

KULDEBROER VED VINDUESFALSELEMENTER

JØRGEN ROSE



SAGSRAPPORT
SR-9714

1997

ISSN 1396-402X

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET



Kuldebroer ved Vinduesfelselementer

**Udført af Ph.D-stud. Jørgen Rose
Institut for Bygninger og Energi
Danmarks Tekniske Universitet
Lyngby, Danmark, Maj 1997**

Forord

Denne rapport er udarbejdet som et stykke rekvireret arbejde for H+H Industri A/S.

Rapporten undersøger forholdene for vinduesfalselementer med hensyn til kuldebroproblematikken og forsøger således at give et overblik over den samlede betydning for varmetabet gennem væg/loft, når der indsættes et vindue (og alt hvad dertil hører) i vægkonstruktionen.

I rapporten undersøges en række parametre for en given grundkonstruktion, med henblik på optimering af de varmetekniske forhold. Der foretages variationer i isoleringstykkelsen mellem falselementet og ydervæggen i tegl, samt i, den over vinduet beliggende, G-bjælkes højde. Herudover undersøges forholdene for to forskellige vægisoleringstykkelser - 125 mm og 150 mm.

Indholdsfortegnelse

	Side nr.
Forord	-
Indholdsfortegnelse	1
1. Indledning	2
2. Forudsætninger/antagelser	2
3. Vinduesfælelementer	6
4. 3-dimensionale modeller	7
5. 3-dimensionale beregninger	8
6. 2-dimensionale modeller	10
7. 2-dimensionale beregninger	11
8. Samlet betydning af vinduets tilstedeværelse i vægkonstruktionen	13
9. Vurdering af resultater	16
10. Sammenhængen mellem 2- og 3-dimensionale beregningsresultater	18
11. Referencer	20

1. Indledning

I denne korte rapport gennemgås resultaterne af beregninger foretaget på kuldebroer ved vinduesfalselementer.

I beregningerne foretaget på vinduesfalselementer er anvendt beregningsprogrammerne HEAT2 [1] og HEAT3 [2], hvor sidstnævnte er i stand til at beregne 3-dimensionale konstruktionsudsnit.

Beregningerne er, som nævnt, foretaget ved anvendelse af beregningsprogrammer, hvorfor det naturligt er antaget, at konstruktionerne opbygges ideelt dvs. fuldstændigt i overensstemmelse med konstruktionstegningerne.

2. Forudsætninger/antagelser

Følgende materialeparametre er antaget gældende under beregningerne:

Tabel 1 : λ -værdier for indgående materialer

Træ	0,120 W/mK	Teglsten	0,780 W/mK
Mineraluldsisolering	0,039 W/mK	G-bjælke	0,260 W/mK
Porebeton Multiplader	0,200 W/mK	Murbindere (rustfast stål)	17.00 W/mK
Porebeton Vægelementer	0,200 W/mK	Luftlag (ej mellem glas)	**
Gipsplader	0,200 W/mK	Stopning	0,055 W/mK
Glas	0,800 W/mK	Polystyren	0,050 W/mK
Luftlag mellem glas	0,084*W/mK		

*) Denne værdi er fastlagt ved at omregne vinduets normale U-værdi ($U_{\text{center}} = 3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) for centerdelen til en ækvivalent λ -værdi for luftmellemrummet.

***) For luftlag i konstruktionerne, som ikke befinder sig mellem vinduesglas, er den ækvivalente λ -værdi bestemt ved interpolation i DS418's [3] tabel 6.7.

Vinduets center U-værdi er som nævnt sat til $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette har ingen betydende effekt for de beregnede linietaf m.v., og linietafene kan således antages gældende uanset rudens U-værdi.

Følgende temperaturer og overgangsisolanser er anvendt i beregningerne:

<i>Tabel 1a : Vejrdata for beregninger</i>		
Område	Temperatur	Overgangsisolans
Inde	20°C	0,13 m ² K/W
Ude	-12°C	0,04 m ² K/W

