

## **Tekniske systemløsninger til energirenovering – Demonstration på typiske parcelhuse** Delrapport 2

**Grøn Bjørneboe, Matilde; Bjarløv, Søren Peter; Svendsen, Svend ; Klingbeil, Georg; Christensen, Gert ; Haulrik, Bjarne; Sørensen, Lars S.**

*Publication date:*  
2015

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Grøn Bjørneboe, M., Bjarløv, S. P., Svendsen, S., Klingbeil, G., Christensen, G., Haulrik, B., & Sørensen, L. S. (2015). Tekniske systemløsninger til energirenovering – Demonstration på typiske parcelhuse: Delrapport 2. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. (BYG Sagsrapport; No. SR-16-02 (DK)).

## **DTU Library** Technical Information Center of Denmark

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Tekniske systemløsninger til energire- novering - Demonstration på typiske parcelhuse



Matilde Grøn  
Søren Peter Bjarløv  
Svend Svendsen  
Georg Klingbeil  
Gert Christensen  
Bjarne Haulrik  
Lars S. Sørensen

## Sagsrapport

Institut for Byggeri og Anlæg  
2015

DTU Byg-Sagsrapport SR-16-02 (DK)  
Marts 2015

# Tekniske systemløsninger til energirenovering

– Demonstration på typiske parcelhuse

EUDP 2009-II projekt:

”Udvikling af systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenovering af eksisterende bygninger samt demonstration på 3 typiske parcelhuse fra perioden 1960-80”

Delrapport 2

Marts 2015



## FORORD

Denne rapport er udarbejdet i innovationsprojektet med titlen ”Udvikling af systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenovering af eksisterende bygninger samt demonstration på 3 typiske parcelhuse fra perioden 1960-80”, som DTU Byg driver i samarbejde med en række firmaer (se nedenfor). Projekt støttes økonomisk af Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP09-II, J.nr. 64009-0245).

Rapporten omhandler demonstrationsdelen af projektet. Her har formålet være at finde 3 huse fra perioden der var klar til en omfattende renovering, følge deres renovering og så vidt muligt udføre systemløsninger der ville være relevant for mange huse fra perioden.

Rapporten er udarbejdet af projektgruppen bestående af følgende personer:

Matilde Grøn, DTU Byg  
Søren Peter Bjarløv, DTU Byg  
Svend Svendsen, DTU Byg  
Georg Klingbeil, Saint-Gobain Isover A/S  
Gert Christensen, Saint-Gobain Weber A/S  
Bjarne Haulrik, Pro Tec Vinduer A/S  
Lars S. Sørensen, HT Meter A/S

## RESUMÉ

Dette er delrapport 2 udgivet i forbindelse med EUDP projektet ”Udvikling af systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenoveringer af eksisterende bygninger samt demonstration på 3 typiske parcelhuse fra perioden 1960-80”. Delrapport 1 beskæftiger sig primært med udvikling af systemløsninger, denne rapport beskæftiger sig med metode til projektering af renovering og demonstration.

I rapporten beskrives en metode til planlægning af renovering der tager udgangspunkt i husets renoveringsbehov under de tre overskrifter Holdbarhed, Funktioner og Energi. Først kigges på det holdbarhedsmæssige renoveringsbehov ved at se på de enkelte bygningsdele og vurdere tilbageværende levetid, derefter klarlægges husejers ønsker og behov mht. forbedrede funktioner såsom mere dagslys eller mere plads, og til sidst inkorporeres de hensigtsmæssige energiforbedringer. Dermed kan man danne et overblik over alt hvad der kan/skal gøres, og baseret på det lave en langsigtet tidsplan for hvornår de forskellige tiltag bør indføres. Tidsplanen kan viderebearbejdes ved at samle tiltagene i pakkedløsninger, der med fordel kan indføres samtidig.

Et af målene med projektet var at udvikle nye systemløsninger. Udover en løsning til ekstern facadeisolering, der er beskrevet i Delrapport 1, blev det undersøgt om det var muligt at lave en tagløsning med præfabrikerede tagkassetter. Samtaler med producenter viste dog at dette ikke var en god løsning, da et lille projekt som et parcelhus ville kræve så forholdsvis meget arbejde i projekteringsfasen og produktionen, at det ikke i sidste ende ville give en gevinst. En anden løsning der var en større succes, var implementeringen af ventilationskanaler i taget, hvilket kunne have været et problem i et hus med loft til kip.

Noget af det centrale i projektet var afprøvning af metoder og løsninger på typiske parcelhuse, der kunne fungere som eksempler på hvordan en omfattende energirenovering kunne gennemføres. I den forbindelse har i alt 7 huse været tilknyttet projektet med formålet at gennemføre 3 renoveringer. Gennem projektet har der været et meget stort frafald, hvilket i sidste ende har ført til en gennemført renovering. Årsagerne til frafald har været mange, men ofte har det omhandlet manglende økonomi, ønsker om en anden type renovering eller utilfredshed med projektet, eller husejers beslutning om at sætte huset til salg.

I rapporten er tre huse nærmere beskrevet, da disse kom igennem hele projekteringsfasen og de to der ikke gennemførte først sprang fra efter at have modtaget tilbud på renoveringen.

For huset i Brøndby blev det foreslået at lave udvendig efterisolering, udskiftning af døre, delvist nyt tag, ovenlys og mekanisk ventilation. De forventede besparelser lå på 131,4 kWh/m<sup>2</sup> om året, svarende til 44% af husets nuværende energiforbrug. I sidste ende var det dog ikke muligt at skabe overensstemmelse mellem husejers budget og deres ønsker til forbedringer, så husejer valgte at forlade projektet.

Huset i Ballerup havde nogle anderledes udfordringer end de to andre huse, da det primære problem her var husets størrelse og indretning, nok så meget som et stort energiforbrug. Der blev derfor også tilknyttet en arkitekt, der kunne hjælpe husejer til at finde en mulig ombygning der kunne møde deres behov. I forhold til energirenoveringen blev det foreslået at udskifte gamle vinduer med ventilationsåbninger, udskifte døre, nyt tag, efterisolering af loft, ovenlys og nyt mekanisk ventilationsanlæg. Ifølge Be10 beregninger ville dette give en

besparelse på 62,9 kWh/m<sup>2</sup> om året, svarende til 30% af husets oprindelige energiforbrug. Da det kom til stykket valgte husejer dog at sætte deres hus til salg frem for at gennemføre renoveringen.

Huset i Lyngby var det eneste der gennemførte en renovering i forbindelse med projektet. De løsninger der blev indført i huset var nye vinduer og døre, udskiftning af hulmursisolering, nyt tag, nye ovenlys og et mekanisk ventilationsanlæg. Ifølge beregninger i Be10 skulle disse tiltag medføre en besparelse på 91,5 kWh/m<sup>2</sup> om året, svarende til 42% af husets oprindelige energiforbrug.

Renoveringen blev udført i sommeren 2013. Der blev udført en række målinger af bl.a. tæthed, temperatur og energiforbrug både før og efter renoveringen. Termografi viste at nogle af de problemer der var identificeret før renoveringen, såsom sammenfalden isolering, nu var blevet løst. Tæthedsprøvningen viste en forbedring af husets tæthed der bragte det ned på 0,8 l/s\*m<sup>2</sup>, hvilket er under tæthedskravet for nye bygninger ifølge BR10 på min. 1,5 l/s\*m<sup>2</sup>. Det aflæste energiforbrug gav dog ikke den beregnede besparelse på omkring 40%. Den reduktion der kunne aflæses på energiforbruget blev meget reduceret når der med graddage blev korrigeret for det noget lunere klima i perioden efter renoveringen i forhold til den før. Hvis man medtager et antaget forbrug til brændeovn er besparelsen på lige omkring 10% af det oprindelige energiforbrug. Nogle af årsagerne til denne forskel mellem den beregnede besparelse og den aflæste kan være forskelle i beregningsmetoder, usikkerhed forbundet med de anvendte metoder, husets kompleksitet herunder de 4 forskellige varmekilder eller brugeradfærd og øget komfort. Husejers vurdering af renoveringen er overordnet positiv, idet de har oplevet en forbedring af temperaturerne både sommer og vinter, og undgår gener som kold træk.

## ABSTRACT

This is sub report 2 published through the EUDP project *“Development of system solutions for extensive energy based renovations of the building envelope of existing buildings and demonstration on 3 typical single family houses from the period 1960-80”*. The first sub report was focused on the development of system solutions, this report is about methods for planning renovations and demonstration.

In the report a method for planning renovation is described. It is based on the requirement for renovation determined under the three headlines Durability, Functions and Energy. First the required renovation is determined by evaluating the different building parts and determining their remaining service life. Then the wishes of the house owner regarding improved functions, such as more light or more space, is determined. Lastly the relevant energy improvements are incorporated in the plan. By following this procedure, it is possible to get an overview of the total renovation requirement of the house, and based on this, make a long term time schedule for when the different improvements should be implemented. The time schedule can be further processed by collecting the different improvements in package solutions, which benefits from being implemented at the same time.

One of the goals of the project was to develop new system solutions. Beside a solution for external insulation of the façade, described in sub report 1, it has been investigated whether it was possible to find a good solution for the roof using prefabricated parts. However, communications with the manufacturers showed that this was not a good solution, as a small project like a single family house would require too much work in the design and production phase, to be counteracted by the benefits on the building site. Another solution that was a bigger success was the implementation of ventilation channels in the new roof construction, as ventilation could otherwise be a problem in a house without an attic.

One of the central points in the project was the testing of methods and solutions on typical single family houses, which could serve as examples on how to make extensive energy renovations. To achieve this a total of 7 houses has been connected to the project with the objective to complete 3 renovations. During the project many houses has left, leaving only one house to carry out the planned renovation. The reasons for leaving the project has been varying, but has mostly been focused on lack of economy, wishes for a different type of renovation or dissatisfaction with the project, or the decision to sell the house instead of renovating.

In this report, three houses are described, as these made it all the way through the planning phase and the two that didn't carry out the renovation left the project after receiving the offers for executing the renovation.

For the first house, located in Brøndby, the following improvements were suggested: external insulation of facades, changing the doors, new roof, skylights and new mechanical ventilation with heat recovery. Calculations showed that these improvements could lead to an expected saving of 131,4 kWh/m<sup>2</sup> a year, corresponding to 44% of the current energy consumption. The house left the project due to differences between the budget and that the house owner wished to improve.

The second house, located in Ballerup, had a different set of difficulties, as the biggest problem was that the house was too small for a family of five. An architect was included in the project, to advice the house owner

towards a solution that could meet their demands for the house. The suggested energy improvements were new windows and doors, new roof, skylights and a new mechanical ventilation with heat recovery. According to calculations these improvements would lead to a saving of 62,9 kWh/m<sup>2</sup> a year, corresponding to 30% of the current energy use. In the end the house owner chose to sell their house instead of renovating.

The third house, located in Lyngby, was the only one to carry out an renovation in connection with the project. The solutions that were implemented was new windows and doors, changing the cavity insulation, new roof, new skylights and mechanical ventilation with heat recovery. According to calculations made in the program Be10, used to determine the energy frame according to the Danish building code, the renovation should result in an energy saving of 91,5 kWh/m<sup>2</sup> a year, corresponding to 42% of the energy use before renovation.

The renovation was carried out in the summer 2013. A number of measurements were made before and after the renovation, determining among other things tightness, temperatures and energy consumption. Thermal imaging showed that some identified problems such as uneven insulation in the walls had been solved by the renovation. The pressure testing showed that the house now had a tightness of 0,8 l/s\*m<sup>2</sup>, which is well within the limits for new houses according to the Danish building code from 2010-2015. However the reading of the energy consumption did not show the expected saving. When the values where adjusted with respect to the difference in climate in the two periods, and an assumed contribution from the wood burning stove was added, the saving ended up being about 10%. The difference between the saving found by calculation and by measuring can be attributed to a number of factors: differences in the used calculation methods, uncertainties in the methods, the complexity of the house including the 4 different types of heat sources, or user behavior and increased comfort. The house owner is mostly satisfied with the renovation, as they experience a more comfortable indoor climate both summer and winter, without draught and fluctuating temperatures.



# INDHOLD

<b>FORORD</b>	<b>I</b>
<b>RESUMÉ</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>INDHOLD</b>	<b>VI</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1 Baggrund.....	1
1.2 Opsummering af resultater fra delrapport 1.....	1
1.3 Formål.....	2
<b>2 METODE</b>	<b>3</b>
2.1 Projektering og pakkedløsninger.....	3
2.2 Udvælgelse af huse.....	4
2.3 Brug af systemløsninger.....	4
2.4 Beregninger og målinger.....	5
<b>3 DEMONSTRATIONSHUSE</b>	<b>6</b>
3.1 Deltagende huse.....	6
3.2 Brøndby (Hus 2).....	8
3.3 Ballerup (Hus7).....	12
3.4 Lyngby (Hus 5).....	16
3.5 Afprøvning af teglløsning på forsøgshus.....	28
<b>4 KONKLUSION</b>	<b>31</b>
<b>5 REFERENCER</b>	<b>32</b>
5.1 Studenterprojekter.....	32
5.2 Kildeliste.....	40

# 1 INDLEDNING

## 1.1 Baggrund

Energiforbruget relateret til eksisterende bygninger udgør omkring 40 % af Danmarks energiforbrug. Opvarmning af de ca. 500.000 parcelhuse opført i perioden 1960-80, som udgør ca. 50 % af alle parcelhuse, er alene ansvarlig for ca. 25 % af energiforbruget i bygninger – altså hele 10% af Danmarks samlede energiforbrug.

Disse huse er for størstedelen opført før oliekrisen og før der blev lavet deciderede regler for bygningers energiforbrug. Energien var billig, så husenes energiforbrug er ikke i så høj grad blevet overvejet da de blev bygget. Nogle af husene har gennemgået større eller mindre forbedringer, men en meget stor del står stadig i tæt på original opbygning, og pga. deres alder nærmer de sig hastigt en større renovering. Adskillige analyser har påvist et stort energibesparelspotentiale i bygninger generelt og især i typiske parcelhuse fra 1960/70'erne.

Der findes mange gode energirenoveringsløsninger, og der er blevet udviklet integrerede løsninger der kan mindske kuldebroer og infiltrationstab. Udfordringen er nu at skabe holistiske løsninger der er attraktive for husejerne, så der kan blive sat gang i en omfattende renovering af store dele af bygningsmassen. Undersøgelse viser at folk ikke nødvendigvis finder deres 60er parcelhus smukt (Gram-Hanssen, 2000) og at der kan opstå præcedens for hvordan en synlig energirenovering kan udføres. Det stiller dog stadig krav til at der findes løsninger folk er glade for, da mange giver udtryk for at de gerne vil bevare husets generelle udtryk eller de gode egenskaber man finder ved en teglmur.

Husene fra perioden er nu 30-50 år gamle, og mange af dem står overfor en nødvendig renovering eller udskiftning af basale bygningsdele som tag og vinduer. Som processen er i dag bliver disse renoveringer udført løbende uden den store langsigtede planlægning. Dette ville ellers kunne give store fordele energimæssigt, specielt når det kommer til infiltration. Der kan derfor være meget at vinde ved at gennemføre omfattende renoveringer eller lave langsigtet planlægning før man går i gang.

Der er generelt behov for at der bliver udført nogle inspirationsprojekter, der kan inspirere andre til hvordan en energirenovering af et parcelhus kan udføres. Dels er mange i tvivl om hvordan de skal gribe opgaven an, og dels er der stadig en del usikkerhed om hvorvidt man får det ønskede resultat ud af renoveringen.

## 1.2 Opsummering af resultater fra delrapport 1

Målet med rapporten var at opstille nogle systemløsninger, der ville gøre renoveringsprocessen lettere og mere overskuelig både mht. pris og tid. Fokus blev lagt på 6 indsatsområder: Ydervæg, Ydervægsfundament, Vinduer og Døre, Tag, Tagfod og Lufttætning.

