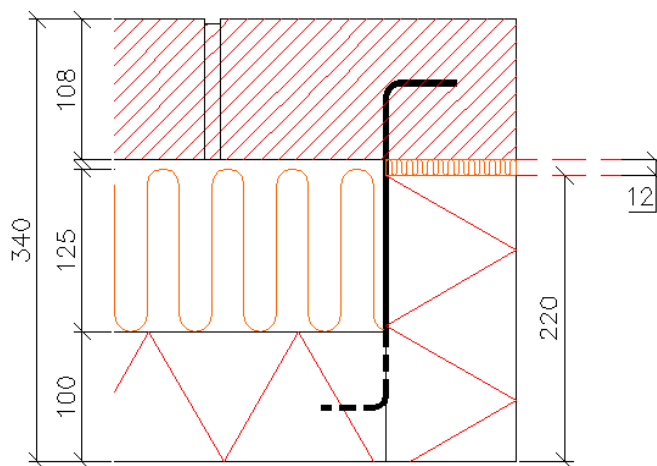
Med 100 mm porebeton i bagmuren kan U-værdien for muren reduceres yderligere, idet varmeledningsevnen for porebeton er ca. 2/3 lavere end for tegl. Ligesom for letklinkerbeton kan bagmuren enten sammensættes af færdige elementer eller opmures af murblokke. Denne murløsning kræver af statiske grunde en opmuring i vinduesfalsen. På Figur 11 er vist et snit i sidefalsen på en murløsning med 125 mm hulrumsisolering, men kun 12 mm kuldebroisolering idet falselementet er en 100 x 220 mm murblok. Denne murløsning ses mest i det eksisterende byggeri, da der i nybyggeri oftest bygges med ca. 30 mm kuldebroisolering for at opnå en bedre U-værdi og mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur.



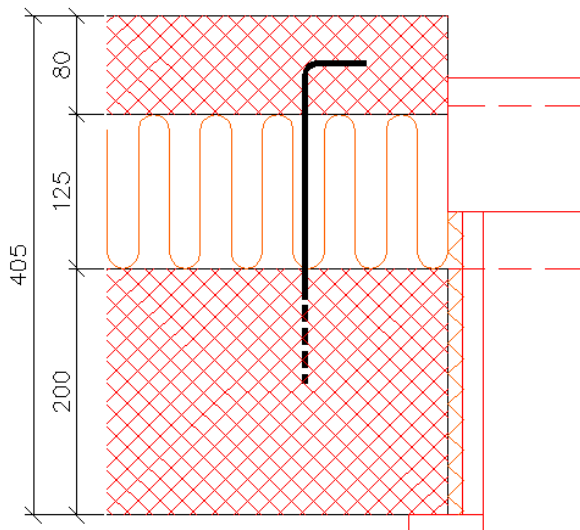
Figur 9. Ældre murløsning med tegl i for- og bagmur, 125 mm isolering i hulrummet samt fuldmuret fals



Figur 10. Murløsning med tegl i formur og 100 mm letklinkerbetonelement i bagmur sammenholdt af bindere og med 125 mm isolering i hulrummet og 32 mm kuldebroisolering



Figur 11. Murløsning med tegl i formur og 100 mm porebeton i bagmur sammenholdt af bindere og med 125 mm isolering i hulrummet og 12 mm kuldebroisolering



Figur 12. Betonsandwichelement med 125 mm isolering og uden falselement

2.1.4 Betonsandwichelement

På Figur 12 er vist et snit i sidefalsen på et betonsandwichelement med 80 mm beton i forstøbningen, 200 mm beton i bagstøbningen og 125 mm isolering. Denne konstruktion bruges fortrinsvist til fler-etages byggeri, hvorfor bagmurens tykkelse vil afhænge af antallet af etager, den skal bære.

2.2 Side-, bund- og overfals

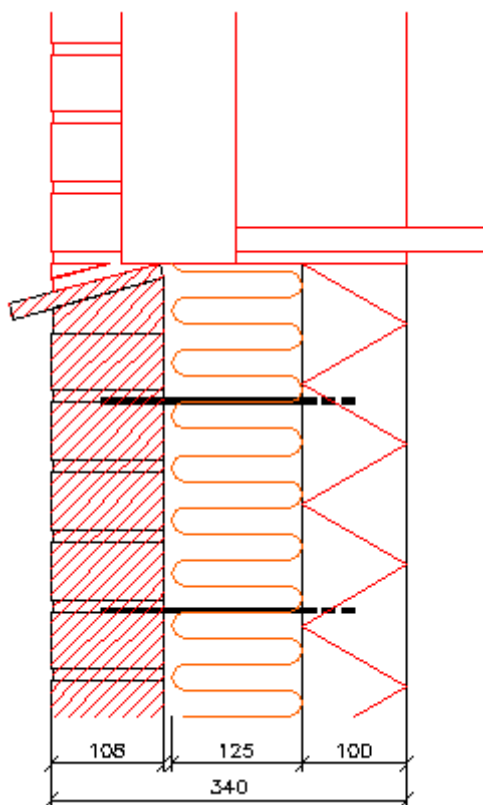
Der er forskel på udformningen af falsen afhængigt af om det er side-, bund- eller overfals. Principperne er dog nogenlunde de samme for de forskellige nævnte murløsninger. Derfor er det valgt kun at vise eksempler for en typisk konstruktion: tegl – isolering – porebeton.

2.2.1 Sidefals

Sidefalsen er vist på Figur 11 og kræver som nævnt en opmuring i falsen. Vinduet fastgøres til denne opmuring, så det faktisk hænges op i side falsen.

2.2.2 Bundfals

Da vinduet oftest hænges op i sidefalsen, er det ikke nødvendigt med opmuring i bundfalsen. Her er det derimod nødvendigt med en skrånende sålbænk, der effektivt kan skærme for og lede vand væk. Sålbænken kan udføres i forskellige materialer. På Figur 13 er vist en løsning med en klinker sålbænk. Derudover kan den udføres i fx beton, metal (stål eller aluminium) eller ved at lave rulleskifte af tegl.



Figur 13. Snit i bundfals i murløsning med tegl i formur, 125 mm isolering og 100 mm porebeton i bagmur

2.2.3 Overfals

Overfalsen skal kunne understøtte den mur, der ligger over vindueshullet. Derfor er der, som det ses på Figur 14, til at understøtte den bærende bagmur indsat en forholdsvis stor armeret porebetonblok (G-Bjælke) med målene 220 x 190 mm. Som understøtning for formuren er der brugt en armeret tegl-overligger.

2.3 Øgede isoleringstykkelser

En effektiv måde at reducere varmetabet fra en bygning er at øge isoleringstykkelserne i ydervæggen samt i kuldebroen i falsen. De følgende eksempler på øgede isoleringstykkelser tager alle udgangspunkt i murtypen tegl – isolering – porebeton, da principperne vil være de samme for de andre tunge konstruktioner.

