



Energirenovering af Traneparken

Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU

Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU

Ove C. Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management

Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management

Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut



**BOLIG
SELSKABET
SJÆLLAND**



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

CENERGIA



- en del af
KUBEN
MANAGEMENT



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Titel: Energirenovering af Traneparken

Udført af: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Bygningers Energi-
effektivitet, Indeklima og Bæredygtighed (EIB)
Teknologisk Institut, Energi og Klima
Cenergia – en del af Kuben Management

Forfattere: Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU
Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU
Ove C. Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management
Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management
Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut

Kontakt: Jørgen Rose, jro@sbi.aau.dk

September 2017
1. udgave, 1. oplag

ISBN: 978-87-93250-06-2
ISSN: 1600-3780

Forside: Traneparken efter renovering

Forord

Nærværende rapport udgør en del af afrapporteringen af PSO ELFORSK projektet Vejledning for energirenovering af boligblokke til lavenergiklasse 2015 og 2020. Arbejdet har været finansieret af PSO midler via ELFORSK, projekt: 347-023.

Formålet med projektet er at udvikle en vejledning for dybtgående energirenovering af boligblokke. Vejledningen omfatter optimering af økonomi, energibesparelser og CO₂-reduktion ved renovering af boligblokke til lavenerginiveau. Fokus er på elementbyggeri fra 60-70'erne samt murstensbyggeri. Der tages udgangspunkt i to konkrete renoverings cases: Traneparken, Hvalsø og Sems Have, Roskilde, hvor renoveringen er udført på to principielt forskellige måder: Traneparken med udvendig efterisolering til næsten lavenergiklasse 2015 niveau (nuværende BR2015 krav), og Sems Have med helt ny klimaskærm til bygningsklasse 2020 niveau. Begge bebyggelser har fået nyt ventilationsanlæg samt PV-anlæg.

Nærværende rapport beskriver renoveringen af Traneparken.

Deltagere i projektet:

Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet

Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet

Niels Bergsøe, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet

Ove Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management

Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management

Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut

Rikke Pakaci Christensen, Boligselskabet Sjælland

Charlotte Jakobsen Szøts, Boligselskabet Sjælland (nu KAB)

Per Pedersen, Boligselskabet Sjælland

Per Bro, Boligselskabet Sjælland

Ulrik Eggert Knuth-Winterfeldt, Boligselskabet Sjælland

Desuden har projektet haft en følgegruppe, som bestod af:

Steen Ejsing, Byggechef DAB (Dansk Almennyttigt Boligselskab)

Bent Gordon Johansen, Domea (Almen administrationsorganisation)

Jesper Rasmussen, Byggeudviklingschef BoVest (Boligadministrationsselskab)

Ole Bønnelycke, Byggeskadefonden

Summary

Before the renovation, the three blocks of Traneparken with a total of 66 apartments were typical examples of Danish housing blocks from the 1960s with prefabricated sandwich concrete elements with relatively low insulation. The buildings were worn-down and there were problems with facades, windows, roofs etc. The energy use was high and the indoor climate was unsatisfactory. The buildings needed a thorough renovation.

The housing company decided with the support of the tenants not only to solve the problems but also to upgrade the buildings to match new buildings with regard to energy need, indoor climate, architecture and quality of life. Outer walls and basement walls as well as roofs were insulated and the old double glazed windows were replaced by new low-energy windows with three layers of glass.

The old exhaust ventilation system was replaced by an energy efficient balanced mechanical ventilation system with heat recovery. The additional insulation and the new ventilation system improved the indoor climate and air quality in the apartments. The warmer walls and windows make it easier and more comfortable to utilize all the m² of the apartments. All apartments now have a balcony overlooking the renovated green areas of the courtyard. A rooftop PV system on one of the blocks helps reduce the electricity use of the shared laundry and new ventilation systems.

The goal of the renovation was to meet the requirements for Low Energy Class 2015 in Building Regulations BR10, i.e. present new building requirements. This corresponds to an annual gross energy consumption of 30.6 kWh/m².

The energy demand for Traneparken was calculated and compared to the measured consumption. The difference between the calculated energy demand and the measured energy consumption is due to many factors, such as user behavior, building use, building construction and varying weather conditions in different years. One of the biggest sources of uncertainty is clearly the users, their number and behavior. The calculation model was therefore adapted to correspond to the measured heat consumption.

If measurements of heat and hot water consumption before and after renovation are compared directly, heat consumption has been reduced by approx. 33%.

The total energy requirement of the building after renovation, i.e. total heating requirement plus electricity requirements for building operations is 85.8 kWh/m², which corresponds to a C-label (maximum energy requirement: 111.8 kWh/m²). However, this is without regard to electricity production from the PV system. If this is included in the calculation, the energy requirement for the building is reduced to 70.7 kWh/m², thus giving the building a B-label (maximum energy requirement: 72.2 kWh/m²).

The renovation was originally projected to reach an A2015-label. This corresponds to an energy requirement of 30.6 kWh/m², but uses different primary energy factors for district heating (0.8 in BR2015 versus 1.0 in BR10). The energy requirement with primary energy factors corresponding to BR2015 would be 56.1 kWh/m². Furthermore, in the latest version of the Building Regulations, you can count 50% of the basement area in the energy frame, and if this is included the result is an energy requirement of 48.1 kWh/m². This corresponds to Renovation Class 1, or an A2010-label.

The gross energy requirement is still approx. 60% higher than the energy requirement of BR2015. The reason that the building does not meet the requirements of BR2015 is primarily that there are relatively large heat losses from uninsulated pipes, heat distribution system and hot water installation in the basement. If these pipes were insulated with 50 mm insulation, and at the same time an additional 75 m² solar panels were installed, the building would reach the BR2015-label.

Although the original goal was not reached, the renovation still achieved a significant reduction in energy consumption compared to before renovation and also in comparison to other similar Danish housing blocks.

It is important in future projects to ensure that all energy consumption is included in the calculations in the design phase. In addition, it is also important to understand that a calculation with default values for the use of the building typically does not provide the actual energy consumption in operation. In order to get a better estimate of the real energy consumption of the building, it is necessary to carefully consider the future use of the building and then make the necessary adjustments to the default values.

Parameter variations with Be15 and comparison between measured and calculated heating needs show that it is a complicated and time consuming process to achieve consistency between measured and calculated energy consumption. Achieving such an agreement is important in order to understand whether a building complies with a specific energy requirement and possibly why the requirement is not complied with.

The renovation of Traneparken has provided a number of important experiences. It takes longer to plan and carry out renovation than new construction, especially if the apartments are inhabited during the renovation process. Traneparken is council housing, and the tenants must be part of the decision-making process. Therefore, it is also important that the tenants get what they expect, so from the start of the project it is necessary to make a great effort to ensure that expectations are aligned with what can be achieved in practice. The timetable is important and the tenants must know when something is going to happen in their apartment. It is difficult to perform renovation work in apartments where people live during the process and craftsmen must be considerate. For the same reason, there must also be a high level of safety at the building site.

Traneparken required a major renovation due to worn-down facades, roof structures and windows. This need for refurbishment was an opportunity to carry out an in-depth energy renovation of the building at the same time. Traneparken has thus achieved major energy savings, while the residents have gained some aesthetically more beautiful buildings and, in addition, a significantly better indoor climate, larger useful area in the apartments, balconies and a significant improvement of the buildings' surroundings.

Appendix A presents a theoretical analysis of the economy for different energy renovation packages applied to block B of Traneparken. Appendix B describes calculations of individual renovation measures and their respective savings potential for the building.

The calculations in Appendix A show that there are different options for achieving the different energy levels. In order to reach BR2015 and Building Class 2020, it is necessary to use PV. The calculations also show that the economy is relatively poor as long as energy savings are compared against the total investment needs. On the other hand, if you deduct the costs for ordinary renovation/maintenance of the building, the addition of energy-saving measures shows a good economy.

The calculations in Appendix B show that there are many different options for reducing the energy requirements of existing blocks of flats. However, most energy saving measures are not profitable individually. The calculations here emphasize the importance of performing energy renovation in connection with the renovation of the building due to wear and tear or in connection with the normal maintenance of the building.

Indholdsfortegnelse

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduktion..... | 8 |
| 2 | Bebyggelsen..... | 10 |
| 2.1 | Oprindelige bygninger..... | 10 |
| 2.2 | Efter renovering | 12 |
| 3 | Klimaskærmen | 17 |
| 3.1 | Ydervægge | 17 |
| 3.1.1 | Oprindelige bygninger | 17 |
| 3.1.2 | Efter renovering | 17 |
| 3.2 | Tage | 20 |
| 3.2.1 | Oprindelige bygninger | 20 |
| 3.2.2 | Efter renovering | 20 |
| 3.3 | Terrændæk, kælderdek og etageadskillelser | 22 |
| 3.3.1 | Oprindelige bygninger | 22 |
| 3.3.2 | Efter renoveringen | 22 |
| 3.4 | Vinduer | 23 |
| 3.4.1 | Oprindelige bygninger | 23 |
| 3.4.2 | Efter renoveringen | 24 |
| 3.5 | Arealer, U-værdier og vinduer/døre..... | 26 |
| 4 | Installationer..... | 28 |
| 4.1 | Varmefordelingsanlæg og varmtvandsinstallation..... | 28 |
| 4.2 | Ventilationsanlæg..... | 29 |
| 4.2.1 | Oprindelige bygninger | 29 |
| 4.2.2 | Efter renoveringen | 29 |
| 4.3 | Belysning..... | 30 |
| 4.4 | Solceller | 30 |
| 5 | Indeklima og generelle forbedringer | 32 |
| 5.1 | Efter renoveringen | 32 |
| 5.1.1 | Indeklima | 32 |
| 5.1.2 | Generelle forbedringer..... | 34 |
| 6 | Energiforbrug/-produktion | 38 |
| 6.1 | Introduktion..... | 38 |
| 6.2 | Målt varme- og varmtvandsforbrug | 38 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.3 | Beregnet varme- og varmtvandsforbrug..... | 39 |
| 6.4 | Sammenligning af målt og beregnet besparelse..... | 42 |
| 6.5 | Opnået energimærke efter renovering..... | 42 |
| 7 | Økonomi..... | 44 |
| 7.1 | Investering..... | 44 |
| 7.2 | Reducerede energiudgifter..... | 44 |
| 8 | Yderligere økonomi- og energianalyser..... | 46 |
| 9 | Beslutningsproces..... | 48 |
| 9.1 | Baggrund..... | 48 |
| 9.2 | Processen..... | 48 |
| 9.3 | Erfaringer..... | 49 |
| 10 | Sammenfatning..... | 50 |
| 11 | Litteratur..... | 53 |
| | Appendiks A Beskrivelse af referencebygning, energirenoveringstiltag og pakkelsninger..... | 54 |
| A.1 | Beskrivelse af referencebygning..... | 54 |
| A.2 | Energirenoveringstiltag..... | 56 |
| A.3 | Energipriser..... | 58 |
| A.4 | Kombination af tiltag – “renoveringspakker”..... | 60 |
| A.5 | Referencer..... | 67 |
| | Appendiks B Økonomi- og energianalyse af hvert enkelt energibesparende tiltag..... | 69 |
| B.1 | Energibesparende tiltag med relation til klimaskærmen..... | 70 |
| B.2 | Energibesparende tiltag med relation til de tekniske installationer..... | 74 |
| B.3 | Vedvarende energi..... | 78 |
| B.4 | Referencer..... | 81 |

1 Introduktion

Boligbebyggelsen Traneparken, som oprindeligt er opført i 1969, har gennemgået en omfattende energirenovering fra november 2011 til oktober 2012. Bebyggelsen er beliggende i Hvalsø nær Roskilde, ejes af Roskilde Kommune og administreres af Boligselskabet Sjælland. Bebyggelsen består af 3 etageboligblokke. Hver enkelt blok har 3 etager, i alt er der 66 lejligheder, og det samlede opvarmede etageareal er 5293 m².