For alle punkterne blev typiske konstruktioner beskrevet og relevante renoveringsløsninger blev præsenteret. For ydervægge var fokus på udvendig efterisolering, da dette giver mulighed for store energibesparelser, ikke er teknisk vanskeligt at udføre, kan give huset et nyt og opdateret udtryk og indeholder gode muligheder for

videreudvikling af systemløsninger. Her blev nye facadebeklædningstyper også præsenteret, deriblandt en der er baseret på eksisterende produkter du kan købe i butikkerne i dag.

Udover de 5 første indsatområder der var centreret om forskellige bygningsdele, beskrev det 6. fokuspunkt lufttætning af huset mere generelt. Der er mange fordele ved at have et tæt hus, idet man blandt andet reducerer varmetabet gennem infiltration, mindsker trækgener og giver bedre mulighed for at kontrollere indeklimaet og dermed lave et behageligt hus.

Der foreslås 3 pakkelsninger af tiltag der ofte vil kunne udføres samlet, og kan reducere husets energiforbrug, evt. til nyhus status (BR2010) eller lavenergi status (BR2015). Et beregningseksempel viser at økonomien i BR2010-pakken er fornuftig, når man kigger på energispareprisen (ESP). Her viser det sig at prisen pr. sparet kWh er lavere end hvis man ikke renoverer og dermed skal betale 0,80 kr./kWh for at bruge energien. Her er regnet med en samlet investering på 343.300 kr.

### **1.3 Formål**

Projektets løsninger skal medvirke til at imødekomme fremtidige skærpede energikrav til eksisterende bygninger. Projektet har fire formål:

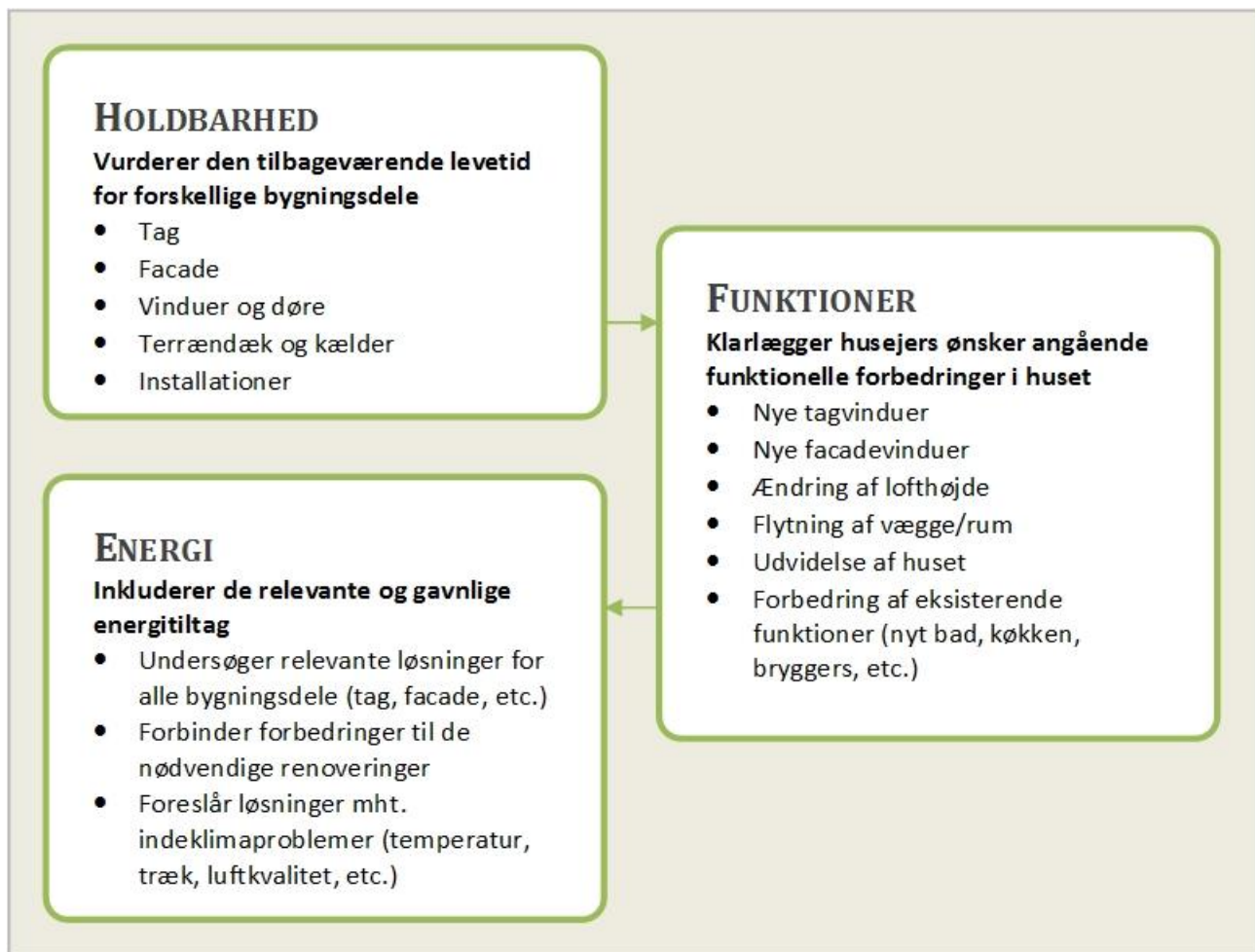
- Udvikling af tekniske systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenovering af eksisterende bygninger
- Udvikling af metoder til udarbejdelse af pakkelsning for det specifikke hus
- Demonstration af tekniske systemløsninger og pakkelsninger på typiske parcelhuse
- Dokumentation af demo husenes energiforbrug og indeklima mv. - før og efter renovering

Den første delrapport behandlede det første punkt, denne rapport vedrører de 3 sidste. Under metode vil det blive beskrevet hvordan projekteringen blev håndteret, og hvordan renoveringen kunne opdeles i pakkelsninger. Demonstrationen blev forsøgt udført på 3 huse der kom igennem planlægningsprocessen. Et af husene gennemførte renoveringen, og her indeholder rapporten oplysninger om huset energiforbrug og indeklima.

## 2 METODE

### 2.1 Projektering og pakkedninger

Et af formålene med projektet var at udvikle metoder til udarbejdelse af pakkedninger for det specifikke hus. Dette er blevet gjort ved først og fremmest at klarlægge husets renoveringsbehov over en længere periode. Husets renoveringsbehov kan deles ind i tre hovedområder: Holdbarhed, Funktioner og energi, se Figur 1.



Figur 1 – Klarlæggelse af renoveringsbehov vha. de tre overordnede årsagsgrupper: holdbarhed, funktioner og energi.

Ved at undersøge den resterende levetid for de forskellige bygningsdele, kan man få et overblik over den nødvendige renovering. Dette kan sættes ind i en tidsplan, der giver overblik over hvornår de forskellige bygningsdele med stor sandsynlighed senest skal udskiftes/renoveres.

Herudover bliver husejer spurgt ind til husets funktioner, og om der er nogle problemer de kunne ønske at løse med en renovering. Dette kunne være mørke dele af huset der har brug for mere dagslys i form af nye vinduer eller ovenlys, de kunne ønske at åbne op til kip, flytte vægge for at skabe flere eller færre rum, eller ligefrem

udvide huset. Herudover kan det være at de har et ønske om at renovere nogle af funktionerne i huset, såsom køkken eller bad. Evt. ændringer i forbindelse med disse ønsker tages med i overvejelserne, så de kan indføres på mest hensigtsmæssige måde (f.eks. installation af tagvinduer i forbindelse med udskiftning af tag) eller så der ikke blokeres for dem (f. eks. placering af vindue i et rum der skal opbygges senere).

Som det tredje skridt medtages energiforbedringer. Her kigges på hvilke tiltag der kunne være hensigtsmæssige at indføre i forbindelse med renovering af bygningsdele, og det overvejes om en renovering kan komme til at spænde ben for forbedringer der kunne være hensigtsmæssige i fremtiden. Udover dette vurderes husejers udtalelser om indeklimaet i huset, og det overvejes om der bør indføres særlige tiltag for at udbedre eventuelle problemer.

Når alle disse overvejelser er gjort, samles de forskellige renoveringstiltag på tidsplanen i pakker der kan være hensigtsmæssige at indføre samtidig.

## 2.2 Udvalgelse af huse

Udvalgelse af huse til projektet foregik over flere omgange, se afsnit 3.1. Af de huse der henvendte sig, blev de deltagende huse udvalgt efter følgende kriterier:

- Størrelsen af husejers budget for renoveringen – Der skulle gerne være råd til en omfattende energirenovering
- Husets alder og type (et plan, ingen kælder eller overetage) – målet var at finde huse der var repræsentative for en størst mulig gruppe af parcelhuse fra perioden 1960-80)
- Brugen af slagger under terrændækket – Slagger kan potentielt skabe store problemer for husets stabilitet, og denne problematik bliver ikke behandlet i dette projekt.
- Vurdering af husejers engagement i projektet – Dette var af afgørende betydning, da der blandt andet skulle foretages en del målinger før og efter renoveringen.

## 2.3 Brug af systemløsninger

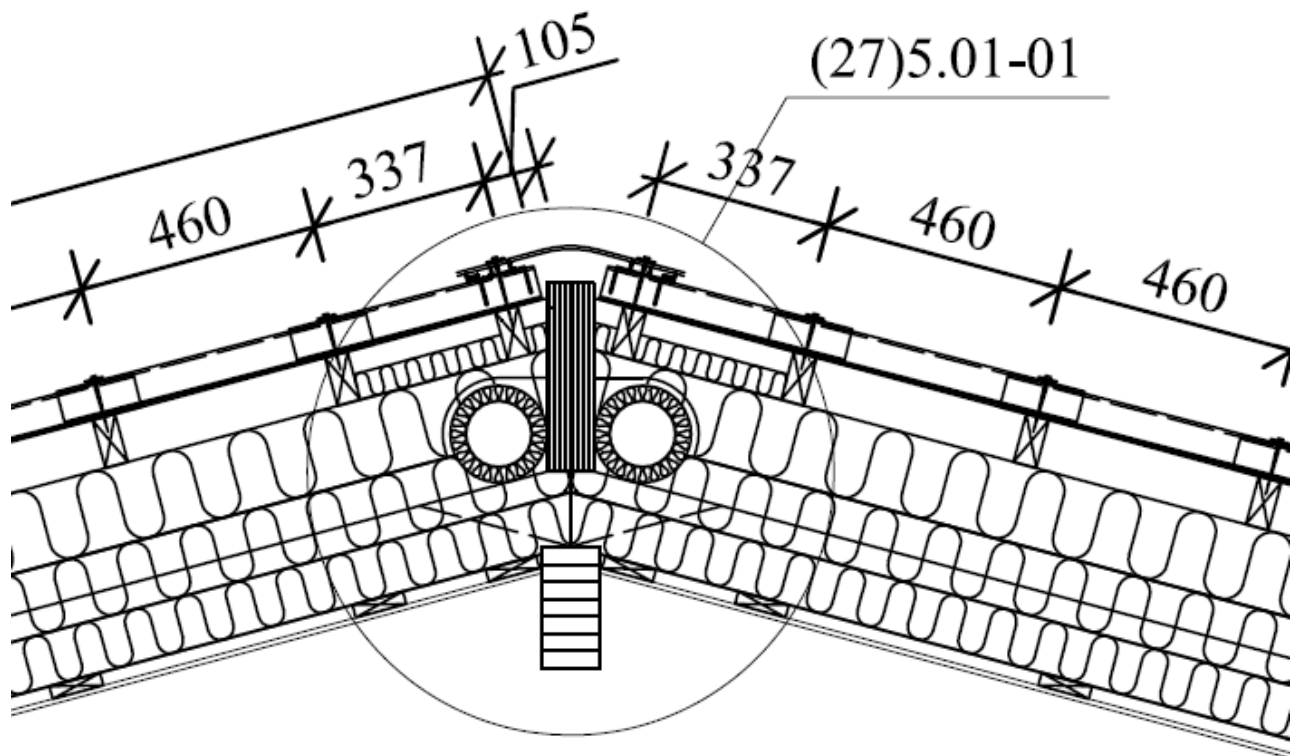
I forbindelse med projekteringen af renoveringerne blev det forsøgt at udvikle og indføre systemløsninger hvor det kunne være hensigtsmæssigt.

For facaden er der i forbindelse med projektet blevet udviklet systemløsninger for udvendig efterisolering med en teglafslutning, beskrevet i projektrapport 1. Denne mulighed indebar mange fordele i form af en god energibesparelse, en lavere pris end traditionelle skærmtegl og et lavt vedligehold, men i sidste ende valgte alle de deltagende huse denne løsning fra. Dette skyldes størrelsen af investeringen sammenholdt med besparelsen, omstændighederne ved at skulle udføre en ekstern efterisolering eller ønsket om at bevare husets eksisterende udtryk.

For taget blev det undersøgt om det var muligt at udføre den nye tagkonstruktion som tagkassetter, der blev leveret færdige og klar til montering. Fordelen ved dette skulle være et minimum af arbejde ude på selve byggepladsen, en kortere arbejdsperiode og mindre risiko for fugtproblemer. Efter samtale med en producent stod det dog klart at dette ikke var en god praktisk mulighed for et projekt af denne størrelse. Det man sparede

på byggepladsen ville blive opvejet af ekstra arbejde på fabrikken, og det ville kræve et alt for stort projekteringsarbejde i forhold til husets størrelse.

Der blev dog fundet en god løsning til installation af det nye mekaniske ventilationsanlæg i forbindelse med at huset fik nyt tag. Da taget skulle efterisoleres og konstruktionen skulle kunne bære vægten af de udførte ændringer, blev der plads til at køre ventilationskanalerne mellem loftet og det nye tag, se Figur 2.



Figur 2 – Udklip fra konstruktionstegninger for huset i Lyngby. Her ses to ventilationskanaler (indblæsning og udsugning) der køres i den nye tagkonstruktion.

## 2.4 Beregninger og målinger

Der blev foretaget en række målinger af indeklima og energiforbrug i de deltagende huse. De fleste målinger blev foretaget både før og efter renoveringen.

Husets tæthed har stor betydning for energiforbruget, og dette blev målt med en trykprøvning udført med en blowerdoor både før og efter renoveringen. Trykprøvningen kan give et mål for husets infiltration.

Kuldebroer blev vurderet med en termografering både før og efter. Termografi kan ikke give et bud på husets generelle varmetab, men det er muligt at vurdere om der er problemer såsom sammenfalden isolering eller kuldebroer med relativt stort varmetab.

Temperaturer og fugtighed blev målt i alle husets rum løbende i en periode både før og efter renoveringen. Dette blev gjort med HOB0-loggere, placeret på væggen, der foretager en logning af forholdene hvert 5-10

min. Formålet med dette var dels at vurdere om temperaturforholdene var blevet bedre i forbindelse med renoveringen, dels at klarlægge evt. uregelmæssigheder i brugeradfærd der kunne påvirke energiforbruget, såsom meget høje temperaturer i udvalgte rum. Dette kunne bruges både i forbindelse med beregninger af energiforbruget, men også til at informere husejer.

Det overordnede energiforbrug er blevet oplyst af husejer fra gas eller elregninger fra før og efter renovering. Herudover er der blevet foretaget mere detaljerede aflæsninger af forbruget fra gas og elmåler, samt sparometer (elmåler) på de eldrevne varmekilder (varmepumpe og elradiator) efter renoveringen. Disse aflæsninger kan dels hjælpe med at klarlægge det overordnede energiforbrug, dels til at opdele forbruget i forhold til hvor det anvendes. Dette gør det bl.a. muligt at vurdere det vejruafhængige forbrug, der benyttes i forhold til klimakorrigeret af data.

