

EUDP-projekt

Nyt koncept til energirenovering af murede facader

- analyse vedrørende energibesparelser og indeklima



Marts 2015

Troels Kildemoes, Ekolab

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	3
2. Varmetab i klimaskærmen – typiske værdier for U-værdi og linietaf for byggeperioden 1960- 80.....	4
2.1 Varmetab gennem vægarealer	4
2.2 Varmetab ved vindues- og dørindbygninger	6
2.3 Varmetab ved overgang mellem fundament, væg og terrændæk	6
2.4 Varmetab ved tagrem	8
3. Renoveringskoncept	9
4. Energibesparelser	10
4.1 Besparelse ved vægisolering	11
4.2 Besparelse ved optimeret vindue/dørindbygning	13
4.3 Besparelse ved fundamentsisolering	14
4.3 Besparelse ved isolering af tagrem	18
5. Indeklimamæssige forbedringer	19
6. Demonstrationsprojekt – Saturnvej 17	24
6.1 Beskrivelse af hus og energiforbrug	24
6.2 Beskrivelse af renoveringstiltag og energibesparelser.....	25
6.3 Termografi	27
7. Konklusion	29
8. Referencer	31

Nyt koncept til energirenovering af murede facader

1. Introduktion

Renoveringsmetoden er specielt orienteret til byggeri fra perioden 1960-1980 men kan med fordel også benyttes til muret byggeri med hulmur af ældre dato.

Renoveringsmetoden benytter isoleringstiltag, som alle kan foretages udefra med begrænset påvirkning af den indvendige del af boligen inklusiv beboere i husstanden. Varmetabet reduceres fra følgende områder i klimaskærmen:

- Varmetab gennem vægarealer.
- Varmetab ved vindues- og dørindbygninger, eksempelvis fra udmuringer.
- Varmetab ved overgang mellem fundament, væg og terrændæk (dog kun i de tilfælde, hvor soklen kan isoleres udvendigt i forbindelse med facaderenoveringen).
- Varmetab ved tagrem dvs. samling mellem væg og tagkonstruktion (som udgangspunkt kun i de tilfælde, hvor tagremmen med fordel kan efterisoleres udvendigt i forbindelse med facaderenoveringen).

Derudover er der typisk en varmebesparelse ved at huset efter grundig isolering er mere tæt og dermed reduceres ventilationstabet. Huset skal naturligvis stadig ventileres efter Bygningsreglementets anvisninger.

Udover den varmemæssige besparelse, vil renoveringen medføre en stærkt forbedret termisk komfort pga. højere og mere ensartede temperaturer på de indvendige overflader. En yderligere gevinst er at risikoen for fugtrelaterede skader, fx ved væghjørner og ved udmuringer, kan elimineres.

I den nærværende rapport beskrives hvorledes varmetabet reduceres ved at benytte sig af den udviklede metode samt der gives estimer for besparelse. Endvidere gives kort beskrivelse af de indeklimamæssige forbedringer.

2. Varmetab i klimaskærmen – typiske værdier for U-værdi og linietaf for byggeperioden 1960-80

2.1 Varmetab gennem vægarealer

Vejledende U-værdi for tunge vægkonstruktioner af ældre dato kan ses af tabellen i figur 1. Den typiske 29 cm væg benyttet i perioden 1960-80 findes i flere udgaver; en vejledende gennemsnitlig U-værdi kan sættes til 0.60 W/m²*K. Denne U-værdi inkluderer 1-dimensionelt varmetab gennem vægarealer samt ekstra varmetab ved udmuringer fx omkring vinduer og døre. Der regnes med en udmuringsandel på 10 %, dvs. 10 % af det samlede vægareal har ingen isolering.

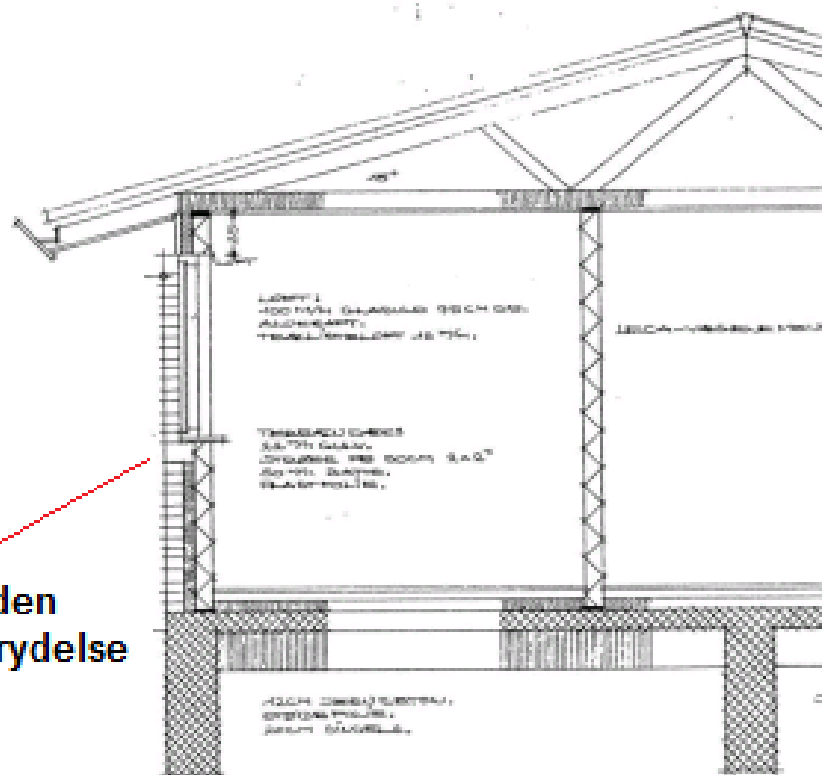
Figur 2 viser et eksempel på et klassisk dansk parcelhus fra 1970, hvor der er udmuring flere steder blandt andet omkring døre og vinduer (beskrevet i rapporten "Energirenovering af 70'ers parcelhus", Teknologisk Institut, 2010 [2])

Figur 3 viser et termografibillede af en ydervæg med et vindue (hus fra 1954 med hulmursisolering). Der ses tydeligt forhøjede temperaturer rundt om vinduet fra udmuringer og dårlig isolering.

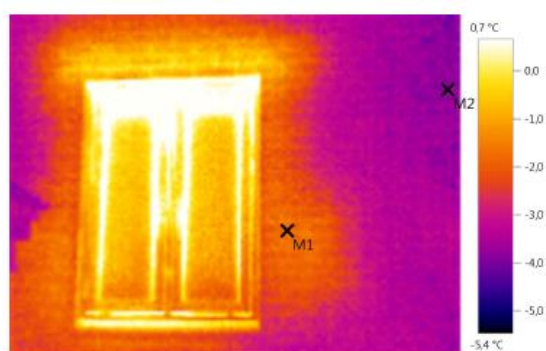
U-værdi for hule mure/tunge ydervægge			
Lbr.	Beskrivelse	U-værdi	Note
2.1	30 cm hul, uisoleret	1,60	30 cm teglhulmur, med 7,5 cm hulrum og 10% udmuring. Formur T1800, bagmur T1800.
2.2	30 cm hul efterisoleret granulat	0,67	30 cm teglhulmur, med 7,5 cm hulrum og 10% udmuring. Ydervæggen er efterisoleret med mineraluldsgranulat lambda værdi 45.
2.3	30 cm hul efterisoleret brændte klinker	1,00	30 cm teglhulmur, med 7,5 cm hulrum og 10% udmuring. Ydervæggen er efterisoleret med brændte klinker (Løs Lecanødder) Lambda værdi 80.
2.4	30 cm hul isoleret	0,60	30 cm teglhulmur, isoleret samtidigt med opførelsen. 10% kuldebro. Isolering lambda 34 (A-murbatts)
2.5	30 cm Tung BR61 - BR72	1,00	30 cm ydervæg der opfylder bygningsreglementet op til 1979. F.eks. Tegl som ydervæg luft og 12-13 cm porebeton Pb600 eller 12 cm molersten 700 som bagmur. OBS disse ydervægge er ikke hulmursisolerede.
2.6	30 cm Tung BR61-72 + granulat	0,42	30 cm ydervæg der opfylder bygningsreglementet op til 1979 uden hulmursisolering, er efterisoleret med granulat lambda 45. F.eks. Tegl som ydervæg 75 mm granulat og 12-13 cm porebeton Pb600 eller 12 cm molersten 700 som bagmur.
2.7	36 cm hul mur uisoleret	1,60	36 cm hul mur uisoleret, med 10% kuldebro
2.8	36 cm hul mur efterisoleret	0,49	36 cm hul mur med 10% kuldebro. Efterisoleret med hulrumsgranulat, lambda 45
2.9	ca 35 cm 10% udmuring	0,48	35 cm hulmur isoleret med ca. 130 mm isolering og 10% kuldebro. Isolering med A-batts lambda 34
2.10	350 tegl-letbeton	0,30	36 cm hulmur isoleret med ca. 130 mm isolering. Ydervæg tegl, 125 mm A-batts og 110 mm klinkerbeton bagmur. Ydervæggens isolering er skønnet at svare til kravet i bygningsreglement på opførelsestidspunktet
2.11	ca. 40 cm teglydervæg	0,16	Tegl, 200 mm isolering og tegl (eller beton/letbeton) som indermur

Figur 1: Tabel med vejledende U-værdier for ydervægge [1].

