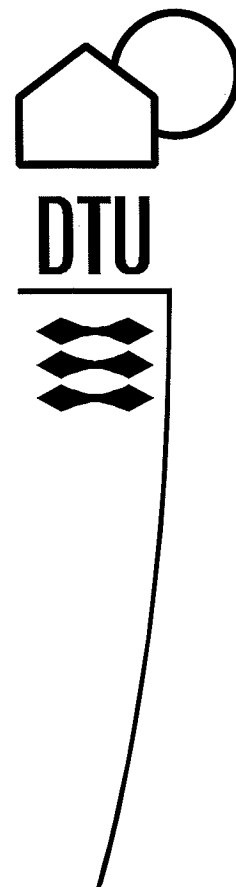


Efterisoleringskatalog

Oversigt og sammenligning af efterisoleringssystemer med mulige produktudviklinger.

Claus Rudbeck, Jørgen Rose, Svend Svendsen



INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

RAPPORT

R-21

1998

ISSN 1396-4011

ISBN 87-7877-021-1

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med et større forskningsprojekt vedrørende klimaskærmskonstruktioner ved Institut for Bygninger og Energi på Danmarks Tekniske Universitet.

Projektet har modtaget støtte fra Projekt Renovering, Boligministeriet, Energistyrelsens Energiforskningsprogram og de deltagende brancheorganisationer. Disse inkluderer VIF (Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmateriale), MURO (Murfagets Oplysningsråd), Dansk Betonelementforening, TOR (Tagpapbranchens Oplysningsråd), TOP (Træbranchens Oplysningsråd), Gipspladeproducenter i Danmark og BYG (Byggeriets Arbejdsgivere).

Danmark er i løbet af 25 år blevet internationalt anerkendt for sin indsats på energispareområdet.

Forord

Denne indsats har haft betydelige nationaløkonomiske effekter, men indsatsen har også haft sine omkostninger. På grund af utilstrækkelig viden om efterisolering, blev der som bekendt begået mange kostbare byggetekniske fejl ikke mindst i det første årti efter oliekrisen i begyndelsen af 70'erne.

I de kommende årtier skærpes kravene til isolering og efterisolering yderligere. Derfor er forskning i efterisoleringssystemer fortsat meget vigtig.

Dette projekt, som blandt andet er støttet af By- og Boligministeriets Projekt Renovering, belyser en række eksisterende efterisoleringssystemer.

Vi håber, den kan yde et væsentligt bidrag til udviklingen af fremtidens efterisoleringssystemer.



August 1999.
By- og Boligministeriet.

Indholdsfortegnelse

Resume	3
1. Indledning	7
2. Nuværende stade for udvendig efterisolering	8
2.1 Komponenter i udvendig efterisolering	9
2.1.1 Efterisolering med ventileret luftspalte	9
2.1.2 Efterisoleringssystemer uden ventileret luftspalte	11
2.1.3 Efterisoleringssystemer med skalmur	11
2.2 Behandlede efterisoleringssystemer	12
2.3 Fugtforhold i efterisoleringssystemer med ventileret luftspalte	19
2.3.1 Regnindtrængning gennem spalter	19
2.3.2 Fugtforhold i ventileret spalte	19
2.3.3 Fugttransport gennem konstruktionen	20
2.4 Varmeteknisk evaluering af efterisoleringssystemerne	21
2.4.1 Beregning af kuldebrofaktor	22
2.4.2 Sammenligning af systemer	22
2.4.3 Eksempel på energibesparelser	24
2.5 Eksempel på brug af linjetabsmetode	25
3. Produktudvikling	29
3.1 Afhjælpning af problemer med kuldebroer	29
3.1.1 Slidsede stålprofiler	29
3.1.2 Rustfaste stålprofiler	30
3.1.3 Minimering af kontaktisolans	30
3.1.4 Stålprofiler med bukkede flanger	30
3.2 Inddækningsløsninger omkring vinduer og bygningshjørner	30
3.3 Fleksible pladeløsninger til efterisoleringssystemer	34
3.3.1 Regntæthed	35
3.3.2 Varme- og fugtteknik	35
3.3.4 Fleksibilitet	36
3.3.5 Økonomi	36
4. Produktudvikling i samarbejde med producenter	38
4.1 Udviklingssamarbejde med Dansk Eternit A/S	38
4.1.1 Totaløkonomiske beregninger	40

5. Godkendelsesordninger for efterisoleringssystemer	43
5.1 Svensk godkendelsesordning	43
5.2 EU-Godkendelsesordning	44
6. Referencer	46

Efterisoleringssystemoversigt

Efterisoleringssystem A:	Rockwool Facadesystem
Efterisoleringssystem B:	Steni facadeplader
Efterisoleringssystem C:	Dansk Eternit opbygget med stålskelet
Efterisoleringssystem D:	Dansk Eternit opbygget med træskelet
Efterisoleringssystem E:	Partek Dainovo. Paroc byggeelement
Efterisoleringssystem F:	Danogips
Efterisoleringssystem G:	Ivarsson opbygget med stålskelet
Efterisoleringssystem H:	Ivarsson opbygget med træskelet
Efterisoleringssystem I:	AE stålmontage
Efterisoleringssystem J:	Glasuld
Efterisoleringssystem K:	InterProfiles
Efterisoleringssystem L:	Skalmur

Resume

Nærværende rapport er tænkt til at beskrive det nuværende stade for udvendige efterisoleringssystemer i Danmark, og være et værktøj der kan benyttes under projekteringen. Af hensyn til anvendeligheden af rapporten er det nødvendigt at hovedresultaterne er præsenteret meget kort, hvilket er formålet med dette resume. Den videnskabelig dokumentation er derfor ikke at finde i dette afsnit, hvor der i stedet henvises til hovedrapporten.

Ved en sammenligning af fordele og ulemper mellem indvendig og udvendig efterisolering, vil den udvendige efterisolering ofte være at foretrække med mindre specielle arkitektoniske forhold gør sig gældende.

Udvendig efterisolering kan opdeles i tre undergrupper: Lette systemer med en ventileret luftspalte, lette systemer uden en ventileret luftspalte og tunge systemer. I rapporten er behandlet 12 efterisoleringssystemer: 10 med ventileret luftspalte, 1 uden ventileret luftspalte og 1 tungt system. For hvert af systemerne er egenskaberne opstillet skematisk og på en ensartet måde. De 12 efterisoleringssystemer er udvalgt, idet de udgør hovedparten af markedsførte efterisoleringssystemer.

For alle 12 systemer er følgende egenskaber og beskrivelser medtaget:

Producentnavn

Navn på efterisoleringssystem

Benyttede komponenter i efterisoleringssystemet

Typisk opbygning

Snittegninger

Udseende

Anvendelsesmuligheder

Inddækningsløsninger

Isoleringsegenskab

Regntæthed og fugtegenskaber

Vind og ventilation

Brandsikkerhed

Holdbarhed

Økonomi

Snittegner og inddækninger er skitser af hvordan disse kunne foretages, men hvis der er særlige forhold der gør sig gældende mht. bygningsgeometri, må disse forhold løses fra sag til sag. Udseendet af et efterisoleringssystem er svært at beskrive objektivt, da det er en subjektiv parameter relateret til hvad den projekterende eller bygningens ejer mener. På den baggrund er

det valgt at indsætte et billede af en typisk renoveringssag udarbejdet med det aktuelle efterisoleringssystem.

For henholdsvis varme- og fugttransport er det beskrevet hvordan disse foregår i efterisoleringssystemerne. De varmetekniske forhold for efterisoleringssystemer er beskrevet i kapitel 2.4. Efterisoleringssystemernes varmetekniske egenskaber er både bedømt med og uden kuldebroer. Kuldebroerne i systemerne er typisk stålprofiler eller trælægter, der gennembryder isoleringen og dermed forringer den totale isolans af systemerne. Systemer med mange stålprofiler eller hvor profilerne er massive vil, på grund af dette, have en forholdsvis lav isolans. Betydningen af kuldebroerne kan findes enten ved målinger på udsnit af efterisoleringssystemer eller ved beregninger. Da profilerne i efterisoleringssystemerne giver anledning til flerdimensionale varmestrømme er isolansen af systemerne vanskelig at beregne med håndregningsregler, hvorfor der er opbygget computerbaserede beregningsmodeller. På baggrund af bestemmelsen af isolansen for efterisoleringssystemerne er effekten af en efterisolering af en etageejendom belyst. For hvert efterisoleringssystem er energiforbruget for en lejlighed i etageejendommen beregnet, hvilket er sammenlignet med energiforbruget for lejligheden uden efterisolering.

Principperne bag fugttransport i efterisoleringssystemer med ventileret luftspalte er belyst i kapitel 2.3. Fugttransporten i efterisoleringssystemer kan vise sig at være kritisk, idet fugten kan give anledning til korrosion i de bærende dele af et efterisoleringssystem. Da et program, der kan arbejde med flerdimensionale fugtstrømme, ikke er tilgængeligt, er det dog vanskeligt at kunne give en kvalitativ beskrivelse af fugtforholdene i et efterisoleringssystem. I stedet gives en kort summarisk beskrivelse af kilderne til fugt i et efterisoleringssystem samt en beskrivelse af risikoen for korrosion.

Holdbarheden af efterisoleringssystemer er forsøgt bedømt ud fra oplysninger fra producenterne samt tilgængeligt litteratur. Holdbarheden kan ikke gives som en eksakt forventet levetid, men gives i stedet som et interval med anførelse af minimums- og maksimumslevetid.

Den sidste parameter, der dog er en af de vigtige, er økonomien i et efterisoleringssystem. De økonomiske oplysninger er behæftet med en vis usikkerhed, da den afhænger meget af den bygning, der skal efterisoleres. De økonomiske tal skal derfor ikke benyttes som præcise værdier men være en rettesnor. Tallene angiver kvadratmeter-omkostningerne for at efterisolere, hvor der skal opsættes 100 m².

På den følgende side er, i skemaform, vist nøgleegenskaber for efterisoleringssystemerne med tilhørende forklaringer. Oplysningerne er udvalgte dele af beskrivelserne af efterisoleringssystemerne, som kan findes bagest i rapporten.

Navn	Type	Anvendelse	Profil	Profilafstand [m]	R_{center} [m ² K/W]	R_{linje} [mK/W]	R_{system} [m ² K/W]	Varmeforbrug [kWh/år]	Holdbarhed [år]	Økonomi [kr/m ²]
Rockwool	U	NE/BE	P	-	2,62	83,19	2,49	4565	50-100	820
Steni	V	NE/BE	L	0,6	2,76	35,08	2,44	4586	30-50	920
Dansk Eternit (stål)	V	NE/BE	V	0,6	2,76	12,33	2,01	4687	30-50	856
Dansk Eternit (træ)	V	NE/BE	L	0,6	2,76	48,30	2,52	4570	30-50	963
Partek Dainovo	V	NE/BE	-	-	2,56	-117,90	2,58	4558	25-50	700
Danogips	V	NE/BE	V	0,6	2,76	11,06	2,50	4573	-	880
Ivarsson (stål)	V	NE/BE	L	0,6	2,76	24,25	2,32	4611	30	860
Ivarsson (træ)	V	NE/BE	L	0,6	2,76	48,30	2,52	4570	30	940
AE stålmontage	V	NE/BE	L	0,6	-	-	-	-	-	450
Glasuld	V	NE/BE	L/V	0,6	2,76	11,06	2,50	4573	-	856
InterProfiles	V	NE/BE	L	0,6	2,66	7,95	2,08	4668	-	693
Skalmur	T	NE/BE	P	-	2,86	36,10	2,65	4629	100-200	967

Type U=uden ventileret luftspalte, V=med ventileret luftspalte, T=tung konstruktion

Anvendelse NE/BE=Kan benyttes til ny og eksisterende byggeri og til bolig og erhverv

Profil P=punkt, L=lodrette profiler, V=vandrette profiler

Profilafstand Afstand (meter) mellem bærende profiler

R-værdier R_{center} =Centerisolans, R_{linje} =Linjeisolans, R_{system} =Systemisolans. Alle værdier gælder for en isoleringstykkel på 100 mm

Varmeforbrug Varmeforbrug i typisk bygning efter efterisolering med 100 mm isolering. Oprindeligt energiforbrug 7071 kWh

Holdbarhed Anslået holdbarhed i år

Økonomi Anslået kvadratmeterpris for efterisolering ved 100 m²

Som det ses af resultaterne på forrige side er der forskel på varmebehovet om der benyttes det ene efterisoleringssystem eller det andet. Forskellen er dog ikke så stor. Alligevel er det en parameter der bør lægges vægt på både i for de nuværende og de fremtidige systemer. Efterisoleres en konstruktion med 100 mm isolering overholder den typisk ikke bygningsreglementets krav til varmetab. Kan antallet og omfanget af kuldebroer i et efterisoleringssystem mindskes, er det ikke utænkeligt at dette system vil gøre at den efterisolerede konstruktion vil overholde bygningsreglementets krav til varmetab.

For at fremme en fremtidig produktudvikling af efterisoleringssystemer, er følgende 3 forhold behandlet i rapporten: Varmeteknik, inddækningsløsninger og fleksible pladeløsninger.

De varmetekniske forbedringer er skitseret i kapitel 3.1. Varmeteknisk kan hovedparten af de systemer, der er baseret på stålprofiler, forbedres ved at benytte slidsede profiler i stedet for massive profiler. Benyttes tillige profiler af rustfast stål i stedet for almindeligt blødt stål kan varmetabet yderligere reduceres. Hvor profilerne fastgøres til den eksisterende konstruktion er der et stort varmetab, hvilket kan mindskes ved at mindske kontaktarealet. Dette kan både gøres ved at profilerne kun berører den eksisterende konstruktion i enkelte punkter samt ved benyttelse af profiler med bukkede flanger. Størrelsen af besparelse ved udnyttelse af de foreslåede udviklingsforslag er ikke estimeret, da den vil afhænge af den øvrige systemudformning.

Inddækningsløsninger ved efterisoleringssystemer kan være kilde til et stort tidsforbrug ved projektering. I kapitel 3.2 på side 30 er skitseret nogle typiske inddækninger, specielt ved vinduer og hushjørner.

Den sidste produktudviklingsmulighed, som er skitseret i kapitel 3.3 på side 34, er et fleksibelt efterisoleringssystem til pladeløsninger. Ved traditionelle efterisoleringssystemer baseret på plader er det til tider nødvendigt at tildanne plader på byggepladsen for at kunne løse problemer omkring inddækninger og hjørner. Med det fleksible efterisoleringssystem vil tildannelse af plader kunne minimeres samtidig med at muligheden for at benytte mange forskellige pladetyper bevares.