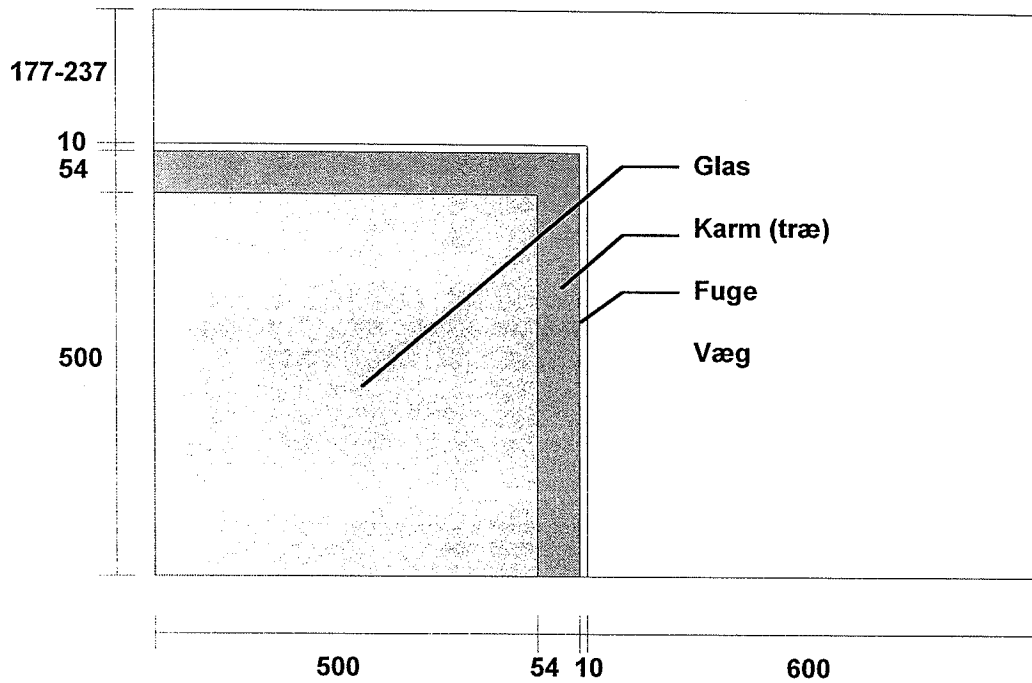
For at give et bedre overblik over den model hvorpå der regnes, er der i figur 1 på næste side givet en skitse af væggen set indefra. Udover de på figur 1 optegnede arealer, består de 3-dimensionale modeller endvidere af loftsstrukturen. Loftsstrukturen udgør i samtlige modeller et areal på $\sim 0,70 \text{ m}^2$, svarende til at der medtages 0,6 m loft ind i bygningen.

I figur 2 er givet et vandret snit gennem vindue/karm/fals, med påførte mål. Denne model forekommer ligeledes i en version hvor der ikke er modelleret murbindere. Disse to modeller vægtes, således at modellen inkluderende murbindere anvendes for den procentdel af den samlede konstruktion hvor murbindere forekommer (0,6 %).

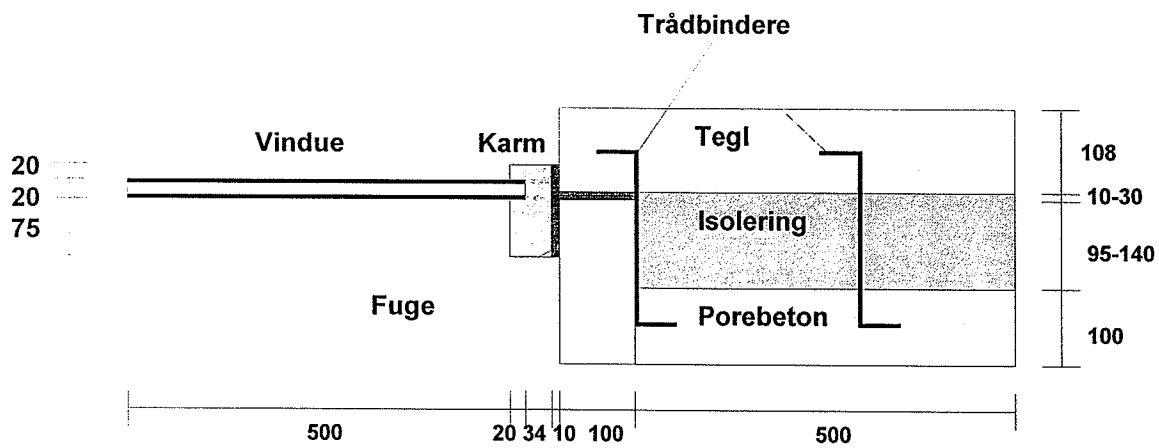
På figur 3 er angivet et lodret snit i vindue/karm/G-bjælke/loft. G-bjælkens højde er opgivet som 177/237 mm. Dette skyldes at gipspladen, som udgør loftsbeklædningen er 13 mm tyk, og den samlede højde af G-bjælken er således 190/250 mm. G-bjælken tænkes at ligge i hele modellens bredde.

I figur 4 er optegnet vandret snit gennem fals, for vægdelen beliggende under vinduet.

