

BYG·DTU

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Henrik Tommerup
Svend Svendsen

Optimal isolering af klimaskærmen i relation til nye skærpede energibestemmelser

Sagsrapport
BYG·DTU SR-05-02
2005
ISSN 1601 - 8605

Indhold

FORORD	2
KONKLUSION	3
RESUMÉ	4
1 INDLEDNING	6
2 METODE TIL BESTEMMELSE AF OPTIMAL ISOLERINGSTYKKELSE	7
3 ENERGIMÆSSIGE DATA	9
3.1 BEREGNING AF KONSTRUKTIONER	9
3.2 BEREGNING AF ENERGIBEHOV	9
4 ANLÆGSPRISER	10
5 ENERGISPAREPRISEN FOR EKSTRA ISOLERING AF KLIMASKÆRMEN (PRISEN FOR AT SPARE 1 KWH)	11
6 KLIMASKÆRMENS ISOLERING I RELATION TIL BRUTTOENERGIRAMMEN	14
6.1 OPTIMALE ISOLERINGSTYKKELSER MED BR95 ISOLERINGSNIVEAU I YDERVÆG	15
6.2 OPTIMALE ISOLERINGSTYKKELSER MED ET NYT ISOLERINGSNIVEAU I YDERVÆG	17
6.3 OPTIMALE ISOLERINGSTYKKELSER SVARENDE TIL LAVENERGIKLASSE 2.....	19
6.4 OPTIMALE ISOLERINGSTYKKELSER SVARENDE TIL LAVENERGIKLASSE 1.....	20
7 REFERENCER	23
BILAG 1: EKSEMPELHUS - FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT	24

Forord

Denne rapport er udarbejdet af BYG-DTU i februar 2005 for Plastindustrien i Danmark - Sektionen for EPS-isoleringsproducenter, som har bestilt en udredning vedrørende optimale isoleringstykkelser i terrændækket i parcelhuse i forhold til de nye krav i bygningsreglementet vedrørende energiforbrug.

Konklusion

Med indførelse af nye skærpede energikrav og bortfald af krav til de enkelte bygningsdele, bliver der fokus på at spare energi billigt muligt. Der er med fokus på terrændæk undersøgt hvilket isoleringsniveau, der er det optimale ud fra en totaløkonomisk betragtning.

Beregninger på et typisk parcelhus viser overraskende at isoleringsniveauet i terrændækket bør være mindst det samme som i loftet.

De optimale isoleringstykkelser i terrændækket svarende til energirammen og lavenergiklasse 2 og 1, fremgår af tabellen.

Isoleringsniveau for hus	Terrændæk isolering [mm]
Energiramme	250
Lavenergiklasse 2	300
Lavenergiklasse 1	450

De specifikke beregningsforudsætninger vedrørende isoleringsniveau i ydervæg og ventilation mv. fremgår af resuméet og selve rapporten.

Resumé

Med indførelse af nye skærpede energikrav til bygninger generelt og særligt parcelhuse, og bortfald af mulighed for at opfylde U-værdi krav til de enkelte bygningsdele, bliver der fokus på at spare energi billigst muligt. Meget tyder på at der kan opnås mest energibesparelse for pengene ved merisolering af klimaskærmen, og især terrændækket, da stort set alle parcelhuse i dag udføres med gulvvarme. Det er undersøgt hvilke isoleringstykkelser i terrændæk og loft, der billigst muligt opfylder den nye (brutto)energiramme under givne forudsætninger og hvad det koster ekstra for at få et hus svarende til lavenergiklasse 1 og 2. Beregningerne er foretaget med udgangspunkt i et konkret og typisk parcelhus på 135 m² (se bilag 1).

Der er anvendt en metode, der går ud på at opgøre ændringer i anlægsudgifter og energiudgifter ved ændret isoleringstykkelse med det kommende mindste isoleringsniveau (mindste varmeisolering) som reference. Anlægspriser er på den sikre side, da de er baseret på V&S priser, som erfaringsmæssigt ligger for højt i forhold til markedspriser. På denne baggrund og ud fra en totaløkonomisk betragtning over 30 år og med indregning af levetider og restværdier, er der foretaget beregninger af energispareprisen (prisen for at spare 1 kWh) ved de forskellige isoleringsniveauer. Energispareprisen modsvarer energiprisen, idet den udtrykker prisen på at spare en energienhed.

De udførte beregninger viser overordnet at isoleringsniveauet i terrændækket bør være mindst det samme som i loftet. Desuden viser beregningerne, at det er billigere at spare energi ved betydelig merisolering af terrændækket end at forbruge energi, idet den nuværende energipris på ca. 0,50 kr./kWh svarer til mere end 600 mm isolering. Merisolering af ydervæggen er også økonomisk fornuftigt.

I forbindelse med bestemmelse af de optimale isoleringstykkelser i terrændækket og loftet, som opfylder energirammen, er der på grund af den betydelige besparelse ved anvendelse af mekanisk ventilation med varmegenvinding regnet på dels en situation uden varmegenvinding og dels en situation med varmegenvinding. Desuden er der regnet på to situationer med hensyn til isoleringsniveauet i ydervæggen, svarende til et fastholdt nugældende isoleringsniveau på 125 mm (BR95) og et nyt isoleringsniveau på 200 mm svarende til det forventede niveau til de nye skærpede energikrav.

Hvis der antages et BR95-isoleringsniveau (125 mm) i ydervæg/fundament og ventilation uden varmegenvinding (naturlig ventilation), kan energirammen ikke overholdes med en realistisk isoleringstykkelse. Hvis der anvendes mekanisk ventilation med varmegenvinding er energirammen opfyldt med ca. 400 mm isoleringstykkelse i terrændækket og ca. 300 mm i loftet.

Hvis der forudsættes et isoleringsniveau på 200 mm i ydervæg/fundament og naturlig ventilation kræves en isoleringstykkelse på 550 mm i terrændækket og 450 mm i loftet. I en situation med varmegenvinding er de tilsvarende isoleringstykkelser ca. 250 mm i både terrændæk og loft. Isoleringsniveauet svarende til den skærpede energiramme koster ca. 5 % ekstra på byggeudgiften.

Hvis huset skal kunne leve op til nye lavenergiklasser, er der behov for energibesparelser over en bred front. Forudsættes der anvendt et mekaniske ventilationsanlæg med markedets bedste varmeveksler og ventilatorer, et isoleringsniveau i ydervæggen på 250 mm samt en mere lufttæt klimaskærm, kræves der en isoleringstykkelse i terrændækket på 300 mm og 250 mm i loftet for at overholder kravet til lavenergiklasse 2.