1. Indledning

I de senere år er der lagt større og større vægt på renovering af den danske bygningmasse. Renoveringen af bygningerne sker fordi en eller flere af følgende forhold gør sig gældende: Dårligt indeklima, højt energiforbrug til opvarmning, utilstrækkelig holdbarhed eller arkitektonisk utilfredsstillende.

For at løse ovennævnte problemer indgår efterisolering ofte som en del af renoveringen. Efterisoleringen kan enten foretages som en indvendig eller udvendig efterisolering. Indvendig efterisolering har dog mange ulemper af både varme- og fugtteknisk art, hvorfor der i denne rapport kun vil blive behandlet systemer til udvendig efterisolering. Den udvendige efterisolering løser de nævnte problemer og bliver derfor også anvendt i et stort omfang. Det nuværende årlige omfang af udvendig efterisolering i Danmark andrager ca. 750.000 m².

Da mulighederne for at foretage udvendig efterisolering af facader er mange, er der behov for at udarbejde en oversigt over de forskellige systemer for derigennem at kunne sammenligne dem og foretage en videreudvikling af dem. Sammenligningen tjener til at skabe et objektive beslutningsgrundlag ved en projektering. Videreudviklingen vil forhåbentlig gøre at eventuelle varme- og fugttekniske problemer vil blive klarlagt og løst samt forbedre de enkelte systemers økonomi. Forbedringen af økonomien kan enten foregå ved at sænke investeringsomkostningerne, sørge for at systemerne har lavere vedligeholdelsesomkostninger eller at varmetabet gennem konstruktionerne mindskes. Med hensyn til isoleringens virkning er det vigtigt at der tages hensyn til effekten af kuldebroer.

Denne rapport er tænkt som en beskrivelse af det nuværende stade for udvendige efterisoleringssystemer i Danmark og skal ligge til grund for en videreudvikling af disse eller andre efterisoleringssystemer. Videreudviklingen kan enten foregå hos den enkelte producent eller i samarbejde med andre producenter, firmaer fra andre brancher og forskningsinstitutioner.

Rapporten behandler ikke metoder til afrensning af facader etc., hvor der i stedet henvises til (Maleteknisk Rådgivning, 1997). Rapporten behandler heller ikke de arkitektoniske forhold nærmere. I stedet henvises til (22 overfrakker, 1997).

2. Nuværende stade for udvendig efterisolering

Efterisolering kan foretages indvendigt eller udvendigt. Ved indvendig efterisolering opsættes isolering på den indvendige side af konstruktionen og afdækkes med en gipsplade eller lignende. Ved udvendig efterisolering opsættes isoleringen på den eksisterende konstruktions udvendige side og afdækkes med en regnskærm i form af pladebeklædning, et pudslag eller en skalmur. Fordele og ulemper ved henholdsvis indvendig og udvendig efterisolering kan ses på figur 2.1.

Indvending efterisolering	Udvendig efterisolering
Fordele • Ændrer ikke ved bygningens udseende, hvilket er en fordel ved bygninger med et bevaringsværdigt ydre	Fordele • Fugtsikker* • Mulighed for bedre løsning af kuldebroproblematikken omkring etageadskillelser og skillevægge • Ikke så mange gener for beboere ved opsætning • Ingen flytning af installationer • Ingen ændring af boligarealet • Færdig overflade efter opsætning
Ulemper • Kondens og fugtrisiko* • Dårlig løsning hvor vægge og gulve genbryder isoleringslaget (kuldebroer) • Varmekapacitet af renoveringsløsning mindskes i forhold til tilsvarende udvendig efterisolering • Beboere generes under opsætning og installationer skal flyttes ved ydervægge • Efterfølgende overfladebehandling (maling m.v.) nødvendig • Boligarealet mindskes	Ulemper • Vinduer kan komme til at sidde meget dybt i facaden (mindre solindfald) • Bygningens udseende ændres, hvilket kan være såvel fordel som ulempe • Bebyggelsesgraden ændres • Som regel ændring af taget/tageskægget • Som regel nødvendigt at benytte stillads
* Indvendig efterisolering kræver dampspærre, der er tættere end den oprindelige konstruktion i modsætning til udvendig efterisolering, som blot kræver at dens afdækning udvendig er mere utæt end den oprindelige konstruktion	

Figur 2.1 Fordele og ulemper ved indvendig og udvendig efterisolering

Som det ses af figur 2.1 er der mange ulemper ved den indvendige isolering. Generelt kan det siges at indvendig efterisoleringens største berettigelse er i de tilfælde hvor specielle bevaringsværdige arkitektoniske forhold gør sig gældende for en bygning. Hvis der er ønske om at bevare bygningens arkitektoniske udseende er det derfor meget usikkert om udvendig efterisolering kan komme på tale.

Med udgangspunkt i ovennævnte betragtning er fokus i dette projekt lagt på karakterisering og udvikling af systemer til udvendig efterisolering.

Beskrivelsen af det nuværende stade for efterisoleringssystemer i Danmark tager udgangspunkt i oplysninger, der er leveret af de enkelte producenter af sådanne systemer. Oplysningerne er oftest leveret i form af katalogmateriale fra producenterne og en senere opfølgning.

2.1 Komponenter i udvendig efterisolering

Den udvendige efterisolering tager sit udgangspunkt i et ønske om at nedbringe varmetabet gennem facaden. Dette gøres ved at anbringe isoleringsmateriale udenpå den eksisterende konstruktion. Da isoleringsmateriale ikke i sig selv er vandtæt og vandskyende og desuden heller ikke har en tilstrækkelig vindtæthed bliver isoleringslaget afdækket med såvel en vind- som en regnskærm. Den vindtætte afdækning skal sørge for at der ikke forekommer unødigt varmetransport gennem isoleringslaget grundet konvektion (luftbevægelser), mens regnskærmen skal sørge for at hovedparten af nedbøren ikke trænger videre ind i konstruktionen. I nogle systemer er funktionen af den vindtætte og den vandtætte afdækning samlet i en komponent.

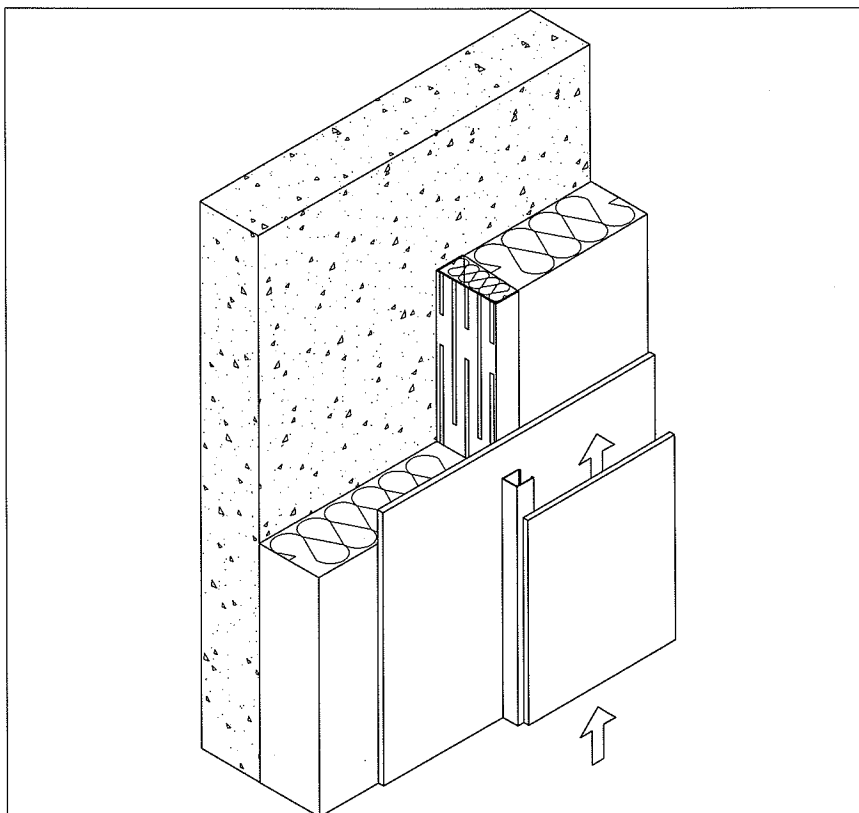
Overordnet kan systemerne til udvendig efterisolering opdeles i tre undergrupper: Lette systemer med ventileret luftspalte, lette systemer uden ventileret luftspalte og tunge systemer, hvor der opbygges en skalmur udenpå isoleringen.

2.1.1 Efterisolering med ventileret luftspalte

I lette efterisoleringssystemer med ventileret luftspalte består regnskærmen af en tynd pladebeklædning. Ganske ofte er regnskærmen ikke aldeles regntæt og det hænder da, at der trænger nogle regndråber igennem samlinger mellem de enkelte plader som regnskærmen består af. For at hindre regndråberne i at bevæge sig videre ind i konstruktionen etableres der en luftspalte, hvorved der opnås samme virkning som ved en to-trinstætning i en vindueskonstruktion. Ved et vindue benyttes en tætning yderst i konstruktionen der stopper vandet, mens en tætning længere inde i konstruktionen stopper vindtrykket. To-trinstætningen er nærmere beskrevet i (IBE, 1997).

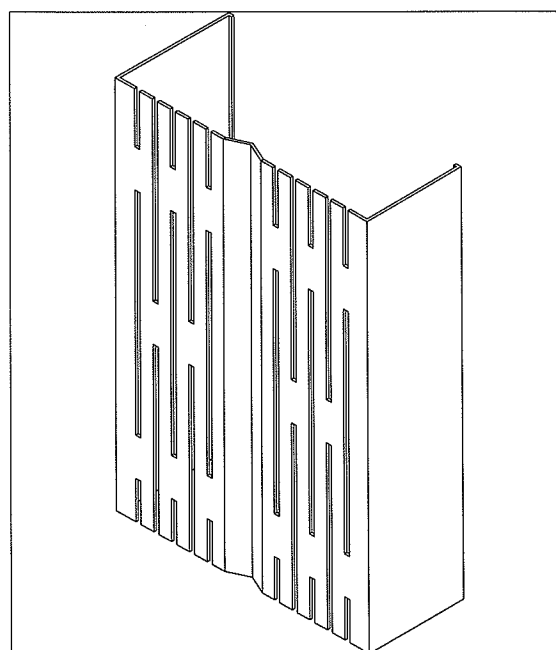
For at holde de udvendige beklædningsplader på plads og for at føre vindkræfter fra disse og til

den bagvedliggende konstruktion benyttes oftest et profilsystem. Profilsystemet består enten af trælægter eller af stålprofiler. I de facaderenoveringssystemer, der er på det danske marked, findes både systemer med massive samt slidsede stålprofiler. Fordelen ved de slidsede stålprofiler er at de har lavere varmeledningsevne end massive profiler. Slidsede stålprofiler har desuden en lidt lavere vægt, men dette er ikke af en betydning så det er udslagsgivende. En skitse af et efterisoleringssystem med ventileret luftspalte kan ses på figur 2.2. En skitse af et slidset stålprofil ses på figur 2.3.



Figur 2.2 Skitse af efterisoleringssystem med ventileret luftspalte

Profilsystemer fastgøres til den eksisterende konstruktion, hvilket typisk foregår ved at profilerne boltes fast til den oprindelige overflade. I tilfælde af at den oprindelige konstruktion ikke er helt plan kan man ved små tilpasninger ved fastgørelsen af profilsystemet gøre den endelige konstruktion plan.



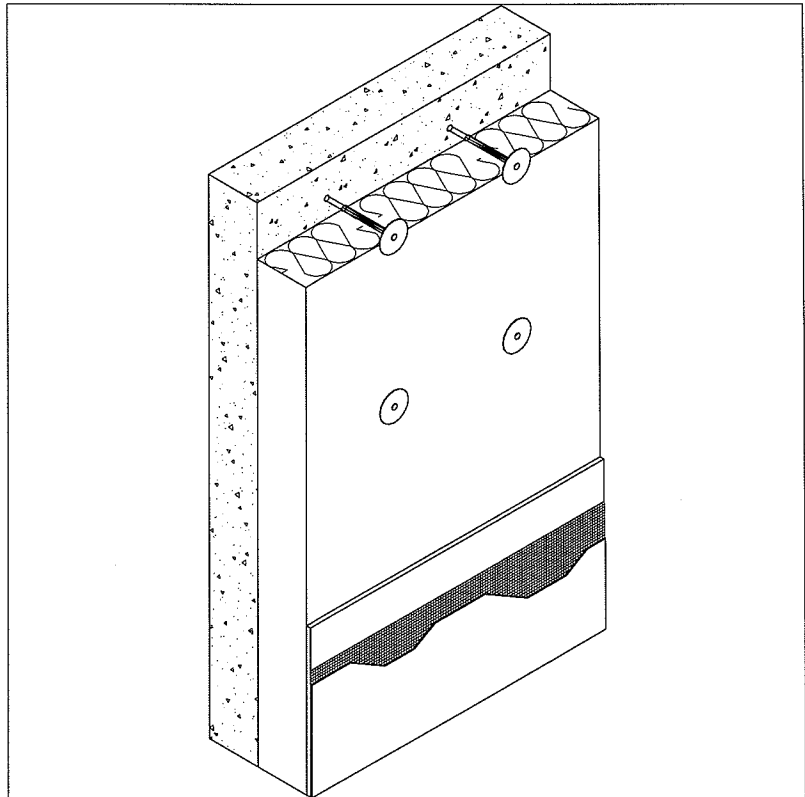
Figur 2.3 Slidset stålprofil

Mellem den oprindelige konstruktion og det vindtætte lag opsættes isoleringslaget. Isoleringslaget skal støde tæt op til den oprindelige konstruktion for at undgå luftstrømninger bag isoleringen, hvilket vil give anledning til yderligere varmetab i forhold til en konstruktion hvor luftstrømninger kan undgås. Der er ikke nogen begrænsninger på valget af isoleringsmateriale; dog skal det kunne klare de termiske og fugtmæssige belastninger der findes

i konstruktionen.

2 . 1 . 2 Efterisoleringssystemer uden ventileret luftspalte

I lette efterisoleringssystemer uden ventileret luftspalte består regn- og vindskærmen af en overfladebelægning. Overfladebelægningen fastgøres direkte til isoleringslaget for eksempel i form af puds der påføres på et metalnet, der er fastgjort til isoleringslaget. Et eksempel på et efterisoleringssystem uden ventileret luftspalte er vist på figur 2.4.



