



Energirenovering af 70'er parcelhus



Energirenovering af 70'er parcelhus

**Søren Østergaard Jensen
Energi og Klima
Teknologisk Institut**

**Peter Weitzmann
COWI**

Juni 2010

Forord

Denne rapport om ”Energirenovering af 70’er parcelhus” er udarbejdet i forbindelse med EUDP2008-I projektet med titlen ”Energirenovering af typiske bygninger – eksempelsamling”. EUDP er energistyrelsens ”Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram”. Projektet er gennemført med økonomisk støtte fra programmet og har journal nr. 63011-0115.

Projektet er udført af Teknologisk Institut i tæt samarbejde med Danmarks Tekniske Universitet (DTU Byg), Aalborg Universitet, Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet samt Cowi A/S. Videninstitutionerne i projektet er identiske med kerneaktørerne i Innovationsnetværket LavEByg og arbejdet i projektet har suppleret arbejdet i netværket og omvendt.

Projektet har haft som formål at udvikle en metode til og eksempler på projektering af energimæssigt vidtgående energirenoveringer (lavenergiklasse 1) for at stimulere til energibesparelser og øget anvendelse af vedvarende energi i eksisterende bygninger. Der er konkret udarbejdet et teknologikatalog over typiske energirenoveringstiltag samt konkrete eksempler på anvendelse af samlede tiltag til energirenovering af typiske bygninger.

Projektets slutrapportering består af et katalog med titlen ”Energirenoveringstiltag” samt analyser af renoveringsmuligheder og forslag til energirenovering af typiske bygninger. De detaljerede beskrivelser og analyser på de enkelte bygninger fremgår af separate rapporter. Disse bygningsspecifikke rapporter har følgende titler:

Energirenovering af typeskole bygning fra 70’erne
Energirenovering af 70’er parcelhus
Energirenovering af ældre murermesterhus
Energirenovering af etageboligejendom
Energirenovering af kontorbygning

Alle rapporter er frit tilgængelige via: www.lavebyg.dk/Aktiviteter/Formidling/Rapporter.

Den aktuelle rapport omhandler energirenovering af et typisk parcelhus fra 1970’erne, som der findes mange af i Danmark.

Følgende personer har deltaget i udarbejdelsen af nærværende rapport:

Lars Olsen, Teknologisk Institut
Casper Rosengaard Villumsen, Teknologisk Institut
Peter Weitzmann, Cowi
Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut

Energirenovering af 70’er parcelhus
1. udgave, 1. oplag, 2010
© Teknologisk Institut
Energi og Klima

ISBN: 87-7756-773-0
ISSN: 1600-3780

Indholdsfortegnelse

	Summary	6
1.	Indledning	7
1.1	Eksempelhus	7
2.	Den eksisterende bygning	15
2.1.	Klimaskærmskonstruktioner	15
2.1.1.	Loft og tag	15
2.1.2.	Facader og indervægge	15
2.1.3.	Vinduer og døre	16
2.1.4.	Fundament/sokkel	16
2.1.5.	Terrændæk	17
2.2.	Installationer	18
2.2.1.	Gasfyr	18
2.2.2.	Varmefordelingsanlæg	18
2.2.3.	Varmt brugsvand	19
2.2.4.	Ventilation	19
2.2.4.1.	Termografibilleder	19
2.3.	Indeklima	21
2.4.	Skygger	21
2.5.	Energiforbrug	22
2.5.1.	Be06 beregning	23
3.	Analyse af energirenoveringsmuligheder	25
3.1.	Klimaskærm	25
3.1.1.	Loft- og tagkonstruktion	25
3.1.2.	Facader	25
3.1.3.	Vinduer og døre	28
3.1.4.	Ovenlysvinduer	28
3.1.5.	Terrændæk	29
3.1.6.	Fundament	30
3.2.	Installationer	32
3.2.1.	Varmeinstallationer	32
3.2.1.1.	Varmepumpe	33
3.2.1.2.	Solvarme	34
3.2.2.	Ventilation	34
4.	Forslag til energirenovering	36
4.1.	Enkeltiltag	36
4.1.1.	Definition af enkeltiltag	36
4.1.1.1.	Klimaskærmen	36
4.1.1.1.	Installationer	36
4.1.1.3.	Vedvarende energi	37
4.1.2.	Energibesparelser ved enkeltiltag	37
4.2.	Kombinationer af til tag	38
4.2.1.	Overholdelse af BR08 krav til nye huse	39
4.2.2.	Lavenergiklasse 2	39
4.2.3.	Lavenergiklasse 1	40

4.2.4.	Gulvvarme	40
4.2.5.	Behovsstyret ventilation	40
4.2.6.	Usikkerheder	40
5.	Økonomiberegninger	42
5.1.	Introduktion	42
5.2.	Beregnngsgang	42
5.2.1.	Den simple tilbagebetalingstid	42
5.2.2.	Rentabilitetsfaktor	43
5.2.3.	Energispareprisen	43
5.2.4.	Energireoveringsfaktoren	44
5.3.	Beregningsforudsætninger	44
5.3.1.	Prissætning	44
5.3.2.	Teknisk levetid	45
5.3.3.	Vedligehold	45
5.3.4.	Energimæssige forhold	45
5.3.5.	Energipriser	46
5.4.	Prissætning af tiltag	46
5.5.	Diskussion	51
5.6.	Konklusion	51
6.	Konklusion	53
7.	Referencer	54

Summary

Single-family houses constitute 40% of the total area of Danish homes. Single-family houses from the 60s and 70s amounts to around 25 mill m². At the time of erection the heat demand of the houses was three times higher than allowed in the Building code from 2008 (BR08). Although many of these houses have been exposed to some energy renovation the saving potential is still large. The saving measures pointed out by the energy labeling scheme alone amount to approx. 37.5 TJ/year (10.4 GWh/year). The recommendation from the energy labeling will, however, not reduce the energy demand of these houses down to the level of BR08 so there is good reason to investigate how these houses can be energy renovated also beyond the level of BR08 as the saving potential is very large.

Based on a concrete single-family house from the 70s it is investigated if it is technically and economically feasible to introduce extensive energy renovations of single houses from the 60s and 70s.

The investigations show that it is not possible with one single action to bring the energy demand down to the level of BR08. In addition, the investigations show that it often is technically difficult to implement the proposed solutions and limited savings are often obtained for the single measures – eg. an increase in the insulation level of the floor is in the example difficult as the floor slab is bearing and the height of the rooms only allows for a small increase in the internal thickness of the insulation.

The investigations show that in order to reach low energy class 1 level of BR08 energy production in the form of solar heating and/or pv is necessary.

The economical calculations show that 7 out of 16 proposed single action are economically profitable. With a longer life time than indicated in BR08, another 3 actions becomes profitable. For most of the actions, profitability depends on the fact that part of the investment may be regarded as ordinary maintenance or a measure to increase comfort and indoor climate – so the entire investment does not have to be paid back through energy savings.

Upgrading of the house to low energy class 1 of BR08 is not profitable no matter which of the three applied economical indicators are used. But if the house after all is being upgraded to the level of BR08 it is profitable to go all the way and future proof the house to low energy class 1.

Many energy renovation measures are not carried out due to the economy and because other factors as comfort, indoor climate, less maintenance, better functioning buildings, future proofing often do not form part of the decision making. For that reason, energy renovation is not carried out or only to a less extent than needed when the aim is to reach an overall energy system in Denmark without fossil fuels.

Therefore, it should be investigated which measures have to be developed to motivate owners of single-family houses from the 60s and 70s to perform extensive energy renovation.

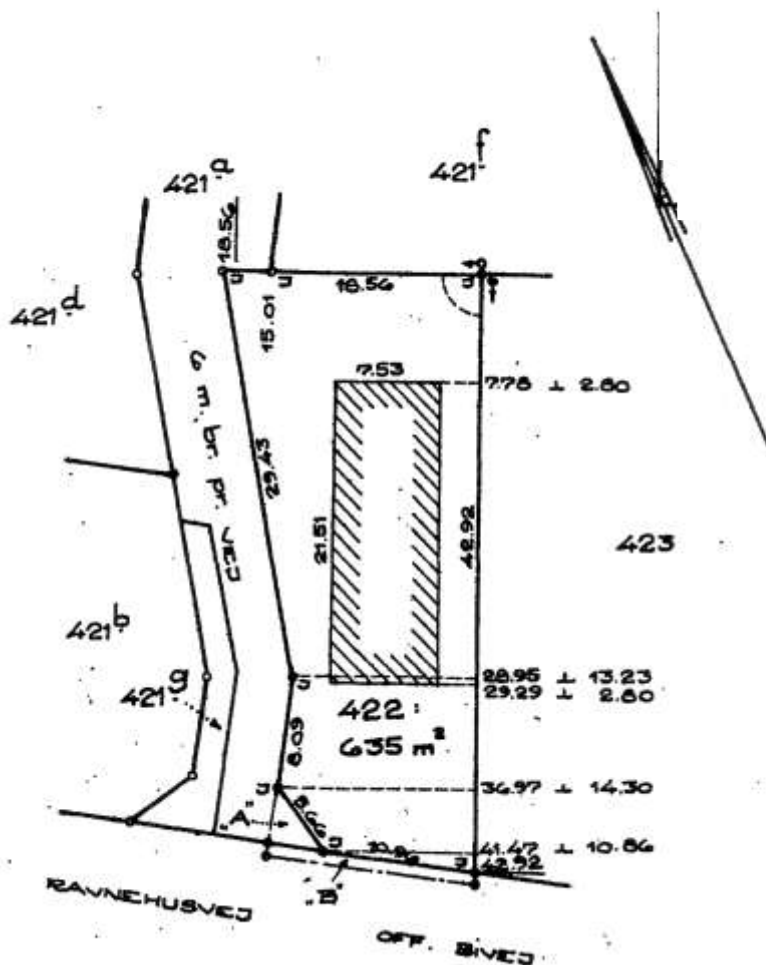
1. Indledning

Parcelhuse udgør ca. 40% af det samlede etageareal i danske boliger. Her af udgør 60-70'ere parcelhusene 35% med i alt omkring 70 mio. m². Energiforbruget til opvarmning var i opførelsesåret omkring 3 gange højere end BR08 foreskriver. Selvom der i mange af 60-70'ere parcelhusene er foretaget energiforbedringer, er besparelspotentialet stadig stort. Alene de besparelser, som energimærkerne peger på, udgør ifølge Videnscentret for energibesparelser i bygninger 37,5 TJ/år (10,4 GWh/år). Forslagene i energimærkerne vil dog ikke bringe husene på BR08 niveau, så der er god grund til at undersøge, hvordan denne type huse energimæssigt kan opgraderes til BR08 (da det var det gældende bygningsreglement, da energibesparelserne i rapporten blev beregnet), lavenergiklasse 2 eller 1 niveau, da besparelspotentialet er meget stort.

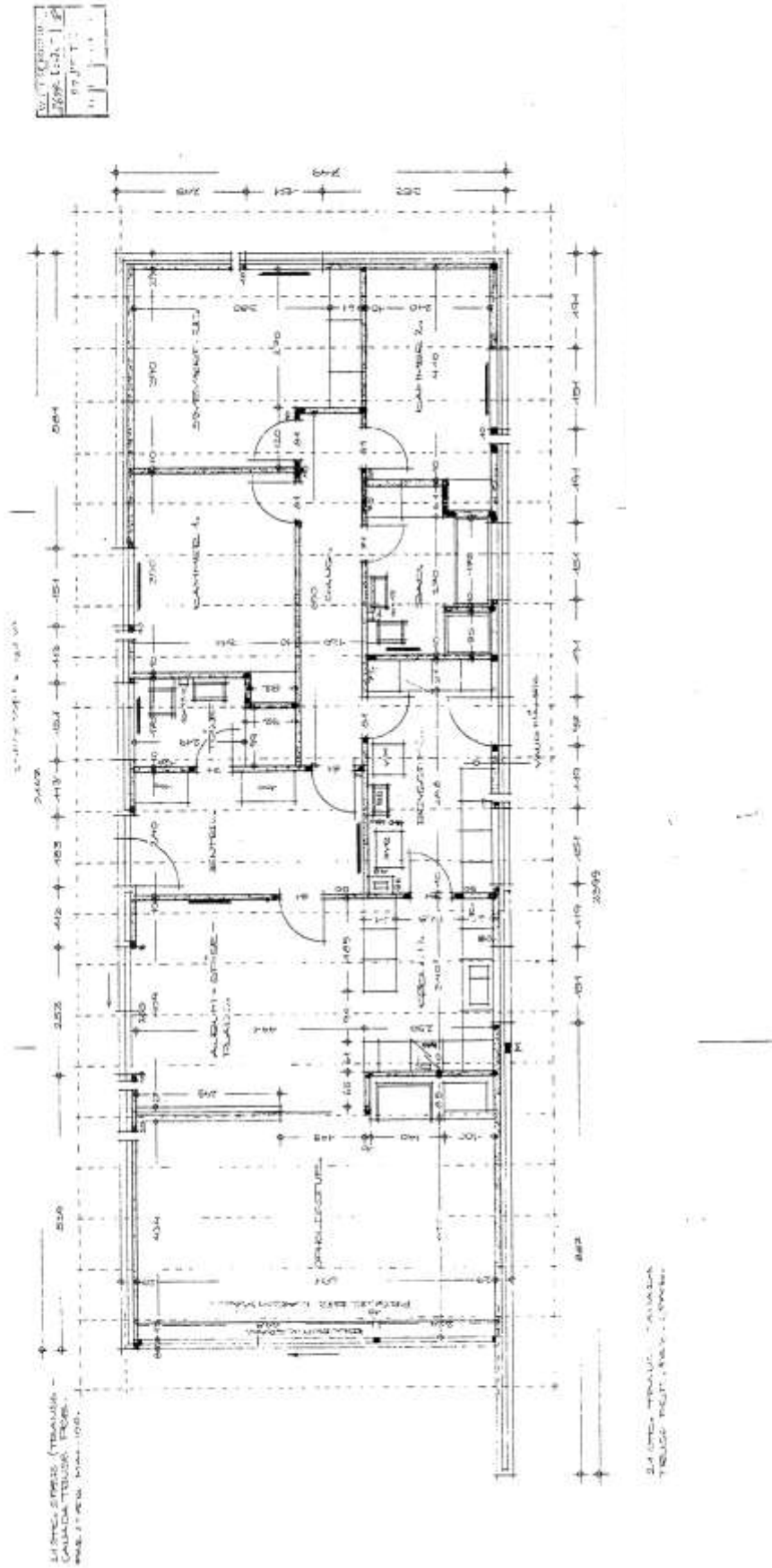
1.1. Eksempelhus

For at illustrere muligheder og potentiale tages der i det følgende udgangspunkt i et typisk 70'ere parcelhus beliggende i 3500 Værløse. Huset er et etplanshus opført i 1974 på oprindelig 161 m². I 2002 er huset (stuen) blevet forlænget med 19 m², så huset i dag er på 180 m².

Figur 1.1-4 viser grunden med orientering af huset samt oprindelig plan, snit, facader og gavle.

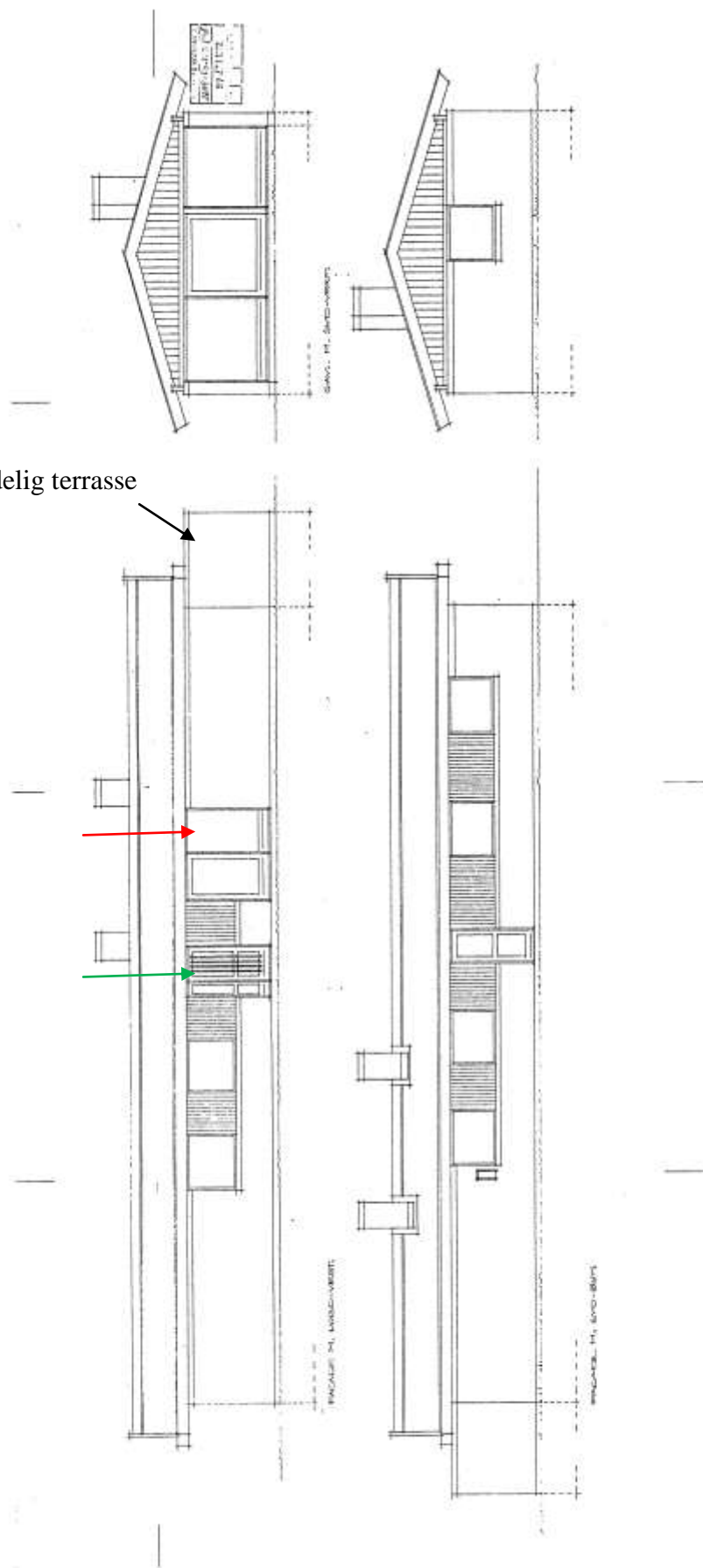


Figur 1.1. Grund med placering og orientering af huset.