Lavenergiklasse 1 kan opnås ved yderligere relevante tiltag som for eksempel vinduer med et reduceret varmetab svarende til en gennemsnitlig U-værdi på 1,0 W/m²K (oprindeligt ca. 1,45 W/m²K) samt en lavenergi-cirkulationspumpe. Med disse forudsætninger, er de nødvendige isoleringstykkelser i terrændæk og loft hhv. 450 mm og 350 mm

Sammenlignet med et tilsvarende hus, der netop opfylder energirammen, er merprisen for huset i lavenergiklasse 1 og 2 hhv. 8 % og 2-3 % under forudsætning af en byggeudgift på 10.000 kr. pr. m². Der er altså tale om en relativt beskedne merudgift.

1 Indledning

I januar 2006 træder der nye krav i kraft vedrørende bygningers energiøkonomi. Der bliver tale om skærpede krav til bygningers varmesolering, men også om nye principper for angivelse af kravene. Det primære energimæssige krav til nye bygninger vil være baseret på bruttoenergiforbruget, der kan udtrykkes som bygningens samlede energiforbrug på nær elforbrug til apparater. Dette giver større frihed i design af bygninger men også nye udfordringer til helhedsorienteret design.

Med de nye skærpede energikrav, og bortfald af mulighed for at opfylde U-værdi krav til de enkelte bygningsdele, bliver der fokus på at spare energi billigst muligt. Der er i den forbindelse meget som tyder på at der kan opnås mest energibesparelse for pengene ved merisolering klimaskærmen, og især terrændækket, da stort set alle parcelhuse i dag udføres med gulvvarme. I rapporten undersøges det hvilke isoleringstykkelser, der billigst muligt opfylder (brutto)energirammen under givne forudsætninger og hvad det koster ekstra for at få et hus svarende til lavenergiklasse 1 og 2.

Beregningerne foretages med udgangspunkt i et konkret og typisk parcelhus på 135 m². Husets byggesystem er skalmurede porebetonelementer, varmforsyningen er fjernvarme og varmeanlægget er baseret på gulvvarme i terrændækket. I bilag 1 er vist facader, plan og hovedtværsnit.

Der redegøres først for beregningsforudsætninger i form af energimæssige data og anlægspriser. Efterfølgende beskrives beregningsresultaterne.

2 Metode til bestemmelse af optimal isoleringstykkel

Teoretisk set er det optimale isoleringsniveau (energiforbrug) for en bygning det isoleringsniveau, der set over levetiden resulterer i de laveste anlægs- og energiudgifter til opvarmning. Dette niveau kan beregnes under givne forudsætninger, og vil typisk kræve et energibehov, der er betydeligt mindre end svarende til energirammen i bygningsreglementet. I praksis er der dog primært fokus på hvordan man overholder energirammen (eller lavenergiklasse 1 eller 2) på den billigste måde, og konkret hvordan den nye skærpede bruttoenergiramme kan overholdes billigst muligt.

Det optimale isoleringsniveau i klimaskærmen, der netop sikrer overholdelse af energirammen, svarer til besparelser til et niveau hvor det koster lige meget i ydervæg, loft og terrændæk at spare 1 kWh. Det er i den forbindelse afgørende hvad referencen er og det korrekte valg ville være den uisolerede konstruktion. Referencen er dog valgt som isoleringsniveauet svarende til "mindste isoleringsniveau" (mindste varmesisolering) i udkast til tillæg til bygningsreglement for småhuse (dateret 11. januar 2005), se Tabel 1. Dette isoleringsniveau er det logiske valg, der er fastsat for at undgå gener i form af kondens og skimmelsvamp, og vil sandsynligvis fortsat findes og forblive uændret i fremtiden, hvilket umiddelbart gør metoden mere brugbar på sigt.

Tabel 1. Isoleringsniveauer svarende til "mindste isoleringsniveau" i udkast til tillæg til bygningsreglement for småhuse.

Bygningsdel	U-værdi [W/m ² K]	Isoleringstykkel [mm]
Ydervæg	0,40	75
Loft	0,25	150
Terrændæk m. gulvvarme	0,30	100

Det skal i øvrigt bemærkes mht. prisen for at spare 1 kWh, at der ikke er tale om den marginale pris for at spare yderligere 1 kWh (variabel reference), men om den gennemsnitlige pris for at spare 1 kWh ved at forøge isoleringstykkel fra referenceniveauet til et givet højere niveau (fast reference).

I princippet kan der på tilsvarende vis varieres på parametre som temperaturvirkningsgrad på mekanisk ventilation med varmegenvinding (modstrømsvarmeveksler frem for krydsvarmeveksler), elforbrug til lufttransport og vinduernes energitilskud. Der er dog meget begrænsede valgmuligheder, og det er derfor rimeligt at holde disse parametre konstant, svarende til typiske konstruktioner.

Den anvendte metode går ud på at opgøre ændringer i anlægsudgifter og energiudgifter ved ændret isoleringstykkel. På denne baggrund og ud fra en totaløkonomisk betragtning over 30 år med indregning af levetider og restværdier, bestemmes prisen for at spare 1 kWh ved de forskellige isoleringsniveauer. Denne pris betegnes i øvrigt ofte CCE på engelsk (Cost of Conserved Energy), og er ved sammenligning med energiprisen et mål for tiltagets lønsomhed. På dansk foreslås betegnelsen "Energispareprisen".

Der antages lineær afskrivning af investeringen i ekstra isolering, således at for eksempel restværdien efter 30 år for en konstruktion med en levetid på 100 år udgør 70 % af investeringen. Der er tale om nuværdibetragtninger med en real diskonteringsrate på 0 % svarende til en "bæredygtig" betragtning, så nuværdien af energibesparelser i hele levetiden/beregningsperioden tillægges samme værdi.

Valg af en nul-rente er baseret på energistyrelsen m.fl, som taler for at der ved vurdering af tiltag med meget lang tidshorisont bør benyttes en diskonteringsrate som aftager mod nul over tid. Dette skal ses i lyset af at nuværdien af selv en nok så stor energibesparelse bliver omkring lig med nul ved en positiv diskonteringsrate, hvis fordelene falder tilstrækkeligt langt ude i fremtiden, hvorved hensynet til fremtidige generationer forbigås. Det skal bemærkes at dette svarer til at energipriserne stiger lige så meget som realrenten.