### 3 DEMONSTRATIONSHUSE

#### 3.1 Deltagende huse

Siden projektets opstart har der været fokus på at finde egnede parcelhuse til demonstration af de udviklede systemløsninger. Dette har dog været en turbulent proces, da det har vist sig svært at finde huse hvor ejeren var interesseret i de foreslåede løsninger, huset var egnet til denne type renovering og økonomien var på plads. I Tabel 1 er vist en oversigt over de samlet set 7 huse der har været tilknyttet projektet som demonstrationshuse. Processen og løsningerne for hus nr. 2, 5 og 7 vil blive beskrevet nærmere i de efterfølgende afsnit 0, 3.4 og 0, hvor hus 5 vil blive beskrevet sidst, da dette gennemførte hele processen.

Tabel 1 – Oversigt over hvilke huse der har været tilknyttet projektet og i hvilke perioder (år og måned). Grøn betyder at huset er tilknyttet, rosa at huset er faldet fra projektet i perioden.

DEMONSTRATIONSMHUSENES TILKNYTNING TIL PROJEKTET													
		2011				2012					2013	2014	
		05	10	11	12	01	04	05	06	09		03	09
1	Værløse	■	■										
2	Brøndby	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
3	Lyngby A	■	■										
4	Hellerup			■	■	■							
5	Lyngby						■	■	■	■	■	■	■
6	Lyngby B						■	■	■	■			
7	Ballerup						■	■	■	■	■	■	■

### 3.1.1 Årsager til frafald

Der findes mange barrierer når det kommer til energirenovering af parcelhuse, hvilket også bliver afspejlet i det forholdsvis store frafald og udskiftning af huse der har været i løbet af projektet.

De første huse, hus 1-3, blev udvalgt i forbindelse med projektets opstart. Af disse 3 faldt de 2 fra i perioden mellem maj og oktober 2011. I denne periode var der en udskiftning i projektgruppen, der gjorde at projekt blev forsinket, hvilket sammen med general utilfredshed var årsag til Hus 1 faldt fra. Hus 3 valgte at renovere udenom projektet, da deres ønsker til en renovering ikke stemte overens med formålet i projektet.

I den efterfølgende periode var håbet at man uden den store annoncering ville kunne erstatte de to huse der var faldet fra. Det lykkedes da også rimeligt hurtigt at få tilknyttet endnu et hus, Hus 4, der virkede meget lovende. Desværre for projektet måtte ejeren af dette hus sætte det til salg, da familien skulle flytte til udlandet. De var derfor mere interesserede i et hurtigt salg, end i at få en stor og måske tidskrævende energirenovering.

Da projektet så igen var nede på at have kun et hus tilknyttet (Hus 2), blev det besluttet at annoncere efter nye huse igen. Her var der umiddelbart meget stor interesse, og det var muligt at udvælge 2 nye huse (Hus 5 og 6) der både havde gode muligheder for renovering og hvor budgettet tilsyneladende var fornuftigt. Det blev desuden besluttet at tilknytte endnu et hus til projektet (Hus 7), som en 'back up' hvis et af de udvalgte huse skulle falde fra.

Dette viste sig at være en god ide, da banken sagde nej til at låne de nødvendige penge til ejerne af Hus 6. De var derfor nødt til at træde ud af projektet, da deres økonomi ikke kunne bære en større renovering.

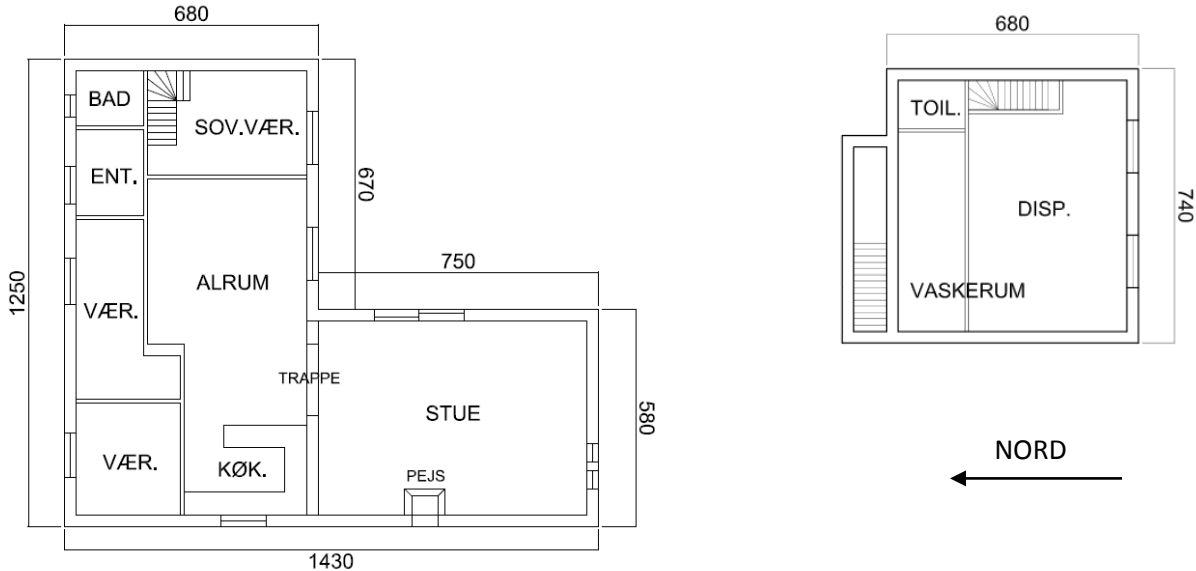
Beklageligvis blev økonomiske forhold også skyld i at endnu et hus faldt fra. Hus 2, der ellers havde været med i projektet fra begyndelsen kunne ikke få en tilstrækkelig renovering inden for det budget husejeren havde lagt. Da de oprindelig indtrådte i projektet havde nogle hurtige beregninger vist at det ville være muligt at lave både en ekstern isolering af ydervæggene og udskifte husets tag inden for det budget husejer havde lagt. Da der blev hentet priser hjem på udførelsen viste dette sig dog ikke at være tilfældet. Der blev hentet tilbud hjem af to omgange, men begge gange var de samlede omkostninger for høje. I sidste ende fik dette husejer til at trække sig, da det havde været en meget lang proces, som tilsyneladende ikke kunne få et tilfredsstillende resultat.

De sidste to huse, Hus 5 og Hus 7, havde begge råd til og mod på en renovering. Der blev holdt planlægningsmøder, hentet tilbud hjem, udvalgt udførende håndværkere og planlagt videre forløb. For Hus 5 blev energirenoveringen udført hen over sommeren 2013 og husejer var glade for resultatet og processen. Hus 7 valgte at sætte deres hus til salg, og da der samtidig havde været nogle misforståelser mellem dem og den udførende valgte de i sidste øjeblik at springe fra projektet.



### 3.2 Brøndby (Hus 2)

Huset blev oprindeligt tilknyttet projektet omkring maj 2011 igennem Bolius, der på dette tidspunkt var partner i projektet.



Figur 3 – Plantegning af huset i Brøndby, stueetage og kælder. Oprindeligt gik huset kun fra soveværelse til alrum, men det er senere blevet forlænget med køkken og yderligere et værelse, samt en stue i en vinkelbygning.

Husets ejere var meget engagerede i at få huset energiforbedret, men der var lidt uklarheder angående budgettets størrelse, da husejer maksimalt ønskede at bruge 400.000 kr., hvor der i de første udkast var regnet med en udgift på 6-700.000 kr. for at indføre de ønskede tiltag. Forslag til forbedringer og det samlede budget er senere blevet revideret, men i sidste ende valgte husejer ikke at gennemføre projektet netop pga. ubalancen mellem hvor meget de ønskede at få udført og hvad de ville investere i renoveringen.

På trods af at huset ikke gennemførte en renovering i forbindelse med projektet, er det medtaget i rapporten da der blev lavet en stor del af det indledende arbejde. Der er ingen opfølgning på om huset er renoveret og hvordan en evt. renovering af huset forløb, da en sådan vil foregå udenfor projektet.

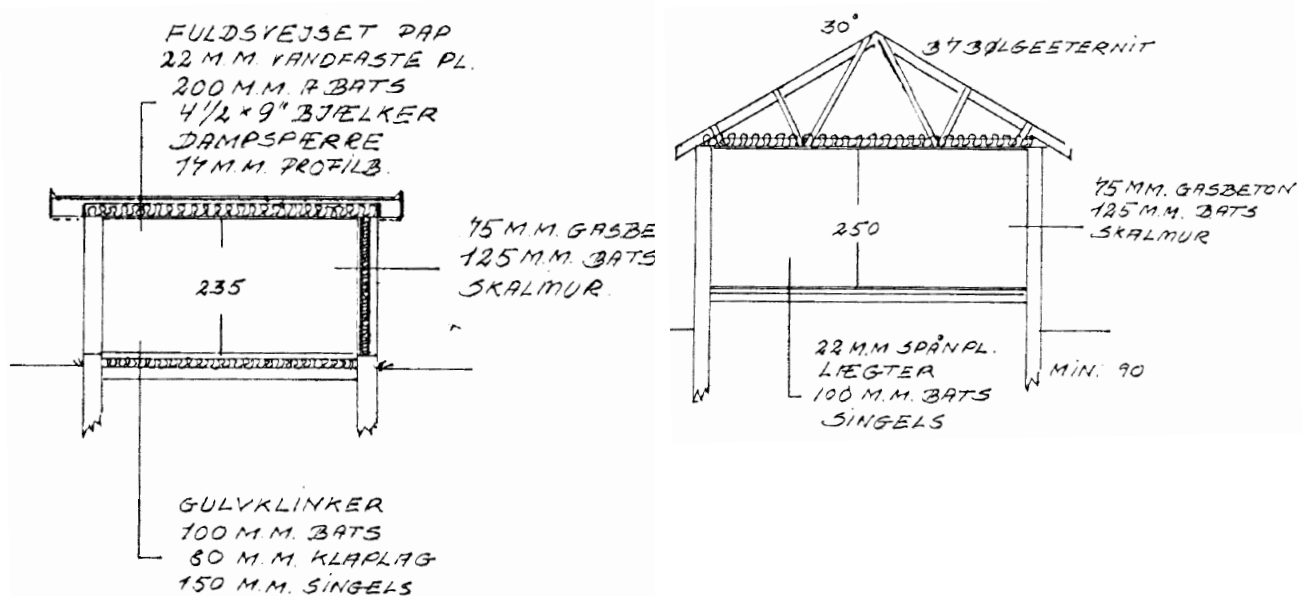
#### 3.2.1 Huset før renovering

Huset er opført i 1962 som en bungalow med fuld kælder, svarende til 51 + 51 m<sup>2</sup>. I 1979 er der tilføjet en tilbygning på 78 m<sup>2</sup>, dels som en forlængelse af selve bygningen på 38 m<sup>2</sup>, dels som en vinklebygning på 40 m<sup>2</sup>. Huset har dermed opnået et opvarmet etageareal på 129 m<sup>2</sup> i stueplan, se Figur 3 og 51 m<sup>2</sup> delvist opvarmet og indvendigt isoleret kælder.



Figur 4 – Billeder af huset i Brøndby. Øv.tv. ses huset fra gaden (NØ), med den oprindelige del af bygningen tættest på. Øv.th. ses huset fra havesiden (SØ), med vinduet i den oprindelige del af huset og den tilbyggede længebygning der ligger lidt lavere. Nederst er huset set fra haven (S).

Ydervægge i det oprindelige hus er massiv 19 cm gas-/porebeton, med senere etableret skalmur. Tilbygningen er opbygget med en bagmur af 75 mm porebeton, 125 mm isolering og 110 mm skalmur. Alle ydervægge er blevet oppudset i 2004-2005, se Figur 4. Vinkeltilbygning er med 200 mm isolering i flad tagkonstruktion, samt terrændæk med klinkegulv og 100 mm isolering. I længebygningen er der strøgulv med 100 mm isolering, se Figur 5. Vinduerne blev udskiftet til energiruder i 2004-2005.



Figur 5 – Snit gennem huset i Brøndby. Tv. snit gennem vinkeltilbygningen. Th. snit gennem længebygningen.

Huset opvarmes med elradiatorer og brændeovne i køkken/alrum samt stuen. Husejer meddeler at huset er koldt, og der fyres op med brænde i alrummet om morgenen og i stuen om aftenen for at holde en rimelig temperatur i huset.

Huset har et relativt lavt energiforbrug sammenlignet med andre huse fra perioden. Dette kan have en række årsager såsom dyr elvarme, hvilket har resulteret i at der holdes en relativt lav indetemperatur i huset. Herudover er en stor del af huset bygget til i 1979, og har et bedre isoleringsniveau end det oprindelige hus. Det vurderes dog at der stadig er et betydeligt potentiale for besparelser i forbindelse med en energirenovering, dels ved at reducere varmetabet med mere isolering og en tætning af klimaskærmen, dels ved at skifte fra elvarme og brændeovn til andre mere effektive opvarmningsformer som varmepumpe eller gaskedel og et lavtemperatur radiatorsystem.

### 3.2.2 Foreslåede løsninger

- Udvendig efterisolering af samtlige facader og ydervægsfundamenter, f.eks. med 10 cm *Weber.term plus ultra* eller lignende
- Udskiftning af hoveddør og skydedør i tilbygning til et lavenergiprodukt
- Fremrykning af vinduer og kælderdør i forbindelse med efterisolering af vægge
- Nyt tag på længehuset inkl. tætning af dampspærre, opretning af eksisterende isolering, ekstra isolering op til 400 mm mineraluld og nye gipslofter.
- Nyt ovenlysvindue
- Installation af ny mekanisk ventilation med varmegenvinding, placeres på loftet.

Den forventede energibesparelse hvis disse tiltag indføres er

Energiforbrug før ifølge Be10: 299 kWh/m<sup>2</sup> om året

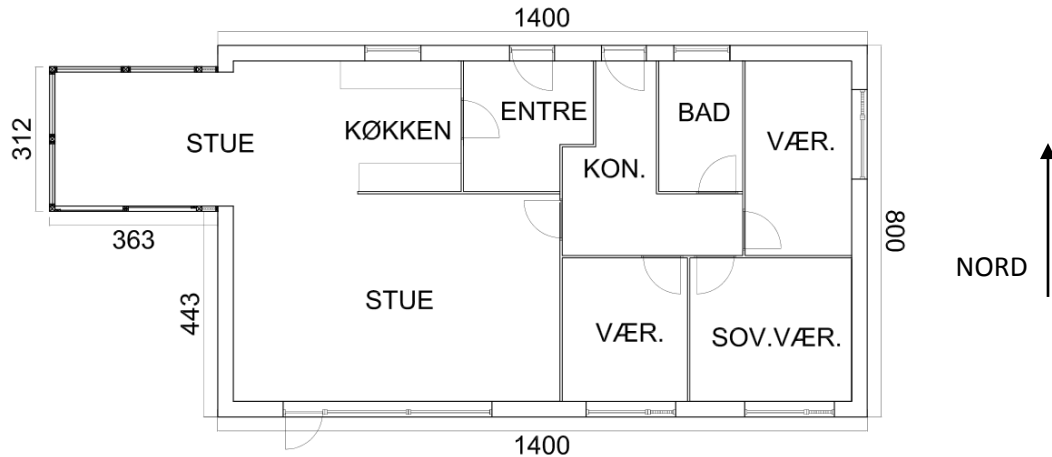
Energiforbrug efter renovering ifølge Be10: 167 kWh/m<sup>2</sup> om året

Dette vil give en besparelse på 131 kWh/m<sup>2</sup> om året, svarende til 44 % inkl. primære energifaktorer. Den reelle besparelse vil ligge på ca. 6.700 kWh el svarende til ca. 15.000 kr. ved en elpris på 2,25 kr./kWh, og mere end en halvering af brændeforbruget.