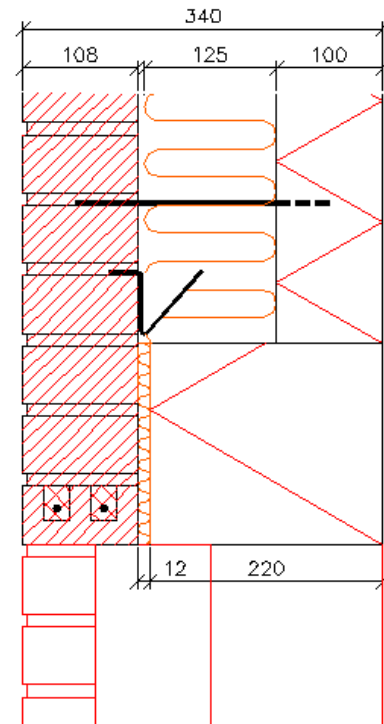
2.3.1 Forøget kuldebroisolering

De nuværende isoleringstykkelser kan i første omgang forbedres ved at øge kuldebroisoleringen i falsen. Dette gøres ved at benytte smallere falselementer eller ved helt at undlade disse. Det sidste kan dog kun gennemføres, hvis bagmuren kan bære det statisk set. Alternativt er en egentlig armering af bagvæggen omkring vindueshullerne den mest realistiske løsning, hvis det alligevel ønskes at fjerne falselementerne fuldstændigt. Armeringen er dog også med til at skabe en kuldebro i falsen, hvorfor denne løsning ikke virker optimalt.

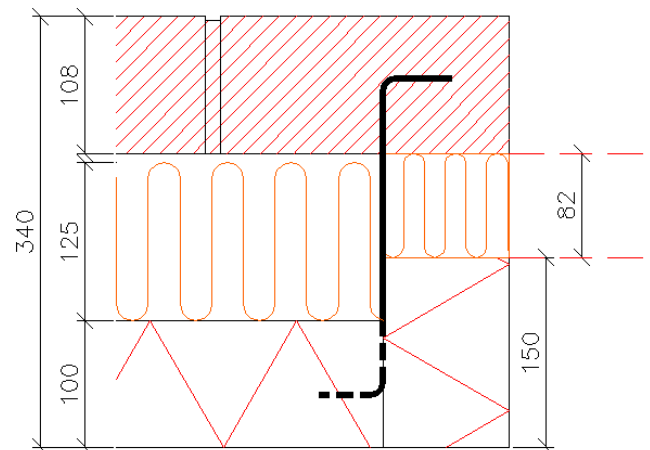
Som eksempel på øget kuldebroisolering vises på Figur 15 en murløsning med 125 mm isolering, men med et falselement på kun 150 mm. Herved opnås en kuldebroisolering på 82 mm.

2.3.2 Fremtidige isoleringstykkelser

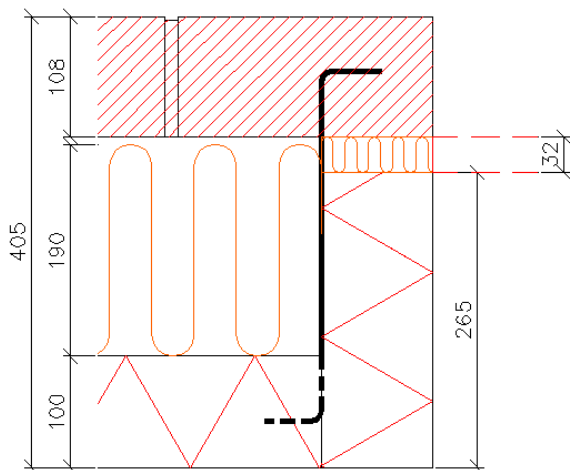
Ifølge regeringens handlingsplan Energi21[1], der blev fremlagt i 1996, skal der arbejdes for, at nybyggeriets energibehov fra år 2005 reduceres med 33% i forhold til det nuværende niveau, der for et-plans-huse årligt ligger på 280 MJ pr. m² (efter Tillæg 2 til BR95 [7]). En konsekvens af de opstillede mål i energiplanen er, at kravene til bygningers varmeisoleringsevne bliver skærpet. Det er oplagt, at de skærpede krav vil komme til udtryk i et nyt bygningsreglement, som sandsynligvis træder i kraft i år 2005. En af metoderne til at nedbringe be-



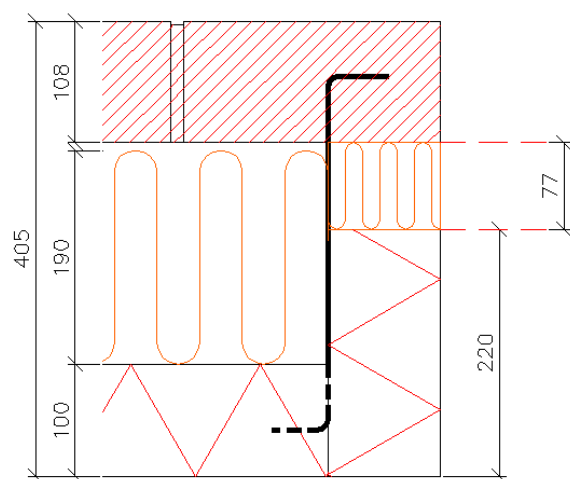
Figur 14. Snit i overfals i murløsning med tegl i formur 125 mm isolering og 100 mm porebeton i bagmur



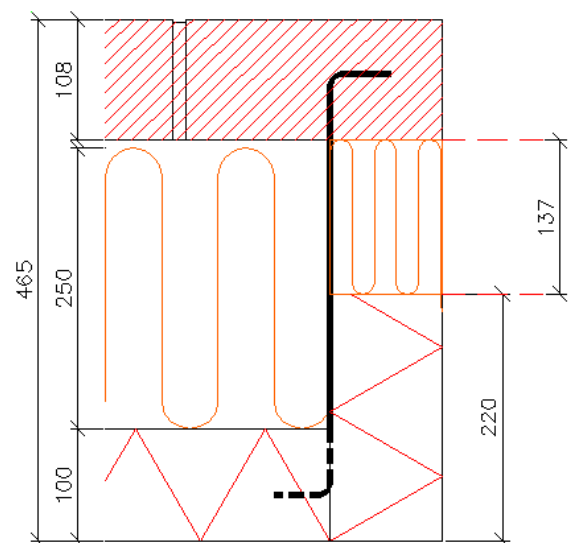
Figur 15. Murløsning med 125 mm isolering og øget kuldebroisolering på 82 mm



Figur 16. Murløsning med 190 mm isolering men kun 32 mm kuldebroisolering



Figur 17. Murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering



Figur 18. Murløsning med optimal isoleringstykkel på 250 mm og kuldebroisolering på 137 mm

høvet for tilført energi til boliger er bedre isolering af bygningen.