3 Energimæssige data

Redegørelsen for energimæssige data omfatter først en beskrivelse af behandlingen af hver enkelt bygningsdel for sig og dernæst en beskrivelse af forudsætninger for beregning af det samlede energibehov i henhold til beregningsmetoden i de nye energibestemmelser.

3.1 Beregning af konstruktioner

Varmetekniske data for ydervæg og loft i form af U-værdier og Ψ -værdier for forskellige isoleringstykkelser er baseret på rapporten "Udvikling af klimaskærmskonstruktioner" [1], hvor de mest betydende kuldebroer ved fundament, vinduestilslutninger og tag er medtaget i beregningen af de effektive U-værdier. For isoleringsmaterialet i ydervæg og loft er antaget en varmeledningsevne på $\lambda_D = 0,037$ W/mK. U-værdier for terrændækket er dog beregnet svarende til isoleringsmaterialet Ekspanderet PolyStyren (EPS) eller celleplast i styrke S80 ($\lambda_D = 0,038$ W/mK). Det er antaget at det kapillarbrydende lag er en del af isoleringslaget, svarende til at der iht. DS418 [2] regnes med en 20 % forhøjet varmeledningsevne (værdi "mod jord") for de nederste 75 mm af isoleringslaget.

Af hensyn til behandlingen af hver bygningsdel for sig er det nødvendigt at fordele linietafet i samlingerne. Halvdelen af linietafet ved tagfoden medregnes under ydervæggen, den anden halvdel under loftkonstruktionen. Da væg og fundament i øvrigt må behandles under ét og linietafet i væg-gulv samlingen (fundamentslinietafet) mest afhænger af fundamentsudformningen tillægges ydervæggen hele linietafet for væg-gulv samlingen.

Fundamentslinietafet afhænger til dels af terrændækkets isolering, som i praksis reduceres lidt ved fastholdt fundamentsudformning og forøget isolering af terrændækket. Det er altså på den sikre side ikke at medregne denne effekt for terrændækket. Det vil i fremtiden være oplagt at udvide metoden / beregningen af varmetabet for terrændækket med den andel af varmetabet der går gennem isoleringen i periferien af terrændækket og til udeklimaet.

Varmetransmissionstabet bestemmes ud fra produktet af den effektive U-værdi og det årlige gradtimaltal, hvor antallet af gradtimer er baseret på en indetemperatur på 20°C og udetemperaturer svarende til det Danske Design Reference År, DRY [3]. Gradtimaltallet for terrændækket bestemmes under antagelse af gennemsnitlige gulvvarme- og jordtemperaturer i fyringssæsonen på hhv. 30°C og 10°C. Som fyringssæsonen er regnet med perioden september til maj (inkl.).

3.2 Beregning af energibehov

Energibehovet for eksempelhuset kan i henhold til de nye energibestemmelser udtrykkes som husets samlede energiforbrug på nær elforbrug til apparater. Elforbrug skal ganges med en faktor på 2,5 for at tage hensyn den større udledning af kuldioxid, der kommer i forbindelse med el-produktion i forhold til varmeproduktion.

De anvendte forudsætninger vedrørende ventilation, varmt brugsvand, internt varmetilskud mv., fremgår af Tabel 2. Disse svarer til angivelser i udkast til tillæg til bygningsreglement for småhuse (dateret 11. januar 2005) samt udkast til bilag 7 til bygningsreglement 1995 (Beregning af bygningers energibehov, dateret 16. juli 2004).

Tabel 2. Beregningsforudsætninger ved beregning af husets energibehov.

Parameter	Værdi
Luftmængde ved ventilation	0,3 l/s/m ²
Temperaturvirkningsgrad for ventilation med varmegenvinding	65%
Specifikt elforbrug til lufttransport	1200 J/m ³
Luftmængde ved infiltration	0,1 l/s/m ²
Internt varmetilskud fra personer, apparater og belysning	5 W/m ²
Energiforbrug til varmt brugsvand (opv. fra 10 til 55 °C)	0,25 m ³ /m ² /år
Varmetab varmtvandsbeholder (110 liter) (80% antages nyttiggjort i fyringssæson).	2,1 W/K
Elforbrug til varmeanlæggets cirkulationspumpe (traditionel Grundfos UPS pumpe på trin 1 eller nuværende sparepumpe)	30 W
Skønnet udnyttelsesgrad af varmetilskud (sol og internt)	90 %
Årsnyttevirkning (fjernvarmeanlæg)	100 %

Vinduerne er trævinduer med energiruder og varm rudekant, og de udgør 22% af det opvarmede etageareal. Ud fra detaljerede BSIM2002 simuleringer på eksisterende model af huset er solindfaldet fastlagt til 2924 kWh for en typisk øst-vest orientering af huset.

4 Anlægspriser

De anvendte priser er baseret på V&S priser, Husbygning Brutto 2005. Prisniveauet er januar 2005 og Sjælland uden for hovedstadsområdet. Priser er baseret på den største angivne jobstørrelse / mængde. Erfaringsmæssigt ligger V&S priser for højt i forhold til virkeligheden (markedspriser), og ved at anvende disse er der altså tale om en konservativ betragtning i relation til totaløkonomien i ekstra isolering.

For ydervægge er indregnet merpriser for isolering, vinduestilsætninger og fundament. For isoleringstykkelser udover de i prisbogen angivne anvendes prisen for den største tykkelse. De anvendte prisnumre er anført i Tabel 3.

Tabel 3. Benyttede prisnumre fra V&S Prisbog (Husbygning Brutto 2005).

Prisnummer	Betegnelse
04.15.05	Hulmursisolering at levere og udføre
04.32.01	Vinduestilsætninger at levere og opsætte
03.15.63,09-11	Fundamenter af Leca-blokke at levere og opmure
03.15.60	Fundamenter af beton at udstøbe i jordrender
04.22.05	Isolering med mineraluld at levere og udføre i trækonstruktioner
03.15.45,03-08	Polystyren isoleringsgulvplader at levere og indstøbe i terrændæk (type EPS 80)

Det skal bemærkes at der ved beregning af merinvesteringerne til indbygning af ekstra isolering i terrændækket er set bort fra eventuelle omkostninger til fjernelse af jord. Det er endvidere antaget at ændringerne i konstruktionerne hverken påvirker vedligeholdelsesbehovet eller levetiden. Der er regnet med en levetid af ydervæg og terrændæk på 100 år, mens der for loftet er antaget en levetid på 60 år på grund den mere udsatte placering. Disse levetider er i tråd med antagelser i SBI-dokumentation 006 (Energibesparelser i nybyggeriet).