Figur 1.2. Oprindeligt plan.

Læmur på oprindelig terrasse



Figur 1.4. Oprindelige facader og gavle.

I 2002 bliver huset forlænget mod sydøst med samme længde som læmuren vist i figur 1.4. Læmuren udgør herefter ydervæggen for denne del af bygningen, mens der er opbygget en let væg med et vindue mod nordvest som vist på figur 1.5. Samtidigt er der indsat et ekstra vindue i nordvestfacaden – figur 1.6, og en dør i læmuren – figur 1.7. Figur 1.7 viser også den nye sydvestlige gavl.



Figur 1.5. Ny let væg mod nordvest. Billedet er taget en morgen med rim og viser derfor væggenes bærende skel.

Figur 1.8-9 viser den sydøstlige facade og den nordøstlige gavl.

Udvidelsen af huset har givet mulighed for et ekstra værelse i forbindelse med stuen, som figur 1.10 viser.

Et af de store vinduer ved siden af hoveddøren (rød pil i figur 1.4) er blevet lukket med et let panel ca. magen til væggene i tilbygningen. Hoveddøren (grøn pil i figur 1.4) er blevet udskiftet med en dør uden glas.

De nye ejere overtog huset i 2009. De nye ejere har planer om forbedringer af huset - herunder også energiforbedringer.

Som det fremgår af figur 1.1 ligger huset med længderetningen drejet 24° fra en nord-syd akse.



Figur 1.6. Nordvestfacaden. Pilen viser det nye vindue.



Figur 1.7. Den sydvestvendte nye gavl. Piler viser den nye dør



Figur 1.8. Sydøstfacaden.



Figur 1.9. Den nordvestlig gavl.

*



Figur 1.10. Nuværende plan for huset (Bolius ArkitektPLAN) .

2. Den eksisterende bygning

I det følgende vil de eksisterende bygningskonstruktioner og installationer blive gennemgået.

2.1. Klimaskærmskonstruktioner

2.1.1. Loft og tag

Taget er en traditionel gitterspærskonstruktion med en taghældning på 15° med et udhæng over facaderne på 700 mm og over gavlene på 600 mm. Tagmaterialet er eternitskiffer.

Loftet består som vist på figur 1.3 oprindeligt af 100 mm Glasuld, Alukraft og 16 mm træliste-loft. Loftet er efterfølgende blevet efterisoleret med ca. 100 mm mineraluld.

U-værdi: 0,20 W/m²K jvf. (Energistyrelsen, 2008, bilag 3.1.6, Lbr. 6.7)

2.1.2. Facader og indervægge

De oprindelige ydervægge består som vist på figur 1.6, 1.8 og 1.9 primært af tunge vægge samt mindre felter med lette paneler.

Tunge vægge

De tunge vægge udgør 76,5% af det samlede facadeareal (minus vinduer) på 137.3 m² og består af:

110 mm tegl udvendigt

75 mm murbatt

100 mm Leca vægelement

Der er fuld udmuring omkring vinduer, døre og samt under remmen – se figur 1.3.

U-værdi: 0,60 W/m²K jvf. (Energistyrelsen, 2008, bilag 3.1.2, Lbr. 2.4)

Lette paneler

De lette paneler udgør 8,4% af det samlede facadeareal minus vinduer og består af:

22 mm træbeklædning

150 mm mineraluld

100 mm Leca vægelement

U-værdi: 0,30 W/m²K jvf. (Energistyrelsen, 2008, bilag 3.1.3, Lbr. 3.4)

Indervægge

100 mm Leca vægelement

Ydervæggene i tilbygningen (+ lukket vindue ved siden af hoveddøren) er som vist på figur 1.5 opbygget af et træskellet med:

22 mm træbeklædning
 125 mm mineraluld
 2x13 mm gipsplader
 U-værdi: 0,35 W/m²K (beregnet under antagelse af at træskelettet udgør 15%).

De nye ydervægge udgør 15,2% af det samlede facadeareal minus vinduer.

2.1.3. Vinduer og døre

De oprindelige vinduer er traditionelle termoruder, hvilket også er tilfældet for glasdøren i nordøst facaden. De nye vinduer og døre er med lavenergi ruder. Glasandelen er mellem 0,49 og 0,82.

Værdier for vinduer og døre er angivet nedenfor

Vinduer og ydervæge	Antal	Orient.	Hældn.	Area (m ²)	U (W/m ² K)	g	ff (W/m ²)	ff (-)	g (-)	Slagge	Pc (-)
1	1	24	90	1.812	2,8	1,00	5.0736	0,73	0,75	Chick	1
2	4	114	90	1.812	2,8	1,00	20.2944	0,73	0,75	Sydøst vindue	1
3	3	204	90	1.661	1,5	1,00	7.4745	0,82	0,63	Sydvest 3 vind	1
4	2	294	90	1.812	2,8	1,00	10.1472	0,73	0,75	Nordvest 2 via	1
5	1	114	90	2.043	2,8	1,00	5.7204	0,49	0,75	Sydøst dør	1
6	1	114	90	1.849	1,5	1,00	2.7735	0,5	0,63	Sydøst dør	1
7	1	204	90	0.644	1,5	1,00	0.966	0,55	0,63	Sydvest lille vindue	1
8	1	294	90	2.798	2,8	1,00	7.826	0,57	0,75	Nordvest stort	1
9	1	294	90	0.675	1,5	1,00	1.0125	0,5	0,63	Nordvest små	1
10	1	294	90	0.886	1,5	1,00	1.044	0,49	0,63	Nordvest små	1
11	1	294	90	0.753	2,8	1,00	2.1088	0,47	0,75	Nordvest ved	1
12	1	294	90	2.064	3	1,00	6.192	0	0	Nordvest ved	1

Slagge	Placering (%)	Længde (%)	Værelse (%)	Herre (%)	Vindueareal (%)
1	27	20	0	0	5
2	10	40	0	0	5
3	18	23	0	0	5
4	10	22	0	0	5
5	10	25	0	0	5
6	25	40	0	0	5
7	25	25	0	0	5
8	25	37	0	0	5
9	25	23	0	0	5
10	25	23	0	0	5
11	25	23	0	0	5
12	25	23	0	0	5

Figur 2.1. Anvendte værdier for vinduer og døre.

Linietafet mellem vinduer/lette partier og de tunge ydervægge antages at være:

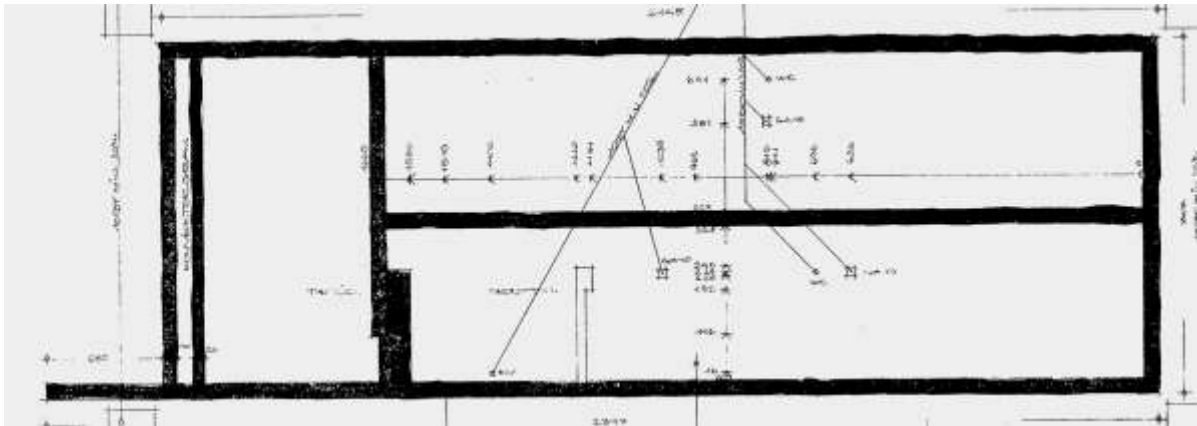
Linjetab ψ : 0,11 W/mK jvf. (DS418:2002, tabel 6.12.1a). Længden er ved opmåling på tegning fundet til at være 35 m.

2.1.4. Fundament/sokkel

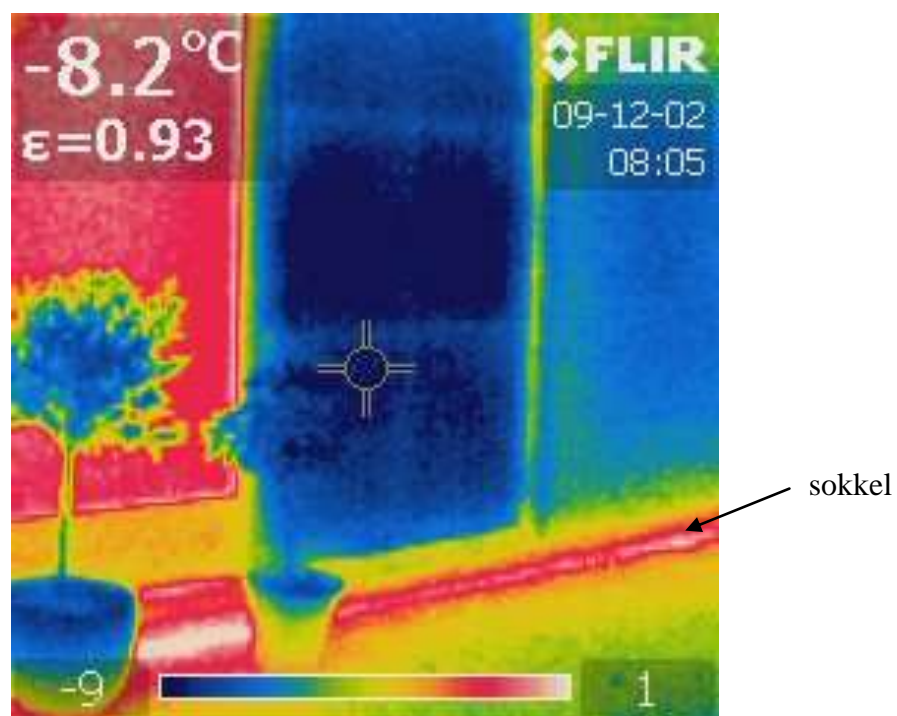
Huset står på blød undergrund, hvorfor det har været nødvendigt at pilotere. Af samme grund har fundering under huset også været nødvendig – se figur 1.3 og 2.2.

Figur 1.3 indikerer, at der er et stort linietaf ved soklen, hvilket figur 2.3 også viser. Et tilsvarende stort linietaf ses også ved tilbygningen.

Linjetab ψ : 0,425 W/mK - beregnet med HEAT2 programmet.



Figur 2.2. Husets oprindelige fundament.



Figur 2.3. Temografibillede af nordvest facaden ved det isolerede panel vist med den røde pil i figur 1.4. Soklen er udpeget med sort pil.

2.1.5. Terrændæk

På grund af den bløde undergrund er terrændækket armeret og bærende. Terrændækket består som vist på figur 1.3 af:

- 200 mm singels
 - støbefolie
 - 120 mm jernbeton
 - plastfolie
 - 50 mm mineraluld mellem 2x2" strøer pr. 500 mm
 - 22 mm trægulv
- Der er sandsynligvis en luftspalte mellem isolering og trægulvet på 25-30 mm

U-værdi: 0,29 W/m²K jf. (Dansk Forening af Fabrikanter af Varmeisoleringsmaterialer, 2000, side 14)

De to badeværelser og bryggerset har flisegulv. Disse gulve er lidt lavere end trægulvene. Naboen, som har et hus magen til, har brudt gulvet op i de to badeværelser for at lægge nyt gulv. Det viste sig, at der ikke er isolering i de oprindelige badeværelsesgulve. Det antages, at dette også gælder for gulvet i bryggerset. Disse gulve består derfor af:

200 mm singels

støbefolie

120 mm jernbeton

75 mm afretningslag

5 mm fliser

U-værdi: 0,70 W/m²K jf. (Energistyrelsen, 2008, bilag 3.1.8)

$\psi = 0,65$ W/mK (DS418:2002, tabel 6.13.2a).

Arealet af gulvene i badeværelser og bryggers er 23,6 m² eller 14,7% af nettoarealet.

2.2. Installationer

2.2.1. Gasfyr

Huset opvarmes ved hjælp af et nyere kondenserende gasfyr: Bosch ZSB 7-22 A 23 fra 2003. Ud fra testresultater fra DGC hjemmeside antages det, at fyret har en effektivitet på 0,96 ved fuldlast og 1,04 ved 30% dellast. Elforbruget til blæseren er 96 W, mens styringen har et effektforbrug på 0,9 W.

2.2.2. Varmefordelingsanlæg

Opvarmningen sker via et vandbåret et-strengt radiatorsystem. Det er ikke muligt at komme til cirkulationspumpen, men ud fra alderen på fyret, antages det, at det er en 90 W kombipumpe.

Huset blev besøgt en morgen, hvor udelufttemperaturen var -7-8°C. Fremløbstemperaturen til radiatoranlægget var da 50-51°C. Det antages derfor, at det dimensionerende temperatursæt er 55/40°C.

Der er gulvvarme på de to badeværelser og delvist i bryggerset. Delvist i bryggerset fordi de (sandsynligvis) uisolerede frem og retur rør i radiatorkredsen ligger indstøbt midt ned gennem bryggersgulvet – hvilket direkte kan mærkes som en højere gulvtemperatur i en tredjedel til halvdel af gulvet. Ventilene til gulvvarmen i de to badeværelser er begge åbne, men gulvvarmen virker ikke i det lille badeværelse og kun delvist i det store badeværelse.

Målinger ved hjælp af en pind tyder på, at der er en 4,5-5 cm grav i terrændækket hele vejen rundt langs soklen til radiatorkredsens rør. Rørene antages isoleret med 20 mm mineraluld, da det var kravet, da huset blev opført. Det antages ligeledes, at rørene ligger udenfor husets klimaskærm, samt at længden af rørene er 56 m.

2.2.3. Varmt brugsvand

Brugsvandsbeholderen er en nyere 100 l beholder fra Vølund type QM 100 installeret samtidigt med gasfyr. Fabrikanten oplyser, at varmetabet fra beholderen er 0,94 W/K. Figur 2.4 viser et billede af gasfyr og varmtvandsbeholder. Der er ikke cirkulation på det varme brugsvand.



Figur 2.4. Bryggers med gasfyr og varmtvandsbeholder.

2.2.4. Ventilation

Huset er naturligt ventileret. En trykprøvning af huset viste et luftskifte på 2,8 l/s/m² ved et under-/overtryk på 50 Pa. Det svarer til en infiltration på 0,2 l/s/m² ifølge (SBI, 2005), hvilket er under det anbefalede luftskifte på 0,3 l/s/m². Men da aftræk fra køkken og badeværelser, spjæld i rum, brændeovn samt utæt loftlem i brygger var tapet til under trykprøvningen antages det, at det er muligt at opnå de 0,3 l/s/m² i dagligdagen.

2.2.4.1. Termografibilleder

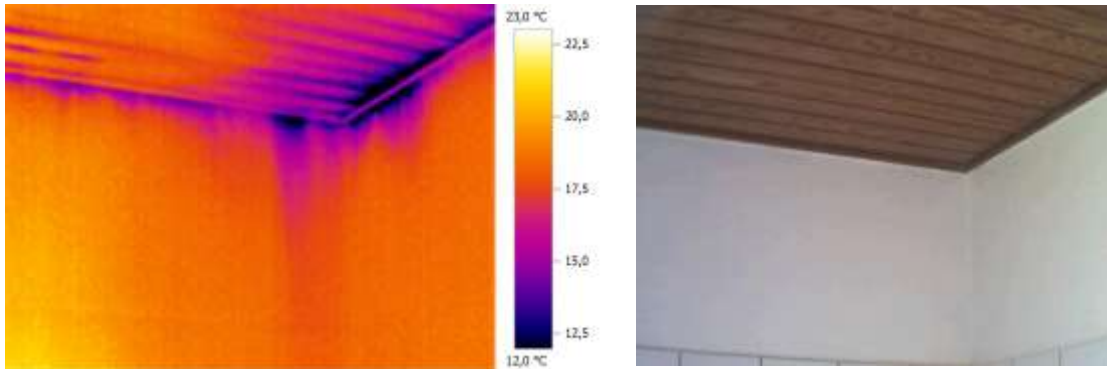
Ved trykprøvningen af huset blev der taget termografibilleder indvendigt i huset både med og uden undertryk, da specielt termografibilleder ved undertryk viser, hvor der er utætheder.