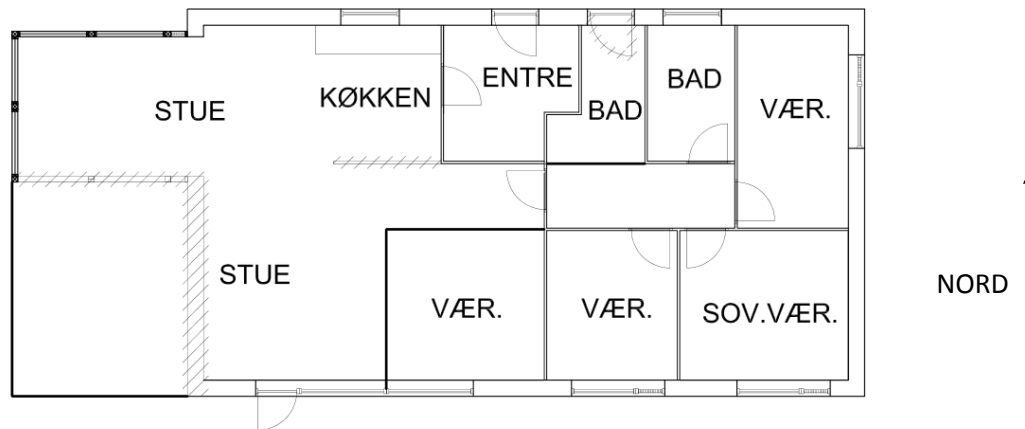
Hjemkaldte tilbud på projektet viste at det ville koste 800.000-850.000 kr. inkl. moms at indføre alle de foreslåede forbedringer. Denne udgift var højere end husejer var forberedt på at bruge på huset, og da de ikke ønskede at fravælge nogle større dele af renoveringen valgte de at forlade projektet og overveje andre muligheder.

### 3.3 Ballerup (Hus7)

Huset blev udvalgt som et reservehus i forbindelse med annonceringen efter nye huse i foråret 2012. Der var 3 andre huse i fokus i projektet, men da det ene faldt fra i sommeren 2012 blev huset optaget helt i projektet.



Figur 6 – Plantegning over huset i Ballerup. På grund af pladmangel blev den oprindelige entre brugt som kontor og døren var blændet. Det oprindelige bryggers blev derfor benyttet som den primære indgang til huset. Da huset herudover manglede et børneværelse havde familiens tredje barn 'værelse' i et hjørne af stuen.



Figur 7 – Foreslåede ændringer i forbindelse med ombygning af huset i Ballerup. Udover en udbygning af stuen i husets sydvestlige hjørne ville væggen mellem stue og køkken blive revet ned, og der ville blive etableret et ekstra værelse. Den gamle hoveddør der var blændet ville blive erstattet af et vindue, og entreen (kontoret) ville blive konverteret til et ekstra badeværelse.

Husets ejere havde et meget fint budget til renovering af huset på omkring 1.000.000 Kr. De var meget glade for husets beliggenhed, hvilket havde været den primære årsag til at købe det, men huset var for lille til en familie med to voksne og tre børn. Deres fokus var derfor primært på hvordan man kunne bygge om og til så de

fik mere plads, men de ønskede også at energiforbedre i samme omgang. Husejer fik igennem projektet kontakt til en arkitekt der kunne hjælpe dem med at se muligheder for ombygning af huset.

Den mest oplagte udbygning af huset ville være i det sydvestlige hjørne med en udvidelse af stuen. Dette ville give plads til at bygge et nyt værelse i forlængelse af de eksisterende værelser mod syd og stadig give en stor reel stue. For at undgå for meget spildplads i form af gang ville væggen mellem køkken og stue blive revet ned og i stedet blive erstattet af en kogeø. Herudover ønskede familien et ekstra badeværelse på sigt, hvilket ville kunne etableres i den gamle entre som familien ellers har benyttet som kontor.

Efter et længere planlægningsforløb hvor husejer stort set kun manglede at aftale en dato for hvornår håndværkerne kunne starte, valgte husejer at springe fra projektet og sætte deres hus til salg. De vurderede at en ombygning ville blive for omfattende, og ødelægge nogle af de kvaliteter de var glade for ved huset. Herudover var deres nabo hus kommet til salg, hvilket gav mulighed for at blive i området, men i et større hus.

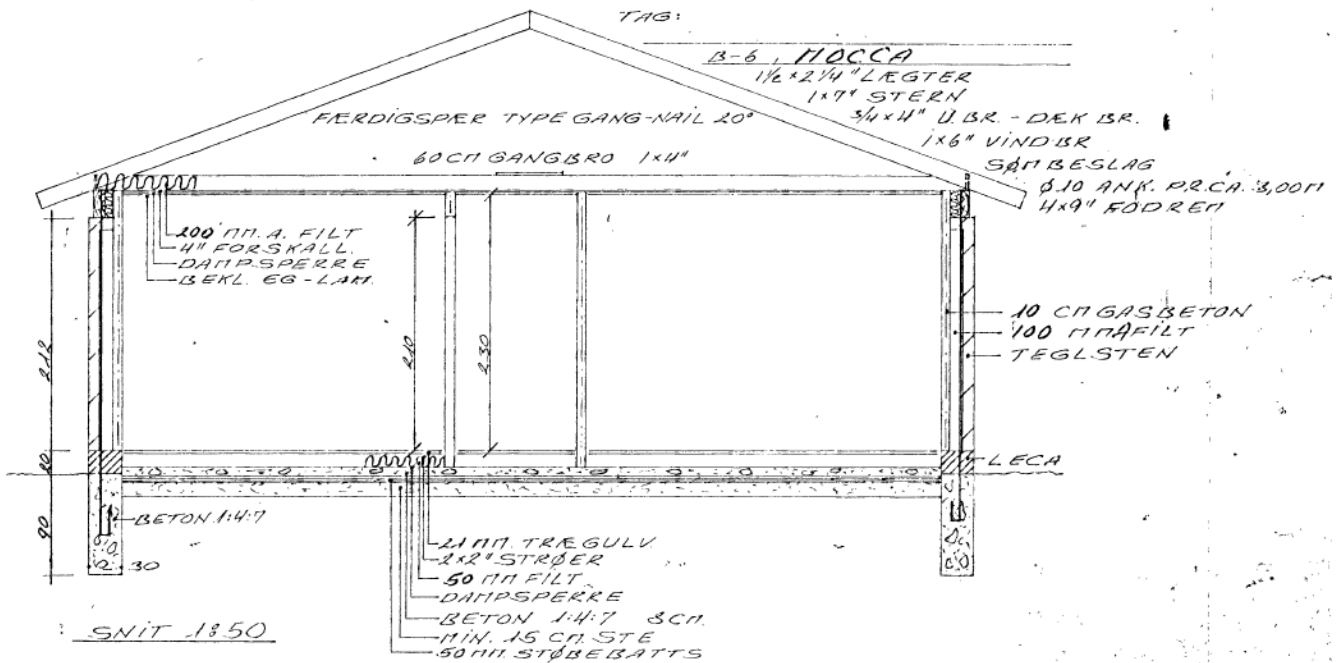
### 3.3.1 Huset før renovering

Huset er opført i 1981 og udvidet med en 10m<sup>2</sup> havestue i 2004, hvilket giver huset et samlet opvarmet areal på 122 m<sup>2</sup>. Huset er i et plan med flade lofter og uudnyttet loftrum, bortset fra i tilbygningen der har loft til kip.



Figur 8 – Billeder af huset i Ballerup taget i forbindelse med salg. Øv.tv. ses huset fra vejen (NØ), med carportaget der rager ind over selve huset. Øv.th. ses glastilbygningen der forlænger husets vestgavl (SV). Nederst ses husets sydfacade der vender ud mod haven (SØ).

Ydervæggene er opbygget med en bagmur i gasbeton, 125 mm isolering og en formur i teglsten. Registrering af huset har vist at taget er opbygget som en gitterspærkonstruktion med en hældning på ca. 20° beklædt med bølgeeternit. Loftet er isoleret med 300 mm isolering. Tilbygningens tag har ligeledes en hældning på ca. 20° og er beklædt med eternitplader. Tilbygningens tag er isoleret med 200 mm. terrændækket er isoleret med ca. 50 mm, og 150 mm i tilbygningen. Husets vinduer er de oprindelige termoruder med ventilationsåbninger i siderne. Dog er glasset blevet skiftet i køkkenet og i stuens store sydvendte glaspartier. Hoveddøren har en matteret termorude. Alle ruderne i tilbygningen er lavenergiglas.



Figur 9 – Snit gennem huset i Ballerup fundet i byggesagsarkiv. Tagkonstruktionen har ved registrering vist sig at være et gitterspærtag.

Huset opvarmes med et gasfyr fra 2011, suppleret med 6m<sup>2</sup> solfangere. Huset opvarmes primært med radiatorer placeret under vinduerne, dog har badeværelse og tilbygning et vandbåret gulvvarmesystem. Huset har ikke nogen mekanisk ventilation.

Husejer oplyser at de oplever en del gener i forbindelse med indeklimaet. I rum uden gulvvarme er gulvene kolde om vinteren, der dannes kondens på ruderne i værelserne, og beboerne oplever at temperaturen i huset falder når det blæser. Samtidig kan der blive meget varmt i tilbygningen, der har store sydvendte glaspartier, hvilket opheder både stue og køkken på varme sommerdage. Herudover er dele af huset mørke, og husejer ville være glad for mere dagslys i dele af huset.

Da huset er bygget så sent som i 1981 har det en del lavere energiforbrug end de andre huse der har været tilknyttet projektet. Faktisk kunne det opnå et C på energimærkningskalaen i sin nuværende form. Dette var også årsagen til at huset i første omgang kun blev tilknyttet som et reservehus. Det blev dog vurderet at det

stadig var relevant at medtage huset i projektet, da husejer havde en del planer om ændring af huset, og dette var en mulighed for at se energibesparelser i forbindelse med en større ombygning. Herudover var der en del indeklimaproblemer der kunne håndteres.

### 3.3.2 Foreslåede løsninger

- De oprindelige vinduer med ventilationsåbninger udskifter med nye lavenergivinduer
- Hoveddøren (til bryggers) udskiftes med en ny lavenergi dør med klart glas
- Den oprindelige hoveddør (til kontor, nu blændet) udskiftes med et matteret lavenergivindue svarende til det på badeværelset. (Dette gøres først senere i forbindelse med nyt badeværelse, og regnes derfor ikke med i energirammen)
- Det stuevindue der efter ombygningen ville være vindue på det nye værelse udskiftes med to nye, hvoraf det ene er oplukkeligt.
- Taget udskiftes
- Loftet efterisoleres med yderligere 150mm isolering og dampspærren udskiftes.
- Ny lystunnel i gangarealet
- Der installeres mekanisk ventilation med varmegenvinding

Den forventede energibesparelse hvis disse tiltag indføres er

Energiforbrug før ifølge Be10: 91 kWh/m<sup>2</sup> om året

Energiforbrug efter renovering ifølge Be10: 63 kWh/m<sup>2</sup> om året

Dette giver en besparelse på 28 kWh/m<sup>2</sup> om året svarende til 30%. Denne besparelse består i en reduktion i gasforbruget til opvarmning og en reduktion i antallet af timer med overtemperatur. Det modvirkes dog af en stigning i elforbruget til drift af ventilationsanlægget. Men selvom husejer ikke vil opnå de store besparelser i deres faste udgifter vil ombygning med tilhørende energirenovering medføre et mere funktionelt hus for familien med et bedre indeklima.

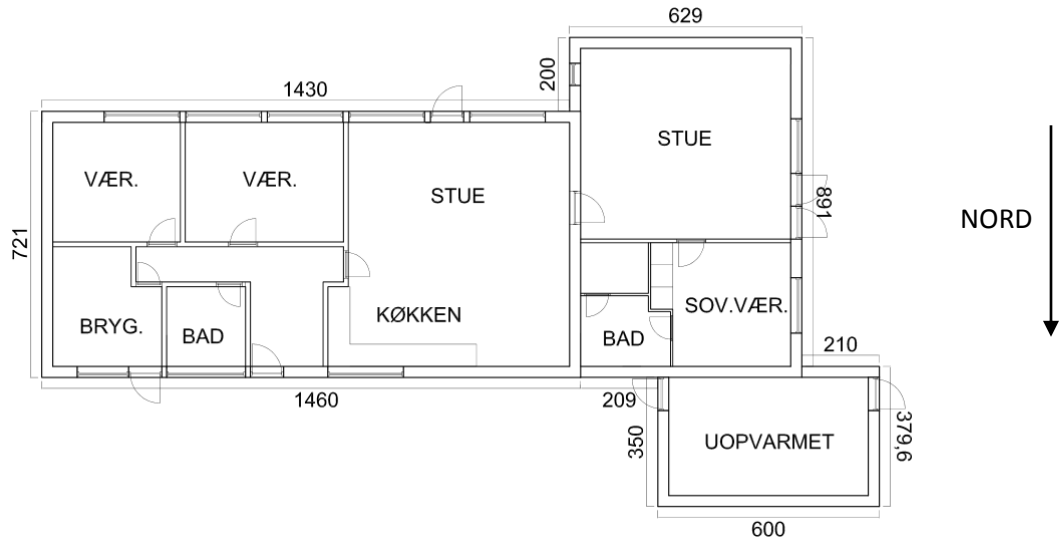
Undervejs i projektet blev det klart at familien ikke ønskede at udføre ombygningen af huset i forbindelse med energirenoveringen. De tilbud der blev kaldt hjem var derfor ikke inklusive ombygning, men alle tiltag skulle udføres med henblik på at denne ombygning ville kunne udføres efterfølgende. De hjemkaldte tilbud på renovering inkl. nye vinduer og døre, nyt tag, loftisolering, tætning af dampspærre, lystunnel og nyt ventilationsanlæg lå på priser fra 350.000 Kr. inkl. moms.

I sidste ende valgte familien ikke at gennemføre projektet, da du kom frem til konklusionen at det ville være bedre at sælge det lille hus og købe noget større i samme område.



### 3.4 Lyngby (Hus 5)

Huset blev tilknyttet projektet i forbindelse med at der blev annonceret efter nye huse i foråret 2012. Dette hus kom som det eneste igennem hele projektet og gennemførte en energirenovering.



Figur 10 – Plantegning over huset i Lyngby. Den østlige længe er det oprindelige hus, herudover blev en ekstra stue, bad og soveværelse bygget på i 1975. Mod nord har huset en uopvarmet tilbygning der holdes frostfri med elvarme.

De samme ejere havde boet i huset i mange år, og udover en tilbygning fra 1975 og et nyt køkken inkl. strukturelle ændringer i 1985 havde huset ikke gennemgået nogen større renoveringer. Der var derfor et stort behov for at renovere for indhente den manglende vedligeholdelse og for at sikre at huset ikke begyndte at forfalde. Til at starte med havde husejer ikke den store viden om hvad der med fordel kunne gøres ved huset i forbindelse med en energirenovering, men de gik ind i projektet med stort engagement der var med til at sikre en god løsning. Med et budget på 400.000-800.000 Kr. var der gode muligheder for at udføre en omfattende renovering. Huset blev renoveret i sommeren 2013.

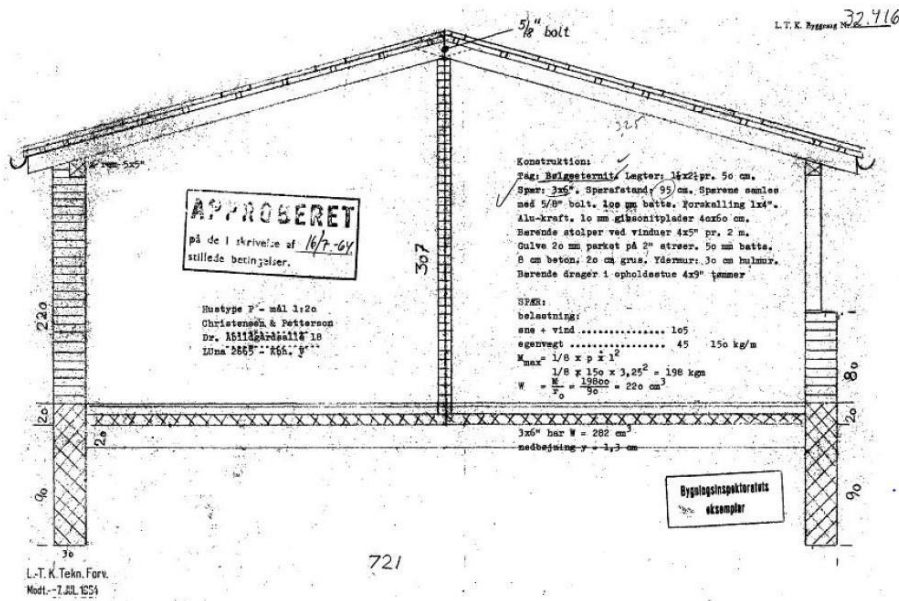
#### 3.4.1 Huset før renovering

Huset blev bygget i 1965 og udvidet med 55 m<sup>2</sup> i 1975 så det kom op på i alt 160 m<sup>2</sup>. I 1985 blev huset bygget om indvendig, idet gangen blev forkortet, et værelse fjernet og der blev opsat et nyt køkken. Udover disse to ombygninger der primært var strukturelle, har huset ikke gennemgået en renovering siden det blev bygget.