5 Energispareprisen for ekstra isolering af klimaskærmen (prisen for at spare 1 kWh).

I det følgende benyttes betegnelsen ”energispareprisen” som den korte benævnelse for at spare 1 kWh. Energispareprisen modsvarer energiprisen, idet den udtrykker prisen på at spare en energienhed.

Metoden kan også benyttes for vinduer og varmegenvinding, men dette er ikke behandlet nærmere i denne udredning.

I nedenstående tabeller er vist resultaterne af beregninger af varmetab og anlægsudgifter samt pris for at spare 1 kWh for forskellige isoleringstykkelser. Anlægsudgifter omfatter for ydervæggen isolering, fundament og vinduestilsætninger, men kun isoleringen for loft og terrændæk. De nugældende isoleringsniveauer (BR95), svarende til U-værdi-kravene, er markeret i tabellerne.

Tabel 4. Resultater for ydervæg.

Isoleringstykkelser [mm]	Varmetab [kWh/år]	Anlægsudgift [kr.]	Energispareprisen [kr./kWh]
75	5186	39331	0,00
125 (BR95)	3848	48298	0,07
200	2487	64755	0,11
250	2229	77657	0,14
300	2093	89857	0,16
350	1989	102057	0,19
400	1923	114257	0,21

Tabel 5. Resultater for loftkonstruktion.

Isoleringstykkelser [mm]	Varmetab [kWh/år]	Anlægsudgift [kr.]	Energispareprisen [kr./kWh]
150	2796	16245	0,00
250 (BR95)	1806	27075	0,17
300	1518	32490	0,20
350	1312	37905	0,23
400	1161	43320	0,27
450	1036	48735	0,30
500	932	54150	0,33
550	854	59565	0,37
600	798	64980	0,40

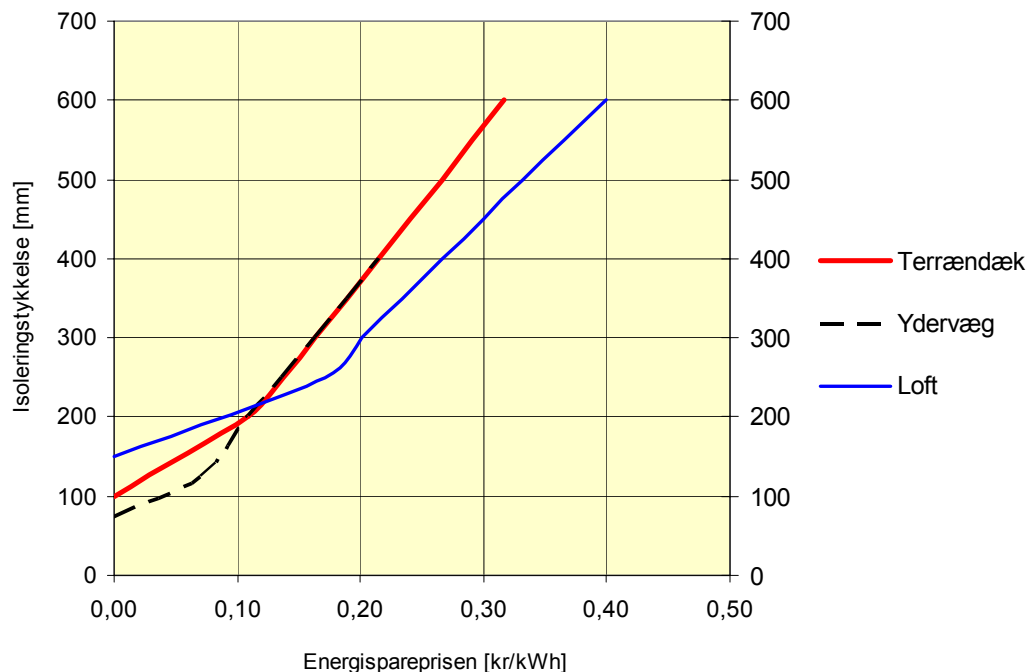
Tabel 6. Resultater for terrændæk med gulvvarme.

Isoleringstykkelse [mm]	Varmetab [kWh/år]	Anlægsudgift [kr.]	Energispareprisen [kr./kWh]
100	3997	22330	0,00
200 (BR95)	2362	40165	0,11
250	1961	50206	0,14
300	1677	60248	0,16
350	1464	70289	0,19
400	1299	80330	0,21
450	1168	90371	0,24
500	1061	100413	0,27
550	972	110454	0,29
600	896	120495	0,32

Et eksempel på beregning af energispareprisen (250 mm terrændækisolering) er vist nedenfor.

$$\text{Energisparepris} = \frac{\text{Investering}}{\text{Energibesparelse}} = \frac{\frac{30 \text{ år}}{100 \text{ år}} \cdot (50206 - 22330) \text{ kr.}}{30 \text{ år} \cdot (3997 - 1961) \text{ kWh} / \text{år}} = \frac{8363 \text{ kr.}}{61080 \text{ kWh}} = 0,14 \text{ kr.} / \text{kWh}$$

I Figur 1 er vist isoleringstykkelsen som funktion af energispareprisen i ydervæg, loft og terrændæk med gulvvarme.



Figur 1. Sammenhæng mellem isoleringstykkelse og hvad det koster at opnå den tilhørende energibesparelse set i forhold til det mindste tilladte isoleringsniveau.

Figur 1 viser at isoleringsniveauet i terrændækket bør være mindst det samme som i loftet. Desuden ses det, at det er billigere at spare energi ved betydelig merisolering af terrændækket end at forbruge energi, idet den nuværende energipris på ca. 0,50 kr./kWh svarer til mere end 600 mm isolering. Det ses også at merisolering af ydervæggen er økonomisk fornuftigt (det er en tilfældighed at kurven for ydervæg falder sammen med kurven for terrændæk ved energisparepris større end 0,10 kr./kWh).

6 Klimaskærmens isolering i relation til bruttoenergirammen

Med udgangspunkt i et ønske om at opfylde energirammen billigst muligt, redegøres i det følgende for de økonomisk optimale isoleringstykkelser i terrændækket og loftet under forskellige forudsætninger.