Figur 2.4 Skitse af efterisoleringssystem uden ventileret luftspalte

For at føre vindkræfter og andre belastninger fra systemets udvendige side til

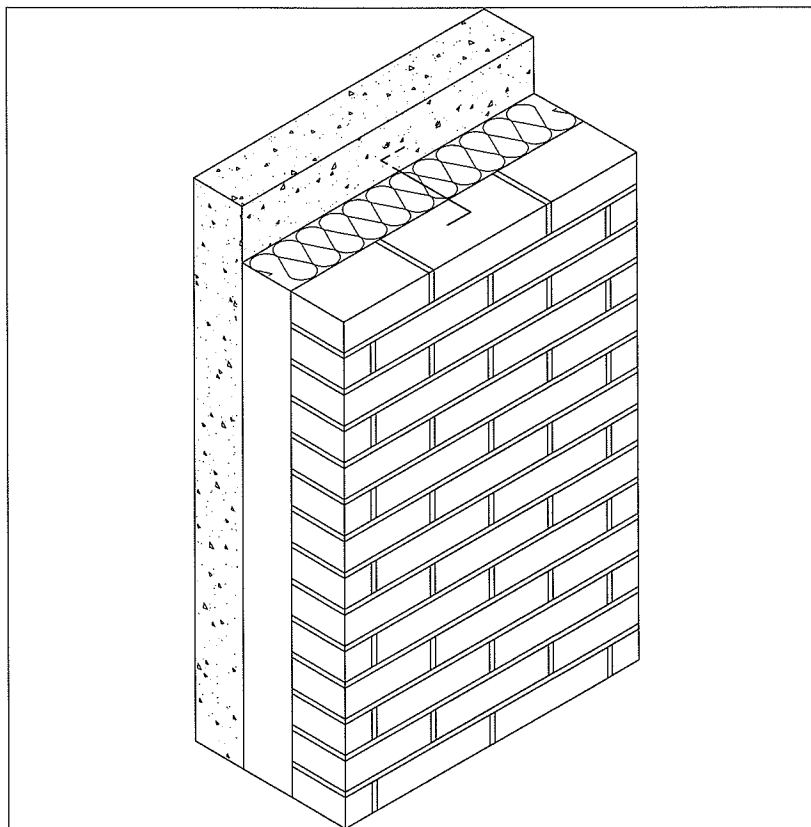
den oprindelige konstruktion benyttes metaldybler der slås igennem isoleringen. Dyblernes opgave er både at virke som belastningsoverførende og at fastholde isoleringen tæt mod den oprindelige konstruktion. At isoleringslaget skal lægges tæt op til den oprindelige konstruktion skyldes at etableringen af luftspalter bag isoleringslaget vil medføre luftbevægelser i disse spalter hvilket vil forværre systemets varmetekniske egenskaber i forhold til konstruktioner uden disse luftbevægelser.

2.1.3 Efterisoleringssystemer med skalmur

En tredje mulighed for at opbygge udvendige efterisoleringssystemer er at opbygge en ny skalmur udenpå den gamle konstruktion og placere isoleringsmateriale mellem den oprindelige konstruktion og den nye skalmur. Skalmuren virker her som såvel vand- som vindtæt lag og sikrer derfor at såvel regn som vind ikke kommer til at påvirke isoleringsmaterialet.

Da murværk er meget kapillarsugende vil næsten al regn der rammer konstruktionen blive opsuget i skalmuren. I perioder med tørvejr vil det fordampe igen, men der kan være lange perioder, hvor vandindholdet i murværket er meget højt. Dette sætter krav til frostbestandigheden af murværket, der benyttes til at etablere skalmuren.

Til at overføre de statiske kræfter mellem skalmuren og den oprindelige konstruktion benyttes murbindere. Murbinderne skrues ind i den oprindelige konstruktion. Afhængigt af hvilket materiale den oprindelige konstruktion er opført af benyttes forskellige typer murbindere. Ved betonvægge benyttes murbindere med ekspansionsbøsning mens der ved teglvægge og letklinkervægge kan benyttes murbindere med selvskærende gevind.



Mellem skalmuren og den oprindelige konstruktion opsættes isoleringslaget. Isoleringslaget fastholdes i lodret retning ved at isoleringen presses mod muren ved hjælp af rosetter på murbinderne. En skitse af en efterisolering med skalmur er vist på figur 2.5.

Figur 2.5 Skitse af efterisoleringssystem med skalmur

2.2 Behandlede efterisoleringssystemer

Som det har været nævnt før i denne rapport, er et af formålene at stimulere den videre udvikling af facaderenoveringssystemer for at fremme deres anvendelse. Før en udvikling kan starte, er det dog nødvendigt med en oversigt, som viser hvilket stade branchen er på for øjeblikket. De forskellige systemer, der findes indenfor branchen, er beskrevet i produktkataloger, der kan rekvireres fra de forskellige producenter. Oplysningerne i disse er dog ikke ensartet eller standardiseret på nogen måde, hvorfor det kan være svært at sammenligne forskellige facaderenoveringssystemer. Bagest i rapporten er det muligt at finde en oversigt, som viser de forskellige facaderenoveringssystemer, der er medtaget i denne undersøgelse. Alle systemerne er beskrevet på en ensartet måde og oplysningerne er indsat som et kort uddrag af de oplysninger, der findes i producentens katalog eller som det er muligt at få oplyst ved samtaler med producenterne. Desuden er der foretaget en karakterisering af nogle af efterisoleringssystemernes egenskaber.

De behandlede efterisoleringssystemer er alle sammen karakteriseret ved et producentnavn, som refererer til hvor oplysningerne er hentet. For næsten alle systemerne én det dog ikke en

producent, der producerer alle delene til den samlede løsning. I stedet er der ofte mange producenter indblandet i produktionsprocessen, idet afstandsprofilet kan komme fra én producent, isolering fra en anden, vindafdækning fra en tredje, afstandslister (til etablering af den ventilerede luftspalte) fra en fjerde, pladebeklædning fra en femte og tætningslister fra en sjette producent.

Samtidig er det også sådan at der ikke eksisterer en godkendelsesordning for efterisoleringssystemer, der kunne diktere nogle krav til de efterisoleringssystemer der benyttes i såvel Danmark som i resten af EU. Pr. december 1998 er der tiltag til godkendelsesordninger i såvel dansk som i EU-regi, men endnu er intet færdigbearbejdet. Godkendelsesordningerne omtales yderligere i kapitel 5: Godkendelsesordninger for efterisolering.

Oplysningerne er medtaget for følgende producenter med følgende produktvarianter:

Rockwool Facadesystem
Steni facadeplader
Dansk Eternit opbygget med stålskelet
Dansk Eternit opbygget med træskelet
Partek Dainovo. Paroc byggelement
Danogips
Ivarsson opbygget med stålskelet
Ivarsson opbygget med træskelet
AE stålmontage
Glasuld
Inter Profiles
Skalmur (intet producentnavn)

Skabelonen for hvordan oplysninger fra de enkelte producenters produkter er rapporteret kan ses på de efterfølgende sider (side 14 til side 19) som figur 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 og 2.10.

Producent	Her anføres producentnavnet. I tilfælde at der er flere producenter om et givet produkt anføres producenten hvorfra oplysningerne er modtaget.
Benævnelse	Hvilken type produkt der er tale om. Der kan være tale om profilsystemer, facadebeklædningsplader eller isoleringsprodukter. Ligeledes anføres hvilken skelettype (træ, stål eller hård isolering) facaderenoveringen er baseret på.
Materialer	De enkelte dele i facaderenoveringssystemet gennemgås. Materialerne opdeles i forankring, profilsystem, isolering, afstandslister og andet. Forankringen er den del af systemet der fastholder facaderenoveringen til den oprindelige facade og gør det muligt at justere profilerne. Profilsystemet giver den nødvendige afstand mellem den oprindelige konstruktion og ydersiden af den renoverede konstruktion. En anden vigtig opgave for profilsystemet er at overføre belastninger fra regnskærmen til den bagvedliggende forankring. Profilsystemet opbygges typisk af træ eller stål, hvor isoleringen indsættes imellem. Vindtæt lag benyttes for at forhindre luftbevægelser i isoleringen, hvilket vil medføre en dårligere isoleringsevne. Isoleringen består af mineraluld (oftest) eller celleplast og er den del af konstruktionen der sørger for nedbringelsen af varmetabet. Afstandslisterne bruges typisk til at etablere et ventileret hulrum bag facadebeklædningen. Hulrummet bruges til at bortventilere fugt der i tilfælde af kraftig regn og blæst trænger ind i konstruktionen som slagregn samt fugt som kommer fra den bagvedliggende bygnings indre. Udvendig beklædning bruges til at afslutte facaderenoveringen med. Denne beklædning kan være metalplader, træ, stenplader, plastplader med stenoverflade, glasbeklædning og puds.
Typisk udformning	Andet refererer som oftest til hvilke underlag producenten foreskriver ved de lodrette eller vandrette samlinger mellem de udvendige plader. Dette afsnit beskriver hvordan den beskrevne facaderenoveringsløsning monteres på den eksisterende bygning. Beskrivelsen er meget kortfattet og for større detaljeringsgrad henvises til producentens katalog eller til producentens tekniske afdeling.
Snittegninger	Her vises et lodret og et vandret snit i facaderenoveringssystemet
Udseende/æstetik	Her vises et billede af et typisk byggeri med det behandlede facaderenoveringssystem samt en oversigt over hvilke farver systemet leveres i.
Anvendelsesmuligheder	Om systemet kan anvendes til bolig eller erhverv.
Typiske inddækninger	Her vises typiske inddækninger ved vinduer, hushjørner og fremspring.

Figur 2.6 Skabelon for rapportering af egenskaber for efterisoleringssystemer (del 1 af 5)

Nøgletal og forhold:	
Varme:	Til betegnelse af efterisoleringssystemets termiske isolans benyttes betegnelsen R-værdi. R-værdier opgives for et repræsentativt segment af efterisoleringssystemet og opgives både som “center” R-værdier R_{center}, R-værdier for linjetab R_{linje} og R-værdier for det aktuelle system R_{system}. R_{center} er den isolans der findes for systemet hvor varmestrømmen ikke er forstyrret af profiler og dermed også den ideelle isolans for efterisoleringssystemet hvis der slet ikke forekom kuldebroer i systemet. R_{linje} henfører til varmestrømmen gennem de partier af efterisoleringssystemet hvor der er et profilsystem eller lignende gennem isoleringen. R_{system} repræsenterer den R-værdi der kan findes for systemet inklusive eventuelle kuldebroer. Det repræsentative segment er modelleret som værende midt på facaden, hvorfor der ikke er påvirkninger fra geometriske kuldebroer omkring hushjørner, vinduesinddækninger og lignende og er angivet som bredde gange højde. Afstandene mellem afstandsprofilerne er fundet ud fra producentens oplysninger. Benyttes den angivne segmentstørrelse kan isolansen af efterisoleringssystemet aflæses af tabellen. Hvis der i stedet benyttes en anden afstand mellem profilerne kan isolansen af efterisoleringssystemet beregnes ud fra følgende formel: $R_{system} = \frac{A}{\frac{1}{R_{center}} \cdot A + \frac{1}{R_{linje}} \cdot L}$ hvor A er arealet af et repræsentativt segment af systemet (angivet i efterisoleringssystemoversigten bagest i rapporten sammen med isolanserne) og L er profillængden i systemet. I et system med lodrette profiler og et modulmål på 600 x 1200 mm (bredde x højde) vil linjelængden være 1200 mm, da dette er længden af profilet i et segment af efterisoleringssystemet. Ved systemer med såvel lodrette og vandrette profiler skal den samlede længde benyttes i beregningen. Eksempel: Haves et system med et areal på 0,36 m², $R_{center}=2,86$ m²K/W, $R_{linje}=25,5$ mK/W og en profillængde på 0,6 meter kan R_{system} udregnes til 2,41 m²K/W. Øges profillængden til 1,2 meter (fordi afstanden mellem profilerne halveres) kan systems isolans udregnes til $R_{system}=2,08$ m²K/W. Opbygningen af systemerne er vist på næste side.

Figur 2.7 Skabelon for rapportering af egenskaber for efterisoleringssystemer (del 2 af 5)

	<i>Profillængde 0,6 m</i> <i>Profillængde 1,2 m</i> Efterisoleringssystemet der er skitseret til venstre på ovenstående figur har en samlet profillængde på 0,6 meter pr. segment (0,6 m x 0,6 m). Da afstanden mellem profilerne er mindsket i systemet, der er skitseret til højre, er profillængden pr. segment større. I dette tilfælde kan profillængden beregnes til 1,2 meter. I beregningerne bliver den bagvedliggende konstruktion modelleret med en fast temperatur. Der tages derfor ikke højde for lokal nedkøling af den oprindelige facade som følgende af kuldebroer i renoveringsløsningen. En anden simplificering er, at forankringsbolte og anden fastgørelse kun modelleres til den eksisterende konstruktions overflade. Der regnes derfor ikke med kuldebroer internt i den bærende væg. Denne forsimpning er dog af mindre betydning. Der opbygges en 3-dimensional beregningsmodel af det aktuelle system, hvor R-værdien beregnes under hensyntagen til kuldebroer. De anførte R-værdier (R_{system}) er kun for facaderenoveringsløsningen, idet isoleringsevnen af den bagvedliggende konstruktion samt overgangsisolanser på inderside eller yderside af konstruktionen ikke medtages. De indvendige og udvendige overgangsisolanser tillægges i stedet den oprindelige konstruktion.
--	--

Figur 2.8 Skabelon for rapportering af egenskaber for efterisoleringssystemer (del 3 af 5)

	Kendes U-værdien for den oprindelige konstruktion (U_o) kan en tilnærmet værdi for U-værdien efter efterisolering U_r beregnes som: $U_r = \frac{1}{\frac{1}{U_o} + R_{\text{system}}}$ Haves eksempelvis en halvandenstems (350 mm) teglvæg ($U_o=1,6$) der ønskes efterisoleret med et renoveringssystem med en $R_{\text{system}}=3,85$ $\text{m}^2\text{K/W}$ fås følgende U-værdi for den efterisolerede konstruktion: $U_r = \frac{1}{\frac{1}{1,6} + 3,85} = 0,223 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ svarende til 14% af det oprindelige varmetab Ved ventileret beklædning benyttes isolans for luft taget fra tabel 6.8 i (DS-418, 1986).
Regn og Fugt:	Samlinger ved de lodrette og vandrette fuger beskrives. Fugtstrømmene er, ligesom varmestrømme, i facaderenoverings-løsningerne flerdimensionelle, men da der endnu ikke haves et færdigudviklet flerdimensionalt fugtberegningsprogram, er det ikke muligt at sætte eksakte tal på fugtindholdet i de forskellige konstruktioner. Udover usikkerheden omkring de flerdimensionale fugtstrømninger haves desuden problemer med at kvantificere vandindtrængning gennem sprækker mellem facadepladerne samt at modellere luftstrømme i spalten. Sprækkernes dimensioner er meget afhængig af arbejdets udførelse, og vandindtrængningen afhænger i stor grad af facadens orientering, højde over jorden og omgivelsernes topografi, hvilket gør det vanskeligt at modellere korrekt. Fugt fra den bagvedliggende bygning vil i hovedparten af tilfældene ikke have nogen større betydning, da denne let kan bortventileres via den ventilerede luftspalte.
Vind og Ventilation:	I det omfang der fra producenten er stillet krav til den vindtætte afdækning anføres det her. Ligeledes anføres det om der er krav til ventilation i en eventuel luftspalte.