Termografibillederne viste, at der er mange utætheder omkring døre og vinduer. Men da disse alligevel tænkes udskiftet, vil dette problem ikke nærmere blive berørt her.

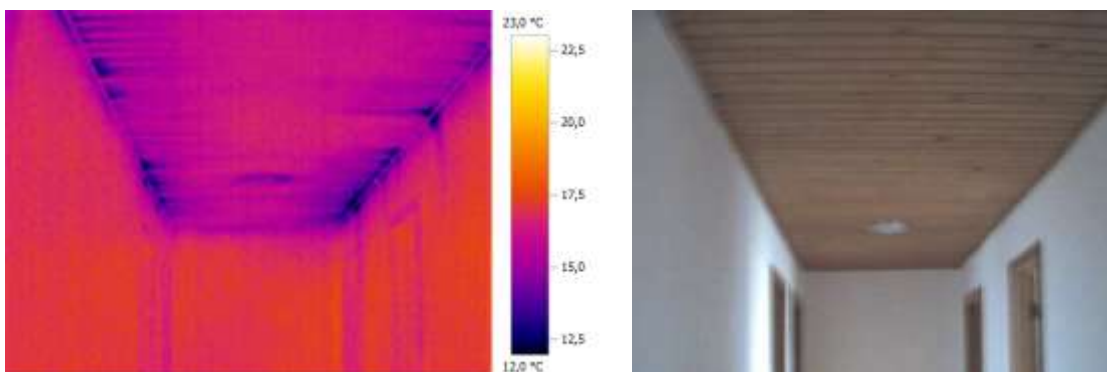
Termografibillederne uden undertryk giver ikke anledning til de store kommentarer ud over, at der er en uisoleret loftlem, der er enkelte kolde hjørne mod lofter, samt at der er nogle kuldebroer mellem tilbygningen og den oprindelige bygning.

Termografibillederne med undertryk viser derimod klart, at der er utætheder mellem ydervægge og loft, som vist i figur 2.5. Men figur 2.6 og 2.7 viser, at dette problem også eksisterer for samlinger mellem indervægge og loft og de 18 halogenspot i køkken/alrum.

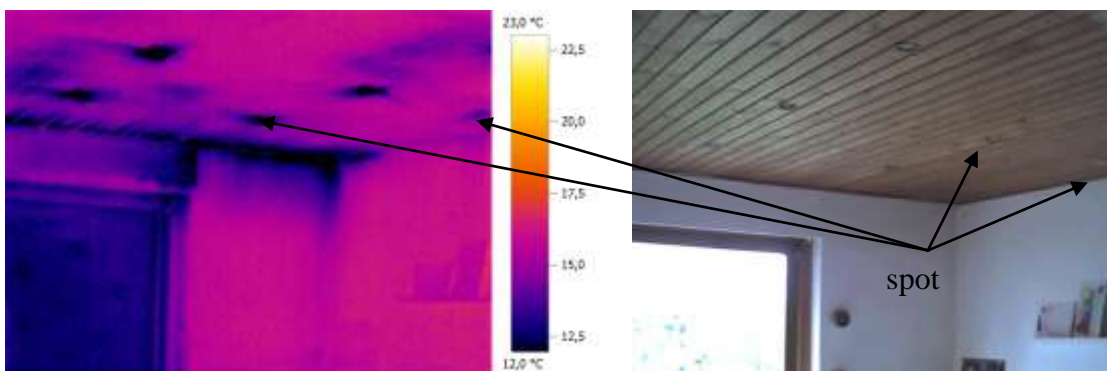
I forbindelse med en renovering vil det derfor være en god idé at få tætnet loftet – primært ved overgangene til alle vægge.



Figur 2.5. Utætheder ved ydervæg og loft i det store badeværelse.



Figur 2.6. Utætheder ved indervægge og loft i gangen.



Figur 2.7. Utætheder ved halogenspot i loftet i køkken/alrum. Pilene viser nogle af spot'ne.

2.3. Indeklima

Den nye ejer synes, at huset lugter mærkeligt. De har mistanke om en vand- eller kloakskade i gæstebadeværelserne. Specielt gæstebadeværelset og værelset mod vest lugter. Derudover er lugten i bryggerset heller ikke særlig spændende. Der er mange af vinduerne, der har taget skade af fugt, hvilket tyder på dårlig udluftning. Den nye ejer er derfor interesseret i mekanisk ventilation.

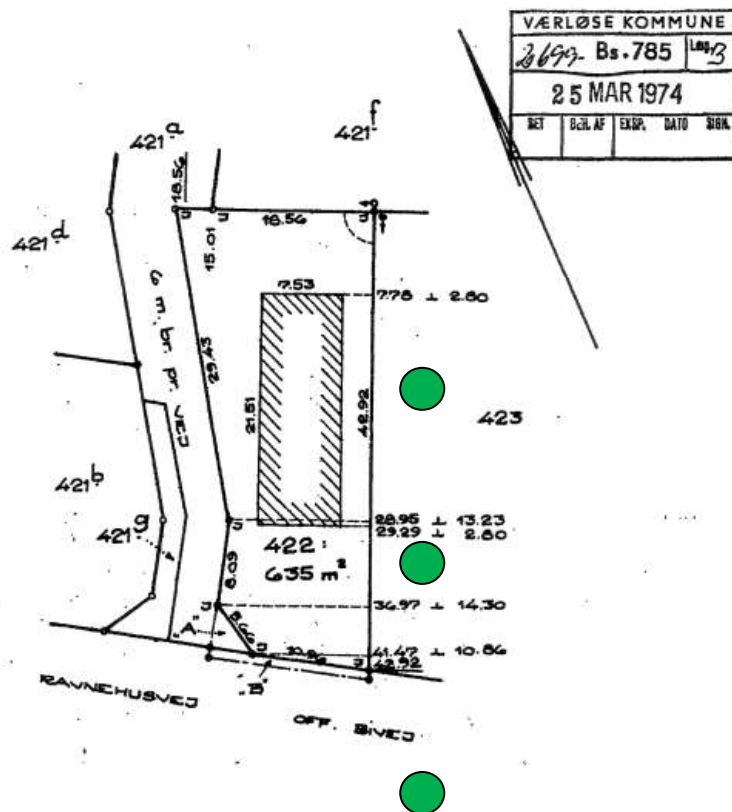
Der er ingen ventilator i aftrækkene i badeværelser og bryggers, og der er (midlertidigt) ingen emhætte i køkkenet (kanalen til denne var delvist afspærret). Dette kan sagtens give for lidt ventilation i køkken og bad til hurtigt nok at fjerne de store fugtmængder, disse rum bliver udsat for.

2.4. Skygger

Som det ses af figur 2.8 er der tre høje birketræer hos tre forskellige naboer mod syd og syd øst – se figur 2.9. Træerne skygger for den sydøst vendte tagflade. Træerne er, som det ses af figur 2.8, ret åbne i vinterhalvåret, hvorfor de ikke har så stor indflydelse på den passive solvarme. Men der bør gennemføres en nøjere skyggeanalyse i forbindelse med evt. installation af solvarme og solceller.



Figur 2.8. Skyggegivende træer mod syd og sydøst.

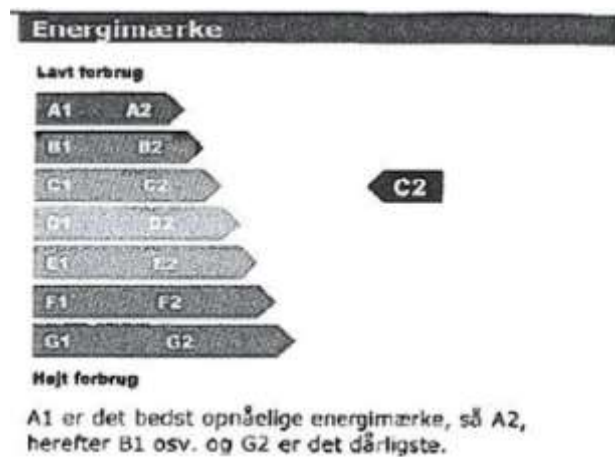


Figur 2.9. Cirka placering af skyggegivende birketræer

2.5. Energiforbrug

Det årlige varmeforbrug er i energirapporten fra d. 8/10-07 opgjort til 2.013 m³ naturgas svarende til ca. 123 kWh/m² ved et energiindhold i naturgas på 11 kWh/m³. I perioden 22/4-06 – 29/4-07 er der aflæst et gasforbrug på 1.433 m³ (svarende til 88 kWh/m²). Årsagen til forskellen mellem energikonsulentens skøn og det aktuelle gasforbrug angives i energirapporten til et ikke registreret forbrug af brænde.

Energi-konsulenten har, som det ses af figur 2.10, givet huset energimærket C2.



Figur 2.10. Husets energimærke.

2.5.1. Be06 beregning

På baggrund af registreringerne i afsnit 2.1-2 er der opbygget en model af huset i Be06 version 4, 8, 11, 14.

Da gulvvarmen i badeværelser og bryggers kun virker ”halvt”, benyttes her en B-faktor på 0,85 i stedet for 1 for terrændækket og 1,15 for linietafet mod ellers 1,3.

Be06 beregningen giver som vist i figur 2.11 et samlet årligt energibehov på 156,6 kWh/m². Hvilket er ca. dobbelt så højt som BR08 energirammen på 82,2 kWh/m².

Nøgletal, kWh/m ² år			
Energiramme		Klasse 2: 58,9	Klasse 1: 41,1
BR: 82,2			
Samlet energibehov		156,6	
Bidrag til energibehovet		Netto behov	
Varme	146,0	Rumopvarmning	122,5
El til bygningsdrift	4,2 *2,5	Varmt brugsvand	14,7
Overtemp. i rum	0,0	Køling	0,0
Udvalgte elbehov		Varmetab fra installationer	
Belysning	0,0	Rumopvarmning	11,3
Opvarmning af rum	0,0	Varmt brugsvand	1,6
Opvarmning af vbv	0,0	Ydelse fra særlige kilder	
Varmepumpe	0,0	Solvarme	0,0
Ventilatorer	0,0	Varmepumpe	0,0
Pumper	3,5	Solceller	0,0
Køling	0,0		
Totalt elforbrug	34,9		

Figur 2.11. Nøgletal fra Be06 beregningen over huset som det ser ud i dag.

Uden forbedringerne: kun 100 mm isolering på loftet, traditionelle termoruder i hele huset, et oliefyr med en effektivitet på 0,85 og gulvvarme, der virker efter hensigten, ville det samlede årlige energibehov være ca. 219 kWh/m² - eller 2,66 gange højere end BR08 energirammen.

Be06 beregningen i figur 2.11 viser, at det årlige opvarmningsbehov i dag er 146 kWh/m² - eller 27% højere end vurderet af energirådgiveren. Det er en rimelig uoverensstemmelse, da der er mange forhold i Be06 beregningen, der bygger på antagelser. Alene antagelsen om, at radiatorkredsens rør ligger udenfor klimaskærmen udgør et årligt energiforbrug på 11 kWh/m².

Et Be06 varmemeforbrug på 146 kWh/m² er 66% højere end det målte gasforbrug. En nærmere undersøgelse viser dog, at opvarmningsbehovet (i form af både solkorrigerede og ikke solkorrigerede graddage) i 2006-7 – hvor gas-opgørelsen var fra – var ca. 20% lavere end i DRY (Lund, 1995) som anvendes i Be06 beregningerne. Hvis rumopvarmningsbehovet i figur 2.11 (146 – 14,7 (brugsvand)) korrigeres for dette, reduceres Be06 opvarmningsbehovet fra 146 til 120 kWh/m², hvilket er 36% højere end det faktiske gasforbrug. Forskellen kan nu

bedre forklares med et vist brændeforbrug. Det beregnede årlige energiforbrug på 156,6 antages derfor med rimelighed at beskrive husets energiforbrug under standardbetingelser.

Energibesparelspotentialet for huset i forhold til henholdsvis BR08, lavenergiklasse 2 og 1 er:

I forhold til: BR08:	74 kWh/m ² - 47%
lavenergiklasse 2:	98 kWh/m ² - 63%
lavenergiklasse 1:	116 kWh/m ² - 74%

I de følgende kapitler vil forskellige tiltag blive undersøgt. Både med hensyn til besparelspotentiale og økonomi.

3. Analyse af energirenoveringsmuligheder

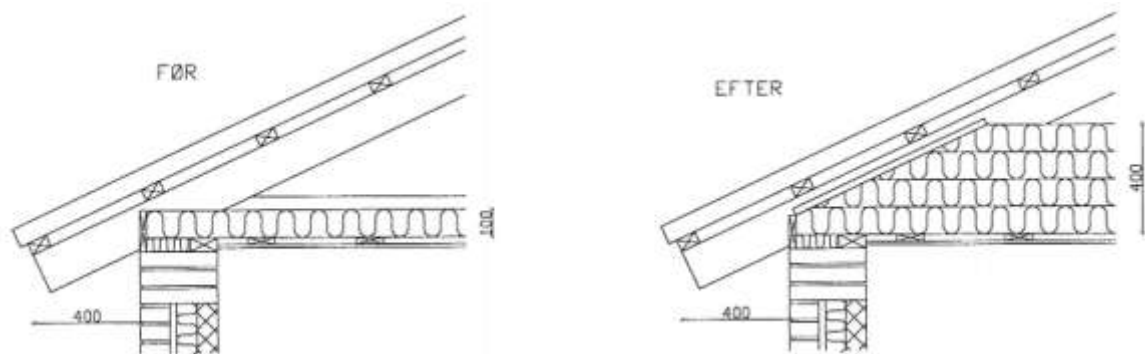
Den nye ejer af er interesseret i renovering af huset - både funktionel renovering og energirenovering, herunder nye vinduer og bedre ventilation – samt de fire ovenlysvinduer i stue, alrum, gang og det store badeværelse, som er indikeret med lyseblå felter i figur 1.10 . Ejeren af huset er også interesseret i omlægning af husets gulve, da disse flere steder gynger og knirker samt, at gulvvarmen på badeværelserne ikke virker ordentligt.

Der er en servitut på ejendommen, der foreskriver, at husets facader ikke må ændres. Dette hindrer udvendig efterisolering, medmindre der opnås dispensation fra kommunen.

3.1. Klimaskærm

3.1.1. Loft- og tagkonstruktion

Isoleringstykkelsen på loftet forøges op til 400 mm. På grund af den lave taghældning, kan isoleringstykkelsen langs facaden ikke forøges. Ca. 50% af loftet kan isoleres med 400 mm, mens det resterende areal kan isoleres mellem 100 og 400 mm som vist i figur 3.1. Den gennemsnitlige U-værdi er beregnet til 0,13 W/m²K.



Figur 3.1. Eksempel på før og efter renovering af loft fra 100 til 400 mm – dog med en højere taghældning end i det aktuelle hus (Friedling et al, 2006).

På grund af den lave lofthøjde vil det være nødvendigt at fjerne noget af tagbeklædningen for at få plads til arbejdet. Dette kan samtænkes med installation af ventilationskanaler på lofter samt integration af ovenlysvinduer, solfangere og evt. solcelle paneler i taget.

Loftet – specielt samlingerne mod væggene – skal tætnes.

3.1.2. Facader

En servitut på ejendomme hindrer som nævnt ændring af facaderne, hvorfor indvendig efterisolering af ydervæggene måske er den eneste mulighed.

Indvendig efterisolering bør ske samtidig med en evt. omlægning af gulvet

Indvendig efterisolering af ydervæggene mod sydøst og nordvest i stuen vil under alle omstændigheder være et arkitektonisk plus, da overgangene mellem den oprindelige del af stuen og tilbygningen er ujævne eller dårligt udført, som det ses i figur 3.1.



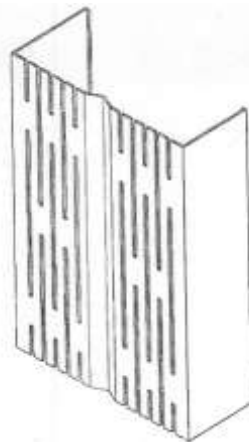
Figur 3.1. Dårligt udførte overgange mellem den oprindelige ydervægge i stuen og tilbygningen.

Der gennemføres dog også beregninger for en udvendig efterisolering med 200 mm.