Metoden til at finde den optimale isoleringstykkelse for de forskellige bygningsdele er baseret på at optegne sammenhængen mellem energispareprisen og husets energiforbrug i et diagram - se figur 2. Dette gøres ved for hver en energisparepris at finde den tilhørende isoleringstykkelse - se figur 1 - og det tilhørende energiforbrug.

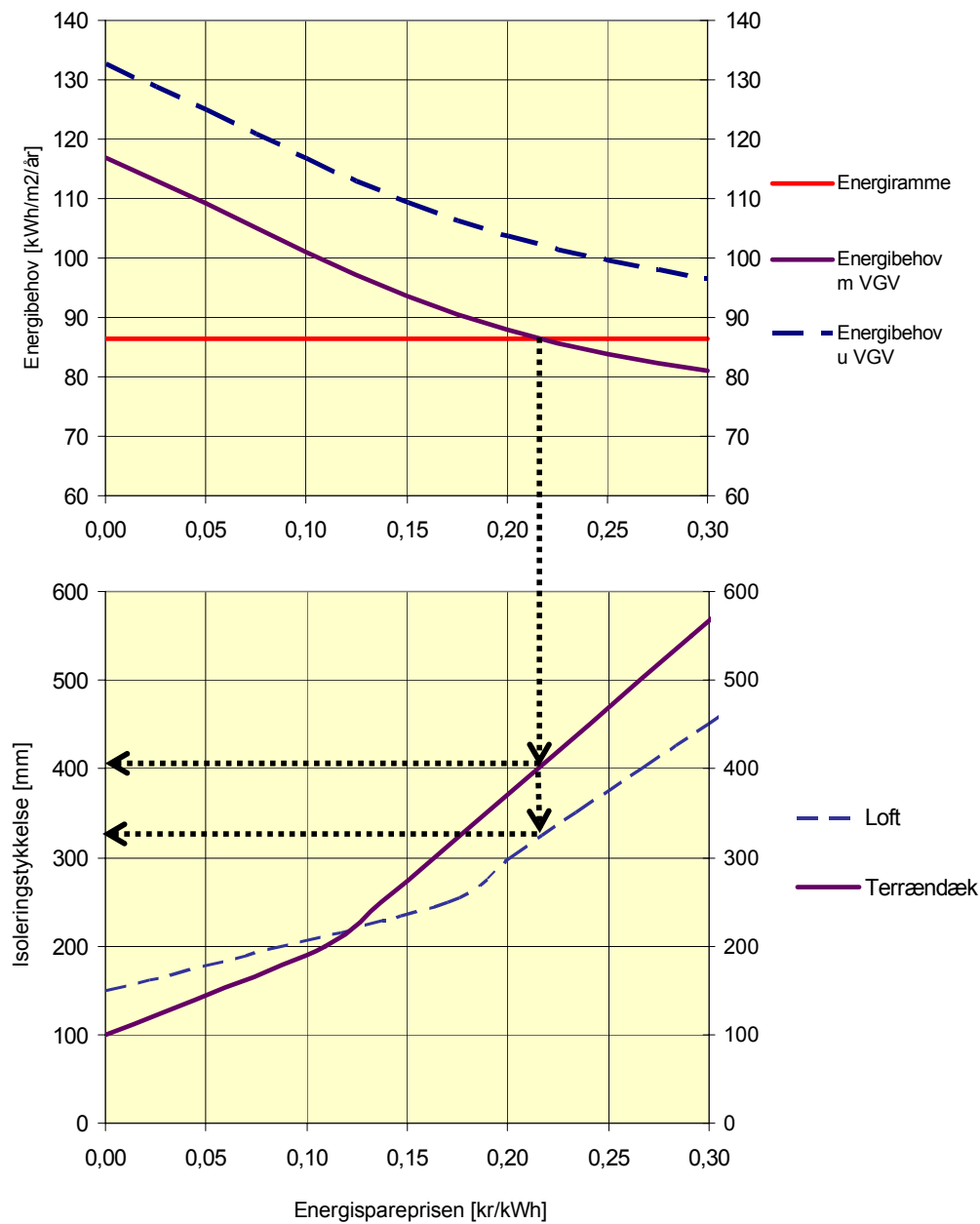
På grund af den betydelige besparelse ved anvendelse af mekanisk ventilation med varmegenvinding betragtes en situation uden varmegenvinding og en situation med varmegenvinding. Yderligere ydervægisolering er vanskeligere af flere grunde (byggeteknisk, æstetisk mv.), og derfor antages det at man i forbindelse med opfyldelse af energirammen kun vil forøge isoleringstykkelse til 200 mm. Derfor er der regnet på to situationer svarende til et fastholdt nugældende isoleringsniveau på 125 mm (BR95) og et nyt isoleringsniveau på 200 mm. I Tabel 7 er vist en oversigt over de forudsatte varmetabskoefficienter.

Tabel 7. Varmetabskoefficienter for to undersøgte ydervægisoleringsniveauer.

Isoleringsniveau	U-værdi [W/m ² K]	Fundamentslinietab [W/mK]
125 mm (BR95)	0,30	0,20
200 mm	0,20	0,12

6.1 Optimale isoleringstykkelser med BR95 isoleringsniveau i ydervæg

Hvis der antages et fastholdt isoleringsniveau i ydervæg og fundament svarende til BR95 isoleringsniveau, ses det af Figur 2 at energirammen ikke kan overholdes, hvis der antages ventilation uden varmegenvinding. Energirammen kan kun overholdes hvis der anvendes mekanisk ventilation med varmegenvinding. En meget udbredt ventilationsløsning er et mekanisk udsugningsanlæg med brugsvandsvarmepumpe, men da effektfaktoren (= forholdet mellem varmepumpens varmeproduktion og elforbrug) typisk er ca. 3, mens elforbruget indgår med faktor 2,5 i opgørelsen af bruttoenergiebehovet, vil varmebesparelsen omtrent blive neutraliseret af elforbruget.