Figur 2.9 Skabelon for rapportering af egenskaber for efterisoleringssystemer (del 4 af 5)

Brand:	Brandklassifikation for de i renoveringssystemet indgående materialer beskrives ud fra betegnelser der er anført i DS1065.1 og DS1065.2. Som oftest er kun anført egenskaber for udvendig pladebeklædning. Komponenterne skal have egenskaber der ved brand ikke forøger faren for personskader og materielle skader ved at: Befordre flammespredning Yde større tilskud til branden Udvikle kraftig røg Udvikle giftige luftarter Styrte ned
Holdbarhed:	Særlig udsatte konstruktionsdele eller dele med kortere levetid anføres i dette afsnit. Desuden anføres en forventet levetid som et tidsinterval (minimum-maksimum).
Økonomi:	Der gives et økonomiske overslag over de typiske omkostninger pr m² ved etablering af en facaderenovering af den behandlede type for 100 m² facadeareal (incl. inddækninger). Omkostningerne er opdelt i udgifter til materialer og udgifter til arbejdskraft. Desuden er anført en forventet årlig driftsudgift. Det generelle prisniveau i de økonomiske betragtninger er gældende for Sjælland udenfor hovedstadsområdet. For hovedstadsområdet skal der tillægges ca. 5%, mens det for Jylland skal fratrækkes 10% (Syddjylland) - 15% (Nord- og Vestjylland). I priserne er ikke inkluderet udgifter til etablering af stillads etc. Oplysningerne er enten fra producenter eller prishåndbøger. De anførte omkostninger skal ikke tages som eksakte tal ved enhver renoveringsløsning, idet de er baseret på gennemsnitlige omkostninger ved den type renoveringer og skøn fra producenter.
Andet:	Akustik er ikke behandles videre i efterisoleringsskataloget, da det er svært at opstille krav for en konstruktion på en overskuelig måde. Ligeledes vil den oprindelige konstruktion som regel opfylde de akustiske krav og efterisolering vil ikke påvirke dette i negativ retning. I stedet henvises til Bygningsreglementet 95, hvor der er angivet akustiske krav til konstruktionerne. Her står der <i>Bygningerne skal udføres og indrettes, så brugerne sikres tilfredsstillende lydforhold</i> samt at der ved et udendørs støjniveau på over 55 dB skal isoleres så det indvendige støjniveau i beboelsesrum ikke overstiger 30 dB.

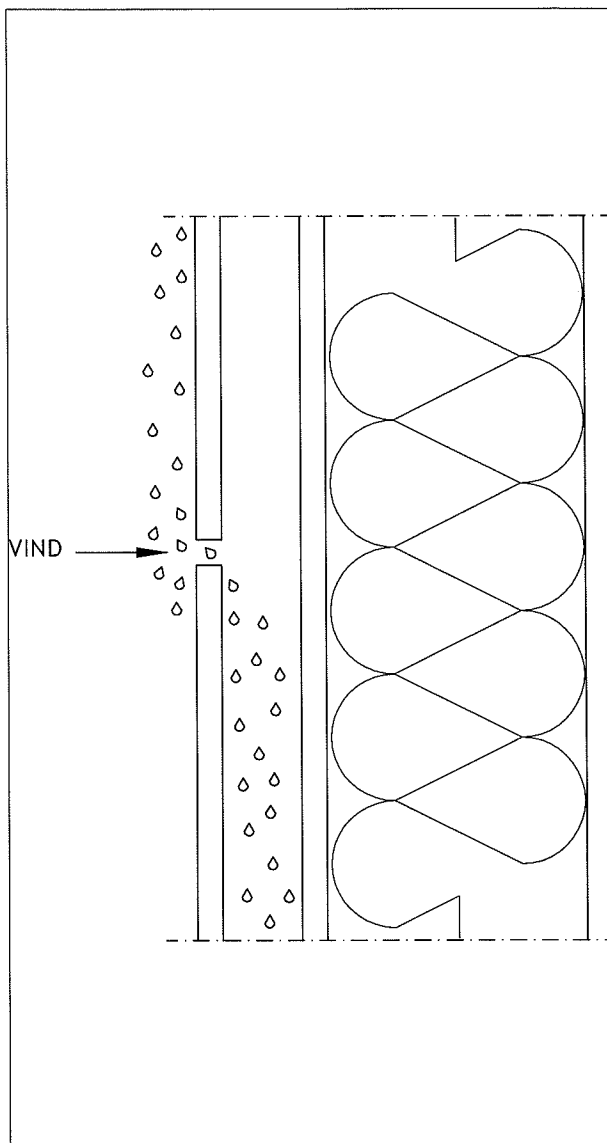
Figur 2.10 Skabelon for rapportering af egenskaber for efterisoleringssystemer (del 5 af 5)

2.3 Fugtforhold i efterisoleringssystemer med ventileret luftspalte

Hovedparten af de benyttede efterisoleringssystemer benytter sig af en ventileret luftspalte til trykudligning samt bortventilering af fugt i konstruktionen. At der kommer fugt ind i konstruktionen, er næsten umuligt at undgå. For efterisoleringssystemerne med ventileret luftspalte er der tre fugtkilder:

2.3.1 Regnindtrængning gennem spalter

Efterisoleringssystemerne opbygges både med og uden overlap af plader, og afhængig af udformning benyttes åbne vandrette eller lodrette fuger. Ved pladeoverlap er de vandrette fuger tættnede med underlagslister, mens de lodrette fuger er åbne. Systemer uden pladeoverlap benytter oftest åbne vandrette fuger mens de lodrette er tættnede. Ved en samtidig påvirkning af regn og vind (slagregn) vil små vanddråber kunne presses ind gennem de åbne fuger, oftest den vandrette fuge, på grund af vindtrykket. Vanddråberne vil enten blive hængende i den vandrette fuge eller søge ind i den ventilerede luftspalte. Her vil de kunne sidde indvendigt på pladebeklædningen (vandet vil løbe ned hvis der kommer tilstrækkelig mange vanddråber) eller på afstandslisterne. Afstandslisternes funktion i systemet er at skabe det ventilerede hulrum. Vandindtrængning er vist på figur 2.11.



Figur 2.11 Regnindtrængning i spalter

2.3.2 Fugtforhold i ventileret spalte

I tilfælde af klart og fugtigt vejr om natten er der risiko for at udeluftens vanddampindhold kan kondensere på indersiden af pladebeklædningen. Om natten forekommer der en ganske betydelig udstråling fra pladebeklædningen mod verdensrummet. Dette kan gøre at pladerne bliver koldere end udeluften og endda

koldere end udeluftens dugpunkt. Sker dette vil noget af udeluftens vanddamp sætte sig som kondens i form af små vanddråber på både ydersiden og indersiden af pladebeklædningen. Når solen varmer pladebeklædningen op i løbet af den følgende dag vil vanddråberne fordampe med mulighed for enten at diffundere ind i isoleringslaget eller at blive bortventileret af luften i den ventilerede spalte. Da ventilationen bliver fremmet af opvarmningen af luften, som solen er skyld i, er det tvivlsomt om noget af fugten kan nå at diffundere ind i isoleringslaget. Dog vil der være en risiko for at regnvand eller kondensvand forbliver i spalter mellem plade og underlag i længere tid.

2.3.3 Fugttransport gennem konstruktionen

Fra det bagvedliggende rum vil der som regel forekomme en vis fugtdiffusion grundet et højere damptryk. Det højere damptryk skyldes, at der produceres fugt i bygninger blandt andet fra menneskers udåndingsluft eller industrielle processer. Fugten fra bygningens rum bliver transporteret til udeluften enten ved ventilation af rummene eller ved fugttransport gennem konstruktionerne (diffusion og konvektion). Størrelsen af diffusionen afhænger af fugt- og temperaturforhold på inder- og yderside samt materialeparametre for konstruktionen. Konvektion forekommer, hvis der sker en transport af luft gennem konstruktionerne og kan være årsag til at meget store fugtmængder kan transporteres.

Byggematerialerne, der er i og omkring den ventilerede luftspalte, vil på grund af de ovennævnte forhold være påvirket af fugt, som kan give anledning til nedbrydningsmekanismer såsom korrosion, biologisk nedbrydning (primært råd og svamp) og dimensionsændringer. Det er ikke sikkert at disse nedbrydningsmekanismer vil optræde i byggematerialerne, men der er en vis risiko for det ved et sammenfald af flere hændelser.

Da luftspalten ventileres med udeluft som i tilfælde af vand i luftspalten yderligere bliver opfugtet er der ganske fugtigt heri. På baggrund af dette galvaniseres blandt andet profilerne. Galvanisering kan foretages enten som elektrogalvanisering (tynde plader/profiler) eller varmgalvanisering (kraftige plader/profiler). Ved elektrogalvanisering er galvaniseringslaget er ganske tyndt og da der senere skal sættes plader op på profilerne hvilket ofte foregår med selvskærende skruer vil noget af galvaniseringen formodentlig blive fjernet. Gennem de næste 50-100 år er profilet udsat for det klima der er herskende i den ventilerede luftspalte. Da profilet er helt ned til 0,7 mm i tykkelse skal korrosion i skruehullerne ikke foregå særlig stærkt før der er risiko for at profilsystemet og pladerne falder ned ved kraftige vindpåvirkninger. Fejlen kan ske næsten uden forudgående varsel, idet det er svært at tilse tilstanden af metalprofilerne når regnskærmen først er sat op.

En samtale med FORCE Instituttet [FORCE, 1998] styrkede ovennævnte overbevisning om risiko

for korrosion i yderdelen af profilerne. At der kun fokuseres på yderdelen af profilerne skyldes at profilstykket der går gennem isoleringen er varmere og dermed nogenlunde sikker mod korrosion med mindre konstruktionen er fejlprojekteret. Fra et holdbarhedsmæssigt synspunkt ville FORCE Instituttet absolut anbefale brugen af profiler fremstillet af alu-zink stål, der i tilgift vil have en lavere varmeledningsevne. De selvskærnde skruer er forståelig nok meget populære i byggeriet, idet de er nemme at bruge. FORCE Instituttet udtrykte dog bekymring om konsekvenserne hvis man for at opnå en nemmere tilpasning ville begynde at gøre hullerne i pladerne endnu større, da det ikke ville være fremmende for holdbarheden.

Klimaet i den ventilerede luftspalte er vanskeligt at karakterisere. Udover at være afhængig af udeklimaet (temperatur, regn og relativ fugtighed) spiller antallet og størrelsen af spalteåbninger mellem pladerne også ind. Oveni dette haves vindpåvirkningerne som trykker regndråberne gennem spalterne og som samtidig er en af de drivende kræfter bag luftstrømningen i den ventilerede luftspalte. Varmestrømmen fra den bagvedliggende bygning og solstråling på pladerne virker også som en drivkraft idet opvarmningen af luften giver ekstra drivtryk i luftspalten på grund af luftens udvidelse.

På Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet findes to beregningsprogrammer der kan analysere større eller mindre dele af problematikken med hensyn til fugttransport i konstruktioner med eller uden ventilerede hulrum. Beregningsprogrammerne er MATCH og VENT.

MATCH er et 1-dimensionalt PC-program, der kan beregne varme- og fugtstrømme gennem konstruktioner. Begrænsningen ved programmet er dog at det ikke er muligt at tage højde for kuldebroer etc. samt at modelleringen af ventilerede luftspalter er ganske omstændig og ikke valideret i tilstrækkelig grad. Dette skyldes at såvel kuldebroer som ventilerede luftspalter ikke er en-dimensionale i deres virkemåde, men to- eller tre-dimensionale.

VENT er oprindelig udviklet til beregning af kondensrisiko for solfangere. I solfangere haves en problemstilling, der er meget analog til hvad der findes i efterisoleringssystemer med ventilerede luftspalter. Der er to begrænsningsflader og et luftrum imellem, der bliver ventileret med udeluft. Ved sammenligning af beregnede data mod målte værdier på en solfanger er der en rimelig overensstemmelse i vinterperioder, mens usikkerheden for sommerperioder er en del større.

Ved hjælp af et eller begge af disse beregningsprogrammer er det muligt at forudse fugtforholdene i den ventilerede luftspalte. Med de tilnærmelser der opstilles ved beregningens start vil der ikke kunne opnås eksakt sammenhæng mellem målte og beregnede værdier, men beregningerne vil dog kunne give en indikation af de forventede fugtforhold.