Indvendig efterisolering

Der efterisoleres indvendigt med 100 mm mineraluld med slidsede regler (se figur 3.2) pr. 900 mm. Inderst 2 gipsplader. Skelettet af regler, skal "svæve" 50 mm foran den oprindelige indervæg, således, at der er 50 mm ubrudt isolering mellem den oprindelige indervæg og skelettet af regler. Dette reducerer betydningen af kuldebroer og mindsker risikoen for sortsvertning på indersiden af gipsen ud for reglerne. Der efterisoleres kun med 100 mm, da indvendig efterisolering reducerer brugsarealet i bygningen. Linietaf ved indvendige skillevægge medtages traditionelt ikke i beregningen ved indvendig efterisolering – heller ikke her.

Dampspærren monteres mellem den ubrudte isolering og skelettet af regler, og klemmes mod gulv/terrendæk, loft og vægge ved hjælp af reglerne. Dette mindsker fugtproblemer i konstruktionen. Dette skal samtænkes med tætning langs loftet.



Figur 3.2. Slidset regel (Friedling et al, 2006).

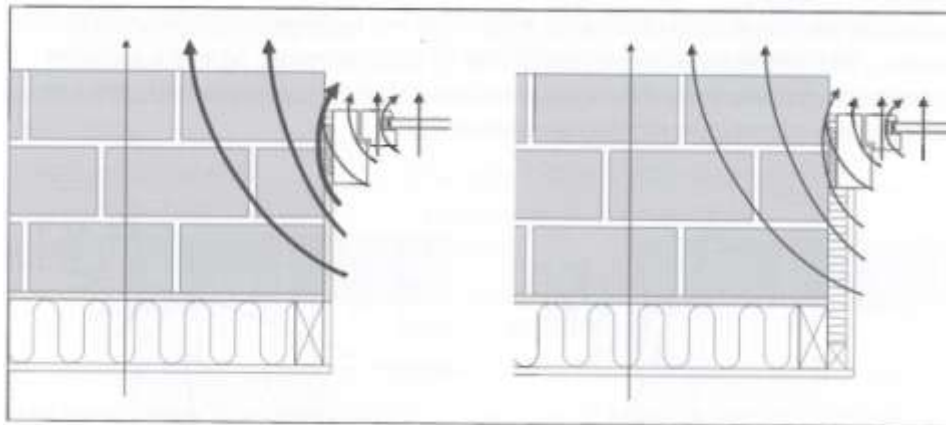
Ved indvendig efterisolering erstattes den indvendige overflade af ydervæggene af leca-elementer med gips med en mindre varmeakkumulerende evne. Det antages derfor, at varmekapaciteten af bygningen ændres fra 80 til 60 Wh/m²K.

Ved indvendig efterisolering skal det udvendige fundament samtidig efterisoleres udvendigt som beskrevet i afsnit 3.1.5.

Det antages, at den indvendige efterisolering vil lede til følgende U-værdier:

Tunge vægge: 0,24 W/m²K
Lette paneler: 0,175 W/m²K
Vægge i tilbygning: 0,19 W/m²K

For at reducere linietafet omkring vinduer og døre skal falsen omkring disse også isoleres som vist i figur 3.3. Herved kan linietafet ca. halveres fra 0,11 til 0,05 W/mK.



Figur 3.3. Eksempel på isolering af fals omkring vinduer og døre ved indvendig efterisolering (Munch-Andersen, 2008).

I forbindelse indvendig efterisolering af badeværelserne skal der være speciel fokus på at overholde retningslinierne i (SBI, 2001).

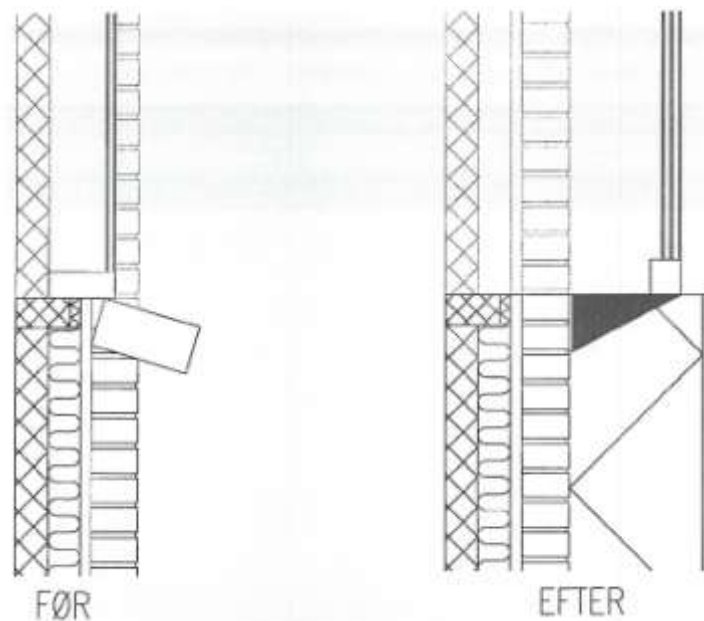
Udvendig efterisolering

Udvendig efterisolering kan f.eks. foretages med isolering opsat direkte på de eksisterende vægge og med en pudset udvendig overflade som f.eks. Rockwools facadesystemer. Efterisoleringen skal føres ned langs fundamentet.

Ved efterisolering med 200 mm antages følgende U-værdier at være gældende:

Tunge vægge: 0,15 W/m²K
Lette paneler: 0,12 W/m²K
Vægge i tilbygning: 0,12 W/m²K

Vinduerne og døre placeres, så de passer med den nye ydermur som vist i figur 3.4. Vinduer og døre monteres med beslag med ringe kuldebro-virkning på den eksisterende ydermur. Herved elimineres linietafet.



Figur 3.4. Eksempel på placering af vindue i forbindelse med udvendig efterisolering (Friedling et al, 2006).

3.1.3. Vinduer og døre

Ruderne i alle vinduer og glasdøre udskiftes til energiruder. Der undersøges tre typer af vinduer med forskellige ruder:

Almindelig lavenergiruder:	gennemsnitlig U-værdi: 1,5 W/m ² K, g-værdi 0,63
3-lags energirude med Argon:	gennemsnitlig U-værdi: 1,1 W/m ² K, g-værdi 0,54
3-lags passivhus-vinduer:	gennemsnitlig U-værdi: 0,8 W/m ² K, g-værdi 0,54

samt i alle tre tilfælde:

Hoveddør uden glas:	U-værdi: 1,0 W/m ² K
---------------------	---------------------------------

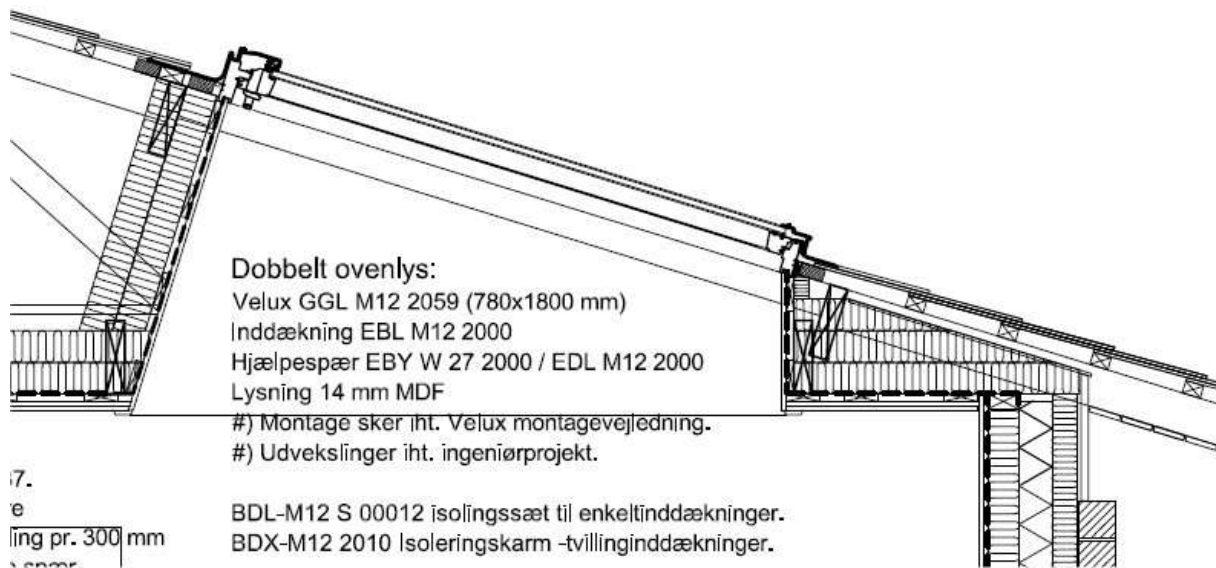
3.1.4. Ovenlysvinduer

Figur 1.10 viser fire nye ovenlysvinduer. Ovenlysvinduet i gangen er dog i en senere skitse fra Bolius udskiftet med tre stk. Lystunneler fra Velux. Figur 3.5 viser Bolius forslag til integrering af de tre ovenlysvinduer. Ovenlysvinduerne forøger varmetabet gennem loftet, men lukker mere solvarme og lys ind i boligen. Det første kan give overophedningsproblemer om sommeren, med mindre ovenlysvinduerne afskærms og/eller de åbnes, når der er risiko for overophedning. Mere lys i boligen reducerer anvendelsen af kunstlys, men kunstlys medtages ikke i energiberegningerne for boliger.

Der regnes med to stk. 0,78x1,8 m² vinduer, et stk. 0,78x1,18 m² vindue og tre Ø 0,35 m Lystunneler i taget mod sydøst og et stk. 0,78x1,8 m² vinduer i taget mod nordvest.

I figur 3.5 er anvendt Velux GGL. Ifølge Velux's beregningsprogram vil U-værdien under de givne forhold være 1,8 W/m²K (g-værdi = 0,6) med en traditionel energirude og 1,2 W/m²K

(g-værdi = 0,45) med deres bedste rude. I begge tilfælde er linietalet 0,09 W/mK og glassandelen er 0,67. Længden af linietalet er fundet til 16 m.



Figur 3.5. Forslag fra Bolius til integration af ovenlysvinduer i taget.

Der findes ingen Be06 værdier for lystunnelerne, men Velux oplyser, at g-værdien ved en flex-kanal på 1 m er 0,2 og varmetabet er 0,19 og 0,21 W/K med og uden 50 mm isolering af kanalen.

Solvarmebidraget fra de tre lystunneler á 0,096 m² med en g-værdi på 0,2 er minimal. Der vil derfor ikke blive taget højde for dette bidrag i Be06-beregningerne. Varmetabet gennem isolerlystunnelerne forøger varmetabet gennem loftet med under 3%. Dette varmetab vil blive medtaget som en forøgelse af loftets U-værdi sammen med forøgelsen som følge af ovenlysvinduerne.

Ovenlysvinduerne medtages i beregningerne som vinduer i loftet med ovennævnte U-værdi, g-værdi, linietalet og glassareal. Arealet af loftet reduceres og loftets U-værdi forøges som følge af varmetabet fra skaktene mellem loft og ovenlysvinduer.

Det er beregnet, at loftets U-værdi skal forøges med 10% som følge af varmetabet fra skakte (minus ovenlysvinduer) og lystunneler, når skaktens U-værdi antages at være 0,2 W/m²K. Følgende værdier anvendes for loftet:

U-værdi: 0,145 W/m²K
Areal: 175 m²

3.1.5. Terrændæk

Da terrændækket er bærende og stabiliserende for huset, er det ikke realistisk at bryde dette op for at give plads til mere isolering samt indvendig isolering af soklen. Da rumhøjden er ca. 2,4 m, er det heller ikke muligt at hæve gulvet, når dette alligevel lægges om. Medmindre at det flade loft erstattes med et loft til kip, som vil øge rumhøjden. Ejeren er dog ikke umiddelbart interesseret i denne løsning.

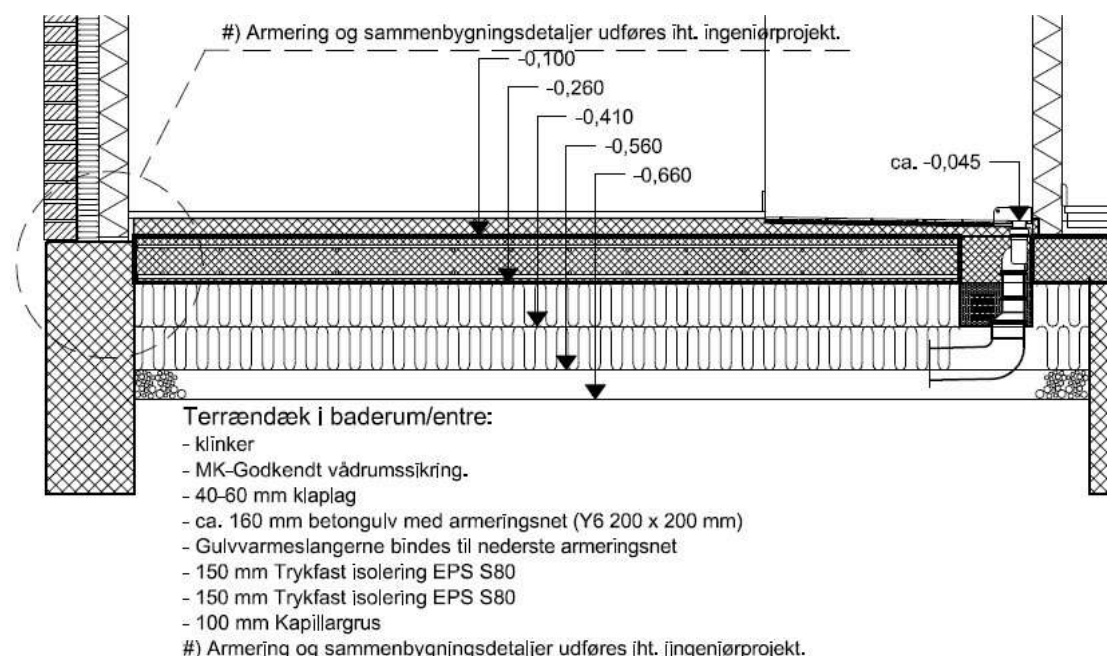
Ved evt. omlægning af trægulvene, bør det undersøges, om gulvene kan isoleres med yderligere 25 mm til i alt 75 mm.

Ejeren er huset er interesseret i at lægge gulvet i de to badeværelser om for dels at udbedre eventuelle kloakskader samt for få gulvvarme, der virker. Det sidste kræver dog, at radiatorkredsen også lægges om og bliver udført som et to-strengt anlæg. Den nye ejer ønsker også gulvvarme i entreen. Bryggersgulvet bør omlægges og isoleres ved samme lejlighed.

Forslag

Efterisolering af trægulve med ekstra 25 mm isolering. U-værdi: 0,25 W/m²K.

Gulvet i de to badeværelser, bryggerset og entreen brydes op og efterisoleres med 300 trykfast isolering under nyt 160 mm armeret betondæk med gulvvarme – se figur 3.6. U-værdien for det nye gulv antages at være 0,1 W/m²K. Arealet er opmålt til i alt 39 m².



Figur 3.6. Forslag til nyt gulv i badeværelser og bryggers (Bolius ArkitektPLAN).

Huset er bygget på blød undergrund, hvorfor pilotering har været nødvendig. Det kan derfor være, at jorden under huset har sat sig – uden at huset er fulgt med. Det bør derfor undersøges, om der er opstået et hulrum mellem betondækket og laget af singels. I givet fald bør der blæses isoleringsmateriale ind i dette hulrum. Dette kan gøres samtidig med en eventuel efterisolering af fundamentet.

3.1.6. Fundament

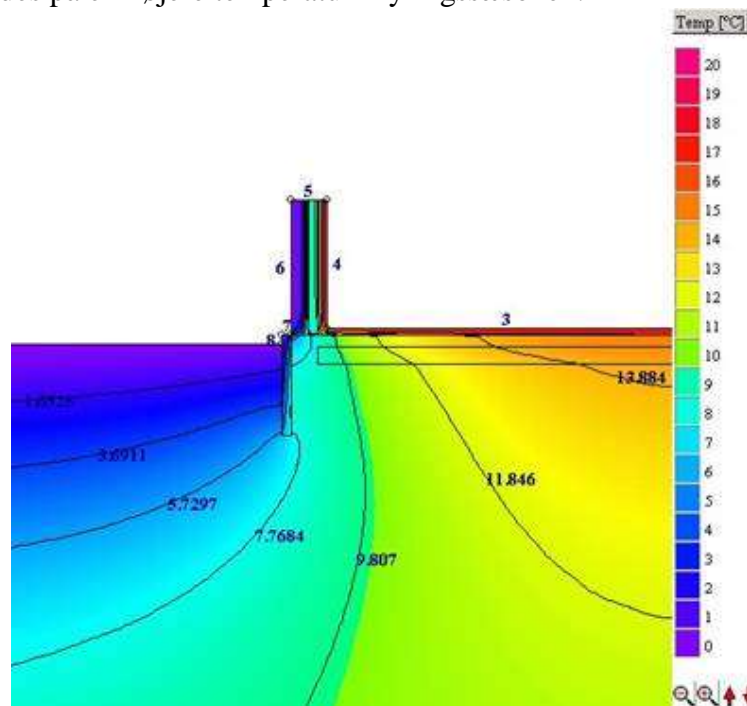
Hvis udvendig isolering bliver muliggjort, skal soklen samtidigt isoleres. Linietalet ved udvendig efterisolering antages at være 0,15 W/mK.