**Udmuring uden
kuldebroafbrydelse**



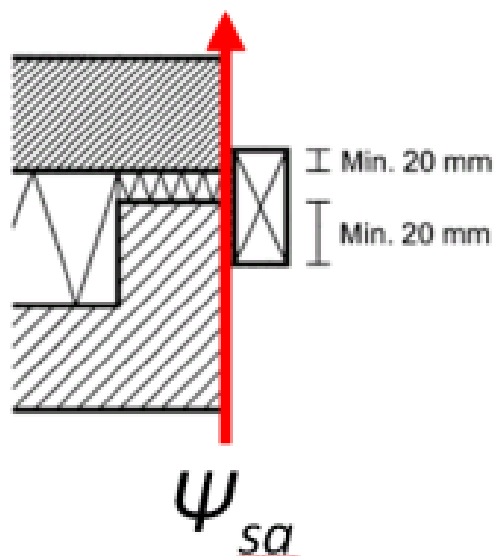
Figur 2: Dansk 70'er hus med udmuring omkring vinduer og døre [2].



Figur 3: Termografisk visning af forøget varmetab fra udmuring og dårlig isolering omkring vinduer – hus fra 1954 [3].

2.2 Varmetab ved vindues- og dørindbygninger

Linietalet ψ_{sa} for indbygningen af døre og vinduer er betragteligt for byggeri i denne periode pga. manglende kuldebro-afbrydelse. Linietalet kan jævnfør DS 418 sættes til en typisk værdi på $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ for hulmure i tegl uden kuldebroafbrydelse. En ny indbygning vil endvidere sikre stor lufttæthed ved vinduesindbygning (både for nye og eksisterende vinduer/døre) hvilket reducerer ventilationstab.

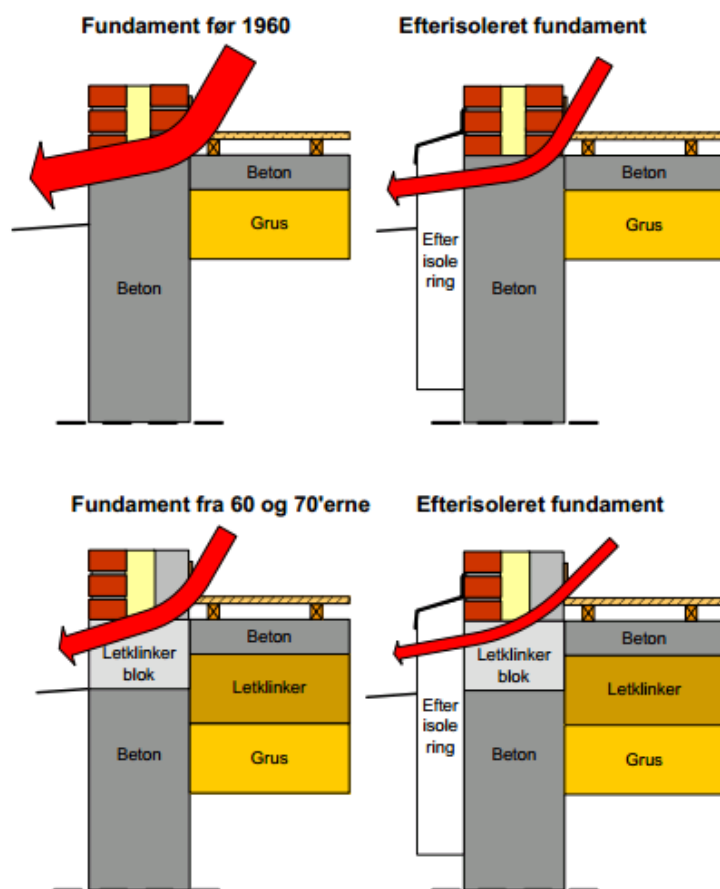


Figur 4: Indbygningslinietalet for vinduer og døre – her vist med kuldebroafbrydelse.

2.3 Varmetab ved overgang mellem fundament, væg og terrændæk

Det største linietalet/kuldebro findes typisk i samlingen mellem fundament, ydervæg og terrændæk. I ældre byggeri vil fundamentet ofte være af beton og direkte sammenstøbt med terrændækket. I byggeri fra 1960'erne og 1970'erne er det øverste af fundamentet ofte udført med letklinkerblokke, som reducerer kuldebroen noget.

Figur 5 illustrerer grafisk kuldebroen for fundamenter i beton samt forbedrede fundamenter med letklinkerblokke øverst. Vejledende linietabsværdier for ydervægsfundamenter kan ses af tabellen i figur 6. Alt efter om der er benyttet letklinkerblokke eller ej, ligger det typiske linietalet fra ca. $0.24 - 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 5: Grafisk illustration af kuldebro ved fundament og betydning af letklinkerblokke samt udvendig isolering [4].

Linietab for ydervægsfundamenter			
Lbr.	Beskrivelse	ψ psi	Note
10.1	Betonvæg på betonfundamenter	0,8	Klinkegulv*
10.2	Tegl-, letbeton- eller skeletvæg på betonfundament	0,70	Klinkegulv*
10.3	Tegl-, letbeton- eller skeletvæg på letklinkerfundament	0,24	Klinkegulv*
10.4	Tegl-, letbeton- eller skeletvæg på letklinkefundament med midterisolering	0,18	Klinkegulv *
10.5	BR08 vægisolering	0,15	Klinkegulv*
10.6	Højisoleret væg	0,12	Klinkegulv*
10.7	Kælderydervægsfundament i letbeton	0,3	Klinkegulv*

* Tirægulv over betonpladen reducerer linjetabet med ca. 10 %.

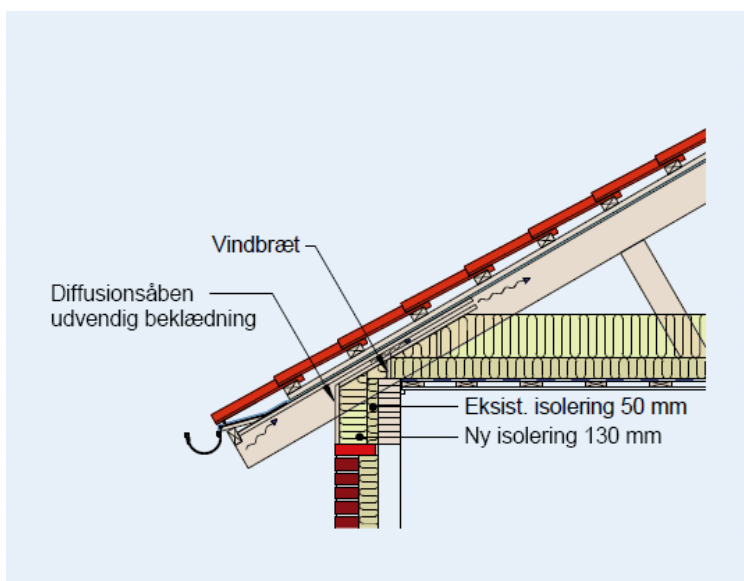
Figur 6: Linietab for ydervægsfundamenter [1]

2.4 Varmetab ved tagrem

Synlige tagremme ses ofte i byggeri fra 1960'erne og 1970'erne. Figur 7 viser et klassisk hus fra 60'erne med synlig tagrem. Ved efterisolering af ydervæg (og loft) er det oplagt at efterisolere tagremmen. Det kan både ske fra indvendig og udvendig side. Figur 8 viser et eksempel på isolering af tagrem udefra.



Figur 7: Hus fra 60'erne med synlig tagrem [4]



Figur 8: Isolering af tagrem udefra [5]

3. Renoveringskoncept

Renoveringskonceptet angriber de i kapitel 2 beskrevne typiske kilder til varmetab via følgende tiltag:

- 1) Gammel isolering med ringe isoleringsevne fjernes – ofte vil der være områder helt uden isolering pga. sammenfalden isolering. Ny effektiv isolering med meget lav varmeledningsevne monteres.
- 2) Murbrokker, mørtelrester mv. kan fjernes fra hulmuren – de leder til ekstra kuldebro-effekter, da isolering kortsluttes. Især i bunden af hulmuren ved fundamentet kan der ligge mørtelrester og murbrokker.
- 3) Udmuringer rundt om vinduer og døre kan fjernes helt eller delvis (skæres bort). Dette reducerer både varmetab igennem udmuringen samt forbedrer linietaf ψ_{sa} for vindue/dør-parti.
- 4) Fundament isoleres udvendigt ^{*ad 1)} for at reducere kraftig kuldebro. Især betonfundamenter uden letklinkerblokke øverst har meget stort varmetab og giver kolde hjørner.
- 5) Såfremt tagrem er udført med ringe isolering, foretages udvendig isolering, såfremt dette er muligt ^{*ad 1)}

Ad 1: Punkt 4 og 5 er ikke en direkte del af renoveringskonceptet men det er oplagt at udføre disse forbedringer.

4. Energibesparelser

I det følgende vises tabeller over energibesparelse ved at anvende den udviklede løsning. Den skal pointeres, at energibesparelser er vejledende estimerer ud fra beregninger og derfor behæftet med usikkerhed. Faktorer som rumtemperatur og brugsmønster påvirker kraftigt det reelle energiforbrug.

4.1 Besparelse ved vægisolering

I renoveringskonceptet benyttes EPS-søjler til afstivning af den renoverede væg. I beregninger af U-værdier og årlig besparelse i kWh pr. m² vægareal (tabel figur 9), antages EPS-søjlerne at omfatte 10 % af vægarealet, de resterende 90 % udføres med enten Kingspan isolering med $\lambda=0.020$ eller tilsvarende, mineraluld-isolering med $\lambda=0.034$ eller polystyren-isolering med $\lambda=0.031$.

Til EPS-søjlerne er der taget udgangspunkt i S80 isolering ($\lambda = 0.038$).