2.4.1 Beregning af kuldebrofaktor

Der er foretaget en varmeteknisk analyse af alle efterisoleringssystemerne. Analysen er foretaget med et tre-dimensionalt beregningsprogram [HEAT3, 1995], der benyttes til at beregne temperaturer og varmestrømme i konstruktioner. Alle modellerne er opbygget i beregningsprogrammet ud fra dimensioner og materialeparametre anført i det af producenterne udarbejdede katalogmateriale. For hvert efterisoleringssystem opbygges modellen ved at alle konstruktionsdeles udstrækning beskrives som koordinater i et tre-dimensionalt koordinatsystem. På den ene side af efterisoleringssystemet påtrykkes en lufttemperatur på 0°C, mens der på den anden side af efterisoleringssystemet placeres en grænseflade med en fast temperatur på 1°C. Beregningsprogrammet angiver herefter den stationære varmestrøm (q_{system}) gennem konstruktionen. U-værdien for efterisoleringssystemet kan da beregnes som

$$U_{\text{system}} = q_{\text{system}} / \text{Areal}_{\text{system}}$$

Som før anført er det en forsimpning i beregningerne, at varmestrømmen beregnes fra ydersiden af den eksisterende konstruktion og til efterisoleringssystemets yderside. Ydersiden af den eksisterende konstruktion modelleres da som en flade med en ensartet temperatur og indflydelsen af varmestrømme gennem metalbolte negligeres. For at belyse at boltens indflydelse virkelig er uden indflydelse på det samlede varmetab, er der opbygget en model hvor boltene er inkluderet og en hvor boltene ikke er inkluderet i modellen. Som eksempel er valgt en teglvæg, hvor et tyndpladeprofil er fastgjort til væggen og isolering opsat mellem profilerne. Resultaterne af beregningerne er anført i tabel 2.1. Det modellerede areal er 0,6 x 0,6 meter og der er indsat en bolt i midten af dette areal.

Tabel 2.1 R-værdier for efterisoleringssystemer med og uden indflydelse af fastgørelsesbolt

Systembeskrivelse	R-værdi
Ingen kuldebroer gennem isolering. Ingen indflydelse af bolt	1,56 m ² K/W
Kuldebroer gennem isolering. Ingen indflydelse af bolt	1,47 m ² K/W
Kuldebroer gennem isolering. Indflydelse af bolt	1,47 m ² K/W

Som det ses er forskellen på R-værdierne ved indsættelse af boltene ikke detekterbar. Denne tilnærmelse gælder dog kun i de tilfælde hvor afstandsprofilerne støder helt op til den eksisterende konstruktion, hvilket er det mest anvendte. I tilfælde hvor profilerne ikke støder op til den eksisterende konstruktion er modelforsimplingen ikke længere god og der vil da i disse tilfælde blive regnet med indflydelsen af fastgørelsesboltene.

2.4.2 Sammenligning af systemer

Isolanserne for efterisoleringssystemerne er beregnet for flere standardtykkelser af isoleringsmateriale (50, 100, 150 og 200 mm). Nogle af systemerne findes ikke udviklet til alle de anførte isoleringstykkelser, hvorfor der mangler data på nogle af pladserne i tabel 2.2. Alle beregningerne er foretaget med isolering klasse 39 for bedre at kunne sammenligne resultaterne.

Som det kan ses er nogle af isolanserne i tabel 2.2 nøjagtig ens. Dette skyldes det forhold at profilsystemet og isoleringen er den samme for nogle af systemerne (for eksempel Ivarsson og Dansk Eternit) hvor forskellen mellem de to systemer er pladebeklædningen (som er den producenterne laver). Da den ventilerede luftspalte samt pladebeklædningen er modelleret som en fast isolans i henhold til [DS418, 1986] kapitel 6.8 om ventilerede hulrum i væg- og tagkonstruktioner tages der ikke hensyn til forskellige varmeledningsevne af de to pladebeklædninger og resultaterne bliver derfor ens. Pladebeklædningen ligger desuden udenfor isoleringen og den ventilerede luftspalte, hvorfor den isolerende effekt af pladen er meget lille.

Af sammenligningsgrundlag er isolansen af efterisoleringssystemerne vist i tabel 2.2 i alle tilfælde beregnet med isolering i λ -klasse 39, selvom også andre isoleringstyper benyttes.

Tabel 2.2 Beregnede isolanser [$\text{m}^2\text{K/W}$] for facadeisoleringssystemer.

Producent og systemnavn	Segmentstørrelse i mm	Isoleringstykkelse [mm]			
		50	100	150	200
Rockwool Facadesystem	1000 x 600	1,32	2,54	3,72	4,88
Steni facadeplader	600 x 600	1,35	2,44	*3,57	*4,76
Dansk Eternit opbygget med stålskelet	600 x 600	1,27	2,01	2,34	-
Dansk Eternit opbygget med træskelet	600 x 600	1,40	*2,52	*3,62	-
Partek Dainovo, Paroc byggeelement	1200 x 2800	1,31	2,58	3,84	5,08
Danogips	600 x 2400	1,43	2,50	3,57	4,55
Ivarsson opbygget med stålskelet	600 x 600	-	2,32	3,02	-
Ivarsson opbygget med træskelet	600 x 600	1,40	*2,52	*3,62	-
AE stålmontage	600 x 2400	-	-	2,98	4,04
Glasuld	600 x 1200	1,43	2,50	3,57	4,55
InterProfiles	600 x 1200	-	2,08	2,54	-
Skalmur	1000 x 1000	1,47	2,65	3,83	5,00

- Systemet forefindes ikke med den anførte isoleringstykkelse

* Systemet er opsat med krydslægter for at forebygge kuldebroer

I tabel 2.2 er det ikke muligt at angive en isolans for et efterisoleringssystem uden kuldebroer som reference. Dette skyldes at der benyttes forskellige typer isolering i de enkelte systemer. I stedet

er isolanserne af de ideelle efterisoleringssystemer angivet i tabel 2.3, hvor isolansen kan ses som funktion af lambdaklassen for isoleringsmaterialet. Til sammenligning af isolanser for efterisoleringssystemet og den ideelle værdi skal det bemærkes at Rockwool Facadesystem og Paroc byggeelement opbygges uden ventileret luftspalte, og at isolansen derfor bliver lavere. Dette sker idet de to systemer ikke får tillagt isolansen af en ventileret luftspalte, som det er tilfældet med de andre efterisoleringssystemer.

Facadeisoleringssystemerne er påvirket af kuldebroer i større eller mindre grad, hvorfor deres isolans er lavere end den varmeteknisk bedste løsning. Den varmeteknisk bedste løsning ville være isolering uden gennembrud af metalprofiler eller trælægter, og ville have isolanser som vist i tabel 2.3.

Sammenlignes tabel 2.2 og tabel 2.3 ses det at der stadig er et potentiale for udvikling af konstruktioner med endnu højere isolans og dermed lavere varmetab for bygningen.

Tabel 2.3 Beregnede isolanser [$\text{m}^2\text{K/W}$] for ideelle facadeisoleringssystemer.

Systemnavn	Isoleringstykkelse [mm]			
	50	100	150	200
Ideelt efterisoleringssystem. Isolering lambdaklasse 39	1,58	2,86	4,15	5,43
Ideelt efterisoleringssystem. Isolering lambdaklasse 39*	1,33	2,61	3,90	5,18

* Uden ventileret luftspalte.

2.4.3 Eksempel på energibesparelser

For at kunne vurdere hvor stor indflydelse isolansen har på en bygnings energiforbrug, er der foretaget beregninger af det årlige energiforbrug for en etage i en referencebygning. Referencebygningen er en typisk etageejendom fra perioden 1960-1976 hvor ydervæggene indefra og ud består af 70 mm beton, 50 mm isolering og 90 mm beton. I beregningerne er modelleret en lejlighed, der består af 1 køkken (22 m^2), 1 soveværelse (12 m^2) og 2 stuer ($17,5 \text{ m}^2$ og 23 m^2). I alt efterisoleres $28,5 \text{ m}^2$ facadeareal. Vinduerne i lejligheden er 2-lags termoruder med en U-værdi på $2,67 \text{ W/m}^2\text{K}$. Referencebygningen er beskrevet i detaljer i (BPS, 1996). Som beregningsprogram er benyttet tsbi3 (Termisk Simulering af Bygningers Indeklima), der er dokumenteret i (SBI, 1993). Efterisoleringen er modelleret ved at der er lagt et ekstra materialelag udenpå den eksisterende ydervæg. Som simplificering er der ikke foretaget ændringer af skyggeforhold for vinduer, hvorfor solindfaldet kan være overvurderet i beregningerne. Ofte vil en efterisolering blive foretaget samtidig med en udskiftning af vinduerne, og vinduerne vil da kunne flyttes ud i den nyetablerede facade, hvilket vil give større solindfald. En anden simplificering er at der ikke er taget højde for forekomster af kuldebroer i efterisoleringssystemet ved inddækninger omkring vinduer, døre samt ved hjørner.

Beregnes det årlige energiforbrug til opvarmning for de i rapporten omtalte efterisoleringssystemer med isoleringstykkelse på henholdsvis 50, 100, 150 og 200 mm fås resultaterne, der er vist i tabel 2.4. I tabellen er tillige anført hvilken lambdaklasse efterisoleringssystemerne er opført med.

Det årlige energiforbrug for en lejlighed i referencebygningen er 7071 kWh, og ved en efterisolering fås årlige energibesparelser som vist i tabel 2.4. Som det kan ses afhænger energibesparelsen af hvilket efterisoleringssystem der benyttes, men den varierer indenfor intervallet 2.384 kWh til 2.513 kWh. ved brug af 100 mm isolering, hvilket svarer til en besparelse på ca. 34-36%.

Tabel 2.4 Beregnede årlige energibesparelser [kWh] ved brug af facadeisoleringssystemer.

Producent og systemnavn		Isoleringstykkelse [mm]			
		50	100	150	200
Rockwool Facadesystem**	λ 39	2176	2506	2684	2793
Steni facadeplader	λ 45	2188	2485	2666	2784
Dansk Eternit opbygget med stålskelet	λ 39	2151	2384	2464	-
Dansk Eternit opbygget med træskelet	λ 39	2209	2501	* 2672	-
Partek Dainovo, Paroc byggeelement**	λ 42	2169	2513	2698	2806
Danogips	λ 39	2220	2498	2666	2766
Ivarsson opbygget med stålskelet	λ 39	-	2460	2589	-
Ivarsson opbygget med træskelet	λ 39	2209	2501	* 2672	-
AE stålmontage	λ 39	-	-	2584	2718
Glasuld	λ 36	2220	2498	2666	2766
InterProfiles	λ 36	-	2403	2506	-
Skalmur	λ 39	2202	2442	2573	2655

Ideelt efterisoleringssystem.	λ 39	2278	2563	2730	2832
Ideelt efterisoleringssystem**.	λ 39	2179	2520	2703	2815

- Systemet forefindes ikke med den anførte isoleringstykkelse

* Systemet er opsat med krydslægter for at forebygge kuldebroer

** Uden ventileret luftspalte

2.5 Eksempel på brug af linjetabsmetode

For alle systemerne, der er medtaget i denne rapport, er der opgivet to isolanser - en centerisolans (R_{center}) og en linjeisolans (R_{linje}). Centerisolansen er den termiske isolans af efterisoleringssystemet systemer, hvor der ikke er nogen påvirkning fra kuldebroer i form af profiler etc. mens linjeisolansen tager højde for disse profiler. På baggrund af disse to værdier er det muligt at udregne den termiske isolans for efterisoleringssystemerne selv hvis profilafstanden er anderledes

i forhold til de anførte i oversigten over efterisoleringssystemer begyndende efter side 48.

Ønskes isolansen beregnet for en væg, der bliver efterisoleret med et af de beregnede systemer, men hvor afstanden mellem profilerne ændres, kan dette gøres som i det følgende eksempel:

En ydervæg, der er 3 meter høj og 6 meter lang ønskes efterisoleret med et af de behandlede efterisoleringssystemer. Den oprindelige ydervæg består af betonelementer, hvor bagpladen er 125 mm og forpladen er 70 mm. Mellem betonpladerne er indlagt 50 mm mineraluld. Isolansen (og dermed U-værdien) af konstruktionen ønskes beregnet så det dimensionerende varmetab kan findes.

Isolansen for den uisolerede betonvæg beregnes ved brug af fremgangsmåden vist i [DS418]. Isolansen er summen af den indvendige og udvendige overgangsisolans samt isolansen af betonlaget. Som λ -værdi (varmeledningsevne) for beton bruges 1,6 W/m²K.

$$R_{\text{betonvæg}} = R_{\text{ude}} + R_{\text{beton}} + R_{\text{isol}} + R_{\text{beton}} + R_{\text{inde}} = 0,04 + \frac{0,07}{1,6} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{0,125}{1,6} + 0,13 = 1,574 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Væggen isoleres nu med et modulopbygget efterisoleringssystem med isoleringstykkelse på 100 mm. Systemet er opdelt i segmenter på 0,6 x 0,6 meter og der anvendes lodrette stålprofiler pr. 0,6 meter. Systemet har følgende center- og linje-isolanser: $R_{\text{center}} = 2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $R_{\text{linje}} = 31,98 \text{ mK/W}$.

Da væggen, der ønskes efterisoleret, er 3,0 x 6,0 meter, og segmenterne er 0,6 x 0,6 meter er der plads til 5 x 10 segmenter på væggen. For at kunne fastgøre systemet til væggen er der dog behov for 11 lodrette profiler (se figur 2.12). Under normale omstændigheder (inde på midten af en væg) er forbruget kun 1 lodret profil per segment. Dette ekstra profil vil derfor give anledning til ekstra varmetab.