Der er gennemført HEAT2 beregninger for linietafet ved indvendig efterisolering både ved trægulvene og de nye gulve i badeværelser og bryggers.

Det antages ved trægulvene, at ydervæggene indvendigt isoleres med 100 mm mineraluld, at gulvet efterisoleres med 25 mm mineraluld til i alt 75 mm, samt at den indvendige efterisolering af væggene stødes sammen med isoleringen i gulvet. Der er beregnet linietaf for tre tilfælde: ingen udvendig efterisolering af fundamentet samt henholdsvis 50 og 100 mm udvendig efterisolering af fundamentet. Linietafet er fundet til:

Ingen isolering på fundament: 0,176 W/mK
50 mm isolering på fundament: 0,140 W/mK
100 mm isolering på fundament: 0,133 W/mK

En indsættelse i Be06 giver en forskel i det årlige energiforbrug på 1-1,5 kWh/m². Det er derfor vigtigere at se på eventuelle fugtproblemer, idet hjørnet mellem betonen i terrændækket og den oprindelige indvendige væg bliver koldere ved efterisolering. Ved ingen efterisolering når temperaturen i dette punkt ned på næsten 4°C, mens den når ned på 8 og 10°C ved efterisolering med henholdsvis 50 og 100 mm – figur 3.7 viser isotermer for denne situation ved efterisolering med 100 mm. Det må derfor anbefales at efterisolere fundamentet udvendigt med 100 mm i forbindelse med indvendig efterisolering. Gulvvarme vil mindske fugtproblemerne, idet gulvet da holdes på en højere temperatur i fyringssæsonen.

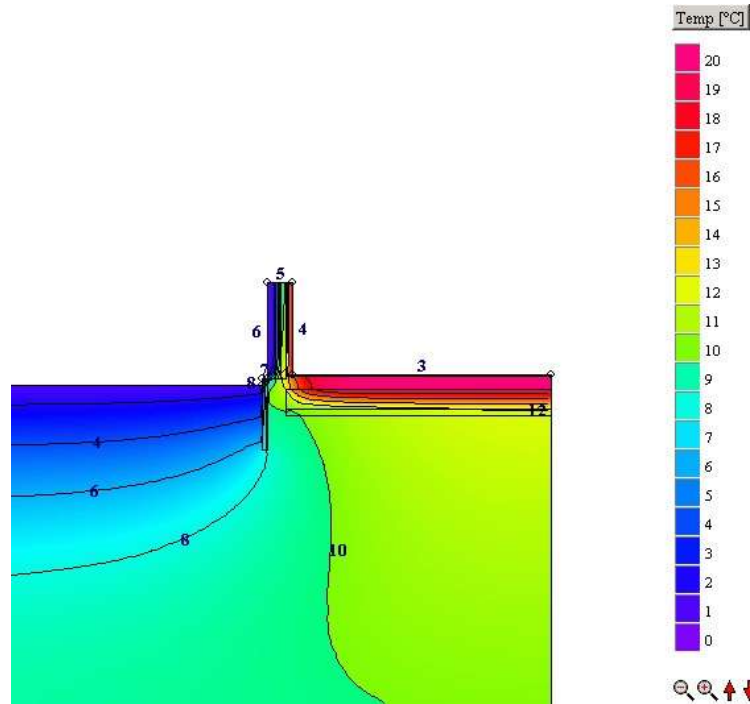


Figur 3.7. Isothermer for det tidspunkt, hvor det er koldest i hjørnet mellem betonen i terrændækket og den oprindelige indvendige væg.

Linietafet ved de nye isolerede badeværelsesgulve er ligeledes beregnet med HEAT2, hvor der ligesom ovenfor er foretaget indvendig efterisolering af ydervæggen med 100 mm mineraluld samt en indvendig overflade, der overholder forskrifterne i (SBI, 2001) om vådrum. Fundamentet er udvendig isoleret med 100 mm. Dette giver et linietaf på:

$$\psi = 0,458 \text{ W/mK}$$

Det høje linietaf skyldes, at der ikke er nogen kuldebroafbrydelse mellem det bærende terrændæk og fundamentet – se figur 3.6. Denne kuldebroafbrydelse er ikke mulig, da terrændækket skal være et stabiliserende jernbetondæk. Figur 3.8 viser isotermer for det nye terrændæk med 100 mm indvendig efterisolering af ydervæggen og 100 mm udvendig efterisolering af fundamentet.



Figur 3.8. Isotermer for det tidspunkt, hvor det er koldest i hjørnet mellem betonen i terrændækket (i det nye badeværelsesgulv) og den oprindelige indvendige væg.

Uden indvendig efterisolering og efterisolering af fundamentet angiver DS418, at linietaf er:

$$\psi = 0,65 \text{ W/mK (DS418:2002, tabel 6.13.2a).}$$

Efterisoleringen reducerer altså kun linietaf med ca. 30%.

Der regnes ikke med linietaf ved overgangen fra de nye terrændæk til de eksisterende terrændæk, idet det antages, at det er muligt, at ”skubbe” isolering et stykke ind under det eksisterende terrændæk.

3.2. Installationer

3.2.1. Varmeinstallationer

Varmeanlægget er i forvejen et godt kondenserende gasfyr. Det vil ikke give meget besparelse at udskifte dette til et gasfyr med max. effektivitet. Anlægget kører allerede med lavtempera-

turdrift. Brugsvandsbeholderen har i forvejen et lavt varmetab. Dog bør rørene i bryggerset (se figur 1.12) isoleres.

Radiator kredsens rør bør lægges om til et to-strengt system og rørene bør placeres indenfor klimaskærmen i forbindelse med omlægning af gulvene.

3.2.1.1. Varmepumpe

Overgang til en jordvarmepumpe vil dog, som det ses i næste kapitel, betyde meget for husets energiforbrug. Den nye ejer er ikke uinteressert i et skift fra gasfyr til varmepumpe. Derfor undersøges en varmepumpe med dataene vist i figur 3.9. Den relative COP er sat til 1,1, da der anvendes en frekvensstyret varmepumpe. Men en on/off styret varmepumpe med en relativ COP på 0,9 undersøges også. Da varmeoverførslen fra en varmepumpe til brugsvandsbeholderen er relativt beskeden, er det nødvendigt at udskifte den eksisterende varmtvandsbeholder med en større beholder. I dette tilfælde en 200 l beholder med en varmetabskoefficient på 2 W/K.

Varmepumpens nominelle effekt varierer afhængig af det aktuelle opvarmningsbehov: 11 kW hvor varmepumpen er det eneste tiltag og mindre når varmepumpen kombineres med andre tiltag, der reducere opvarmningsbehovet.

Beskrivelse		Ny varmepumpe
Varmepumpe Type		Kombineret
Andel af etageareal, -		1
		VBV 300 liter
Rumopvarmning	VBV	
6	6	Nominel effekt, kW
3,5	3,5	Nominel COP, -, Inklusiv pumper, ventilatorer og automatik
1,1	0	Rel. COP ved 50% last, -
Test-temperaturer, °C		
0	0	Kold side
45	45	Varm side
Jordslange	Jordslange	Kold side: Jordslange, Aftræk eller Udeluft
Varmeanlæg		Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg
0	0	Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP
50	0	Automatik, stand-by, W, (konstant drift)
Varmepumper tilknyttet ventilationen		
0	0	Temp. virk. grad for vgv før VP, -
0		Dim. indblæsningstemperatur, °C
0	0	Luftstrøm, m ³ /s

Figur 3.9. Be06 inddata for en jordvarmepumpe.

3.2.1.2. Solvarme

Et solvarmeanlæg til brugvandsopvarmning bør også overvejes. Derfor undersøges et solvarmeanlæg med dataene vist i figur 3.10 bestemt ud fra www.altomsolvarme.dk/solvarmecenter/71-BR-fr.html. Solfangerarealet er lidt større end anbefalet, men er valgt for at kunne give komfortopvarmning i badeværelsegulvene om sommeren. Den eksisterende varmtvandsbeholder på 100 l udskiftes med en 300 l solvarmebeholder med et varmetab på 3 W/K, hvor gasfyret holder den øverste ca. tredjedel på den ønskede brugsvandstemperatur.

Beskrivelse		Nyt solvarmeanlæg			
Type	Brugsvand	Brugsvand, Rumopvarmning eller Kombineret			
Solfanger					
7	Areal, m ²	10	Horisont afskæring, °		
114	Orientering	0	Skygge, ° Venstre	0	Skygge, ° Højre
15	Hældning, °	3.4	Varmetabskoefficient, W/m ² K		
Rør til solfanger					
10	Længde, m	0.2	Varmetab, W/m K		
Effektiviteter					
0.77	Solfanger start, -	0.91	Solfangerkreds, -		
Beholder og el					
300	Beholdervolumen, liter				
35	Pumpe i solfangerkreds, W				
5	Automatik, stand-by, W				

Figur 3.10. Be06 inddata for solvarmeanlægget.

3.2.2. Ventilation

Da ejeren i forvejen er utilfreds med indeklimaet i huset, bør der installeres et balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, da dette har en positiv indvirkning på energiforbruget. Der bør vælges et anlæg med høj varmegenvindingsgrad: 85% og en lav SEL faktor: 1000 J/m³ eller lavere. I beregningerne tages der udgangspunkt i 85% og 1000 J/m³.

Et eksempel på et sådant anlæg kunne være Nilan Comfort 300 TOP EC (Tommerup, 2008), der er beregnet til trange pladsforhold. Aggregatet kan f.eks. placeres i bryggerset.

Kanalerne kan installeres på loftet og skal samisoleres med loftet for at mindske varmetabet. I (Tommerup, 2008) er beregnet et gennemsnitligt varmetab (med 250 mm isolering på siderne og 150 mm isolering over kanalerne) på 0,158 W/mK. Denne værdi vil også blive benyttet her sammen med en samlet kanallængde på 45 m.

Det antages, at de nye døre og vinduer samt tætning af overgangen mellem loftet og husets vægge vil reducere infiltrationen fra de normalt anvendte 0,13 l/m²s til 0,1 l/m²s (svarende til 1 l/m²s ved et over-/undertryk på 50 Pa ifølge (SBI, 2005)).

3.2.3. Solceller

For at komme ned på et ønsket meget lavt energiforbrug for huset, vil det ofte være nødvendigt at installere et solcelleanlæg. Her anvendes der et solcelleanlæg med værdierne vist i figur 3.11.



Beskrivelse Nyt solcelle anlæg	
Solceller	
1	Panel areal, m ²
114	Orientering, N, NØ, Ø, ...
15	Hældning, °, 0, 10, 20, 30, ..
10	Horisont afskæring, °
0	Skygge til venstre, °
0	Skygge til højre, °
1	Peak Power (RS), kW/m ²
0,8	System virkningsgrad (Rp), -

Figur 3.11. Be06 inddata for solcelle-anlægget.

Solcelle-panelerne tænkes i figur 3.11 placeret på samme tagflade som solfangerne: den syd-øst vendte tagflade. Solcellepanelerne kunne også placeres på det relativt store flade tag på udhuset nord for huset – til venstre i figur 1.9. Men her antages det, at solcelle-panelerne er integreret i husets tag, og med en relativ dårlig ventilering af bagsiden. Derfor den lave værdi for R_p .

For ikke allerede på dette tidspunkt at fastlægge solcelle-type og areal, er arealet sat til 1 m², mens Peak Power (RS)-værdien varieres for at opnå det ønskede energiforbrug for huset. RS indeholder på den måde type, areal, integration, orientering, hældning og skygger – som efterfølgende kan justeres for at opnå den ønskede ydelse.

4. Forslag til energirenovering

I det følgende undersøges konsekvenserne af de energibesparende tiltag forestået i kapitel 3 – både de energimæssige og de økonomiske konsekvenser.

For at kunne vurdere tiltagene enkeltvis beregnes først energibesparelsen for de enkelte tiltag, derefter sammensættes tiltagene for at bringe bygningens energiforbrug ned på henholdsvis BR08, lavenergiklasse 2 og lavenergiklasse 1 niveau.

4.1. Enkelttiltag

Enkelttiltagene vil i det følgende blive opdelt i tre grupper: tiltag vedrørende klimaskærm (k1-k10), tiltag vedr. almindelige installationer (i1-i3) samt vedvarende energi (v1-v2).

4.1.1. Definition af enkelttiltag

4.1.1.1. Klimaskærmen

- k1: efterisolering af loftet (afsnit 3.1.1)
- k2: efterisolering af loftet + ovenlys med en U-værdi på 1,8 W/m²K (afsnit 3.1.4)
- k3: efterisolering af loftet + ovenlys med en U-værdi på 1,2 W/m²K (afsnit 3.1.4)
- k4: indvendig efterisolering (afsnit 3.1.2) med ændret varmekapacitet (afsnit 3,12), linietaf ved fundament (3.1.6) og samlinger ved tunge vægge og vinduer/døre/lette partier (afsnit 3.1.2). Ud for badeværelser og bryggers regnes med et linietaf på 0,458 W/mK (afsnit 3.1.6)
- k5: udvendig efterisolering (afsnit 3.1.2) med ændret linietaf ved fundament (3.1.6) og samlinger ved tunge vægge og vinduer/døre/lette partier (afsnit 3.1.2). Ud for badeværelser og bryggers regnes med et linietaf på 0,458 W/mK (afsnit 3.1.6). Vinduerne er rykket 20 cm frem i forhold til udhænget, hvilket reducerer skygger fra dette
- k6: udskiftning af vinduer, som ikke allerede er almindelige lavenergivinduer (afsnit 3.1.3)
- k7: udskiftning til vinduer med 3-lags energiruder med Argon (afsnit 3.1.3)
- k8: udskiftning til vinduer til passivhus-vinduer (afsnit 3.1.3)
- k9: efterisolering af trægulve med 2,5 mm mineraluld (afsnit 3.1.5)
- k10: nye gulve i badeværelser, bryggers og gang (afsnit 3.1.5) samt at gulvvarmen virker (B-faktor = 1 for gulvet og 1,3 for linietafet mod henholdsvis 0,85 og 1,15 i modellen af det eksisterende hus). Som linietaf ved fundamentet anvendes 0,65 W/mK

4.1.1.2. Installationer

- i1: omlægning af varmeanlæg fra et et-strengt system uden for klimaskærmen til et 2-strengt system indenfor klimaskærmen (afsnit 2.2.2)
- i2: installation af mekanisk balanceret ventilation (afsnit 3.2.2)
- i3: installation af en jordvarmepumpe med en relativ COP på 0,9 (afsnit 3.2.1.1). Varmepumper har i dette tilfælde en nominel effekt på 11 kW
- i4: installation af en jordvarmepumpe med en relativ COP på 1,1 (afsnit 3.2.1.1). Varmepumper har i dette tilfælde en nominel effekt på 11 kW

4.1.1.3. Vedvarende energi

- v1: installation af et solvarmeanlæg til brugsvands- og komfortopvarmning (afsnit 3.2.1.2)
- v2: installation af et solcelleanlæg (3.2.3)

4.1.2. Energibesparelser ved enkelttiltag

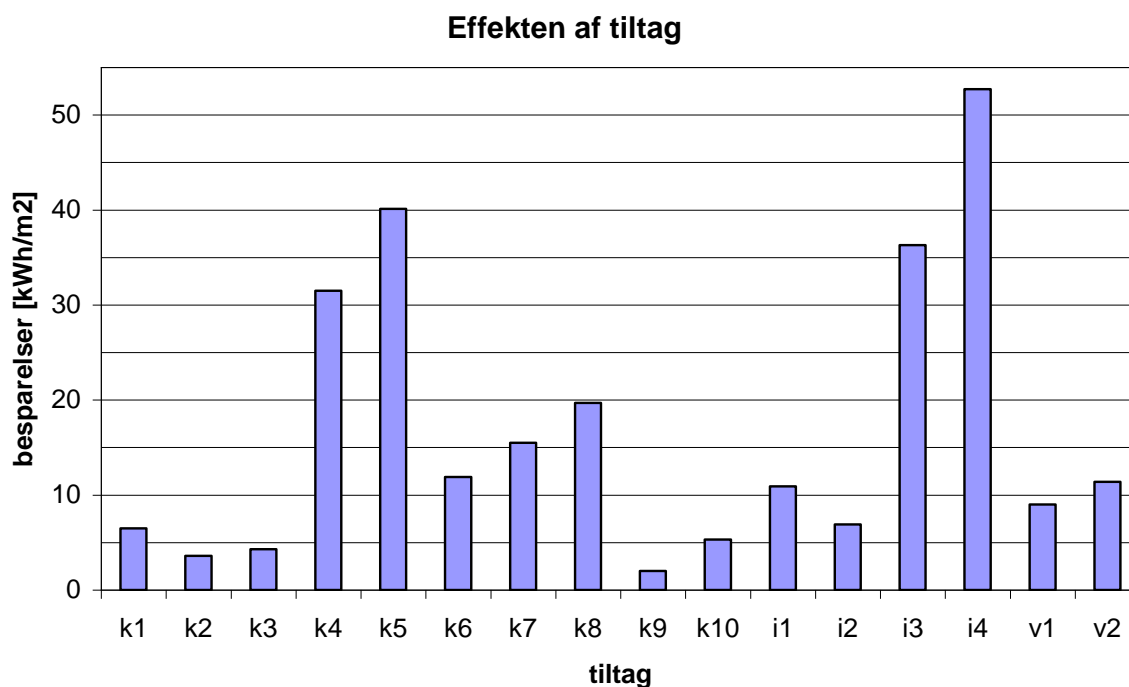
Tabel 4.1 og figur 4.1 viser energibesparelserne af ovenstående tiltag, hvis de indføres som eneste tiltag – dvs. alt andet lige. Ved nogle tiltag kan besparelserne simpelt adderes for at få besparelsen ved indførelse af flere tiltag – f.eks. nye vinduer, mekanisk ventilation, solvarme og solceller, mens andre tiltag er afhængige af hinanden – f.eks. udvendig efterisolering af fundamentet og isolering af gulvene, forbedring af klimaskærmen og varmepumpe, fordelingsanlæg og varmepumpe. Men tabel 4.1 og figur 4.1 giver en idé om, hvordan energitiltagene kan grupperes for at opnå det ønskede mål.