U-værdi beregningerne medtager ikke isoleringseffekten af den bløde isolering, som placeres mellem hårde isoleringsplader og bagvæg og som sikrer mod luftcirkulation. Isoleringen udføres typisk af 20-30 mm blød isolering (fx glasuldisolering), som sammentrykkes ved påmontage af de hårde isoleringsplader.

Tabellen viser teoretisk mulig isoleringstykkelse. Det er dog vigtigt at beholde mindst 10 mm luft til henholdsvis blød isolering, murbinder med fastgørelsesplade til isoleringsplade samt til at tage unøjagtigheder i murværket (som det ses af tabellen, er gevinsten ved at isolere med 150 mm Kingspan frem for 140 mm yderst minimal, kun 1 kWh/m²; derfor anbefales 15-20 mm i luft for at give en hurtig og problemfri montage).

Som eksempler på brugbar hård kompakt isolering kan nævnes Kingspan-isolering K8-plader ($\lambda = 0.020$) med fals for at opnå god samling mellem isoleringsplader. Se datablad for Kingspan på figur 10.

Jf. tabellen kan følgende ses:

- For en uisoleret 29 cm væg, som i forbindelse med renoveringen opgraderes til en 35 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 127 – 134 kWh pr. m² ydermur.

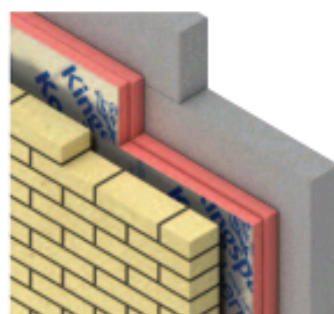
- For en uisoleret 29 cm væg, som fastholdes som 29 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 123 kWh pr. m² ydermur.
- For en hulmursisoleret 29 cm væg, som i forbindelse med renoveringen opgraderes til en 35 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 38 – 45 kWh pr. m² ydermur.
- For en hulmursisoleret 29 cm væg, som fastholdes som 29 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 27 – 34 kWh pr. m² ydermur.

Eksisterende væg	Ny væg	Teoretisk hulrum [mm]	Anvendt tykkelse [mm]	U-værdi nu [W/m ² *K]	U-værdi efter [W/m ² *K]	Besparelse pr. m ² vægareal [kWh/m ²]
29 cm væg uden hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	150 mm King	1,52	0,14	134
29 cm væg uden hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	140 mm King	1,52	0,15	133
29 cm væg uden hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	150 mm mineraluld λ34	1,52	0,21	127
29 cm væg uden hulmursisolering	29 cm væg - 78 mm facadesten	102 mm	80 mm King	1,52	0,25	123
29 cm væg uden hulmursisolering	29 cm væg - hulmursisoleret	72 mm	Granulat	1,52	0,6	89
29 cm væg med hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	150 mm King	0,6	0,14	45
29 cm væg med hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	140 mm King	0,6	0,15	44
29 cm væg med hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	150 mm mineraluld λ34	0,6	0,21	38
29 cm væg med hulmursisolering	Opgradering til 35 cm væg - 78 mm facadesten	162 mm	150 mm polystyren λ31	0,6	0,19	40
29 cm væg med hulmursisolering	29 cm væg - 78 mm facadesten	102 mm	80 mm King	0,6	0,25	34
29 cm væg med hulmursisolering	29 cm væg - 78 mm facadesten	102 mm	100 mm mineraluld λ37	0,6	0,32	27

Figur 9: U-værdier og årlige beregnede besparelser ved forskellige vægløsninger

Kooltherm® K8 Hulmursisolering

SUPER EFFEKTIV ISOLERING TIL HULMURE



Produktdata

GENERELT	
Beskrivelse	Stiv modificeret harpiks thermoset-isoleringsplade, belagt med kompositfolie med lav emissivitet, på begge sider
Anvendelse	Isolering til hulmur, faldet kant anvendes i et lag
TERMIK	
Varmeledningsevne	λ_0 -værdi 0,021 W/m·K (tykkelse < 45 mm) λ_0 -værdi 0,020 W/m·K (tykkelse 45-120 mm)
TEKNISK	
Densitet	Ca. 35 kg/m ³
Kompressionsstyrke @ 10% kompression (EN 826)	≥ 100 kPa
Dimensionel stabilitet (EN 1604) 48 timer	≤ 1,5% (70°C & 90% RH – længde & bredde) ≤ 1,5% (70°C – længde & bredde) ≤ 3,0% (70°C – tykkelse) ≤ 1,5% (-20°C – længde & bredde)
Diffusionsmodstandsfaktor	38 μ
MILJØ	
BREEAM Green Guide klassifikation *	A+
BRAND	
Reaktion på brand (EN 13501-1)	F (ikke testet)
Slut brug klassifikation (EN 13501-1 / EN 15715)	B-s1, d0 (testet i brug)
STØRRELSER OG MÅL	
Pladestørrelse	1200 x 600 mm
Kanter	Faldet på alle sider
Emballage	Pakket i folie

* For relevante produkter og aktuel certificering, venligst besøg www.breeam.co.uk/greenguide eller kontakt vores salgskontor.

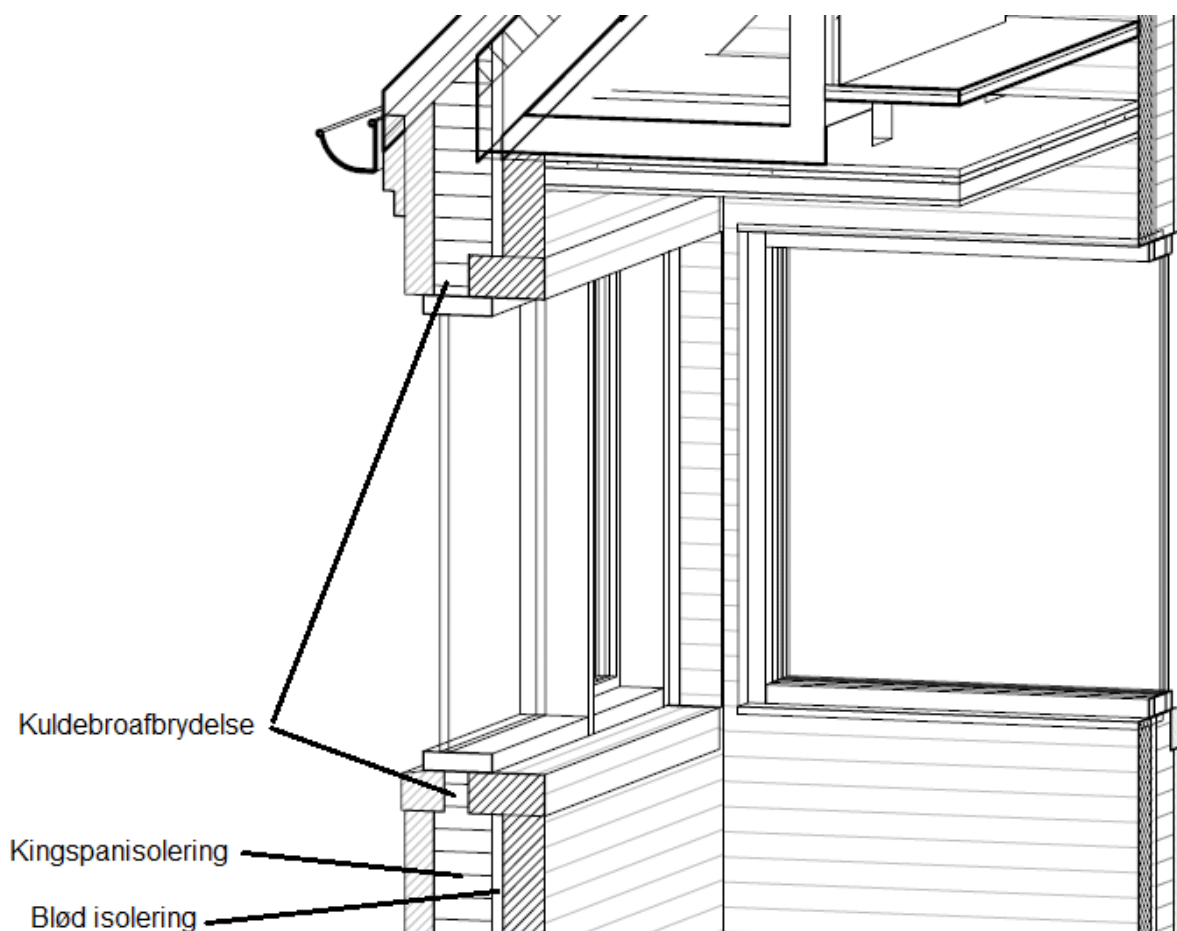
Produkter

DB nummer	Tykkelse (mm)	R-værdi (m ² ·K/W)	Styk (plader/pakke)	Indhold (m ² /pakke)	Lager
1660563	41	1,95	12	8,64	ja
1660564	50	2,50	10	7,20	ja
1660565	63	3,15	8	5,76	ja
1660566	74	3,70	8	5,76	ja
1660571	84	4,20	6	4,32	ja
1660572	95	4,75	5	3,60	ja
1660573	105	5,25	4	2,88	ja
1660574	117	5,85	4	2,88	ja
1660575	126	6,00	4	2,88	ja
1660576	147	7,00	4	2,88	ja

Figur 10: Datablad for Kingspan isolering K8 med fals

4.2 Besparelse ved optimeret vindue/dør-indbygning

Renovering af ydervæggen eliminerer den kraftige kuldebro ved vinduer og døre og reducerer indbygningslinietab ψ_{sa} fra typisk 0.11 W/m²*K til ca. 0.02 W/m²*K. Dette giver en besparelse pr. meter indbygning (eksempelvis pr. meter vinduesramme) på ca. 8 kWh/m. I et hus med eksempelvis 60 m vinduesramme, fås en årlig varmebesparelse på ca. 480 kWh. Figur 11 viser et eksempel på den indbygningsløsning, som er benyttet i demonstrationsprojektet omtalt i kapitel 6.