Beregningerne udføres da så segment 10, 20, 30, 40 og 50 beregnes med to lodrette profiler, mens resten beregnes med et lodret profil. Den samlede profillængde i de førstnævnte segmenter er derfor 1,2 meter mens længden i de sidstnævnte segmenter er 0,6 meter. For at beregne isolanserne af de to typer benyttes formlen angivet i figur 2.7 som er gengivet i formel 2.1.

$$R_{system} = \frac{A}{\frac{1}{R_{center}} \cdot A + \frac{1}{R_{linje}} \cdot L} \quad (2.1)$$

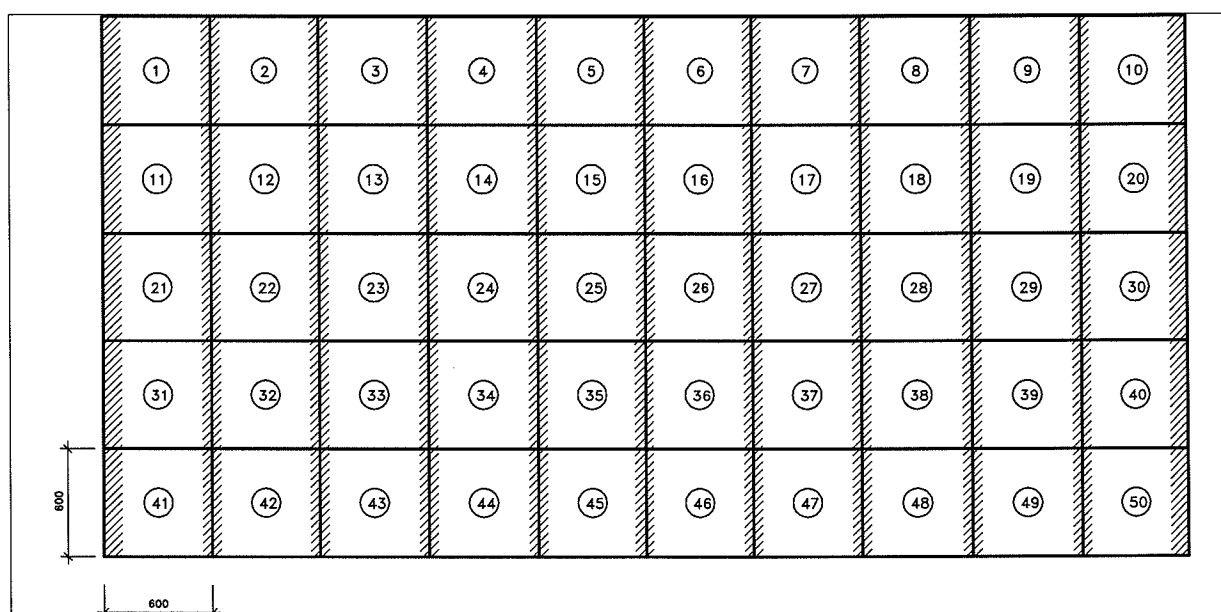
Beregnes først isolansen for de segmenter med et lodret profil fås følgende resultat:

$$R_{system1} = \frac{0,6 \cdot 0,6}{\frac{1}{2,73} \cdot 0,6 \cdot 0,6 + \frac{1}{31,98} \cdot 0,6} = 2,39 m^2 K/W$$

Gennemføres beregningen for segmenterne med to lodrette profiler fås følgende resultat:

$$R_{system2} = \frac{0,6 \cdot 0,6}{\frac{1}{2,73} \cdot 0,6 \cdot 0,6 + \frac{1}{31,98} \cdot 1,2} = 2,13 m^2 K/W$$

Ved brug af formlen angivet i figur 2.8 gengivet nedenfor som formel 2.2 kan U-værdien udregnes for de enkelte dele af væggen med efterisoleringssystemet.



Figur 2.12 Placering af efterisoleringselementer

$$U_r = \frac{1}{\frac{1}{U_o} + R_{\text{system}}} \quad (2.2)$$

Indsættes U -værdien af den oprindelige konstruktion ($U_o=0,635 \text{ W/m}^2\text{K}$; idet $R_o=1,574 \text{ m}^2\text{K/W}$) fås følgende U -værdier.

Segment med et profil	U -værdi:	$U_1=0,252 \text{ W/m}^2\text{K}$
Segment med to profiler	U -værdi:	$U_2=0,270 \text{ W/m}^2\text{K}$

Det dimensionerende varmetab gennem konstruktionen findes da af formel 2.3.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (U_i \cdot A_i \cdot (T_{\text{inde}} - T_{\text{ude}})) \quad (2.3)$$

Arealerne af delfladerne kan beregnes til henholdsvis $16,2 \text{ m}^2$ (for delfladen der indeholder segment med et profil) og $1,8 \text{ m}^2$ (for delfladen der indeholder segment med to profiler). Indsættes disse værdier i formel 2.3 sammen med de dimensionerende inde- og udetemperaturer (hhv. 20°C og -12°) fås følgende dimensionerende varmetab:

$$\Phi = (0,252 \cdot 16,2 \cdot (20 - (-12))) + (0,270 \cdot 1,80 \cdot (20 - (-12))) = 146,2 \text{ W}$$

I beregningerne er der ikke taget hensyn til varmestrømme gennem afdækningsprofiler etc. ved kanten af efterisoleringssystemet. Eksemplet tjener til at illustrere metoden til beregning af isolanser for andre profilafstande end de normalt benyttede for efterisoleringssystemerne. For at kunne karakterisere varmestrømme gennem randen af efterisoleringssystemet er der behov for målinger eller beregninger af konkrete løsningsforslag, hvilket er udenfor denne rapports område.

3. Produktudvikling

Udover at opbygge en oversigt omhandlende de forskellige facadeisoleringssystemer, der findes i Danmark, er et af de andre hovedformål med dette projekt at opfordre til produktudvikling indenfor området. Produktudvikling er et stort og ofte meget komplekst område, hvor det vil føre for vidt at beskrive teorien her.

Ofte starter produktudviklingen med at der enten er et problem med det nuværende produkt eller at der er et problem i samfundet som et kommende produkt kunne løse. Dette afsnit vil kun beskæftige sig med videreudvikling af allerede eksisterende produkter. Et eksempel på et problem for et produkt kunne være at omkostningerne ved produktion/opsætning er for høje. På baggrund af dette må producenten initiere en produktudvikling.

Indenfor efterisoleringssystemer, og generelt byggeriet, er det dog sådan at produktet ofte kommer fra flere forskellige leverandører. Så det er normalt ikke nok at det er en leverandør/producent, der ønsker at videreudvikle et produkt. I stedet er der behov for at en gruppe af leverandører/-producenter går sammen idet de hver besidder en viden om deres egen specielle del af efterisoleringssystemet.

For at starte en produktudvikling er det en fordel at have nogle ideer til hvilken retning, der skal søges i for at finde mulige forbedringer for et eller flere efterisoleringssystemer. I de følgende afsnit vil det blive forsøgt at give nogle indikationer af i hvilken retning produktudviklingen kunne tænkes at foregå. Det er dermed ikke forsøgt at begrænse produktudviklingen til disse tre områder, men blot at komme med et oplæg til videre inspiration.

3.1 Afhjælpning af problemer med kuldebroer

Som det kan ses af tabel 2.2 på side 23 er der for nogle af systemerne der er omtalt i rapporten ganske betydelige kuldebroer. Kuldebroerne gør at der er forholdsvis store transmissionstab gennem konstruktionerne med energitab til følge. For at forhøje efterisoleringssystemers isolans kan følgende tiltag benyttes:

3.1.1 Slidsede stålprofiler

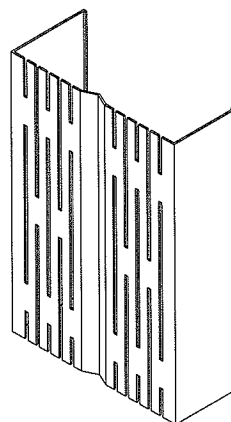
En metode til at mindske varmetabet gennem stålprofilerne er at benytte slidsede stålprofiler. Ved at skære eller klippe dele af stålprofilet væk skal varmen transmitteres længere, og mængden af varme der løber gennem profilet kan da mindskes. Effekten af slidsningen afhænger af det mønster der bliver slidset i profilet, og der må ved udformningen af mønsteret foretages en afvejning mellem varmeledningsevne for profilet og statisk styrke. En typisk opslidsning af et profil vil gøre at den ækvivalente varmeledningsevne for profilet kan sænkes til omkring 10 W/mK, i modsætning til de 55 W/mK, der er varmeledningsevnen for almindelig blødt stål. En skitse af et

opslidset stålprofil kan ses på figur 3.1.1.

3.1.2 Rustfaste stålprofiler

Varmetransmissionen gennem profilet kan også mindskes ved at benytte rustfast stål i stedet for blødt stål. Blødt stål har en varmeledningsevne på 55 W/mK, mens rustfast stål har en varmeledningsevne på 17 W/mK. Varmetabet gennem profilet vil derfor kunne nedsættes til ca. 1/3 ved udskiftning af materiale, og samtidig vil materialet være korrosionssikkert.

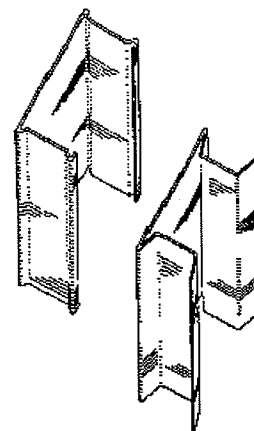
Ulempen ved denne udskiftning er at rustfast stål er dyrere end blødt stål, og at energibesparelsen ved benyttelse af rustfast stål ikke står mål med merprisen for materialet.



Figur 3.1.1 Principskitse af opslidset stålprofil

3.1.3 Minimering af kontaktisolans

Ved fastgørelse af stålprofilerne til den eksisterende konstruktion bør det sikres at kontaktisolansen mellem disse to er mindst mulig. Stålprofilerne bør derfor kun være i termisk kontakt på de steder hvor fastgørelse til den eksisterende konstruktion finder sted. Løber stålprofilerne i hele bredden eller højden af bygningen vil flangerne på stålprofilerne give anledning til et unødigt stort varmetab



3.1.4 Stålprofiler med bukkede flanger

Ved den indvendige side af stålprofilet står flangen i god termisk kontakt med den eksisterende konstruktion, hvilket er medvirkende til at lede varme videre ud i stålprofilet. Hvis denne termiske kontakt kan brydes eller minimeres er der mulighed for at forbedre de varmetekniske egenskaber for stålprofilet. En måde at minimere den termiske kontakt er ved at bukke flangen, så det ikke er hele flangen men kun enkelte punkter på flangen der er i termisk kontakt med den eksisterende konstruktion. Flangen kunne se ud som på figur 3.1.2. Her er vist to udformninger af flangen. Ved at udforme profilet på denne måde forbedres de varmetekniske egenskaber og samtidig mindskes variationer i gennem profilet. overfladetemperaturen. Laboratoriemålinger [Kosny, 1997] viste at isolansen for et efterisoleringssystem kunne forbedres med 10% ved at benytte bukkede flanger. Forbedringen afhænger selvfølgelig af udformningen af flangerne samt resten af efterisoleringssystemet.

Figur 3.1.2 Stålprofil med bukkede flanger, der mindsker varmeledningen gennem profilet.

3.2 Inddækningsløsninger omkring vinduer og bygningshjørner

Omkring vinduer, døre og bygningshjørner er der behov for specialløsninger, da det skal sikres at efterisoleringssystemet også har gode varmetekniske egenskaber her samtidig med at

regntætheden er tilstrækkelig. Et delprojekt ved DTU har omhandlet udarbejdelse af inddækningsløsninger, der sigter på at løse disse to forhold. I projektet er der arbejdet med to inddækningsløsninger omkring vinduer; en hvor vinduet beholder sin placering i facaden og en hvor vinduet flyttes ud i facaden. Vandrette snit af de to løsningsforslag er vist på figur 3.2.1 og 3.2.2. På figur 3.2.3 og 3.2.4 kan tilsvarende lodrette snit af inddækningerne omkring vinduerne ses. Ved begge løsningsforslag er der sørget for en afstand fra afslutningen af facadepladen til inddækningsprofilet på en halv til en hel centimeter, da små skævheder dermed bliver sværere at se.

Inddækningen, der ses på figur 3.2.1 og 3.2.3 tager udgangspunkt i at vinduet beholder sin placering i facaden. Inddækningsprofilet over vinduet er forsynet med en drypnæse, der sørger for at bortvise vand der måtte løbe ned af profilet. Drypnæsen fungerer samtidig som en rende der kan samle vand, som eventuelt måtte trænge gennem pladesamlinger og ind i isoleringen. Med mellemrum er renden hullet, så indtrængende vand kan løbe ud af dette.

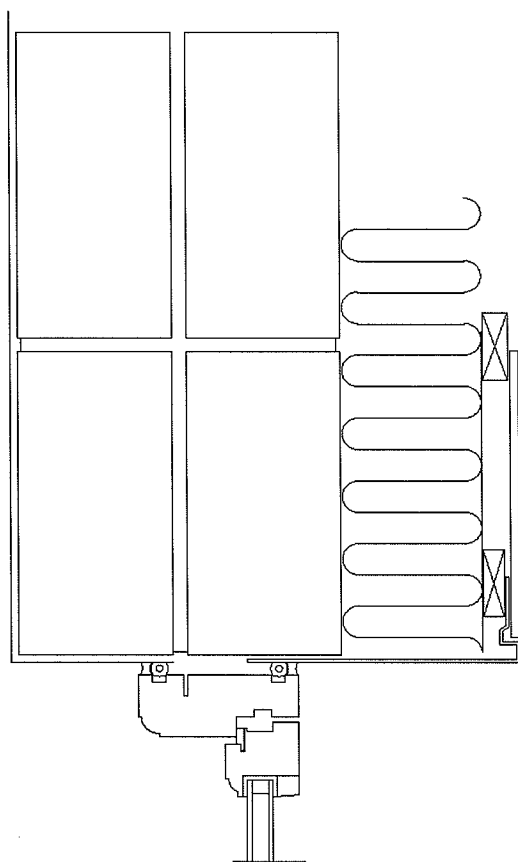
Efterisolering vil som regel blive foretaget samtidig med en renovering af bebyggelsen. Denne renovering vil ofte inkludere en udskiftning af de eksisterende vinduer, hvilket vil gøre det muligt at placere vinduerne længere ude i den nye konstruktion. Ved at gøre dette opnås der to fordele: Varmetabet nedsættes og der er mulighed for større lysindfald gennem vinduerne.

Modelleres de to løsningsmuligheder i HEAT2 [HEAT2, 1997], der er et detaljeret todimensionalt termisk beregningsprogram er det muligt at undersøge varmetabet gennem de to inddækningsløsninger.

