

Isolerende skodder

Jørgen M. Schultz

**Laboratoriet for Varmeisolering
Meddelelse nr. 202**

**Danmarks Tekniske Højskole
December 1990**

LAVENERGIGRUPPEN: Bjarne Saxhof, civ.ing., projektleder
Mogens R. Byberg, lektor, civ.ing.
Jørgen M. Schultz, civ.ing.
Kirsten Engelund Thomsen, civ.ing.
Kim B. Wittchen, civ.ing.

FORORD

Projektet "Isolerende skodder" er udført på Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, og er finansieret af Energiministeriets forskningsprogram EFP85. (ENS j.nr. 501-08-01, programområde 1.2.1 Klimaskærmen).

Delresultater fra projektet har været præsenteret ved "Nordiskt symposium i byggnadsfysik" afholdt i Lund, Sverige, den 24.-26. august 1987.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
Forord	
Indholdsfortegnelse	
Resumé	3
Summary	4
Symbolliste	5
Indledning	7
1. Definition af skoddeeffektivitet	9
2. Beskrivelse af vægkonstruktionerne anvendt i beregningerne	11
3. Generel beskrivelse af indvendige skodder	15
4. Indvendige skoddetyper	17
5. Varmeteknisk effektivitet af indvendige skodder	23
6. Generel beskrivelse af skodder mellem glaslag	29
7. Skoddetyper mellem glaslag	31
8. Varmeteknisk effektivitet af skodder mellem glaslag	35
9. Generel beskrivelse af udvendige skodder	39
10. Udvendige skoddetyper	41
11. Varmeteknisk effektivitet af udvendige skodder	45
12. Sammenligning af skoddeeffektiviteterne	51
13. Skoddeeffektivitetens afhængighed af kuldebroer og isoleringstykkelse	53
14. Analyse af lufttæthedens betydning for skoddeeffektiviteten	57
15. Kombination af skodder og rudetyper	61
16. Analyse af fugtproblemer	63
17. Årlig energibesparelse ved brug af skodder	69
18. Økonomisk maksimale skoddeomkostninger	71
19. Konklusion	73
20. Referencer	75
LavEnergi Publikationer fra Laboratoriet for Varmeisolering, DTH	77

RESUMÉ

Ud fra en litteraturundersøgelse er en række forskellige skodeløsninger valgt ud, og der er foretaget en vurdering af fordele og ulemper af såvel konstruktiv som varme- og fugtteknisk art.

Inden for grupperne af indvendige skodder, skodder mellem glaslag og udvendige skodder er enkelte repræsentative løsninger underkastet en detaljeret analyse af den varmetekniske effektivitet. Analysen er udført med et edb-program TODIM til beregning af to-dimensionale stationære felter, der er velegnet til bestemmelse af randeffekters og kuldebroers betydning for den varmetekniske effektivitet. Derudover er betydningen af skoddernes placering i forhold til vægtykkelsen undersøgt, og der er udført beregninger af skoddeeffektiviteten ved forskellige kombinationer af skodder og rudetyper.

Anvendelse af isolerende skodder kan i nogle tilfælde øge risikoen for kondens på vindueskonstruktionen. Forholdene er undersøgt nærmere ved hjælp af et under dette projekt nyudviklet edb-program TODYN til beregning af det dynamiske to-dimensionale temperaturforløb i konstruktionen efter åbning af skodderne. Betydningen af en utæt samling mellem skodde og vindue-vægkonstruktionen er vurderet ved hjælp af et program til beregning af luftudskiftningen i et let ventileret hulrum, hvor de drivende kræfter er forårsaget af temperaturforskelle. Programmet er udviklet til en HP-41 lommeregner.

Analysen af isolerende skodder viser, at den mulige årlige energibesparelse ved daglig betjening af skodderne i opvarmningssæsonen, er ca. 100 kWh/m², hvis skodderne er placeret optimalt. Der er kun lille forskel på besparelsesmulighederne mellem indvendige skodder, skodder mellem vinduets glaslag og udvendige skodder. Det er muligt for en "gør det selv"-person at fremstille en simpel skodde, bestående af en træramme fyldt ud med isolering og beklædt med krydsfiner, der er økonomisk rentabel inden for en tidshorisont på 5 år, under forudsætning af et simpelt fastgørelsessystem (bolte, vridere). Dette gør betjeningen besværlig især for udendørs skodder.

Det må konkluderes, at den perfekte skodeløsning endnu ikke er fundet, idet skodden skal være nem at betjene (det bør ikke være mere besværligt end at trække gardinet for vinduet), den må ikke skæmme bygningen, hverken indvendig eller udvendig, og den skal være økonomisk fordelagtig, enten ved at have lang levetid eller lav pris - helst begge dele.

SUMMARY

A research of literature of a number of different ways of making shutters as well as an evaluation of the advantages and disadvantages of the various designs concerning heat and moisture have been made.

Among the groups of indoor shutters, shutters between layers of glass and outdoor shutters some representative designs have been chosen to make a detailed analysis of the thermo-technical efficiency. The analysis has been made by an edb-program made for calculation of two-dimensional steady-state fields that are suitable for determination of the importance of the thermo-technical efficiency of edge effects and cold bridges. Furthermore, an examination has been made of the location of the shutters in relation to the wall thickness, as well as calculations of the efficiency of the shutters at different combinations of shutters and window panes.

The use of insulating shutters may in some cases heighten the risk of condensation on the window construction. The questions have been closely studied by means of an edb-program, which has been developed in the course of this project, for calculation of the dynamic two-dimensional temperature field in the construction after opening of the shutters. The importance of a not tight connection between the shutter and the window/wall construction has been evaluated by means of a program for calculation of the air flow in a light, ventilated cavity where the flow is caused by temperature differences. The program has been developed for an HP-41 desk calculator.

The analysis of insulating shutters has proved that the possible annual energy saving by daily use of shutters during the heating season will be about 100 kWh/m² by optimum location of the shutters. There will only be small differences of energy saving when using indoor shutters, shutters between two layers of glass and outdoor shutters. It will be possible for a "do-it-yourself" man to make a simple shutter of a wooden frame filled with insulating material and plywood surfacing which will be economically profitable within 5 years under the condition that a simple fastening system is used, which will make the daily use of especially outdoor shutters difficult.

The conclusion must be that the ideal shutter design has not yet been found as the ideal shutter will have to be easily handled (operating the shutters should be as easy as drawing curtains), it must not disfigure the architecture of the building or the room, and it must be profitable through having either long life or low cost - or both.

SYMBOLLISTE

Q	: Varmestrøm [W]
A_v	: Vinduesaeal incl. karm og ramme [m ²]
ΔT	: Temperaturdifferens [K]
U_{2D}	: Edb-beregnet todimensional varmetabskoefficient [W/m ² K]
U_{DS418}	: Varmetabskoefficient beregnet efter DS418 [W/m ² K]
λ	: Varmeledningsevne [W/mK]
ΔU_{2D}	: Differens mellem to edb-bregnede varmetabskoefficienter [W/m ² K]
ΔU_{DS418}	: Differens mellem to DS418 beregnede varmetabskoefficienter [W/m ² K]
R	: Isolans [m ² K/W]
T	: Temperatur [°C]
U	: Varmetabskoefficient [W/m ² K]
$I.n.x$	: Indvendig skodde, hvor n refererer til konstruktionsnummeret og x refererer til forskellige kuldebroniveauer i skodden.
$M.n$	: Skodde mellem glaslag, hvor n refererer til konstruktionsnummeret
$U.n.x$	: Udvendig skodde, hvor n refererer til konstruktionsnummeret og x refererer til forskellige kuldebroniveauer i skodden.

INDLEDNING

Efter energiforsyningskrisen i 1973 er isoleringsgraden af vore boliger steget markant især ved anvendelse af større isoleringstykkelser og øget tæthed af boligerne. Det har imidlertid ikke været muligt at forbedre vinduernes isoleringsevne i samme grad uden at reducere solindfaldet. Med en mobil isolering, der primært anvendes i døgnets mørke timer, vil det være muligt at opnå en stor reduktion af varmetabet uden at reducere solindfaldet.

Den til i dag bedst undersøgte og effektive mobilisolering er den isolerende skodde, dvs. en stiv plan isolerende plade af mindst samme størrelse som vinduesåbningen.

Der er såvel i Danmark som i udlandet udviklet en del forskellige skodeløsninger, og det er formålet med dette projekt at redegøre for energibesparelsesmuligheder, fordele og ulemper ved forskellige skodeløsninger baseret på danske og udenlandske erfaringer af såvel konstruktiv som varme- og fugtteknisk art.

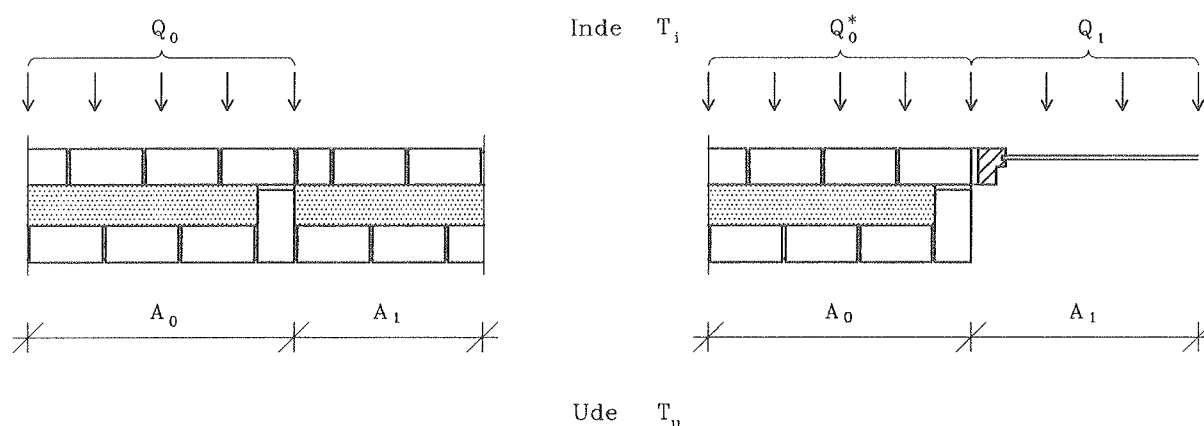
Rapporten består af tre hovedafsnit, der omhandler de tre placeringsmuligheder af isolerende skodder: indvendigt, imellem glaslagene og udvendigt. Hvert afsnit beskriver de generelle forhold for den givne skoddeplacering med hensyn til fugtproblemer og brugsvenlighed. Endvidere er der en kort gennemgang af de forskellige løsninger, der har været anvendt eller er beskrevet i litteraturen. Af disse løsninger udvælges nogle, der er repræsentative med hensyn til konstruktion, funktion og placering i forhold til vinduet. Der foretages en grundig varmeteknisk analyse af isoleringseffektiviteten baseret på edb-beregninger af det stationære to-dimensionale temperaturfelt med Laboratoriets program TODIM. Til belysning af den omgivende vægkonstruktions indflydelse på skoddens effektivitet udføres beregningerne for skodden placeret henholdsvis i en ældre dårligt isolerende konstruktion og i en lavenergihuskonstruktion. De edb-beregnete varmetab sammenlignes med beregninger udført efter DS418 "Beregning af bygningers varmetab" 5. udg., som i praksis anvendes til vurdering af energibesparende foranstaltningers effektivitet.

Effektiviteten af forskellige kombinationer af skodeløsninger og rudetyper undersøges, og ved hjælp af et dynamisk edb-program, der tager hensyn til solindfaldet, beregnes den forventede årlige energibesparelse ved anvendelse af isolerende skodder under danske klimaforhold.

1. DEFINITION AF SKODDEEFFEKTIVITET

En konstruktions isoleringsevne udtrykkes ved dens U-værdi, der angiver varmestrømmen gennem 1 m² ved en temperaturforskel på 1 K over konstruktionen. Ved sammenbygning af forskellige konstruktioner beregnes den samlede varmestrøm som summen af varmestrømmene gennem de enkelte konstruktionsdele. Hvis et vindue indbygges i en væg vil dette imidlertid ikke være korrekt, idet der dannes et kraftigt flerdimensionalt temperaturfelt, så varmetabet typisk vil blive større.

I forbindelse med vurdering af skoddernes effektivitet indføres begrebet "U_{2D}-værdi", der tager hensyn til det flerdimensionale felt. U_{2D}-værdien kan beregnes som varmetabet gennem vinduesarealet og vindueshullets sider plus det forøgede varmetab gennem den omkringliggende vægkonstruktion som følge af det flerdimensionale temperaturfelt. Beregningen er skitseret i figur 1.1.



$$U_{2D} = \frac{(Q_0^* + Q_1) - Q_0}{A_1 (T_i - T_u)}$$

Figur 1.1 Beregning af U_{2D}-værdi ved placering af et vindue i en vægkonstruktion

U_{2D}-værdien for et vindue med skodde beregnes på tilsvarende måde, og differensen mellem den reelle U-værdi for henholdsvis vindue uden skodde og vindue med skodde er et udtryk for skoddens isoleringsmæssige effektivitet. I beregningerne er der ikke taget hensyn til variationerne i den indvendige overgangsmodstand og varmemodstanden i termorudens luftlag som følge af ændrede glastemperaturer, når skodden lukkes. Den begåede fejl er imidlertid meget lille, idet ændringerne i de to modstande modvirker hinanden. En overslagsberegning viser en fejl af størrelsen 2% på rudens isolans.

2. BESKRIVELSE AF VÆGKONSTRUKTIONERNE ANVENDT I BEREGNINGERNE

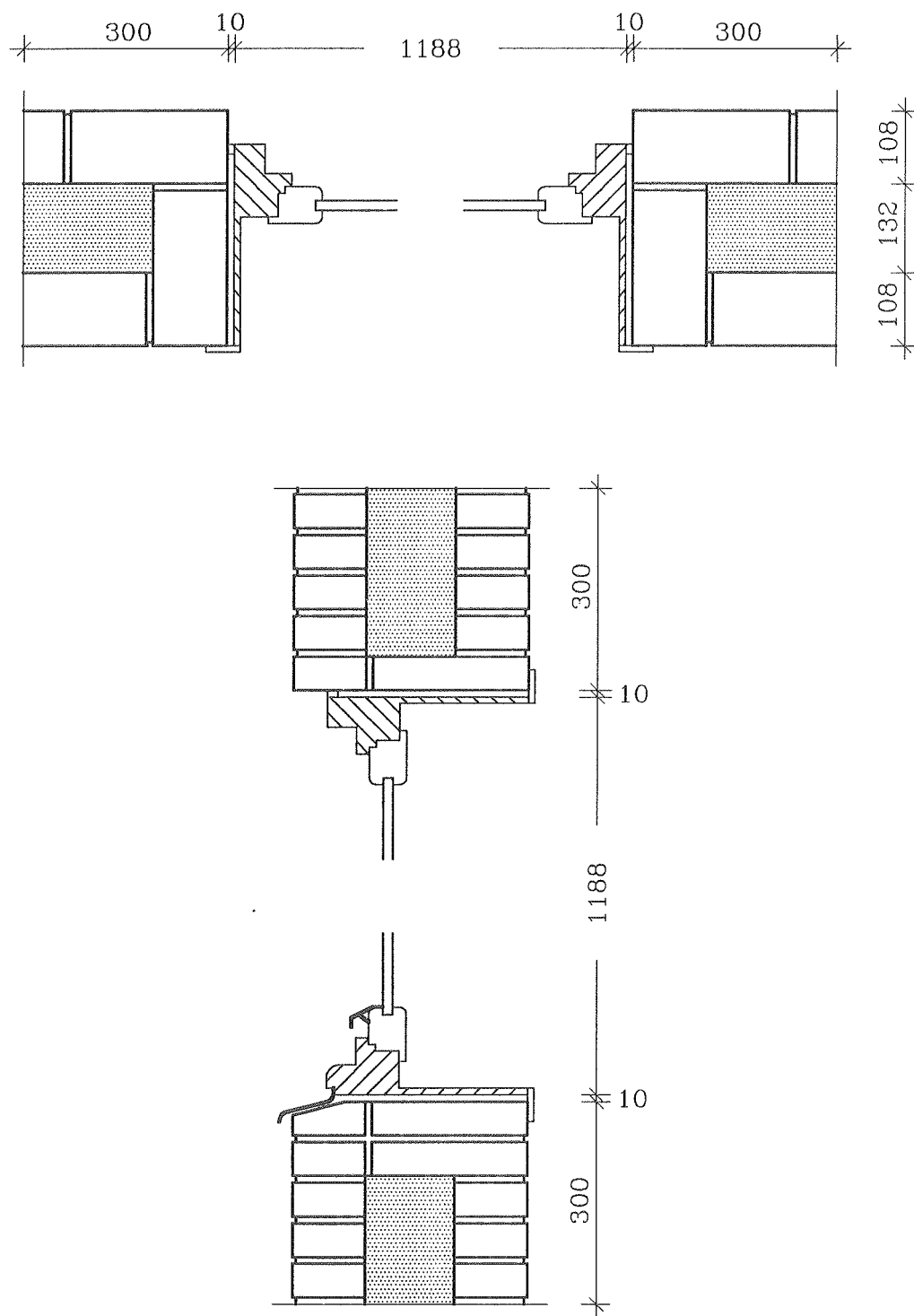
Vægkonstruktionens indflydelse på skoddens effektivitet vurderes ud fra beregninger foretaget på to forskellige vægkonstruktioner henholdsvis en ældre konstruktion med fuld udmuring omkring vinduerne og en lavenergihuskonstruktion med meget lille kuldebrovirkning. Vindueshullets dimensioner svarer til standardmålet 1,2 x 1,2 meter. De to vægkonstruktioner med vinduer er vist i figur 2.1 og 2.2 med angivelse af det areal, hvorpå beregningerne foretages.

Ved anvendelse af det to-dimensionale edb-program kan de i figur 1.1 viste varmestrømme beregnes, og U_{2D} -værdien for vinduet i de to konstruktioner bestemmes. U_{2D} -værdien og U -værdien beregnet efter DS418 (1) er vist i tabel 2.1.

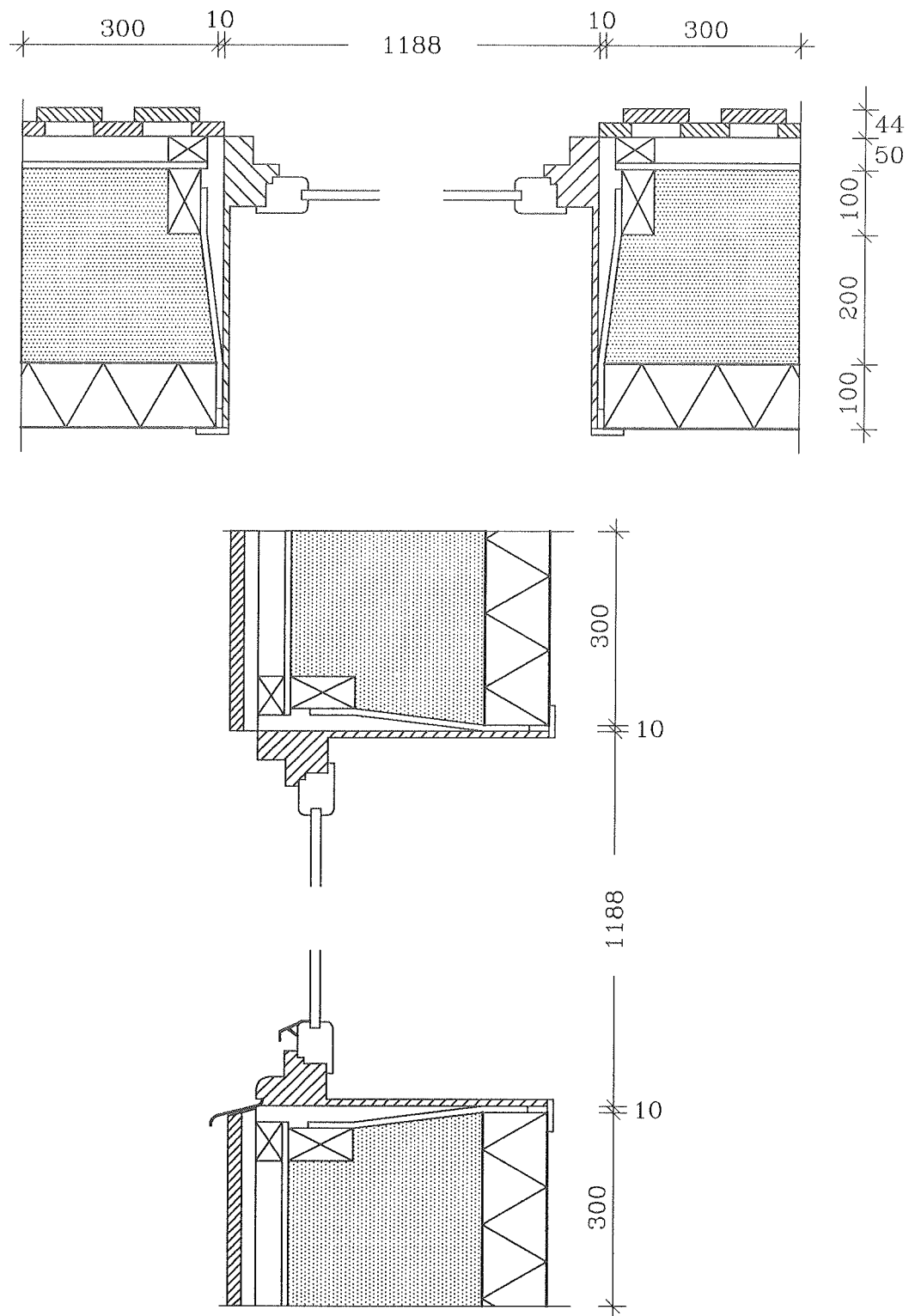
	Enhed	Ældre konstruktion	Ny konstruktion
U_{2D}	W/m ² K	2,97	2,86
U_{DS418}	W/m ² K	2,84	2,84

Tabel 2.1 U_{2D} -værdi og U -værdi beregnet efter DS418, 5. udgave

De to beregningsmetoder giver næsten samme resultat for vinduet placeret i den nye konstruktion, hvilket er et udtryk for, at DS418 er mest pålidelig ved konstruktioner med ubetydelige kuldebroer. I forbindelse med vinduer er betydningen for energiforbruget lille (ca. 5%). Derimod vil en vurdering af konstruktioner indeholdende større kuldebroer ved sammenbygning af forskellige konstruktionsdele, være behæftet med stor usikkerhed ved anvendelse af DS418.