Ydervæggen udgør en meget stor del af klimaskærmens samlede areal, det er derfor væsentligt at sikre, at denne konstruktions isolans er forholdsvis høj. Derfor er det også vigtigt, at man sørger for, at de kuldebroer, som indgår i ydervæggen, reduceres i lignende omfang, idet den ekstra isolering i ydervæggen ellers vil miste en del af besparelsespotentialen. Den samlede besparelse ved øgede isoleringstykkelser er relativ stor set i forhold til, at der ikke umiddelbart er nogle særlige ekstraudgifter forbundet med disse tiltag (udover prisen af det ekstra isoleringsmateriale). Dog skal der tages højde for at en øget vægtykkelse kræver et bredere fundament og tag .

Figur 16 viser en murløsning med 190 mm isolering, men med bibeholdt 32 mm kuldebroisolering. De 190 mm isolering har vist sig, sammen med andre energireducerende foranstaltninger, lige netop at være tilstrækkeligt til at kunne reducere opvarmingsbehovet for et et-plans parcelhus med 33%. For at opnå reduktionen på 33% er det dog også nødvendigt at øge kuldebroisoleringen til 77 mm, som det er illustreret på Figur 17. Hvis der anvendes falselementer med målene 200 x 100 mm kan kuldebroisoleringen komme helt op på 97 mm, denne løsning er dog ikke illustreret her.

2.3.3 Optimale isoleringstykkelser

Med en totaløkonomisk analyse af isoleringstykkelserne i en murkonstruktion kan den optimale isoleringstykkelser findes [5]. For en murløsning med formur af tegl og bagmur af porebeton vil den optimale isoleringstykkelser være 250 mm. Med så store isoleringstykkelser er det nemt, samtidig med at det er statisk forsvarligt, at øge kuldebroisoleringen tilsvarende. På Figur 18 er vist en murløsning med 250 mm isolering og et falselement, der er 220 mm langt, herved opnås en kuldebroisolering på 137 mm.

3 Vindue-mur-kombinationer

Når et vindue monteres i en mur, er der en række krav og forhold, der skal tages hensyn til. Dette er de funktionsmæssige krav, de æstetiske hensyn, solenergiudnyttelsen og endelig de energimæssige krav til linjetabets størrelse, der stilles i det kommende Tillæg 2 til Bygningsreglement BR95 [7].

3.1 Funktionskrav

Det er vigtigt at sikre en tæt inddækning af den fritliggende isolering i vinduesfalsen, for at hindre regnvand udefra og rumluft indefra i at trænge ind i væggen. Dette gøres med en tæt fuge både ude og inde, hvilket kræver et overlap mellem karmen og vinduesfalsen i muren på minimum 13 mm inde og 21 mm ude ved en fugehøjde på 10 mm. Dette er dog absolut minimum for fugestørrelser. For yderlig information om udformning af fugen henvises til SBI-anvisning 177: Facadefuger. Udformning og materialer [6].

Med de fremtidige større isoleringstykker i kuldebroafbrydelsen i vinduesfalsen, vil afstanden mellem formur og opmuringen i falsen øges. Der vil derfor i fremtiden være behov for bredere karme for at kunne sikre den tætte inddækning ved vinduesfalsen. Alternativt vil karmene være for korte, og dele af isoleringen vil ligge udækket og må derfor dækkes ind på anden måde. Udvendigt kan dette fx gøres med et stålprofil, der er integreret i karmen. Og indvendigt kan en inddækning fx udgøres af en 16 mm (malet) MDF-plade, der fastholdes i vinduesnot.

3.2 Placeringen af vinduet i forhold til isoleringen

Et vindue kan placeres i formuren, midt for isoleringen eller i bagmuren. Der er i Danmark tradition for at placere vinduernes yderside ca. 5 cm inde i forhold til ydersiden af muren. Det vil derfor, efter manges mening, give husene et forkert udseende, hvis vinduerne blev trukket betydeligt længere ind i murhullet.

Udnyttelsesgraden af den gratis solenergi, der trænger gennem ruden afhænger af vinduets placering i muren. En yderlig placering giver den største udnyttelse, hvorimod en dybere placering resulterer i, at muren vil skygge for noget af solen og dermed give en ringere udnyttelse af solenergien.

Vinduets placering i forhold til isoleringen influerer også på linjetabets størrelse, hvilket vil blive beskrevet i næste kapitel.

3.3 Myndighedernes karv

Der bliver fremover fra myndighedernes side sat mere fokus betydningen af linjetabet i samlingen mellem vindue og mur. I det kommende Tillæg 2 til Bygningsreglement BR95 [7] opstilles krav om, at samlingen mellem ydervæg og vinduer udformes med et linjetab, der højst er $0,03 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Ifølge tillæg 4 til DS418 [3] skal transmissionstabet gennem samlingen omkring vinduer og døre tilføjes til det samlede transmissionstab gennem ydervægge, vinduer og yderdøre. Der angives ligeledes værdier for linjetabet afhængig af karmens placering, kuldebroafbrydelsen og væggens materiale. Desuden angives metoder til bestemmelse af linjetabets størrelse både for vinduer og døre i facaden samt for ovenlys og tagvinduer.

3.4 Eksempler på vindue- murkombinationer

Det er som antydnet i de tidligere kapitler problematisk at få de nuværende karmdybder til at dække over den fritliggende isolering i vinduesfalsen, når det samtidig skal være muligt at udføre en tætsluttende fuge mellem karm og mur. I Tabel 1 vises en oversigt over hvilke vindue-
murkombinationer, der kan, og hvilke der ikke kan realiseres (markeret med hhv. + og ÷), når der som krav stilles, at den fritliggende isolering dækkes af karmen alene, samt at det skal være muligt at udføre en tæt fuge. Det skal dog noteres, at der er regnet med absolutte minimums størrelser for fugebredden, sammenlagt 32 mm. I praksis vil denne størrelse oftest være større.

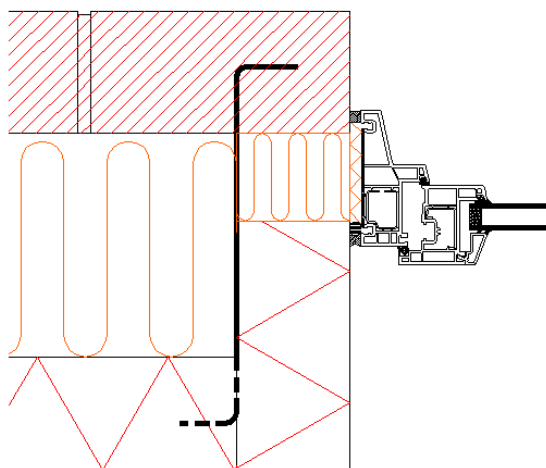
Det ses af Tabel 1, at problemerne med, at rammen er for kort, først opstår når kuldebrosoleringen er større end 57 mm. Det er dog også disse kuldebrosoleringstykkelser, der vil blive benyttet i fremtiden, derfor er det vigtigt, at karmene for fremtiden gøres dybere.