Figur 11: Forbedring af vindues-/dørindbygninger

4.3 Besparelse ved fundamentsisolering

I de tilfælde hvor en 29 cm mur udvides til 35 cm dvs. skubbes udad 6 cm, anbefales en sokkelisolering. Udover en energibesparelse, opnås endvidere højere indvendige overfladetemperaturer, hvilket reducerer risikoen for skimmelvækst. Indeklimaforhold er beskrevet yderligere i kapitel 5.

I det følgende vises et eksempel på en fundamentsløsning med massiv beton uden lecablokke. Terrændæk består af trægulv øverst på strøer, 50 mm isolering ovenpå betonplade, under betonplade 200 mm singels. U-værdi for terrændæk = $0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$. Væggen har hulmursisolering.

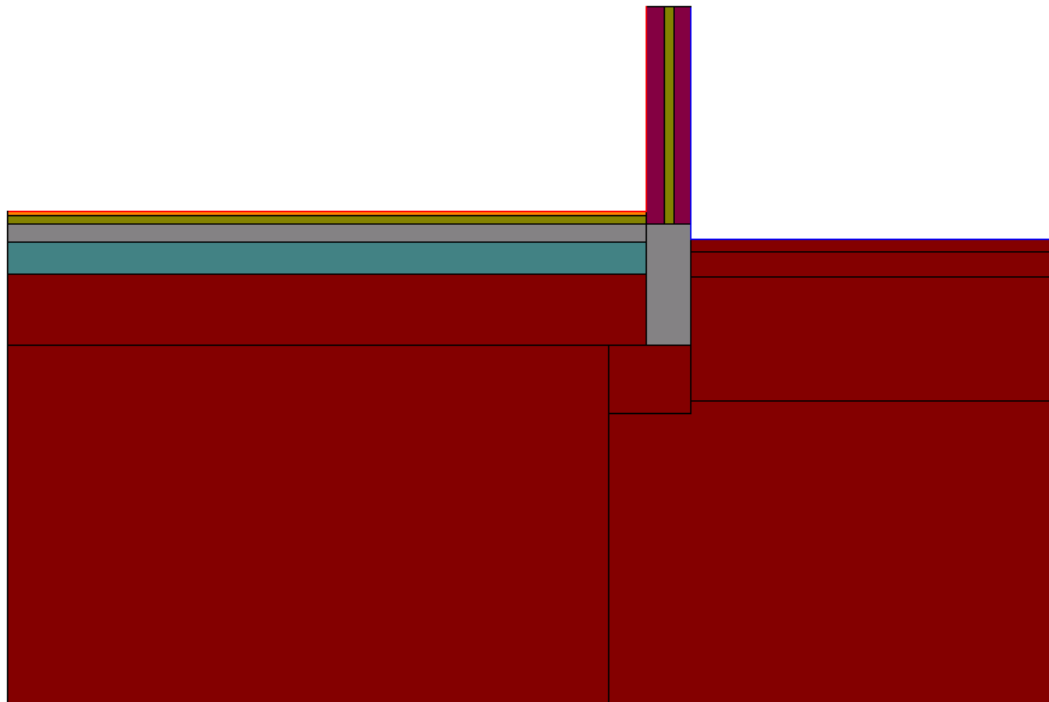
I den viste løsning isoleres med 50 mm Polystyren $\lambda=0.031$ ned til en dybde på 600 mm. Sokkelisoleringen kan udmærket være tykkere end 50 mm (også tykkere end væggen) men det kræver så en affasning øverst for at sikre at regnvand kan løbe af. Formuren er understøttet af stålinkeljern påboltet fundamentet. For at undersøge betydningen af stålinkeljernet (stålinkeljernet giver kuldebroeffekt), er der udført beregning for en løsning uden vinkeljern.

Den årlige besparelsen pr. løbende meter fundament ved at isolere med 50 mm er beregnet til 7 kWh. Har huset et betonfundament på 60 m, opnår man derfor en besparelse på 420 kWh årligt.

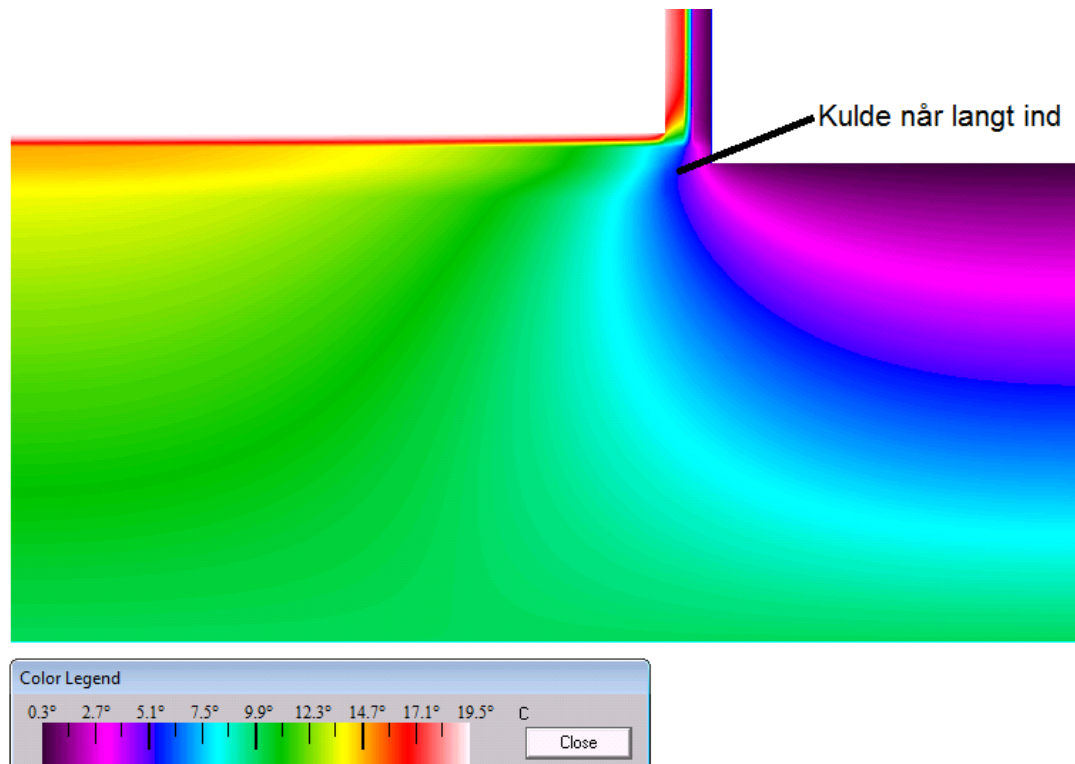
Såfremt man kan understøtte formuren uden stålinkeljern (eventuel via beslag med ekstrem lav varmeledningsevne) vil den årlige besparelsen pr. løbende meter fundament ved en isolering på 50 mm ligge på 10 kWh. Har huset et betonfundament på 60 m, opnår man derfor en besparelse på 600 kWh årligt.

Har huset et nyere fundament med 40 cm lecablokke øverst, er besparelsen ved at udføre sokkelisolering yderst begrænset pga. den allerede gode isolering (ca. 2-3 kWh årligt pr. løbende meter fundament).

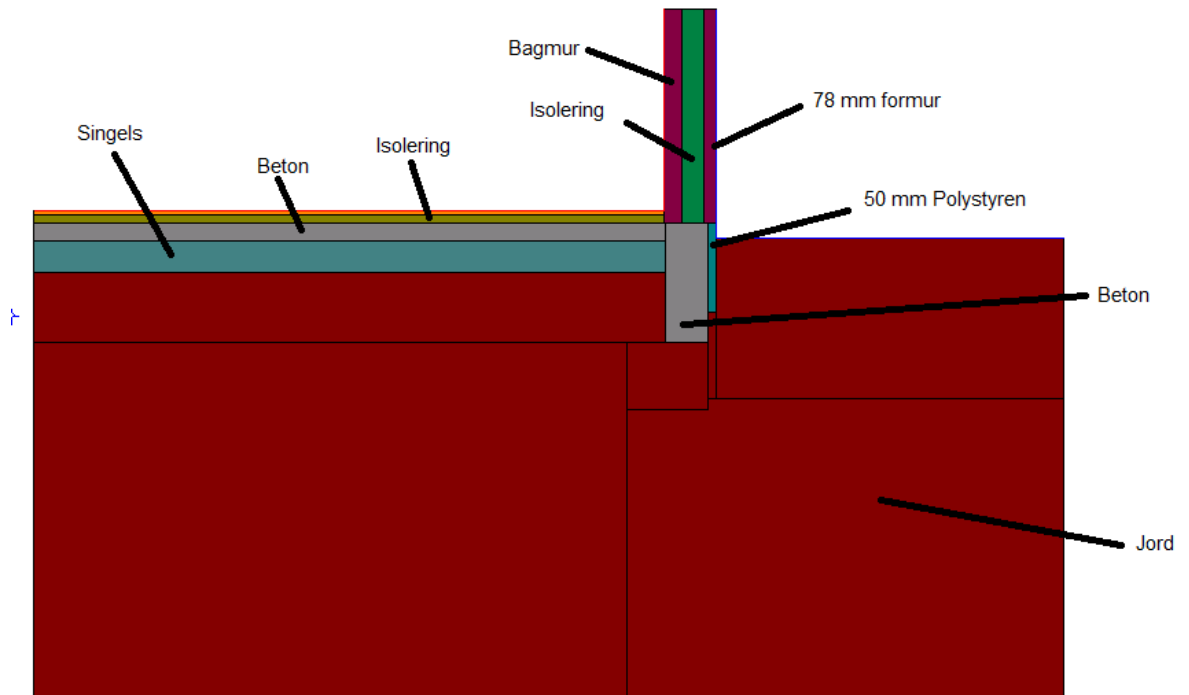
Der henvises til Videncenter for Energibesparelser i Bygninger, hvor yderligere løsninger til isolering af yderfundament beskrives og der angives estimater for besparelse.