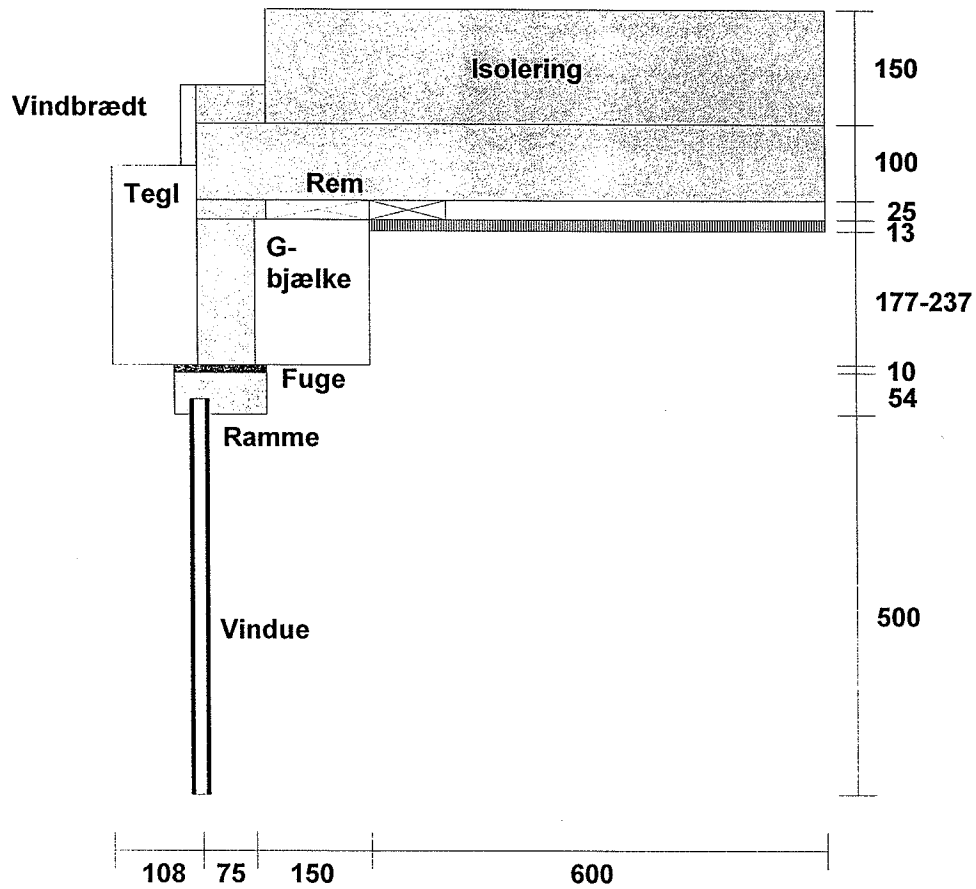
I figur 5 er optegnet lodret snit gennem den nederste del af vinduet.



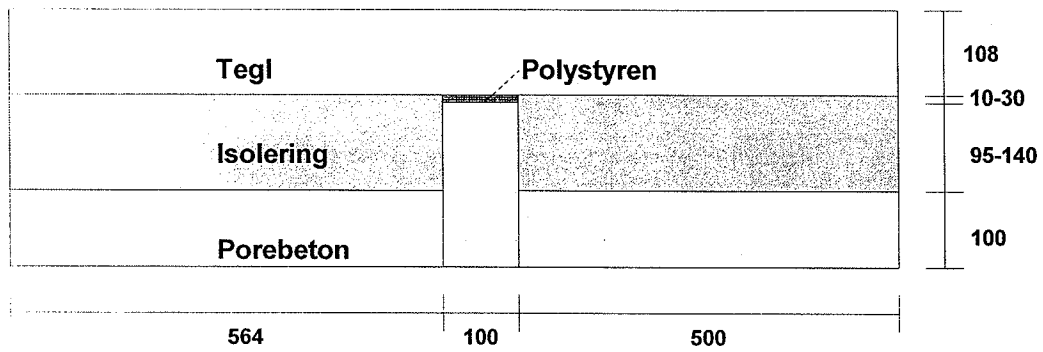
Figur 1 : Modelmål for 3-dimensionale beregninger.



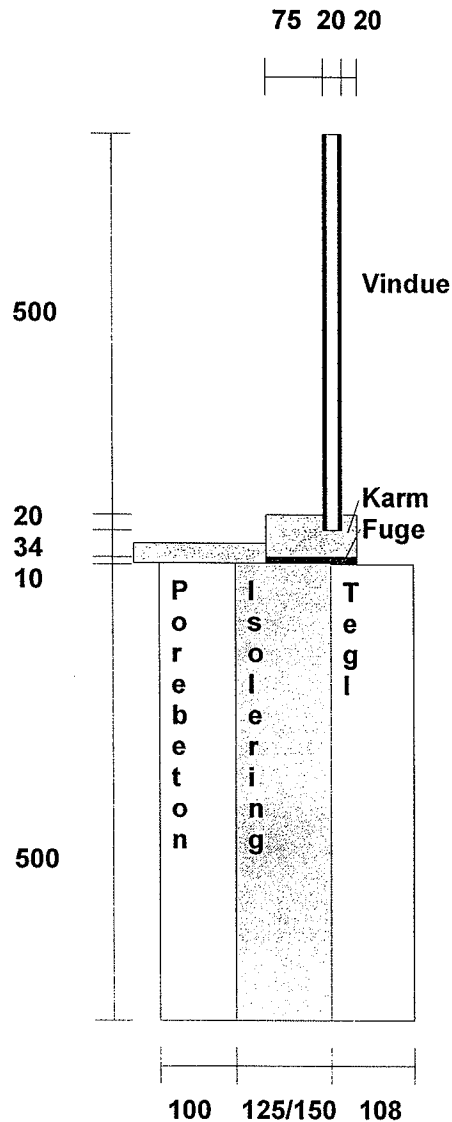
Figur 2 : Vandret snit gennem vindue/fals for beregningsmodel