Tabel 1. Oversigt over hvilke vindue-murkombinationer, der er mulige, når den fritliggende isolering i vinduesfalsen skal kunne dækkes af karmen alene

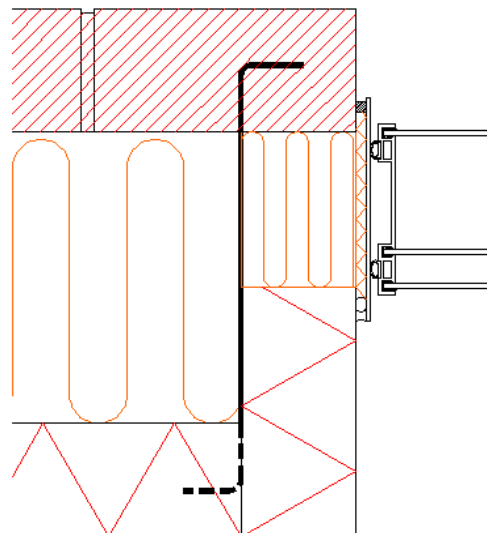
Vindue-mur-kombinationer	Ramme-karm af træ	Ramme-karm af træ beklædt m aluminium	Ramme-karm af plast	Ramme-karm af blandede materialer	Kombinations vinduet
Tegl-tegl 125 mm isol. fuld-muret fals	+	+	+	+	+
Tegl-porebeton 125 mm isol. 12 mm kuldebrosol.	+	+	+	+	+
Tegl-porebeton 125 mm isol. 32 mm kuldebrosol.	+	+	+	+	+
Tegl-porebeton 125 mm isol. 82 mm kuldebrosol.	÷	÷	+	÷	+
Tegl-porebeton 125 mm isol. Ingen opmuring i falsen	÷	÷	÷	÷	+
Tegl-porebeton 190 mm isol. 32 mm kuldebrosol.	+	+	+	+	+
Tegl-porebeton 190 mm isol. 77 mm kuldebrosol.	+	+	+	÷	+
Tegl-porebeton 190 mm isol. 97 mm kuldebrosol.	÷	÷	÷	÷	+
Tegl-porebeton 250 mm isol. 57 mm kuldebrosol.	+	+	+	÷	+
Tegl-porebeton 250 mm isol. 137 mm kuldebrosol.	÷	÷	÷	÷	+

At Kombinationsvinduet kan kombineres med alle de nævnte murløsninger, skyldes som tidligere nævnt, at karmen kan gøres vilkårlig dyb og derfor nemt tilpasses fremtidens isoleringstykkelser. Kombinationsvinduets fordele kommer dog først rigtigt til udtryk, når det kombineres med de store kuldebroisoleringstykkelser, se Figur 19. Da rudens totale dybde er 140 mm bør tykkelsen af kuldebroisoleringen være af samme størrelsesorden, hvis det skal sikres at isotermerne skal kunne fordeles ligeligt ned gennem isoleringen. Hvis kuldebroisoleringen kun er 57 mm ses det af Figur 20, at ruden når langt ud over kuldebroisoleringen, hvilket vil øge linjetabets.

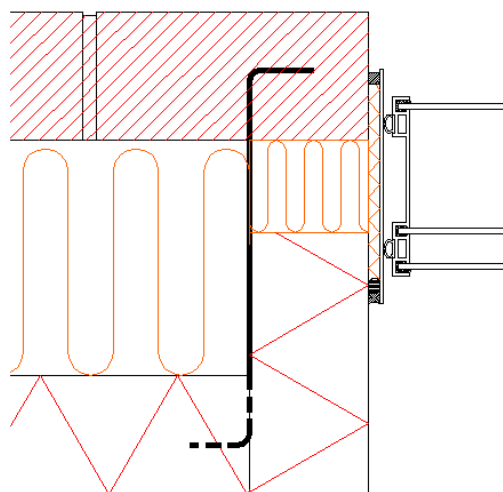
Det er som nævnt optimalt, hvis ruden kan placeres lige udfor kuldebroisoleringen. Hvis ruden er placeret på ydersiden af karmen er det umuligt på nogen måde at placere ruden over isoleringen, når karmen skal danne overlap med formuen. Dette er illustreret ved Figur 21 med ramme-karmkonstruktionen af blandede materialer og en murløsning med 190 mm isolering og 32 mm kuldebroisolering. Er ruden derimod trukket tilbage i konstruktionen, fx ved en tilsætning foran på karmen, er det nemmere at opnå den optimale placering. En tilsætning til karmen øger desuden dens dybde, så den kan dække over større isoleringstykkelser. På Figur 22 er vist en kombination med ramme-karmkonstruktion af plast og en murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering. Det ses dog, at ruden her er placeret så langt tilbage i ramme-karmkonstruktionen, at den faktisk når ind over falsen, hvilket dog heller ikke er ideelt.



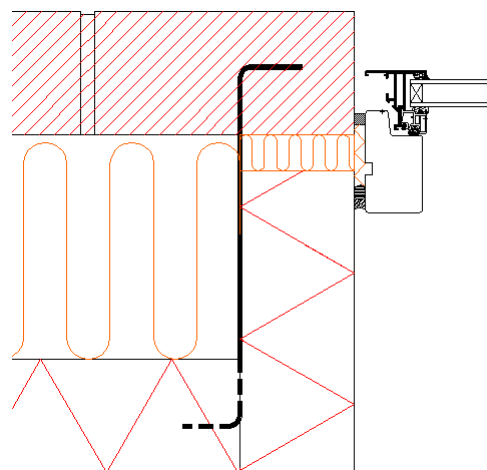
Figur 22. Ramme-karmkonstruktion af plast med murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering



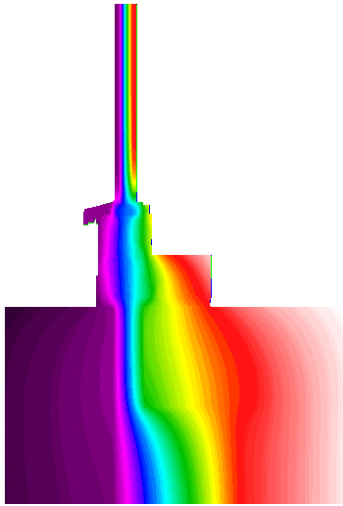
Figur 19. Kombinationsvinduet med murløsningen med 250 mm isolering og 137 mm kuldebroisolering