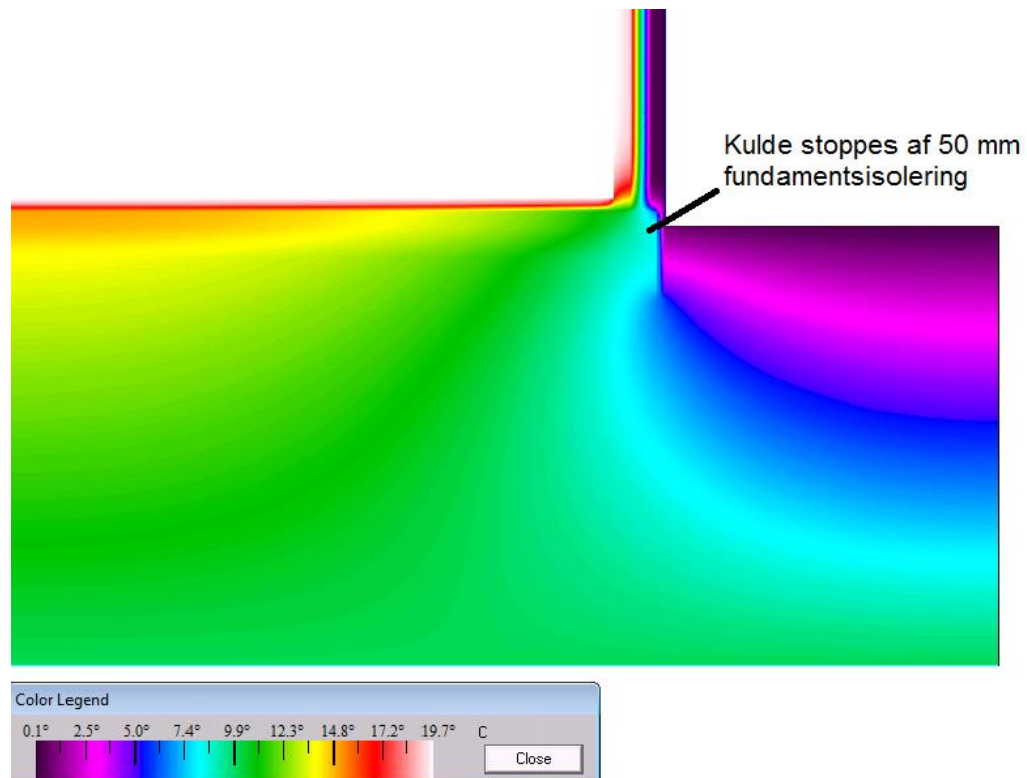
Figur 12: Udgangspunkt for kuldebroanalyse – standard 29 cm hulmur. Linietaf $\psi = 0.63$ W/m*K



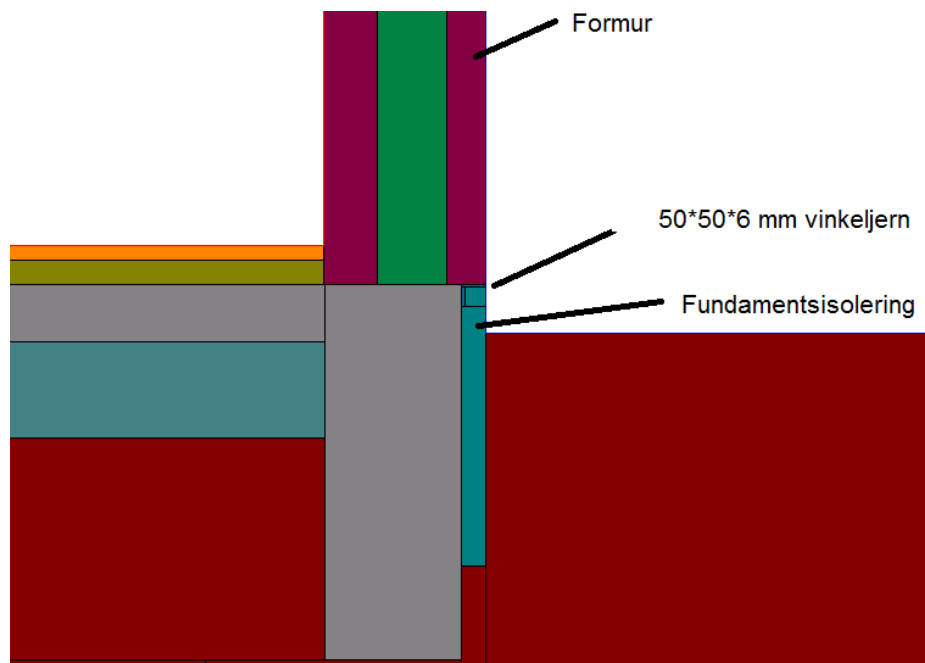
Figur13: Udgangspunkt for kuldebro-analyse – standard 29 cm hulmur – temperaturplot. Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.



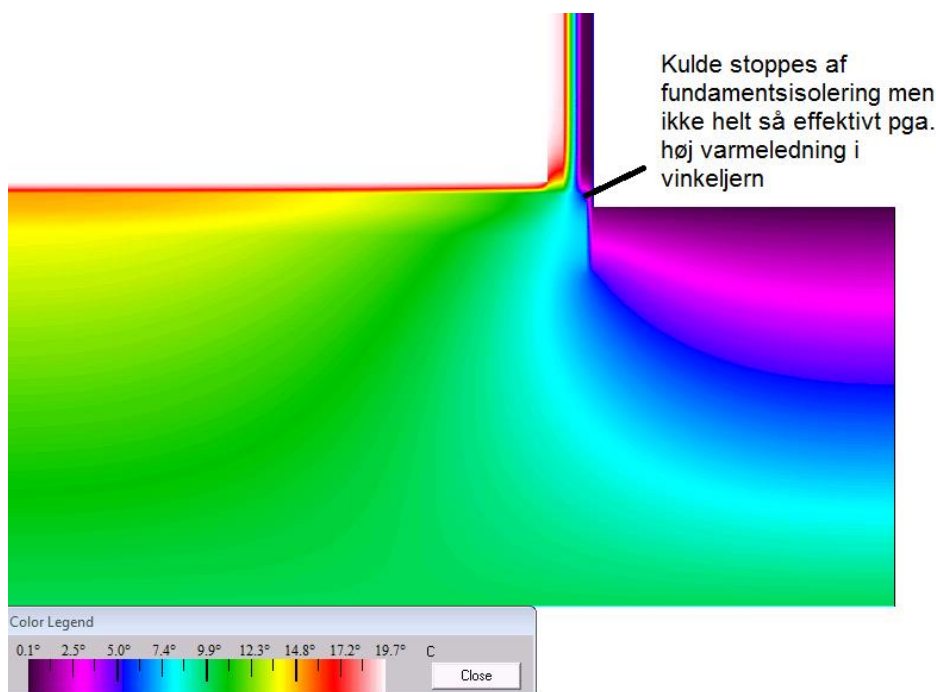
Figur 14: Renoveret mur (35 cm) samt fundamentsisolering. Vinkeljern ikke inkluderet i model dvs. der ses bort fra varmetab fra vinkeljern. Linietab $\psi = 0.48 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figur 15: Renoveret mur (35 cm) samt fundamentsisolering (vinkeljern ikke medtaget). Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.



Figur 16: Renoveret mur (35 cm) samt fundamentsisolering. Vinkeljern til understøtning af formur medtaget i model. Linieta ψ = 0.52 W/m*K



Figur 17: Renoveret mur (35 cm) samt fundamentsisolering (vinkeljern medtaget). Lidt ringere isolering af fundament. Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.

4.4 Besparelse ved isolering af tagrem

Der henvises til Videncenter for Energibesparelser i Bygninger, løsninger til isolering af tagrem beskrives og der angives estimater for besparelse (se også tabel nedenfor).

Energibesparelse

Eksisterende isoleringstykkelse	Ny samlet isoleringstykkelse	
	Minimum Indvendig 120 mm isolering	Minimum Udvendig 180 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m ² pr. år	
0 mm	68	75
50 mm	20	26
100 mm	-	10
125 mm	-	6

Figur 18: Estimeret besparelse ved at isolere tagrem [4]

5. Indeklimamæssige forbedringer

Udover den varmemæssige besparelse, vil renoveringen medføre en stærkt forbedret termisk komfort pga. højere og mere ensartede temperaturer på de indvendige overflader. Især hvis renoveringen omfatter den fulde "pakke" dvs. renovering af ydervæg, fundamentsisolering, tagrem- og loftsisolering, nye energivinduer, kan der opnås fine termiske forhold ikke langt fra det man opnå i nye lavenergihuse anno 2015. Eneste markante akilleshæl er terrændækket, hvor efterisolering til dagens standard vil kræve omfattende arbejde.

Figur 19 viser forskellen i termisk indeklima mellem et gammelt hus med meget ringe isolering (ingen hulmursisolering) og et moderne lavenergihus som et passivhus. Udetemperaturen er -10 grader, indetemperaturen 22 grader. Ved at benytte sig af 3-lags lavenergivinduer samt U-værdier for klimaskærmen på $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ opnås et godt termisk indeklima med meget ensartede temperaturer.