Energibesparende tiltag	samlet energiforbrug for bygningen kWh/ m ²	forskel i forhold til i dag kWh/ m ²
k1	150,1	6,5
k2	153,0	3,6
k3	152,3	4,3
k4	125,1	31,5
k5	116,5	40,1
k6	144,7	11,9
k7	141,1	15,5
k8	136,9	19,7
k9	154,6	2,0
k10	151,3	5,3
i1	145,7	10,9
i2	149,7	6,9
i3	120,3	36,3
i4	103,9	52,7
v1	147,6	9,0
v2	145,2	11,4

Tabel 4.1. De årlige energiforbrug og energibesparelser som tiltagene beskrevet i afsnit 4.1.1 giver anledning til.

Tabel 4.1 men især figur 4.1 viser, at den største besparelse opnår med efterisolering af ydervæggene (k4 og k5) eller installation af en varmepumpe (i3 og i4). Den halve eller derunder besparelse opnås ved at erstatte de eksisterende vinduer med bedre vinduer (k6-k8). Herefter komme ændring af varmforsyningsanlægget (i1), solceller (v2) og solvarme (v1). Efterisolering af loft (k1-k3), gulve (k9-k10) og mekanisk ventilation (i2) give den mindste besparelse.

En sammenligning af k2-k3 med k1 viser, at ovenlys føre til et øget energiforbrug. Dette er dog ikke nødvendigvis sandt, idet der i disse beregninger ikke er medtaget energiforbruget til kunstlys.



Figur 4.1. De årlige energiforbrug og energibesparelser som tiltagene beskrevet i afsnit 4.1.1 giver anledning til.

Man skal således være forsigtig med at vurdere de enkelte tiltag alene ved hjælp af tabel 4.1 og figur 4.1. F.eks. ved indvendig efterisolering (k4) vil der være formålstjenligt at tage det eksisterende gulv op for at kunne føre efterisoleringen med til terrændækket. Når det alligevel gøres kan gulvet ligeså godt få 25 mm ekstra isolering (k9), og rørene i radiatorkredsen skal alligevel flyttes, så hvorfor ikke flytte dem højere op i isoleringen (i1). Hermed bliver den samlede besparelse højere end udvendig efterisolering (k5), hvor der ikke er samme incitament til at lægge et nyt gulv.

Installation af et ventilationsanlæg, der lige opfylder kravene i BR08 (vekslereffektivitet: 0,65, SEL-værdi: 1,2 J/m³ og infiltration 0,13 l/m²s) samt et varmetab på 45 m á 0,3 W/mK giver anledning til en stigning i energiforbruget på 7,5 kWh/m². Det er derfor nødvendigt med et mekanisk ventilationsanlæg, der er bedre end kravene i BR08.

4.2. Kombination af tiltag

Ingen tiltag kan alene bringe huset på BR08 niveau. To tiltag sammen nærmer sig: udvendig efterisolering (k5) og en god varmepumpe (i4). Men varmepumpens absolutte besparelse bliver mindre efter en efterisolering, så det samlede energiforbrug når kun ned på 80,6 kWh/ m². Hvilket dog også er nok til at bringe energiforbruget ned på BR08 niveau.

Bortset fra dette tilfælde skal der mindst tre tiltag til for at nå ned på BR08 niveau. For at nå ned på lavenergiklasse 2 niveau er der, som det vises senere, brug for de fleste tiltag, mens der er brug for alle tiltag for at nå ned på lavenergiklasse 1 niveau.

Men tiltagene kan ikke udelukkende prioriteres på baggrund af den energibesparelse, de iver anledning til. Tre andre mindst lige så vigtige punkter er: komfort, økonomi og ejerens ønsker om, hvordan huset skal se ud og fungere. Langt hen af vejen er ejerens ønsker og komfort sammenfaldende.

Ejeren har ønsker om ovenlys (del af k2 eller k3), efterisolering af ydervægge (k4 eller k5), nye vinduer (k6, k7 eller k8), omlægning af gulv (k10 og k9), gulvvarme der fungerer på badeværelser (k10 og i1), bedre ventilation (i2). Installation af ovenlys (del af k2 eller k3) og ventilationsanlæg (i2) giver incitament til at efterisolere hele loftet (hele k2 eller k3).

Et bud på en grundpakke er derfor:

- k2 eller k3 (ovenlys og loftisolering)
- k4 eller k5 (efterisolering af ydervægge)
- k6, k7 eller k8 (nye vinduer)
- k9 og k10 (omlægning af gulve)
- i1 (omlægning af varmforsyningsanlæg)
- i2 (mekanisk balanceret ventilation)

4.2.1. Overholdelse af BR08 krav til nye huse

I første omgang undersøges det, om ovenstående kombinationer kan bringe husets energiforbrug ned på BR08-niveau. 82,2 kWh/m². Der undersøges følgende kombinationer, som giver henholdsvis den største og den mindste besparelser ved hjælp af ovenstående kombinationer:

BR08min: k2+k4+k6+k9+k10+i1+i2 og
BR08max: k3+k5+k8+k9+k10+i1+i2

De to kombinationer af tiltag bringer husets energiforbrug ned på:

BR08min: 84,8 kWh/m² og
BR08max: 70,0 kWh/m²

BR08min bringer således ikke huset på BR08 niveau. Det er nødvendigt at opgradere k4 til k5 eller k6 til k7 eller k8. En opgradering af k2 til k3 giver ikke nok.

4.2.2. Lavenergiklasse 2

Her undersøges følgende fire kombinationer kan bringe huset under rammen for lavenergiklasse 2 på 58,9 kWh/m²:

LE2a: BR08max + solvarme (v1):	60,9 kWh/m ²
LE2b: BR08max + varmepumpe (i3):	60,0 kWh/m ²
LE2c: BR08max + varmepumpe (i4):	55,2 kWh/m ²
LE2d: BR08min + solvarme (v1) og varmepumpe (i4):	58,9 kWh/m ²
LE2e: BR08max + solvarme (v1) og varmepumpe (i3):	54,6 kWh/m ²

Som det ses, kan solvarme (LE2a) eller en on/off varmepumpe (LE2b) ikke alene bringe BR08max kombinationen på lavenergiklasse 2 niveau. Med en frekvensstyret varmepumpe i kombination med solvarme (LE2d) kommer BR08min kombinationen lige netop på lavenergiklasse 2 niveau, mens en on/off reguleret varmepumpe (LE2e) sammen med solvarme eller

en frekvensstyret varmepumpe alene bringer BR08max kombinationen noget under lavenergiklasse 2 niveau.

4.2.3. Lavenergiklasse 1

BR08max med en frekvensstyret varmepumpe og et solvarmeanlæg (LE2f) vil reducere husets energiforbrug til 49,8 kWh/m² - altså ikke nok til at bringe husets energiforbrug på lavenergiklasse 1 niveau.

For at bringe energiforbruget inden for rammen af lavenergiklasse 1 på 41,1 kWh/m² er der behov for at forøge LE2f med et solcelleanlæg (v2) på 0,8 kW_p med den givne placering fra afsnit 3.2.2 (LE1a).

4.2.4. Gulvvarme

Gulvvarme kan være en måde at forøge komforten i huset, men det frarådes normalt at installere gulvvarme, når isoleringen i gulvet kun udgør 75 mm. For at illustrere dette, er B-faktorerne for trægulvene og linietalet langs trægulvene forøget til ”gulvvarme”-niveau (henholdsvis 1 og 1,3). Dette giver for LE2f (fra afsnit 4.2.3) en forøgelse af energiforbruget på 3,2 kWh/m² (højere for kombinationer uden varmepumpe). Men da der i LE2f er en varmepumpe i systemet, kan det dimensionerende temperatursæt i fordelingsanlægget sænkes fra 55/40°C, hvilket øger effektiviteten af varmepumpen. Hvis temperatursættet sænkes til 35/30°C, leder gulvvarme ikke til en forøgelse i energiforbruget, men derimod til en reduktion på 2,1 kWh/m² (LE1b).

LE1 kan med gulvvarme og lavere temperaturer i fordelingsystemet da opnås med et 0,6 kW_p solcelleanlæg – dvs. med er 25% mindre solcelleareal end i LE1a.

4.2.5. Behovsstyret ventilation

I ovenstående beregninger antages det, at der dag og nat året rundt ventileres med en konstant volumenstrøm på 0,3 l/m²s. Det er ifølge BR08 ikke tilladt at anvende behovsstyret ventilation i boliger, men der er en chance for, at der åbnes op for dette med BR10.

Ved behovsstyret ventilation øges ventilationen ud over BR08 kravet, når der f.eks. er stor fugtbelastning i huset, men reduceres til et minimum, når der er lille belastning. Undersøgelser har vist, at den gennemsnitlige luftmængde og SEL-værdi kan reduceres til omkring 75% - ofte endda med øget komfort til følge. Det kræver dog, at belastningen kan måles, og ventilationsanlægget kan reguleres efter dette.

En reduktion af den gennemsnitlige luftmængde og SEL-værdi på 25% vil lede til en reduktion i energiforbruget for LE2f (fra afsnit 4.2.3) på 5,1 kWh/m². Hvis ventilationsanlægget yderligere slukkes uden for fyringssæsonen, fordi boligen her kan ventileres naturligt – bl.a. gennem de nye ovenlysvinduer, vil det yderligere reducere energiforbruget med 2,1 kWh/m² til samlet 42,8 kWh/m². Dvs. tæt på lavenergiklasse 1 rammen uden brug af solceller.

4.2.6. Usikkerheder

Der er generelt store usikkerheder i ovenstående beregninger. Usikkerhederne grupperer sig i følgende områder:

- er udgangspunktet korrekt? Har huset i dag et energiforbrug på 156,6 kWh/m²?
- reflekterer inputdataene tilstrækkeligt præcist de foreslåede enkelttiltag?
- kan enkelttiltagene udføres på den antagende måde?
- influerer enkelttiltagene på hinanden som antaget?
- kan Be06 regne på de foreslåede kombinationer af tiltag?
- er standardværdierne i Be06 realistiske
-

Vedr. standardværdierne i Be06: her antages det, at:

- lufttemperaturen i huset er 20°C
- det årlige forbrug af varmt brugsvand er 250 l/m² = 123 l/dag opvarmet fra 10 til 55°C
- gratisvarmen fra personer er 1,5 W/m² = 270 W
- gratisvarmen fra apparater er 3,5 W/m² = 5.520 kWh/år

Da det er en småbørnsfamilie, der bebor huset, må det antages, at lufttemperaturen i huset nærmere er 22°C end 20°C. Det angives ofte, at forbruget af varmt brugsvand er 40 l/dag/person. Det giver i det aktuelle hus med fire beboere et input-forbrug til Be06 på 324 l/m². En gennemsnitlig gratisvarme på 270 W er i overkanten for en familie på fire, der er væk i dagtimerne. 200 W er mere rimelig = 1,1 W/m² som input til Be06. Et elforbrug til apparater på 5.520 kWh/år er tæt på det gennemsnitlige danske forbrug på 1.500 kWh/år/person.

Ovenstående ændringer i LE2f giver følgende ændring i energiforbruget:

22°C i huset:	55,7 kWh/m ² - forøgelse på 5,7 kWh/m ²
varmtvandsforbrug på 324 l/m ² :	51,8 kWh/m ² - forøgelse på 1,8 kWh/m ²
gratisvarme fra personer på 1,1 W/m ² :	51,1 kWh/m ² - forøgelse på 1,1 kWh/m ²

Standardværdierne i Be06 giver således anledning en usikkerhed i størrelsesordenen +10%.

I afsnit 2.5.1 blev det vist, at det aktuelle vejrforhold har en stor indflydelse på det aktuelle elforbrug. Indflydelsen på LE1a er dog mindre: et fald i graddage som i afsnit 2.5.1 vil lede til en reduktion i energiforbruget på ca. 5%. En forøgelse i solindfaldet på 20% vil øge produktionen af solvarme og sol-strøm, så husets energiforbrug ligeledes reduceres med ca. 5%.

5. Økonomiberegninger

5.1. Introduktion

I det følgende afsnit vurderes økonomien for de foreslåede energibesparende tiltag. Formålet er at beregne den økonomiske effekt af tiltagene i forhold til investeringen, og som kan bruges til at holde tiltagene op imod hinanden. Der anvendes tre forskellige økonomiske indikatorer: energispareprisen, den simple tilbagebetalingstid og rentabilitetsfaktoren. Disse bliver uddybet nedenfor.

Som udgangspunkt for prissætning anvendes V&S prisbøger samt erfaringstal, og for energibesparelserne anvendes beregninger fra parametervariationer i det forrige kapitel. Fremgangsmåden er forsøgt så simpel som muligt og er ment som generelle indikatorer af tiltagernes økonomi både som enkelttiltag og som samlede tiltag. I alle tilfælde er det vigtigt at pointere, at der er tale om prisoverslag, og at en mere detaljeret prisanalyse i form af f.eks. tilbud fra håndværkere bør anvendes i konkrete tilfælde, hvor også bygningens stand og faktiske energiforsyning spiller ind. Yderligere er det også vigtigt at pointere, at beregningerne af energibesparelserne er begrænset til de forhold som kan bestemmes ud fra Be06.

5.2. Beregningsgang

5.2.1. Den simple tilbagebetalingstid

Den "simple tilbagebetalingstid" er som navnet antyder en simpel beregning af det antal år, der går før investeringen i energibesparelsetiltaget er betalt tilbage udelukkende ved den årlige energibesparelse. Denne beregningsmetode tager altså hverken højde for inflation, renteudgifter på evt. lån, den tekniske levetid af tiltaget eller ændringer i energiprisen. Til gengæld er det et begreb, der er let at forstå og at forholde sig til for udenforstående og lægmænd. Risikoen er dog, at en tilbagebetalingstid på mere end 10-15 år hurtigt kommer til at lyde uoverskuelig og tiltaget derfor ikke bliver gennemført, selvom tiltaget har en levetid på det dobbelte antal år.

Ifølge Energimærkningshåndbogen vil et forslag være rentabelt, hvis den simple tilbagebetalingstid er mindre end levetiden af tiltaget.

Den simple tilbagebetalingstid er defineret som angivet nedenfor:

$$T = \frac{I}{B}$$

hvor: T er den simple tilbagebetalingstid i år
I er investeringen i DKK
B er den årlige energibesparelse i DKK/år

5.2.2. Rentabilitetsfaktoren

Rentabilitetsfaktoren bestemmes ud fra et tiltags tekniske levetid, den årlige energibesparelse og investeringen. Rentabilitetsfaktoren er tæt knyttet til den simple tilbagebetalingstid, som det fremgår af nedenstående formel:

$$R = \frac{n \cdot B}{I} (> 1,33)$$

hvor: R er rentabilitetsfaktoren
n er tiltagets tekniske levetid, år
B er energibesparelsen, DKK/år
I er investeringen i DKK

Rentabilitetsfaktoren kendes fra Bygningsreglementet. I BR2010 defineres et energibesparende tiltag som værende rentabelt, hvis rentabilitetsfaktoren er større end 1,33, svarende til at tiltaget skal være tilbagebetalt indenfor 75 % af den forventede levetid.

5.2.3. Energispareprisen

Den sidste af de tre økonomiske indikatorer er "energispareprisen". Denne udtrykker udgiften til energibesparelser i forhold til prisen for energi, dvs. prisen for at spare 1 kWh. Energispareprisen tager i modsætning til den simple tilbagebetalingstid og rentabilitetsfaktoren, højde for renteudgifter på lån, udvikling i energipris, levetid af tiltaget samt udgifter til mervedligehold. Er energispareprisen for et givent tiltag lavere end prisen på 1 kWh på det givne tidspunkt, er det altså billigere at energirenovere end at lade være. Da nedbringelse af energiforbruget for en bygning som regel opnås ved en kombination af forbedrede delkonstruktioner og -løsninger, ligger udfordringen i at finde den optimale kombination af deltiltag, der billigst muligt sikrer en overholdelse af energirammen. Dette gøres ved at vælge en kombination af tiltag, der har en energisparepris i samme størrelsesorden.