Figur 11 – Huset i Lyngby. Øv. Ses tilbygningen på huset fra haven (V). Ne. Ses den oprindelige del af huset fra haven med tilbygningen i baggrunden (SØ). Th. ses huset og indkørslen med vejen i baggrunden (NV).

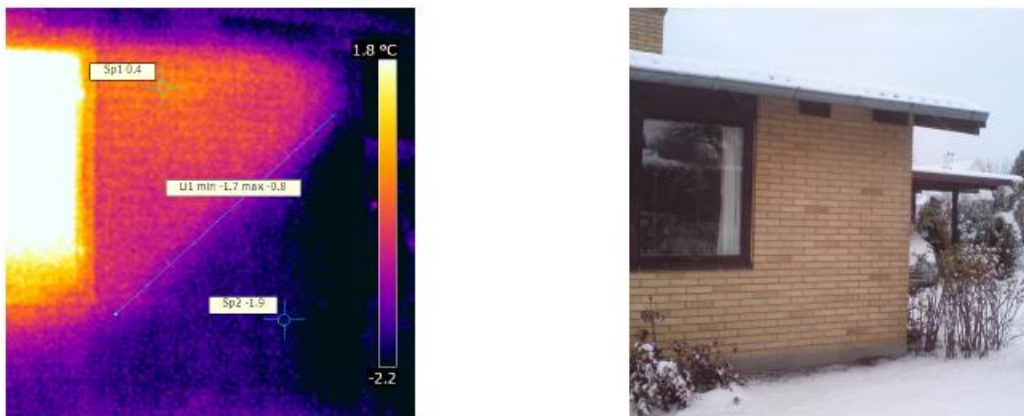
Husets ydervægge er opbygget med for og bagmur i tegl og isoleret med løse lecanødder i det oprindelige hus og 80 mm murbatts i tilbygningen. Tagkonstruktionen er et saddeltag og der er åbent op til kip alle steder undtagen i gangen. Taget har en hældning på ca. 14° er isoleret med ca. 100 mm og er beklædt med bølgeeternitplader på hele tagfladen. Vinduerne i huset er enkeltlags med forsatsrammer. I badeværelset er et vindue blændet af. Dørene i huset er ligeledes de oprindelige. Der er et ovenlysvindue i entreen, der består af en løs plastplade der hviler på loftet, placeret under et område med gennemsigtig bølgeeternit. Herudover er der en original ovenlyskuppel på badeværelset i tilbygningen. Terrændækket i hoved og tilbygning er isoleret med 50 mm.



Figur 12 - Snit gennem huset fundet i byggesagsarkiv.

Husets oprindelige del opvarmes med et gasfyr fra 2003 og varmen fordeles via radiatorer placeret under vinduerne. Tilbygningen opvarmes dels med en varmepumpe fra 2012, dels med brændeovn fra samme år der bruges på kolde dage og dels med en elradiator på badeværelset, der er den eneste del af den oprindelige opvarmning af tilbygningen stadig i brug. Der er ikke mekanisk ventilation i huset.

Generelt melder husejer at huset var svært at varme op før de fik installeret varmepumpen i tilbygningen. De oplever dog stadig at det trækker fra vinduerne. Da en del af bygningen stod overfor en nødvendig renovering grundet alder var det et oplagt tidspunkt også at indføre energiltag der kunne reducere energiforbruget og forbedre indeklimaet. Herudover har undersøgelser af huset vist at isoleringen nogle steder i facaden er faldet meget sammen, se Figur 13.



Figur 13 – Termografi af hushjørne før renovering. Temperaturerne på væggen indikerer at isoleringen ikke ligger jævnt, hvilket kan skyldes at den aldrig er blevet fyldt ordentligt i eller er faldet ud.

### 3.4.2 Foreslåede og indførte løsninger

De løsninger der blev foreslået i forbindelse med renoveringen var:

- Nye vinduer i hele huset
- Et af vinduerne til badeværelset i den oprindelige bygning fjernes og hullet lukkes med en bagmur i træ, 100 mm isolering og muret formur.
- Nye døre i hele huset, både hoveddør, bryggersdør og havedøre.
- Det gamle tag fjernes og tagkonstruktionen udvides så der bliver plads til ekstra isolering og ventilationsrør. Der lægges nyt eternittag.
- De eksisterende ovenlys erstattes med nye energirigtige løsninger.
- Der installeres et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding.
- Facaderne efterisoleres.

De fleste foreslåede energibesparende tiltag var oplagte idet der skulle nyt tag på huset og vinduer og døre var ved at nå slutningen af deres levetid. Dette ville også medføre en væsentlig tætning af huset, hvilket gjorde et mekanisk ventilationsanlæg nødvendigt, hvis man ville undgå indeklima problemer i fremtiden. Der var dog en

del overvejelser der skulle gøres i forbindelse med efterisolering af selve facaden. Her blev tre forskellige muligheder overvejet, se også Tabel 2:

- Den løse hulmursisolering fjernes og erstattes med ny bedre isolering
- Udvendig efterisolering af facade, 100 mm, med pudsafslutning
- Udvendig efterisolering af facade, 100 mm, med ventileret teglløsning

Den simpleste og billigste løsning var at erstatte hulmursisoleringen. Dette ville bevare husets nuværende udseende, og ikke kræve så meget tid og det ville ikke være nødvendigt at grave ud for at efterisolere fundamentet. Det ville dog også være den løsning med den mindste energibesparelse. Begge løsninger med udvendig efterisolering ville være væsentligt dyrere og ændre på husets udtryk. Pudsløsningen ville være den billigste af de to og den mindst pladskrævende, mens teglløsningen ville give en facade med mindre vedligehold.

Tabel 2 – Foreslåede løsninger til efterisolering af facaden. Energibesparelsen er bestemt i programmet Be10 ud fra det opvarmede areal. Investeringen er bestemt vha. V&S prisdata (Byggecentrum, 2014). Tilbagebetalingstiden er bestemt i overensstemmelse med bygningsreglementet BR10 (The Danish Government, 2010). Energispareprisen er bestemt vha. metoden beskrevet i (Hansen & Vanhoutteghem, 2012)

<b>FORESLÅEDE LØSNINGER TIL EFTERISOLERING AF FACADE</b>				
<b>Løsning</b>	<b>Energibesparelse</b>	<b>Investering</b>	<b>Tilbagebetalingstid</b>	<b>Energisparepris</b>
-	<b>kWh/m<sup>2</sup> pr år</b>	<b>DKK</b>	<b>År</b>	<b>DKK/kWh</b>
Hulmursisolering	16	21.000	11	0,09
Udv. Isolering, Pudsløsning	47,3	327.000	54	0,92
Udv. Isolering, Teglløsning	44,3	233.000	41	0,63

Efter mange overvejelser valgte familien at udskifte hulmursisoleringen. Dette skyldes dels økonomien, da en udvendig efterisolering ville kræve en stor investering og i sidste ende være dyrere for hver sparet kWh (højere energisparepris). Herudover havde familien betænkeligheder med at ændre for meget på husets udtryk, da de var meget glade for den blanke teglmur, der yderligere havde fordelen at være solid og kræve meget lidt vedligehold. Sluttelig var de betænkelige ved det forholdsvis store anlægsarbejde der kunne komme i forbindelse med en udvendig efterisolering, specielt ved efterisolering af soklen. Dette ville betyde en opgravning rundt om huset, gravemaskiner i haven og planter der skulle flyttes.

Renoveringen kom derfor til at omfatte: Vinduer, døre, tag, ovenlys, ventilation og udskiftning af hulmursisolering.

Den forventede energibesparelse når disse tiltag indføres blev vurderet til

Energiforbrug før ifølge Be10: 216,5 kWh/m<sup>2</sup> om året

Energiforbrug efter renovering ifølge Be10: 125,0 kWh/m<sup>2</sup> om året

Dette forventedes at give en besparelse på 91,5 kWh/m<sup>2</sup> om året, svarende til 42 % af det samlede energiforbrug. Da huset har hele 4 forskellige opvarmningssystemer (gaskedel, elradiator, varmepumpe og brændeovn) er det vanskeligt at give et bud på hvordan besparelsen vil være fordelt og hvor mange penge man derved kan spare. Det vil dog være en væsentlig reduktion i varmebehovet overordnet set, og et bedre indeklima med færre trækgener.

### 3.4.3 Renoveringen

Renoveringen af huset blev udført i sommeren 2013.

For at opnå det bedst mulige resultat blev der hjemkaldt priser fra flere firmaer, der alle havde en profil indenfor energirenovering, og deltog i et projekt hos Dansk Byggeri kaldet One Stop Energi. En oversigt over priserne i de tre tilbud kan ses i Tabel 3. De to af firmaerne lå på samme niveau prismæssigt, så i sidste ende valgte husejer Firma B ud fra håndværkernes forslag til udførelsen, da dette tilbud inkluderede en total overdækning af huset mens taget blev skiftet.

Tabel 3 – Oversigt over de indhentede priser for renovering af huset.

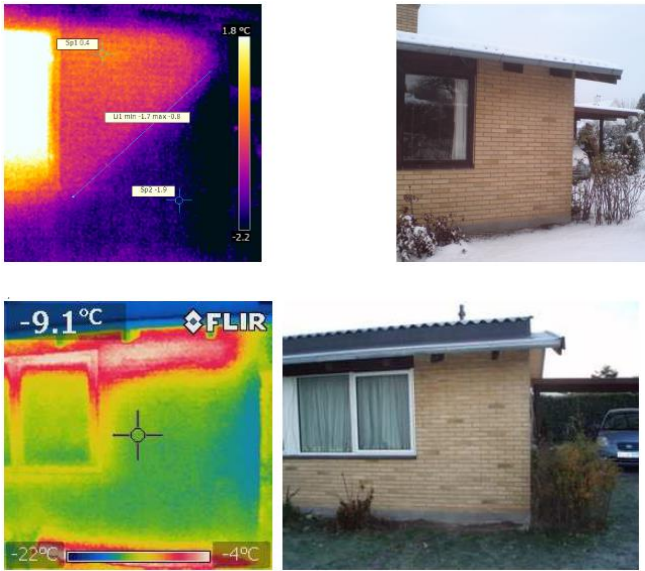
<b>INDHENTEDE PRISER FOR RENOVERING AF HUSET</b>			
	<b>Firma A DKK</b>	<b>Firma B DKK</b>	<b>Firma C DKK</b>
<b>Udskiftning af hulmursisolering</b>	38.500	34.900	28.528
<b>Nyt tag med ovenlys</b>	408.700	377.919	457.004
<b>Nye døre og vinduer, mekanisk ventilation og andre udgifter</b>	236.000	273.814	484.215
<b>Total</b>	<b>683.200</b>	<b>686.633</b>	<b>969.747</b>

### 3.4.4 Resultat af renoveringen

Efter at renoveringen var fuldført har der været foretaget yderligere målinger på huset, for at sikre resultatet. Herudover har der været en løbende dialog med husejer, for at imødegå problemer og sikre at de var tilfredse med resultatet.

#### 3.4.4.1 Termografi og trykprøvning

Der blev udført termografi af huset både før og efter renoveringen. Figur 14 viser et hushjørne før og efter renoveringen. Før var der en tydelig trekant med større varmetab pga. sammenfalden isolering, nu er dette begrænset til et varmere område oppe under taget. Det ligner lidt at det er et område med mere læ, da der er mindre varmetab ved hjørnet, en lavere varmeudstråling under taget eller et tegn på at luften der opvarmes af varmetabet samler sig under taget. Det bemærkes også at der var et betydeligt varmetab igennem vinduerne tidligere, hvor vinduerne nu nærmer sig samme niveau som væggen.



Figur 14 – Termografi af hushjørne før (Øv.) og efter (Nd.) renoveringen.

Herudover er der foretaget en trykprøvning af huset med en blowerdoor før og efter renoveringen. Før renoveringen var gennemtrængeligheden,  $q_{50}$ , på ca.  $2,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ , hvor den efter renoveringen var kommet ned på ca.  $0,8 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ . Dette er en betydelig reduktion, der viser at huset er blevet langt mere tæt. Denne reduktion betyder at huset nu overholder tæthedskravet til nye bygninger ifølge BR10 på  $1,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  og at det nærmer sig kravet for lavenergibygninger klasse 2020 på  $0,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  (The Danish Government, 2010).

Infiltrationen kan regnes som (SBI, 2008)

$$0,04 + 0,06 \cdot q_{50}$$

Dvs. infiltrationen er gået fra at være  $0,19 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  til at være  $0,09 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ . For et gennemsnitligt parcelhus fra 70'erne vil infiltrationen normalt være omkring  $0,45 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  (Teknologisk Institut, 2007). Dvs. at huset allerede før renoveringen var mere tæt end gennemsnittet af huse fra den tid. Renoveringen har dog stadig betydet en væsentlig forbedring.

#### 3.4.4.2 Samlet energiforbrug

Husets energiforbrug før er blevet aflæst ud fra el- og gasregninger fra perioden 2012/2013, dvs. efter huset fik installeret varmepumpe, men før renoveringen gik i gang. Energiforbruget efter er aflæst fra el- og gasmåler i huset i perioden december 2013 - november 2014. Herefter er forbruget blevet vægтет i forhold til klimaet vha. graddøgn, der viser at klimaet var noget mildere i efterperioden end det var i året op til renoveringen. Resultaterne kan ses i Tabel 4.

Tabel 4 – Energiforbruget før og efter renoveringen ifølge beregningen i Be10 og aflæsninger af det reelle energiforbrug i huset før og efter renoveringen. Beregningen kan ikke direkte sammenlignes med aflæsningen, da beregningen ikke indeholder f.eks. energiforbrug til belysning og elapparater.

<b>ENERGIFORBRUG</b>					
		<b>Før</b>	<b>Efter</b>	<b>Forskel</b>	<b>Forskel [%]</b>
<b>Energiforbrug, beregning<sup>3</sup></b>	kWh	27.632	16.032	11.600	41,98 %
<b>Energiforbrug, aflæsning</b>	kWh	27.390 <sup>1</sup>	17.664 <sup>2</sup>	9.725	35,51 %
Heraf el	kWh	9.966	7.070		
Heraf gas	kWh	17.424	10.594		
<b>Graddage i perioden<sup>4</sup></b>	graddage	2.852	2.038		
<b>GUF<sup>5</sup></b>	kWh	9.856	9.856		
Heraf el	kWh	5.776	5.776		
Heraf gas	kWh	4.080	4.080		
<b>GAF<sup>5</sup></b>	kWh	17.534	7.808		
<b>Energiforbrug aflæsning, klimakorrigeret<sup>6</sup></b>	kWh	27.722	20.990	6.732	24,28 %
<b>Antaget bidrag fra brændeovn</b>	kWh	574	410		
<b>Energiforbrug aflæsning, inkl. Brændeovn<sup>7</sup></b>	kWh	28.296	21.400	6.896	24,37%

<sup>1</sup> Førværdi er aflæst fra el og gas regninger fra perioden 2012/2013.