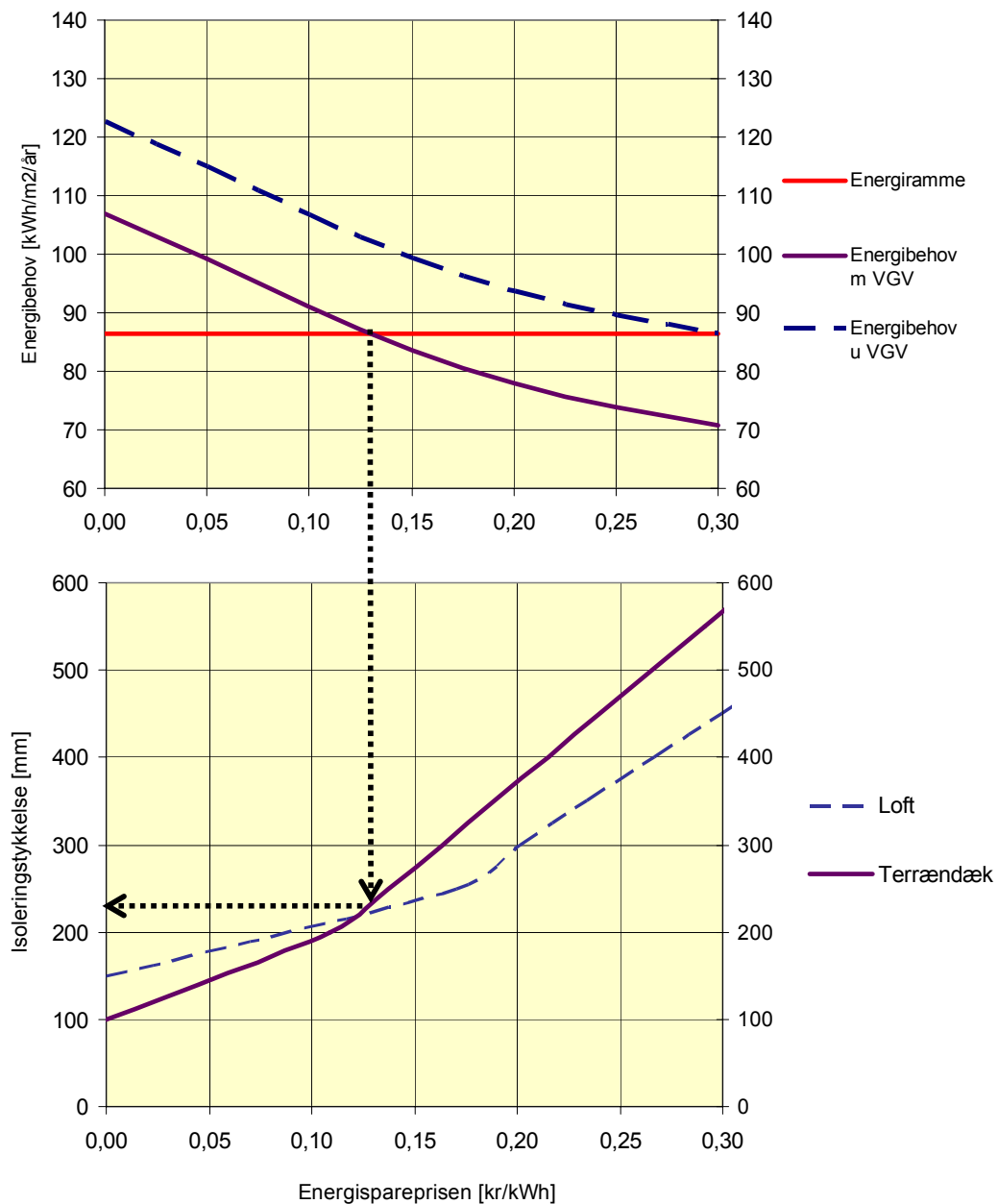
Figur 2. Sammenhæng mellem energibehov hhv. isoleringstykkelse og energispareprisen med isoleringsniveau BR95 i ydervæg og fundament.

Med varmegenvinding som forudsætning, ses det at energirammen på 86 kWh/m² er opfyldt for en energisparepris på ca. 0,22 kr./kWh. De tilhørende nødvendige og økonomisk optimale isoleringstykkelser aflæses i det nedre diagram som angivet med pile, og er ca. 400 mm for terrændækket og ca. 300 mm for loftkonstruktionen.

Med det nuværende isoleringsniveau (BR95) som reference, vil opfyldelse af energirammen kræve en ekstrainvestering på ca. 45.000 kr. for isoleringstiltagene i loft og terrændæk og ca. 35.000 kr. for ventilationsanlægget med varmegenvinding, svarende til en ekstraudgift på ca. 80.000 kr. Forudsat en byggeudgift på 10.000 kr./m², svarer dette til en merudgift på ca. 6 %.

6.2 Optimale isoleringstykkelser med et nyt isoleringsniveau i ydervæg

Hvis der antages et fastholdt isoleringsniveau i ydervæg/fundament svarende til 200 mm isolering, ses det af Figur 3 at energirammen akkurat kan overholdes, hvis der antages ventilation uden varmegenvinding. Det ses at der kræves isoleringstykkelser på ca. 550 mm i terrændækket og 450 mm i loftet (aflæses direkte på y-aksen til højre i det nedre diagram). Med varmegenvinding er energirammen overholdt for en energisparepris på ca. 0,13 kr./kWh, som svarer til et isoleringsniveau i terrændæk og loft på ca. 250 mm.