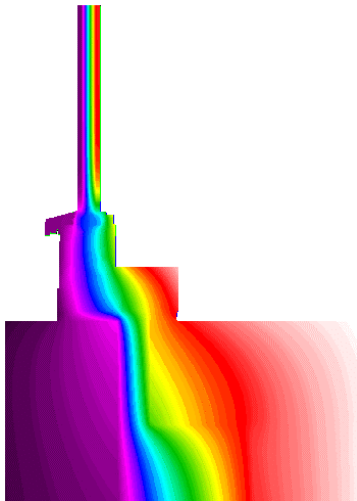
Figur 20. Kombinationsvinduet med murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering



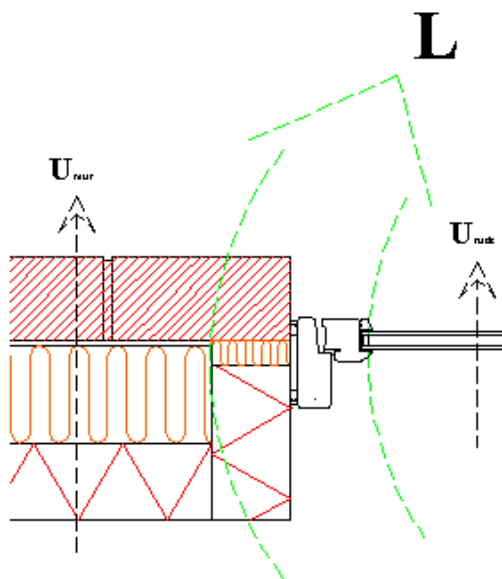
Figur 21. Ramme-karmkonstruktion af blandede materialer med murløsning med 190 mm isolering og 32 mm kuldebroisolering



Figur 23. Isotermernes forløb ned gennem en vindue-mur-samling med vinduet placeret midt for kuldbroisoleringen (30 mm overlap mellem mur og karm)



Figur 24. Isotermernes forløb ned gennem en vindue-mur-samling, hvor vinduet er yderligt placeret (58 mm overlap mellem mur og karm)



Figur 25. Det udvidede linjetab L

4 Linjetab for vindue-væg-samlingen

Det linjetab, der opstår ved vinduets tilslutning til muren, skyldes overvejende den to-dimensionelle varmestrøm, der opstår når et smalt vindue skal tilsluttes den væsentligt tykkere isoleringstykkelse i vinduesfalsen.

Linjetabet afhænger dels af hvor god kuldebrotafbrydelsen ved vinduesfalsen er og dels af vinduet, herunder specielt rudens placering i forhold til isoleringen i vinduesfalsen. Ved en placering midt for isoleringen vil isotermene, der løber ned gennem ruden, fordele sig ligeligt ned/ud gennem væggen. Derimod vil en yderlig placering, til den ene eller anden side, medføre en kraftig afbøjning af isotermene ved tilslutningen til muren med en geometrisk kuldebro og et øget linjetab til følge. På Figur 23 og Figur 24 er isotermernes forløb ned gennem tværsnittet vist ved en ikke så yderlig og en yderlig placering af karmen i forhold til kuldbroisoleringen. Bemærk forskellen i ”knækket” i isotermene, som løber fra karmen og ned gennem kuldebroydelingen.

En betydelig reduktion af linjetabet kan opnås ved anvendelse af vinduer med flere lag glas og større indbyrdes afstand således, at tykkelsen svarer bedre til isoleringstykkelsen.

4.1 Det udvidede linjetab, L

Den ideelle situation ville være at kunne samle ruden og muren (uden fals), hvor igennem der kun løber en-dimensionale varmestrømme, med hinanden, uden der opstår ekstra varmetab. Ved sådan en samling opstår, der dog uundgåeligt også to-dimensionelle varmestrømme med ekstra varmetab til følge. Endvidere er en direkte samling mellem rude og mur umulig, idet det er nødvendigt med en opmuring i murfalsen samt en ramme-karmkonstruktion til at fastholde ruden. Disse ekstra konstruktioner medfører 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, der benævnes L og angives med enheden W/mK, se Figur 25. L medtager altså alt det ekstra varmetab, der

opstår i fals, fuger og ramme-karm samt i samlingerne. Det skal præciseres, at denne udvidede linjetabsstørrelse ikke er en standardbetegnelse som det i fx Tillæg 4 til DS418 beskrevne linjetab, Ψ_s .

I det samlede linjetab, L, medtages der altså bidrag fra de 4 linjetab, der opstår i hhv. kuldebroen i falsen, $\Psi_{mur-fals}$, i samlingen mellem vindue og mur, $\Psi_{mur-fuge}$ og $\Psi_{fuge-karm}$, og endelig mellem rude og ramme, $\Psi_{ramme-rude}$. Endvidere medtages effekten af, at falsen og fugen mellem vindue og mur har en ringere U-værdi end muren, samt at ramme-karmprofilen har en ringere U-værdi end ruden, se Figur 26.

Samlet kan det udvidede linjetab udtrykkes med nedenstående ligning:

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

Fordi der regnes mere detaljeret end DS418 foreskriver, er effekten af fugen medtaget som et bidrag i sig selv.

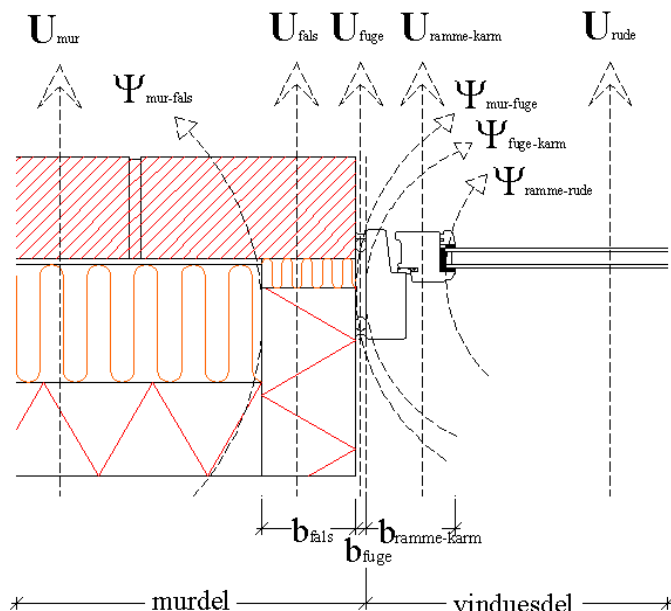
Denne opsplnitning af L i de enkelte bidrag kan være en metode, der ved mere detaljerede beregninger, kan fastsætte hvorfra de største bidrag til L stammer. Denne metode vil dog først blive benyttet i forbindelse med det videre arbejde med dette kompendium.

Herunder følger en beskrivelse af metoden, der benyttes til beregning af L. Sener i kapitlet beskrives metoden til bestemmelse af linjetabet, Ψ_s , i samlingen mellem mur og vindue.