Figur 2.1 Vandret og lodret snit i teglstensmur med vindue. Alle mål i mm



Figur 2.2 Vandret og lodret snit i højisoleret konstruktion med vindue. Alle mål i mm

3. GENEREL BESKRIVELSE AF INDVENDIGE SKODDER

Efter de store prisstigninger på energi er der udviklet mange forslag til indvendig natisolering af vinduerne. Fordelen ved den indvendige placering er bl.a., at skodden sidder beskyttet mod vejrliget og derfor kan udføres af billige og lette materialer. Det betyder også, at skodden ofte kan fremstilles af beboerne selv, hvilket yderligere mindsker skoddeprisen.

Den indvendige placering bevirker, at skodderne kan anvendes i alle former for byggeri, dels fordi de ikke influerer væsentligt på bygningens udseende, og dels fordi betjeningen sker indefra.

Betjeningen af skodderne kan være til gene for beboerne, idet vindueskarmen i næsten alle tilfælde skal være ryddet for fx blomster, enten fordi skodden optager pladsen eller pga frostfare. Desuden vil der for nogle skodeløsninger være et problem med "parkering" af skodderne i dagtimerne.

Den isoleringsmæssige effektivitet af indvendige skodder er stærkt afhængig af placeringen i forhold til den indvendige vægoverflade og lufttætheden ved skoddens tilslutning til de omgivende konstruktioner.

Tilslutningen mellem skodderne og de omgivende vægkonstruktioner skal udføres lufttæt. En luftudveksling mellem rumluften og hulrummet bag skodden vil dels nedsætte skoddens energibesparende virkning, og vil dels resultere i kraftig kondensdannelse på de kolde konstruktioner bag skodden.

Kondensdannelsen er et af de største problemer ved anvendelse af de indvendige skodder, idet rumluften vil få fri adgang til de kolde flader, når skodden fjernes fra vinduet om morgenen. Når skodden sættes for vinduet om aftenen vil der dannes en smule kondens på vinduet hidrørende fra fugten i den indesluttede luftmasse. Hvis skodden imidlertid har en rimelig diffusionsmodstand og slutter lufttæt til konstruktionerne, vil der ikke ske yderligere kondensdannelse i løbet af natten.

Anvendelsen af indvendige isolerende skodder kræver for de fleste løsninger en daglig betjening, idet et vindue med indvendig isolering virker som solfanger. Hvis solen begynder at skinne, stiger temperaturen i luftrummet og i det inderste lag glas hurtigt i forhold til det yderste glaslag. Herved kan der opstå så kraftige spændinger i ruden, at den ødelægges. Indgår der plastmaterialer i konstruktionen, er der også risiko for termisk nedbrydning (smeltning, deformation), idet temperaturen kan nå over 100°C i hulrummet.

4. INDVENDIGE SKODDETYPER

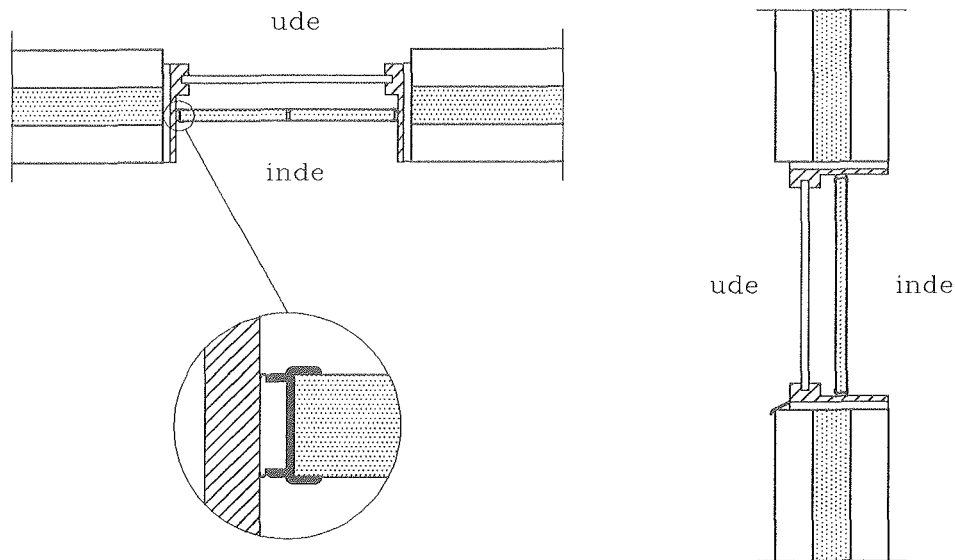


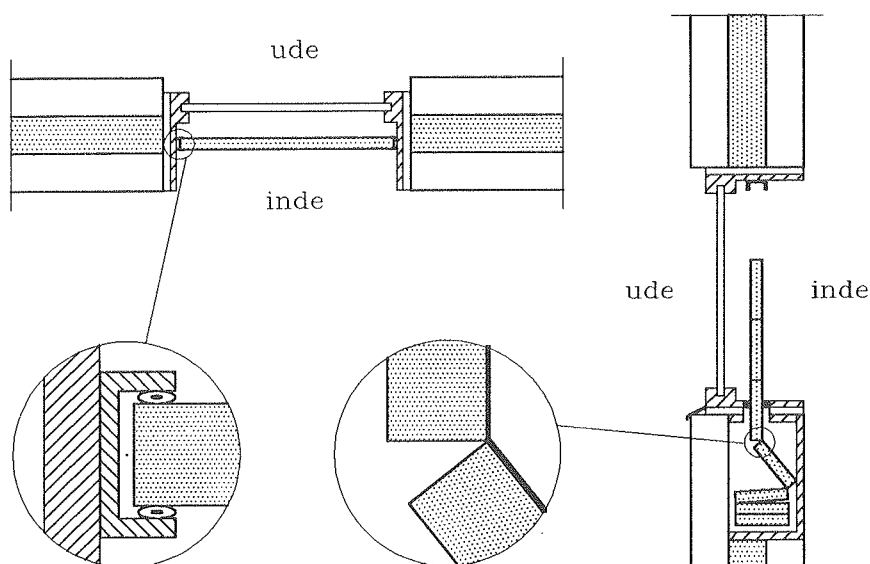
Fig. 4.1 Indvendig skodde, der fastholdes ved friktion

Den på figur 4.1 viste skodde består af to stive isoleringsplader forsynet med tætningsprofiler på alle kanterne. Skodden placeres indvendigt i vindueslysningen og fastholdes ved tætningsprofilens friktion mod lysningens sider, hvorved den nødvendige lufttæthed opnås (2).

Isoleringspladernes bredde vælges således, at pladerne er nemme at håndtere, hvorfor antallet af plader varierer med vinduets størrelse.

Ved åbning af skodderne fjernes pladerne helt fra vinduet og kan opbevares, hvor beboeren ønsker det.

Skodden kan anvendes i både nyt og gammelt byggeri.



Figur 4.2 Indvendig "foldeskode" med opmagasinering i brystningen

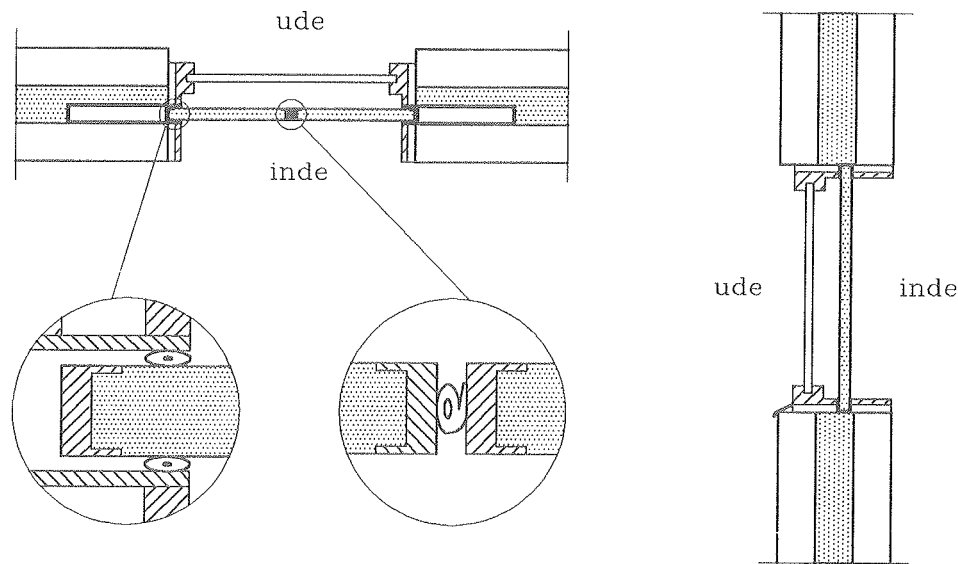
Skodden i figur 4.2 er udført af smalle isoleringsplader, som er hæftet sammen med en folie med stor diffusionsmodstand. Skodden fastholdes foroven og i siderne af lysningen af styre- eller tætningslister (3).

Åbningen af skodden sker ved hjælp af et snoretræk eller et tandhjulsdriv.

Når dagen rulles skodden ned i et magasin indbygget i brystningen, hvor de enkelte lameller lægges stablet oven på hinanden.

Isoleringsmæssigt svarer skodden til den forrige, hvad angår placering og materialevalg, men ved opmagasineringen vil væggens isoleringsforhold blive ændret.

Den her beskrevne skodde vil kun være velegnet i forbindelse med nybyggeri, idet der kræves specialløsning af brystningspartiet.



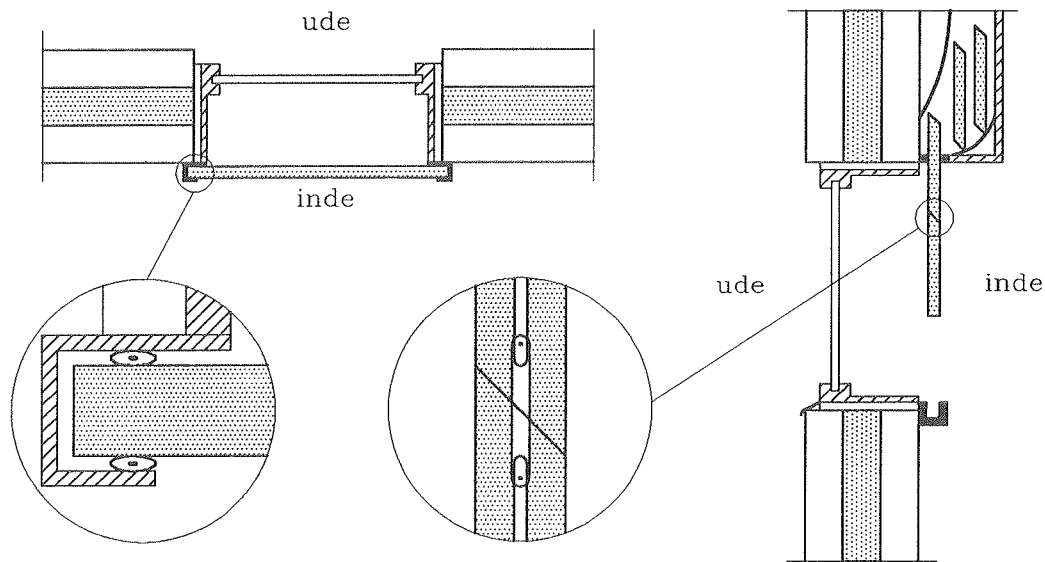
Figur 4.3 Indvendig skydeskodde med opmagasinering i væggen

Skoddetypen i figur 4.3 består af to stive isoleringsplader forsynet med en let ramme til fastgørelse af beslag og beskyttelse af kanterne (4). De to skoddedele glider vandret på en skinne nedfældet i lysningens top og bund. Lufttætheden langs skoddens kanter opnås med tætningslister langs åbningerne i vindueslysningen (se figur 4.3) og mellem de to skoddekanter, der mødes. Det vil imidlertid være vanskeligt at opnå den tilstrækkelige lufttæthed med denne skoddetype, idet de forskellige tætningsprofiler ikke ligger i samme plan.

Ved åbning af skodden skubbes de to halvdele ind i et hulrum i væggen på hver side af vinduet.

Isoleringsmæssigt svarer skodden til de to forrige løsninger.

Skodden er beregnet til indbygning i forbindelse med nybyggeri og kræver en specialudformning af den indvendige side af væggen.

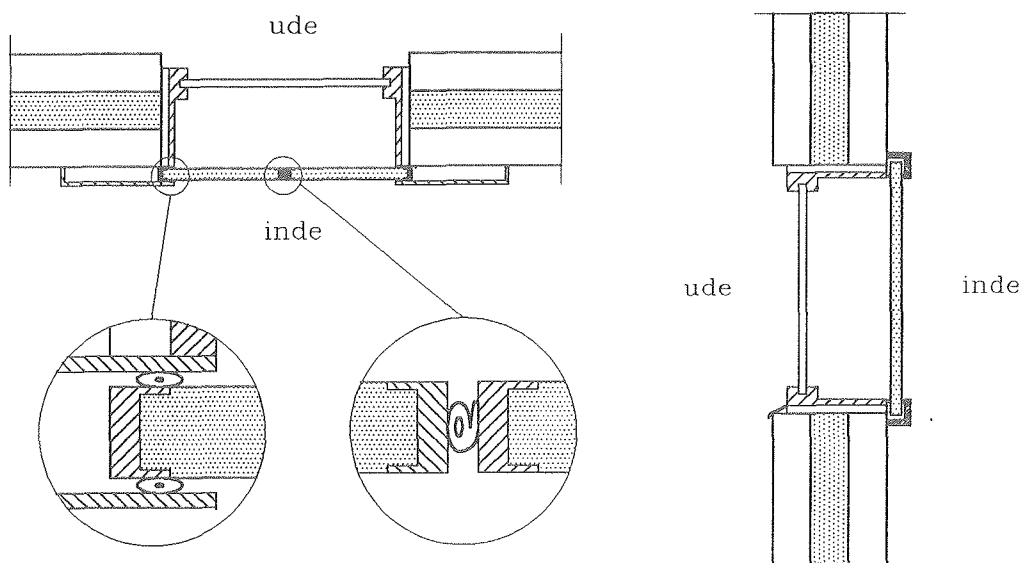


Figur 4.4 Indvendig "foldeskode" placeret indvendigt på væggen. Opmagasineret over vinduet

Figur 4.4 viser en skodeløsning, der kan anvendes i både nyt og gammelt byggeri. Skodden svarer til løsningen i figur 4.2 men er flyttet ind på indersiden af væggen (5).

Opmagasineringen sker i en kasse over vinduet, hvor isoleringspladerne stables uden på hinanden. Ved lukning af skodderne glider pladerne ned i en styreskinne med tætningslister på hver side af vinduet. Skodden holdes oppe af en skinne under vinduet, og lufttætheden mellem pladerne etableres ved, at tyngden presser dem sammen.

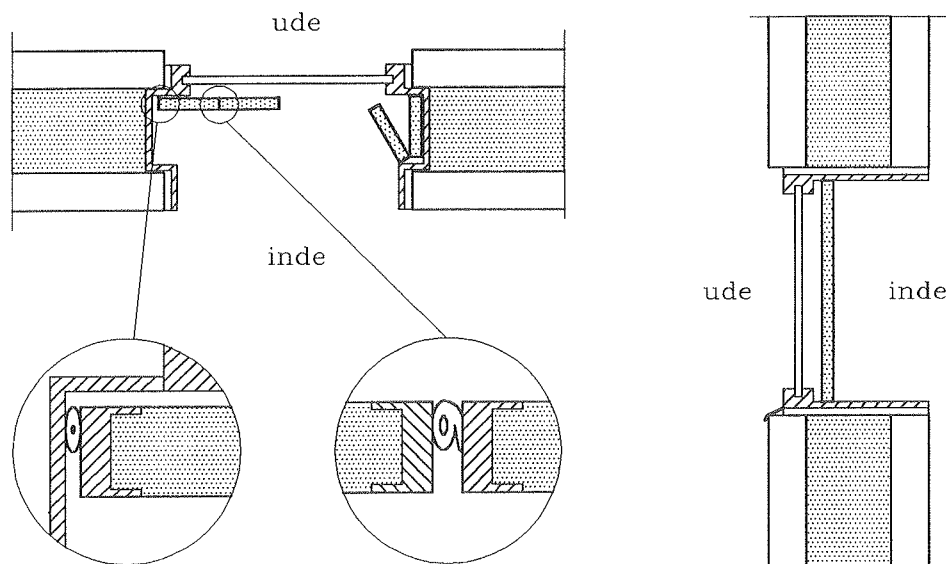
Skodderne optager ikke plads i stuen, men kassen over vinduet kan virke skæmmende på rummet.



Figur 4.5 Indvendig skydeskodde placeret indvendigt på væggen. Opmagasineret ved siden af vinduet

Skodeløsningen i figur 4.5 svarer til den indbyggede løsning fra figur 4.3 men er, som den forrige løsning, flyttet ind på den indvendige side af væggen (6). Styreskinnerne i top og bund flyttes henholdsvis op over og ned under vinduet.

Opmagasineringen af skoddedelene kan eventuelt skjules bag gardiner.



Figur 4.6 Indvendig "foldeskodde" med opmagasinering langs vindueshullets sider

I forbindelse med meget tykke vægge, fx i lavenergihuse, vil skodeløsningen i figur 4.6 kunne udføres (7).

Skodden består af to halvdele, der hver kan foldes sammen, så skodden i åben position kan placeres parallelt med lysningens sider. Ved lukning af skodden presses en tætningsliste mod vindueskarmen og mellem skoddedelene.

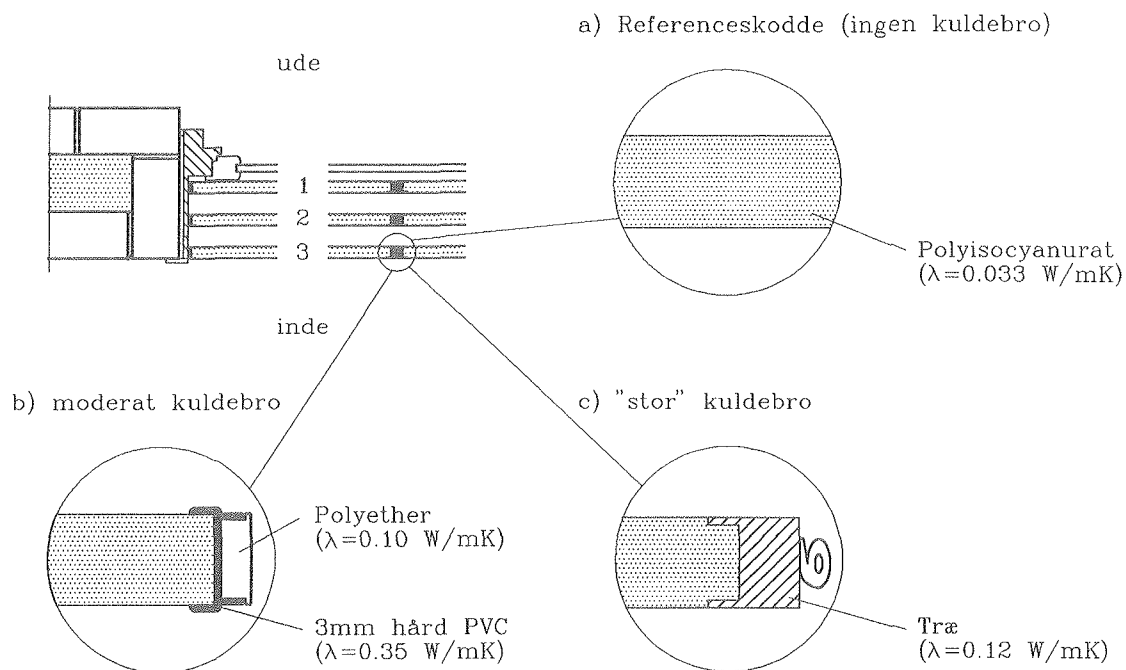
Skodden vil isoleringsmæssigt svare til de tidligere beskrevne løsninger, der i lukket position er placeret i selve vindueshullet.

De beskrevne indvendige skodeløsninger er alle med et ikke transparent isoleringsmateriale, hvorved man mister fornemmelsen af dagens længde. Hvis skodderne udføres af et gennemskinneligt materiale, vil det være muligt at følge variationerne i dagslyset. Anvendes således et materiale, der har en rimelig transmissionsevne af sollys, vil risikoen for sprængning af ruderne om dagen minimeres. På dage med overvejende gråvejrl vil det da være muligt at lade skodderne sidde, hvorved effektiviteten stiger. Imidlertid bør skoddematerialet ikke være glasklart, da brugeren i så tilfælde kan glemme at åbne skodden, når solen skinner. Derved mistes en stor del af solenergien, som ville være tilført rummet, og skodden kan således resultere i et forøget energiforbrug.

De indvendige skodder kan isoleringsmæssigt inddeles i to grupper, eftersom isoleringen er placeret inde i vindueshullet eller bag det. Den varmetekniske analyse udføres derfor på skodderne vist i figur 4.1 og figur 4.4, som er repræsentative for de to grupper.

5. VARMETEKNISK EFFEKTIVITET AF INDVENDIGE SKODDER

Skodder placeret i vindueshullet.



Figur 5.1 Detalje af indvendig skodde placeret i vindueshullet, fastholdt ved friktion, med tre grader af kuldebroer

Skoddekonstruktionen med tre forskellige kuldebroniveauer placeret i den ældre konstruktion er vist i figur 5.1. Beregningerne er både foretaget med placering af skodden i den ældre og den nye vægkonstruktion, beskrevet i afsnit 2. Beregningen af den isoleringsmæssige effektivitet er foretaget for placering af skodden tæt ved vinduet, midt mellem vindue og væggens inderside, samt i flugt med væggens inderside.

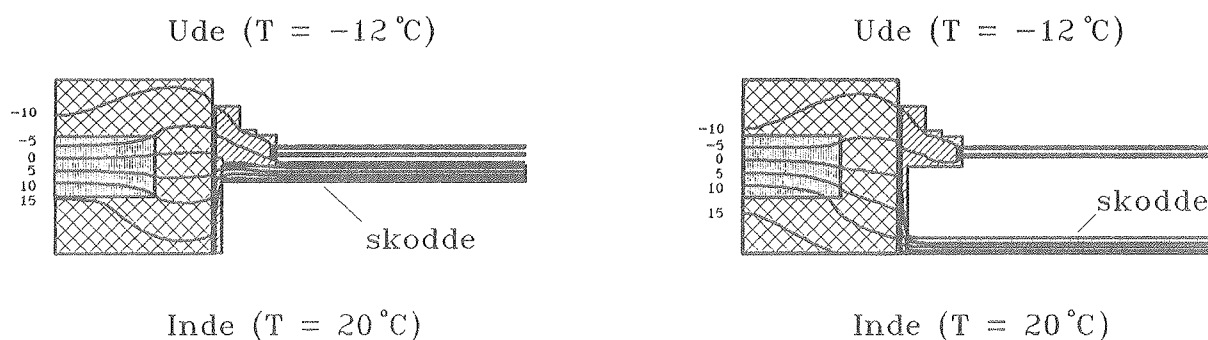
De beregnede U_{2D} -værdier er anført i tabel 5.1 sammen med U -værdien for vinduet bestemt ud fra DS418 (kun en kolonne, idet DS418 er invariant over for omgivende konstruktioner).