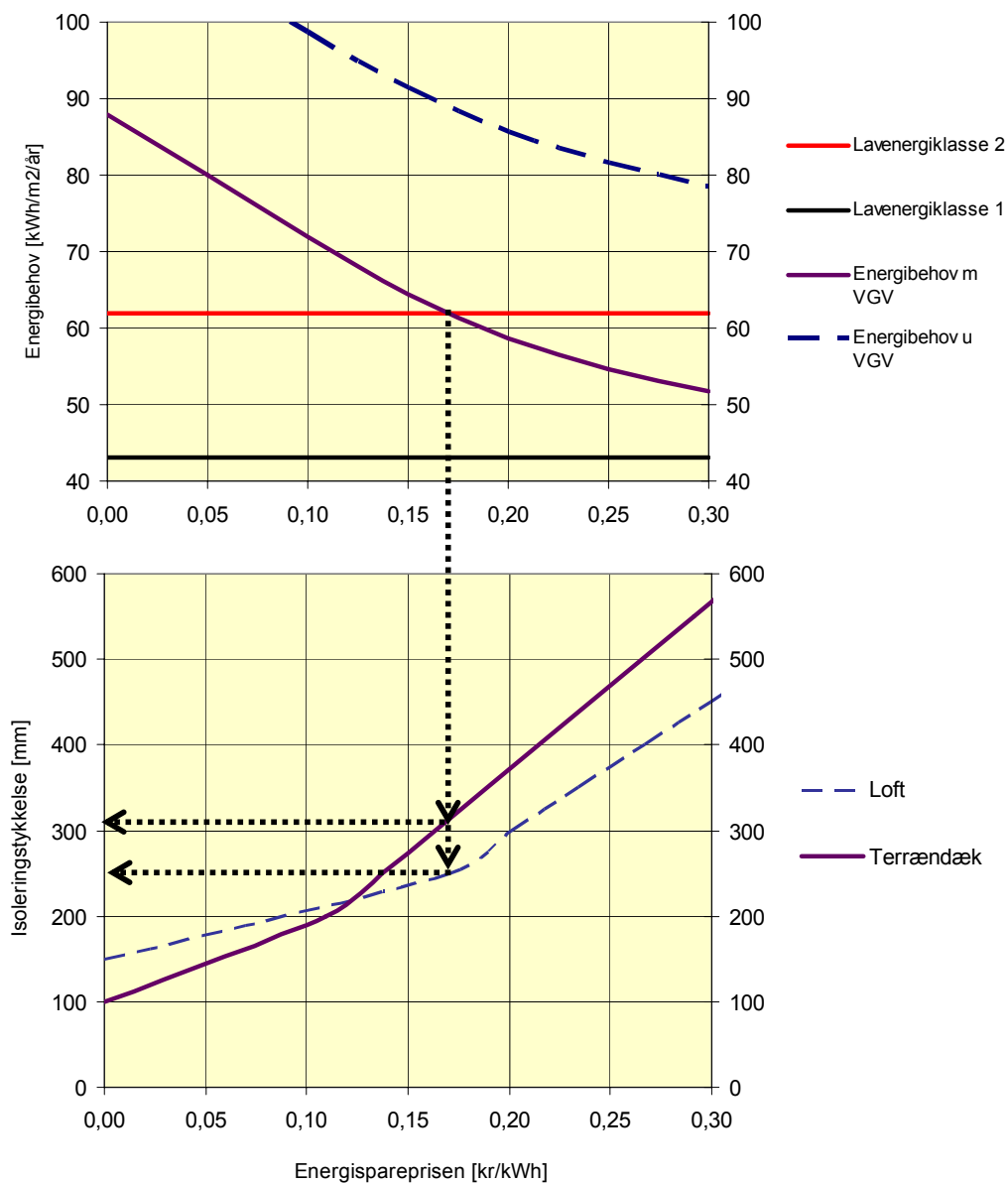
Figur 3. Sammenhæng mellem energibehov hhv. isoleringstykkelse og energispareprisen med nyt isoleringsniveau i ydervæg (200 mm).

Ved sammenligning med BR95 isoleringsniveauet, kræver opfyldelse af energirammen med naturlig ventilation en ekstrainvestering til isoleringstiltagene på ca. 108.000 kr., mens merudgiften er ca. 61.000 kr., hvis der vælges at benytte et ventilationsanlæg med varmegenvinding. Forudsat en byggeudgift på 10.000 kr./m², svarer dette til en merudgift på hhv. 8 og 5 %. Merudgiften for huset med varmegenvinding fremkommer på følgende vis:

200 mm ydervægsisolering (+75 mm):	16.000 kr.
250 mm loftisolering (0 mm ekstra)	0 kr.
250 mm terrændækisolering (+50 mm):	10.000 kr.
<u>Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding:</u>	<u>35.000 kr.</u>
Samlet merudgift	61.000 kr.

6.3 Optimale isoleringstykkelser svarende til lavenergiklasse 2

Hvis huset skal kunne leve op til de nye lavenergiklasser skal der sættes ind med energibesparelser over en bred front. Det ville for det første være oplagt at benytte et bedre isoleringsniveau i ydervæggen svarende til 250 mm. For det andet kan mekaniske ventilationsanlæg fås med en modstrømsvarmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på ca. 85 % og mere energieffektive ventilatorer med et elforbrug på omkring 600 J/m^3 (det halve af det kommende krav). Slutteligt er det rimeligt at forøge lufttætheden af klimaskærmen svarende til et "særligt tæt hus", dvs. en infiltration på $0,05 \text{ l/s/m}^2$. Beregningsresultater med disse forudsætninger er illustreret i Figur 4.



Figur 4. Sammenhæng mellem energibehov hhv. isoleringstykkelse og energispareprisen med 250 mm isolering i ydervæg, et mere energieffektivt ventilationsanlæg og en forbedret lufttæthed af klimaskærmen.