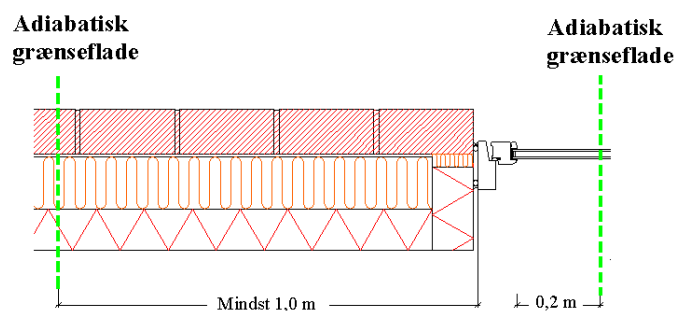
4.1.1 Beregningsmetode for L

Det udvidede linjetab beregnes ved at:

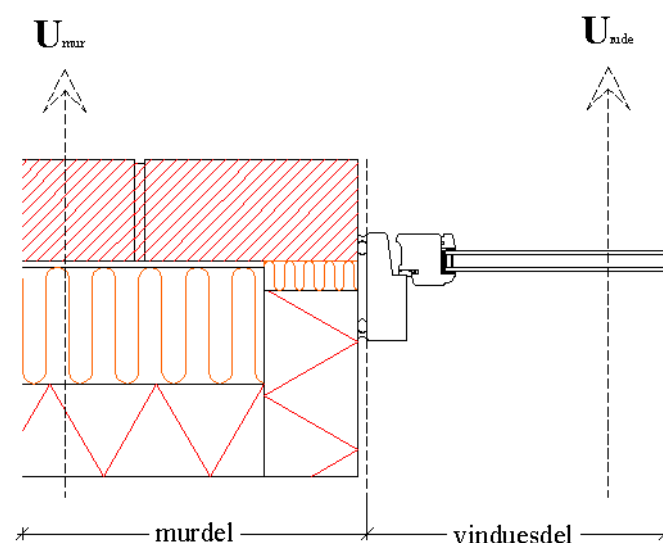
1. Beregne den samlede to-dimensionelle varmetøm, Φ_{2-dim} , gennem samlingen samt 0,2 m af ruden og mindst 1,0 m af den øvrige konstruktion op til karmen. Se Figur 27.
2. Fratrække de tilsvarende én-dimensionale varmetømme, Φ_{1-dim} , gennem murkonstruktionen (uden fals) og ruden beregnet med de på Figur 28 angivne længder, således at muren og



Figur 26. Bestanddelene i det udvidede linjetab, L



Figur 27. Beregningsmodel ved bestemmelse af det udvidede linjetab, L, og linjetab for samling mellem vindue og mur, Ψ_s



Figur 28. Længdeangivelse for beregning af de én-dimensionale varmetømme, Φ_{1-dim} , gennem mur hhv. rude.

ruden regnes hen til skillelinjen, der ligger på ydersiden af karmen.

3. Dividere med differensen mellem rum- og udetemperatur, $\theta_i - \theta_u$.

En sammenfattende ligning har følgende udseende:

$$L = \frac{\Phi_{2\text{-dim}} - \Phi_{1\text{-dim}}}{\theta_i - \theta_u}$$

hvor de en-dimensionale varmemstrømme beregnes som:

$$\Phi_{1\text{-dim}} = (U_{mur} \cdot b_{murdel} + U_{rude} \cdot b_{vinduedel})(\theta_i - \theta_u)$$

Varmestrømmene bestemmes pr. m kuldebro. Ved beregningerne anvendes der normalt en udetemperatur, θ_u , på 0 °C og en rumtemperatur, θ_i , på 20 °C.

Den samlede to-dimensionelle varmemstrøm gennem den beskrevne konstruktion bestemmes ved at beregne den samlede varmemstrøm gennem de indvendige overflader i W/m. Beregningen kan udføres med et program, der anvender numeriske metoder til at bestemme temperaturforhold og varmemstrømme i konstruktionen. Ved beregningen opdeles tværsnittet i Figur 27 i mindre elementer med ens materialedata. Elementerne skal være så små at yderligere underopdeling ikke vil forandre beregningsresultatet væsentligt, jf. DS/EN ISO 10211-1.

Af simuleringsprogrammer, der anvender numeriske metoder kan fx nævnes Therm og Heat2. Ved mere detaljerede modelleringer bør Therm benyttes, da Heat2 kun kan operere med rektangulære elementer. I Heat2 angives resultaterne direkte som varmemstrømme, hvorimod Therm angiver resultaterne som U-værdier (transmissionskoefficienter). Varmetabet kan derefter beregnes som:

$$\Phi_t = U A(\theta_i - \theta_u)$$

Hvor A er det projicerede areal pr. m samling.

4.2 Beregningsmetode for linjetabet i samlingen mellem vindue og mur, Ψ_s

Når der, som tidligere nævnt, fremover fra myndighedernes side vil blive sat mere fokus på betydningen af linjetab, er det linjetabet i samlingen mellem vindue og mur, Ψ_s , der vil blive sat krav til. Derfor gives her en gennemgang af beregningsmetoden for linjetabet Ψ_s i W/mK for samlinger omkring vinduer, der ligeledes tager udgangspunkt i Tillæg 4 til DS418 [3], Anneks B:

1. Først beregnes den samlede to-dimensionelle varmemstrøm gennem samlingen samt 0,2 m af ruden og mindst 1,0 m af den øvrige konstruktion op til samlingen, se Figur 27.
2. Dernæst indlægges en adiabatisk grænseflade, hvor vinduet med kalfatringsfluge støder op til den øvrige konstruktion. Adiabaten placeres langs hele murfladen i murhullet.
3. Så beregnes de tilsvarende to-dimensionelle varmemstrømme gennem henholdsvis vinduet og den øvrige konstruktion med adiabaten indlagt.
4. Linjetabet findes som differensen mellem den samlede varmemstrøm og de to separate deles varmemstrømme, divideret med differensen mellem rum- og udetemperatur.

Sammenfattet i en ligning giver dette:

$$\Psi_s = \frac{\Phi_{2\text{-dim-samlet}} - \Phi_{2\text{-dim-mur}} - \Phi_{2\text{-dim-vindue}}}{\theta_i - \theta_u}$$

Ligesom for det udvidede varmetab, L , bestemmes varmemstrømmene pr. meter samling også her med et program, der anvender numeriske metoder. Ved beregningerne anvendes ligeledes normalt en udetemperatur på 0 °C og en rumtemperatur på 20 °C.