Bebyggelsen er udført som et trelænget anlæg med et stort fælles haveareal i midten vendende mod syd. En af bygningerne er orienteret med facader syd/nord, mens de to andre bygninger er orienteret med facader øst/vest - med en lille drejning på 10° fra syd mod vest. Bygningerne blev bygget i slutningen af 1960'erne i overensstemmelse med de regler der dengang var gældende i Bygningsreglementet. I 2011 og 2012 har bygningerne gennemgået en større renovering, herunder etablering af nye facader med forøget isoleringstykkel, nye vinduer og glasbeklædte balkoner, efterisolering af lofts konstruktion, balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og et solcelle-anlæg på taget. Der vil i det følgende blive refereret til de 3 bygninger som A, B og C som vist på figur 1.1.



Figur 1.1: Traneparken er et trelænget boligkompleks. Bygningerne benævnes A, B og C, og bygning A og C er orienteret øst/vest mens bygning B er orienteret syd/nord. (billede fra Google Maps).

Blok A har et opvarmet etageareal på 1027 m² og i alt 12 lejligheder. Blok B har et opvarmet etageareal på 1861 m² og i alt 24 lejligheder. Blok C har et opvarmet etageareal på 2405 m² og i alt 30 lejligheder.

Det primære mål med renoveringen var at gøre noget ved betonvæggene, som var nedslidte, men herudover var det ligeledes et ønske at:

- Renovere de øvrige nedslidte dele af bygningerne;
- Forbedre indeklimaet;
- Reducere energiforbruget (isolere konstruktioner, skifte vinduer, indføre balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding);
- Tilføje altaner til alle lejligheder;
- Forbedre de omkringliggende grønne udearealer.

Målet var, at bebyggelsen skulle opfylde lavenergiklasse 2015 jf. BR10.

2 Bebyggelsen

2.1 Oprindelige bygninger

Bygningerne var typiske for 1960ernes boligbyggeri og er opført som traditionelt og tidstypisk betonelementbyggeri af Højgaard og Schultz med præfabrikerede armerede betonsandwichelementer med 50 mm isolering mellem for- og bagvæg. Det industrialiserede betonelementbyggeri blev kaldt Larsen & Nielsen Systembyggeri (LN-BO). Kælderydervægge er udført i pladsstøbt beton.

Stueplan var hævet ca. en halv etage over terræn. Foreningslokaler og vaskeri var placeret i kælder, hvor terræn var sænket udfor disse lokaler. Ingen lejligheder havde altan, men i stedet franske altaner med dobbeltdøre. Havearealet var domineret af en høj, nærmest skovagtig beplantning.

Der blev i 1991 gennemført en mindre energirenovering af bebyggelsen, hvor bl.a. vinduer blev udskiftet, og tagkonstruktionen blev efterisoleret.

Før renoveringen var bygningerne ret nedslidte og facader, vinduer og tag trængte til renovering/-udskiftning. Indeklimaet var også ret dårligt, og energiforbruget var alt for højt. Figur 2.1 og 2.2 viser én af boligblokkene før renoveringen.



Figur 2.1: Boligblok med nedslidte facader før renovering, mod have.

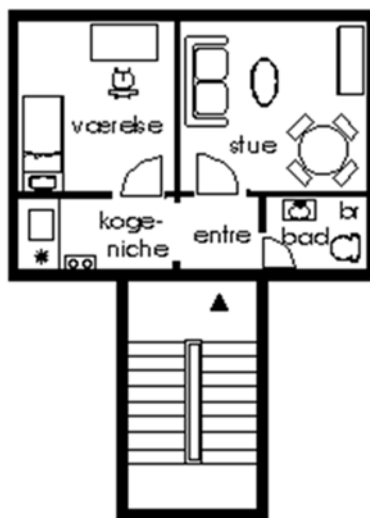


Figur 2.2: Boligblok med nedslidte facader før renovering, mod parkering.

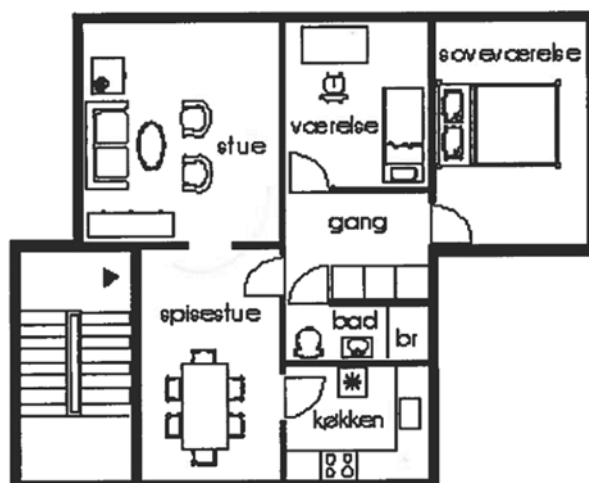
De 66 lejligheder er fordelt som følger:

- 15 Lejligheder med 2 rum
- 39 Lejligheder med 3 rum
- 12 Lejligheder med 4 rum

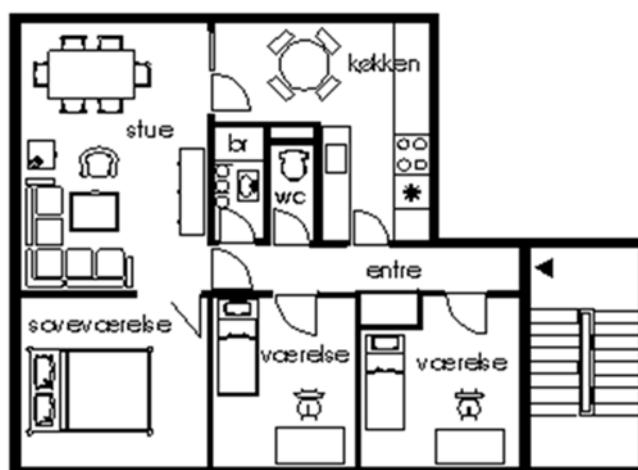
Figureerne herunder viser plantegninger af 2-, 3- og 4-rums lejligheder.



Figur 2.3: Plantegning af 2-rums lejlighed på 33 m².



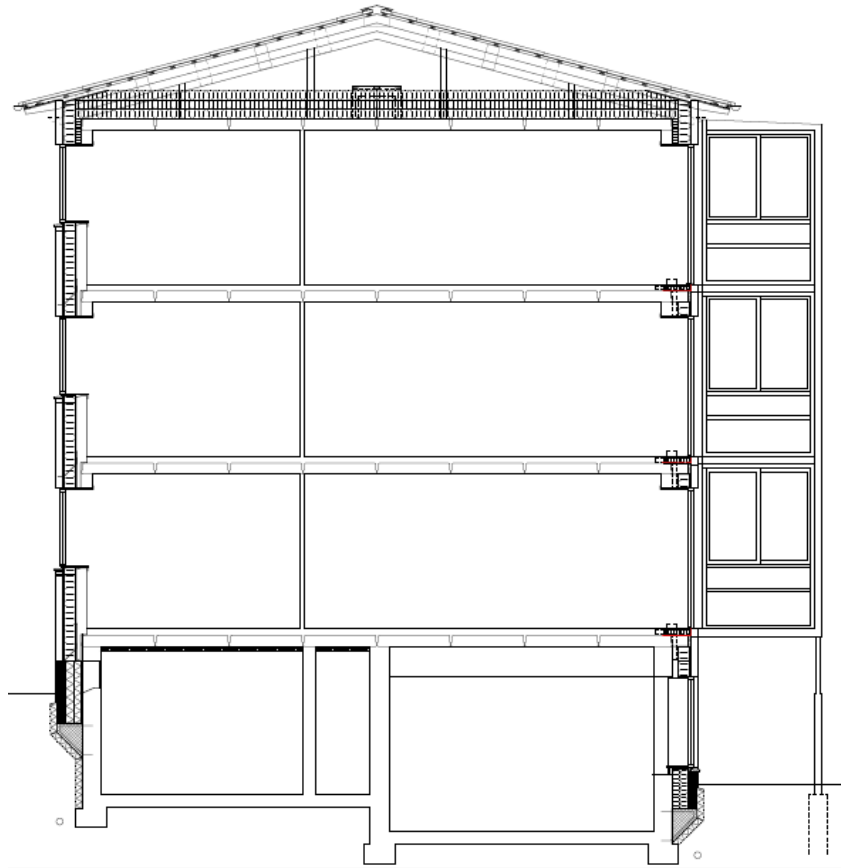
Figur 2.4: Plantegning af 3-rums lejlighed på 82 m².