<sup>2</sup> Efterværdien er beregnet ud fra aflæsninger af el- og gasmåler i huset foretaget løbende af husejer.

<sup>3</sup> Forbruget er beregnet i programmet Be10. Her medtages ikke elforbrug til belysning og apparater. Resultatet er blevet korrigeret så der ikke påregnes primære energifaktorer.

<sup>4</sup> Graddage for de givne perioder baseret på tal fra TI

<sup>5</sup> GAF (Graddage – afhængigt forbrug) er den del af energiforbruget der er påvirket af vejret, dvs. den del der skal vægtes i forhold til graddage i perioden. Tallet er for gas beregnet ved at kigge på aflæsninger af forbruget i en periode uden opvarmning af huset, for el er det taget ved at tage det samlede elforbrug og trække forbruget til opvarmning fra, da disse tilsammen udgør GUF. Til beregningen antages det at GUF er det samme før og efter renoveringen.

<sup>6</sup> Energiforbruget er klimakorrigeret i forhold til graddage, så forbruget svarer til det på et normalår med 2.906 graddage.

<sup>7</sup> Brændeforbruget efter renoveringen er beregnet ud fra husejers registrering af dage med tændt brændeovn, et vurderet dagligt forbrug på 4 kg, og en antaget brændeværdi på 4,1 kWh/kg. Forbruget før renoveringen er vurderet ved at omregne forbruget efter vha. graddage, da der antages at være en sammenhæng mellem udetemperaturen og brug af brændeovn. Der er ikke taget hensyn til ændret brug i forbindelse med renoveringen, så tallet må antages at være konservativt, da forbruget før renovering med stor sandsynlighed har været større end efter uafhængigt af vejret.

Beregningen i Be10 er udført som en energirammeberegning, dvs. denne inkluderer ikke f.eks. forbrug til belysning og andre elapparater. Den tager heller ikke højde for at noget af varmebehovet bliver dækket af brændeovnen, men ser det hele som enten kommende fra enten gaskedel, elvarme eller varmepumpe. Det aflæste energiforbrug tager ikke højde for varmetilskuddet fra brændeovnen, til gengæld inkluderer det husets totale elforbrug. Det er derfor ikke muligt at sammenligne tallene fra beregning og aflæsning direkte. Det kan forventes at forskellen mellem før og efter er lidt mindre for det aflæste forbrug, da det inkluderer en del vejruafhængigt forbrug af el, til gengæld ikke medtager brug af brændeovn, hvilket er meget vejrafhængigt. Da



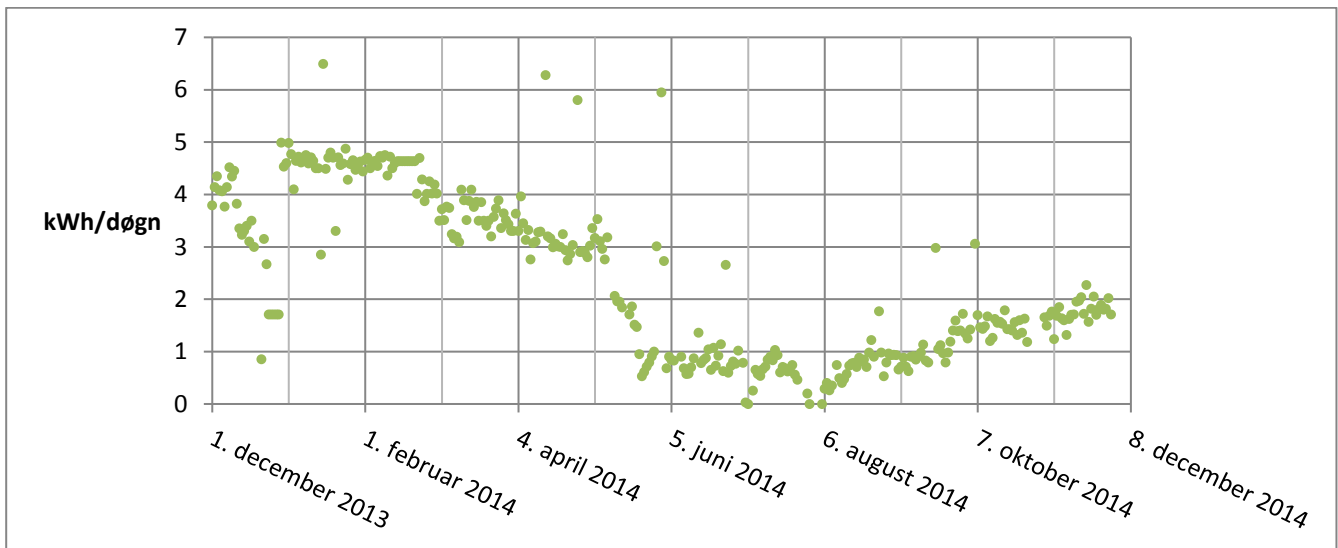
der har været en del flere graddage i perioden før renoveringen end i perioden efter, må det antages at brændeovnen også oftere har været i brug, og dermed givet et større bidrag. Et hurtigt bud udelukkende baseret på husejers brug af brændeovn efter renoveringen og vægtes i forhold til antal graddage, giver et bidrag på ca. 795 kWh efter mod 410 kWh før. Disse tal tager ikke hensyn til ændret brug af brændeovn efter renoveringen, og må derfor betragtes som konservative. Hvis disse tal inkluderes, ender huset med at have opnået en besparelse på omkring 24%, hvilket er mindre end forventet. Resultatet vil blive evalueret i afsnit 3.4.4.5.

### 3.4.4.3 Temperatur

Der har været opsat målere i alle rum i huset der løbende (4-6 gange i timen) har målt temperatur og fugtighed. Ikke alle målinger vil blive gennemgået her, da det er en massiv mængde data, men udvalgte rum vil blive beskrevet i udvalgte perioder. Hobo-loggerne er placeret på indvendige vægge, så vidt muligt væk fra vinduer og varmekilder. De kan ikke måle de præcise temperaturforhold i rummet pga. placeringen oppe på væggen, men de kan give en indikation af hvordan temperaturerne svinger i rummet og hvorvidt det termiske indeklima er meget koldt eller varmt. Med undtagelse af målerne på det nye bad og i bryggerset, der begge har været under ombygning efter selve energirenoveringen var gennemført, har målerne befundet sig på det samme sted under hele processen, dvs. målingerne før og efter renoveringen er sammenlignelige.

### Eloppvarmet badeværelse

Et af de rum der er relevant at se på er husets ene badeværelse, der ligger i forbindelse med soveværelset. Dette rum er det eneste i huset der opvarmes med en elradiator. Aflæsning af elforbruget på netop denne radiator afslører at elvarmen benyttes året rundt, se Figur 15.



Figur 15 – Elforbruget til elradiatoren på badeværelset aflæst fra et sparmeter en gang daglig over et år efter renoveringen. Det fremgår at forbruget er væsentligt højere vinter, men at radiatoren stadig benyttes daglig i løbet af sommerhalvåret.

I de beregninger der blev lavet på husets formodede energiforbrug før og efter renoveringen er der ikke regnet med et opvarmningsbehov i rummet uden for opvarmnings sæsonen. Grunden til at der alligevel er et forbrug skyldes, at husejer foretrækker at rummet har en forholdsvis høj temperatur når det skal benyttes til bad om morgenen. Af Tabel 5 fremgår det at der har været meget høje temperaturer i rummet. De lave temperaturer er registreret i perioder hvor husejer formodentlig har været bortrejst, og elvarmen derfor har været slukket. Det fremgår af målingerne at temperaturen i rummet er blevet mere stabil efter renoveringen, og at der er væsentligt færre timer med over- eller undertemperatur. En del af forskellen kan skyldes forskellen i udetemperaturen i de to perioder, men et nyt varmere tag og et bedre isolerende ovenlys har helt sikkert hjulpet til at holde temperaturen oppe når der ikke opvarmes.

Tabel 5 – Sammenligning af aflæste temperaturer i rummet målt over et år før og efter renoveringen.

<b>TEMPERATURER PÅ BADEVÆRELSE, HOBO ANALYSE</b>			
		Før	Efter
Maksimum temperatur	°C	32,50	30,86
Middel temperatur	°C	23,42	22,88
Minimum tempertur	°C	14,71	17,00
Overtemperatur (>26°)	Antal målinger <sup>1</sup>	8051	792
Overtemperatur	%	15,32	1,69
Undertemperatur (<20°)	Antal målinger	6499	837
Undertempertur	%	12,36	1,78

<sup>1</sup> Bemærk, overtemperaturer er angivet som antal malinger og ikke som timer med overtemperatur. Der er foretaget målinger 6 gange i timen.

### Mindre benyttet værelse

Et andet rum der er interessant at se på i forbindelse med den manglende energibesparelse ved aflæsning i forhold til beregning er et af værelserne i huset. Dette rum benyttes kun i lille grad efter børnene er flyttet hjemmefra og husstanden kom ned på 2 personer. Det får derfor ofte lov at stå med en meget lav temperatur, hvilket kan være medvirkende til det lave energiforbrug før renoveringen.

Gennemsnitstemperaturen i rummet er steget fra 19,77° til 21,25°. Herudover er andelen af tid med undertemperatur, dvs. under 20° faldet fra omkring 60% til mindre end 35% af tiden. Den lave gennemsnitstemperatur før renoveringen kunne være en del af forklaringen på hvorfor husejer i den periode har brugt mindre energi end forventet. Efter renoveringen er rummet kommet op på en rimelig komforttemperatur det meste af tiden, hvilket vil sige at noget af energibesparelsen er blevet brugt på øget komfort i dette rum.

Tabel 6 - Sammenligning af aflæste temperaturer i rummet målt over et år før og efter renoveringen.

### TEMPERATURER I VÆRELSE, HOBO ANALYSE

		Før	Efter
Maksimum temperatur	°C	30,05	28,46
Middel temperatur	°C	19,77	21,25
Minimum tempertur	°C	14,13	15,38
Overtemperatur (>26°)	Antal målinger <sup>1</sup>	955	2159
Overtemperatur	%	1,82	4,15
Undertemperatur (<20°)	Antal målinger	31.027	17.708
Undertempertur	%	59,02	34,07

#### 3.4.4.4 Husejers vurdering

Efter renoveringen er husejer blevet spurgt om deres mening.

Angående processen har de generelt været glade for den rådgivning de har modtaget, og har haft tillid til de råd de fik. De var glade for måden opgaven blev udført på, med en uafhængig rådgiver der hjalp dem til at finde den rigtige løsning for dem, og derefter indkaldte en række tilbud på udførelsen. Dette gav husejer mulighed for selv at vælge, så de følte de fik en god pris, en håndværker de havde tillid til og en renovering der var styret af deres ønsker og ikke mersalg fra andre aktører. De fremhævede det desuden som en fordel at projektet var meget velbeskrevet før det skulle udføres, hvilket minimerede diskussioner undervejs i udførelsen. Herudover så de det som en fordel at have en uafhængig byggerådgiver til løbende at holde øje med udførelsen, så evt. fejl kunne opdages og udbedres hurtigt.

Husejer har beholdt mange af de brugsmønstre de havde før renoveringen. Som et eksempel bliver der stadig luftet ud i huset dagligt, på trods af det nye mekaniske ventilationsanlæg. Dette skyldes ikke at de føler der er en dårlig luftkvalitet, tvært imod oplyser husejer at de oplever forbedret luftkvalitet, men det skyldes at de er vandt til at lufte ud. Dette kan have en negativ effekt på energiforbruget, da udluftningen uden varmegenvinding giver et direkte varmetab. Især da husejer normalt ikke slukker for varmen i forbindelse med udluftning. Husejer er blevet gjort opmærksom på de energimæssige konsekvenser af dette handlingsmønster.

Med hensyn til indeklimaet har husejer oplevet en væsentlig forbedring i forbindelse med renoveringen. De oplever en mere jævn temperatur, f.eks. bliver der mindre koldt i pejsestuen i løbet af natten hvor varmepumpen er slukket. Herudover har der generelt været lunere i løbet af vinteren, og de har ikke oplevet træk fra entreen, hvilket tidligere var et problem.

Også om sommeren har de oplevet en forbedring af det termiske indeklima. Tidligere blev stuen meget varm når solen stod på den sydvendte tagflade om sommeren. Men efter taget er blevet efterisoleret trænger solen ikke igennem på samme måde, og der opretholdes en køligere temperatur indenfor.

Husejer er ikke blevet skræmt fra at renovere og kigge på energiforbruget. Efter energirenoveringen var fuldført har de fået renoveret et badeværelse og bryggers. Herudover er de begyndt at undersøge andre muligheder for at nedsætte deres energiforbrug f.eks. ved at udskifte husets lyskilder til LED.

### 3.4.4.5 Evaluering af renovering af huset i Lyngby

De fleste målinger foretaget på huset har vist en forbedring i forbindelse med renoveringen, da huset er blevet lunere og mere tæt. Husejer er generelt tilfreds med det opnåede resultat, da det har givet dem øget komfort i huset. Dog har renoveringen ikke resulteret i en direkte besparelse af en størrelse som ellers kunne være forventet. Dette kan have en række årsager.

De indledende beregninger på husets energiforbrug blev udført som en energirammeberegning i programmet Be10, og gav en forventning om en besparelse på omkring 40%. Måden beregningen foretages på gør dog at dette tal ikke direkte vil kunne sammenlignes med besparelsen på det aflæste energiforbrug. En række forskelle og deres betydning for beregningerne er oplyst i Tabel 7. Som det fremgår af tabellen vil forskellene primært trække den procentvise energibesparelse fundet ved aflæsning ned i forhold til den beregnede. Det er derfor forventeligt at finde en besparelse på mindre end de beregnede 40%, selvom huset skulle leve op til de samme forhold.

Tabel 7 – Forskelle mellem det beregnede energiforbrug og det aflæste. Herudover er deres betydning for den aflæste besparelse i forhold til den beregnede forsøgt kvalitativt vurderet.

<b>FORSKELLE MELLEM BEREGNET OG AFLÆST ENERGIFORBRUG</b>			
<b>Forskelle</b>	<b>Be10</b>	<b>Aflæsning</b>	<b>Betydning for den aflæste energibesparelse i forhold til den beregnede</b>
<b>Elforbrug til andet end varme</b>	Medtages ikke i en energiberegning	Inkluderes, da aflæsningen dækker det fulde forbrug	Reduceres, da den samlede energimængde der regnes procentvis besparelse af øges
<b>Bidrag fra brændeovn</b>	Varmebehovet dækkes på anden vis af el eller gas.	Forbruget vurderes ud fra ca. forbrug efter	Reduceres, da noget af varmen fra brændeovn i Be10 dækkes af el der vægtes tungt hvorfor besparelsen bliver større når behovet reduceres, samt antagelsen for forbrug af brændeovn i perioden efter er til den konservative side.

Udover de forskelle der er i beregningsmetoderne kan resultatet blive påvirket af usikkerhed på de oprindelige data. Be10 modellen er opbygget så den så vidt muligt afspejler det virkelige hus, men det kan ikke undgås at der er foretaget en del antagelser undervejs.

En anden ting der påvirker estimeringen af energibesparelsen er at huset er opvarmet med 4 forskellige varmekilder. Fordelingen af varmetilskud fra hhv. gasfyr, varmepumpe, elradiator og brændeovn er kun nogenlunde præcist angivet for det aflæste forbrug efter renoveringen. For de tre andre tal (forbrug før, beregning før og efter) er det meget usikkert hvilke varmekilder der bidrager med hvor meget, hvilket også kan give en usikkerhed når det kommer til at regne besparelsen.

Behandlingen af energiforbruget kan ligeledes påvirke resultaterne. Selvom det er en almindeligt anvendt metode at klimakorrigere vha. graddøgn, er det en simpel metode der udelukkende tager hensyn til temperaturforholdene i perioden, og ikke inkluderer f.eks. påvirkning fra sol og vind.