Skodeløsning.	Ældre konstr.		Ny konstr.		DS418-værdi	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
uden skodde	2,97	0	2,86	0	2,84	0
I.1.a.	0,84	2,13	0,74	2,12	0,69	2,15
I.1.b.	0,85	2,12	0,76	2,10	0,71	2,13
I.1.c.	0,88	2,09	0,79	2,07	0,75	2,09
I.2.a.	0,84	2,13	0,73	2,13	0,69	2,15
I.2.b.	0,85	2,12	0,75	2,11	0,71	2,13
I.2.c.	0,89	2,08	0,78	2,08	0,75	2,09
I.3.a.	0,88	2,10	0,80	2,06	0,69	2,15
I.3.b.	0,89	2,08	0,82	2,04	0,71	2,13
I.3.c.	0,92	2,05	0,85	2,01	0,75	2,09

Tabel 5.1 Beregnede U-værdier (W/m^2K) for indvendige skodder jvf. fig. 5.1
 Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet
 Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved anvendelse af skodder

Det fremgår af ovenstående tabel, at i den ældre konstruktion er det skodden nærmest vinduet, der isolerer bedst. I den nye konstruktion er det derimod den midterste skodde, der er bedst. Forskellen i den opnåede energibesparelse udgør dog maksimalt 5%, hvilket betyder, at det er de konstruktive og/eller de fugttekniske forhold, der bestemmer placeringen. De forskellige niveauer af kuldebroer i skoddekonstruktionen ses kun at have en ubetydelig effekt. Måling med "guarded hot-box" på skoddetype b placeret foran et vindue med en U-værdi på $2,5 W/m^2K$ resulterede i en U-værdi for vindue med skodde på $0,67 W/m^2K$ svarende til en ΔU -værdi på $1,83 W/m^2K$ (2). De målte værdier svarer til varmestrømmen vinkelret på vinduesplanet og kan derfor ikke direkte sammenlignes med tallene i tabel 5.1.

Udtegnis isotermerne for skodeløsningerne (figur 5.2), viser det sig, at den bedste skoddeeffektivitet opnås ved placering af skodden, så isotermerne rettes mest muligt ud. Dette vil typisk være midt for væggens isoleringslag.



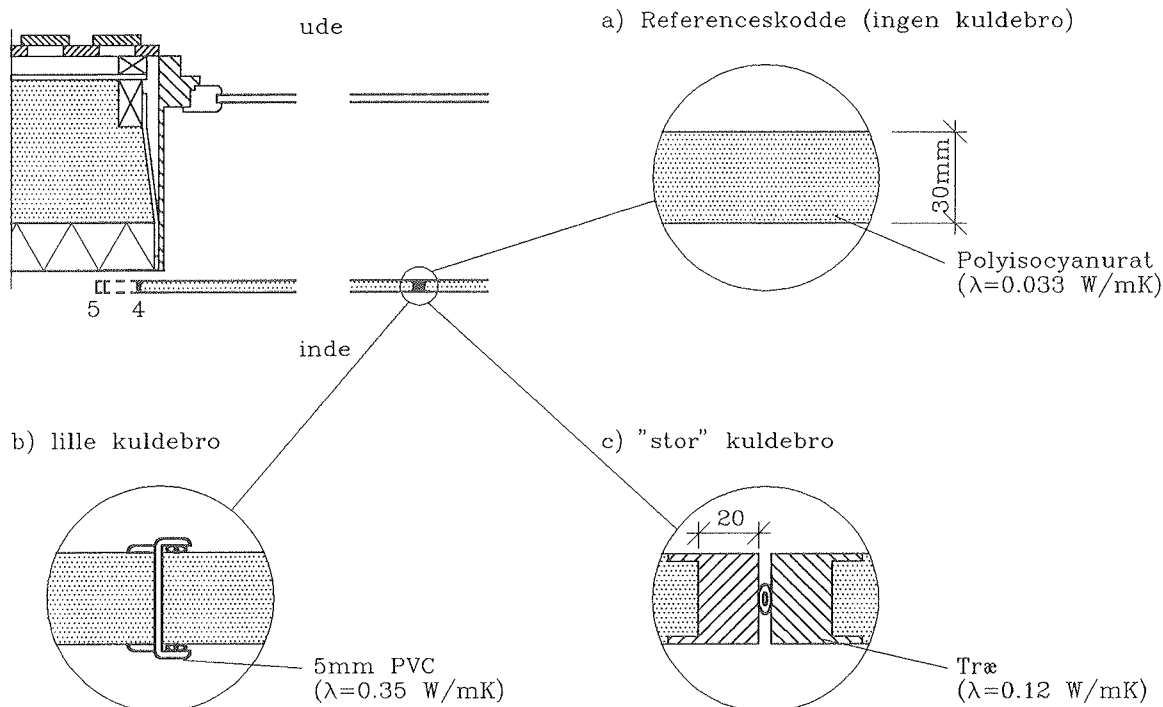
Figur 5.2 Isotermbillede for to forskellige placeringer af den indvendige skodde

Der er ikke nogen indflydelse på skoddeeffektiviteten fra vægkonstruktionen undtagen ved skoddeplaceringen længst væk fra vinduet. Ved denne placering bliver effektiviteten mindst i den højisolerede konstruktion. Det skyldes, at skodden i denne konstruktion flyttes fra et godt isoleret område ind til en letbetonvæg, der er relativt dårligt isolerende. I den ældre konstruktion er der ikke den tilsvarende ændring i kuldebroforholdene pga. den gennemgående udmuring.

Sammenlignes de edb-beregnete U_{2D} -værdier med beregninger udført efter DS418, konstateres der en væsentlig forskel i værdierne især for placering af skodden i den ældre konstruktion. Det skyldes DS418's begrænsede mulighed for at tage hensyn til kraftigt flerdimensionale temperaturfelter.

Det vil imidlertid ikke få betydning for vurderingen af energibesparelsmulighederne, idet forskellen i U -værdi mellem vindue uden skodde og vindue med skodde er næsten ens i de to beregningsmetoder.

Skodder placeret indvendigt på ydervæggen.



Figur 5.3 Detalje af indvendig skodde, placeret indvendigt på væggen, med forskellige grader af kuldebroer i skodden

Skoddekonstruktionen er vist i figur 5.3 i den højisolerede vægkonstruktion. Beregningerne er analoge til de foregående, idet der regnes på de tre viste kuldebroniveauer med placering af skodden i såvel den ældre som den nye konstruktion. Desuden regnes der på to forskellige skoddebredder, der svarer til et overlap på hver side af vinduet på henholdsvis 3 cm og 11 cm.

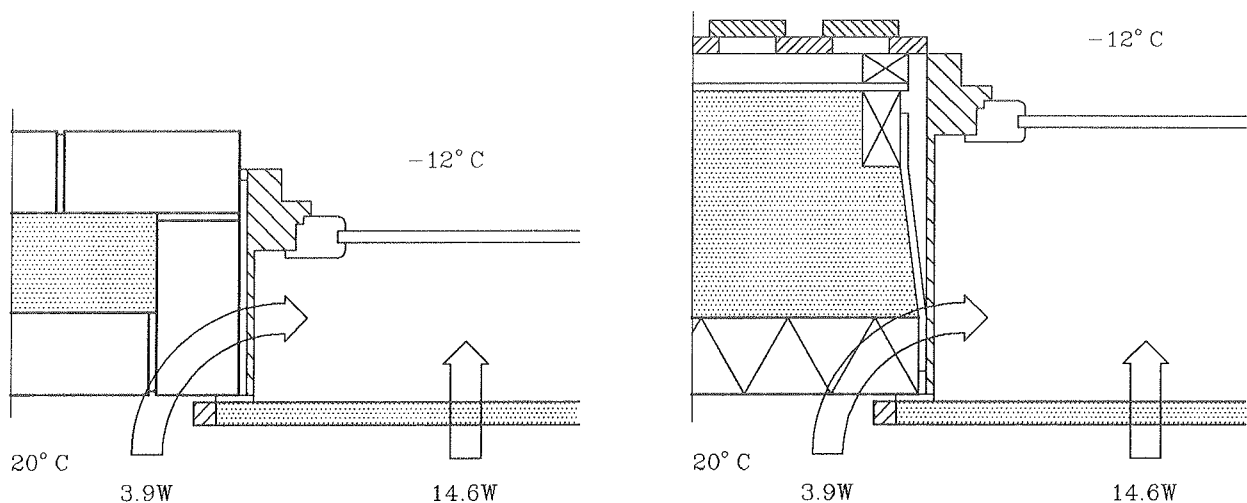
De beregnede U-værdier er vist i tabel 5.2, hvor der i dette tilfælde er forskel på U-værdien bestemt ved DS418, idet skodden er bredere end vindueshullet, hvorved en del af væggen ekstraisoleres. Denne reduktion af væggens varmetab er henregnet til vinduesarealet, idet den stammer fra skodden.

Skodeløsning.	Ældre konstr.				Ny konstr.			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
I.4.a.	0,87	2,10	0,63	2,21	0,82	2,04	0,66	2,18
I.4.b.	0,91	2,06	0,64	2,20	0,85	2,01	0,66	2,18
I.4.c.	0,90	2,07	0,66	2,18	0,85	2,01	0,68	2,16
I.5.a.	0,79	2,18	0,51	2,33	0,78	2,08	0,66	2,18
I.5.b.	0,82	2,15	0,52	2,32	0,82	2,04	0,66	2,18
I.5.c.	0,82	2,15	0,55	2,29	0,81	2,05	0,68	2,16

Tabel 5.2 Beregnede U-værdier (W/m^2K) for skodder indvendigt på ydervæg jvf. fig 5.3
 Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet
 Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved anvendelse af skodder

Skoddens isoleringsevne forøges med skoddebredden, idet den fungerer som en ekstrasolering af væggen. Sammenlignes med U-værdierne for skodderne placeret i vindueshullet skal skodden ved placering indvendigt på ydervæggen være 20-25 cm bredere end vindueshullet for at opnå samme isolerende effekt. Kuldebroen i selve skoddekonstruktionen er næsten uden betydning for effektiviteten.

En nærmere analyse af varmestrømmene i konstruktionerne viser, at det er en kraftig kuldebrovirkning i indervæggen, der er årsag til den dårlige isoleringsevne, idet ca. 20% af varmestrømmen fra indeluften til hulrummet mellem vindue og skodde løber uden om skodden (figur 5.4).



Figur 5.4 Varmestrømmens fordeling i skodeløsningen indvendigt på ydervæggen

Den isolerende effekt er størst i den ældre konstruktion, idet overlappet på hver side af vinduet får relativ størst betydning ved en dårligt isolerende vægkonstruktion.

Benyttes DS418 til vurdering af energibesparelsen, vil man for begge konstruktioner få en overvurdering af skoddens isolerende virkning på ca. 8%. Det skyldes, at der opstår et kraftigt flerdimensionalt temperaturfelt, som den simple beregning ikke tager hensyn til.

6. GENEREL BESKRIVELSE AF SKODDER MELLEM GLASLAG

Placeringen af isoleringsmaterialet mellem glaslagene i en to-lagsrude er en løsning af fugt-problemet ved de indvendige skodder, idet det inderste lag glas fungerer som dampspærre. Endvidere sidder skodden stadig beskyttet mod vejrliget af det yderste lag glas og vil derfor kunne udføres af lette og billige materialer.

Anvendelsen af denne skoddetype vil være begrænset til nybyggeri samt til ældre byggeri ved udskiftning af vinduer, idet isoleringsmetoden stiller krav til vinduets udformning og funktion.

Med de isoleringsmaterialer, der kendes i dag, skal glasafstanden være mindst 50 mm for at opnå en rimelig reduktion af vinduets varmetab om natten. Endvidere kræver de fleste løsningsfor-slag, at vinduet udformes med henholdsvis en indadgående indvendig ramme og en udadgående udvendig ramme.

Betjeningen af skodden foregår oftest ved at åbne den indvendige ramme og således placere skodden mellem ruderne. Dette påfører beboerne den samme gene som de indvendige skodder, idet vindueskarmen skal ryddes.

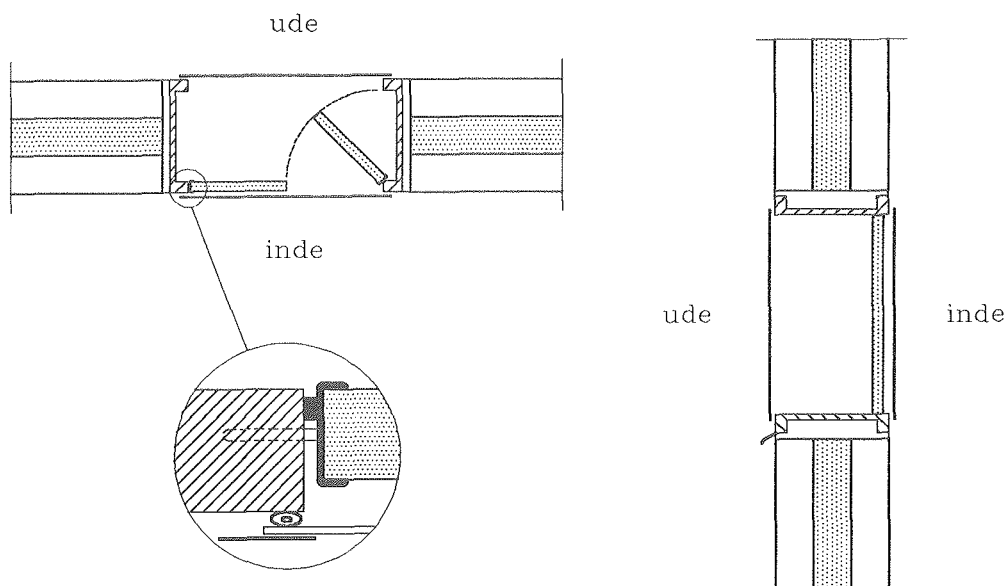
Den isoleringsmæssige effektivitet af skodden afhænger af tætheden mellem skodden og vin-dueskarmen, idet konvektionsstrømme rundt om skodden reducerer isoleringsevnen.

Det vil som regel ikke være muligt at isolere selve vindueskarmen, idet tætningen mellem skodde og vindue ofte opnås ved at slutte skodden tæt til vindueskarmens sider, hvorfor der må påregnes en mindre effektivitet i forhold til den indvendige skoddeløsning, hvor skodden ofte sidder indvendigt på karmen og således også isolerer denne.

Placeringen mellem ruderne hindrer, at der sker kondensdannelse i løbet af natten, men når skodden enten fjernes eller sættes på plads, vil der ske en kraftig kondensation på det udvendige glas. Hvis vindueskonstruktionen er udformet med mulighed for let ventilation med udeluft mellem glaslagene, vil den kondenserede fugt imidlertid hurtigt forsvinde.

Risikoen for temperatursprængning af det yderste lag glas er stadig til stede, hvis skodden bliver siddende om dagen, især hvis skodden er mørk. Plastmaterialer i konstruktionen vil ligeledes kunne tage skade, da temperaturen kan nå op over 100°C.

7. SKODDETYPER MELLEM GLASLAG



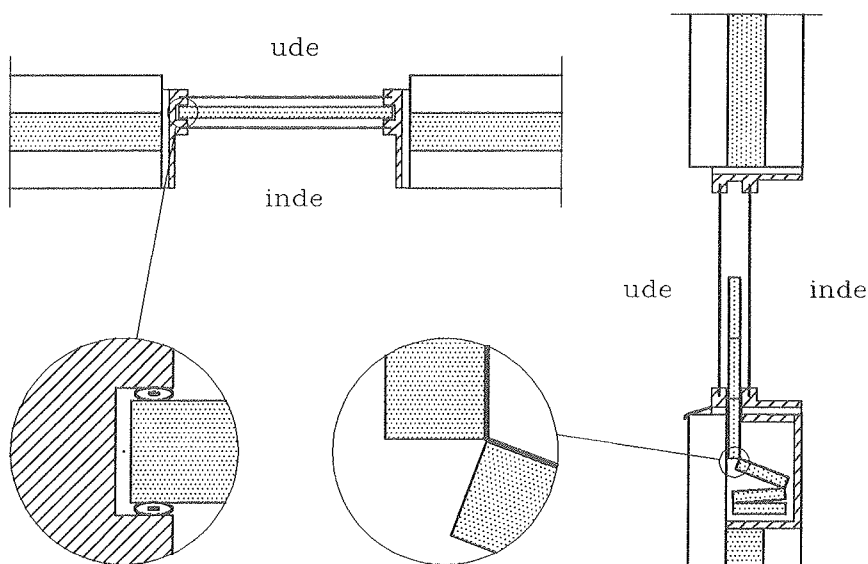
Figur 7.1 Skodde mellem to glaslag med opmagasinering i vindueselementet

Figur 7.1 viser et skoddesystem bestående af to stive isoleringsplader, der er placeret i et specielt vindueselement, hvis dybde svarer til væggen tykkelse (2). I åben position er skoddedelene placeret langs vindueshullets sider. Skodderne er forsynet med en børstekant, der hindrer konvektiv varmeoverføring uden om skodden.

Betjeningen af skodden sker ved, at det inderste lag glas åbnes, og skoddedelene lukkes.

Ved at anvende flere vindueselementer ved siden af hinanden kan denne løsning tilpasses det ønskede sammenhængende vinduesareal (analogt til flerfagsvinduer).

Anvendelsen af denne skoddetype vil primært være i forbindelse med nybyggeri.



Figur 7.2 "Foldeskodde" mellem to glaslag med opmagasinerung indbygget i brystningen

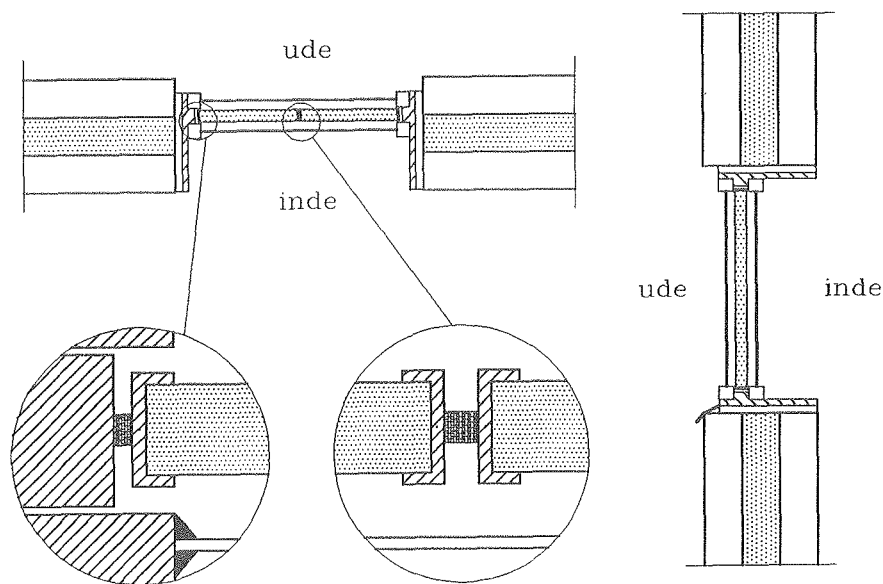
Skodeløsningen i figur 7.2 består af sammenhægtede stive isoleringsplader, der i åben position er gemt i vinduesbrystningen (3).

Skodderne lukkes ved, at pladerne trækkes op i en styreskinne i vindueskarmen, hvorved konvektionsstrømme omkring skodden undgås.

Betjeningen af skodden kan foretages med et snoretræk eller et tandhjulsdriv, hvorved det er unødvendigt at åbne det inderste vindue.

Isoleringsmæssigt svarer skodeløsningen til den forrige, hvis skodderne i lukket position er placeret i samme afstand fra ydersiden af væggen.

Skodeløsningen vil kun være anvendelig i forbindelse med nybygning, idet der kræves en specialudformning af brystningspartiet.



Figur 7.3 Skodde mellem glaslag uden opmagasineringsmulighed i vindues- eller vægkonstruktion

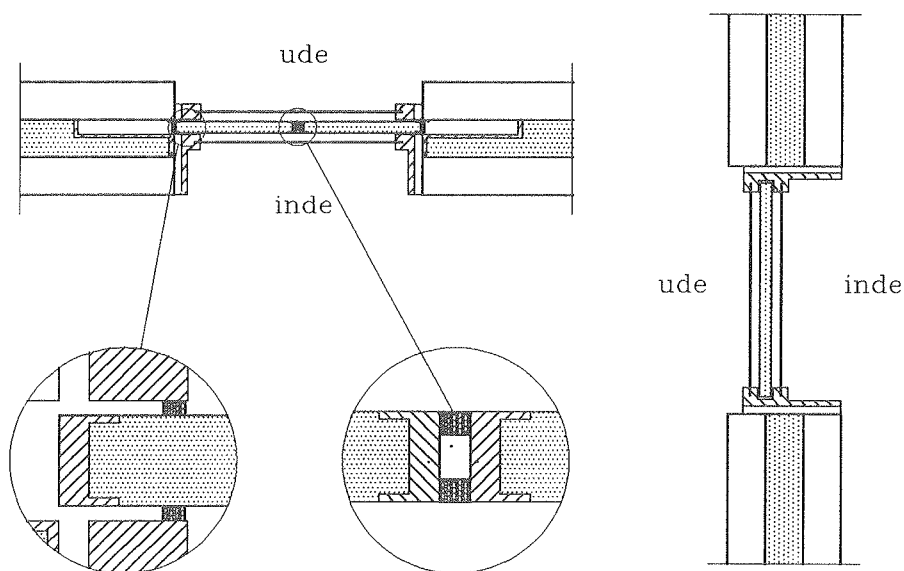
Figur 7.3 viser en simpel skodeløsning, der består af en eller flere løse isoleringsplader afhængig af vinduets størrelse. Pladerne er forsynet med børstelister for at hindre luftstrømme uden om skodderne.

Betjeningen af skodden kan enten ske indefra ved åbning af det inderste lag glas, eller udefra ved åbning af det yderste lag glas. Isoleringspladerne fastholdes ved friktion mod vinduets karme.

Ved åbning af skodden fjernes pladerne fra vinduet og kan placeres efter beboerens ønsker eller muligheder.

Isoleringsmæssigt svarer skodden til de i dette afsnit beskrevne. (7.1 og 7.2).