Energispareprisen beregnes efter følgende udtryk:

$$ESP = \frac{\frac{n}{n_t} a(n, r) I_{\text{tiltag}} + V_{\text{årlig}}}{\Delta E_{\text{varme, årlig}} + 2,5 \cdot \Delta E_{\text{el, årlig}}}$$

hvor: ESP er energispareprisen, [DKK/kWh]
n er den økonomiske levetid af et lån, [år]
n_t er tiltagets tekniske levetid, [år]
a(n,r) er annuitetsfaktor, [-]¹
I_{tiltag} er udgiften til investeringen, [DKK]
V_{årlig} er den årlige udgift til mervedligehold, [DKK/år]
ΔE_{varme, årlig} er den årlige varmebesparelse [kWh/år]
E_{el, årlig} er den årlige elbesparelse, [kWh/år]

¹ Faktor til omregning af investeringen til årlig ydelse på lån over N år

5.2.4. Energirenoveringsfaktoren

Alle tre økonomiske indikatorer indeholder investeringen for tiltaget. Men for at vurdere investeringen fra et energimæssigt synspunkt introduceres et yderligere begreb, nemlig "energirenoveringsfaktoren".

Energirenoveringsfaktoren angiver hvor stor en del af arbejdet eller investeringen, der kan tilskrives en egentlig energirenovering og dermed også hvor stor en del, der er vedligehold eller ville være blevet gennemført alligevel af andre årsager. En faktor på 1 svarer til 100 % energirenovering og en faktor på 0 svarer til udelukkende vedligehold eller andre årsager. Vurderingen af denne faktor må laves for hvert enkelt tiltag af bygningsejeren og er pga. denne individuelle vurdering ikke nødvendigvis en fast defineret størrelse, men kan afvige fra gang til gang. Som eksempel på fastsættelse af faktoren kan gives en udskiftning af vinduer, inden de er udtjent. Er de f.eks. vurderingsmæssigt halvvejs i deres levetid, altså ca. 10 år, vil energirenoveringsfaktoren kunne sættes til 0,5. Som et andet eksempel kan gives udskiftning af udtjente vinduer til vinduer, der er energimæssigt bedre end Bygningsreglementet kræver, og derfor er 20 % dyrere. Her vil energirenoveringsfaktoren kun være 0,2. Men i det faktiske tilfælde, kan bygningsejeren lægge andre forhold til grund for vurderingen og derfor vælge en anden faktor.

I beregningerne ganges energirenoveringsfaktoren på den beregnede samlede omkostning for et tiltag. Det er dermed kun den energimæssige del af investeringen, der medtages i beregningen af de økonomiske indikatorer. Dette er med til at sikre, at ikke hele udgiften til renoveringen kommer til at ligge til grund for beregningen af de økonomiske indikatorer, men kun den del af udgiften, der går til den egentlige energibesparelse.

5.3. Beregningsforudsætninger

5.3.1. Prissætning

Prissætning af udgifterne til renoveringsarbejder er en kompleks sag, da prisen afhænger af en lang række faktorer, herunder geografisk placering, originalitet af arbejdet, bygningens tilstand samt udbud og efterspørgsel. Til prissætningen af renoveringstiltagene i denne rapport er anvendt V&S-prisbøger for Renovering og Drift 2010 samt Husbygning 2010, da dette er den lettest tilgængelige metode og anerkendt som rimelig og repræsentativ for virkeligheden. Herudover er de beregnede værdier suppleret med erfaringstal, hvor dette vurderedes som mest rimeligt.

Det har dog kun i enkelte tilfælde været muligt at finde prisen på de nøjagtige tiltag, da prisbøgerne kun inkluderer almindeligt forekommende håndværksmæssige opgaver. Som et eksempel kan nævnes, at prisbøgerne opgør priser på efterisolering i tykkelser fra 50-195 mm. Ved større tykkelser har det været nødvendigt at ekstrapolere og/eller revurdere den opgjorte kvadratmeterpris, da der i rapporten arbejdes med større isoleringstykkelser end 195 mm for at opnå et tilstrækkeligt lavt energiforbrug.

Denne metode indeholder derfor nødvendigvis en række usikkerheder, men må dog anses som værende den mest rigtige. Priserne er inkl. udførelse og bortskaffelse af evt. materiale til deponering. Derimod indeholder priserne ikke udgifter til etablering af arbejdsplads, udgifter til

evt. skjult ekstraarbejde, der først viser sig i udførelsesfasen samt tilsvarende forhold. Ligeledes er priserne beregnet ud fra den viden, der er opsamlet i forbindelse med udarbejdelsen af rapporten. Der er således ikke indhentet tilbud fra håndværkere på udførelse af arbejdet.

I tabel 5.1 er vist udgangspunktet for de beregninger, der gennemføres. Som det er beskrevet i diskussionen nedenfor, vil der ikke blive gået i detaljer med de økonomiske inputparametre. I stedet henvises til (Tommerup og Svendsen, 2008) og (Petersen og Svendsen, 2010) for yderligere dokumentation af diskussion. Der er dog angivet så mange oplysninger, at læseren selv kan gennemføre beregninger med egne data som udgangspunkt - f.eks. andre energipriser, levetider og renteforudsætninger.

Symbol	Betegnelse	Værdi	Enhed
N	Økonomisk levetid på lån	30	år
R	Realrente	2,5	%
E	Udvikling i energipris (ud over den generelle inflation)	1,5	%
a(n,r)	Annuitetsfaktor	0,038748	-
E _{el}	El-pris	2,0	DKK/kWh
E _{varme}	Varmepris (naturgas)	0,8	DKK/kWh

Tabel 5.1. Beregningsforudsætninger

5.3.2. Teknisk levetid

Den tekniske levetid af tiltagene er som udgangspunkt baseret på BR2010. Dog er der i visse tilfælde vurderet en anden levetid. Dette er specifikt angivet i disse tilfælde.

5.3.3. Vedligehold

Vedligeholdet er i beregningerne antaget som et "mervedligehold". I de tilfælde hvor der er tale om udskiftning af et gammelt anlæg med et nyt (f.eks. naturgasfyr til varmpumpe) antages det, at mervedligeholdet er kr. 0 - i nogle tilfælde vil det formentlig være negativt, hvis et gammelt anlæg erstattes med et nyt med mindre vedligehold. I det tilfælde, at der installeres et helt nyt anlæg (f.eks. solfanger, solceller og balanceret mekanisk ventilation), tages udgiften til vedligeholdet med, da der ikke i forvejen er nogen vedligeholdelsesudgifter på et anlæg, der ikke er installeret. Når et nyt anlæg introduceres er vedligeholdelsesudgifterne et reelt mervedligehold. I alle tilfælde har vedligeholdet en stor indflydelse på energispareprisen.

5.3.4. Energimæssige forhold

Energiberegningerne er foretaget i Be06, som således anvendes til at bestemme besparelsen ved gennemførelse af tiltagene. I beregningerne anvendes så vidt muligt standardforudsætninger. Det har dog den konsekvens, at visse beregninger ikke er realistiske. F.eks. antages en indetemperatur i opvarmningssæsonen på 20 °C og ikke de 21 °C til 22 °C, som typisk er tilfældet – dette er diskuteret i afsnit 4.2.6. Da besparelserne regnes relativt i forhold til hinanden, vil dette dog ikke have så stor indflydelse, som hvis værdierne blev anvendt som absolute energiforbrug.

I de praktiske beregninger er der udført én beregning pr. tiltag, som gennemføres som en uafhængig parametervariation, der sammenlignes med udgangspunktet. Herudover gennemføres én beregning pr. løsningskombination af tiltag, hvor alle enkelttiltagene er medregnet. Dette skyldes, at visse forslag ikke er uafhængige af hinanden.

5.3.5. Energifriser

I beregningerne benyttes de faktiske energipriser for den typiske brug af bygningen. Da det er en privat bolig anvendes priser inkl. moms.

5.4. Prissætning af tiltag

I tabel 5.2 angives udgiften til det energibesparende tiltag, tilhørende energibesparelser, den resulterende energisparepris, rentabilitetsfaktor samt simple tilbagebetalingstid. Da dette er en privat villa, er alle priser angivet inkl. moms. I tabel 5.2 er de forskellige energibesparende tiltag angivet med den samme kode som i forrige kapitel

Tabel 5.1 viser de benyttede referencedata til beregningerne.

Tabel 5.2 viser indledningsvis de 16 individuelle forslag enkeltvis. Herefter vises de tiltag, der skal gennemføres, for at bygningen kommer ned på BR08-krav med hhv. minimum og maksimum indsats. Bemærk, at BR08min strengt taget ikke opfylder kravene til BR08, som er på 82,2 kWh/m². I de tre nederste linjer vises først værdierne for at opnå lavenergiklasse 1 for huset. I de to nederste linjer af tabel 5.2 vises den økonomi, der svarer til det ekstra arbejde, som er nødvendigt for at gå fra BR08-krav til lavenergiklasse 1-krav.

Betragtes tiltagene enkeltvis ses det, at ca. halvdelen af tiltagene ikke er rentable set fra en rent økonomisk vinkel. Kun 7 af de 16 forslag er direkte rentable og har med en rentabilitetsfaktor på over 1. For disse 7 tiltag er energirenoveringsfaktoren med undtagelse af i4 lavere end 1, hvilket viser, at det er vigtigt at inkludere andre forhold end økonomi ved vurdering af rentabiliteten ved energibesparende foranstaltninger. Omvendt har flere af tiltagene en energisparepris, der med blot moderat stigning af energipriserne vil blive rentable. Det skal her bemærkes, at energispareprisen skal sammenlignes med varmeprisen for de tiltag, hvor der hovedsageligt er en varmebesparelse og med elprisen for de tiltag, som giver en elbesparelse.

Det ses, at især efterisolering er en meget dyr løsning med en lang tilbagebetalingstid og høj energisparepris. Andre løsninger vil derfor blive foretrukket frem for efterisolering, hvis man udelukkende går efter rentable energibesparelser. Ekstra isolering svarer sig energimæssigt langt bedre i nybyggeri, eller hvis en facade alligevel skal renoveres, have ny beklædning eller ved ønsket om et nyt arkitektonisk udtryk. I det konkrete hus, er der ikke umiddelbart årsag til en facaderenovering, hvilket afspejles i energirenoveringsfaktoren. Omvendt giver forslagene til både hel og delvis udskiftning af vinduer og ruder til nye lavenergivinduer eller -ruder en høj rentabilitet og en lav energisparepris, mens udskiftning til passivhus-vinduer ikke er rentable i dette tilfælde - bl.a. fordi energirenoveringsfaktoren her er højere.

Installation af mekanisk ventilation er en rentabel løsning på grund af en rentabilitetsfaktor på 0,5 som skyldes et behov for en forbedring af komfort og indeklima i huset. Her skal det nævnes, at levetiden er sat til 30 år, idet det antages at ventilationsaggregatet har en levetid på 20 år, mens ventilationskanalerne har en levetid på 40 år.

Tiltag	Investering inkl. moms	Energioveringsfaktor (-)	Heraf energioverering (DKK)	Samlet energiramme kWh/m ²	n _t (teknisk levetid) (år)	Varmebesparelse kWh/m ²	Elbesparelse kWh/m ²	Enerigrambesparelse kWh/m ²	Energisparepris (kr./kWh)	Rentabilitetsfaktor (-)	Tilbagebetalingstid (år)
Eksisterende		-	-	156,6	-	-	-	-	-	-	-
k1	45.500	1	45.500	150,1	30	6,4	0	6,5	1,53	0,61	49
k2	103.940	-	45.500	153	30	3,5	0	3,6	2,80	0,33	90
k3	108.678	-	45.500	152,3	30	4,2	0	4,3	2,33	0,40	75
k4	168.750	0,75	126.563	125,1	40	31,2	0,1	31,5	0,65	1,43	28
k5	626.025	0,5	313.013	116,5	40	39,7	0,1	40,1	1,26	0,74	54
k6	29.415	0,25	7.354	144,7	30	11,8	0	11,9	0,13	6,93	4
k7	112.990	0,5	56.495	141,1	30	15,3	0	15,5	0,79	1,17	26
k8	148.615	0,75	111.461	136,9	30	19,5	0	19,7	1,23	0,76	40
k9	57.198	0,05	2.860	154,6	40	2	0	2	0,23	4,03	10
k10	112.983	0,05	5.649	151,3	40	5,2	0	5,3	0,18	5,30	8
i1	222.695	0,75	167.021	145,7	30	10,8	0	10,9	3,33	0,28	107
i2	44.676	0,5	22.338	149,7	30	13,6	-2,6	6,9	0,68	1,37	22
i3	137.500	1	137.500	120,3	20	146	-43,9	36,3	1,22	0,76	26
i4	137.500	1	137.500	103,9	20	146	-37,4	52,7	0,85	1,10	18
v1	55.625	1	55.625	147,6	20	10,5	-0,6	9	2,00	0,47	43
v2	40.000	1	40.000	145,2	20	0	3,6	11,4	1,44	0,65	31
BR08											
Min	739.656	-	377.284	84,75	34,6	77,5	-2,3	71,85	0,98	0,95	37
Max	1.320.869	-	675.273	70	36,0	92,1	-2,2	86,6	1,40	0,67	54
LE1											
Total	1.524.363	-	878.767	49,75	33,6	146	-15,7	106,9	1,58	0,59	57
lft. min	1.524.363		501.482		33,6	146	-2,3	35	0,69	1,35	25
lft. max	1.524.363		203.494		33,6	146	-2,2	20,3	0,28	3,34	10

Tabel 5.2. Økonomidata for 70'er parcelhuset med et areal på 180 m².

Farve	Kode	Referenceværdi	
	Faktoren er mere end 25 % bedre end referenceværdien	Rentabilitetsfaktor	1,33
	Faktoren ligger i intervallet ± 25 % af referenceværdien	Tilbagebetalingstid	Levetid
	Faktoren er mere end 25 % ringere end referenceværdien	Energisparepris	Varmepris: 0,8 DKK/kWh

Tabel 5.3. Forklaring på farvekoder i tabel 5.2.

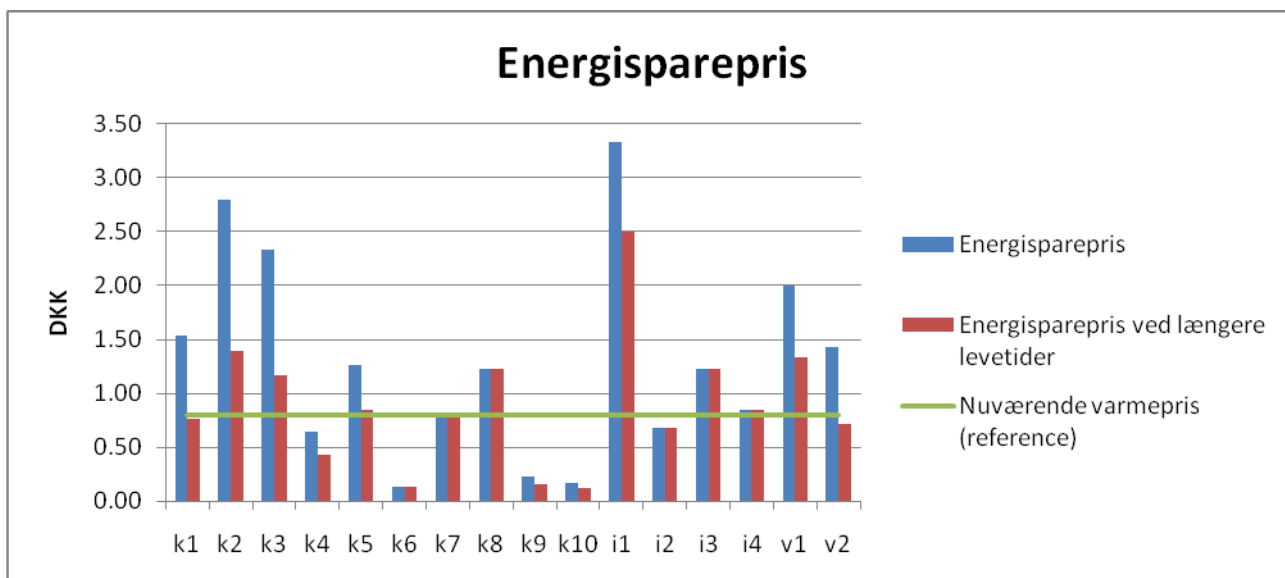
Et andet tiltag som vil resultere i en større komfort er efterisolering af gulvet. Set fra et energimæssigt synspunkt er reovering og efterisolering af gulv generelt ikke rentabelt, selvom de opstillede forslag viser en meget lav energireoveringsfaktor. I dette tilfælde er gulvreoveringen dog nødvendig for etablering af et nyt tostrengt varmeanlæg, som igen er nødvendigt for at etablere lavtemperaturovervarmning, hvilket især varmepumpen har brug for.

De to forslag med varmepumpe har begge en energireoveringsfaktor på 1, da der i huset allerede er et velfungerende naturgasfyr. Prisen på de to anlæg er ved opslag i en V&S-prisbog fundet til at være ens, mens de to anlæg har en prisforskel på ca. kr. 9.000 ved opslag på internettet. Der vælges dog at regne med en ens pris i de to tilfælde, men det skal bemærkes, at den frekvensstyrede udgaves bedre ydeevne slår igennem i form af en højere rentabilitet.