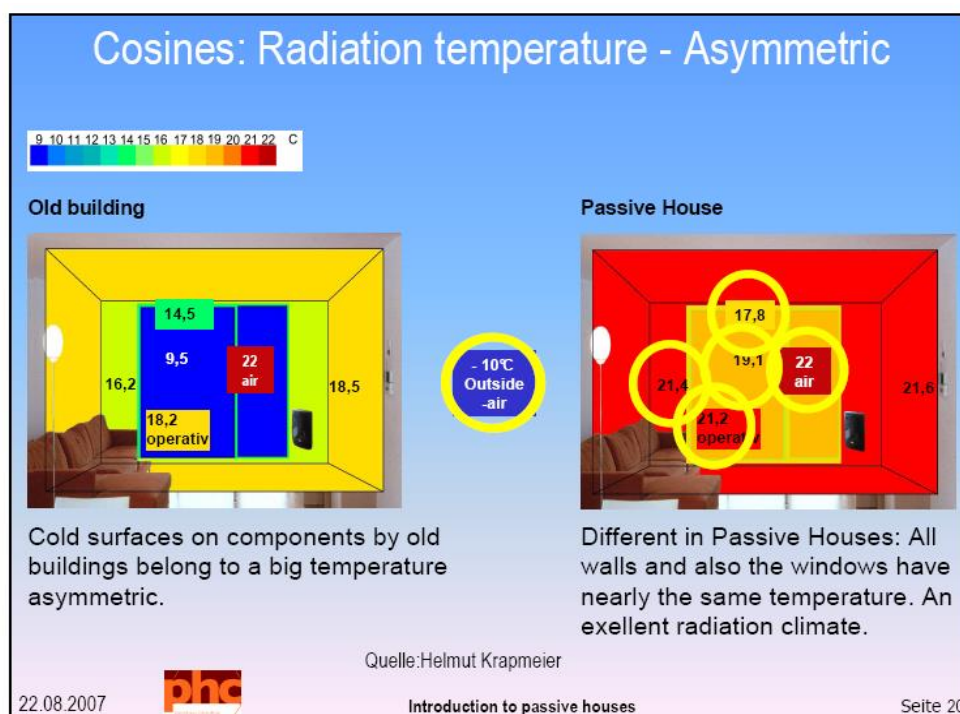
Ensartede temperaturer vil også være tilfældet for huse renoveret efter den udviklede metode; dog vil temperaturer på gulvet og i samlingerne mellem terrændæk og fundament ikke helt leve op til dagens standard men trods alt tæt på. Med en fundamentsisolering på 50 mm som beskrevet i kap.4.3, kan der for et terrændæk med en relativ ringe U-værdi $= 0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$ opnås en overfladetemperatur på gulvet på ca. 19.3 i en afstand fra ydervæggen på 0.6 m samt en overfladetemperatur i hjørnet mellem væg og gulv på 15.7 grader – se figur 20. Disse overfladetemperaturer vil både medvirke til bedre indeklima samt god sikkerhed imod fugtrelaterede skader (fx skimmel) i samlingen mellem væg og gulv.

For den ikke renoverede løsning opnås en overfladetemperatur på 19.2 på gulvet i en afstand fra ydervæg på 0.6 m samt en beregnet overfladetemperatur i hjørnet mellem væg og gulv på 14.0 grader – se figur 21. Reelt vil overfladetemperaturen i hjørnet ofte være 1-2 grader lavere end beregnet pga. ekstra kuldebroeffekter fra gammel mørtel mv., hvilket i uheldigste fald kan medføre fugtskader.

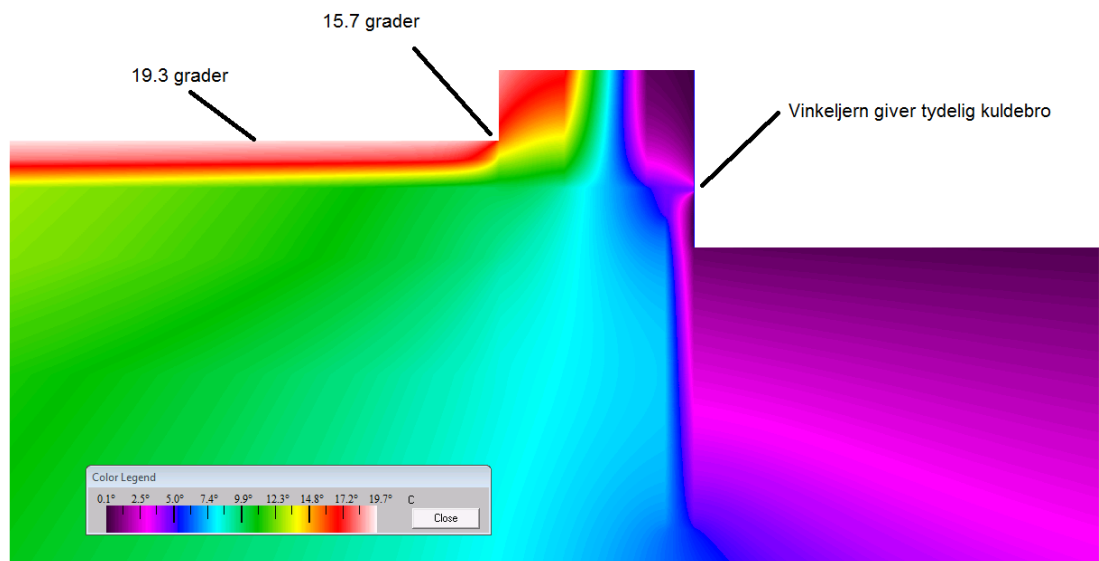
Såfremt man kan understøtte formuren med beslag med lav varmeledningsevne (eller helt undgå beslag), kan temperaturen i hjørnet mellem terrændæk og væg hæves fra 15.7 grader til 16.2 grader, se figur 22.

Passivhaus Institut i Darmstadt arbejder intens med løsninger til renovering af den eksisterende boligmasse og har i den forbindelse lavet interessante studier af typiske overfladetemperaturer i byggeri. Figur 23 viser estimer for overfladetemperaturer i en ringe isoleret bygning (60 mm vægisolering) ved en udetemperatur på -5 grader; flere steder ligger overfladetemperaturer på vægge på ca. 12-13 grader, hvilket under de givne forhold giver en markant risiko for skimmel, især i områder med ringe ventilation fx bag skabe. Det ses også at kravet til den relative fugtighed skal være < 45 % af hensyn til minimering af risiko for skimmelvækst, hvilket kun kan opfyldes ved omhyggeligt at ventilere/udlufte.

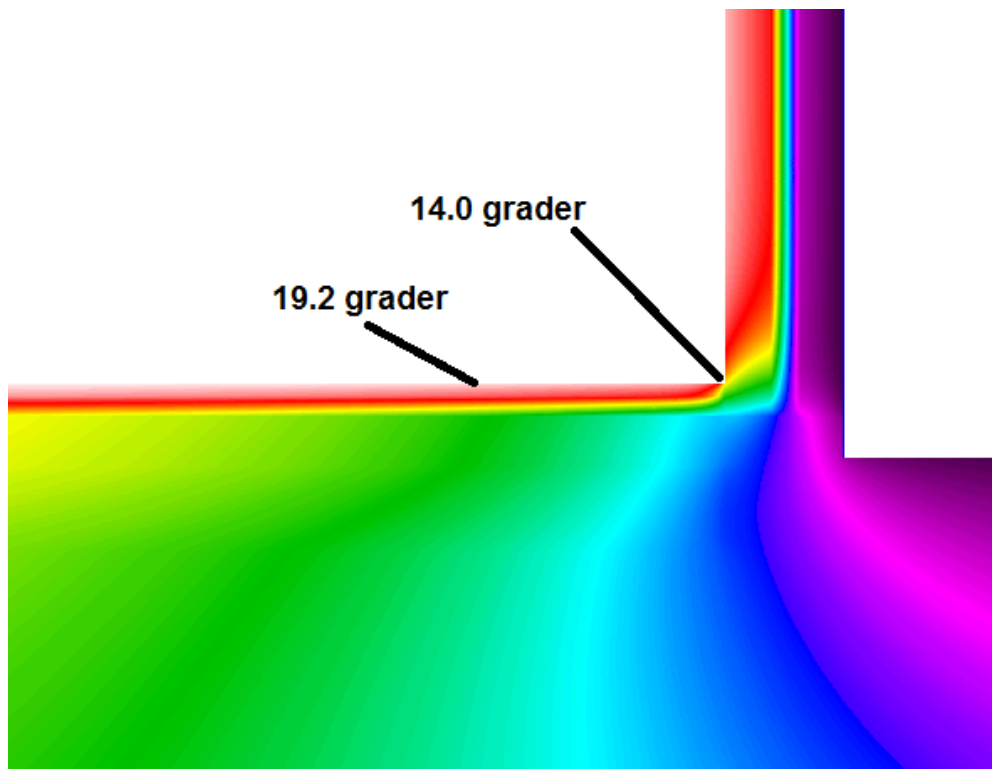
Figur 24 viser estimer for overfladetemperaturer i en godt isoleret bygning (200 mm mineraluld-isolering for vægge) ved en udetemperatur på -5 grader; De tidligere kritiske vægtemperaturer ligger nu > 16 grader, hvilket eliminerer risikoen for skimmel under normale forhold. Det ses også at kravet til den relative fugtighed skal være < 62 % af hensyn til minimering af risiko for skimmelvækst, hvilket kan opfyldes med moderat ventilation/udluftning.