Figur 3 : Lodret snit gennem vindue/G-bjælke for beregningsmodel



Figur 4 : Vandret snit gennem fals under vindue



Figur 5 : Lodret snit gennem vinduets nederste del

3. Beregning af vinduesfalselømligheder

Der blev foretaget i alt 12 forskellige 3-dimensionale beregninger af vinduesfalselømligheden samt 4 referenceberegninger. Herudover blev der endvidere foretaget 11 forskellige 2-dimensionale beregninger, hvor vandrette og lodrette snit gennem vinduestilslutningen analyseres. Til sammen danner beregningerne grundlag for en beregning af vinduets samlede betydning for varmetabet gennem den omkringliggende konstruktion.

Resultaterne af alle beregningerne er givet i det efterfølgende, på trods af at flere af disse er mindre direkte anvendelige. De er medtaget i rapporten alligevel, idet det blev vurderet at disse kunne have interesse.

De egentlige resultater, som belyser den oprindelige opgaves problematik - en vurdering af vinduets betydning for varmetabet i området omkring det -, kan ses i rapportens kapitel 8 'Samlet betydning af vinduets tilstedeværelse i vægkonstruktionen'.

Sidst i dette afsnit sammenholdes de 2- og 3-dimensionale beregningsresultater, og der foretages en evaluering af behovet for 3-dimensionale analyser, for beregninger af denne type konstruktionsdetaljer.

4. 3-dimensionale modeller

De 3-dimensionale modeller sammensættes af snittegningerne i figur 1, 2 og 3. Nedenfor er de beregnede variationer kort beskrevet (numrene refererer til modellens nummer):

1. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 10 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.
2. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 20 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.
3. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 30 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.
4. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 10 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.
5. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 20 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.
6. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 30 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.

7. Referenceberegning, hvor der ikke er indsat et vindue i vægkonstruktionen. 125 mm isolering i væggen. G-bjælke 190 mm høj.
8. Referenceberegning, hvor der ikke er indsat et vindue i vægkonstruktionen. 150 mm isolering i væggen. G-bjælke 190 mm høj.
9. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 10 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
10. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 20 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
11. Der anvendes 125 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 30 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
12. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 10 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
13. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 20 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
14. Der anvendes 150 mm isolering i væggen, og kuldebroen ved falselementet brydes af 30 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.
15. Referenceberegning, hvor der ikke er indsat et vindue i vægkonstruktionen. 125 mm isolering i væggen. G-bjælke 250 mm høj.
16. Referenceberegning, hvor der ikke er indsat et vindue i vægkonstruktionen. 150 mm isolering i væggen. G-bjælke 250 mm høj.

5. 3-dimensionale beregninger

Beregningsresultaterne for de 3-dimensionale beregninger er angivet i de efterfølgende fire tabeller. De tre første modeller i hver tabel repræsenterer den, i tabellens titel beskrevne, konstruktion med isolering mellem vinduesfals og teglsten på henholdsvis 10, 20 og 30 mm.

Den sidste række i tabellerne repræsenterer resultatet for referenceberegningen. I referenceberegningen er vinduet (og dermed også falselement og G-bjælke) udeladt. Beregningen giver således resultaterne for situationen hvor man vælger ikke at have et vindue i ydervæggen.

Resultaterne anført i de tabel 2, 3, 4 og 5 gælder naturligvis kun for udsnittet modelleret i 3 dimensioner (dvs. loftet samt væggen ned til midt (0,5 m) af vindue). Varmetab og kuldebroer angivet i tabellerne er således kun gældende for den 3-dimensionale model som opbygges af figurerne 1, 2 og 3. Kuldebroens andel fås som den del af den samlede varmemstrøm som skyldes 2- og 3-dimensionale effekter, altså det 3-dimensionale resultat minus den én-dimensionale varmemstrøm (efter DS418). Andelen i % beregnes i forhold til referencen.