Udover disse forudsætninger og usikkerheder der kan påvirke resultatet, er det også muligt at noget af forskellen mellem den beregnede og den aflæste besparelse kan forklares ved brugeradfærd og komfortøgning i huset. Da husstanden kun består af to personer er der nogle værelser i huset der kun i mindre grad benyttes, og disse har især før renoveringen fået lov til at komme ned på en meget lav temperatur. Det er muligt at en del af den forventede energibesparelse i stedet er gået til at opvarme huset til en højere middeltemperatur, og dermed øget den generelle komfort i huset.

### **3.5 Afprøvning af teglløsning på forsøgshus**

I Delrapport 1 blev en række løsninger til beklædning af facaden i forbindelse med udvendig efterisolering beskrevet, herunder en nyudviklet løsning hvor der benyttes bæverhaletegl. Omstændighederne gjorde at det ikke var muligt at afprøve denne løsning på demonstrationshusene. For stadig at afprøve løsningen er denne blevet implementeret på et forsøgshus på DTU.

På forsøgshuset er der blevet afprøvet to forskellige løsninger, se Figur 16. Den ene er baseret på såkaldte bæverhale af mærket Creaton, der traditionelt benyttes til tagbeklædning. Den anden er en skærmteglsløsning af fabrikatet Tonality. Der er blevet arbejdet på at disse løsninger skulle kunne købes i butikkerne som en færdig systemløsning sammen med Isovers udvendige efterisolering, så det vil kræve et minimum af tilpasningsarbejde på den enkelte sag.



Figur 16 – De to teglløsninger som de er opsat på forsøgshuset. TV. ses bæverhaletegl opsat på et vægstykke omkring et hjørne og et vindue, TH. ses skærmteglløsningen opsat på et vægstykke.

Tabel 8 – Tabel der viser m<sup>2</sup> priser for de to løsninger, beregnet ud fra de hjemhentedede tilbud i forbindelse med opsætning af løsninger på forsøgshus. Hvor de nøjagtige priser ikke er kendt er der foretaget en vurdering.

<b>PRISER PÅ DE TO FACADELØSNINGER</b>			
		<b>Bæverhaler</b>	<b>Tonality</b>
<b>Tegl</b>	<b>Kr/m<sup>2</sup></b>	116 <sup>1</sup>	563 <sup>2</sup>
<b>Ophængningssystem</b>	<b>Kr/m<sup>2</sup></b>	35 <sup>3</sup>	294 <sup>2</sup>
<b>Samlet pris<sup>4</sup></b>	<b>Kr/m<sup>2</sup></b>	168	857

<sup>1</sup> Pris beregnet ud fra tilbud på 300 stk., hvilket vurderes at kunne dække ca. 15,5 m<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Pris pr. m<sup>2</sup> taget direkte fra tilbud på 150 m<sup>2</sup>

<sup>3</sup> Vurderet pris for lægter og skruer. Der regnes med ca. 2,6 lægtemeter/m<sup>2</sup>, 6 kr./m lægte, 25 skruer/m<sup>2</sup>, 0,75 kr/skrue.

<sup>4</sup> Den samlede pris er pr. m<sup>2</sup> flade og inkluderer ikke detaljer omkring f.eks. vinduer og hjørner.

Ud fra de hjemhentede priser er der stor forskel på hvilken løsning man vælger. Tonality tegl kommer med aluminiums ophængningssystem op på en pris omkring 800-900 kr./m<sup>2</sup>. Bæverhalerne bruges traditionelt til tagbeklædning, hvilket betyder de generelt konkurrerer med billigere produkter end dem der anvendes på facader, og da de herudover kan monteres med almindelige skruer på trælægter, kommer prisen ned på omkring 150 kr./m<sup>2</sup>, se Tabel 8.

De foreslåede facadematerialer har mange af de samme fordele som en blank teglmur, idet de er solide og har et meget lavt vedligehold. På den måde kan disse materialer i en systemløsning med udvendig isolering tilbyde et godt alternativ til teglmuren, hvor de gode egenskaber bevares samtidig med at varmetabet sænkes.



Figur 17 - Detaljebilleder af bæverhaleløsningen.



Figur 18 – Eksempler på brug af forskellige typer af Tonality skærmtegl på parcelhuse.

## 4 KONKLUSION

Formålet med denne rapport var at behandle tre af fire overordnede formål i EUDP projektet om udvikling af systemløsninger til parcelhusrenovering.

Det første punkt var udvikling af metoder til udarbejdelse af pakked løsninger for det specifikke hus. Den metode der er foreslået i rapporten bygger dels på klarlæggelse af renoveringsbehov og dels på en langsigtet tidsplan. Renoveringsbehovet bestemmes ved at undersøge huset med udgangspunkt i de tre områder Holdbarhed, Funktioner og Energi. Ved at bruge dette udgangspunkt sikres det at der kigges holistisk på husets behov. Når behovet for renovering inden for de tre områder er bestemt, laves en langsigtet tidsplan med udgangspunkt i de resterende levetider for de forskellige bygningsdele. Ud fra denne kan de forskellige tiltag samles i pakker, der er hensigtsmæssige at indføre samtidig. Metoden kan bruges til at planlægge langsigtet, eller, som her i projektet, til at planlægge omfanget af en større renovering.

Det andet punkt var demonstration af tekniske systemløsninger og pakked løsninger på typiske parcelhuse. En række huse har været tilknyttet projektet med netop dette formål, men i sidste ende er det kun lykket at gennemføre en renovering. Dette gav mulighed for at afprøve udarbejdelsen af pakked løsninger, men desværre var det ikke muligt f.eks. at afprøve systemløsningen med udvendig efterisolering, da det ikke var den løsning husejer foretrak. Der blev dog fundet en god løsning for installation af et nyt mekanisk ventilationsanlæg i forbindelse med at huset fik nyt tag, hvilket kunne have været vanskeligt, da huset har loft til kip.

Det tredje punkt var dokumentation af husets energiforbrug og indeklima mv. før og efter renovering. Her er der udført målinger og aflæsninger af bl.a. gasforbrug, elforbrug, temperatur, fugtighed og tæthed, så der foreligger målinger for et år hhv. før og efter renoveringen. Herudover er husejer blevet interviewet om deres opfattelse af indeklimaet både før og efter. Målingerne bekræfter at huset er blevet mere tæt og at der er kommet mindre udsving i temperaturen. Når der korrigeres for klimaforholdene i de to år er der dog nået en mindre besparelse på el- og gasregningen end først forventet. Nogle af årsagerne til denne forskel mellem den beregnede besparelse og den aflæste kan være forskelle i beregningsmetoder, usikkerhed forbundet med de anvendte metoder, husets kompleksitet herunder de 4 forskellige varmekilder eller brugeradfærd og øget komfort. På trods af at der ikke er opnået den forventede besparelse på energiregningen må renoveringen siges at have været en succes, da husejer oplever at de har fået et bedre indeklima med mindre træk og mindre temperaturudsving, hvilket har forbedret huset som opholdssted både sommer og vinter. Deres oplevelse bekræftes af målingerne foretaget på huset.



## 5 REFERENCER

### 5.1 Studenterprojekter

I de følgende afsnit vil være en kort oversigt inklusiv resumeer over nogle studenterprojekter der er blevet udført på DTU, som har relevans for dette projekt. Nogle af projekterne har direkte arbejdet med de udvalgte cases, og har dermed bidraget direkte til processen. Alle projekterne kan findes på projektets hjemmeside, under publikationer.

<http://www.parcelreovering.byg.dtu.dk/Publikationer%20,-a,%20links.aspx>

#### 5.1.1 Systemløsning til energirenovering - udarbejdelse af forretningskoncept til systemløsninger ved brug under energirenovering af parcelhuse opført i perioden 1960-80

Valgfri projektopgave fra Bygningsdesign

Morten Brink Rung, Martin Johnsson og Nikolaj N. Rasmussen, juni 2010

Omhandler Bellisvænget, hus ikke optaget i projektet

##### 5.1.1.1 Resume (Abstract)

*In the recent years there has been an increased focus on energy consumption and discontinuing resources. In 2006, there were hereby imposed new and stricter demands for new and existing buildings energy consumption. These demands are based on EU Directive on Energy Performance of Buildings. The consequences of these new energy regulations are; that not only new buildings must comply with the demands, but also the buildings that undergo major renovations or have made an extension to the house, must be improved energy wise.*

*The purpose of this project has thus been to create and describe a business model for a smaller consultative and contracting projecting renovation company that provides complete solutions to dwellings. The company will primarily focus on houses built in the 60s and 70s, as this is almost half of all single family homes in Denmark, equivalent to 350,000 from the period. It is necessary to know the typical design of the typical houses built in the investigated period. The building elements and the installations as well as their problems are therefore identified and described. With so many houses built within this relatively short period, the houses are seen as a uniform mass that were largely built using the same methods. It is therefore possible to design standard renovation solutions for each building part.*

*The company's goal is, not only to bring the energy consumption of these single family houses, down to a level equivalent to the demands for new buildings today, but try to meet the demands of low energy class 1.*

*Included in the business model are the routine tools that can be developed specially for addressing that particular building stock. With the essential information from the home owner a project proposal will be made with visualizations, cost, energy consumption and information that will help the home owner to make a*



*thoroughly considered decision. If the home owner chooses to follow through and begin the process of renovating they are explained the order of consultative meetings so that the process will be clear to them. When a design is formulated and all drawings and calculations are made the same company will carry out the actual build. That ensures that the company can guarantee the performance of the renovation.*

*As part of this procedure, there has been developed a catalogue that shows the renovation of building parts and installations. Furthermore energy calculation, price calculations, sales models, which can be adapted to each client, as well as material for a no-obligation pre-project, has been made.*

## 5.1.2 Energirenovering af typehuse

Diplom afgangprojekt fra Byg

Morten Filskov Knudsen og Anne Sofie Lorentzen, juni 2010

Omhandler Bellisvænget og Ravnehusvej, ingen af husene er optaget i projektet

### 5.1.2.1 Resume

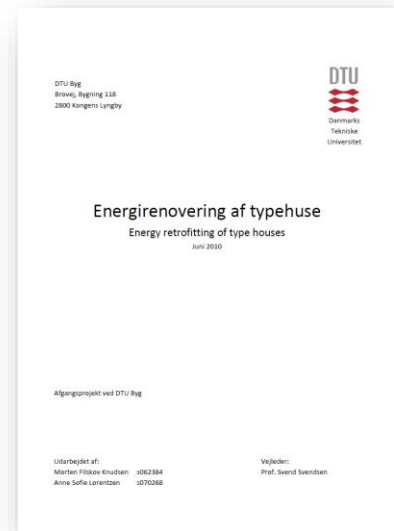
*Øget fokus på bæredygtig udvikling har fået mange til at se på energiforbruget af boligmassen. Formålet med dette projekt er, at udfærdige en økonomisk rentabel pakkedesign til energirenovering af typehuse fra 60'erne og 70'erne til lavenergiklasse 1.*

*I projektet gennemgås, hvilke krav og regler der var gældende, da typehusene blev bygget og hvilke fremtidige krav der er til boligmassen som helhed. Herunder ses der på skærpede krav til renovering og incitamenter for at energirenovere, såsom renoveringspuljer, bedre indeklima og forøget boligværdi.*

*Typehusenes typiske konstruktioner beskrives, og der gennemgås løsningsforslag til, hvordan man kan forbedre konstruktionerne ved en energirenovering. Ud over forbedring af selve konstruktionen, ses der også på installationstiltag, der vil kunne sænke energiforbruget. At reducere energibehovet til lavenergiklasse 1 for et gammelt typehus, kræver at der udføres adskillige tiltag i en fornuftig rækkefølge. Visse tiltag er fordelagtige at udføre samtidig, da udgifter ellers vil forøges og konstruktionssamlingerne blive dårligere.*

*For at kunne vurdere hvorvidt et tiltag er rentabelt eller ej, anvendes en udvidet udgave af energispareprisen. Denne økonomiske model beskriver hvor meget det koster at spare én kWh ved et givent tiltag. For at et tiltag er rentabelt, skal energispareprisen ligge under energiprisen.*

*Forskellige løsningsforslag afprøves til sidst i to cases; et hus fra 1970 på 150 m<sup>2</sup> og et hus fra 1974 på 180 m<sup>2</sup>. Her afprøves flere niveauer af samme tiltag for at finde de største energibesparelser med de bedste energisparepriser. Derefter sammensættes tiltagene til en pakkedesign, hvor den samlede energibesparelse og energisparepris beregnes og vurderes. Derudover vurderes det, hvorvidt det bedre kan betale sig at rive det eksisterende hus ned og bygge et nyt hus i lavenergiklasse 1. Ud fra de to cases har det vist sig, at det er muligt*



at energirenoveres til eller nær lavenergiklasse 1 med en økonomisk rentabel energisparepris. Dermed vil der være muligt, at andre typehuse vil kunne energirenoveres, og at boligmassens energiforbrug kunne mindskes.

### 5.1.3 Udvikling af metode til energirenovering af enfamiliehuse

Diplom afgangsprøjet fra Byg  
Ulrik Sloth Christensen, januar 2011  
Omhandler Steengårds Alle, Hus 3

#### 5.1.3.1 Resume

I afgangsprøjet er der blevet udviklet en metode, til at energirenoveres enfamiliehuse. Rapporten gennemgår krav til energirenovering, hvordan rentabiliteten for et tiltag kan beregnes og hvordan dette kan bruges til at vurdere om det kan betale sig at energirenoveres.

Rapporten forklarer også, hvordan brugeren af metoden får indsamlet de forskellige relevante oplysninger, der er nødvendige, for at kunne lave så korrekte beregninger som mulig. Da undersøgelsen ikke skal blive for dyr for husejere, deles metoden op i 2 forslag. Den første er et overordnet forslag, der hurtigt skal fortælle ejeren, om det kan forsvares at lave energirenoveringen, mens det andet forslag er et mere detaljeret forslag, hvor der evt. findes andre mere optimale tiltag, der skal laves.

Der er grundet, at mange gamle enfamiliehuse har krybekældre, blevet undersøgt i samarbejde med firmaet Bygge- og Miljøteknik, hvordan krybekældre laves om til et nyt terrændæk, sådan at de både bliver efterisoleret, samt skaber gode muligheder for at øge funktionalitet i huset.

For at se om metoden fungerer efter hensigt, er den blevet afprøvet på en case. Dette var et enfamilieshus på 140 m<sup>2</sup>, som blev bygget i 1965, og med et energiforbrug på ca. 190 kWh/m<sup>2</sup>. Der blev så fundet tiltag, som er med til at reducere energiforbruget, øge funktionaliteten samt forlænge levetiden. Med disse tiltag blev der vurderet, om det var fornuftigt at forsætte med det detaljerede forslag. I detail forslaget blev der fundet de optimale energioptimerings tiltag, ved at brug af energispareprisen, samt undersøgt, hvornår det var bedst at foretage de forskellige tiltag ud fra levetidstabeller.

#### 5.1.3.2 Metode

Undersøgelsen af huset er delt op i to dele, et overordnet forslag og et detailforslag.

##### Overordnet forslag

Et overordnet forslag, som ikke er så dyrt, der beskriver, om det kan betale sig at lave en energirenovering. Desuden bliver ejeren vist nogle ideer til, hvilke tiltag der eventuelt kan foretages.

Indsamling af data:



- Evt. Registrering af ejendommen
- Byggesag hos kommunen
- Evt. tilstandsrapport og energimærke

Overordnet forslag skulle koste ca. 10.000 kr., svarende til en ingeniør i 1½ dag. Skal give overblik over husets behov inden for de 3 områder:

- Funktionalitet
- Holdbarhed (reoveringsbehovet)
- Energoptimering

Det overordnede tiltag skal indeholde:

- Et eller flere reoveringsforslag
- Evt. en plan for hvornår de skal laves
- Nyt energiforbrug baseret på Be10 beregninger
- Estimeret budget baseret på priser fra V&S-prisbøger
- En vurdering af rentabiliteten for energirenoveringen baseret på bygningsreglementet

#### **Detail forslag**

Et detail forslag, som skal laves, hvis det overordnede forslag viser, at det kan betale sig at lave en energirenovering. Forslaget giver ejeren nogle detaljerede forslag til at få huset fremtidssikret.