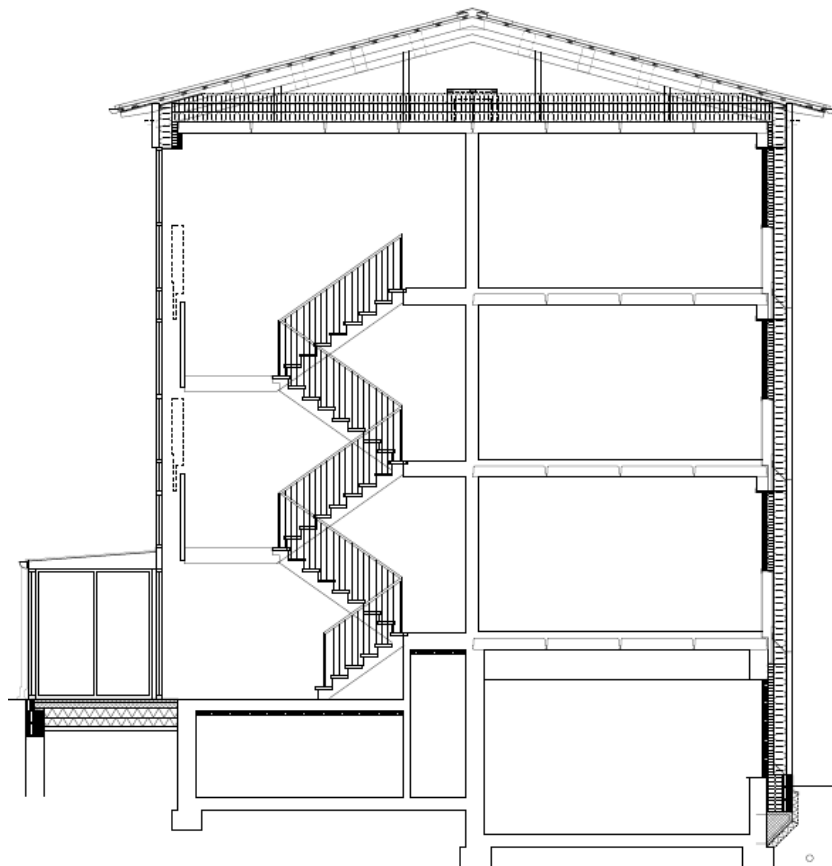
Figur 2.5: Plantegning af 4-rums lejlighed på 91 m².

2.2 Efter reovering

Figur 2.6 og 2.7 viser et snit i bebyggelsen efter endt reovering. Som det ses, er der sat udvendige altaner på bebyggelsen ind mod haven og mod parkering er der etableret nyt vindfang ved indgangen til opgangene.



Figur 2.6: Snit i en bygning efter renovering. Nye altaner.



Figur 2.7: Snit i en bygning efter renovering. Nyt vindfang.

Figur 2.8 og figur 2.9 viser hhv. facade og gavl for blok A. På taget ses inddækningen af det nye ventilationsanlæg.

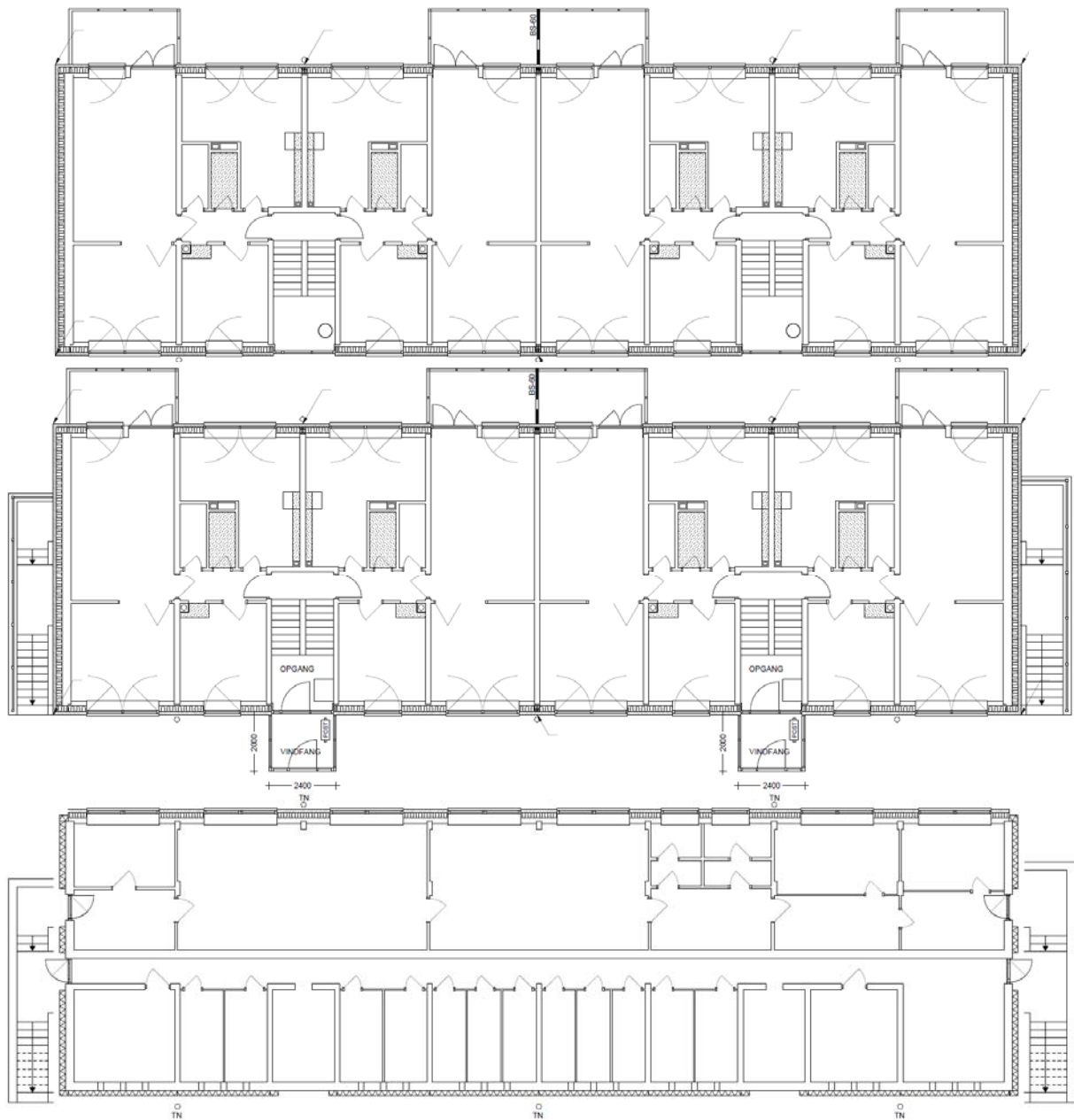


Figur 2.8: Facade på blok A efter renoveringen, mod haven.



Figur 2.9: Gavl på blok A efter renoveringen.

Figur 2.10 viser plantegninger af hhv. 1. og 2. sal, stueetage og kælder fra blok A efter renoveringen.



Figur 2.10: Plantegninger af hhv. 1. og 2. sal, stueetage og kælder for blok A efter renovering.

Figur 2.11 viser den nye murede facade samt de nye indgangspartier.



Figur 2.11: Den nye murede facade på én af boligblokkene efter reoveringen, mod parkering.

Figur 2.12 viser den nye murede facade på to af boligblokkene vendende mod haven.



Figur 2.12: Den nye murede facade på to af boligblokkene efter reoveringen, mod haven.

3 Klimaskærmen

Følgende oplysninger er primært baseret på det originale tegningsmateriale, energimærkningsrapporterne fra før og efter renoveringen samt på samtaler med driftsafdelingen i Boligselskabet Sjælland.

3.1 Ydervægge

3.1.1 Oprindelige bygninger

Facader og gavle var armerede betonsandwichelementer med 50 mm isolering mellem for- og bagplade. Ved etageadskillelser var ydervæggen jf. tegninger isoleret med 30 mm isolering.

Facader var udført med vinduesbånd med lysninger i plademateriale mellem vinduer og betonoverfladen var opdelt i henholdsvis et glat bånd og et bånd med fritlagte sten.

Gavle var med mønsterprægede betonplader.

Kælderydervægge var udført i pladsstøbt 300 mm massiv beton.

Panelvæggene mellem vinduerne var isoleret med 45 mm isolering.

Vægge mod trapperum er 150 mm beton og uisoleret.

3.1.2 Efter renovering

Ydervæggene blev efterisoleret udvendigt med 190 mm ekstra isolering og konstruktionen blev afsluttet med nye mursten. Den samlede isoleringstykkelse for ydervæggen blev dermed 240 mm. For panelvæggene (mellem vinduerne) blev der tilføjet 285 mm ekstra isolering udvendigt og afsluttet med mursten, således at den samlede isoleringstykkelse blev 330 mm.



Figur 3.1: Efterisolering og opmuring af gavl.

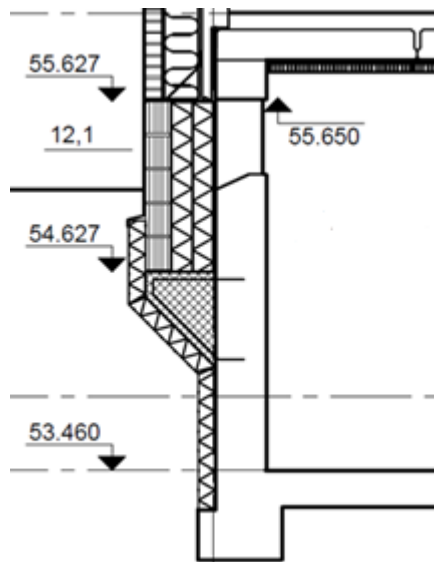
Figur 3.2-3.4 viser efterisoleringen af kælderydervæggen. Sammenhængen mellem isoleringen i ydervæggen og isoleringen i kælderydervæggen er vigtig for at undgå kuldebroer ved etagedækket. Efter renoveringen består kælderydervæggen af 150 mm letklinkerblokke og 250 mm isolering samt den oprindelige betonkældervæg. Sokkel og fundamentskonsol er isoleret med 100 mm isolering til underside af kælderdek, igen for at reducere omfanget af kuldebroer mest muligt.



Figur 3.2: Efterisolering af kælderydervæg.



Figur 3.3: Kælderydervægge færdiggjort.



Figur 3.4: Den udvendige isolering er fortsat til bunden af kældrene for at minimere kuldebroer.

Billedet på figur 3.5 er taget under renoveringen. Ydervæggen er isoleret og afsluttet udvendigt med tegl, men der mangler afslutning ved false og nye vinduer.