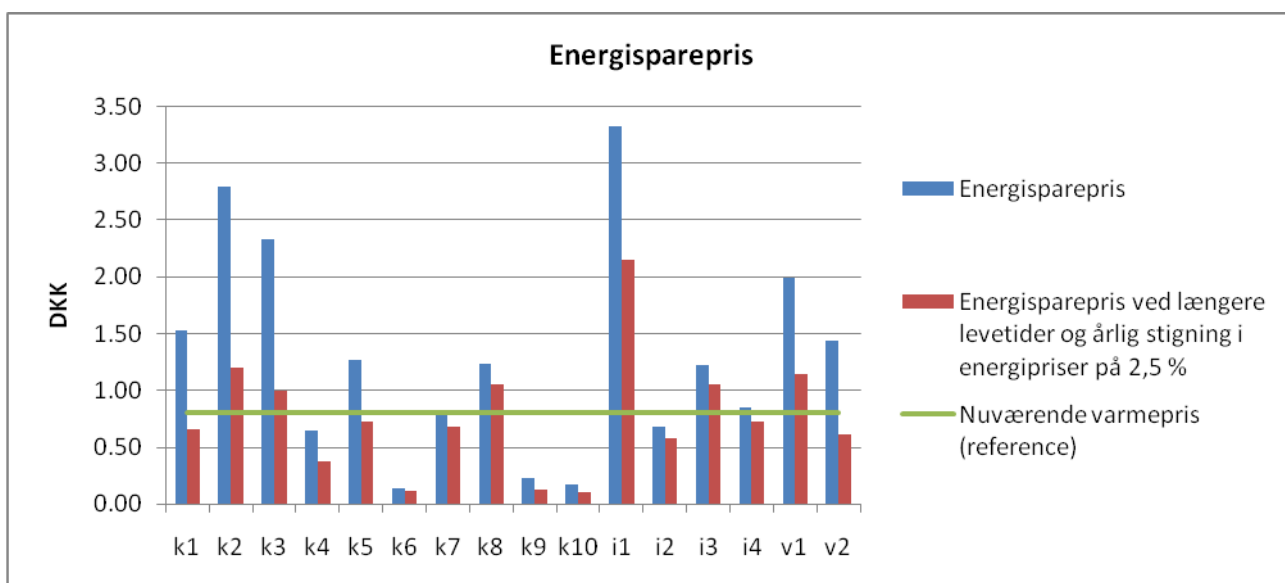
Endelig er der solvarme og solceller, som også begge er rent energimæssigt betingede. Tilbagebetalingstiden for solfangeren er i dette tilfælde beregnet til 43 år, hvilket er langt over normale erfaringstal. Dette er dog også et resultat af, at standardværdier fra Be06 benyttes i stedet for en faktisk dimensionering, som normalt gennemføres i forbindelse med solvarmeanlæg. Medtages vedligehold på DKK 1.200 om året (2 % af anlægsomkostningerne) bliver tilbagebetalingstiden på over 120 år. For solcellerne er det værd at bemærke, at prisen er ganske usikker, da den normalt falder med ca. 5 % om året. Indenfor et år af skrivende stund er det dog gået rigtig stærkt med prisfald på 30-40 %. Derfor benyttes der til denne beregning øjeblikkelige erfaringstal (sommer 2010).

Når de økonomiske parametre beregnes, tages udgangspunkt i nogle antagne tekniske levetider for de enkelte besparelsesforslag, som er angivet i BR08/BR10, men disse levetider er ofte undervurderet. I figur 5.1 er vist en sammenligning mellem den beregnede energisparepris samt en alternativ energisparepris, hvor visse af tiltagene antages at have en længere levetid. F.eks. antages efterisolering af bygningsdele, som indbygges i klimaskærmen, at have en levetid på 60 år i stedet for 40 år, som angivet i BR10. Hvis tiltagene antages at have en længere levetid, hvori de er fuldt funktionsdygtige, vil økonomien i energireoveringen blive bedre. Energispareprisen er den pris det koster, at spare 1 kWh og skal sammenlignes med den nuværende varmepris. Er energispareprisen lavere end den nuværende energipris, kan det altså bedre betale sig at energireovere end at lade være. Den nuværende varmepris er i dette tilfælde 0,8 DKK/kWh for naturgas. Figur 5.1 viser, at den forøgede levetid gør efterisolering af loftet (k1), udvendig efterisolering (k5) samt solceller (ve2) rentable samt forbedre økonomien i allerede rentable foranstaltninger.

I figur 5.2 betragtes energispareprisen i et bæredygtighedsscenario, hvor prisstigningstakten i energiprisen er lig med realrenten. Dette betyder, at den fremtidige energibesparelse ikke bliver diskonteret, som det sker i ovenstående beregning af energispareprisen. Dette er ikke en urealistisk beregning, da mange af tiltagene som f.eks. isolering i realiteten ikke bliver udskiftet efter 30 år. Det er også meget sandsynligt, at energiprisen fremover vil stige med mere end 2,5 % årligt (baseret på prisstigninger i perioden 1990-2006 jf. Energistyrelsens Energipolitik 2006). Figur 5.2 viser, at den forøgede levetid og højere energipris igen gør efterisolering af loftet (k1), udvendig efterisolering (k5) samt solceller (ve2) rentable. Den højere energipris gør nu også den effektistyrede varmepumpe (i4) rentabel med hensyn til energispareprisen. Igen forbedres økonomien i de allerede rentable foranstaltninger.



Figur 5.1. Energisparepris beregnet på baggrund af tekniske levetider som opgivet i BR10 samt forlængede levetider.



Figur 5.2. Energisparepris beregnet på baggrund af tekniske levetider, som opgivet i BR10, samt forlængede levetider hvor der antages en årlig stigning i energiprisen på 2,5 % udover den generelle inflation.

På samme måde kan den simple tilbagebetalingstid diskuteres. Dette er vist i tabel 5.4. Hvis tilbagebetalingstiden holdes op imod nogle længere levetider end de i BR10 opgivne, vil flere af tiltagene blive rentable. Tabel 5.4 viser, at med længere levetider bliver den simple tilbagebetalingstid for loftet (k1), udvendig efterisolering (k5) samt solceller (ve2) lavere end levetiden og derfor rentabel ud fra dette synspunkt.

	Levetid BR10	Tilbagebetalingstid jf. BR10 levetider	Levetid Alternativ	Tilbagebetalingstid jf. alt. levetider
K1: Efterisolering af loft	30	49	60	49
K2: Efterisolering af loft	30	90	60	90
K3: Efterisolering af loft	30	75	60	75
K4: Indv. efterisolering	40	28	60	28
K5: Udv. Efterisolering	40	54	60	54
K6: Udskiftning af ruder	30	4	30	4
K7: Udskiftning af vinduer	30	26	30	26
K8: Udskiftning af vinduer	30	40	30	40
K9: Efterisolering af gulv	40	10	60	10
K10: Efterisolering af gulv	40	8	60	8
I1: Varmeanlæg	30	107	40	107
I2: Ventilation	30	22	30	22
I3: Varmepumpe	20	26	20	26
I4: Varmepumpe	20	18	20	18
V1: Solvarme	20	43	30	43
V2: Solcelleanlæg	20	31	40	31

Tabel 5.4. Tilbagebetalingstid sammenlignet med BR10 levetider og alternative levetider. Grøn: Tilbagebetalingstiden er mere end 25 % kortere end levetiden. Gul: Tilbagebetalingstiden er lig levetiden ± 25 %. Rød: Tilbagebetalingstiden er mere end 25 % længere end levetiden.

Ovenstående beregningerne viser, at det er dyrt at energirenovere dette hus til lavenergiklasse 1. Helt generelt er alle økonomiske parametre enige om, at nogle af tiltagene er ganske attraktive, mens den samlede pakke er ganske dyr. Dette er som forventet. Prisen for hele projektet er på ca. DKK 1,5 millioner, hvoraf ca. DKK 900.000 er energirelaterede ud fra energirenoveringsfaktoren.

En vigtig pointe er, som beregningerne viser, at for at komme ned på bygningsreglementskravet vil omkostningerne være på mellem ca. DKK 0,7 til 1,3 millioner, hvoraf ca. DKK 400.000 til 700.000 er relateret til energibesparelser. Heraf vil kombinationen til DKK 400.000 lige netop ikke overholde BR08 energirammekravene. Betragtes herefter merprisen til opfyldelse af lavenergiklasse 1 i forhold til BR08-krav, vil denne kun være på mellem DKK 200.000 og 500.000, hvor den totale omkostning er 1,5 millioner kroner. Sammen med besparelsen i energi, findes isoleret set en tilbagebetalingstid på mellem 10 og 24 år, som i begge tilfælde har en rentabilitetsfaktor på over 1 med en energisparepris mellem 0,3 og 0,7.

Sidst men ikke mindst: det er vigtigt at pointere, at HVIS man vælger at gennemføre en gennemgribende renovering af sit hus, som har til formål at modernisere dette - også ud fra et energimæssigt synspunkt, vil ekstraudgiften til en fremtidssikring i form af et hus, som lever op til lavenergiklasse 1, isoleret set være en god forretning.

5.5. Diskussion

Den økonomiske analyse af energirenoveringerne viser som forventet, at der er stor forskel i rentabiliteten mellem de enkelte tiltag. Økonomiske analyser er desuden generelt meget følsomme overfor input og forudsætninger, også når det gælder energirenovering.

For det første kan selve prissætningen være kompliceret, da priser på håndværkere og materialer varierer meget. Som nævnt tidligere har faktorer som geografisk placering, originalitet af arbejdet, bygningens tilstand samt udbud og efterspørgsel en indflydelse på prisen.

Bygningens energiforbrug inden renovering har ligeledes en stor indflydelse på de økonomiske analyser. Jo højere energiforbrug inden renovering, desto større årlig besparelse i energi og dertil medfølgende kortere tilbagebetalingstid på investeringen. I den undersøgte bygning er der (ligesom i mange andre 60'ere og 70'ere huse) gennemført nogle energibesparende foranstaltninger – ekstra isolering på loftet samt energirude i nogle vinduer, hvilket reducerer energibesparelspotentialet og forøger tilbagebetalingstiden for en samlet vidtgående energirenovering.

En tredje parameter, der påvirker de økonomiske analyser, er bygningens energiforsyningskilde og prisen herpå. Forsynes en bygning f.eks. med naturgas eller olie, vil den årlige energibesparelse typisk føre til større økonomiske besparelser end hvis bygningen er forsynet med fjernvarme, da prisen herpå kan være det halve af naturgas.

Derudover skal resultaterne fra de økonomiske indikatorer holdes op mod det faktum, at energipriserne formentlig vil stige mere end den generelle prisudvikling. Dette betyder f.eks., at den reelle tilbagebetalingstid i praksis vil blive mindre end den bliver beregnet til her, hvor dagens energipriser benyttes.

For det fjerde skal det nævnes, at løsningskombinationerne af de forskellige energibesparende tiltag primært er sammensat efter at reducere bygningernes energiforbrug ned til lavenergi-klasse 1 og ikke efter flest sparede kilowatt-timer i forhold til investeringen. Kombinationerne kunne måske være sammensat mere optimalt i forhold til økonomien. F.eks. er det vigtigt at skelne i mellem varmebesparelser og elbesparelser, da primærenergifaktoren på el på 2,5 gør det mere "attraktivt" at spare på el end på varme. Denne forskel bliver kun større i BR10, hvor brug af fjernvarme i lavenergibyggeri "belønnes" med en primærenergifaktor på 0,8.

5.6. Konklusion

Langt de fleste energirenoveringer foretages mest økonomisk, når en bygning alligevel skal renoveres. Energirenoveringer er generelt rentable under de rette forudsætninger. Økonomien må dog vurderes via en parametervariation i hvert enkelt tilfælde, da økonomien som tidligere nævnt bl.a. er meget følsom overfor vurderede levetider, samt fremtidige prisstigninger på energi.

Helt generelt kan det siges at:

- Halvdelen af de i rapporten foreslåede tiltag er rentable

- Beregningsresultaterne er generelt meget afhængige af de faktiske forudsætninger. Især er det vigtigt hvor stor en del af renoveringen, der skyldes nedslidning og hvor stor en del, som udelukkende relateres til energi. Overordnet er det tydeligt, at hvis der alligevel skal foretages en gennemgribende renovering, er ekstrainvesteringen i energibesparende tiltag isoleret set en god investering.
- I villaen fra 1970'erne er det en god forretning at isolere huset til lavenergiklasse 1 under forudsætning af, at huset alligevel skal moderniseres og bringes op til dagens standard. I dette tilfælde vil meromkostningen for at forbedre boligen fra at leve op til bygningsreglementets standardkrav og ned til lavenergiklasse 1 betale sig hjem mellem 1,35 og 3,34 gange investeringen i den forventede tekniske levetid af tiltagene.

6. Konklusion

Parcelhuse udgør ca. 40% af det samlede etageareal i danske boliger. Her af udgør 60-70'er parcelhusene 35% med i alt omkring 70 mio. m². Energiforbruget til opvarmning var i opførelsesåret omkring 3 gange højere end BR08 foreskriver. Selvom der i mange af 60-70'er parcelhusene er foretaget energiforbedringer, er besparelspotentialet stadig stort. Alene de besparelser, som energimærkerne peger på, udgør ifølge Videnscentret for energibesparelser i bygninger 37,5 TJ/år (10,4 GWh/år). Forslagene i energimærkerne vil dog ikke bringe husene på BR08 niveau, så der er god grund til at undersøge, hvordan denne type huse energimæssigt kan opgraderes også ud over BR08-niveau, da besparelspotentialet er meget stort.

I denne rapport er det med udgangspunkt i et konkret 70'er parcelhus undersøgt, hvordan det teknisk og økonomisk er muligt at gennemføre en vidtgående energirenovering.

Undersøgelsen viser, at intet enkelttiltag er i stand til et bringe husets energiforbrug ned på BR80-niveau. Undersøgelsen viser også, at det ofte er teknisk vanskeligt at gennemføre energitiltagene, samt at der ofte ikke opnås høje energibesparelser – f.eks. er forøgelse af isoleringsniveauet i gulvet i eksempelhuset vanskeligt, da terrændækket er bærende, og rumhøjden kun tillader lille forøgelse af den indvendige isoleringstykkelsen.

Undersøgelsen viser desuden, at for at nå BR08's lavenergiklasse 1 niveau er det nødvendigt med energiproduktion i form af solvarme og/eller solceller.

Økonomiberegningerne viser, at 7 ud af de foreslåede 16 energibesparende tiltag er økonomisk rentabel. Med længere levetider end angivet i BR08 bliver yderligere 3 energibesparende tiltag rentable. Denne rentabilitet er for de fleste af tiltagenes vedkommende afhængig af, at en del af investeringen kan betragtes om almindelig vedligehold eller en foranstaltning som også forbedre komfort og indeklima.

Opgraderingen af huset til BR08's lavenergiklasse 1 niveau er ikke økonomisk rentabel uanset hvilken af de tre anvendte økonomiværdier, der betragtes. Men hvis huset ønskes opgraderet til BR08 niveau, er det økonomisk fordelagtigt at gå hele vejen og fremtidssikre huset til BR08's lavenergiklasse 1 niveau.

Meget energirenovering strandede i dag på økonomien, da andre faktorer som komfort, indeklima, mindre vedligehold, bedre fungerende bygning, fremtidssikring ofte ikke indgår i husejerens overvejelse, når energirenovering overvejes. Derfor gennemføres mange energirenoverende tiltag ikke, eller de bliver gennemført til et lavere niveau, end kunne ønskes ud fra en samfundsmæssig synsvinkel om et energisystem uden forbrug af fossile energiresourcer.

Det bør derfor undersøges, hvilke motivationstiltag som kan udvikles og rettes mod ejere af 60'er og 70'er parcelhuse for at få dem til at gennemføre mere gennemgribende energirenovering end det i dag er tilfældet.

7. Referencer

- Dansk Forening af Fabrikanter af Varmeisoleringsmaterialer, 2000. U-værdier 2000. ISBN 87-986146-1-4.
- DS418:2002. Beregning af bygningers varmetab.
- Energistyrelsen 2008. Håndbog for Energikonsulenter. ISBN 978-87-7844-813-2.
- Friehling, D. et al, 2006. Energirenovering af Typehus. Eksamensprojekt ved BYG·DTU.
- Lund, H., 1995. The Design Reference Year – Users Manual. Report No. 274. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.
- Munch-Andersen, J., 2008. Efterisolering af etageboliger. SBI-anvisning 221. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. ISBN: 978-87563-1334-6.
- Petersen, S. og Svendsen, S.A., 2010. Cost of Cenerved Energy method for economically design of new buildings. Energy & Buildings (submitted juni 2010).
- SBi, 2001. Vådtrum. SBI-anvisning 200.
- SBi, 2005. Bygningers energibehov – pc-program og beregningsvejledning. SBI-anvisning 213.
- Tommerup, H., 2008. Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980. Del 1: Beregninger. Institut for Byggeri og Anlæg, DTU. Byg-Rapport R-165. ISBN 978-87-787-7239-8.
- Tommerup, H. og Svendsen, S.A., 2008. Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm. DTU Byg.