Skodden kan anvendes i nybyggeri og i ældre konstruktioner med 1 lag glas og forsatsvindue.



Figur 7.4 Skydeskodde mellem glaslag med opmagasinering i vægkonstruktionen

Skodden i figur 7.4 er en stiv isoleringsplade, som i åben position er gemt i ydervæggen ved siden af vinduet. Når skodden lukkes, glider den i en skinne i vinduets over- og underkarm. Lufttætheden opnås ved hjælp af børstelister langs skoddens kanter.

Betjeningen af skodden kan foregå med et snoretræk eller et tandhjulsdrev.

Isoleringsmæssigt svarer skodden til de tidligere i afsnittet beskrevne løsninger.

Anvendelsen er begrænset til nybyggeri.

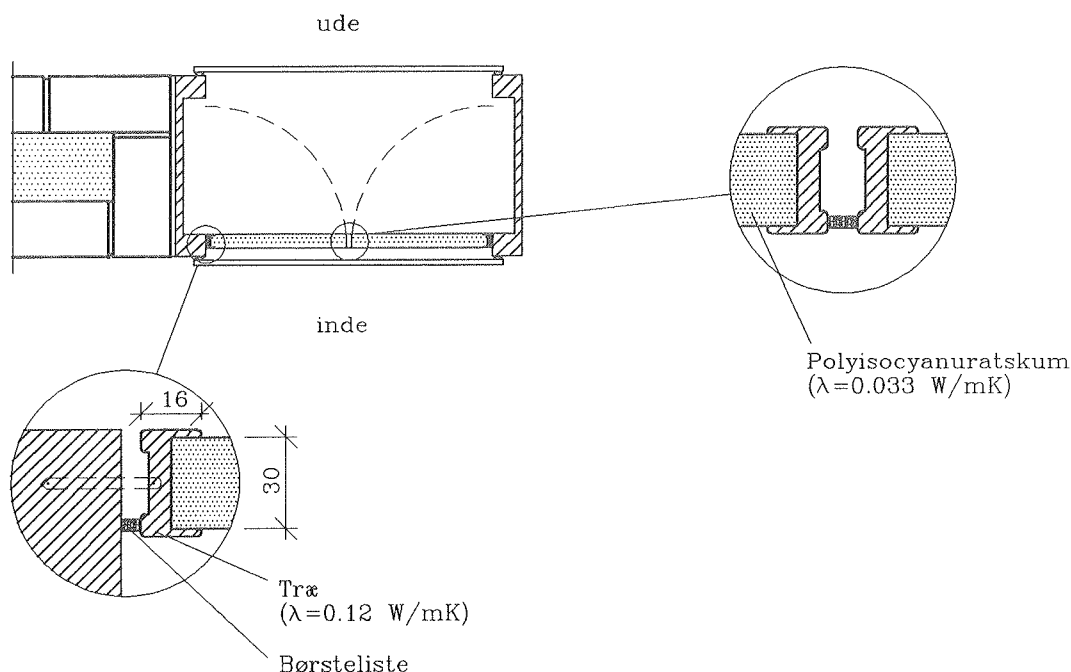
Skodder placeret mellem vinduets glaslag kan deles op i tre typer, efter hvordan skodden opbevares om dagen.

Skodden kan enten opbevares i selve vindueskonstruktionen (figur 7.1) eller i den tilstødende vægkonstruktion (figur 7.2, figur 7.4), eller skodden kan fjernes helt fra klimaskærmen og opbevares et vilkårligt sted i huset (figur 7.3).

Isoleringsmæssigt vil skodeløsningerne fra figur 7.1 og 7.3, hhv. 7.2 og 7.4, ligne hinanden meget, hvorfor den varmetekniske analyse vil blive foretaget på skodderne vist i figur 7.1 og figur 7.4.

8. VARMETEKNISK EFFEKTIVITET AF SKODDER MELLEM GLASLAG

Skodder indbygget i vindueskonstruktionen.



Figur 8.1 Detalje af skodde indbygget i vindueselement

Skoddekonstruktionen er vist i figur 8.1, hvor den er placeret i den ældre konstruktion, men beregningerne er udført for skodden placeret i såvel den ældre som den nye vægkonstruktion.

De beregnede U_{2D} -værdier er anført i tabel 8.1. For vindue uden skodde er anført den U -værdi, der gælder for et almindeligt to-lags vindue, idet energibesparelsen bør ses i forhold til dette.

Skodeløsn.	Ældre konstr.				Ny konstr.			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen nyt vindue M.1	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
	2,32	0,65	2,18	0,66	2,12	0,74	2,18	0,66
	0,98	1,99	0,70	2,14	0,87	1,99	0,70	2,14

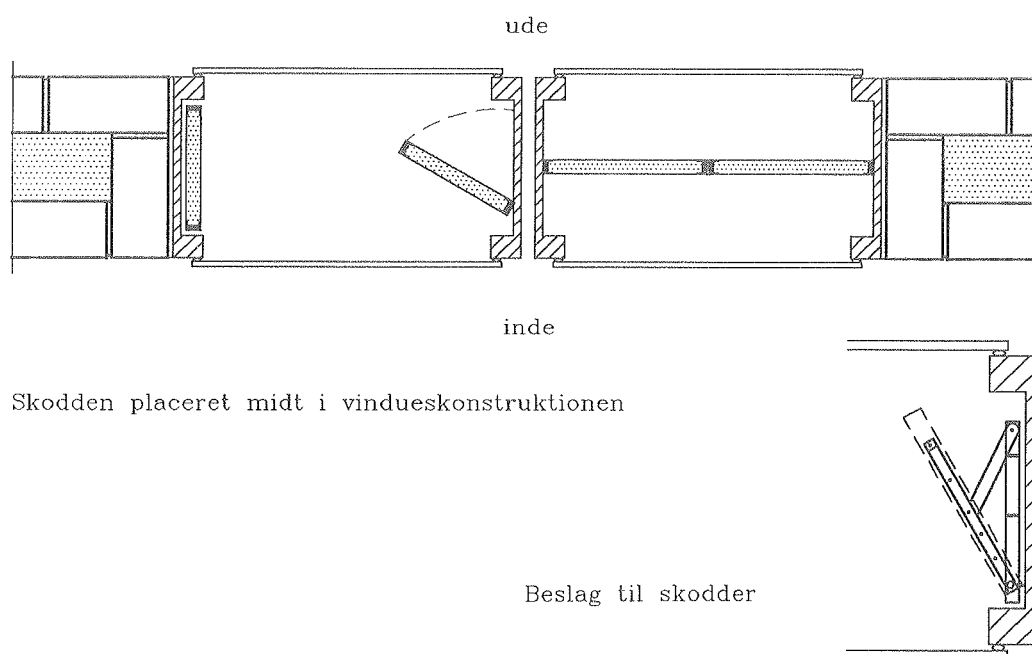
Tabel 8.1 U -værdier (W/m^2K) for skodeløsningen placeret mellem to lag glas jvf. fig. 8.1
 Kolonnerne benævnt U er de beregnede U -værdier for vinduesarealet
 Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U -værdien ved anvendelse af skodder

Det fremgår af ovenstående tabel, at vindueskonstruktionen med åbne skodder har et mindre varmetab end et almindeligt vindue, hvilket skyldes, at skodden isolerer siderne i vindueshullet. Med lukkede skodder er skoddeeffektiviteten ens i de to vægtyper.

Sammenlignes DS418-værdierne med de edb-beregnete, finder man, at DS418 overvurderer energibesparelsens størrelse. Årsagen hertil skal findes i et kraftigt flerdimensionalt felt, der opstår ved, at næsten hele vindueskonstruktionens isoleringsevne, når skodden lukkes, rykkes ind til den indvendige vægoverflade, idet skodden i lukket stand næsten flugter med væggens inderside.

Måling af U-værdien med "guarded hot-box" på en sådan skoddekonstruktion gav en U-værdi på $0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ (2). Den målte værdi svarer til varmestrømmen vinkelret på vinduesplanet og kan derfor ikke sammenlignes direkte med værdierne i tabel 8.1.

Ved beregningen af indvendige skodder fandtes den optimale skoddeplacering, hvor isotermerne nærmede sig det en-dimensionale felt mest muligt. På baggrund af dette er udført en beregning, hvor skodderne i lukket position sidder i forlængelse af væggens isoleringslag, figur 8.2.



Figur 8.2 Videre udvikling af skodde, indbygget i vindueselement, med optimering af skoddens position i lukket stand

I denne konstruktion vil det være nødvendigt med en forøgelse af de enkelte skoddedeles længde med ca. 35 mm eller en formindskelse af vinduets bredde med ca. 70 mm, idet skodden nu også skal "dække" vinduets træstolper.

De beregnede U-værdier for konstruktionen i figur 8.2 er vist i tabel 8.2.

Skodeløsn.	Ældre konstr.				Ny konstr.			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
nyt vindue	2,32	0,65	2,18	0,66	2,12	0,74	2,18	0,66
M.2	0,86	2,11	0,64	2,20	0,77	2,09	0,64	2,20

Tabel 8.2 U -værdier (W/m^2K) for alternativ skodeløsning placeret mellem to lag glas jvf. fig. 8.2

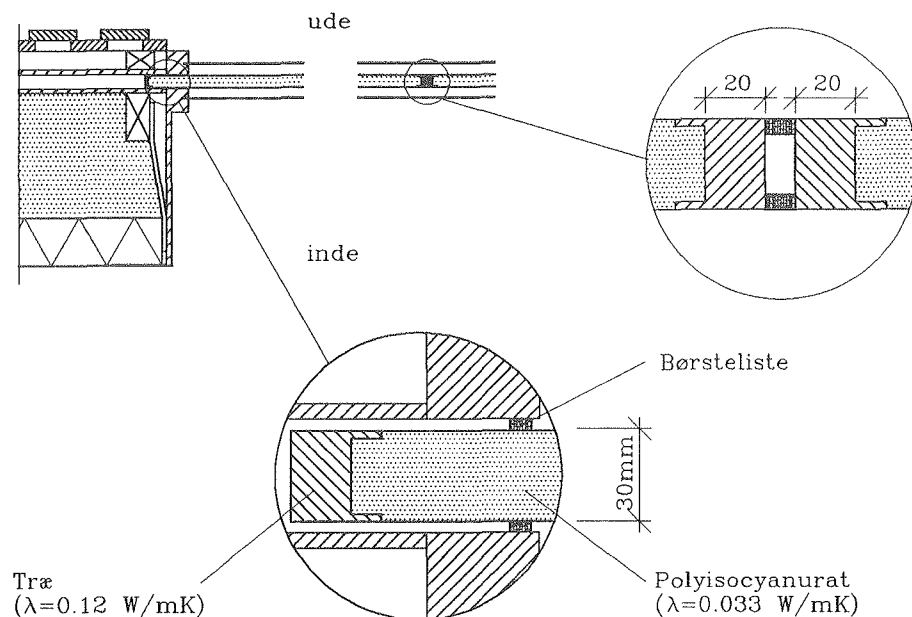
Kolonnerne benævnt U er de beregnede U -værdier for vinduesarealet

Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U -værdien ved anvendelse af skodder

Ved at optimere skoddeplaceringen kan U -værdien i dette tilfælde reduceres med 0,10-0,12 W/m^2K svarende til 11-12%.

Reduktionen sker dels, fordi kuldebroen gennem vinduekonstruktionens træstolper isoleres, og dels fordi isothermforløbet nærmer sig det en-dimensionale tilfælde.

Skodder der opmagasineres i vægkonstruktionen.



Figur 8.3 Detalje af skydeskodde mellem glaslag. Opmagasineret i vægkonstruktionen

Skoddens opbygning og dens indbygning i den højsolerede vægkonstruktion er vist i figur 8.3.

Lukning af skodden medfører, at der opstår et uisoleret hulrum i væggen ved siden af vinduet med deraf følgende større varmetab.

Beregningen af den reelle U-værdi indeholder denne ændring i væggenes isoleringsevne, medens det ved beregning efter DS418 er nødvendigt at medregne det forøgede varmetab gennem væggen til skoddens varmetab.

De beregnede U-værdier er anført i tabel 8.3, og ΔU -værdierne er beregnet ud fra det almindelige to-lags vindue.

Beregningerne udført for den ældre konstruktion er skiftet ud med en beregning for en nutidig opbygning af teglstensvægge med brudt kuldebro ved beregning af U-værdier for det nye vindue med og uden skodde.

Skodeløsn.	Ældre konstr.				Ny konstr.			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
nyt vindue	2,82	0,15	2,70	0,14	2,77	0,09	2,70	0,14
M.3	0,96	2,01	0,83	2,01	0,73	2,13	0,71	2,13

Tabel 8.3 U-værdier (W/m^2K) for skodeløsningen placeret mellem to lag glas, hvor skodden opmagasineres i vægkonstruktionen jvf. fig. 8.3

Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet

Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved anvendelse af skodder

Ovenstående tabel viser, at når kuldebroen brydes i den gamle konstruktion, bliver U_{2D} -værdien for vinduet i de to konstruktioner næsten ens og ligger samtidig meget tæt på værdien fra DS418.

Når skodderne lukkes, bliver der et uisoleret hulrum i vægkonstruktionen, hvorved varmetabet gennem væggen øges. Dette ekstra varmetab henregnes til vindueskonstruktionen, idet det fremkommer pga. skodeløsningen. Størrelsen af det ekstra varmetab får størst betydning i den murede konstruktion, hvor hulrummet udgør ca. 23% af væggenes samlede isoleringstykkelse mod kun ca. 10% for den nye vægkonstruktion. Dette forhold fremgår tydeligt af de beregnede U_{2D} -værdier for vinduet med lukket skodde, idet forskellen på U_{2D} -værdien for vinduet med lukket skodde i de to vægkonstruktioner er større end forskellen med åbne skodder.

9. GENEREL BESKRIVELSE AF UDVENDIGE SKODDER

Placeringen af isoleringen uden for klimaskærmen kræver en langt mere robust konstruktion af skodden end ved de to tidligere placeringsmuligheder, hvorved skodden bliver væsentlig dyrere at fremstille.

Den udvendige skodde vil fremstå som en del af bygningens facade, hvilket arkitektonisk kan udnyttes positivt i forbindelse med nybyggeri, men ligeledes vil kunne hindre anvendelse af udvendige skodder i eksisterende byggeri.

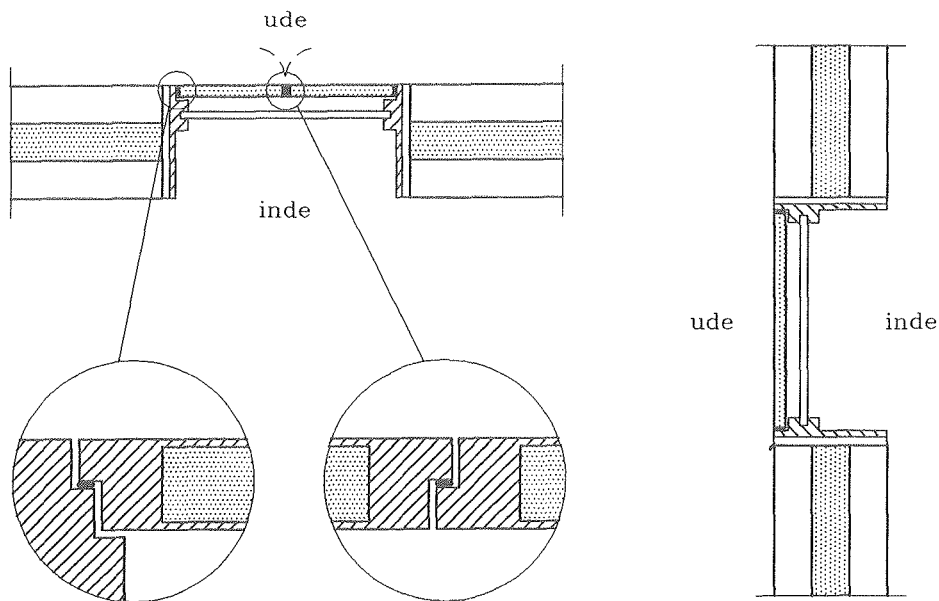
Betjeningen af skodderne vil i de fleste tilfælde skulle ske udefra, hvilket er generende for brugeren i dårligt vejr. Om vinteren kan der opstå problemer med tilisning af anslagsfladerne, således at skodden ikke kan lukkes tæt til, før isen er fjernet. Ligeledes vil det efter kraftigt snefald være nødvendigt at rydde for sne foran fx terrassedøre for at kunne åbne/lukke skodden.

Den isoleringsmæssige effektivitet af udvendige skodder afhænger især af placeringen i forhold til vinduet, ydervæggens konstruktion og lufttætheden mellem skodden og de omgivende konstruktioner.

Den udvendige skodeløsnings store fordel er, at anvendelsen af skodden ikke giver anledning til kondensdannelser hverken på vinduet eller i vægkonstruktionerne omkring det. Endvidere optager skodden ikke plads indendørs, og beboerne kan anvende vinduespladen til fx pottedplanter.

Det vil ikke være påkrævet at betjene skodderne hver dag, idet faren for temperatursprængning af ruden er elimineret. Dermed kan skodderne anvendes som en form for indbrudssikring af huset, idet alle glaspartier tildækkes.

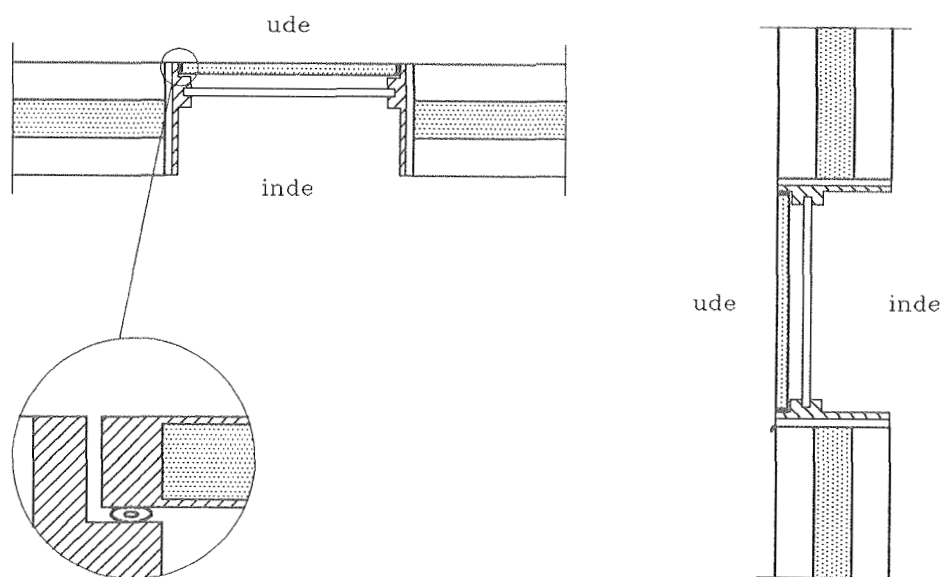
10. UDVENDIGE SKODDETYPER



Figur 10.1 Tofløjet sidehængslet udvendig skodde, opmagasinering ved siden af vinduet

Figur 10.1 viser en to-fløjet sidehængslet skodeløsning. I åben position er de to skoddedele placeret på hver sin side af vinduet parallelt med ydervæggen. Når skodderne er lukkede, flugter ydersiden af skodden med bygningens facade. Lufttætheden opnås ved anvendelse af tætningslister langs skoddens kanter, og hvor de to dele mødes midt for vinduet (8).

Betjeningen af skodden kræver en fri afstand foran vinduet, der svarer til den halve vinduesbredde, og en afstand mellem vinduerne på mindst en vinduesbredde.



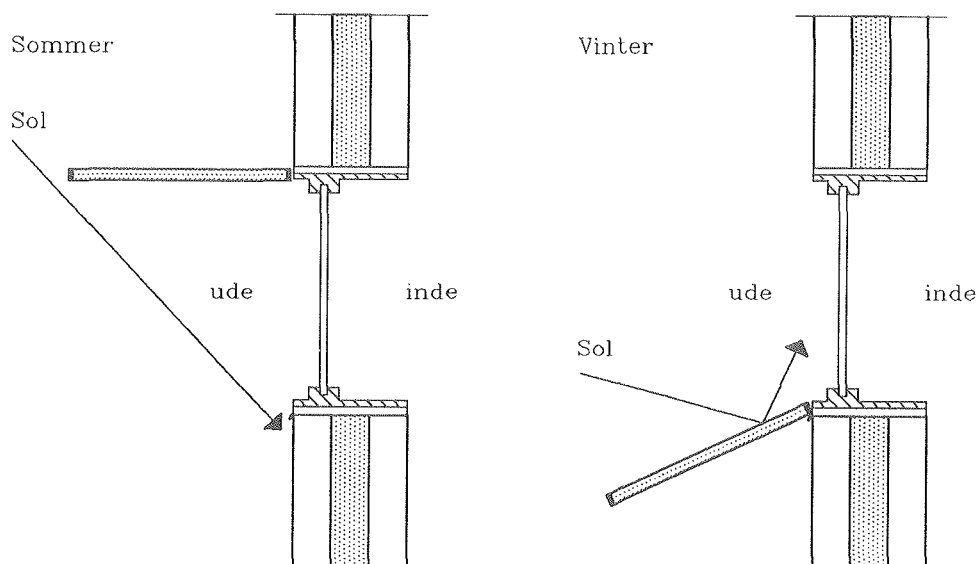
Figur 10.2 Enkeltfløjet, sidehængslet udvendig skodde, opmagasinering ved siden af vinduet

Skodden vist i figur 10.2 er en enkeltfløjet sidehængslet skodde, der i åben position placeres parallelt med ydervæggen (9).

Denne løsning adskiller sig fra den forrige ved ikke at have en kuldebro i form af en samling midt for vinduet.

Derimod vil der være en risiko for, at skodden bliver utæt ved kraftig vindpåvirkning pga afstanden mellem fastholdelsespunkterne.

Den frie afstand foran vinduet og afstanden mellem vinduerne skal svare til vinduets bredde.



Figur 10.3 Top/bundhængt udvendig skodde anvendes om dagen som reflektor eller solafskærmning

Skodeløsningen i figur 10.3 er opbygget som den forrige skodde men er forsynet med en blank overflade, der, når skodden er lukket, vender ind mod vinduet (7).