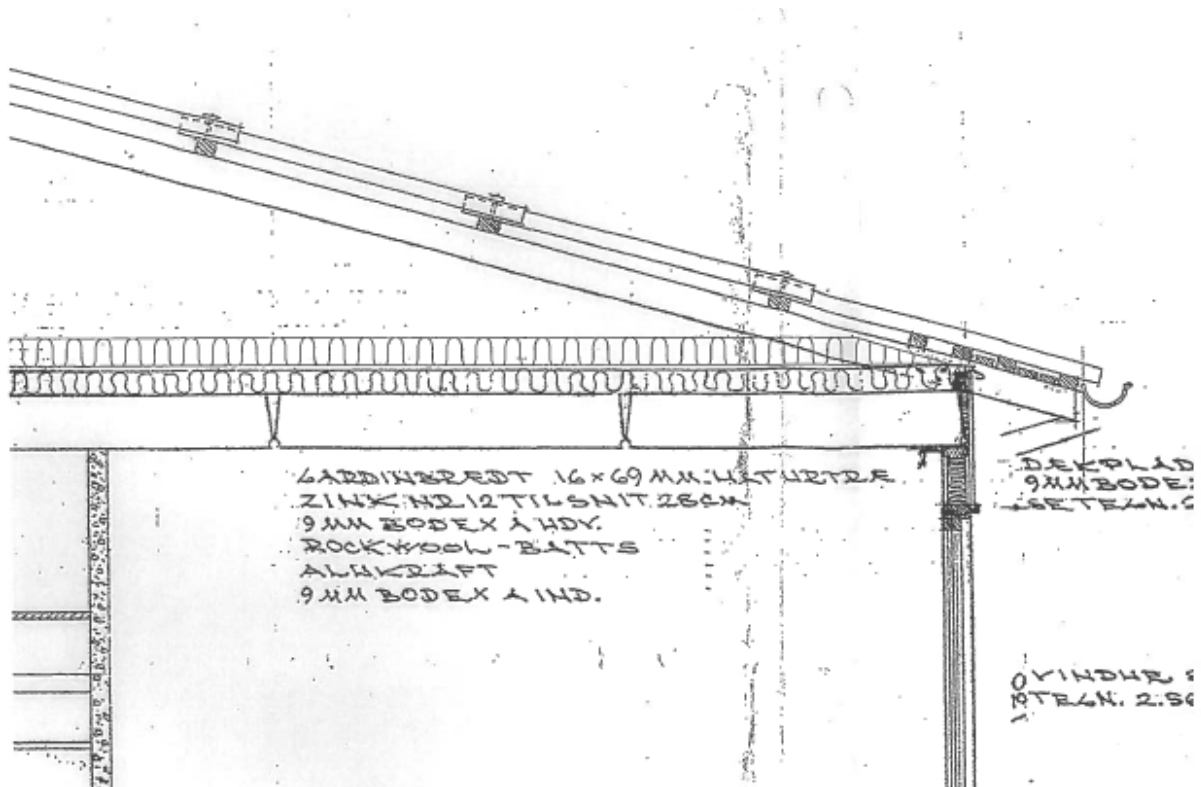
Figur 3.5: Ny isolering af klimaskærmen samt gamle vinduer.

3.2 Tage

3.2.1 Oprindelige bygninger

Taget var udformet som et sadeltag med gitterspær med en taghældning på 14 °. Tagbeklædningen var asbestholdige eternit bølgeplader. Der var tagudhæng ved både facader og gavle.

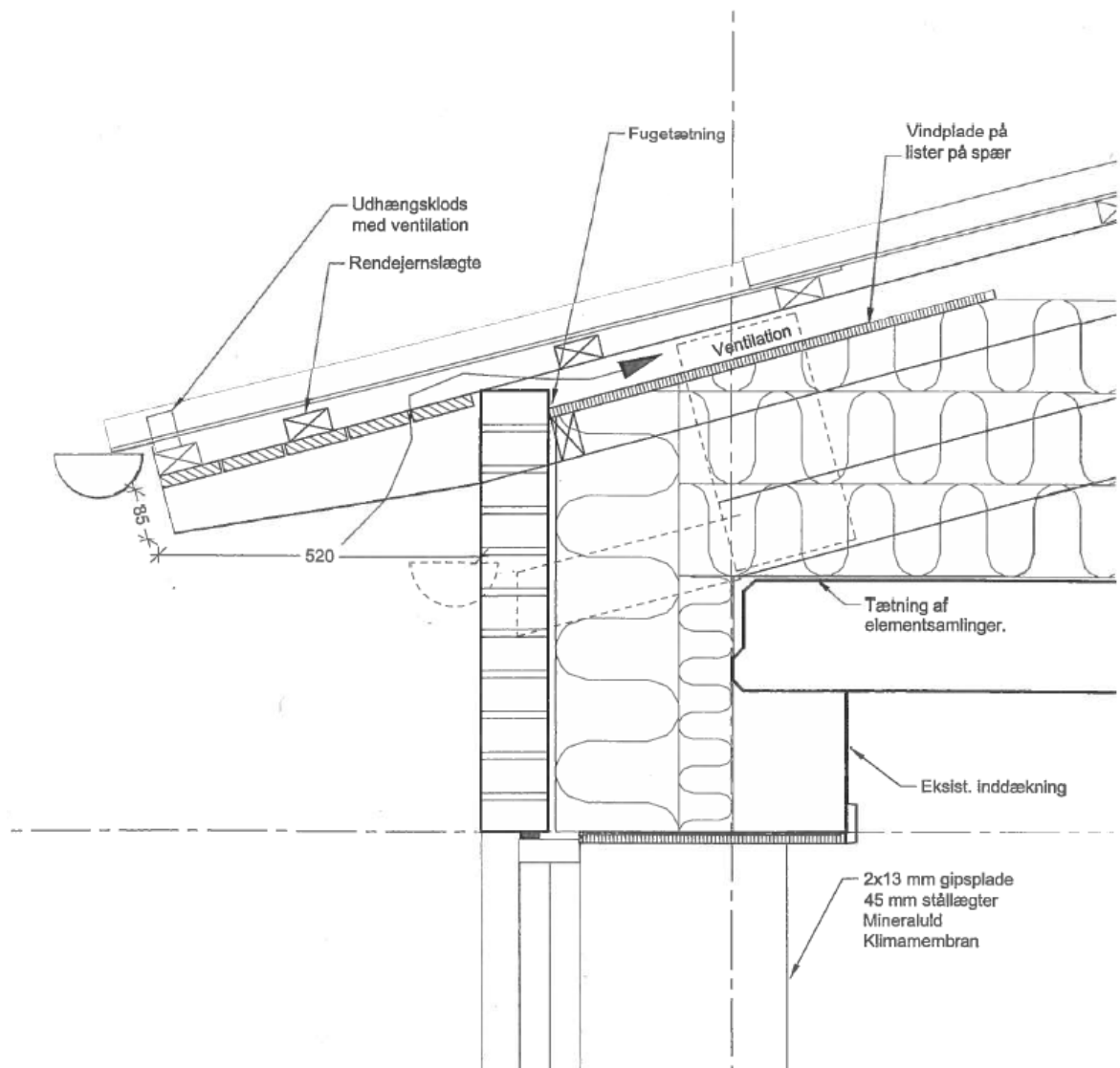
Loftskonstruktionen var isoleret med 185 mm isolering.



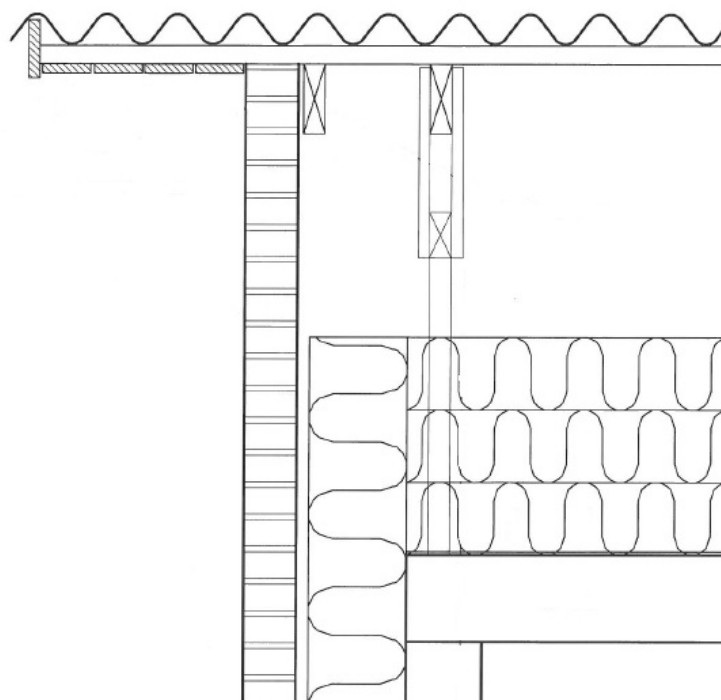
Figur 3.6: Snit i tagkonstruktionen.

3.2.2 Efter renovering

Tagkonstruktionerne blev løftet, renoveret og efterisoleret, og der blev tilføjet 250 mm isolering til konstruktionen. Hermed har de nye tagkonstruktioner i alt 435 mm mineraluld. Samlingen til ydervæggen giver en god sammenhæng mellem isoleringen i væggen og isoleringen i tagkonstruktionen, så kuldebroer reduceres mest muligt.



Figur 3.7: Snit i samlingen mellem tag og væg efter renoveringen.



Figur 3.8: Snit i samlingen mellem gavl og tagkonstruktion efter renoveringen. En god sammenhæng mellem isoleringen i taget og gavlen sikrer, at kuldebroer reduceres mest muligt.