4.3 Beregningsresultater for udvalgte vindue-murkombinationer

Der er foretaget beregninger af det udvidede linjetab, L , samt linjetabet for samling mellem vindue og mur, Ψ_s , for udvalgte murløsninger kombineret med samtlige vinduer (med undtagelse af ramme-karmprofil af aluminium, da dette som tidligere nævnt fortrinsvis benyttes i større glaspartier). Det skal noteres, at disse beregninger kun er en forsmag med udvalgte kombinationer, og at analyserne gøres komplette i den planlagte 2. del af kompendiet.

Til udførelse af beregningerne er de tidligere beskrevne metoder anvendt. Der er regnet med en 10 mm bred fuge samt et overlap mellem karm og formur på 30 mm, da dette anses for de mest realistisk mål. Med disse krav til overlap mellem karm og formur er det dog for alle ramme-karmkonstruktioner på nær kombinationsvinduet ikke muligt at opnå samme overlap mellem ramme og bagmur når kuldebroisoleringen er 77 mm. Beregningerne for denne murløsning er dog medtaget alligevel for at kunne belyse betydningen af øget kuldebroisolering. Resultaterne er anført i Tabel 2.

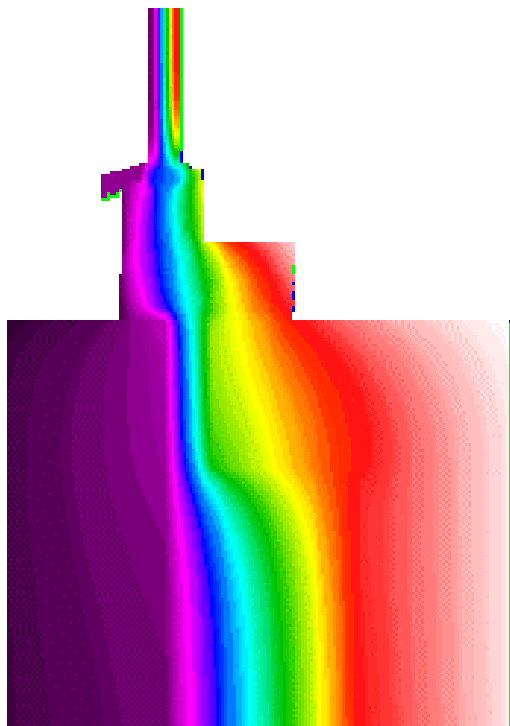
4.3.1 Overholdelse af myndighedernes krav

Det ses af resultaterne, at myndighedernes krav om at Ψ_s ikke må overstige 0,03 W/mK nemt kan overholdes uanset ramme-karmkonstruktion, når murløsningen har 125 mm isolering og 32 mm kuldebroisolering. Når de 125 mm isolering udskiftes med 190 mm bliver kravet til Ψ_s dog overskredet for tre af ramme-karmkonstruktionerne (ramme-karm af hhv. træ, træ beklædt med aluminium og blandede materialer). Det er altså ikke endegyldigt givet, at kravet kan overholdes ved at benytte 32 mm kuldebroisolering uanset murens isoleringstykkelse.

Betragtes resultaterne for murløsningen med 125 mm isolering og fuldmuret fals med forskellige vinduer, ses at kravene langt fra kan overholdes uanset vinduestype. I øvrigt er både L og Ψ_s over dobbelt så store som for de andre murløsninger, hvilket skyldes, at der slet ingen kuldebroisolering er i falsen. Det er altså nødvendigt med en vis størrelse kuldebroisolering i falsen.

Tabel 2. Beregningsresultater for udvalgte vindue-murkombinationer. Både det udvidede linjetab, L , og linjetabet for samling mellem vindue og mur, Ψ_s , er anført.

L- og Ψ_s -værdier [W/mK]	Ramme-karm af træ	Ramme-karm af træ beklædt m aluminium	Ramme-karm af plast	Ramme-karm af blandede materialer	Kombinations vinduet
Tegl-tegl 125 mm isol. fuldmuret fals	$L = 0,3947$ $\Psi_s = 0,0952$	$L = 0,3734$ $\Psi_s = 0,0874$	$L = 0,3797$ $\Psi_s = 0,0734$	$L = 0,4143$ $\Psi_s = 0,0785$	$L = 0,2290$ $\Psi_s = 0,0455$
Tegl-porebeton 125 mm isol. 32 mm kuldebroisol.	$L = 0,1817$ $\Psi_s = 0,0232$	$L = 0,1656$ $\Psi_s = 0,0206$	$L = 0,1845$ $\Psi_s = 0,0193$	$L = 0,2221$ $\Psi_s = 0,0274$	$L = 0,0597$ $\Psi_s = 0,0173$
Tegl-porebeton 190 mm isol. 32 mm kuldebroisol.	$L = 0,1939$ $\Psi_s = 0,0341$	$L = 0,1772$ $\Psi_s = 0,0308$	$L = 0,1877$ $\Psi_s = 0,0211$	$L = 0,2339$ $\Psi_s = 0,0378$	$L = 0,0698$ $\Psi_s = 0,0261$
Tegl-porebeton 190 mm isol. 77 mm kuldebroisol.	$L = 0,1660$ $\Psi_s = 0,0218$	$L = 0,1486$ $\Psi_s = 0,0179$	$L = 0,1588$ $\Psi_s = 0,0079$	$L = 0,2055$ $\Psi_s = 0,0251$	$L = 0,0410$ $\Psi_s = 0,0130$



Figur 29. Isotermernes forløb ned gennem en mur-vinduekonstruktion med 125 mm isolering i mur og 32 mm isolering i kuldebro



Figur 30. Isotermernes forløb ned gennem en mur-vinduekonstruktion med 190 mm isolering i mur og 32 mm isolering i kuldebro

4.3.2 Forskelle på murløsninger

Det ses af resultaterne, at størrelserne af linjetabene generelt reduceres for alle ramme-karmkonstruktioner, når isoleringstykkelserne i mur og fals øges samtidig. Er det derimod kun isoleringstykkelsen i muren, der øges, mens kuldebroisoleringens tykkelse bevares, ses at linjetabene stiger. Dette skyldes fortrinsvist det øgede to-dimensionale varmetab, der opstår, når murens store isolering skal tilsluttes den mindre kuldebroisolering, hvilket resulterer i et øget linjetab. På Figur 29 og Figur 30 er vist isotermernes forløb ned gennem en murkonstruktion med hhv. 125 mm og 190 mm, når kuldebroisoleringen er 32 mm. Bemærk den større udbredelse af isotermene efter opmuringen i falsen på Figur 30 end på Figur 29 pga. den større isoleringstykkelse.