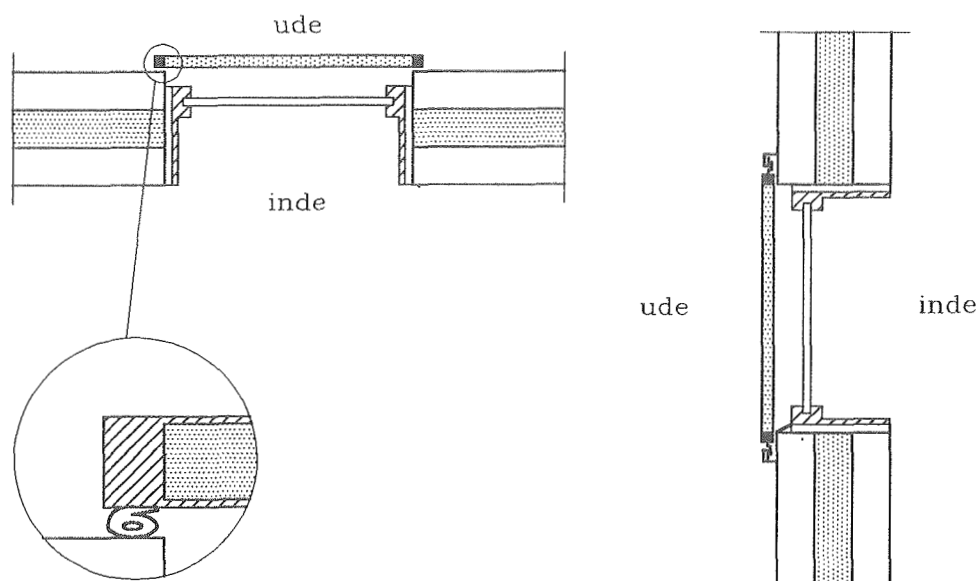
Skodden har to åbningsmuligheder, således at den om sommeren er tophængt og fungerer som solafskærmning. På solrige vinterdage anvendes skodden bundhængt og benyttes som reflektor, der kaster solstrålingen op på vinduet.

Den blanke side af skodden vil, når skodden er lukket, reducere strålingsudvekslingen mellem skodde og vindue, hvorved isoleringsevnen øges. Udnyttelsen af den blanke side, både som reflektor og isolering, kræver, at skodden forbliver blank.

Det vil for en udvendig skodde kræve en del vedligeholdelse.

Pladsmæssigt skal der foran vinduet være en fri afstand, der svarer til vinduets højde, hvorimod der ikke er noget krav til vinduernes indbyrdes afstand.

Den komplicerede funktion samt det forhold, at skodden i åben position vil blive udsat for kraftige påvirkninger af vind og sne, kræver en meget solid skoddekonstruktion. Dette vil resultere i en meget dyr løsning, der næsten uundgåeligt vil indeholde kraftige kuldebroer.



Figur 10.4 Udvendig skydeskodde mellem anslag mod ydervæg og opmagasinering ved siden af vinduet

Figur 10.4 viser en skodde, hvis bevægelsesplan er parallelt med facaden (9)

Skodden styres af en skinne over og under vinduet. I åben position er skodden placeret ved siden af vinduet. Når skodden lukkes, køres den hen foran vinduet, og i den sidste bevægelse presses skodden ind mod muren omkring vinduet. Skodden sidder således i lukket position uden på facaden.

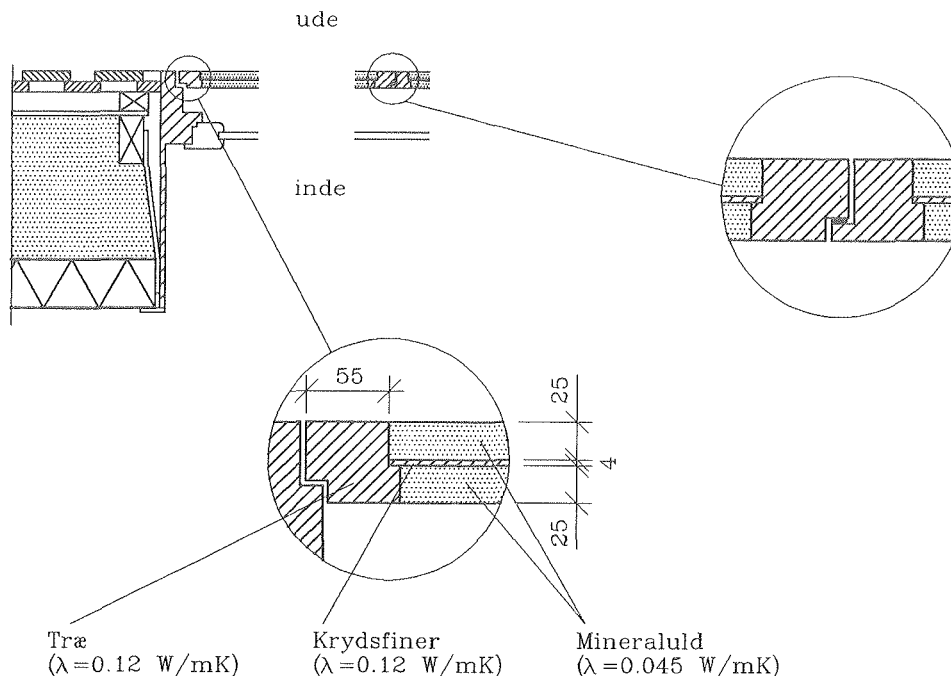
Den nødvendige lufttæthed opnås ved, at en tætningsliste presses sammen mellem skodde og ydervæg.

På grund af bevægelsesplanet kræver skodden ikke ret meget fri plads foran vinduet.

Udvendige skodder kan opdeles i to grupper, alt efter om skodderne i lukket position sidder uden på facaden eller er indrykket i facaden. De varmetekniske beregninger er udført på skodderne vist i figur 10.1 og figur 10.2, der tilhører gruppen af indrykkede skodder samt skodeløsningen fra figur 10.4, der er placeret uden på facaden.

11. VARMETEKNISK EFFEKTIVITET AF UDVENDIGE SKODDER

To-fløjet skodde der lukkes mod vindueskarmen.



Figur 11.1 Detalje af udvendig, tofløjet, sidehængslet skodde

Skoddekonstruktionen fremgår af figur 11.1. De beregnede U-værdier er vist i nedenstående tabel 11.1.

Skodeløsn.	Ældre vægkonstruktion				Ny vægkonstruktion			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen skodde	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
U.1	0,91	2,06	0,75	2,09	0,82	2,04	0,75	2,09

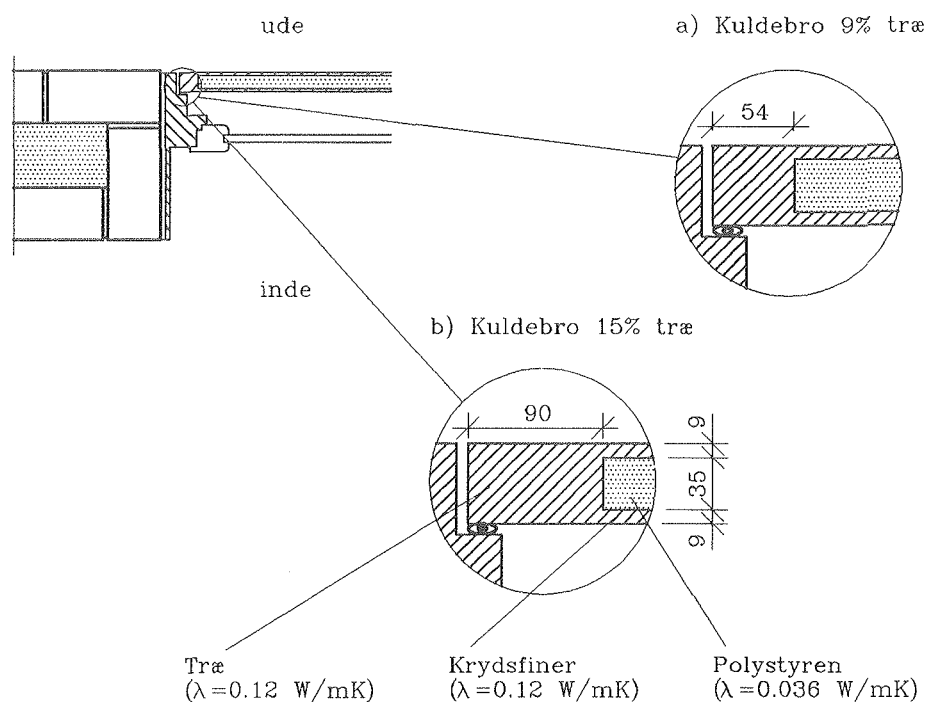
Tabel 11.1 U-værdier ($\text{W/m}^2\text{K}$) for udvendig tofløjet skodde jvf. fig. 11.1
 Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet
 Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved brug af skodder

Af tabel 11.1 fremgår det, at skoddekonstruktionen er næsten lige effektiv i begge vægkonstruktioner.

Sammenlignes DS418-beregningen med edb-beregningen er der kun lille forskel i ΔU -værdierne, derimod er den absolutte U-værdi beregnet efter DS418 væsentlig lavere end den edb-beregnete U_{2D} -værdi.

Skoddens U-værdi er også bestemt ved en "guarded hot-box måling" (3) med skodderne placeret i den nye vægkonstruktion. U-værdien blev her målt til $0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$. Målingen svarer til varmestrømmen vinkelret på vinduesplanet og kan derfor ikke sammenlignes direkte med tallene i tabel 11.1.

Enkelt-fløjet skodde, der lukkes mod vindueskarmen.



Figur 11.2 Detalje af udvendig, enkeltfløjet, sidehængslet skodde

Denne skoddekonstruktion indeholder ingen kuldebro midt foran vinduet (figur 11.2). Beregningen af U-værdierne er foretaget på to skoddekonstruktioner med forskellige dimensioner af rammetræet. Den ene skodde er udført med de trædimensioner, der var anvendt i den forrige skodde, medens den anden er væsentlig kraftigere. Ved beregning af U-værdierne er der regnet med, at begge skodder er stive nok til at forblive lufttætte under vindpåvirkning.

Beregningsresultaterne er vist i tabel 11.2.

Skodeløsn.	Ældre vægkonstruktion				Ny vægkonstruktion			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
Skodde 9% træ U.2.a	0,88	2,11	0,72	2,12	0,79	2,07	0,72	2,12
Skodde 15% træ U.2.b	0,91	2,06	0,77	2,07	0,82	2,04	0,77	2,07

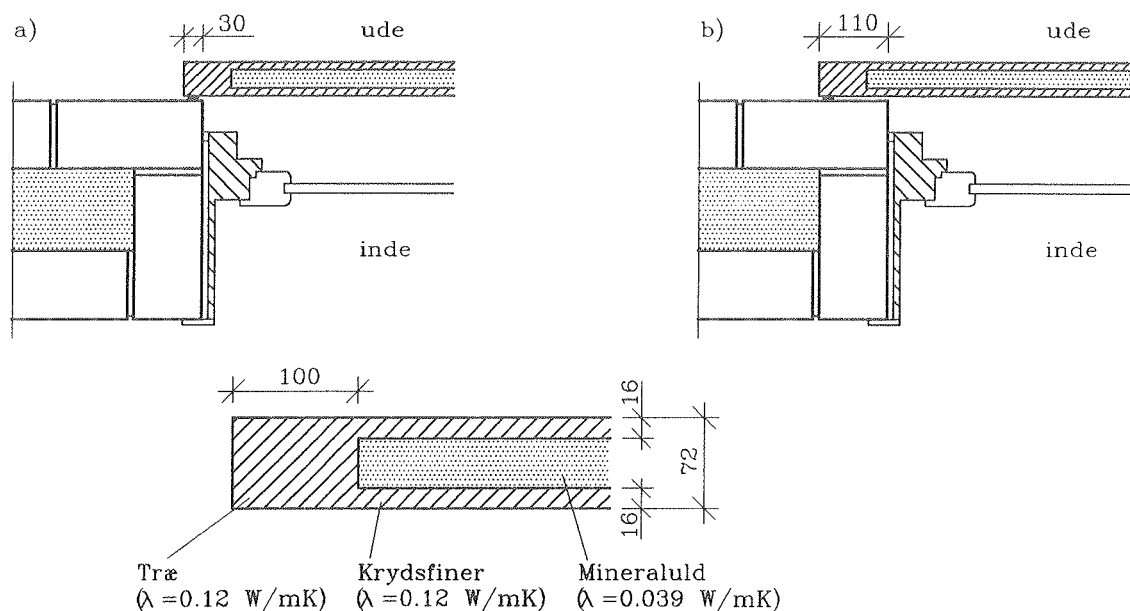
Tabel 11.2 U-værdier (W/m^2K) for enkeltfløjede udvendige skodder, der lukkes mod vindueskarmen, jvf. fig. 11.2

Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet

Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved brug af skodder

Det fremgår af tabel 11.2, at forskellen mellem U-værdierne for de to skodder er lille. Denne relativt beskedne forskel skal sammenholdes med risikoen for, at den "svage" skoddekonstruktion er utilstrækkelig til at sikre den nødvendige lufttæthed, når den udsættes for vindlast.

Skodde der lukkes mod ydersiden af væggen.



Figur 11.3 Detalje af udvendig skodde med anslag mod ydervæg

Skoddekonstruktionen er vist i figur 11.3. U-værdien for skodeløsningen er afhængig af skoddens bredde i forhold til vinduet. Dette er belyst ved beregning af U-værdien for en skodde, der er 6 cm bredere end vinduet (3 cm overlap på hver side) og for en skodde, der er 22 cm bredere end vinduet. U-værdierne er vist i nedenstående tabel 11.3.

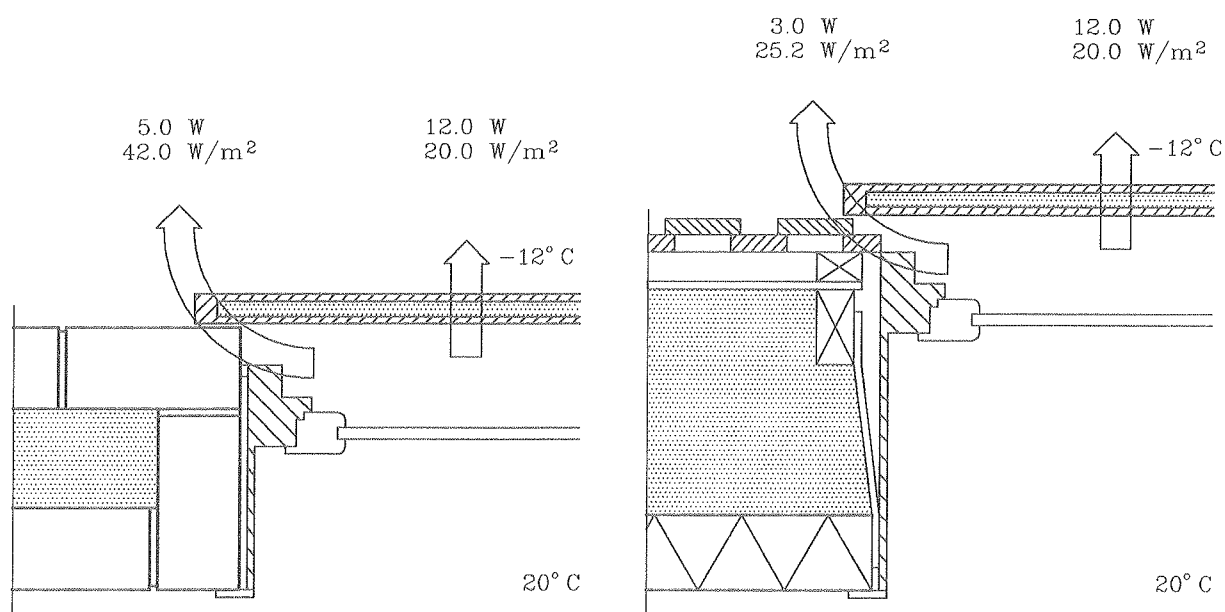
Skodeløsn.	Ældre vægkonstruktion				Ny vægkonstruktion			
	edb		DS418		edb		DS418	
	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU	U_{2D}	ΔU_{2D}	U	ΔU
Ingen	2,97	0	2,84	0	2,86	0	2,84	0
Skodde 6 cm U.3.a	1,02	1,95	0,66	2,18	0,89	1,97	0,68	2,16
Skodde 22 cm U.3.b	0,88	2,09	0,55	2,29	0,84	2,02	0,68	2,16

Tabel 11.3 U-værdier (W/m^2K) for skodde udvendigt på ydervæggen, jvf. fig. 11.3
 Kolonnerne benævnt U er de beregnede U-værdier for vinduesarealet
 Kolonnerne benævnt ΔU er reduktionen af U-værdien ved brug af skodder

Ved beregningen af U-værdien efter DS418 er reduktionen af vægdelens U-værdi på grund af de brede skodder fratrasket skoddens beregnede U-værdi. Det forklarer, hvorfor DS418-værdien er mindst i den gamle konstruktion, hvor skoddens isoleringsevne er relativt større end i den nye.

Det bemærkes endvidere, at U-værdierne beregnet efter DS418 giver et for optimistisk skøn over besparelsesmuligheden.

Sammenlignes de edb-beregnete U_{2D} -værdier for den smalle skodde med de to foregående udvendige skodeløsninger, finder man, at isoleringsevnen er væsentlig mindre. En undersøgelse af varmestrømmens fordeling viser, at det er en kraftig kuldebro uden om skodden, der er årsag til den store U-værdi (figur 11.4).



Figur 11.4 Fordeling af varmestrømmene i de to vægkonstruktioner med skodde uden på ydervæg. De benyttede arealer er arealerne vinkelret på varmestrømmens retning

En forøgelse af skoddebredden kan mindske kuldebroens virkning, især i den ældre konstruktion, hvor væggen omkring vinduet er massiv. I den nye konstruktion med ventilerede hulrum er virkningen begrænset. En forøgelse af skoddebredden vil imidlertid også øge omkostningerne.

12. SAMMENLIGNING AF SKODDEEFFEKTIVITETERNE

Effektiviteten af en skodde kan udtrykkes ved dens reduktion af varmetabskoefficienten for vinduesarealet når skodden er lukket i forhold til når vinduet ikke er forsynet med en skodde. Denne forskel udtrykkes ved ΔU_{2D} -værdien beregnet med edb-programmet til beregning af det todimensionale stationære temperaturfelt.

En sammenligning af forskellige skoddekonstruktioners effektivitet er kun reel, hvis de enkelte skodders en-dimensionale varmemodstand, beregnet for et tværsnit gennem skodden på et sted uden kuldebroer, er ens. Det er f.eks. ikke reelt at sammenligne en skodde med 25 mm isolering med en skodde med 50 mm isolering. Der er derfor inden den egentlige sammenligning i tabel 12.1, foretaget en korrektion af de beregnede U-værdier. Korrektionen er udført ved at multiplicere U-værdien for den aktuelle skodde med dens en-dimensionale varmemodstand og dividere med den en-dimensionale varmemodstand for referenceskodden ($R_{\text{ref}} = 0,91 \text{ m}^2\text{K/W}$, 30 mm PIR-skum, $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$). I tabel 12.1 er de forskellige løsninger opstillet efter faldende effektivitet.

Af nedenstående tabel fremgår det, at i den ældre konstruktion findes den største skoddeeffektivitet for den brede skodde placeret indvendigt på ydervæggen. Dernæst følger de indvendige skodder placeret i vindueshullet samt skodden indbygget i vindueskonstruktionen mellem to glaslag. De udvendige skodder er de dårligst isolerende med skodden placeret uden på væggen som den dårligste.

Variationen i effektiviteten inden for gruppen af indvendige skodder er beskeden med en maksimal forskel på ca. 6%. Det samme forhold er gældende for skodder placeret mellem vinduets glaslag. For udvendige skodder er den maksimale forskel ca. 9%.

I den højisolerede konstruktion findes den største effektivitet for de indvendige skodder i vindueshullet og skodeløsningerne placeret mellem glaslagene i vindueskonstruktionen. De udvendige skodder er også i dette tilfælde de dårligste.

Der er således kun ubetydelige variationer i rækkefølgen af skodeløsningerne i tabel 12.1 undtagen for den indvendige brede skodde. Årsagen hertil er, at skodden i den ældre konstruktion virker isolerende på den kraftige kuldebro ved udmuringen, og denne reduktion af varmetabet gennem væggen medregnes til skoddens isoleringsevne. Skodeløsningen, der er indbygget i vægkonstruktionen, og som glider ind mellem vinduets glaslag, har en stor effektivitet i den højisolerede konstruktion, medens det ikke er tilfældet i teglstensvæggen. Det skyldes, at skodden i lukket position efterlader et uisolert hulrum i væggen. I den højisolerede konstruktion får det relativ lille betydning for varmetabet gennem væggen i modsætning til teglstensvæggen med den mindre isoleringstykkelse. Betragtes talværdierne for ΔU_{2D} i de to vægkonstruktioner er der ingen markant forskel i besparelsesmuligheden ved anvendelse af isolerende skodder. Det natlige varmetab gennem vinduet vil således kunne reduceres med 60-75% ved anvendelse af skodder med en en-dimensionel varmemodstand på $0,91 \text{ m}^2\text{K/W}$ (30 mm PIR-skum).