3.3 Terrændæk, kælderdek og etageadskillelser

3.3.1 Oprindelige bygninger

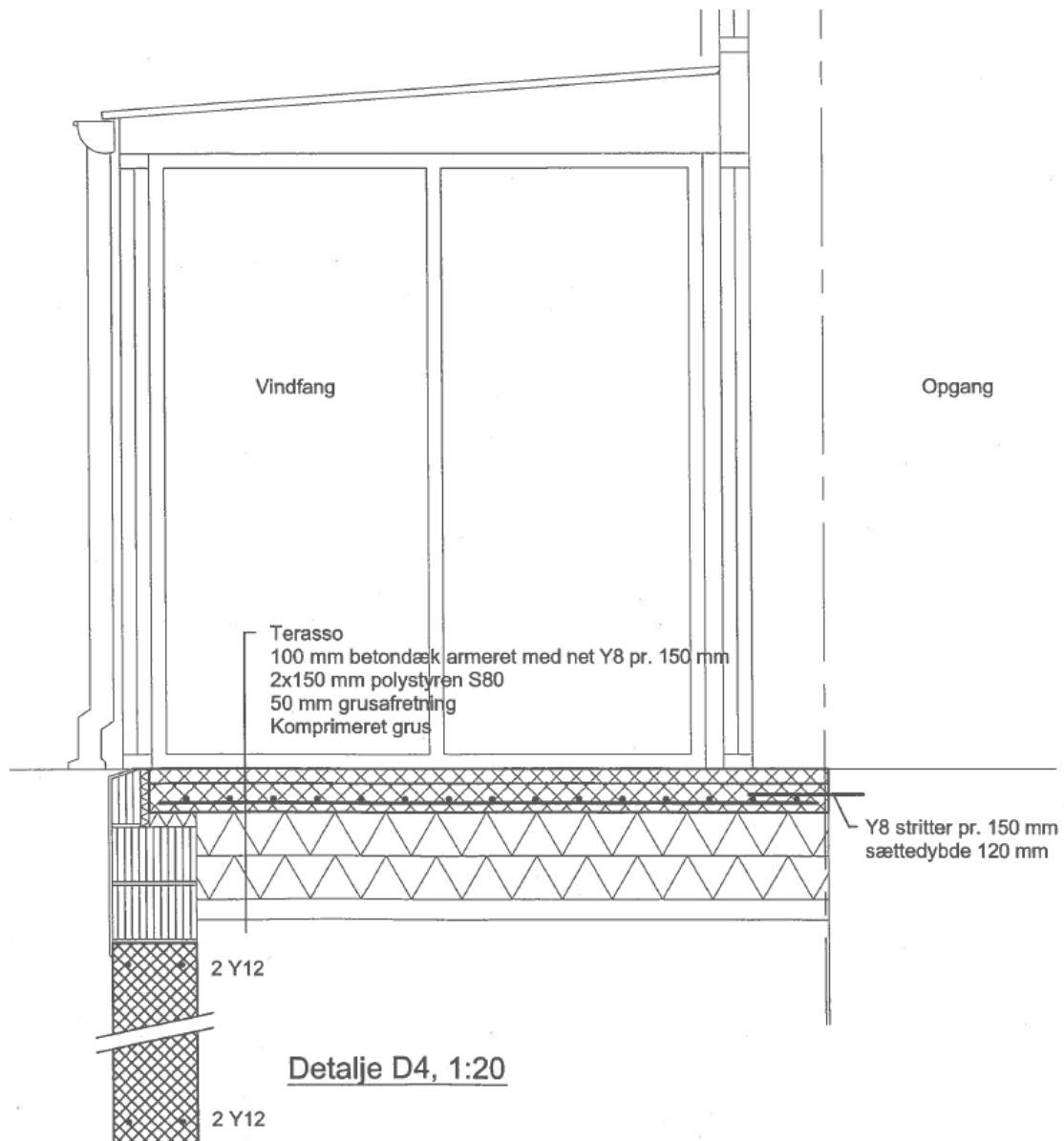
Gulve mod kælder var jf. tegninger og energimærkningsrapport isoleret med 50 mm isolering. Kældergulve var isoleret med 200 mm lecanødder ved kældervæg og 100 mm lecanødder på resten. Etageadskillelser var udført af 100 mm armeret beton samt gulvbeklædning.

3.3.2 Efter renoveringen

Kælderdek og etageadskillelser er uændrede efter renoveringen.

Der er etableret nyt terrændæk under vindfang ved opgange. Terrændækket er her opbygget med terrazzo-beklædning, 100 mm armeret betondæk, 300 mm isolering og 50 mm afretning med grus.

På figur 3.9 ses et snit i det nye vindfang.



Figur 3.9: Snit i nyt vindfang.

3.4 Vinduer

3.4.1 Oprindelige bygninger

Vinduerne som var skiftet i forbindelse med renoveringen i 1991 var med 2-lags termoruder.

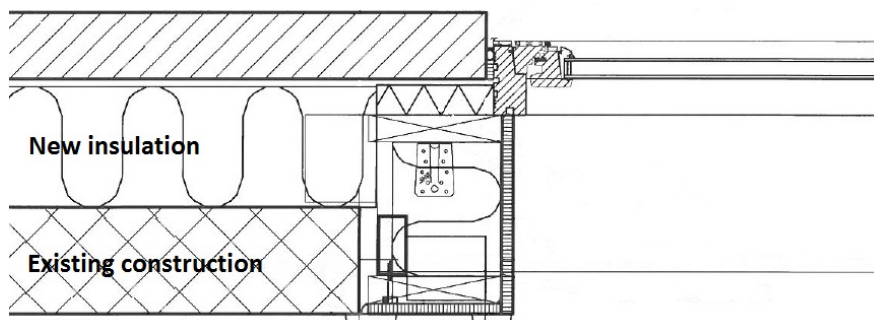
Der var 1-lag glas i vinduer i vaskekælder.



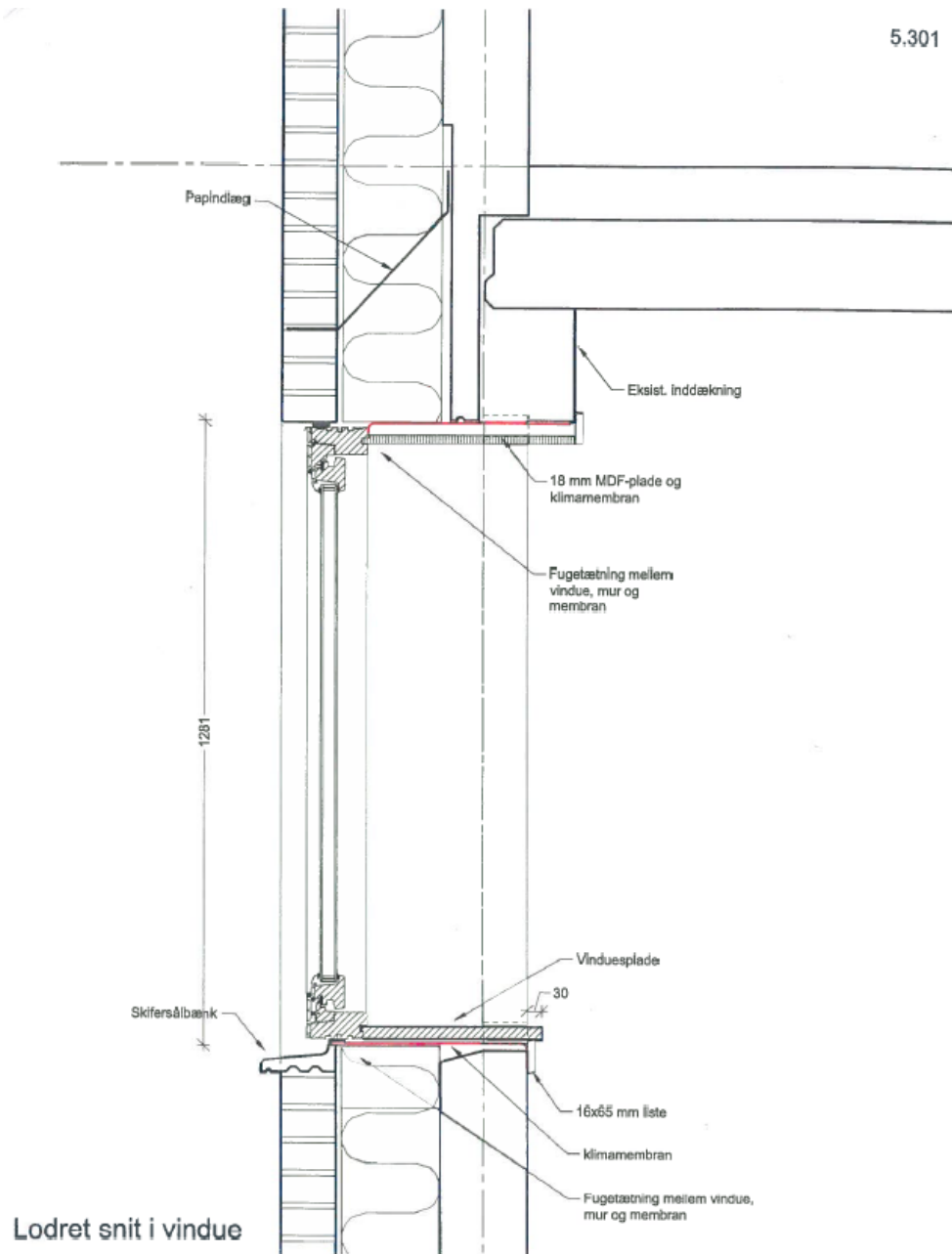
Figur 3.10: Gamle vinduer med 2-lags termoruder.

3.4.2 Efter reoveringen

De gamle vinduer blev udskiftet med nye vinduer med 3-lags energiruder med lav-emissionsbelægning.



Figur 3.11: Den nye samling mellem væg og vindue har 50 mm kuldebrosisolering, vandret snit.



Figur 3.12: Detaljeret snit i væg med vindue, lodret snit.



Figur 3.13: Nederste hjørne af et vindue med 3-lags lavenergirisude.



Figur 3.14: Ny altandør med lavenergirisude.

3.5 Arealer, U-værdier og vinduer/døre

I dette afsnit opgøres arealer og U-værdier af konstruktionerne i klimaskærmen efter renooveringen (som bl.a. bruges i ASCOT-modellen af bygningen, - se kapitel 8). Arealer af facader, gavle, lofter, etagedæk og terrændæk i kælder er opmålt på tegninger.

Tabel 3.1 viser U-værdier for klimaskærmen før og efter energirenooveringen for blok A.

Tabel 3.1. U-værdier for klimaskærmen før og efter energirenoeringen samt arealer.

| Komponent | U-værdier [W/m^2K] | | Arealer [m^2] | | |
|-----------------------------|------------------------|-------|-------------------|--------|--------|
| | Før | Efter | Blok A | Blok B | Blok C |
| Ydervægge | 0,67 | 0,15 | 461,7 | 695,5 | 870,8 |
| Etageadskillelse til kælder | 0,66 | 0,66 | 333,2 | 603,7 | 780,1 |
| Panelvægge | 0,70 | 0,11 | 106,5 | 202,9 | 258,8 |
| Vinduer og døre | 1,80 | 0,80 | 176,4 | 315,4 | 390,2 |
| Kælderydervægge | 0,93 | 0,22* | 141,6 | 213,3 | 267,0 |
| Kældergulv | 0,40 | 0,40 | 333,2 | 603,7 | 780,1 |
| Tag | 0,20 | 0,09 | 333,2 | 603,7 | 780,1 |

*Gennemsnitlig U-værdi

4 Installationer

I det følgende beskrives varmeanlæggene, som ikke blev ændret i forbindelse med renoveringen. Derudover beskrives ventilationsanlægget før og efter renoveringen samt det nye solcelleanlæg.

4.1 Varmefordelingsanlæg og varmtvandsinstallation

Bygningerne i Traneparken har siden opførelsen været opvarmet med fjernvarme. Fjernvarmen ledes ind i kælderen i blok A. Derefter fordeles varmen til de 3 blokke, hvor hver blok har præisolerede varmtvandsbeholdere og en varmeveksler til rumopvarmning. Blok A har en pladevarmeveksler på 200 kW, blok B har en pladevarmeveksler på 320 kW, og blok C har en på 400 kW.