Tabel 2 : Beregningsresultater. 125 mm isolering i væg, G-bjælke 190 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W)	Kuldebroens andel (W)	Kuldebroens andel (%)
1	40,56	6,59	56,5
2	40,33	6,36	54,5
3	40,12	6,15	52,7
7 (ref.)	11,66	0,00	0,00

Tabel 3 : Beregningsresultater. 150 mm isolering i væg, G-bjælke 190 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W)	Kuldebroens andel (W)	Kuldebroens andel (%)
4	40,14	5,27	49,3
5	39,92	5,05	47,2
6	39,72	4,85	45,3
8 (ref.)	10,70	0,00	0,00

Tabel 4 : Beregningsresultater. 125 mm isolering i væg, G-bjælke 250 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W)	Kuldebroens andel (W)	Kuldebroens andel (%)
9	41,68	8,67	71,0
10	41,45	8,44	69,1
11	41,25	8,24	67,5
15 (ref.)	12,21	0,00	0,00

Tabel 5 : Beregningsresultater. 150 mm isolering i væg, G-bjælke 250 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W)	Kuldebroens andel (W)	Kuldebroens andel (%)
12	41,21	7,38	66,0
13	40,98	7,15	64,0
14	40,78	6,95	62,2
16 (ref.)	11,18	0,00	0,00

6. 2-dimensionale modeller

Nedenfor er de 2-dimensionale modeller kort beskrevet.

1. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 125 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 10 mm isolering.
2. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 125 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 20 mm isolering.
3. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 125 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 30 mm isolering.
4. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 150 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 10 mm isolering.
5. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 150 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 20 mm isolering.
6. Vandret snit gennem vinduestilslutningen. I væggen anvendes 150 mm isolering, og falselementets kuldebro afbrydes af 30 mm isolering.
7. Lodret snit gennem tag/væg/vindue. G-bjælken er 190 mm høj og der er 50 mm isolering mellem G-bjælke og teglsten.
8. Lodret snit gennem tag/væg/vindue. G-bjælken er 190 mm høj og der er 75 mm isolering mellem G-bjælke og teglsten.
9. Lodret snit gennem tag/væg/vindue. G-bjælken er 250 mm høj og der er 50 mm isolering mellem G-bjælke og teglsten.

10. Lodret snit gennem tag/væg/vindue. G-bjælken er 250 mm høj og der er 75 mm isolering mellem G-bjælke og teglsten.
- 11.-12. Referenceberegninger for model 1-3 henholdsvis 4-6, dvs. uden vindue i væggen.
- 13.-14. Referenceberegninger for model 7-8 henholdsvis 9-10, dvs. uden vindue i væggen.
- 15.-20. Vandrette snit gennem væg/falselement under vinduet (dvs. som model 1 - 6 uden vindue i væggen).
- 21.-22. Referenceberegning for modellerne 15-20, dvs. uden falselement.

Alle modeller hvori der indgår murbindere, er ligeledes beregnet uden murbindernes tilstedeværelse. Det endelige resultat for beregningerne opnås således ved at vægte disse to beregninger. Murbindere antages placeret pr. 1 m.

7. 2-dimensionale beregninger

Beregningsresultaterne for de 2-dimensionale beregninger er angivet i de efterfølgende tabeller.

I tabellerne er angivet varmetabet gennem den aktuelle model, den gennemsnitlige U-værdi for modellen, samt afvigelsen i forhold til tilfældet hvor kuldebroerne ikke medtages i resultatet. Endvidere er der opgivet et referenceresultat som angiver varmetabet for en tilsvarende modelstørrelse uden vindue. Kuldebroens linietaf i % er udregnet i forhold til referencen.

Tabel 6 : Beregningsresultater. 125 mm isolering i væg.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens linietaf (W/m)	Kuldebroens linietaf (%)
1	59,92	2,67	28,5
2	59,49	2,42	25,8
3	59,17	2,24	23,9
11 (ref)	9,37	0,00	0,00

Tabel 7 : Beregningsresultater. 150 mm isolering i væg.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens linietaab (W/m)	Kuldebroens linietaab (%)
4	59,38	2,83	35,0
5	58,96	2,56	31,7
6	58,65	2,38	29,5
12 (ref)	8,08	0,00	0,00

Tabel 8 : Beregningsresultater. 50 mm eller 75 mm isolering. G-bjælke 190 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens linietaab (W/m)	Kuldebroens linietaab (%)
7	59,92	2,21	22,2
8	59,23	1,92	19,3
13 (ref)	9,96	0,00	0,00

Tabel 9 : Beregningsresultater. 50 mm eller 75 mm isolering. G-bjælke 250 mm høj.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens linietaab (W/m)	Kuldebroens linietaab (%)
9	60,68	2,17	23,7
10	59,87	1,88	20,6
14 (ref)	9,14	0,00	0,00

Tabel 10 : Beregningsresultater. Vandret snit i væg/fals under vindue.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens andel (W/m)	Kuldebroens andel (%)
15	10,84	0,34	3,7
16	10,61	0,28	3,0
17	10,42	0,24	2,6
21 (ref)	9,30	0,00	0,00

Tabel 11 Beregningsresultater. Vandret snit i væg/fals under vindue.