Ældre vægkonstruktion			Højisoleret vægkonstruktion		
Løsning	U_{2D}	ΔU_{2D}	Løsning	U_{2D}	ΔU_{2D}
I.5.a	0,79	2,18	I.2.a	0,73	2,13
I.5.b	0,82	2,15	M.3	0,73	2,13
I.5.c	0,82	2,15	I.1.a	0,74	2,12
I.1.a	0,84	2,13	I.2.b	0,75	2,11
I.2.a	0,84	2,13	I.1.b	0,76	2,10
I.1.b	0,85	2,12	M.2	0,77	2,09
I.2.b	0,85	2,12	I.2.c	0,78	2,08
M.2	0,86	2,11	I.5.a	0,78	2,08
I.4.a	0,87	2,10	I.1.c	0,79	2,07
I.1.c	0,88	2,09	I.3.a	0,80	2,06
I.3.a	0,88	2,09	I.5.c	0,81	2,05
I.2.c	0,89	2,08	I.3.b	0,82	2,04
I.3.b	0,89	2,08	I.4.a	0,82	2,04
I.4.c	0,90	2,07	I.5.b	0,82	2,04
I.4.b	0,91	2,06	I.3.c	0,85	2,01
I.3.c	0,92	2,05	I.4.b	0,85	2,01
M.1	0,98	1,99	I.4.c	0,85	2,01
U.2.a	1,04	1,93	M.1	0,87	1,99
U.3.b	1,04	1,93	U.2.a	0,94	1,92
*M.3	0,96	1,89	U.1	0,97	1,89
U.1	1,08	1,89	U.2.b	0,97	1,89
U.2.b	1,08	1,89	U.3.b	0,99	1,87
U.3.a	1,21	1,76	U.3.a	1,05	1,81

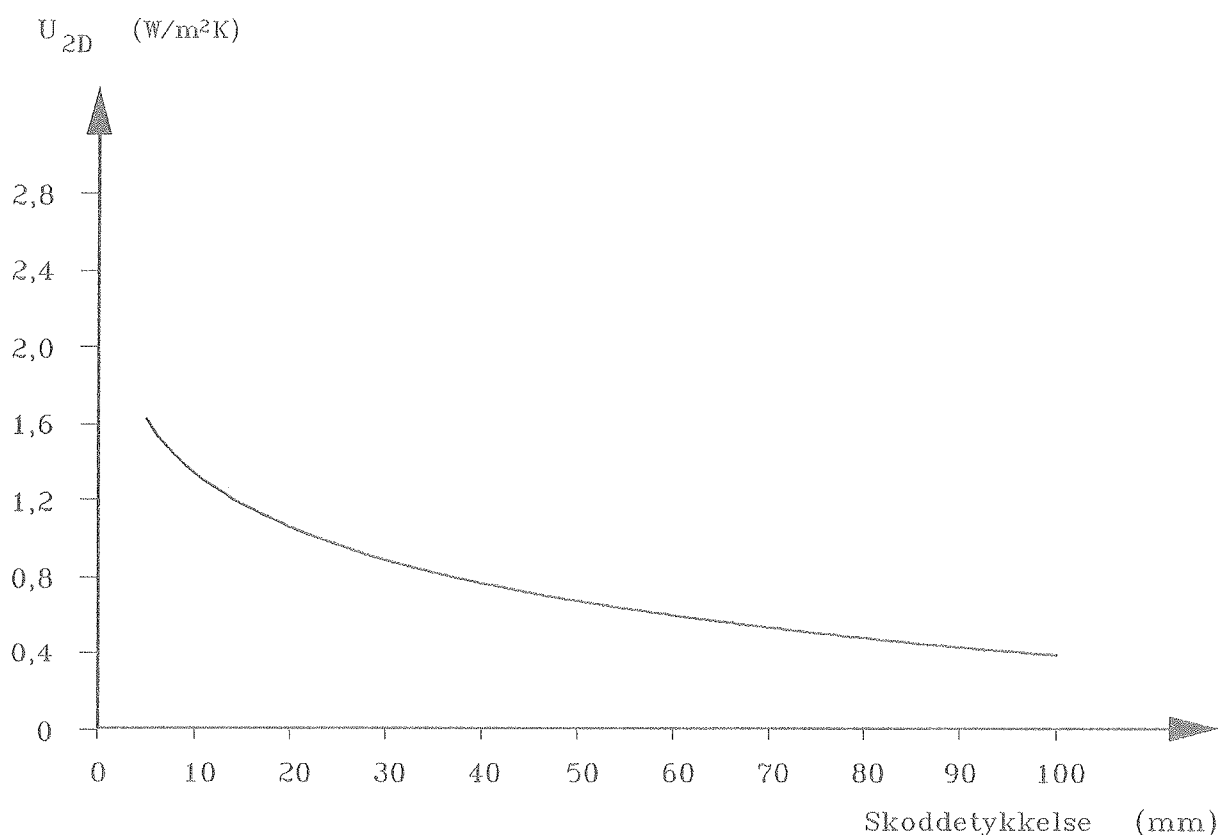
* Anden vægkonstruktion i beregningen for den ældre vægkonstruktion medfører mindre U-værdi for vindue uden skodde.

Tabel 12.1 De gennemregnede skodeløsninger opstillet efter faldende effektivitet
 Betegnelserne for skodeløsningerne er de, der er brugt i de forrige afsnit:
 I = indvendig skodde, M = skodde mellem glaslag og U = udvendig skodde

13. SKODDEEFFEKTIVITETENS AFHÆNGIGHED AF KULDEBROER OG ISOLERINGSTYKKELSE

Skoddens effektivitet er afhængig af skoddens varmemodstand, der igen er afhængig af hvilket isoleringsmateriale, der er valgt og dets tykkelse. Der er derfor foretaget beregninger af skoddeeffektiviteten med dobbelt isoleringstykkelser for indvendige og udvendige skodder samt skodder mellem vinduets glaslag.

Beregningerne viser for alle tre skoddetyper, at varmetabet om natten reduceres med ca 80% i forhold til referencevinduet med to lag glas. En fordobling af skoddens en-dimensionale varmemodstand til ca. $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ betyder en reduktion af varmetabet gennem vinduesarealet med ca. 10% i forhold til vinduet med en skodde med en varmemodstand på ca. $1 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Figur 13.1 U_{2D} -værdi for skodde + vindue som funktion af skoddetykkelsen ($\lambda_{\text{skodde}} = 0,039 \text{ W/mK}$)

Betydningen af kuldebroer i skoddekonstruktionen kan vurderes ud fra tabel 13.1, hvor de skodeløsninger, der er beregnet med forskellige kuldebroer, er vist.

Skoddeløsning	Kuldebro	Gammel konstr.	Ny konstr.
	% træ	U_{2D}	U_{2D}
I.1.a	0	0,84	0,74
I.1.b	2	0,85	0,76
I.1.c	7	0,88	0,79
I.2.a	0	0,84	0,73
I.2.b	2	0,85	0,75
I.2.c	7	0,89	0,78
I.3.a	0	0,88	0,80
I.3.b	2	0,89	0,82
I.3.c	7	0,92	0,85
I.4.a	0	0,87	0,82
I.4.c	6	0,90	0,85
I.4.b	7	0,91	0,85
I.5.a	0	0,79	0,78
I.5.c	6	0,82	0,81
I.5.b	6	0,82	0,82
U.2.a	9	1,04	0,94
U.2.b	15	1,08	0,97

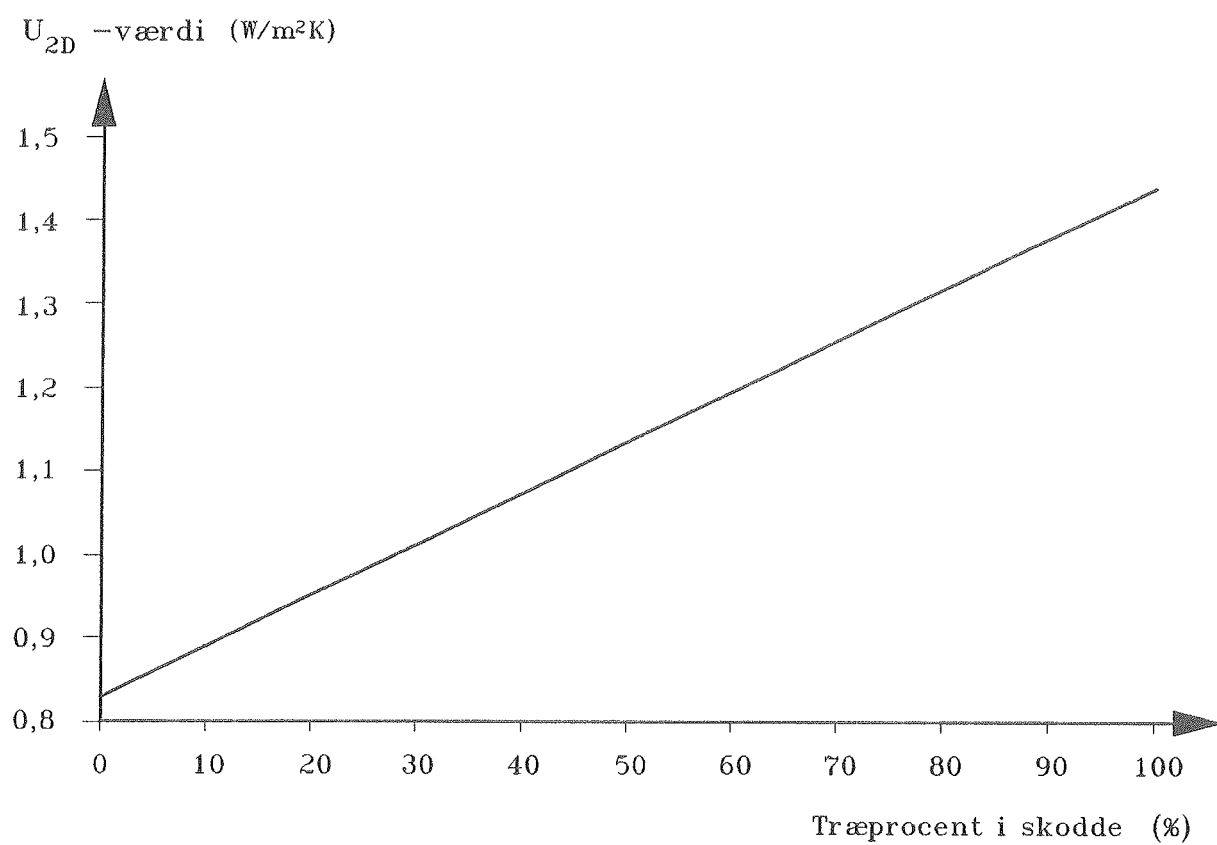
Tabel 13.1 Sammenligning af tidligere beregnede skoddeløsninger, med angivelse af træ-procenten i skodden (kuldebroens størrelse)

De forskellige kuldebroer langs skoddens kanter og samlinger er udvalgt fra eksempler beskrevet i litteraturen, hvor kuldebroerne er forsøgt elimineret, hvorfor de er forholdsvis små.

U_{2D} -værdien for de indvendige skodder vokser med ca. $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ ved et vinduesareal på $1,2 \times 1,2$ meter, når en skodde af rent isoleringsmateriale erstattes af en skodde med 7% træ.

En forøgelse af kuldebroen fra 9% til 15% træ i den udvendige skodde bevirker en stigning i U_{2D} -værdien på $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Til vurdering af virkningen af en kraftig kuldebro er der udført en beregning med en indvendig skodde placeret som skoddetype I.1 i den ældre vægkonstruktion men med en kuldebro af 30% træ. U_{2D} -værdien for denne skoddeløsning er fundet til $0,99 \text{ W/m}^2\text{K}$, hvilket er en stigning på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ i forhold til den ubrudte skodde. Sammenlignes dette med skoddeløsning I.1.c, finder man, at en firedobling af træprocenten i skodden kun forøger U_{2D} -værdien med 11%. I figur 13.2 er U_{2D} -værdien afbildet som funktion af træprocenten for en indvendig 30 mm skodde.



Figur 13.2 Todimensionalt beregnet U_{2D} -værdi for vindue + skodde som funktion af træprocenten

14. ANALYSE AF LUFTTÆTHEDENS BETYDNING FOR SKODDEEFFEKTIVITETEN

Beregningen af skoddeeffektiviteten er i det foregående foretaget ud fra forudsætningen om, at skoddens tilslutning til de omgivende konstruktioner er lufttæt. Betydningen af denne forudsætning er undersøgt nærmere for en indvendig og en udvendig skodde.

I nedenstående tabel 14.1 er "U-værdien" for et vindue med skodde beregnet for forskellige grader af luftudveksling mellem rumluften/udeluften og hulrummet mellem skodde og vindue. Beregningerne er udført efter en metode beskrevet i (12). Metoden anvender en model, hvor luften kommer ind ved skoddens overkant og forlader hulrummet ved skoddens underkant (omvendt for udvendige skodder).

Metoden beregner kun hvor meget energi, der fjernes med luftstrømmen, dvs. at U-værdien ikke er beregnet med det to-dimensionale edb-program.

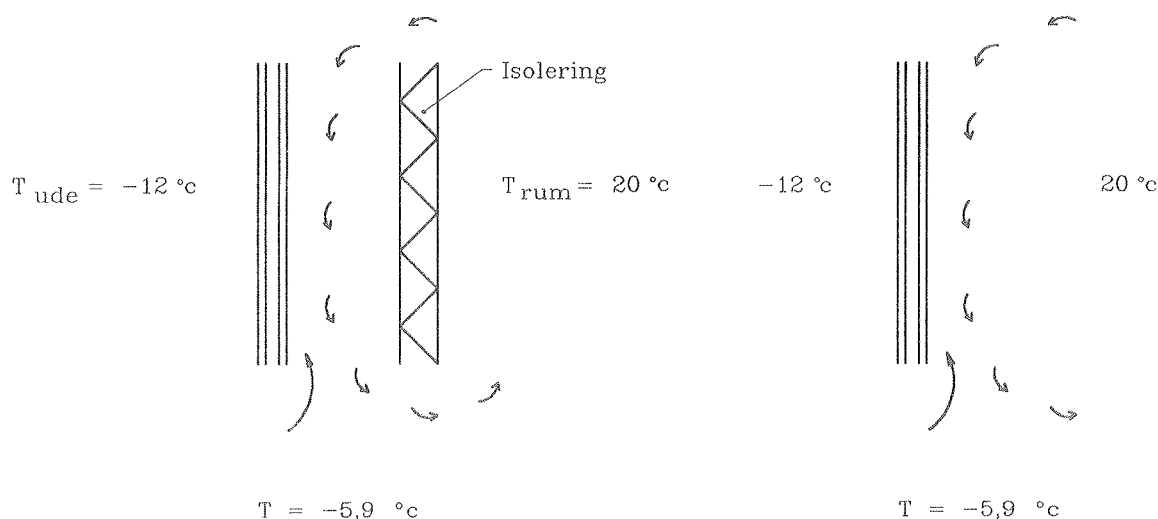
Skodde	Hulrumvolumen m ³	Luftudskiftning pr. time	Lufthastighed i sprække m/s	U-værdi W/m ² K
Indv.	0,10	0	0	0,85
	0,10	5	0,07	0,87
	0,10	10	0,14	0,92
	0,10	15	0,21	0,99
	0,10	20	0,28	1,05
Udv.	0,10	0	0	0,90
	0,10	5	0,07	0,91
	0,10	10	0,14	0,95
	0,10	15	0,21	1,00
	0,10	20	0,28	1,05

Tabel 14.1 U-værdien for skodde + vindue som funktion af luftudvekslingen mellem rumluft/udeluft og hulrummet mellem skodde og vindue. Sprække størrelse = 2 mm

Det fremgår af ovenstående tabel, at små utætheder ikke betyder en væsentlig ændring af isoleringsevnen af skodden. Derimod vil det for den indvendige skodde betyde en forøget kondensdannelse på de kolde flader, hvilket er uacceptabelt.

Luftskiftets størrelse afhænger primært af utæthedernes fordeling. Hvis der er en utæthed både ved skoddens top og bund, vil det resultere i et væsentligt større luftskifte, end hvis de to utætheder begge forekommer i toppen. Det skyldes, at luftudvekslingen mellem hulrummet og indeluften fremkommer pga. forskellen i luftens massefylde ved henholdsvis stuetemperatur og hulrumstemperaturen. Mellem skodden og vinduet afkøles luften og synker nedad. Er der således en utæthed her, vil den afkølede luft strømme ud i rummet. Mængden afhænger af muligheden for at få tilført ny luft til hulrummet.

En øvre grænse for hvilke luftmængder, der kan cirkulere gennem hulrummet, kan findes ved at betragte en rude med samme overfladetemperatur som ved skoddeberegningen, men uden skodden til at hindre luftstrømningen (figur 14.1).



a) Vindue med skodde

b) Vindue uden skodde

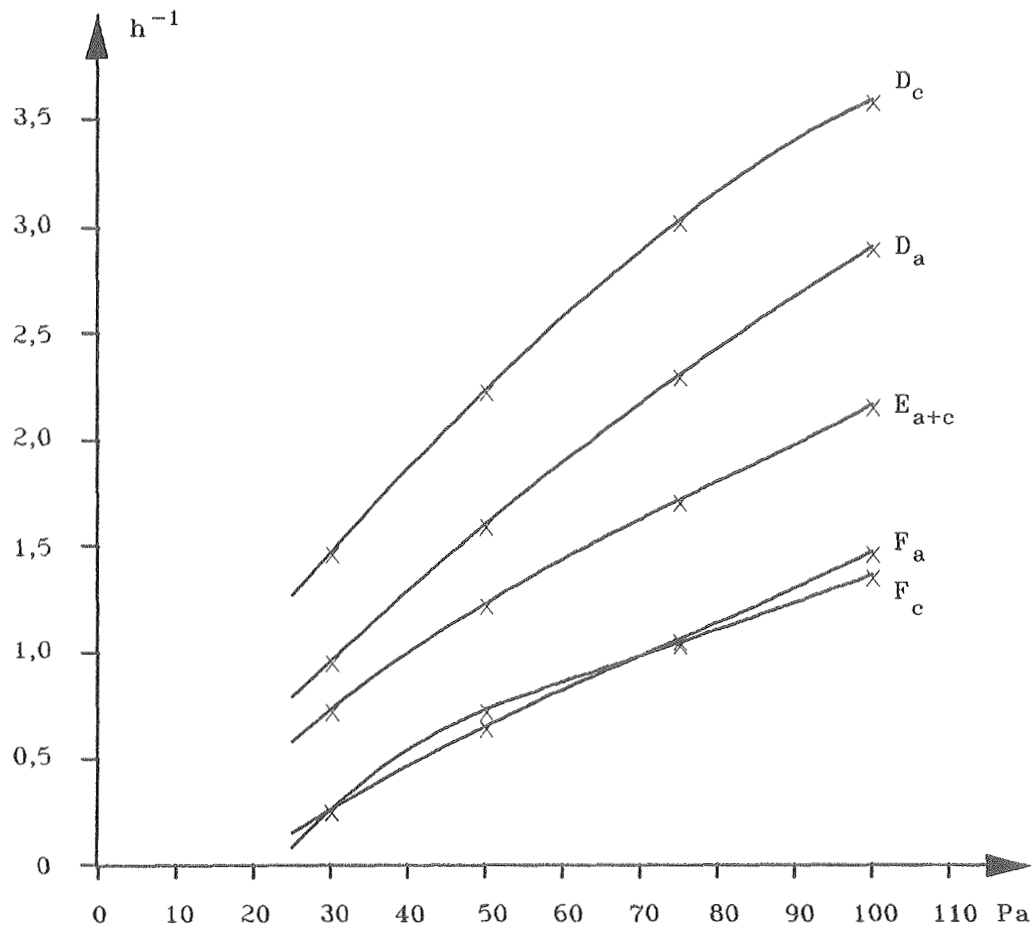
Figur 14.1 a) Virkelig konstruktion med utæt skoddetilslutning
b) Vindueskonstruktion til beregning af den øvre grænse for luftcirkulation bag skodden

I (13) er opstillet en teoretisk beregningsmetode til bestemmelse af strømningshastigheden samt tykkelsen af det strømmende lag. Beregningen giver en luftstrøm forbi vinduet på ca. $15\text{ m}^3/\text{time}$ med den viste rudetemperatur, og middelhastigheden af luftstrømmen er ca. $0,2\text{ m/s}$. I ovenstående beregning er grænselagets tykkelse ca. 2 cm . I forbindelse med skodder vil en eventuel sprække mellem skodde og vindueskonstruktion måske være $1\text{--}2\text{ mm}$. Tænkes hastigheden af luftstrømmen at være $0,2\text{ m/s}$ i sprækken, bliver den cirkulerende luftmængde lig med $1,44\text{ m}^3/\text{time}$ pr. meter vinduesbredde, når sprækken er 2 mm .

Ifølge tabel 14.1 vil dette svare til en forøgelse af U-værdien med 16% fra $0,85\text{ W/m}^2\text{K}$ til $0,99\text{ W/m}^2\text{K}$.

En sprække mellem en udvendig skodde og vinduet vil ikke resultere i kondensdannelse, men vil reducere isoleringsevnen. Størrelsen af luftskiftet vil især være afhængig af vindpåvirkningen og dennes variation over skoddearealet, hvilket kan resultere i store luftudskiftninger selv ved små utætheder.

I forbindelse med lavenergihusprojektet i Hjortekær er der foretaget en trykprøvning af husene. I de huse med isolerende udvendige skodder blev der også foretaget en trykprøvning, hvor vinduerne var åbne, men skodderne lukkede (14). Resultatet af målingerne er vist på figur 14.2, hvor det fremgår, at skoddernes lufttæthed svarer til vinduernes.



Figur 14.2 Luftskiftemåling ved indvendigt undertryk for lavenergihus D, E og F i Hjortekær, som alle har udvendige skodder
 a er måling med lukkede vinduer og åbne skodder
 c er måling med åbne vinduer og lukkede skodder

15. KOMBINATION AF SKODDER OG VINDUESTYPER

Endelig afhænger skoddens effektivitet af forholdet mellem rudens og skoddens varmemodstand. Der er således udført en serie beregninger af U_{2D} -værdierne ved hjælp af edb-programmet til beregning af todimensionale stationære temperaturfelter for forskellige rudetyper med og uden skodder. Resultaterne er vist i tabel 15.1.

Rudetype	Skodde	Ældre konstr.		Nye konstr.	
		U_{2D}	ΔU_{2D}	U_{2D}	ΔU_{2D}
2 lag alm.	nej	2,97	0	2,86	0
2 lag alm.	ja	0,85	2,12	0,76	2,10
3 lag alm.	nej	2,26	0	2,15	0
3 lag alm.	ja	0,81	1,45	0,69	1,46
2 lag spec.	nej	1,55	0	1,43	0
2 lag spec.	ja	0,71	0,84	0,59	0,84

Tabel 15.1 U_{2D} -værdier (W/m^2K) for vinduer med forskellige rudetyper med og uden indv. skodde

Skodde: 30 mm PIR-skum

Rudetype 2 lag alm: 4 mm glas, 12 mm luft, 4 mm glas

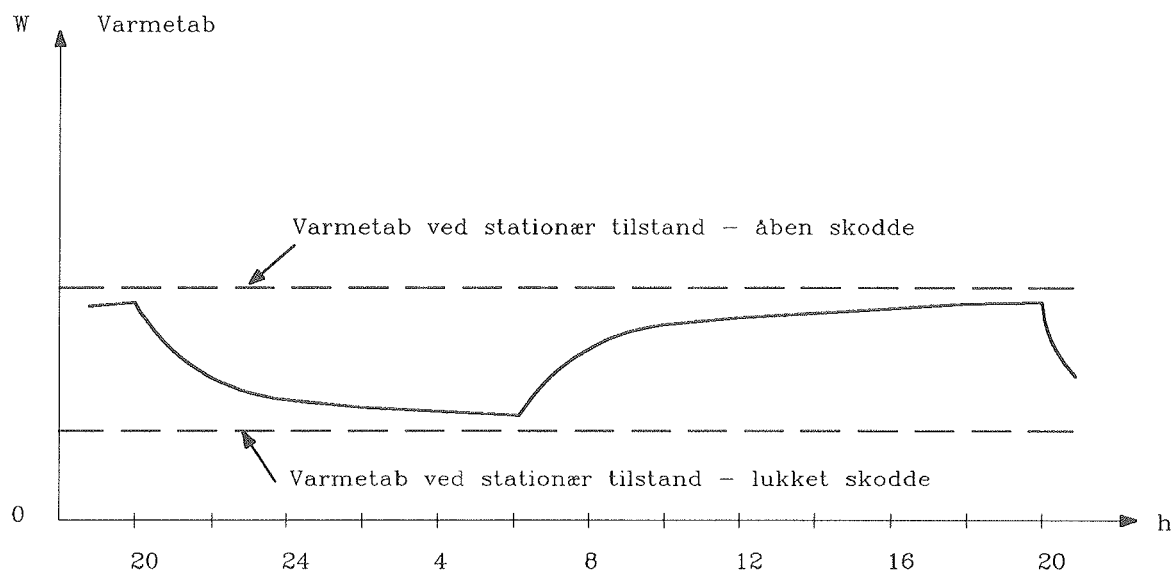
Rudetype 3 lag alm: 4 mm glas, 9 mm luft, 4 mm glas, 9 mm luft, 4 mm glas

Rudetype 3 lag spec: 4 mm glas, 14 mm Argon, 4 mm lavemissionsbelagt glas

Af ovenstående tabel fremgår det, at skoddens effektivitet falder, når rudens isoleringsevne forøges. En 50% forøgelse af vinduets isolans bevirker således et fald i skoddeeffektiviteten (ΔU_{2D} -værdien) på ca. 60%.