4.3.3 Forskelle på ramme-karmprofiler

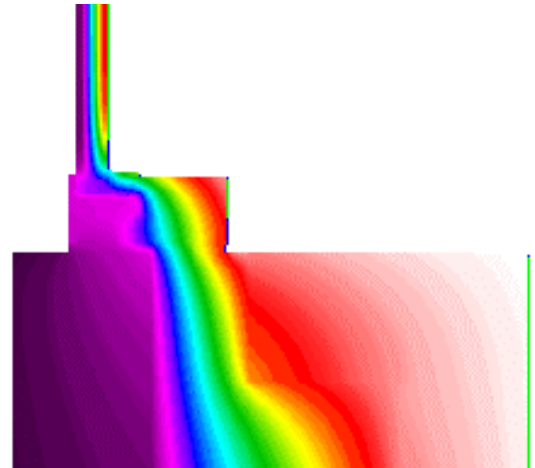
Betragtes vinduerne specifikt, ses at begge typer linjetab afhænger af hvilket vindue der benyttes, når murløsningen har fuldmuret fals. Denne viden kan bruges ved udskiftning af vinduer i ældre huse. For de øvrige murløsninger afhænger linjetabenes størrelser dog også af, hvilket vindue der benyttes.

Der er en generel tendens til, at ramme-karmkonstruktionen af blandede materialer giver et større linjetab, uanset hvilken mur den placeres i. Dette skyldes som tidligere nævnt, at ruden er placeret på ydersiden af karmen og derfor ikke opnår den optimale placering over kuldebroisoleringen. Se isotermernes forløb på Figur 31.

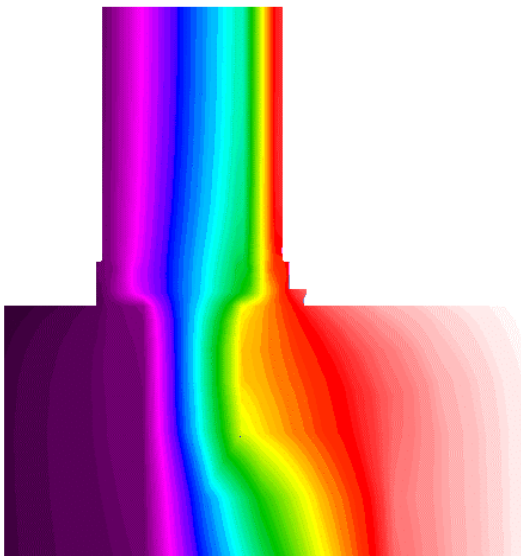
Det bedste resultat for Ψ_s opnås med ramme-karmprofil af plast med en murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering, hvor $\Psi_s = 0,0079 \text{ W/mK}$. Dette skyldes, at ruden er placeret næsten ud for kuldebroisoleringen så isotermene løber næsten lige ned gennem kuldebroisoleringen, se Figur 32.

De bedste resultater for L opnås derimod for Kombinationsvinduet, uanset hvilken murløsning der er regnet med. Dette skyldes i høj grad den lave U-værdi for ramme-

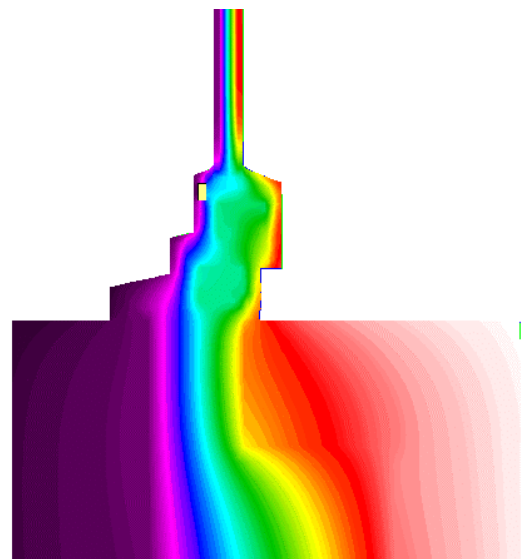
karmkonstruktionen. At Ψ_s -værdierne ikke er tilsvarende lave set i forhold til de øvrige ramme-kamkonstruktioner, kan forklares med, at ingen af kuldebroafbrydelserne er så brede som rudens dybde (der er 140 mm). Isothermerne bliver altså afbøjet indad ved tilslutningen til murløsningsfalsen, se Figur 33. Dette resulterer i et større to-dimensionalt varmetab på samme måde som en afbøjning indad gør det. Kombinationsvinduet kommer altså først til sin ret, når kuldebroisoleringen bliver større end 140 mm, dvs. i fremtidens murløsninger med meget isolering.



Figur 31. Ramme-karmkonstruktion af blandede materialer med murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering. Bemærk den store afbøjning af isothermerne fra rudens og ned til falsen



Figur 33. Kombinationsvinduet med murløsningen med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering. Bemærk indbøjningen af isothermerne ved tilslutningen til falsen



Figur 32. Ramme-karmkonstruktion af plast med murløsning med 190 mm isolering og 77 mm kuldebroisolering. Bemærk de forholdsvis rette isothermer i tilslutningen af karmen til falsen

5 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 4 til DS 418 Beregning af bygningers varmetab. Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og –vægge samt samlinger omkring vinduer og døre. Dansk Standard, 2000. (Under udgivelse)
- [4] Mur og tegldetaljer til AutoCAD® version 2.0. Teknologisk Institut, Murværk, 1999
- [5] Udvikling af klimaskærmskonstruktioner. IBE-raport R-042. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 2000
- [6] SBI-anvisning 177: Facadefuger. Udformning og materialer. Statens Byggeforskningsinstitut, 1993
- [7] Tillæg 2 til Bygningsreglement 1995. By- og Boligministeriet, 2000. (Høringsudgave)
- [8] Energi21 Regeringens energihandlingsplan 1996. Energistyrelsen, Miljø og Energiministeriet, 1996

6 Adresseliste

Adresse:	Kontaktpersoner:
BYG•DTU Danmarks Tekniske Universitet Bygning 118, Brovej 2800 Kgs. Lyngby Tlf. 45 25 18 55 http://www.byg.dtu.dk/	Svend Svendsen (45 25 18 54) Karsten Duer (45 25 18 67) Jørgen M. Schultz (45 25 19 02) Toke Rammer Nielsen (45 25 18 60) Jacob Birck Laustsen (45 25 19 39)
Energimærkningsordningens sekretariat TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 22	Hans Nielsen Peter Vestergaard
Vinduesproducenterens 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/	Gregersensvej Postboks 141 2630 Taastrup Tlf. 72 20 20 00 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/	Energioplysningen Tlf. 70 21 80 10 http://www.energioplysningen.dk/ Energistyrelsen: Sergio Fox

Bilag 1. Ændringer

Herunder er angivet de ændringer, der er foretaget i den foreløbige version af kompendium 14 siden den første version forelå:

Foreløbig version 1 (14. nov. 2000):

- Der er foretaget små tekstmæssige justeringer i hele kompendiet

Version 2 (26. marts 2001):

- Kompendiet har fået ny forside.
- U-054 er ændret til U-010
- Det generelle forord til kompendierne side 5 er revideret og udbygget