Model (#)	Varmetab for modellen (W/m)	Kuldebroens andel (W/m)	Kuldebroens andel (%)
18	9,49	0,30	3,7
19	9,30	0,26	3,2
20	9,15	0,24	3,0
22 (ref)	8,02	0,00	0,00

8. Samlet betydning af vinduets tilstedeværelse i vægkonstruktionen

Den samlede betydning af vinduets tilstedeværelse i vægkonstruktionen analyseres ved, først at foretage en summering af resultater fra de 2- og 3-dimensionale beregninger, således at der opnås et resultat for hele det område som vinduets tilstedeværelse influerer på. I denne forbindelse vil det være nødvendigt at undersøge, hvorvidt det er en tilstrækkeligt nøjagtig tilnærmelse at anvende 2-dimensionale resultater som simplificering af de 3-dimensionale forhold. Undersøgelsen gælder naturligvis området omkring vinduets nedre del, som ikke blev modelleret i de 3-dimensionale modeller. Undersøgelsen er ikke medtaget i denne rapportering for ikke at drukne denne i omfattende beregningsresultater med kun meget lille relevans for de egentlige resultater.

Resultaterne af disse beregninger var, at der var mindre end 1 % forskel mellem varmetabet beregnet med HEAT3 [2] i forhold til de simplificerede beregninger med HEAT2 [1]. Det antages derfor i det efterfølgende, at 2-dimensionale beregninger kan anvendes til beregning af varmetabet for den del af konstruktionen som ikke er modelleret i de 3-dimensionale beregninger.

Til sammenligning foretages en beregning af det samme konstruktionsudsnit, hvor vinduet, samt alle elementer som indsættes i forbindelse hermed (fals, G-bjælke etc.), ikke modelleres med.

De to resultater som på denne måde fremkommer, vil efterfølgende kunne sammenlignes, og det vil være muligt at bestemme vinduets samlede betydning for varmetabet. Endvidere

opstilles en liste over de linie- og punkttab som sammenlagt giver kuldebrobidraget ved indsættelse af et vindue i klimaskærmen.

I forbindelse med førstnævnte beregning skal det nævnes, at der *ikke* her tages højde for den kuldebroeffekt som opstår i forbindelse med mødet mellem falselementet og fundamentskonstruktionen. Denne effekt opstår naturligvis også p.g.a. vinduets tilstedeværelse, idet falselementet netop placeres i væggen for at styrke samlingen omkring vinduet, men dette er i denne forbindelse alligevel udeladt for at begrænse omfanget af beregningsmodeller.

I tabel 12, på næste side, er resultaterne opstillet. Der angives det samlede varmetab for modellen, kuldebroandelen heraf samt varmetab og kuldebroprocent for en tilsvarende model uden vindue. Der er på nuværende tidspunkt ikke nogen metode som muliggør opdeling af den samlede kuldebroeffekt på enkeltkomponenterne i konstruktionen (fals, karm, G-bjælke etc.), og kuldebroandelen bliver således kun præsenteret for den samlede konstruktion. Der arbejdes i øjeblikket på generelle fordelingsfunktioner til opdeling af kuldebroernes bidrag.

Der er i beregningerne regnet med en indvendig rumhøjde på 2,3 m, og modellerne som er brugt i vurderingen af vinduets betydning for varmetabet, indeholder følgende projicerede 'arealer':

1. Vindue, glasareal	0,500 m ²
2. Vindue, karmareal (incl. stopning)	0,135 m ²
3. Vindue, samlet	0,635 m ²
4. Væg	2,042 m ²
5. Loft	0,582 m ²
Totalt transmissionsareal	<u>3,259 m²</u>

Modellerne er opbygget som vist i figur 5, med den forskel at der nu medtages hele halvdelen af vinduet, samt den del af væggen som ligger under vinduet. Resultaterne er således gældende for en fuld væghøjde med et halvt vindue, og man skal altså multiplicere de

efterfølgende resultater med 2, for at opnå den samlede effekt af vinduets tilstedeværelse i ydervæggen. Sidste kolonne vil ikke ændres, idet der her er tale om en procentdel som forbliver den samme hvis samtlige andre resultater multipliceres med 2.

Tabel 12: Samlet betydning af vinduets tilstedeværelse for varmetabet (3-dim. modeller)

Model (#)	Varmetab u. vindue (W)	Varmetab m. vindue (W)	Heraf udgør kuldebroer (W)	Heraf udgør kuldebroer (%)
1	26,0	83,2	9,2	35,4
2	26,0	82,5	8,8	33,8
3	26,0	81,9	8,4	32,3
4	23,1	81,2	7,9	34,2
5	23,1	80,5	7,5	32,5
6	23,1	80,0	7,2	31,2
9	26,0	83,8	11,2	43,1
10	26,0	83,1	10,8	41,5
11	26,0	82,6	10,5	40,4
12	23,1	81,8	10,0	43,3
13	23,1	81,1	9,6	41,6
14	23,1	80,6	9,3	40,3