16. ANALYSE AF FUGTPROBLEMER

Anvendelsen af skodder mellem vinduets glaslag eller udvendige skodder vil, som tidligere nævnt, ikke resultere i kondensproblemer, hvis henholdsvis den inderste rude og vinduet som helhed er diffusions- og især lufttæt. Betragter man varmestrømmens variation over døgnet gennem et vindue med tilstødende vægkonstruktion ved anvendelse af udvendige skodder og skodder mellem glaslag, vil den principielt få et forløb, som vist på figur 16.1. Varmestrømmen er proportional med forskellen mellem indetemperaturen og overfladetemperaturen på konstruktionen, hvilket ved fastholdt indetemperatur betyder, at et større varmetab svarer til en mindre overfladetemperatur på rudens indvendige overflade.

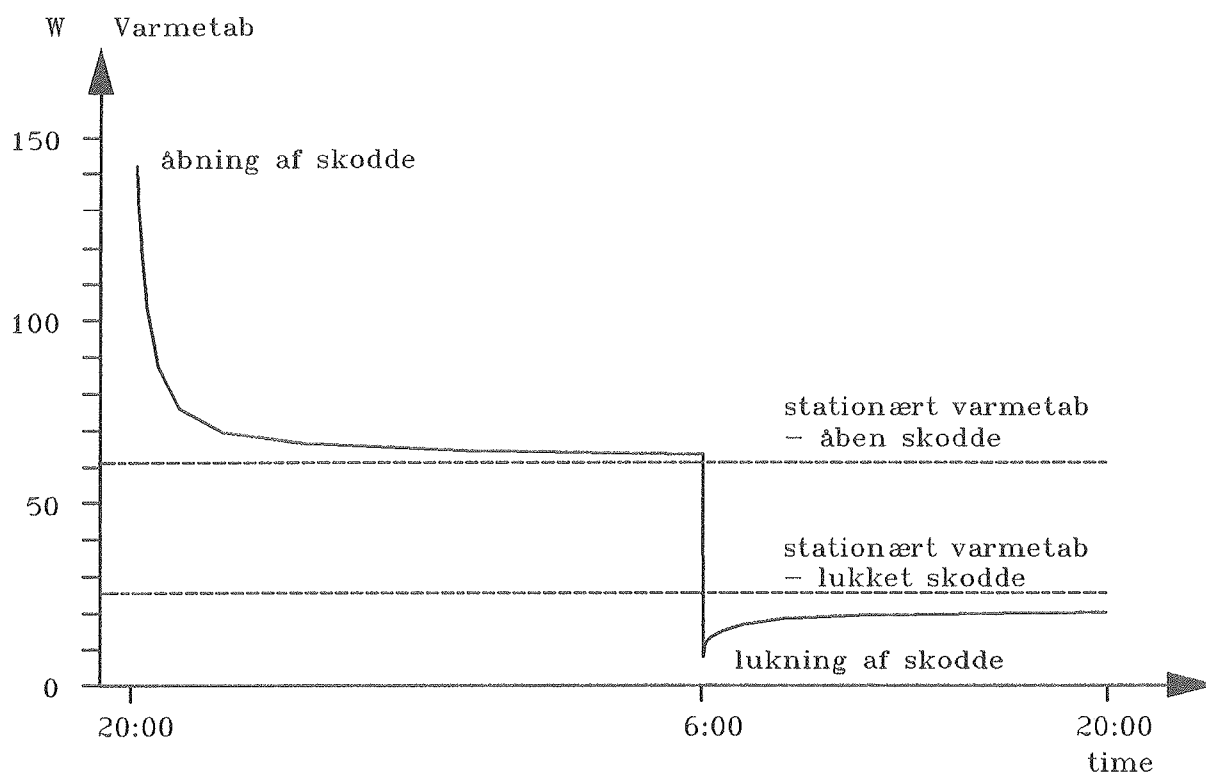


Figur 16.1 Varmestrømmen gennem væg og vindue som funktion af tiden

Det fremgår således af figur 16.1, at overfladetemperaturen altid vil være større end eller lig med den stationært beregnede temperatur for vindue uden skodde, jvf. sammenhængen mellem varmetab og indvendig overfladetemperatur. Anvendelsen af udvendige skodder eller skodder mellem vinduets glaslag mindsker således kondensrisikoen.

Varmetabet over døgnet svarer imidlertid til det, der beregnes ved en simpel tidsvægtning af de stationært beregnede U-værdier.

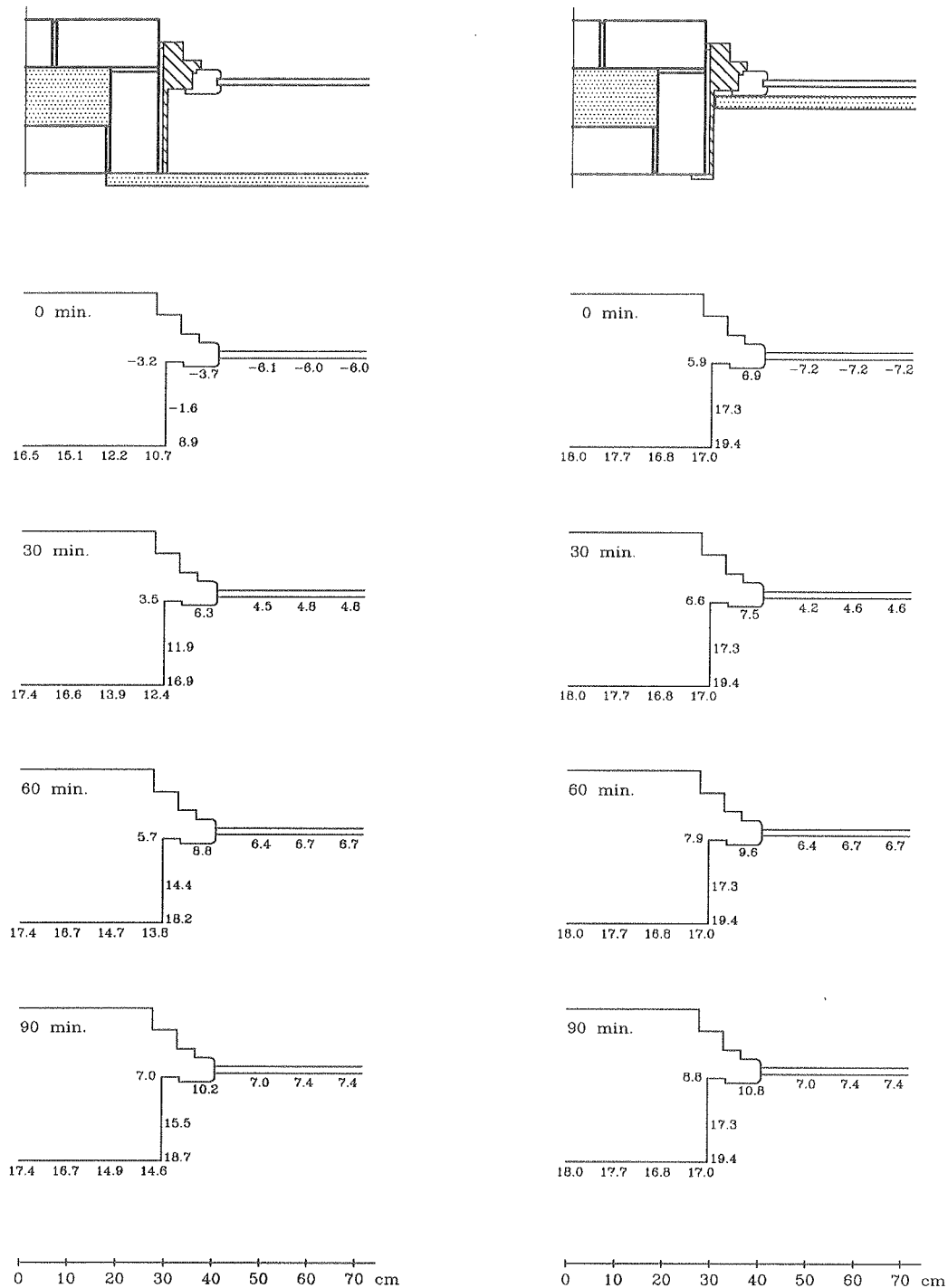
Anvendelse af indvendige skodder vil derimod give anledning til kondensdannelse, dels hvis samlingen mellem skodde og vægkonstruktion er utæt, og dels når skodden fjernes fra vinduet om morgenen. I figur 16.2 er varmestrømmens variation over døgnet optegnet ud fra beregninger med et to-dimensionalt dynamisk beregningsprogram TODYN, udviklet under projektet. Beregningerne er udført for en skodde placeret indvendigt på den gamle vægkonstruktion med fastholdt ude- og indetemperatur på henholdsvis -12°C og 20°C . Skodden er lukket 10 timer i døgnet.



Figur 16.2 Varmestrømmens variation over døgnet ved anvendelse af skodder placeret indvendigt på den gamle vægkonstruktion

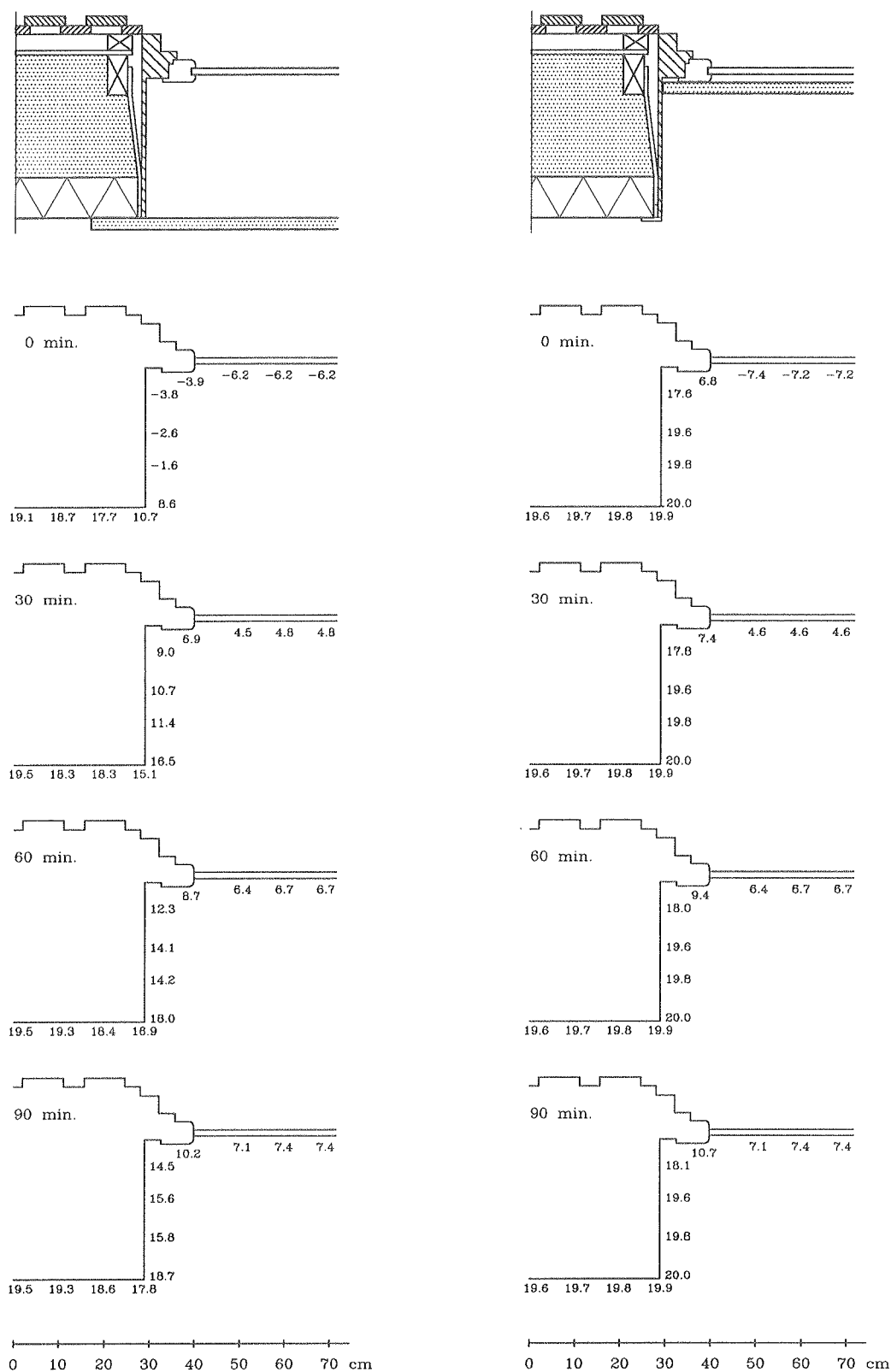
Det fremgår af figuren, at overfladetemperaturen på konstruktionen vil være mindre end den, der beregnes i det stationære tilfælde, når skodden er åben. Det betyder, at kondensrisikoen øges, når der anvendes indvendige skodder ikke blot om natten men også om dagen. Afhængig af skoddens placering i forhold til vinduet vil en større eller mindre del af vægkonstruktionen blive kølet ned under dugpunktet i løbet af natten. Den optimale placering af indvendige skodder med hensyn til kondensrisikoen er således tæt ved ruden.

I nedenstående figur 16.3 er den ældre konstruktions overfladetemperatur vist til forskellige tidspunkter efter åbning af skodden, dels for en skodde placeret tæt ved vinduet og dels for en skodde placeret på indersiden af ydervæggen. Endvidere er angivet sammenhørende værdier af den relative luftfugtighed ved 20°C og dugpunktstemperaturen. De tilsvarende beregninger er udført for den nye vægkonstruktion, og resultaterne er vist i figur 16.4.



Relativ fugtighed ved 20 °C	%	30	40	50	60
Tilhørende dugpunktstemperatur	°C	3,0	6,2	9,0	12,3

Figur 16.3 Indvendige overfladetemperaturer på ældre vægkonstruktion efter åbning af indvendig skodde



Relativ fugtighed ved 20 °C	%	30	40	50	60
Tilhørende dugpunktstemperatur	°C	3,0	6,2	9,0	12,3

Figur 16.4 Indvendige overfladetemperaturer på ny vægkonstruktion efter åbning af indvendig skodde

Figur 16.3 viser forskellen mellem de arealer, der er udsat for kondens, hvis der anvendes en indvendig skodde placeret henholdsvis fjernt fra vinduet og tæt ved vinduet. I begge tilfælde vil der ofte forekomme kondens på ruden i op til 1 time, efter at skodden er fjernet. I tilfældet med skodden placeret tæt ved vinduet kan der ligeledes forekomme kondens i hjørnet mellem væg og vindue indtil 1/2 time efter, at skodden er åbnet.

Er skodden placeret fjernt fra vinduet vil der straks forekomme kondens på næsten hele vinduesindfatningen. Efter 1/2 time er kondensarealet indskrænket til vindueskarmen og hjørnet mellem væg og vindue. Efter 1 time vil der stadig forekomme kondens i ovennævnte hjørne. Efter 1 time vil temperaturen alle steder være over dugpunktet under forudsætning af, at lufttilstrømningen i hjørnerne er den samme som ved de frie overflader.

Der er ikke nogen forskel på kondensforholdene for de to vægtyper, hvilket skyldes, at de to vægkonstruktioners indvendige materialeglag er omtrent ens. Det er vigtigt, at vinduesindfatningens materialeglag vendende ind mod rummet udføres af materialer med relativ lille varmeledningsevne og lille varmekapacitet, hvis ikke kondensproblemet skal blive for stort.

17. ÅRLIG ENERGIBESPARELSE VED BRUG AF SKODDER

Den årlige energibesparelse er stærkt afhængig af brugsmønsteret.

Skoddernes anvendelse afhænger bl.a. af beboernes ønsker med hensyn til at kunne følge dagslysets døgnrytme i de forskellige rum i huset. Fx vil udvendige skodder i nogle rum blive anvendt som permanente i vinterhalvåret, medens andre vil forblive åbne hele året. I forbindelse med de første seks lavenergihuse i Hjortekær blev beboernes brug af skodderne registreret, og ud fra de observerede anvendelsesmønstre blev den årlige energibesparelse beregnet (14). Resultaterne fra to af husene er gengivet i tabel 17.1.

Hus	D	E
Beregnet besparelse ved observeret anvendelse (kWh/m ² år)	65	91
Beregnet besparelse ved fastlagt anvendelse (kWh/m ² år)	99	57

Tabel 17 Årlig energibesparelse pr. m² vindue ved observeret og fast anvendelsesmønster

Det fremgår tydeligt af ovenstående, at beboervanerne har en alt afgørende betydning for skoddernes energibesparende virkning.

Den årlige energibesparelse ved anvendelse af isolerende skodder er beregnet med simuleringssprogrammet TSBI 2.0 (10), dels for et termisk let rum og dels for et termisk tungt rum. Beregningerne er udført med følgende forudsætninger: skodderne benyttes hver dag i perioden 3. september til 29. april, hvor de er lukket fra kl. 20 til kl. 7. Indetemperaturen er sat til 20°C.

Med lukkede skodder har vinduet en U-værdi på 0,8 W/m²K, ellers er U=2,90 W/m²K. Ydervæggen har en U-værdi på 0,4 W/m²K.

Beregningerne viser en energibesparelse på ca. 100 kWh/m² vindue i begge rumkonstruktioner. Der er således ingen forskel på skoddernes virkning i de to typer rumkonstruktioner.

Den maksimalt opnåelige energibesparelse er beregnet under forudsætning af, at skodden lukkes i de perioder, hvor det vil have en positiv indflydelse på energibalancen for vinduet, det vil sige, når netto energitabet gennem vinduet er større end energitabet gennem vinduet med lukkede skodder. Med denne beregningsmetode findes den øvre grænse for energibesparelsen til 130 kWh/m² pr. år, når der anvendes en skodde som i de foregående beregninger, og indetemperaturen holdes på 20°C.

18. ØKONOMISK MAKSIMALE SKODDEOMKOSTNINGER

Installation af isolerende skodder i en bolig kan betragtes som en investering, hvor forrentningen fremkommer ved en formindskelse af den årlige varmeregning. Forrentningen af den investerede kapital kan sammenlignes med den maksimalt opnåelige forrentning blandt alle andre investeringsmuligheder. Denne maksimale forrentning kaldes den nominelle kalkulationsrente. Sammenligningen mellem forrentningen af investeringen i isolerende skodder og den nominelle kalkulationsrente kan foretages ved hjælp af "Nuværdimetoden" (11). I denne metode regnes værdien af alle fremtidige udgifter og indtægter (besparelser) tilbage til investeringstidspunktet. Den økonomisk maksimalt tilladelige skoddepris (investering) resulterer i en forrentning, der er lig med den nominelle kalkulationsrente.

Matematisk beregnes den maksimale skoddeinvestering af følgende formel.

$$I = b_o \frac{1 - \left(1 + \frac{r_n(1-s)-i_e}{1+i_e}\right)^{-n}}{\frac{r_n(1-s)-i_e}{1+i_e}} - u_o \frac{1 - \left(1 + \frac{r_n(1-s)-i_u}{1+i_u}\right)^{-n}}{\frac{r_n(1-s)-i_u}{1+i_u}}$$

- hvor
- I : den maksimale skoddeinvestering
 - b_o : værdien af den årlige energibesparelse
 - n : skoddens økonomiske levetid
 - r_n : den nominelle kalkulationsrente angivet som brøk
 - s : skatteprocenten angivet som brøk
 - i_e : den årlige energiprisstigningstakt angivet som brøk
 - u_o : de årlige vedligeholdelsesomkostninger
 - i_u : den årlige prisstigningstakt for vedligeholdelsesudgifter angivet som brøk

I tabel 18.1 er den maksimale skoddepris for forskellige størrelser af energiprisstigningstakten og økonomisk levetid vist.

Årlig besparelse	Årlig udgift	Prisstigning på energi	Maksimal skoddeinvestering		
b_o	u_o	i_e	n=5 år	n=10 år	n=15 år
kr/m ² år	kr/m ² år	%	kr/m ²	kr/m ²	kr/m ²
50	5	0	218	426	623
		5	218	428	627
		10	218	429	629
50	10	0	194	379	554
		5	194	380	557
		10	194	381	559

Tabel 18.1 Den økonomisk størst tilladelige skoddeinvestering, beregnet under følgende forudsætninger:

$$r_n = 12\%, s = 50\%, i_u = 5\%$$

$$U\text{-værdi for skodde + vindue} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U\text{-værdi for vinduet alene} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

I ovenstående tabel er der regnet med en energipris på 0,50 kr/kWh svarende til et oliefyrsanlæg med 80% nyttevirkning. Hvis opvarmningen sker ved hjælp af elektricitet er energiprisen 0,90 kr/kWh, hvilket vil øge den maksimalt tilladelige skoddepris med ca. 90%.

Det fremgår af tabellen, at den maksimale investering kun afhænger en smule af stigningstakten for energiprisen, medens en ændring i de årlige vedligeholdelsesudgifter har en større effekt. Der er således en næsten lineær sammenhæng mellem den maksimale skoddeinvestering og differensen ($b_o - u_o$).

Til vurdering af rentabiliteten af isolerende skodder er den anslåede materialepris 170 kr for en indvendig skodde konstrueret af 1 m² 30 mm isoleringsplade med kantlister og tætningsprofil. En udvendig skodde opbygget af en simpel ramme med 50 mm mineraluld og beklædt med krydsfiner på begge sider vil i materialepriser koste ca. 220 kr/m². Den nævnte skoddekonstruktion er ikke forsynet med hængsler men tænkes påmonteret vinduet med bolte. Hvis der anvendes en færdig vindueskonstruktion, hvor glasset erstattes af 50 mm mineraluld, øges skoddeprisen til ca. 800 kr/m².