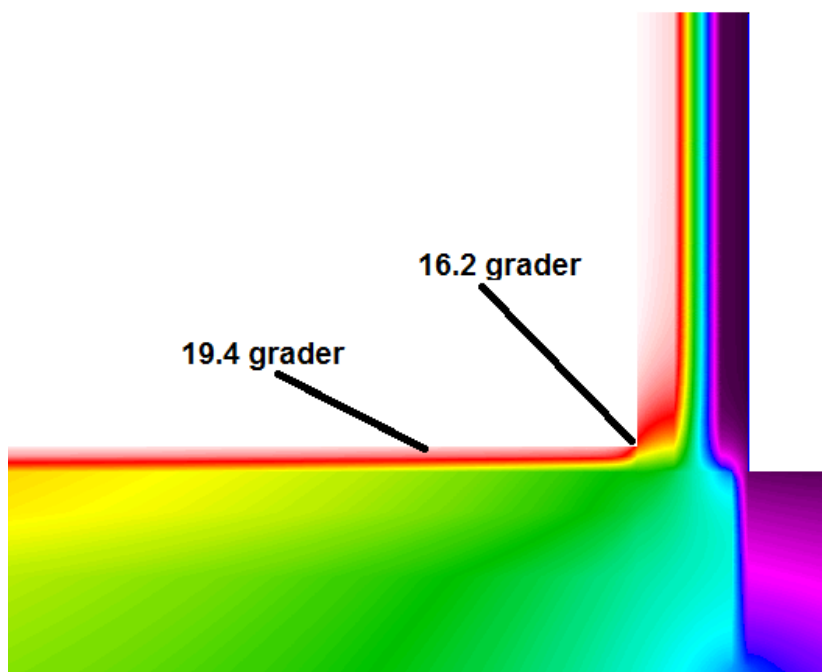
Figur 19: Forskel i termisk indeklima for gammel dårligt isoleret bygning versus højisoleret bygning [6].



Figur 20: Overfladetemperaturer i bygning med renoveret ydervæg og isoleret fundament. Vægtykkelse forøget fra 29 cm til 35 cm. Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.

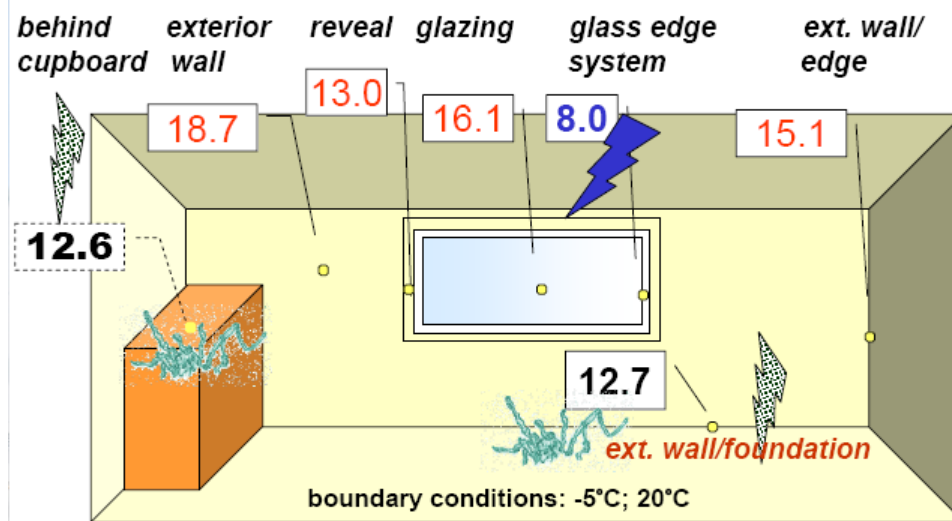


Figur 21: Overfladetemperaturer i ikke renoveret bygning. 29 cm væg. Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.



Figur 22: Overfladetemperaturer i bygning med renoveret ydervæg og isoleret fundament. Vægtykkelse forøget fra 29 cm til 35 cm. Indetemperatur = 20 grader. Udetemperatur = 0 grader.

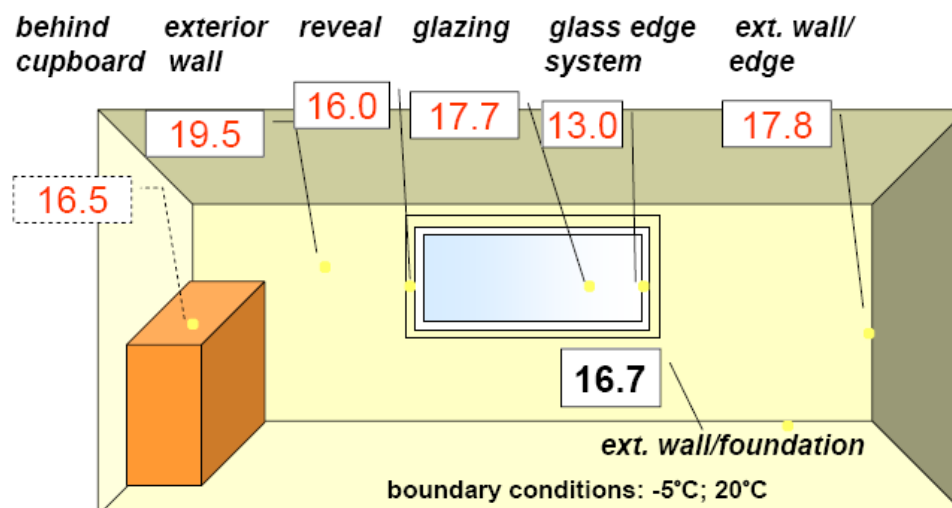
Old building conventionally insulated: 60 mm external insulation, new conventional window, insulated window frame



Improved situation: relevant temp. on surface at 12°C behind furniture + at foundation: remaining problems
relative humidity in rooms has to be permanently < 45%

Figur 23: Overladetemperaturer i dårligt isoleret bygning [7].

Old building insulated with ph-standard:
200 mm external insulation, new ph-window



relevant temperature of surfaces > 16°C: $\phi < 62\%$.
no problem behind cupboard

Figur 24: Overfladetemperaturer i renoveret bygning [7].

6. Demonstrationsprojekt – Saturnvej 17

6.1 Beskrivelse af hus og energiforbrug

For at afprøve renoveringskonceptet blev det besluttet at energiforbedre pågældende hus i sommeren 2014.

Huset har et etageareal på 130 m^2 . Huset er udført med en uopvarmet kælder (kælderen har efter isolering af kældervæg fået en lidt højere indetemperatur, vurderingsmæssigt 1.5 grader; kælder får varmetilskud fra fyr, VVB, rør samt gennem stuedæk). Ejeren af huset har oplyst et olieforbrug på 2000 liter årligt samt et forbrug på 1000 kg træbriketter. Baseret på disse oplysningerne er energiforbruget til rumopvarmning og brugsvand derfor ca. 24000 kWh årligt. Ejeren har oplyst, at en del af huset ikke er opvarmet helt til 20 grader (der bor 2 personer i huset).

Forbruget til varmt vand er estimeret til 1600 kWh årligt for 2 personer.

Bygningen årlige netto rumvarmebehov er derfor ca. $24000 - 1600 = 22400$ kWh.

Baseret på erfaringer fra lignende boliger vil rumvarmeforbruget for pågældende bygning ligge på ca. 185 kWh/m^2 ved fuld udnyttelse dvs. rumtemperatur på 20 grader. Dette vil medføre et forbrug til rumvarme på $185 \cdot 130 \text{ m}^2 = 24000 \text{ kWh}$ årligt. Som det ses er der en pæn overensstemmelse med det reelle rumvarmebehov på ca. 22400 kWh



Figur 25: Saturnvej 17, Thyholm

6.2 Beskrivelse af renoveringstiltag og energibesparelser

Primær fokus var nye facader med kraftig isolering; det blev dog i projektet besluttet at lave en omfattende renovering bestående af følgende elementer:

- Renovering af 96.1 m^2 ydervæg – eksisterende væg udført som 29 cm hulmur med hulmursisolering ($U\text{-værdi} \approx 0.6 \text{ W/m}^2\text{*K}$) – ny 35 cm væg med 140 mm Kingspan-isolering ($U\text{-værdi for renoveret væg} = 0.15 \text{ W/m}^2\text{*K}$)

Besparelse pr. m^2 væg = 44 kWh (figur 9)

Samlet årlig besparelse = 4228 kWh

- Isolering af 25 m^2 synlig kældervæg ind til kælder – isolering med 50 mm polystyren ($U\text{-værdi forbedret fra } 3.0 \text{ W/m}^2\text{*K til } 0.44 \text{ W/m}^2\text{*K}$). Temperatur i kælder er vurderet til at være ca. 1.5 grader højere efter isolering, hvilket reducerer varmetab igennem stuedæk til kælder. $U\text{-værdi for stuedæk}$ skønnet til $1 \text{ W/m}^2\text{*K}$.

Samlet årlig besparelse = 529 kWh

- Isolering af 180 m² loftsareal – isoleringstykkelse øget fra 120 mm til 245 mm (kombineret λ_{34} og λ_{20} isolering) – U-værdi forbedret fra 0.32 W/m²*K til 0.14 W/m²*K.

Besparelse pr. m² loft = 18 kWh

Samlet årlig besparelse = 3240 kWh

- Forbedret indbygning af vinduer og døre – reduktion af indbygningslinietab ψ_{sa} fra 0.11 W/m*K til 0.02 W/m*K. I alt 59.7 m.