Tabel 13 : Samlet varmetab, punkt- og linietaf for modeller

Model #	Samlet varmetab (W)	Heraf linietaf (W)	Heraf punktetaf (W)
1	83,2	7,7	1,5
2	82,5	7,3	1,5
3	81,9	6,9	1,5
4	81,2	6,1	1,8
5	80,5	5,7	1,8
6	80,0	5,4	1,8
9	83,8	9,5	1,7
10	83,1	9,1	1,7
11	82,6	8,8	1,7
12	81,8	7,9	2,1
13	81,1	7,6	2,1
14	80,6	7,2	2,1

9. Vurdering af resultater

Af tabel 12 fremgår det, at jo større isoleringstykkelse der findes i vægkonstruktionen, desto større relativ betydning har vinduets tilstedeværelse i væggen for det samlede varmetab. Således ligger det ekstra varmetab ved vinduets implementering på mellem 215 % og 222 % for modeller med 125 mm isolering, mens der ved 150 mm isolering opnås et ekstra varmetab ved vinduets implementering på mellem 246 % til 254 %. Varmetabet gennem det betragtede konstruktionsudsnit bliver således mere end dobbelt så stort, når der sættes et vindue ind i vægkonstruktionen.

Betragtes varmetabene for de forskellige modeller, fremgår det at de største varmetab forekommer for modellerne med 125 mm isolering i vægkonstruktionen. Hvis man beregner forskellen mellem varmetabet ved 150 mm henholdsvis 125 mm isolering i vægkonstruktionen, ligger denne på gennemsnitligt ca. 3 %. Man kan altså reducere varmetabet gennem hele konstruktionen (modellen) med 3 %, ved at ændre fra en

isoleringstykkelse på 125 mm til en isoleringstykkelse på 150 mm. Dette synes måske ikke umiddelbart af meget, men her skal man være opmærksom på, at konstruktionsudsnittet (modellen) ikke inkluderer særligt store rene vægarealer.

Af tabel 12 fremgår det endvidere, at de største kuldebroandele forekommer for modeller hvor der anvendes 125 mm isolering i væggen. Der er dog ikke den store forskel og kuldebroerne i modellerne udgør typisk omkring 10 - 12 % af det samlede varmetab for modellerne.

At kuldebroerne ikke, relativt set, er størst ved den største isoleringstykkelse skyldes, at ikke alle kuldebroerne i konstruktionen får en relativt øget indflydelse ved en isoleringsforøgelse.

Betragtes resultaterne i forhold til beregninger af modeller hvor der ikke blev indsat et vindue i væggen, vil man opdage at de største forskelle forekommer for modeller med 150 mm isolering. Dette afspejler naturligvis det forhold, at de dårligere isolerende partier i konstruktionerne får et relativt set større varmetab når isoleringstykkelsen øges.

Skal man nu forsøge at betragte resultaterne ud fra de andre parametervariationer som blev foretaget (falsisolering 10-30 mm og G-bjælke 190/250 mm), ser man først og fremmest G-bjælkens højdes betydning for kuldebroomfanget for modellerne.

I modellerne hvor G-bjælken er 190 mm høj, udgør kuldebroerne mellem 52,7 % - 56,5 % ved 125 mm isolering i vægkonstruktionen og mellem 45,3 % - 49,3 % ved 150 mm isolering i vægkonstruktionen. For modellerne hvor G-bjælken er 250 mm høj, bliver tilsvarende mellem 67,5 % - 71,0 % ved 125 mm isolering i vægkonstruktionen og mellem 62,2 % - 66,0 % ved 150 mm isolering i vægkonstruktionen. Kuldebroomfanget forøges således med ca. 15 % hvis man skifter fra en 190 mm høj G-bjælke til en 250 mm høj G-bjælke.

Ved betragtning af disse resultater er det vigtigt at være opmærksom på, at den anvendte reference er en ren vægkonstruktion. Forøges således G-bjælkens højde i en given model, er dette ensbetydende med at man har et større areal hvor der kun er 50/75 mm isolering mellem G-bjælke og ydervæg, og der vil således forekomme en større varmestrøm gennem den samlede model, set i forhold til en model hvor G-bjælkens højde er mindre

Betragtes tabel 13, fremgår det at modeller indeholdende en G-bjælke på 190 mm har et varmetab som er ca. 0,6 W mindre end tilsvarende modeller med 250 mm høj G-bjælke.

Denne forskel svarer nogenlunde til reduktionen i varmetabet for de samlede modeller, når man forøger isoleringstykkelsen ved falsen med 10 mm.

Linietalet for modellerne er ca. 1,8 W større ved modeller med 250 mm G-bjælke mens punkttalet er ca. 0,2 W større. Det samlede 'ekstra' varmetab ved modeller med 250 mm G-bjælke er således ca. 2,0 W, men betragtes det samlede varmetab vil man opdage, at dette kun forøges med ca. 0,6 W. Varmetabet øges således ikke i betydeligt omfang, ved anvendelse af 250 mm G-bjælke frem for 190 mm G-bjælke.