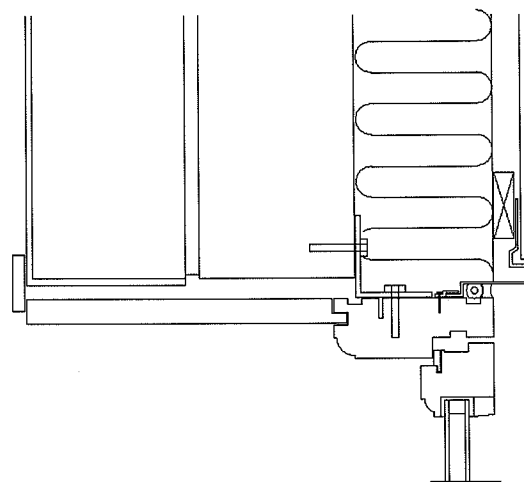
Varmestrømmene pr. meter karm gennem de modellerede dele af konstruktionen bliver for de to inddækningssystemer:

Tilbagetrukket vindue	$20,55 \text{ W/m} = 0,642 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
Fremskudt vindue	$19,17 \text{ W/m} = 0,599 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

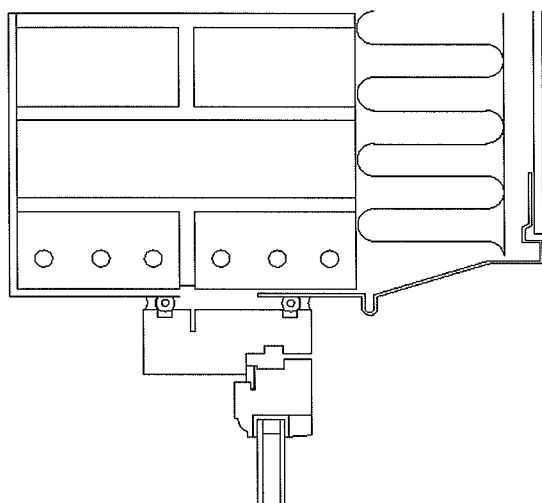
I et vindue på 1,25 x 1,0 meter (højde x bredde) med en omkreds på 4,5 meter vil der være en forskel på varmemstrømmene på $0,2 \text{ W/K} = (0,642 - 0,599) \cdot 4,5$. Dette skal sammenlignes med varmetabet gennem vindue, ramme og karm ($U\text{-værdi} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) på $3,1 \text{ W/K}$ (ved et vindueshulareal på $1,75 \text{ m}^2$). Flytningen af vinduet kan dog ikke svare sig økonomisk, hvis der ikke samtidig er tale om at vinduet skal udskiftes.



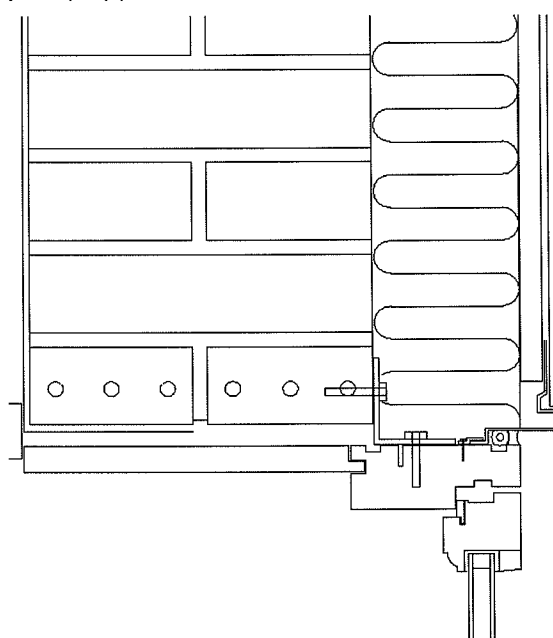
Figur 3.2.1 Vandret snit af inddækningsløsning. Vindue i oprindelig placering



Figur 3.2.2 Vandret snit af inddækningsløsning. Vindue flyttet ud i ny konstruktion

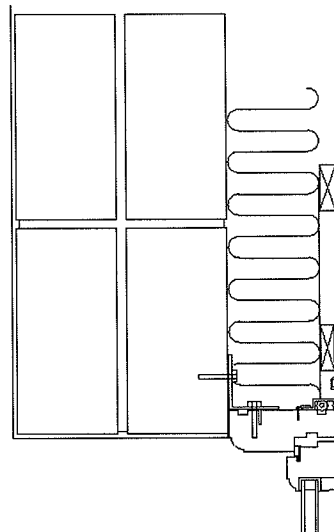


Figur 3.2.3 Lodret snit af inddækningsløsning. Vindue i oprindelig placering



Figur 3.2.4 Lodret snit af inddækningsløsning. Vindue flyttet ud i ny konstruktion

Vinduet kan dog trækkes endnu længere frem i konstruktionen end det er vist på figur 3.2.2 og 3.2.4. På figur 3.2.5 er vist et vandret snit af hvordan en sådan konstruktion kunne se ud. Fordelen ved denne konstruktionstype er at der kan indsættes et større glasareal idet karmen er flyttet udenpå den eksisterende væg. Ulempen ved denne konstruktionsform er dog at komponenterne i vinduet er mere udsatte for belastninger i form af regn og vind fra udeklimaet. Det kan derfor ikke afvises, at der skal benyttes vindueskonstruktioner, der er mere modstandsdygtige overfor vejrliget.



Figur 3.2.5 Vandret snit af karm udenpå oprindelig konstruktion

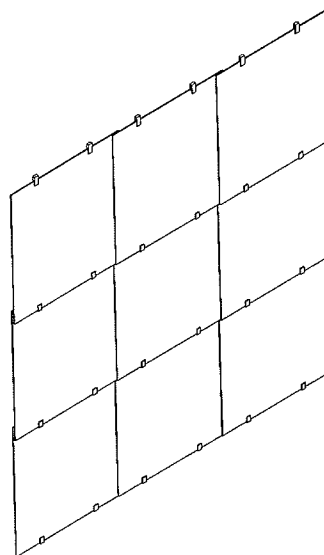
3.3 Fleksible pladeløsninger til efterisoleringssystemer

I forbindelse med etableringen af dette katalog visende de forskellige løsninger ved udvendig efterisolering og renovering, er der tillige foregået en udvikling af et alternativt system på DTU [Steens, 1998]. Et af hovedformålene med efterisoleringssystemet var, at det skulle være fleksibelt. At fleksibilitet var et nøgleord for udviklingsarbejdet skyldes at der som regel foregår et stort opmålings- og tilskæringsarbejde ved brug af systemer med tilskårne plader. Opmålings- og tilskæringsarbejdet er både bekosteligt og besværligt.

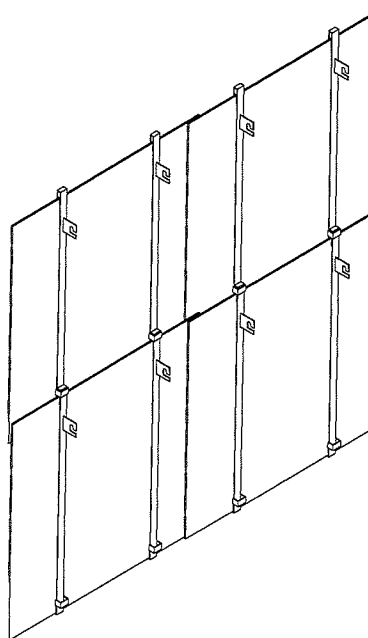
Med dette som bagtanke blev der på DTU fokuseret på udvikling af et fastgørelsessystem, med tilstrækkelig fleksibilitet, der kan benyttes til flere forskellige typer pladebeklædning. Specielt vil systemet muliggøre brug af glas som beklædning. Med dette fastgørelsessystem er det muligt at inddække en normal facade med små plader i faste størrelser. På figur 3.3.1 er udseendet af et typisk udsnit af det udviklede efterisoleringssystem vist. Systemet er baseret på at pladerne, der har faste størrelser, er forsynet med to beslag, som holder pladerne fast til underlaget. Flexibiliteten opnås ved at lade pladerne overlappe mere eller mindre i både lodret og vandret retning. Set fra bagsiden ser det ud som på figur 3.3.2. I overgangen fra den ene til den næste plade ses en lille ring. Ringen kan flyttes i vertikal retning og sørger for forbindelse mellem bunden af et profil og toppen af det næste. Ringen fremstilles af et forholdsvis blødt materiale, så denne ikke skader det benyttede plademateriale.

Fordelen ved at benytte en ring der kan flyttes i vertikal retning er at fastgørelsen af bunden af profilet kan placeres så lavt som muligt, men da ringen skal fremstilles af et blødt materiale kan der være problemer med dennes holdbarhed.

I forbindelse med udviklingen af efterisoleringssystemet har dette været gennem nogle tests for at undersøge visse af dets egenskaber.



Figur 3.3.1 Udseende af typisk udsnit af efterisoleringssystem



Figur 3.3.2 Bagside af efterisoleringssystem udviklet ved DTU

3.3.1 Regntæthed

Regnbelastning på facaden kan være enten i form af enkelte dråber eller i form af en vandfilm der løber ned af facaden. Da overlappet fra en plade til en anden kun er et par millimeter bredt og et par centimeter langt (kan anes i venstre side af figur 3.3.2) vil regndråber have svært ved at trænge gennem konstruktionen. Vandfilmen er ikke i sig selv noget problem, men hvor afstrømningen koncentrerer grundet lodrette samlinger kan der løbe store mængder vand gennem. For at undgå denne gennemstrømning af vand kan der opsættes lodrette tætningslister, der ved forsøg viste sig at stoppe stort set hele vandgennemtrængningen.

3.3.2 Varme- og fugtteknik

For at kunne sammenligne det udviklede systems varmetekniske egenskaber med de efterisoleringssystemer, der er vist på side 23 blev der foretages en beregning af efterisoleringssystemets isolans. Isolansen er beregnet med en afstand mellem de lodrette profiler på henholdsvis 600 og 900 mm, ved benyttelse af isolering i λ -klasse 36 og ved brug af slidsede stålprofiler.

Tabel 3.1 Beregnede isolanser [$\text{m}^2\text{K/W}$] for facadeisoleringssystemer.

Producent og systemnavn	Isoleringstykkelse		
	100	150	200
DTU-System 600 mm profilafstand	2,47	3,51	4,26
DTU-System 900 mm profilafstand	2,62	3,75	4,66

Ved sammenligning med de fundne isolanser for de andre efterisoleringssystemer ses det at systemet har en udmærket isolans og placerer sig i den gode del af oversigten.

For at bedømme den fugttekniske sikkerhed af det udviklede efterisoleringssystem blev der benyttet nogle numeriske beregningsværktøjer. Disse værktøjer, MATCH og VENT, er beskrevet på side 21. Da der indgår en ventileret luftspalte i det udviklede efterisoleringssystem er MATCH ikke så velegnet til at beregne fugtforhold i konstruktionen, og det blev i stedet forsøgt at opbygge en beregningsmodel i VENT. Ved modelopbygningen blev det antaget at ventilationen kan beskrives som vist på figur 3.3.3; altså at luft, der kommer ind gennem en vandret spalte forlader den ventilerede spalte ved næste pladeoverlap. Med denne begrænsning i nøjagtighed som inddata til modellen gav anledning til, kunne det konkluderes, at der ikke ville forekomme problemer med kondensation, idet mængden af kondensat på indersiden blev meget lille.

3.3.3 Brand

Hovedbestandelene i efterisoleringssystemet er metal, isoleringsmateriale og pladebeklædning. Hvis der benyttes en pladebeklædning, der er ubrændbar, er det svage punkt i efterisoleringssystemet metalprofilet, der taber sin styrke ved høje temperaturer. Sker dette, er der risiko for at pladebeklædningen vil falde ned som følge af en brand, hvilket kan medføre menneskelige og materielle skader. En videreudvikling af dette system bør derfor undersøge de brandtekniske egenskaber i detaljer.

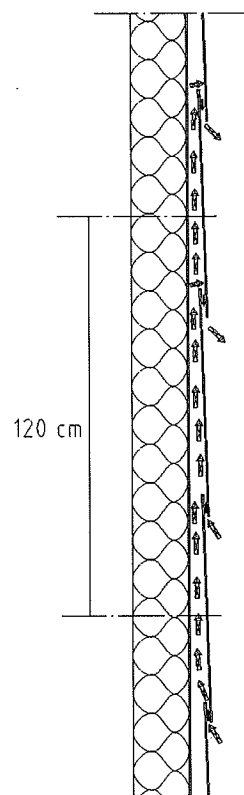
3.3.4 Fleksibilitet

Det udviklede efterisoleringssystem er ganske fleksibelt idet facader kan inddækkes uden at der er behov for speciel tilvirkning af pladebeklædningen på byggepladsen. Denne fleksibilitet gør systemet nemmere og hurtigere at arbejde med.

Et andet punkt hvor systemets fleksibilitet viser sig, er i valg af materialer til pladebeklædningen. Der er i systemet ikke nogen begrænsning i valg af pladebeklædning, hvorfor der kan benyttes de nuværende gængse pladebeklædninger plader af sten, sten-coatede plastplader eller metal eller andre nye materialer i form af for eksempel hærdet glas.

3.3.5 Økonomi

I forbindelse med det foreløbige udviklingsarbejde er omkostningerne til produktion og opsætning



Figur 3.3.3 Antagne luftstrømninger i efterisoleringssystemet

af efterisoleringssystemet analyseret. Idet profilsystemet er mere avanceret end andre profilsystemet vil der være en større omkostning til produktion. Ved opsætningen af pladebeklædningen vil noget af denne ekstra udgift dog kunne hentes hjem igen, idet fleksibiliteten vil gøre meget af tilvirkningen af plader overflødig. Da der desuden er mulighed for brug af andre pladebeklædninger vil der muligvis også kunne opnås en besparelse her, men dette afhænger af materialevalg, og er derfor individuel.

4. Produktudvikling i samarbejde med producenter

Hvor foregående afsnit fokuserede på hvad der var muligt at foretage af produktudvikling, vil dette afsnit omhandle et konkret udviklingsarbejde i samarbejde med en virksomhed. Gennem hele projektet om efterisoleringssystemer har der været lagt stor vægt på at en udvikling skulle foregå i samarbejde med en eller flere relevante virksomheder.

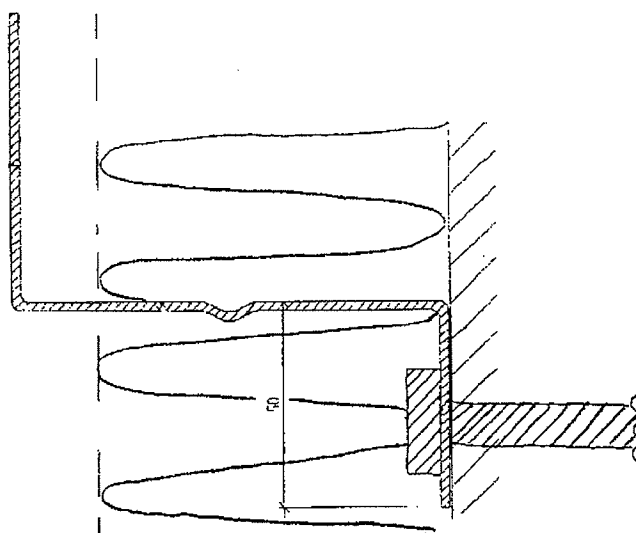
At der har været lagt stor vægt på dette skyldes at udviklingsprojekter der kun foregår indenfor forskningsverden ikke er optimale, da der savnes information om hvad der er muligt og optimalt i produktionsøjemed. På tilsvarende måde er det ikke altid optimalt at produktudvikling kun foregår ved producenten. Forskerverden har nem adgang til forsøgsfaciliteter og beregningsprogrammer der kan lette udviklingen af nye produkter. Derfor vil det være naturligt om producenter og forskere fandt sammen i udviklingsprojekter.