Varmeforbruget i bebyggelsen måles direkte for fjernvarmeinstallationen, og dermed kan målinger af forbruget før og efter energirenoveringen sammenlignes direkte. Det samlede elforbrug for bebyggelsen inklusive lejlighedernes forbrug måles også, og i forbindelse med renoveringen er der ligeledes installeret en separat elmåler, som måler produktionen af el fra solcelleanlægget.

Varmerør fremføres i kælderen og er gennemsnitligt isoleret med 30 mm. Dog er alle gennemføringer og ventiler uisolerede (se figur 4.1).



Figur 4.1: Uisolerede gennemføringer af varmerør i kælderen. Billedet er ikke fra Traneparken, men fra en lignende bygning, hvor varmerør er ført ligesom i Traneparken.

Den primære opvarmning sker via radiatorer i alle opvarmede rum. Varmefordelingsanlægget er udført som to-strengs anlæg. Varmefordelingsrørene er gennemsnitligt udført som 1" stålrør med 30 mm isolering. Der er 60 meter rør i kælderen på blok B. På varmfordelingsanlægget er monteret nyere modulerende pumper.

Der var oprindeligt i alt 8 stk. 300 liter varmtvandsbeholdere, svarende til 2 i blok A og 3 i både blok B og blok C, dvs. en varmtvandsbeholder for hver opgang i bebyggelsen. I 2015 blev der installeret 3 stk. nyere varmtvandsbeholdere på hhv. 500 l (blok A), 1000 l (blok B) og 1250 l (blok C) isoleret med 100 mm isolering. De er af mærket Reci. Der er cirkulation på det varme brugsvand. Udskiftningen af varmtvandsbeholdere var ikke en del af den oprindelige renovering, men er foretaget efterfølgende.

Tilslutningsrørene til varmtvandsbeholderen er udført som 1½" stålør med 40 mm isolering. Brugsvandsrør og cirkulationsledning er udført som 1¼" stålør med 30-40 mm isolering.

På varmtvandsrør og cirkulationsledning er monteret nyere automatiske pumper til cirkulation af det varme brugsvand.

4.2 Ventilationsanlæg

4.2.1 Oprindelige bygninger

Bygningerne blev bygget i slutningen af 1960'erne i overensstemmelse med de regler for ventilation, der var gældende på det tidspunkt. Før renoveringen blev lejlighederne ventileret via mekanisk udsugning fra køkken, bad og toilet sammen med passiv udluftning (naturlig ventilation) i opholdsrummene.

4.2.2 Efter renoveringen

Bygningerne blev udstyret med balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, hvor varmegenvindingen har en effektivitet på ca. 80 % og ventilationsanlægget har en SEL-værdi (specifikt elforbrug til lufttransport) på 1,4 kJ/m³. Der udsuges luft fra toiletter, badeværelser og køkkener, og der indblæses luft i opholdsrummene.

For at reducere energiforbruget til ventilation yderligere blev der tilføjet en simpel behovsstyring af ventilationsanlæggene. Brugere kan øge ventilationen i forbindelse med madlavning i køkkenet, og der er tilføjet en bevægelsessensor som aktiverer ventilationen på toiletter og badeværelser. Herved kan ventilationsraten holdes på et minimum, og dermed reduceres både varmetabet ved ventilation og elforbruget til ventilationsanlægget.

For at reducere elforbruget til ventilatorer yderligere, blev der benyttet en ny type spjæld i indblæsningskanalerne. Det er et såkaldt dråbe-spjæld fremstillet af selskabet LeanVent. Spjældet reducerer energiforbruget i ventilationssystemet og sikrer et lavere støjniveau på grund af det lavere trykfald over spjældene.

De centrale ventilationsaggregater er anbragt i ventilationshuse på bygningernes tage, som vist på figur 4.2.



Figur 4.2: Ventilationsaggregater er anbragt i ventilationshuse på bygningernes tage.

Emhætten i køkkenet er udstyret med et motoriseret spjæld, der delvis styres manuelt af beboerne. Spjældet kan enten være "off" eller "on", hvor positionen "off" er lig med basis luftskifte og "on" svarer til et øget luftskifte. I badeværelse/toilet er der en tilstedeværelsessensor. Sensorens tilstand kan være "off" eller "on". I hovedluftkanalen er der et Lean-Vent spjæld til justering af tilstrømningsflowet.

Figur 4.3 nedenfor viser et eksempel på tilstedeværelsesføler og en udsugning i badeværelse/toilet. Figur 4.4 viser eksempler på udelufttilførsel i stuerne.



Figur 4.3: Eksempel på en PIR tilstedeværelsesføler (venstre) og en udsugningsventil i badeværelset (højre).



Figur 4.4: Eksempler på udelufttilførsel.

4.3 Belysning

Belysningen var allerede inden renoveringen rimeligt energieffektiv. Der blev anvendt lavenergipærer i trappeopgangene, og belysningen var udstyret med automatisk slukkefunktion baseret på bevægelsessensorer. Udendørs belysning havde dagslysstyring. Derfor blev der ikke foretaget ændringer i den installerede belysning.

4.4 Solceller

I forbindelse med renoveringen blev der installeret et 33 kWp solcelleanlæg på taget af blok B. El-produktionen anvendes primært til at dække elforbruget i det fælles vaskeri samt de nye ventilationsanlæg. Anlægget har et areal på 220 m², en hældning på 15 ° og en orientering 10 ° fra syd mod vest.

PV-systemet forventedes at producere ca. 30.000 kWh pr. år, men fra 1. september 2012 til 1. september 2013 var produktionen 38.159 kWh. Sommeren 2013 havde 19 % flere solskinstimer end et normalt år, hvilket er en del af forklaringen på den større produktion. Den resterende del af den højere produktion må derfor skyldes en bedre ydelse for anlægget, og dermed vil forventningen være en årlig el-produktion på ca. 32.000 kWh. Figur 4.5 viser PV-systemet samt inddækningerne til det nye ventilationsanlæg på taget af blok B.



Figur 4.5: PV- og ventilationssystem på taget af blok B.

5 Indeklima og generelle forbedringer

Traneparken krævede en større renovering pga. nedslidte facader, tagkonstruktioner og vinduer. Dette behov for renovering medførte, at man samtidig valgte at gennemføre en dybtgående energirenovering af bebyggelsen.

Der foreligger ikke nogle oplysninger om indeklimaet i Traneparken før renoveringen.

5.1 Efter renoveringen

5.1.1 Indeklima

I forbindelse med renoveringen er der gennemført en række indeklimatemålinger samt en spørgeskemaundersøgelse blandt beboerne vedrørende deres oplevelser i forbindelse med renoveringen. Målinger og spørgeskemaundersøgelse er beskrevet i SBI-rapport 2015:20.

Spørgeskemaundersøgelsen blev foretaget blandt 65 lejere. Formålet med denne undersøgelse var at undersøge lejernes overordnede tilfredshed med, hvordan renoveringen af deres lejligheder/bygninger blev udført og mere specifikt deres erfaringer og tilfredshed med deres lejligheder og bygningen efter renoveringen. Dette omfattede vurderinger af andre generelle forbedringer såsom bedre indeklima og nye altaner. Lejere blev også spurgt, om de har ændret deres vaner med hensyn til udluftning af deres lejlighed, og hvordan de regulerer indetemperaturen.

Lejerne var generelt tilfredse med renoveringen af deres lejligheder. Flertallet konstaterer, at resultatet af renoveringen lever op til deres forventninger, og de kan anbefale renovering med fokus på at reducere energiforbruget til andre. Denne tilfredshed ses i forhold til, at halvdelen af lejerne oplevede en form for gener, herunder støj, støv og tilstedeværelsen af håndværkere. På trods af dette var kun 8 % generelt utilfredse med, hvordan renoveringen blev gennemført, mens 68 % var tilfredse. Dette kan afspejle, at løbende information om renoveringsprocessen har sikret en løbende afstemning af forventninger.

Det opfattede indeklima blev tydeligt forbedret efter renoveringen, især temperaturforholdene, dvs. eliminering af perioder, hvor det er for koldt og reducere ubehag fra træk (se figur 5.5). Ligeledes blev den opfattede luftkvalitet forbedret efter renoveringen. Der var næsten ingen ændring i forhold til støj i lejlighederne. Tilfredsheden med dagslyset blev lidt reduceret, primært fordi flere lejere oplevede for lave dagslysniveauer efter renoveringen sandsynligvis på grund af de nye altaner foran deres stuevinduer.

Lidt mindre end halvdelen af lejerne udtrykker, at de har en højere temperatur i deres lejlighed efter renoveringen end før renoveringen, hvilket indikerer, at en del af energibesparelsen er brugt til at forhøje niveauet af den termiske komfort.

Målinger

Der er lavet målinger af indeklimaet i bygningen efter renoveringen. Målinger er nærmere beskrevet i SBI-rapport 2015:20. Målingerne omfattede kontinuerlig registrering af indetemperaturen, den relative luftfugtighed og CO₂-koncentrationen i stuen og i soveværelset. Ventilationen i lejlighederne blev målt ved hjælp af passiv sporgasteknik, den såkaldte PFT-teknik. Generelt udføres målinger ved anvendelse af PFT-teknikken over en periode, og resultatet af en sådan måling er det gennemsnitlige luftskifte i måleperioden. I dette tilfælde var måleperioden ca. 168 timer svarende til 7 dage. De tre lejligheder havde et opvarmet etageareal på hhv. 91, 82 og 71 m².

Resultater af målinger

Tabel 5.1 viser gennemsnitsværdier for lufttemperatur, relativ luftfugtighed og CO₂-koncentration. Tabel 5.2 viser den målte gennemsnitlige ventilationshastighed i lejlighederne. Figur 5.1 og figur 5.2 viser eksempler på de kontinuerlige målinger af indetemperatur, relativ luftfugtighed og CO₂-koncentration.