### **5.1.4 Økonomisk optimering af energirenovering af parcelhuse**

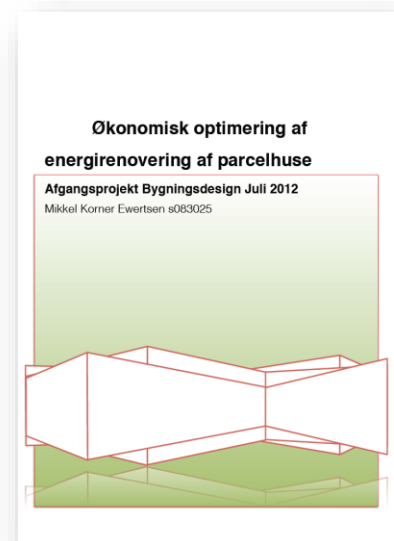
Diplom afgangprojekt fra Bygningsdesign  
Mikkel Korner Ewertzen, juli 2012  
Omhandler Mølleåparken, Hus 6

#### **5.1.4.1 Resume**

*Projektet undersøger den politiske baggrund for energirenovering af parcelhuse, og det udvikler en metode til økonomisk optimering af energirenovering af parcelhuse, som kan benyttes til huse, hvor der ikke er udarbejdet EMO-rapport. Projektet beskriver hvordan der foretages økonomiske beregninger for at vurdere, om det kan betale sig at udføre et energirenoveringstiltag.*

*Opgavens teoretiske fundament er baseret på Bygningsreglementet 2010 i kobling med en række publikationer og rapporter omkring bygningsrenovering og de økonomiske forhold for disse. Dette danner således rammen for en metode, der skal kunne give en boligejer overblik over økonomien ved at renovere.*

*Metoden beskriver: Bygningsgennemgang, funktionalitetsbehov, energibesparende tiltag og deres økonomi samt besparelserne ved økonomisk rentable tiltag. I dette projekt er metoden anvendt med udgangspunkt i et*



parcelhus fra 1976 beliggende i Mølleåparken. I renoveringsforslaget forsøges det som minimum at overholde energikravene i bygningsreglementet 2010, og der stiles efter at opnå konstruktioner, der overholder kravene for lavenergi klasse 2015.

Renoveringsforslaget resulterer i, at tag og vinduer er rentable at renovere/udskifte, idet disse opnår en rentabilitet på hhv. 1,43 og 25,8, hvilket er over kravet på min. 1,3. Disse to forslag opnår en energisparepris på 1,13 kr./kWh og 0,06 kr./kWh, hvilket er lavere end den lokale fjernvarmepris på 1,5 kr./kWh. Enkelttiltagene bidrager ikke til en reduktion, der får huset til at overholde BR10. Når de to tiltag kombineres opnås en reduktion i energirammen på 60 %, fra 116,9 kWh/m<sup>2</sup>år til 47,4 kWh/m<sup>2</sup>år, hvilket overholder energirammen for BR10. Energispareprisen for det samlede forslag bliver 0,5 kr./kWh og med en rentabilitet på 4,28 betyder det, at renoveringsforslaget anses for at være økonomisk rentabelt.

#### 5.1.4.2 Metode

Denne metode er rettet mod huse hvor der ikke foreligger et energimærke og en tilstandsrapport, og har det formål at give husejer et overblik over de økonomiske omkostninger og besparelser ved at energioptimere deres boliger.

Overordnet fremgangsmåde:

- Bygningsgennemgang
- Bestemmelse af nuværende energiramme
- Funktionalitetsbehov
- Energibesparende tiltag og deres økonomi
- Besparelser ved økonomisk rentable tiltag

Økonomien beregnes med priser fra V&S prisdata, og behandles ved at beregne energirenoveringsfaktor (restlevetid/total levetid) og energispareprisen (kr./sparet kWh).

#### 5.1.5 Metode til planlægning af vidtgående energirenoveringer af parcelhuse

Bachelorprojekt fra Byggeteknologi

Christoffer K. Marxen og René B. Knorborg, juli 2012

Omhandler Vedbendvej, Danmarksvej og Tvendagervej, Hus 4, 5 og 7

##### 5.1.5.1 Resume

I denne rapport bliver en metode til planlægning af vidtgående energirenoveringer af parcelhuse udarbejdet. Der er taget udgangspunkt i energimærkningsordningen (EMO) og regeringens målsætning om en boligsektor der skal være fri af fossile brændsler i 2035. Det bliver undersøgt på hvilken baggrund energirenoveringer bliver foretaget i dag og om EMO har den ønskede effekt mht. at bidrage til energirenoveringer af boligsektoren. Yderligere bliver det matematiske økonomiske grundlag for forslagene opstillet i energimærkningsrapporterne analyseret. På baggrund heraf bliver en bedre model, (Energispareprisen), implementeret



*i den nye metode. Det bliver yderligere undersøgt, hvilke tilskudsordninger og finansieringsmuligheder der eksisterer og der bliver opstillet forslag til ændringer og indførelse af nye. Den nye metode indeholder en detaljeret bygningsgennemgang der beskriver, hvilke renoveringer og udskiftninger huset står overfor de næste 40 år. Det bliver illustreret grafisk ved en energirenoveringsplan (ERP) for de første 10 år, og derefter en helhedsplan over 40 år. Tre parcelhuse opført i årene 1953-1981 får beregnet en vidtgående energirenovering og metoden bliver afprøvet på hver af dem. To af parcelhusene bliver bragt fra hhv. energimærke E og C ned i A2 og det tredje parcelhus bliver bragt fra energimærke C ned i A1.*

#### **5.1.5.2 Metode**

Fokuspunkterne i denne metode er:

- Bygningsgennemgang. Giver overblik over husets nuværende tilstand og det nuværende energiforbrug. Ud fra dette opstilles en række mulige energirenoveringsforslag.
- Renoveringshensyn. Ved at kigge på den tilbageværende levetid for de enkelte bygningsdele kan man sikre at tiltagende bliver udført på det mest hensigtsmæssige tidspunkt. Ved at se på samtlige mulige forbedringer kan man desuden sørge for at tiltagene bliver udført med hensyn til hinanden.
- Funktionalitetsbehov. Husejers ønsker til forbedringer i huset så det opfylder deres ønsker til en bolig. Individuelt, men vigtigt at medtage.
- Økonomi. Bygget på energispareprisen, sammenlignet med tilbagebetalingstid og rentabilitet ifølge bygningsreglementet. Desuden regnes selve energiinvesteringen ud fra energirenoveringsfaktoren. Målet er at give et overblik over økonomien i en omfattende renovering af huset.
- Non-energy benefits. I forslaget skal de fordele der kommer som en følge af en energirenovering, men ikke nødvendigvis er energirelaterede fremhæves.
- Energirenoveringsplan. Alle undersøgelserne samles i en energirenoveringsplan, der giver et konkret bud på hvornår forskellige tiltag med fordel kan udføres. Denne plan kan ligge til grund for senere mere detaljeret projektering.

Målet er at denne energirenoveringsplan skal virke som et obligatorisk udvidet energimærke, der kan give husejerne i Danmark et bedre overblik over fordele og konsekvenser ved en energirenovering, så de kan tage et informeret valg.

### 5.1.6 Systemløsninger til energirenovering af parcelhuse

Diplom afgangsprøve fra Bygningsdesign

Emilie Patricia Dam-Krogh og Christina Erikshøj, januar 2013

Benytter Danmarksvej og Tvendagervej som eksempler, Hus 5 og 7

#### 5.1.6.1 Resume

Projektet tager afsæt i Regeringens ønske om, at Danmark skal være fossilfrit i 2050. For at kunne imødekomme denne energiplan, skal der gøres en indsats på mange områder, der blandt bygningsmassen, som i dag udgør 40 % af det samlede energiforbrug. Parcelhuse bygget før 1979 udgør en stor del af denne bygningsmasse, da energikrav først blev indført her.

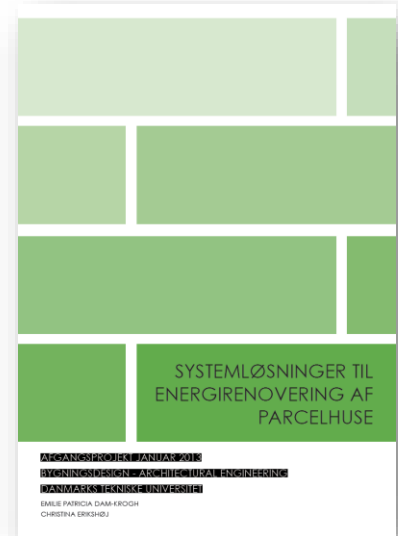
Dette projekt tager udgangspunkt i udarbejdelsen af systemløsninger til energirenovering af parcelhuse fra 1960 - 1980'erne med fokus på facaden, hvor der indtænkes arkitektoniske-, konstruktive-, og økonomiske forhold.

Der gennemgås, hvilke krav der er relevante ved en energirenovering, samt teori om dagslys og økonomi, da disse er vigtige aspekter ved en helhedsorienteret løsning. Der tages udgangspunkt i to eksisterende parcelhuse fra denne tid; Danmarksvej og Tvendagervej. Deres konstruktive forhold samt deres nuværende energimæssige stand gennemgås.

Projektet undersøger dernæst eksisterende isoleringsmaterialer og systemer, der kan tages udgangspunkt i for systemløsningen. Det konkluderes, at Isover Plus System er det bedst anvendelige til denne type løsning. Facadematerialer undersøges i forhold til deres anvendelighed på parcelhuse, hvor der tages højde for deres arkitektoniske udtryk, tekniske levetid, pris, samt mulighederne for videre bearbejdning. Det konkluderes på baggrund af disse aspekter, at der i systemløsningen vil viderearbejdes med en tagstens beklædning af tegl, kaldet "bæverhaler".

Med udgangspunkt i Isover Plus Systemet og bæverhalerne, udvikles der en facadesystemløsning henvendt til parcelhuse, hvor der udarbejdes konstruktive detaljer for tre hovedscenarier i forhold til om hele den eksisterende mur bibeholdes, om bagmuren bibeholdes alene, eller om de eksisterende vinduer beholdes. Udover selve udviklingen af facadesystemet, udarbejdes der også konstruktionsdetaljer i forhold til samlingen af systemløsningen med hjørner, sokkel/fundament, vindue og tagfod, hvor der tages udgangspunkt i Danmarksvej og Tvendagervejs eksisterende konstruktionsopbygning.

Der udføres energiberegninger for den udviklede systemløsning, igen med udgangspunkt i Danmarksvej og Tvendagervej: Facaden og vinduernes placering undersøges i forhold til påvirkningen af dagslyset. Der udregnes linjetab af fundaments detaljerne samt vinduernes samling med ydervæggen, hvor der konkluderes hvilke placeringer der er bedst rent energimæssigt. Energirammerne for de eksisterende huse udregnes, samt



forskellige kombinationer af energimæssige tiltag, for at sammenligne facadesystemet med disse rent energimæssigt.

Facadesystemløsningen prissættes, hvor energispareprisen regnes ud samt rentabiliteten ifølge Bygningsreglementet. Der sammenlignes med andre renoveringstiltag og deres energisparepriser, både som enkelttiltag og som kombinationer heraf.

Det konkluderes, at der er udarbejdet en systemløsning til parcelhusfacader, der formår at opfylde konstruktive såvel som arkitektoniske og økonomiske forhold. Systemløsningen er et reelt renoveringsalternativ, for parcelhusejere at anvende, idet den har gode energimæssige egenskaber, samt har en af de laveste energisparepriser som er undersøgt. Facadesystemløsningen kan potentielt være med til at gøre en indsats for, at nedsætte den eksisterende bygningsmasses energiforbrug.

### 5.1.7 Produktudvikling af facadesystemer til efterisolering af enfamiliehuse

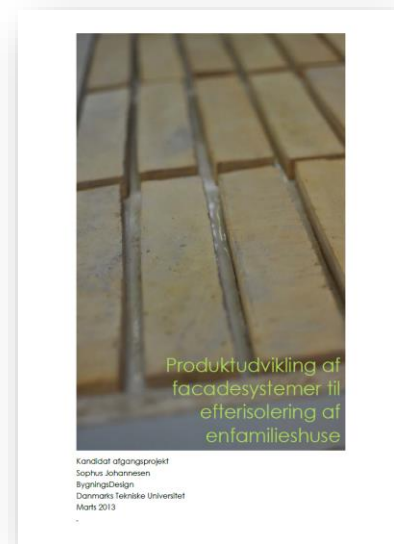
Kandidat afgangsprøve fra Bygningsdesign

Sophus Johannesen, marts 2013

Benytter Danmarksvej (hus 5) m.fl. som eksempler

#### 5.1.7.1 Resume (Abstract)

The background of this project is to contribute to Denmark's goal of reducing energy consumption in order to reduce dependence on fossil fuels. For this to succeed, it is not enough to set requirements for new buildings for low energy consumption. The existing buildings also need to be energy optimized. The project is delimited to single-family houses with focus on the big building period in the '60's and '70's. The purpose of this project is to develop a product for insulation of external walls in single-family houses at a price that will be so low that it would be cheaper to renovate than to leave it. In this way, the product could help both to ensure energy optimization and the future of the existing building stock. But the energy renovation is not only about how to save energy, aspects such as constructability, economy and comfort, as well as the aesthetics are also important. And these aspects are incorporated in the project by using the design method called "Engineering Design Method" by N. Cross, which applies weighted evaluations of the design solutions. After evaluation of product proposals based on a series of product objectives two solutions are chosen. One solution based on a roof product called beaver tail tiles. The other solution is a plate made of high performance concrete with tile bricks cast in. The solutions can be produced to a price around 1150 kr./m<sup>2</sup> in average, which are half the cost of the popular plaster solution. When the solutions are used in a renovation example of a single-family house from the 60's, the cost of conserved energy will be as low as 0,50 kr./kWh. The cost of conserved energy will also be below the actual energy price when the solutions are used in connection with other energy saving initiatives and worn elements are accounted for by the energy renovation factor. So not only will the product perform very well on its own it will also be able to play a major role in combination with other energy saving initiatives in the aim of obtaining fossil free energy production.





*Throughout the project different barriers for implementing the solutions illustrated and solved by analytic progression i.e. is the daylight analysis, where it can be concluded that there will be a reduction of approximately 0.5% in an average “worst case room” when the extra layer of insulation is applied. It can also be concluded that there will be no significant change in daylight by moving the window forward in the façade when adding the product.*

## **5.2 Kildeliste**

- Byggecentrum. (2014). Velkommen til V&S Prisdata. Retrieved from <http://www.byggecentrum.dk/produktadgang/vs-prisdata-startside/>
- Gram-Hanssen, K. (2000). *Renovering af Enfamiliehuset : Holdninger til arkitektur og økologi*. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Hansen, S., & Vanhoutteghem, L. (2012). A method for economic optimization of energy performance and indoor environment in the design of sustainable buildings, 741–747.
- SBi. SBi-anvisning 213 Bygningers energibehov Beregningsvejledning (2008).
- Teknologisk Institut. (2007). Tæthed - god energirådgivning, (september).
- The Danish Government. (2010). *Building Regulations* (Vol. 16, pp. 3–222). The Danish Ministry of Economic and Business Affairs & Danish Enterprise and Construction Authority. Retrieved from <http://bygningsreglementet.dk/>

Dette er delrapport 2 udgivet i forbindelse med EUDP projektet "Udvikling af systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenoveringer af eksisterende bygninger samt demonstration på 3 typiske parcelhuse fra perioden 1960-80". Delrapport 1 beskæftiger sig primært med udvikling af systemløsninger, denne rapport beskæftiger sig med metode til projektering af renovering og demonstration.

**DTU Byg**  
**Institut for Byggeri og Anlæg**  
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf. 45 25 17 00

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

**ISSN 1601-8605**