Besparelse pr. m indbygning = 8 kWh

Samlet årlig besparelse = 478 kWh

- Nye lavenergivinduer med 3-lags glas (Ideal Combi) – i alt 24.3 m². U-værdi forbedret fra 2.8 W/m²*K til 1.0 W/m²*K

Besparelse pr. m² vindue = 130 kWh

Samlet årlig besparelse = 3146 kWh

Samlet årlig estimeret besparelse udgør derfor = 11621 kWh

NB: Den årlige estimerede besparelse er baseret på en rumtemperatur overalt på 20 grader. Som tidligere nævnt er dette ikke tilfældet i bygningen (1 grads reduktion i rumtemperatur giver en reduktion i rumvarmeforbrug på typisk 5-8 %). For at kompensere for lidt lavere temperaturer i visse rum, reduceres den årlige estimerede besparelse derfor til **11000 kWh**.

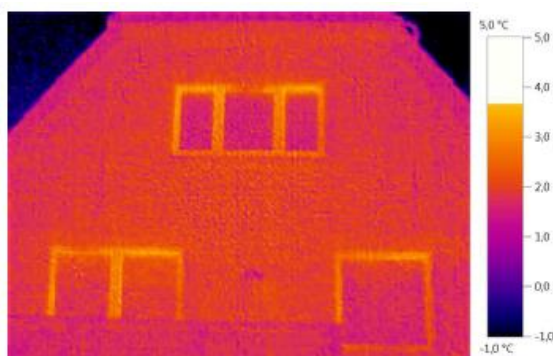
Det estimerede årlige rumvarmeforbrug efter renoveringen forventes derfor at ligge på følgende:

22400 kWh – 11000 kWh = 11400 kWh (88 kWh/m² $\approx$ reduktion af energiforbrug til rumvarme på 49 %)

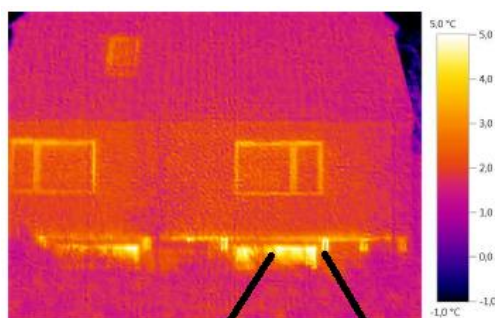
6.3 Termografi

Der er udført termografi for bygningen Saturnvej 17 efter renoveringen. Det overordnede indtryk er meget tilfredsstillende; eksempelvis er typiske kuldebroer omkring vinduer og døre helt eliminerede. Termograferingen har dog også klart understøttet beregningerne i kap. 4 og 5, som viser en klar kuldebro ved vinkeljern til understøtning af ny formur; bedre beslag eller anden metode til understøtning af ny formur kan med fordel udvikles.

Der er ligeledes udført termografi for et hus på Ålkærvej 19, Sønderbjerg for at lave en sammenligning med et ikke renoveret hus. Huset er opbygget efter samme tegningsgrundlag som Saturnvej 17 (dog uden kælder) og kan derfor bruges til sammenligning, primært ved vindues- og dørindbygninger. Som det ses af figur 29 og 30 er der markante kuldebroer ved vinduer/døre fra udmuringer.



Figur 26: Saturnvej 17, Sydfacade

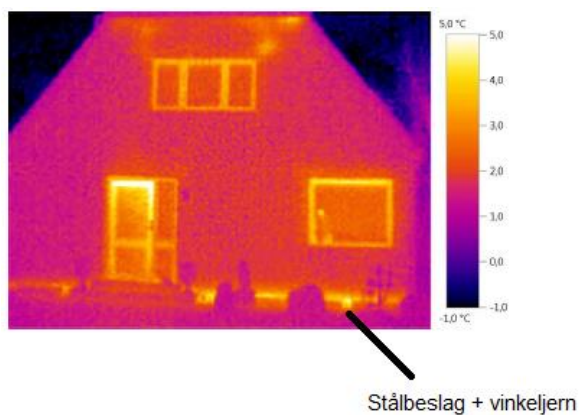


Gamle termovinduer

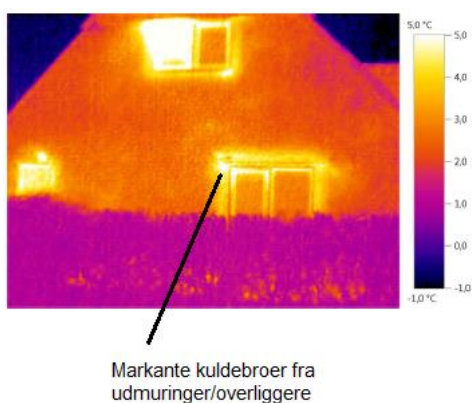
Stålbreslag og vinkeljern til understøttelse af formur giver kuldebro



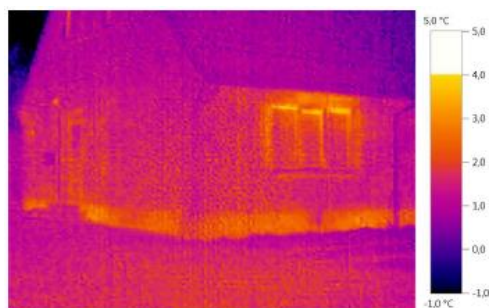
Figur 27: Saturnvej 17, Vestfacade – ingen kuldebroer rundt om vinduer/døre i stueplan. Kuldebro fra beslag ved understøtning af formur fremstår dog tydelig.



Figur 28: Saturnvej 17, Nordfacade – ingen kuldebroer rundt om vinduer/døre. Vægisolering på første sal over vindue er ikke udført optimalt og viser kuldebro.



Figur 29: Ålkærvej 19 - østfacade – markante kuldebroer rundt om vinduer



Figur 30: Ålkærvej 19 - sydfacade – markante kuldebroer rundt om vinduer samt ved fundament.

7. Konklusion

Renovering efter den udviklede metode giver både en betragtelig energibesparelse samt forbedret indeklima. Reduktionen i energiforbrug og forbedringen af indeklima er naturligvis afhængig af bygningens tilstand før renoveringen.

U-værdien for en renoveret 29 cm ydervæg kan reduceres til 0.14 – 0.15 W/m²*K, hvilket svarer fuldt ud til niveauet for nye lavenergihuse.

Indbygningsslinietab ψ_{sa} ved vinduer og døre kan reduceres til 0.02 W/m, hvilket også svarer fuldt ud til niveauet for nye lavenergihuse.

Kapitel 4 giver estimater for årlig energibesparelse ved tiltag, som er knyttet til renovering af ydervæggen. Som uddrag kan følgende nævnes:

- For en uisoleret 29 cm væg, som i forbindelse med renoveringen opgraderes til en 35 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 127 – 134 kWh pr. m² ydermur.
- For en uisoleret 29 cm væg, som fastholdes som 29 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse på 123 kWh pr. m² ydermur.
- For en hulmursisoleret 29 cm væg, som i forbindelse med renoveringen opgraderes til en 35 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 38 – 45 kWh pr. m² ydermur.
- For en hulmursisoleret 29 cm væg, som fastholdes som 29 cm væg, ligger den årlige typiske besparelse fra 27 – 34 kWh pr. m² ydermur.
- Forbedret indbygning af vinduer og døre (eliminering af kuldebroer fra udmuringer) giver en estimeret besparelse på 8 kWh pr. m indbygningsslængde.
- 50 mm fundamentisolering giver en estimeret besparelse på 7 kWh pr. m fundament.

Kapitel 6 beskriver energirenovering af et hus på i alt 130 m², hvor det nye renoveringskoncept demonstreres. Renoveringen var oprindeligt tiltænkt primært at gå på renovering af husets ydervæg men det blev besluttet at stille efter en tilnærmelsesvis fuld renovering af klimaskærmen (væg, tag, fundament, nye vinduer). Renoveringen forventes at give en årlig reduktion af

husets energiforbrug til rumvarme på 11000 kWh svarende til en reduktion på 49 %.

Ser man alene på besparelsen ved at renovere ydervæggen dvs. ny opgraderet ydervæg med lav U-værdi, optimal vindues/dørindbygning og reduktion af varmetab fra fundamentsområdet, vil et typisk parcelhus fra perioden 1960-80 med eksisterende hulmursisolering, opnå en besparelse i rumvarmeforbrug på ca. 20 %.

Kapitel 5 behandler indeklimamæssige forbedringer. Renoveringen giver mere ensartede temperaturer, hvilket minimerer kuldestråling og træk. Af særlig betydning er også de forøgede indvendige overfladetemperaturer, som giver markant større sikkerhed imod skimmelvækst.

Selvom metoden med udvendig isolering af fundament giver en markant højere overfladetemperatur i hjørnet mellem indervæg og terrændæk, viser beregninger i kapitel 4 og 5 inklusiv termografi, at der er et oplagt forbedringspotentiale for understøtning af ydermuren. I metoden er benyttet stålvinkeljern til understøtning af formur, hvilket giver en tydelig kuldebro; ved eksempelvis at benytte beslag med lav varmeledningsevne (eller anden forbedret metode til understøtning), kan der opnås en årlig energibesparelse pr. m fundament på ca. 3 kWh samt en stigning i indvendig overfladetemperatur på ca. 0.5 grader i vinterperioden.

8. Referencer

[1]: Bilag til håndbog for energikonsulenter 2008, version 3.

Energistyrelsen

[2]: Energirenovering af 70'er parcelhus

Teknologisk Institut, 2010

[3]: Termografiundersøgelse af hus fra 1954

Engko.dk, 2013

[4]: Sådan findes kuldebroerne

Videncenter for Energibesparelser i bygninger, 2011

[5]: Energiløsninger til klimaskærm

Videncenter for Energibesparelser i bygninger, 2013

[6]: Introduction to passive houses

Franz Freundorfer & Helmut Krapmeier, Østrig, 2007 (pionerer indenfor passivhus-byggeri)

[7]: Passive house standard in old buildings

Dr. Berthiod Kaufmann, Passivhaus Institut, Germany, 2009