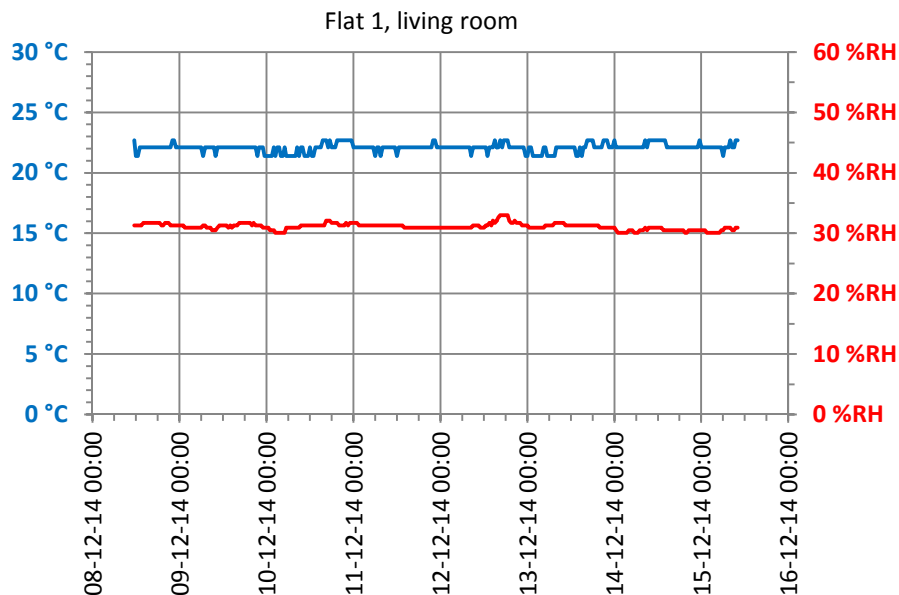
Tabel 5.1: Middel indetemperatur, relativ luftfugtighed og CO₂-koncentration i henholdsvis dagligstuen og soveværelse.

| | Stue | | | Soveværelse | | |
|-------------|------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------|------------------------------|
| | Temp. [°C] | Rel. fugt. [%] | CO ₂ -konc. [ppm] | Temp. [°C] | Rel. fugt. [%] | CO ₂ -konc. [ppm] |
| Lejlighed 1 | 22,1 | 31 | 460 | 20,3 | 34 | 450 |
| Lejlighed 2 | 22,0 | 33 | - ¹⁾ | 21,6 | 32 | 550 |
| Lejlighed 3 | 20,4 | 33 | 470 | 16,5 | 44 | 580 |

¹⁾ Beboerne havde ved en fejl slukket for loggeren.

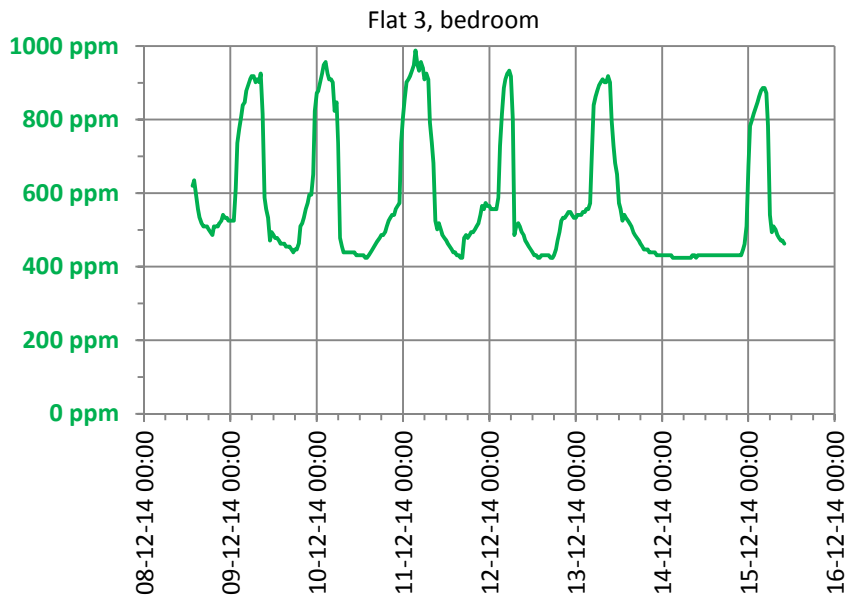
Tabel 5.2: Middel ventilationsrate (PFT-teknik).

| | Udelufttilførsel [l/s per m ² opvarmet areal] | Luftskifte [h ⁻¹] |
|-------------|---|----------------------------------|
| Lejlighed 1 | 0,73 | 1,1 |
| Lejlighed 2 | 0,82 | 1,2 |
| Lejlighed 3 | 0,58 | 0,8 |



Figur 5.1: Indetemperature [°C] og relativ luftfugtighed [%] i dagligstuen i lejlighed 1.

Af figur 5.1. kan det ses at indetemperaturen i stuen over måleperioden er rimelig konstant omkring 22 °C og den relative luftfugtighed er også meget konstant ca. 30 %.



Figur 5.2: CO₂-koncentrationen i soveværelset i lejlighed 3.

Af figur 5.2 kan det ses, at CO₂-koncentrationen i soveværelset ligger omkring 400 – 500 ppm i dagtimerne og stiger til mellem 800 – 1000 ppm om natten. CO₂-koncentrationen bør normalt ikke overstige 1000 ppm, og dermed viser målingerne at niveauerne er helt acceptable.

Resultatet af målingerne af ventilationen i lejlighederne var, at ventilationsmængderne i gennemsnit ligger over de generelle krav i henhold til bygningsreglementet. Kravet i bygningsreglementet vedrørende ventilation i boliger er, at udelufttilførslen skal være mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet areal. I boliger med typisk rumhøjde svarer kravet til et luftskifte på 0,5 h⁻¹. Som det fremgår af tabel 5.2 var de målte luftskifter omtrent det dobbelte af det krævede.

5.1.2 Generelle forbedringer

Energirenoveringer er vigtige, fordi energireduktioner og besparelser er centrale elementer i en omstilling til grøn energi. Ved energirenovering i boliger følger der en lang række ikke-energi-relaterede fordele, som er vigtige at fremhæve, fordi de kan skabe glæde og gavn for brugerne. Her kan fx nævnes et mere behageligt og sundere indeklima med mindre fugt og træk, en bedre belysning med mere dagslys fra nye vinduer eller pænere arkitektur mv. Disse fordele benævnes ofte "Non-Energy Benefits" eller "Co-Benefits". I denne rapport kaldes de "generelle forbedringer". I det omfang at disse forbedringer er en vigtig motivationsfaktor for, om boligejere foretager energirenoveringer, er der et stort potentiale i at fremhæve disse ved boligrådgivning og i informationskampagner generelt.

Lejerne blev i undersøgelsen som nævnt i foregående afsnit introduceret til 19 mulige andre generelle forbedringer, hovedsagelig relateret til det opfattede indeklima, som de kunne vurdere til at være blevet enten bedre eller værre efter renovering. Undersøgelsen viser generelt at forholdene blev forbedret, med temperaturen som den mest forbedrede, dernæst perioder, hvor det var for koldt, problemer med mug og svamp, træk, kolde områder i lejligheden, luftkvalitet, indeklima generelt, mulighed for ventilation af lejligheden, kondens på indersiden af vinduerne om vinteren, perioder, når det er for varmt og varme

områder i lejligheden. Det ser anderledes ud mht. udsigt, dagslys og kondens på ydersiden af vinduer, hvor flere lejere syntes, at det var blevet dårligere efter renoveringen.

Hvis det kommunikeres korrekt, kan de positive forbedringer, der er nævnt ovenfor, bidrage til at motivere og nedbryde nogle af de barrierer, nogle lejere måtte have i forhold til renovering og energibesparelser, og som bygningsejere, der går i gang med større renoveringer, er nødt til at overvinde.

Traneparken har opnået store energibesparelser samtidig med, at beboerne har fået nogle æstetisk smukkere bygninger og herudover et væsentligt bedre indeklima, større brugbart areal i lejlighederne, altaner og en væsentlig forskønnelse af bygningernes omgivelser.

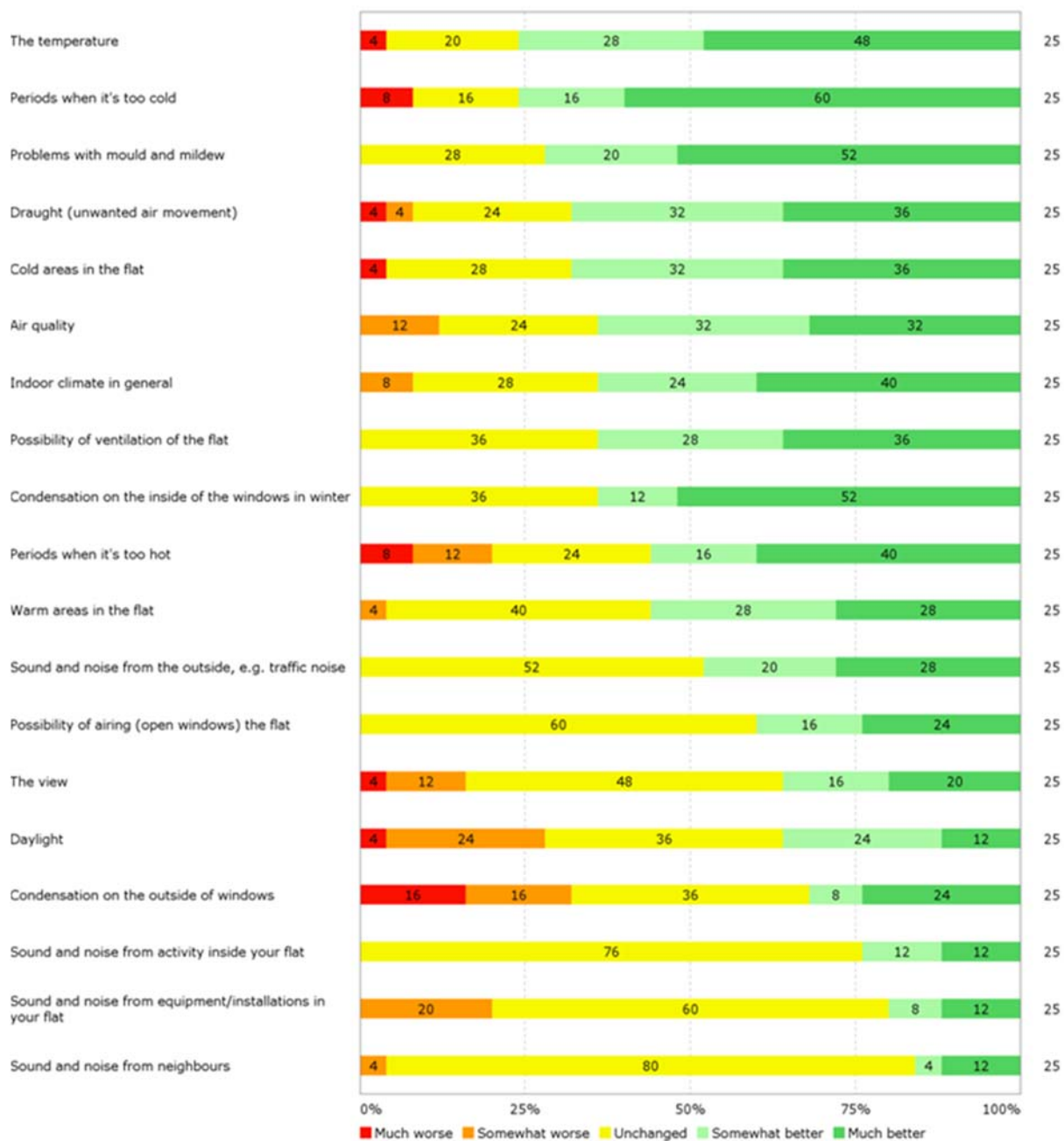
Figur 5.3 viser gårdrummet inden renoveringen og figur 5.4 viser gårdrummet efter renoveringen.