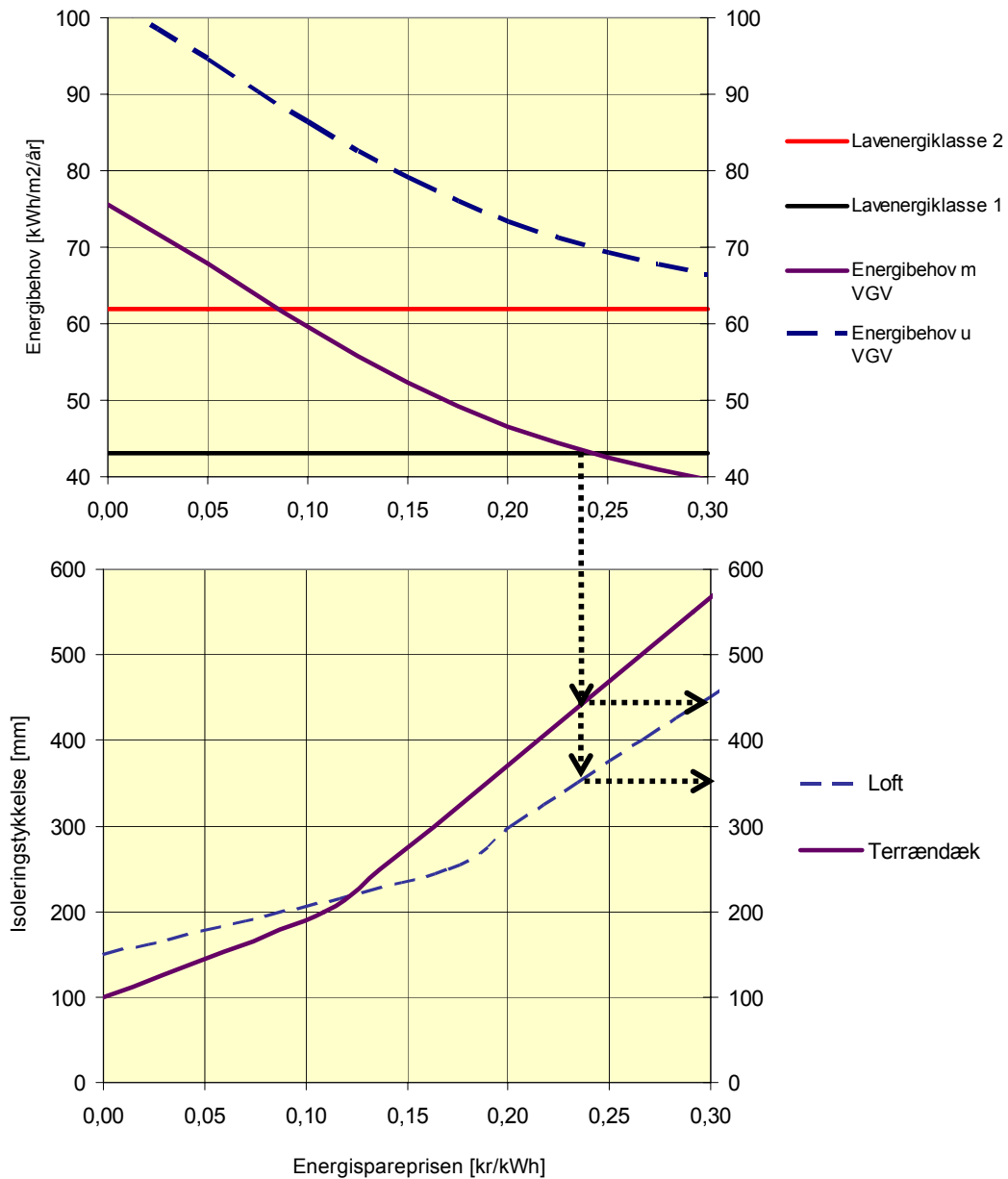
Det ses af Figur 4, at kravet til lavenergiklasse 2 er opfyldt ved en isoleringstykkelse på ca. 300 mm terrændækket og 250 mm i loftet. Den nødvendige ekstra investering i forhold til BR95 niveau er 94.000 – 99.000 kr. Denne merudgift fremkommer på følgende vis:

250 mm ydervægsisolering (+125 mm):	29.000 kr.
250 mm loftisolering (0 mm ekstra):	0 kr.
300 mm terrændækisolering (+100 mm):	20.000 kr.
Ventilationsanlæg med lavenergi varmeveksler og ventilatorer:	40.000 – 45.000 kr.
Mere lufttæt klimaskærm:	5.000 kr.
<hr/> Samlet merudgift:	<hr/> 94.000- 99.000 kr.

Dermed kan merudgiften for lavenergiklasse 2 i forhold til blot at overholde energirammen fastlægges til 33.000 – 38.000 kr. Forudsat en byggeudgift på 10.000 kr./m², svarer dette til en merudgift på 2-3 %.

6.4 Optimale isoleringstykkelser svarende til lavenergiklasse 1

Skal man opfylde kravet til klasse 1, vil det være naturligt/nødvendigt at forbedre vinduernes varmetekniske egenskaber. Konkret antages en forbedret gennemsnitlig U-værdi for vinduerne på 1,0 W/m²K (oprindeligt ca. 1,45 W/m²K). Solindfaldet antages uændret. Der forudsættes også brug af en lavenergicirkulationspumpe med et forventet elforbrug på ca. 10 W. En sådan pumpe forventes på det danske marked i den nærmeste fremtid, men kan for nuværende fås i udlandet. Beregningsresultaterne er vist i Figur 5.



Figur 5. Sammenhæng mellem energibehov hhv. isoleringstykkelse og energispareprisen med isoleringsniveau på 250 mm i ydervæggen, vinduer med mindre varmetab, et mere energieffektivt ventilationsanlæg og lavenergi-cirkulationspumpe samt en ”særligt lufttæt” klimaskærm.

Det ses at lavenergiklasse 1 er opfyldt for isoleringstykkelser på 450 mm i terrændækket og 350 mm i loftet. Den nødvendige ekstra investering i forhold til BR95 niveau er 165.000 – 170.000 kr. Denne merudgift fremkommer på følgende vis:

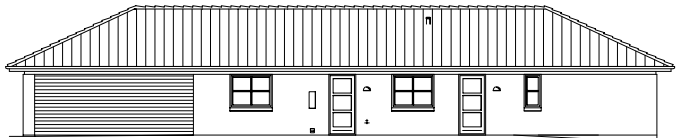
250 mm ydervægsisolering (+125 mm):	29.000 kr.
350 mm loftisolering (+100 mm):	11.000 kr.
450 mm terrændækisolering (+250 mm):	50.000 kr.
Ventilationsanlæg med lavenergi varmeveksler og ventilatorer:	40.000 – 45.000 kr.
Mere lufttæt klimaskærm:	5.000 kr.
Bedre vinduer (merudgift 1000 kr./m ²):	30.000 kr.
Samlet merudgift:	165.000- 170.000 kr.

Lavenergipumpen antages at kunne fås til omtrent samme pris som den traditionelle. Dermed kan merudgiften for lavenergiklasse 1 i forhold til blot at overholde energirammen fastlægges til 104.000 – 109.000 kr. Forudsat en byggeudgift på 10.000 kr./m², svarer dette til en merudgift på ca. 8 %.

7 Referencer

- [1] Udvikling af klimaskærmskonstruktioner. Rapport R-042. Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bygninger og Energi. Rapporten er tilgængelig på www.byg.dtu.dk.
- [2] DS418: Beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard. 2002. 6.udgave.
- [3] Design Reference Year, DRY – et nyt dansk referenceår. Meddelelse nr. 281. Jerry Møller Jensen & Hans Lund. Laboratoriet for varmeisolering, DTU, oktober 1995.

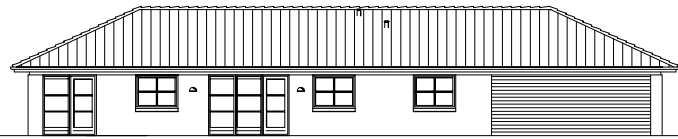
Bilag 1: Eksempelhus - Facader, plan og tværsnit.



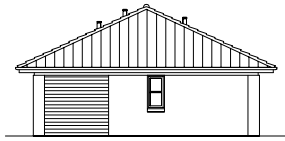
Facade mod Øst



Gavl mod Nord



Facade mod Vest



Gavl mod Syd