4.1 Udviklingssamarbejde med Dansk Eternit A/S

Dansk Eternit A/S er en af de producenter, hvis system er behandlet i denne rapport. Systemet, der er udformet med stålskelet, er beskrevet i Efterisoleringssystem C. Profilerne, der blandt andet bærer pladebeklædningen, er Z-profiler i stål. Ved at sammenligne den termiske isolans for systemet med isolansen for et ideelt efterisoleringssystem uden kuldebroer (tabel 2.3 side 24) ses at der er muligheder for at forbedre systemets termiske egenskaber. En måde at gøre dette på er, som vist i kapitel 3.1.1, at benytte slidsede profiler i stedet for massive profiler.

Varmeteknisk ville det være bedst hvis slidserne var så store som muligt; ideelt set at profilet slet ikke var nødvendigt. Af styrkemæssige årsager er det dog nødvendigt med en vis mængde stål for at kunne holde til belastninger fra systemets egenvægt samt påvirkninger fra vind. Udformningen af slidsemønstret er derfor en afvejning mellem styrkeegenskaber og varmetekniske egenskaber. For at tilgodese såvel statik som varmeteknik skal profilet derfor udformes så det er stærkt nok samtidig med at transportvejen for varmen bliver længst mulig.

Den oprindelige konstruktion, som Dansk Eternit A/S benytter for øjeblikket ved etablering af udvendig efterisolering med stålskelet, er vist på figur 4.1. Profilet har en godstykkelse på 1 mm og er opsat pr 600 mm i lodret retning.



Figur 4.1 Oprindelig massivt stålprofil fra Dansk Eternit A/S

The drawing consists of two parts. The top part is a cross-sectional view of a shaft with a key and a pulley. The shaft is labeled with 'S' and 'K'. The pulley is labeled with 'K' and 'K'. The bottom part is a side view of the shaft with a key. The shaft is labeled with 'S' and 'K'. The key is labeled with 'K' and 'K'. The drawing is labeled with '77' and '723' at the bottom left and '100' at the bottom center.

Da det nyudviklede system ikke er sat i produktion endnu er det svært at estimere omkostningerne ved anvendelse af systemet. Slidsningen vil formodentlig være ensbetydende med en ekstra omkostning, men til gengæld vil systemet have en lavere U-værdi, hvilket betyder mindre varmeudgifter for slutbrugeren. For at inkludere denne besparelse i udregningen af systemets økonomi er det muligt at benytte totaløkonomiske beregninger. Totaløkonomi er blandt andet blevet behandlet i (Bygge- og Boligstyrelsen, 1994), hvor der står “.... kapitalisering til nutidsværdi af de samlede anlægsomkostninger samt af driftsudgifter over en bestemt årrække...”. Brugen af totaløkonomiske vurderinger sker for eksempel indenfor det støttede byggeri, hvor det er stadfæstet ved lov pr. 1. januar 1998.

4.1.1 Totaløkonomiske beregninger

Beregnes nutidsværdien af det eksisterende system fra Dansk Eternit A/S, er det derefter muligt at udregne hvor meget den samlede anlægsomkostning må være for de nyudviklede system uden at totaløkonomien forringes. Anlægsomkostningen for det nyudviklede system må nødvendigvis kunne tillades at være højere end for det nuværende system, idet der spares på driftsudgifterne.

Ved totaløkonomiske beregninger er der brug for oplysninger om såvel de nuværende investeringer og driftsudgifter, samt driftsudgifternes udvikling fremover. Desuden er der behov for at kende konstruktionens levetid.

Oplysningerne der skal benyttes er:

Levetid:

Levetiden for begge systemer er sat til 30 år ud fra oplysninger fra Dansk Eternit A/S samt oplysninger fundet i (V&S Renovering, 1997).

Vedligeholdelse:

Udgifter til vedligeholdelse kan findes som Efterisoleringssystem C. Vedligeholdelsen forudsættes at være det samme alle år gennem hele bygningens levetid. Idet prisfastsættelsen af vedligeholdelse er behæftet med store usikkerheder benyttes der ikke stigende vedligeholdelsesomkostninger (grundet eksempelvis inflation), idet dette ville behæfte beregningerne med endnu større usikkerhed.

Driftsudgifter:

Udgifter til drift er begrænset til udgifter til energi, der benyttes til opvarmning af de bagvedliggende rum. Den årlige energiudgift beregnes som produktet af energiforbruget og energiprisen. Energiforbruget beregnes ud fra den efterisolerede konstruktions U-værdi, mens energiprisen forudsættes variabel. I forudsætningerne for TRAMBOLIN (Boligministeriet, 1998), der er et værktøj til at beregne totaløkonomiske rammebeløb for boliger det at energiprisen stiger med 2% per år.

Udregningen af det årlige energiforbrug foretages ved brug af formel 4.1

$$\text{Årligt energiforbrug[kWh]} = \frac{\text{Antal gradtimer} * U_{\text{konstruktion}}}{1000} \quad (4.1)$$

For at udregne nutidsværdien af det eksisterende system fra Dansk Eternit A/S benyttes følgende formel (4.2).

$$T = I + M * n + E * \frac{(1 + r_e)^{30} - 1}{r_e} \quad (4.2)$$

I formlen indgår følgende faktorer:

I	Investering (omkostning ved etablering af efterisoleringssystem) [kr]
M	Årlige vedligeholdelsesudgift [kr]
E	Årlig udgift til energi ved etablering af efterisoleringssystem [kr]
n	Levetid for efterisoleringssystem [år]
r_e	Årlig energiprisstigningstakt i procent [-]

For at beregne nutidsværdien for den eksisterende systemløsning for Dansk Eternit A/S indsættes følgende værdier for parametrene:

I	Investering	856 kr/m ²
M	Vedligeholdelse	13 kr/m ²
E	Årlig energiudgift ved etablering	15,59 kr/m ² (0,4 kr/kWh * 38,9 kWh)
n	Levetid	30 år
r_e	Årlig energiprisstigningstakt	2 %
	Antal gradtimer	72.000

Den årlige energiudgift ved etablering og 10 år efter etablering findes multiplikation af energiprisen med resultatet af formel 4.1. Værdierne der skal indsættes i formel 4.1 findes i tabel 4.1.

Nutidsværdien for det eksisterende system fra Dansk Eternit A/S kan dermed udregnes til 1878 kr/m².

Den årlige energiudgift ved etablering sættes til nu til 10,82 kr (0,4 kr/kWh * 27,08 kWh), idet der regnes for det nyudviklede system. Da det er ønsket at totaløkonomien ikke må forringes af

nyudviklingen sættes denne til nutidsværdien for det eksisterende system (1878 kr), og den maksimalt tilladelige investering kan da udregnes. Den maksimale investering kan udregnes til 1049 kr. Kan merinvesteringen for systemet holdes under dette beløb er det, totaløkonomisk set, fordelagtigt at benytte denne nye systemløsning.

Sammenlignes den maksimale investeringsomkostning for det nyudviklede system med investeringsomkostningerne for det nuværende system fra Dansk Eternit A/S, ses at slidsningen maksimalt må resultere i en prisstigning på 193 kr. En så stor prisstigning skulle slet ikke være nødvendig for at finansiere dette.

Under de gældende økonomiske og levetidsmæssige forudsætninger må det derfor siges at slidsningen må være rentabel. Bliver prisstigningen grundet slidsningen mindre end den maksimalt anførte, vil også slutbrugeren nyde godt af forbedringen, idet udgifterne til varme vil blive lavere.

5. Godkendelsesordninger for efterisoleringssystemer

Indenfor andre brancher er det ganske ofte, at der findes en eller anden form for godkendelsesordning, som produkterne skal opfylde. På materialesiden findes godkendelsesordninger for isoleringsmaterialer samt styrkekrav til styrke af træbjælker og på komponentsiden er der krav til styrken af for eksempel betonelementer.

Endnu findes der ikke en godkendelsesordning for udvendig efterisolering, men der arbejdes på en i såvel dansk, svensk som EU-regi. Der forefindes endnu ikke noget materiale om en kommende dansk godkendelsesordning og materialet om en kommende svensk godkendelsesordning er under revision og derfor ikke så specifikt endnu. Udarbejdelsen af en godkendelsesordning i EU-regi er foretaget af EOTA (European Organisation for Technical Approvals) og forventes færdig indenfor en kort tidsramme, idet forslaget nu er i offentlig høring.

I dette kapitel vil det blive forsøgt at skitsere indholdet af såvel den svenske som EU-godkendelsesordningen for udvendig efterisolering.

5.1 Svensk godkendelsesordning

Den svenske godkendelsesordning for udvendig efterisolering administreres af SITAC (Swedish Institute for Technical Approval in Construction). Som udgangspunkt benyttes det svenske boligministeriums forskrifter for godkendelsesordninger med visse tilføjelser.

Fordelt på emne er kravene:

Brand: Brandkravene er taget fra det svenske boligministeriums bygningsreglement BBR94.

Statik: Der er opstillet krav til minimum indfæstningsdybde for fastgørelsessystemet afhængigt af hvilken murtype efterisoleringen monteres på. Desuden skal det angives om der for efterisoleringssystemet er krav til antal befæstelsespunkter pr. arealenhed.

Fugt: Der skal foretages en fugtberegning for systemerne og af denne skal det fremgå at der ikke forekommer kondens i vægkonstruktionen. Desuden skal det bevises, at efterisoleringssystemet forhindrer fugtoptagelse og er frostbestandigt. Dette kan enten gøres ved at udtage prøver af isoleringsmaterialet og regnskærmen eller ved at besigtige allerede udført arbejde.

På baggrund af prøver af efterisoleringssystemets brandsikkerhed, fugtsikkerhed mv. udarbejdes en prøvningsrapport, hvor det skal anføres hvilke produkter, der er prøvet samt resultaterne af prøvningerne.

Ifølge SITAC er proceduren for godkendelsesordningen under ændring, hvilket vil influere på ovenstående.

5.2 EU-Godkendelsesordning

Den udarbejdede godkendelsesordning i EU-regi beskæftiger sig med udvendig efterisolering med afdækning i form af puds. I (EOTA, 1997), hvori godkendelsesordningen udarbejdes, kaldes disse *ETICS* (External Thermal Insulation Composite Systems). Danmark er repræsenteret i samarbejdet gennem ETA Danmark. I ETA Danmark foregår der indledende arbejde med etablering af en tilsvarende national godkendelsesordning.

Godkendelsesordningen identificerer hvilket krav til ydeevne der skal undersøges for at kunne opfylde de grundlæggende krav for *ETICS*. Kravene til ydeevnen er opdelt i punkter, som er beskrevet kortfattet nedenfor. Beskrivelsen er ikke udtømmende og der henvises til (EOTA, 1997) for den fulde beskrivelse.

Statik:	Da <i>ETICS</i> er ikke-bærende elementer, er der ikke noget statisk krav til dem.
Brand:	Systemet skal testes for reaktioner overfor brand. Der findes endnu ikke en ønsket metode til afprøvning af brandspredning.
Indeklima:	Systemet skal forhindre fugt i at trænge ind i den bagvedliggende konstruktion.
Udeklima:	Systemet må ikke forurene udeklimaet (jord, vand og luft) i højere grad end det er tilladt i det pågældende lands lov.
Sikkerhed:	Systemet skal kunne tåle påvirkninger af vindsug, solstråling og temperatursvingninger uden skadelige deformationer.
Akustik:	Skal overholdes for hele vægkonstruktionen som helhed. Der er ikke specificeret nogle specielle krav for <i>ETICS</i> .
Energi:	Hele vægkonstruktionen skal opfylde krav til maksimal varmestrøm etc. For efterisoleringen skal følgende størrelser specificeres: Isolans, vanddamp-permabilitet og vand-absorption.
Holdbarhed:	Alle komponenter skal udvise kemisk-fysisk stabilitet under normal brug, skal være beskyttet mod korrosion og må ikke være inkompatible med hinanden.

For hovedparten af disse krav er der stillet specifikke krav til ydeevnen. For eksempelvis med

hensyn til prøvning af systemernes vand- og fugtsikkerhed, hvor såvel metoder som apparatur er specificeret.

Godkendelsesordningen kan ikke anvendes på hovedparten af de systemer, der er vist i denne rapport, idet kun et fåtal af dem benytter isolering med et pudslag som regnskærm. Senere arbejde vil forhåbentlig udfylde denne mangel i såvel dansk som i europæisk regi.

6. Referencer

22 overfrakker	22 overfrakker. Facadeinddækning - en eksempelsamling. Bygge- og Boligstyrelsen, 1997
Boligministeriet	Totaløkonomisk vurdering. TRAMBOLIN, 1998
BPS	Bygningsintegreret solenergi, BPS publikation 120, BPS-centret, 1996
Bygge- og Boligstyrelsen	Brug af totaløkonomiske vurderinger, Bygge- og Boligstyrelsen, 1994
DS418	Dansk Standard DS 418. Beregning af bygningers varmetab, 5. udgave December 1986
EOTA	Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering Draft ETAG no 11, EOTA WG 04.04/11, November 1996
FORCE	Telefonsamtale med Finn Yding, FORCE Instituttet, 11. februar 1998
HEAT2	HEAT2 brugervejledning, Thomas Blomberg, Department of Building Physics, Lund University, 1997
HEAT3	HEAT3 (version 2.6), Thomas Blomberg, Department of Building Physics, Lund University, 1995
IBE	Håndbog om vinduer og Energi, Rapport R-016, Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1997
Kosny, Jan et. al.	Thermal Breaking Systems for Metal Stud Walls - Can Metal Stud Walls Perform as Well as Wood Stud Walls?, ASHRAE Transactions Volume 103 pp 518-536, 1997
Maleteknisk Rådgivning	Facadehåndbogen, Afrensning af facader og tilhørende bygningsdele, ISBN 87-986407-0-4, 1997
SBI	tsbi3 brugervejledning. Statens Byggeforskningsinstitut, 1993
Steens, Elke	Development of a System for Retrofitting Building Facades, Institut

for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1998

V&S Renovering

V&S Priser, Renovering og Drift, 1997