I ovenstående prisoverslag er der ikke medregnet arbejdsløn undtagen for den færdige vindueskonstruktion. Det er muligt at fremstille simple skodder til såvel udvendig som indvendig brug, som er økonomisk rentable inden for en tidshorisont på 5 år. Skodderne vil være vanskelige at betjene og opmagasinere specielt for den udvendige skodde. Udformes skodden mere komfortabelt, stiger prisen kraftigt, hvorved den økonomiske fordel mindskes.

19. KONKLUSION

Indvendige skodder er billige, de kan benyttes i alle former for byggeri og kan betjenes indefra. Der vil imidlertid altid være problemer med kondens på vinduet, når skodden fjernes om morgenen, og udnyttelsen af vinduespladen til fx anbringelse af pottedplanter vil være vanskelig. Indvendige skodder skal fjernes hver dag for at hindre termisk sprængning af ruden ved solpåvirkning, hvilket betyder, at skodden ikke kan anvendes ved bortrejse. Det er vigtigt, at samlingen mellem skodde og vindues-vægkonstruktionen er lufttæt dels på grund af kondensproblemet og dels for ikke at nedsætte den isolerende virkning.

Skodder mellem vinduets glaslag er den teknisk bedste løsning, idet skodden kan betjenes indefra, og kondensproblemet er løst. Skodden kræver imidlertid en specialudformning af vindueselementet dels på grund af kravet til rudeafstanden og dels for at kunne opmagasinere skodden i dagtimerne, hvilket betyder en forøgelse af skoddens pris. Ovennævnte skodeløsning bør også åbnes hver dag for at undgå termisk sprængning af det yderste glaslag. Kravet til tætheden af samlingen mellem skodde og vindueskonstruktion er mindre end for den indvendige skodde, idet tætningen kun skal hindre konvektionsstrømme og ikke dampdiffusion.

Udvendige skodder skal som regel betjenes udefra, men kan i visse tilfælde betjenes indefra ved åbning af vinduet eller ved hjælp af et motordrev. Udvendige skodder vil betyde en markant ændring af eksisterende bygningers udseende, og som regel stille krav til vinduesafstanden. Anvendelsen vil hovedsageligt være til nybyggeri. På grund af den udvendige placering skal skodden være robust, og den bliver dermed dyr at fremstille. Ovennævnte skodde vil ikke give anledning til kondensproblemer. Den udvendige skodde kan anvendes hele døgnet og således også ved bortrejse. Skodeløsningen kræver stor tæthed ved samlingen mellem skodden og vindue-vægkonstruktionen for at undgå en nedsat isolerende effekt ved vindpåvirkning.

Den optimale placering af skodder i forhold til vægtykkelsen er midt ud for væggens isoleringslag. Det vil ofte betyde, at skodden skal placeres så tæt på vinduet som muligt. For indvendige skodder vil dette også være den optimale placering af hensyn til kondensforholdene. En uhensigtsmæssig placering af skodden kan reducere den isolerende virkning med op til 10%.

Indbygningsforholdene i to vægtyper er blevet undersøgt, dels i en ældre vægkonstruktion med fuld udmuring omkring vinduet, og dels i en vægkonstruktion anvendt i et lavenergihus, med minimal kuldebrovirkning. Undersøgelsen viser, at vægtypen har meget lille indflydelse på energibesparelsesmulighederne, hvis skodden er placeret optimalt. Kondensrisikoen er ligeledes ens for de to vægkonstruktioner, fordi overfladelagene varmeteknisk er næsten ens. Overfladetemperaturerne på den indvendige side af den ældre vægkonstruktion vil dog være lavere end i den nye konstruktion, især ud for udmuringen, hvilket kan give anledning til misfarvninger, pga en højere relativ fugtighed på overfladen.

Kuldebroer i skodderne bør i princippet minimeres, idet varmetabskoefficienten for et vindue med skodde øges med 10% ved en kuldebro på 10% træ. Dette svarer imidlertid kun til en reduktion i energibesparelsen på ca. 5% i forhold til en skodde, der udelukkende består af isoleringsmateriale.

Anvendes en skodde af 30 mm isoleringsmateriale med en λ -værdi på 0,033 W/mK reduceres det natlige varmetab med ca. 70%. Øges isoleringstykkelsen til det dobbelte, bliver det natlige varmetab reduceret med ca. 80%. En isoleringstykkelse på 30 mm svarende til en varmestand på 0,91 m²K/W synes således at være rimelig.

Effektiviteten af isolerende skodder er stærkt afhængig af rudetyper, jo bedre isolerende ruder jo mindre fordel ved anvendelse af skodder. Den maksimale effektivitet opnås således (hvis der ses bort fra 1-lags ruder) for alm. to-lags termoruder. Anvendelsen af skodder skal således ses som et alternativ til anvendelse af ruder med bedre U-værdi, der imidlertid også har en mindre solvarmetransmittans. Benyttes skodeløsningen sammen med en specialrude ($U_{\text{glas}} = 1,3$ W/m²K) reduceres effektiviteten af skodden med ca. 60%.

Den maksimale årlige besparelse ved anvendelse af ovennævnte 30 mm skodde er beregnet ud fra det danske referenceår til 130 kWh/m². Ved daglig brug af skodder vil den årlige besparelse være ca. 100 kWh/m². Registrering af anvendelsesmønstret hos forskellige brugere viser en meget stor variation i den opnåede energibesparelse (både højere og lavere end forventet).

Beregning af energibesparelse og det årlige energiforbrug for en bygning med isolerende skodder bør ikke baseres på brug af DS418, idet resultatet, afhængig af skodeløsningen, kan blive en overvurdering af energibesparelsen med ca. 10% og en undervurdering af det årlige energiforbrug med ca. 21%.

Er kuldebroforholdene grundigt vurderet og fundet minimale, er det dog forsvarligt at anvende DS418.

Den maksimale skoddepris beregnet ud fra privatøkonomiske forhold med en forventet skoddelevetid på henholdsvis 5 og 15 år er fundet til henholdsvis ca. 200 kr/m² og ca. 600 kr/m². Det vil være muligt at konstruere en simpel skodde inden for ovennævnte beløb til såvel udvendig som indvendig brug. Øges kravet til skoddens udseende og håndterlighed forsvinder den økonomiske fordel ved udvendige skodder.

Med baggrund i den i projektet gennemførte analyse af forskellige skodeløsninger må det konkluderes, at den perfekte skodeløsning endnu ikke findes. Kravet til den perfekte skodde må være, at den er nem at betjene, at den ikke giver anledning til nogen nævneværdig gene for brugeren, at den ikke skæmmes bygningen hverken udvendigt eller indvendigt, og at den er økonomisk fordelagtig.

20. REFERENCER

- (1) Dansk Ingeniørforenings regler for Beregning af bygningers varmetab. 5.udg., december 1986. Dansk Standard DS418.
- (2) Insulated Shutters, M.R. Byberg, K. Engelund Poulsen, N.H. Rasmussen, H.S. Solfeldt, Thermal Insulation Laboratory, Report no. 144, December 1983, Technical University of Denmark.
- (3) The Termoroc House - an experimental low-energy house in Sweden, B. Rosengren, Swedish Council for Building Research, Document D8, 1977.
- (4) Building it right: Pocket Doors and Double-Wall Framing, R. Schwolsky, Solar Age, January 1982.
- (5) Undersøgelse vedrørende højisolerede vindueskonstruktioner med mobil natisolering, T.V. Hansen, Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 45, januar 1977, Danmarks Tekniske Højskole.
- (6) Bygg Klimatanpassat, B. Erat, D. Björkholtz, Svensk Byggtjänst, 1983.
- (7) Thermal Shutters and Shades, W.A. Shurcliff, Brick House Publishing Co., Inc., Andover, Massachusetts 1980.
- (8) Tegningsmateriale til 2.-generations lavenergihus i Hjortekær. Internt materiale, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1984.
- (9) 6 lavenergihuse i Hjortekær, M. Byberg, B. Saxhof, Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 120, Danmarks Tekniske Højskole, november 1982.
- (10) TSBI, termisk simulering af bygninger og installationer, K. Grau, K. Johansen, B. Andersen, Statens Byggeforskningsinstitut 1985.
- (11) Økonomisk vurdering af energibesparende foranstaltninger, K. Johnsen, M. Kvetny, H.S. Andersen, SBI anvisning 132. Statens Byggeforskningsinstitut 1982.
- (12) Termogardiner, forprojekt, Jydsk Teknologisk Institut, Århus, juni 1983.
- (13) Varmetab gennem vinduer, K. Wittchen, J. Schultz, Eksamensprojekt, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1986.
- (14) External Insulating Shutters in Energy Conservation Houses, B. Saxhof, Thermal Insulation Laboratory, Report no. 129, Technical University of Denmark, November 1982.
- (15) Vejrdata for VVS og energi. Dansk referenceår TRY, B. Andersen et al., SBI-rapport 135, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1982.

LavEnergi Publikationer fra Laboratoriet for Varmeisolering, DTH

- 1 Bolet, B., Rasmussen, N.H. & Korsgaard, V.: Ressourcebesparende kassettebyggesystem til lavenergihuse. LfV, Meddelelse nr. 197, december 1988.
- 2 Byberg, M.R.: Fremtidens lavenergihuse, XII Nordiske VVS Kongres i København, VVS Vision 82, 2/6-4/6 1982, Særtryk, LfV, Rapport nr. 82-26, juni 1982.
- 3 Byberg, M.R.: Do Conservation Houses Require Sophisticated Technical Installations?, LfV, Meddelelse nr. 127, november 1982.
- 4 Byberg, M.R.: Forbedret bearbejdning af måledata fra nyt lavenergihus, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 125-133, maj 1984.
- 5 Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Lavenergihuse i Hjortekær, Kort beskrivelse af husene, LfV, Meddelelse nr. 83, maj 1979.

Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Low-Energy Houses at Hjortekær - Description of the Houses, LfV, Meddelelse nr. 83, maj 1979.

Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Niedrigenergiehäuser in Hjortekær, Dänemark - Kurze Beschreibung der Häuser, LfV, Meddelelse nr. 83, maj 1979.
- 6 Byberg, M.R. & Saxhof, B.: 6 Lavenergihuse i Hjortekær, Konstruktioner - arbejdsudførelse og erfaringer, LfV, Meddelelse nr. 120, november 1982.
- 7 Djurtoft, R.G.: Monitoring Energy Conservation Houses, ENERGEX 82, LfV, Rapport nr. 82-28, juni 1982.
- 8 Djurtoft, R.G.: Beregning og måling af mekanisk luftskifte i lavenergieksperimenthuset, LfV, Rapport nr. 82-65, december 1982.
- 9 Djurtoft, R.G.: Nordiske retningslinier for evaluering af byggeeksperimenter - Er noget sådant muligt?, Utvärdering av Experimentbyggnadsprojekt inom Energiområdet, Nordiskt Expertseminarium 6/9-7/9 1983 i Esbo, Finland, Særtryk, LfV, oktober 1983.
- 10 Djurtoft, R.G.: Tidskonstanter for huse, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 40-56, maj 1984.
- 11 Djurtoft, R.G.: Tidskonstantens betydning for husets energiforbrug, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 73-82, maj 1984.
- 12 Djurtoft, R.G.: Must Energy Conservation Houses be Designed for Maximum Utilization of Solar Heat Gain?, CLIMA 2000 Copenhagen 1985, Volume 5, pp. 167-173.

- 13 Engelund Poulsen, K.: Isolerende vinduesskodder, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 83-90, maj 1984.
- 14 Engelund Thomsen, K. & Schultz, J.M.: Målinger og beregninger af solindfald gennem glaspartier under hensyntagen til skyggende genstande for lavenergihus G i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 87-24, december 1987.
- 15 Engelund Thomsen, K. & Schultz, J.M.: Optimal vinduesudformning - En varmeteknisk undersøgelse, LfV, Meddelelse nr. 201, december 1990.
- 16 Gullev, J.: Lavenergi huse i Hjortekær, Byggeindustrien nr. 1, 1979, pp. 9-15.
- 17 Huusom, J. & Lund Madsen, T.: The Thermal Indoor Climate in six Low Energy Houses, 7th International Congress of Heating and Air Conditioning, "CLIMA-2000", Budapest 1980, Off-print, LfV, 1980.
- 18 Korsgaard, V., Byberg, M.R. & Hendriksen, P.: Experiences and Results from 2 Years Monitoring of the Energy Balance for Six Solar Assisted Low Energy Houses in Denmark, Solar 83 Conference, Palma de Mallorca 2/10-6/10 1983, Off-print, LfV, oktober 1983.
- 19 Kristensen, P.E.: Performance of Hjortekær House D and F - Internal report within the Performance Monitoring Group, LfV, Rapport nr. 83-48, december 1983.
- 20 Rasmussen, N.H.: En analyse af energibesparelser i etageejendom fra 1940 - foranstaltningernes energi- og pengeøkonomiske konsekvenser, LfV, Meddelelse nr. 111, juli 1981.
- 21 Rasmussen, N.H.: Trykprøvning af seks lavenergi huse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-69, december 1982.
- 22 Rasmussen, N.H.: Simultaneous Testing of Small Heat Pumps Under Actual Climate Conditions, CLIMA 2000 Copenhagen 1985, Volume 6, pp. 147-153.
- 23 Rasmussen, N.H. & Saxhof, B.: Experimental Low-Energy House at the Technical University of Denmark, description of a system for simultaneous testing of heating systems for conservation houses under actual climate conditions, LfV, Meddelelse nr. 128, november 1982.
- 24 Rasmussen, N.H. & Saxhof, B.: 6 Lavenergi huse i Hjortekær, Effektiviteter og tomgangstab for varme- og brugsvandsanlæg, LfV, Meddelelse nr. 152, juni 1984.
- 25 Saxhof, B.: Transmissionskoefficienter og dimensionerende varmetab for seks lavenergi huse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-11, juni 1982.
- 26 Saxhof, B.: Varmetabsramme og isoleringsgrad for seks lavenergi huse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-12, juni 1982.
- 27 Saxhof, B.: Skøn over følsomhed af målte og beregnede transmissionstab for seks lavenergi huse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-56, oktober 1982.

- 28 Saxhof, B.: External Insulating Shutters in Energy Conservation Houses, LfV, Meddelelse nr. 129, november 1982.
- 29 Saxhof, B.: Målesystemer for seks lavenergihuse i Hjortekær: Vejrstation, LfV, Rapport nr. 83-5, april 1983.
- 30 Saxhof, B.: Målesystemer for seks lavenergihuse i Hjortekær: Måling af rum- og jordtemperaturer, LfV, Rapport nr. 83-15, september 1983.
- 31 Saxhof, B.: Målesystemer for seks lavenergihuse i Hjortekær: Målinger i varme- og ventilationsanlæg m.v., LfV, Rapport nr. 83-16, september 1983.
- 32 Saxhof, B.: Skitse til målesystem til lavenergihus G i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 83-27, oktober 1983.
- 33 Saxhof, B.: Opstilling af nettoenergiregnskab efter BES-metoden for Lavenergihus G i Hjortekær (skitseprojekt), LfV, Rapport nr. 83-47, december 1983.
- 34 Saxhof, B.: Utsigtede varmetab fra installationer i lavenergihuse, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 91-102, maj 1984 (optrykt i VVS nr. 9, september 1985, pp. 17-21).
- 35 Saxhof, B.: Installationers betydning for klimaskærmens lufttæthed, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 103-115, maj 1984.
- 36 Saxhof, B.: The Seventh Low-Energy House at Hjortekær, Denmark, CLIMA 2000 Copenhagen 1985, Volume 5, pp. 255-262.
- 37 Saxhof, B.: Efficient Heating and Domestic Hot Water Systems: A Must for Low-Energy Houses, CLIMA 2000 Copenhagen 1985, Volume 5, pp. 319-324.
- 38 Saxhof, B.: A Second Generation Low-Energy House at Hjortekær, Denmark, Building Physics in the Nordic Countries, Symposium i Lund august 1987, Off-print, LfV, Rapport nr. 87-8, 1987.
- 39 Saxhof, B.: Low-Energy Houses, 1st International Symposium on Energy Savings - Focussing on electricity savings, Copenhagen 1/9-4/9 1987, Off-print, LfV, Rapport nr. 87-21, september 1987.
- 40 Saxhof, B.: Summary on new materials, components and system concepts - Denmark, Monograph Part 2, IEA Workshop on Advanced Solar Building Design and Analysis, Watsonville, California, February 3-6 1988, LfV, januar 1988.
- 41 Saxhof, B.: The Thermal Envelope - An Integrated Part of the Heating System? Science and Technology at the Service of Architecture. 2nd European Conference on Architecture (SECA). Paris 4-8 dec. Off-print. 1989.

- 42 Saxhof, B.: Designing Detailed Monitoring Programmes (Questions and some Answers), Off-print af paper til IEA Workshop: Field Monitoring - For a Purpose, Göteborg 2-5 april 1990, LfV, marts 1990.
- 43 Saxhof, B., Djurtoft, R.G., Byberg, M.R. & Aasbjerg Nielsen, A.: Six Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark, Description of the Houses and Presentation of Energy Measurements during the first Winter, 7th International Congress of Heating and Air Conditioning, "CLIMA-2000", Budapest 1980, Off-print, LfV, 1980.
- 44 Saxhof, B. & Engelund Poulsen, K.: Foundations for Energy Conservation Houses, LfV, Meddelelse nr. 130, november 1982.
- 45 Saxhof, B. & Engelund Poulsen, K.: Projektering af lavenergihus G i Hjortekær: Analyse af en række fundamentskonstruktioner, LfV, Rapport nr. 83-45, december 1983.
- 46 Saxhof, B. & Engelund Poulsen, K.: Projektering af lavenergihus G i Hjortekær: Analyse af varmebehov, LfV, Rapport nr. 83-46, december 1983.
- 47 Saxhof, B., Engelund Thomsen, K. & Wittchen, K.B.: Parametric Studies and Monitoring Results from a Danish 2nd Generation Low-Energy House Project, Off-print af paper til CIB W67 Workshop: Low-Energy-Buildings 2nd generation, Heidenheim 31 May-1 June, 1990, LfV, maj 1990.
- 48 Saxhof, B., Schultz, J.M. & Wittchen, K.B.: From the Zero Energy House to the 1st and 2nd Generation Houses at Hjortekær, Denmark, LfV, Meddelelse nr. 200, december 1988.
- 49 Saxhof, B. & Wittchen, K.B.: Om Energiministeriets lavenergihusprojekter, specielt Hus G i Hjortekær, et 2.-generations lavenergihus, Supplerende materiale til Energiministeriets plakat-vandrestilling, LfV, 1986.
- 50 Saxhof, B. & Wittchen, K.B.: Project Monitor: Low Energy House G, Hjortekær, Denmark, Commission of the European Communities, Nr. 41, februar 1989.
- 51 Saxhof, B. & Wittchen, K.B.: A Second Generation Low-Energy House at Hjortekær, Denmark, i Example houses from the Participating Countries, IEA SH&CS Task XIII Working Document, (Proceedings from the 1st Workshop, Hinterzarten, Vesttyskland, 30 januar-1 februar 1989), EMPA, Dübendorf, Schweiz, Off-print, LfV, november 1989.
- 52 Saxhof, B. & Aasbjerg Nielsen, A.: Insulation and Air Tightness of six Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark, LfV, Meddelelse nr. 121, november 1982.

Kongresbidraget, som dannede grundlaget for Meddelelse nr. 121, er udgivet på engelsk og fransk i Building Research & Practice, May/June 1983, pp. 142-153.
- 53 Schultz, J.M.: Analysis of Insulating Window Shutters, Building Physics in the Nordic Countries, Symposium i Lund august 1987, Off-print, LfV, Rapport nr. 87-9, 1987.
- 54 Schultz, J.M.: Generelt edb-program til beregning af skyggearealer på plane flader, LfV, Rapport nr. 87-26, december 1987.

- 55 Schultz, J.M. & Englund Thomsen, K.: Thermal Analysis of Window Design, Off-print af paper til symposiet: Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim 20-22 august 1990, LfV, juni 1990.
- 56 Wittchen, K.B.: Air-Supply in Airtight, Highly Insulated Buildings, Building Physics in the Nordic Countries, Symposium i Lund august 1987, Off-print, LfV, Rapport nr. 87-10, 1987.
- 57 Wittchen, K.B.: Friskluftforsyning til tætte, velisolerede huse, LfV, Meddelelse nr. 192, december 1988.
- 58 Wittchen, K.B. & Saxhof, B.: Dimensioning Heating Systems for Low-Energy Buildings, Considering the Influence of Fluctuating Temperatures, Off-print af paper til symposiet: Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim 20-22 august 1990, LfV, juni 1990.
- 59 Zachariassen, H.: H&S lavenergihus i Hjortekær, Arkitekten nr. 17, 1982, pp. B5-B8.
- 60 Aasbjerg Nielsen, A.: Energy Consumption in Buildings, Regression Models, Six Low-Energy Houses at Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-68, december 1982.
- 61 Aasbjerg Nielsen, A.: To økonomiprogrammer til TI-59, LfV, Rapport nr. 83-9, maj 1983.
- 62 Aasbjerg Nielsen, A.: En dynamisk test-metode til bestemmelse af småhuses termiske respons, LfV, artikel i Meddelelse nr. 150 (Aktuel energiforskning - Laboratoriet for Varmeisolering 1959-1984), pp. 57-72, maj 1984.
- 63 Aasbjerg Nielsen, A.: A Dynamic Test Method for the Energy Consumption of Small Houses, CLIMA 2000 Copenhagen 1985, Volume 2, pp. 533-541.
- 64 Aasbjerg Nielsen, A.: Dynamisk trykprøvning - En infrasonisk metode til måling af småhuses tæthed, LfV, Rapport nr. 87-1, 1987.
- 65 Aasbjerg Nielsen, A., Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Lavenergihuse i Hjortekær - Statusrapport 1, LfV, Meddelelse nr. 84, juni 1979.
- 66 Aasbjerg Nielsen, A. & Kjær Nielsen, B.: A Dynamic Test Method for the Thermal Performance of Small Houses, ACEEE Summer Study, Santa Cruz 1984, LfV, Rapport nr. 84-19, juli 1984.
- 67 2.-generations lavenergihus i Hjortekær, folder, LfV, 1984.

Findes også på engelsk: A Second-Generation Low-Energy House at Hjortekær.

Laboratoriets meddelelsesserie forhandles gennem Byggecentrums Boghandel.

Yderligere oplysninger kan fås ved henvendelse til:

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Højskole
Bygning 118, DK-2800 Lyngby
Telefon (+45) 45 93 44 77
Fax (+45) 45 93 17 55