Effekten af en variation i falsisoleringen er ikke umiddelbart særligt stor. Går man fra 10 mm til 20 mm reduceres varmetabet for den samlede model med ca. 0,7 W, mens varmetabet fra den samlede model reduceres med ca. 0,5 W hvis man går fra 20 mm falsisolering til 30 mm falsisolering. Betragtes kuldebroandelen i denne henseende, vil man opdage at reduktionen ved en ændring fra 10 mm til 20 mm ligger på ca. 0,6 W for modeller med 125 mm isolering i væggen og ca. 0,4 W for modeller med 150 mm isolering i væggen. Tilsvarende ved springet fra 20 mm til 30 mm falsisolering fås 0,4 W henholdsvis 0,3 W. Falsisoleringen reducerer således, som tiltænkt, hovedsageligt kuldebroerne og i mindre grad det én-dimensionale tab. Hvorvidt den mulige reduktion i varmetabet er en god eller dårlig investering er umiddelbart svært at sige, men det er som nævnt ganske små relative besparelser der er tale om.

10. Sammenhængen mellem 2- og 3-dimensionale beregningsresultater

For at undersøge sammenhængen mellem de 2- og 3-dimensionale beregninger, er resultater for disse beregninger opstillet nedenfor i samme tabel.

For at kunne sammenligne de 2-dimensionale beregningsresultater med de 3-dimensionale, er det nødvendigt at foretage en række ekstra 2-dimensionale beregninger. Disse beregninger er ikke beskrevet i denne rapport, idet de udelukkende tjener det formål, at afgøre hvorvidt beregninger af konstruktioner i 3 dimensioner kan foretages med 2-dimensionale beregningsprogrammer, eller om det er nødvendigt at beregne problemtypen med et 3-dimensionalt beregningsprogram.

Beregningerne som sammelignes svarer til de 3-dimensionale modeller, dvs. der medtages kun ned til midt på vinduet (se figur 1, 2 og 3)

På næste side er resultaterne opstillet med mulighed for sammenligning.

Tabel 14 : Sammenligninger mellem 2- og 3-dimensionale beregninger

Model (#)	Varmetab 2-dim. (W)	Varmetab 3-dim. (W)	Punkttab (W)
1	39,04	40,56	1,52
2	38,81	40,33	1,52
3	38,63	40,12	1,49
4	38,31	40,14	1,83
5	38,08	39,92	1,84
6	37,92	39,72	1,80
9	39,98	41,68	1,70
10	39,75	41,45	1,70
11	39,57	41,25	1,68
12	39,12	41,21	2,09
13	38,89	40,98	2,09
14	38,73	40,78	2,05

Betragtes resultaterne i ovenstående tabel vil man bemærke, at der er mindre afvigelser mellem de 2- og 3-dimensionale beregninger.

Resultaterne vidner bl.a. om at, jo større isoleringstykkelse der er i væggen, desto større afvigelse bliver der mellem de 2- og 3-dimensionale beregninger. Endvidere fremgår det af tabellen, at afvigelsen mellem resultaterne ligeledes stiger, når G-bjælkens højde forøges.

Af tabellen kunne man måske forledes til at konkludere, at det formentlig ville have været tilstrækkeligt at beregne vinduesfåselementets forskellige variationer med det 2-dimensionale beregningsprogram. En sådan konklusion ville måske ikke være helt forkert, man skal blot være opmærksom på, at hver gang man simplificerer sine beregningsforudsætninger, -metoder osv., har det altid en indflydelse på det endelige resultat, og man kan således risikere, alt i alt

at have ændret det 'korrekte' resultat i et ikke ubetydeligt omfang. Derfor må afgørelsen om hvorvidt der skal regnes i 2 eller 3 dimensioner, foretages ud fra overvejelser vedrørende anvendelsen af resultaterne. Skal man bruge et nøjagtigt resultat, må man beregne, om ikke hele så i hvert tilfælde dele af konstruktionen, i 3 dimensioner, mens man, hvis kravet til nøjagtigheden ikke er så stort, kan foretage alle beregninger i 2 dimensioner.

I beregningerne i denne rapport, må man sige at det er tilstrækkeligt at nøjes med 2-dimensionale beregninger for den nederste del af væggen og vinduet (dvs. den del af den samlede model som ikke indgår i de 3-dimensionale beregninger).

11. Referencer

- [1] HEAT2 (version 2.53), Thomas Blomberg, Department of Building Physics, Lund University, 1994.
- [2] HEAT3 (version 2.6), Thomas Blomberg, Department of Building Physics, Lund University, 1995.
- [3] DS418 'Beregninger af bygningers varmetab', 5. udgave, December 1986, Teknisk Forlag København, Normstyrelsens Publikationer NP-186-S.