Figur 5.3. Gårdrum før renovering.



Figur 5.4. Gårdrum efter renovering.



Figur 5.5. Sammenfatning af 19 spørgsmål til beboerne vedrørende generelle forbedringer opnået gennem renoveringen. Spørgsmålet lød: "Efter din lejlighed blev renoveret, i hvilket omfang er de følgende faktorer blevet værre eller bedre?". Rød indikerer en forværring af forholdene mens grøn indikerer en forbedring af forholdene.

6 Energiforbrug/-produktion

6.1 Introduktion

Energibehovet for Traneparken var i første omgang beregnet med nogle standardiserede forudsætninger. Usikkerheden mellem det beregnede energibehov og det målte energiforbrug skyldes mange faktorer, som for eksempel brugeradfærd, bygningens anvendelse, bygningens konstruktion og varierende vejrforhold i forskellige år. En af de største kilder til usikkerhed på energiforbruget er helt klart brugerne, deres antal og adfærd. For eksempel viser andre undersøgelser, at beboere, der før en renovering har haft 20 °C i stuen, efter renovering har hævet temperaturen til 22 °C. Brugere af renoverede bygninger vælger oftere at opvarme hele boligen, hvor der tidligere måske har været et par kolde rum i boligen for at spare på varmen.

Beregningsmodellen er derfor blevet tilpasset, så varmebehovet så vidt muligt svarer til det målte varmekonsum. Dette er gjort, så der dels skabes et godt overblik over energiforbrugets fordeling på varme, ventilation og varmt vand, og dels for at gøre beregningerne af energibesparelser og -behov så realistiske som muligt og så de passer til de virkelige forhold i Traneparken.

Estimer af energiforbrug og -besparelser i forbindelse med renoveringer er generelt forbundet med store usikkerheder – usikkerheder af en sådan grad, at det kan udgøre en barriere for effektiv og troværdig gennemførelse af energirenoveringer i større omfang.

6.2 Målt varme- og varmtvandsforbrug

Forbruget af varmt vand og varmekonsumet i Traneparken er målt i afregningsperioden 2014-2015 (1.7.2014 – 30.06.2015). Det samlede fjernvarmekonsum i perioden var 415,57 MWh.

Der er lavet individuelle målinger af varmekonsumet med varmekonsumsmålere og varmtvandsforbruget med vandmålere i de enkelte lejligheder, og dermed vil den resterende del af fjernvarmekonsumet svare til det tab der er i systemet (fordeling af varme, cirkulation af varmt brugsvand samt varmetab fra den øvrige installation). Det samlede forbrug af varmt vand for ejendommen i 2014-2015 var 1382,33 m³, hvilket svarer til ca. 274 l/m² – altså lidt mere end de 250 l/m² man antager i energiberegninger for beboelse. Hvis man antager at vandet skal opvarmes fra 10 °C til 60 °C, kan det målte forbrug i m³ omregnes til et omtrentligt fjernvarmekonsum:

$$4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (60 - 10) \text{ K} \times 1382,33 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s/h} = 72,23 \text{ MWh}$$

De øvrige dele af det totale varmekonsum (varmetabet i varmesystemet og varmetabet i brugsvandssystemet) er ikke målt, og fordeles derfor ud fra deres respektive andele af udgifterne i det samlede varmeregnskab. Varmefloden i ventilationsanlægget er målt særskilt, og fordeles ligeligt i fordelingsregnskabet.

Tabel 6.1 sammenfatter resultaterne.

Tabel 6.1: Fordeling af samlet fjernvarmeforbrug for Traneparken for 2014-2015 i MWh.

| Delforbrug | MWh | % |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Varmeforbrug, lejligheder | 181,5 | 43,7 |
| Fordelt varmeforbrug | 96,0 | 18,0 |
| Målt varmtvandsforbrug | 74,8 | 23,1 |
| Fordelt varmtvandsforbrug | 49,9 | 12,0 |
| Målt varmefflade i ventilationsanlæg | 13,4 | 3,2 |
| Total | 415,6 | 100,0 |

Det er vigtigt at bemærke, at størrelsen på de enkelte dele af forbruget ikke er kendt, og der er altså tale om, at der er anvendt en fordelingsnøgle for den del af det samlede varmeregnskab, som der ikke er foretaget egentlig individuel måling af. Med andre ord; de fordelte forbrug kunne sagtens være anderledes end vist i tabel 6.1 fx med et større tab til produktion og distribution af varmt vand og et tilsvarende mindre forbrug til fordeling af varme. Varmtvandsforbruget ifølge varmeregnskabet (74,80 MWh) er fx lidt højere end den beregnede værdi på 72,23 MWh.

Det målte varmeforbrug bør naturligvis graddøgnkorrigeres, før der kan laves en sammenligning med det beregnede forventede varmeforbrug. Det normale (gennemsnitlige) antal graddøgn pr. år er 2906 Gd (graddage). Varmeåret 2014-2015 var imidlertid et særdeles mildt/varmt år, og der var kun 2223 Gd, svarende til ca. 23,5 % færre end i normalåret. Man forventer derfor at varmeudgifterne til rumopvarmning i fyringssæsonen 2014-2015 vil være 23,5 % lavere end for normalåret.

Det graddøgnkorrigerede forbrug er vist i tabel 6.2. Bemærk at man udelukkende graddøgnkorrigerer energiforbruget til rumopvarmning, det såkaldt "graddøgnsafhængige forbrug" (GAF). De øvrige forbrug, dvs. varmtvandsforbruget, varmetabet fra cirkulationsledninger for varmt brugsvand, varmetab fra rørinstallationer samt tomgangstab fra tilslutningsanlæg til fjernvarme mv., kaldes "graddøgnsuafhængigt forbrug" (GUF), og graddøgnkorrigeres altså ikke.

Tabel 6.2: Graddøgnskorrigeret målt fjernvarmeforbrug for Traneparken for 2014-2015 i kWh/m².

| Delforbrug | kWh/m ² | % |
|--------------------------------------|--------------------|-------|
| Varmeforbrug, lejligheder | 47,0 | 50,3 |
| Fordelt varmeforbrug | 19,0 | 20,4 |
| Målt varmtvandsforbrug | 14,8 | 15,9 |
| Fordelt varmtvandsforbrug | 9,9 | 10,6 |
| Målt varmefflade i ventilationsanlæg | 2,7 | 2,8 |
| Total | 93,4 | 100,0 |

6.3 Beregnet varme- og varmtvandsforbrug

Den oprindelige beregningsmodel, anvendt i forbindelse med beregning af det forventede energiforbrug for bygningen efter energirenoveringen, anvendes til sammenligningerne mellem målt og beregnet varmebehov. I den forbindelse er det vigtigt at bemærke, at en energiberegning med beregningsprogrammet Be15 (Aggerholm og Grau, 2014) tager udgangspunkt i en lang række standardforudsætninger om bygningens anvendelse og brugernes adfærd. Be15 er det beregningsprogram som normalt anvendes i forbindelse med myndighedsgodkendelse af nybyggeri ift. opfyldelse af Bygningsreglementets energikrav. De vigtigste standardværdier i denne forbindelse er: indetemperaturen i bygningen, infiltrationen i bygningen (bygningens tæthed), luftskiftet via ventilationsanlægget, det interne

varmetilskud (varmeafgivelsen fra personer og udstyr i bygningen) samt forbruget af varmt brugsvand.

I tabel 6.3 er angivet standardværdierne af disse parametre, dvs. de værdier som anvendes i forbindelse med myndighedsgodkendelse af en ny bygning eller i forbindelse med energimærkning af en eksisterende bygning.

Tabel 6.3: Standardværdier anvendt i energiberegninger (Be15).

| Parameter | Standardværdi |
|----------------------|---|
| Indetemperatur | 20 °C |
| Infiltration | 0,10 l/s pr. m ² |
| Ventilationsrate | 0,30 l/s pr. m ² |
| Internt varmetilskud | 5 W/m ² (1,5 W/m ² fra personer og 3,5 W/m ² fra udstyr) |
| Varmtvandsforbrug | 250 l/m ² |

Traneparken består af tre forskellige bygninger. Bygningerne er ikke ens i forhold til størrelse mv., men konstruktioner og systemer er ens. Det målte varmeforbrug er imidlertid ikke opdelt på de tre bygninger, og derfor bliver der i beregningerne brugt én af de tre bygninger til sammenligning med det målte forbrug. Forbruget opgøres pr. m² opvarmet etageareal, og dermed kan resultaterne sammenlignes direkte.

Det beregnede forbrug til varmt vand og opvarmning er givet i tabel 6.4. I beregningen er der generelt anvendt standardværdier med undtagelse af forbruget af varmt vand, da det allerede fra begyndelsen er kendt (274 l/m²).

Tabel 6.4: Beregnet varme- og varmtvandsforbrug for Traneparken i kWh/m². Beregning med standardværdier med undtagelse af varmtvandsforbruget.

| Forbrug | kWh/m ² |
|------------|--------------------|
| Varme | 38,8 |
| Varmt vand | 35,2 |
| Total | 74,0 |

Det beregnede varmeforbrug er 38,8 kWh/m² og forbruget til varmt brugsvand er 35,2 kWh/m². Til sammenligning er de målte forbrug (jf. tabel 6.2) hhv. 68,7 kWh/m² og 24,7 kWh/m². De målte varmeforbrug er altså væsentligt højere end beregnet, mens forbruget til varmt brugsvand er noget lavere end beregnet. Dette kan skyldes, at fordelingen i regnskabet ikke er helt korrekt, men totalt set undervurderes varmeforbruget også med ca. 20 kWh/m², hvilket formentlig skyldes at der regnes med standardværdier.

Der gennemføres derfor en række ekstra beregninger, hvor de forskellige parametre i tabel 6.3 justeres, således at der opnås et mere realistisk resultat. Varmetabene i systemet (det fordelte varmeforbrug og det fordelte varmtvandsforbrug), påvirkes imidlertid kun i meget ringe grad af justeringer i parametrene nævnt tidligere, og for at få de beregnede tab til at stemme overens med de målte, er det derfor nødvendigt at tilføje tabene direkte i beregningen, fx som varmetab fra rør.

I det følgende gennemgås kort, hvorledes standardparametrene kan fastlægges for typiske boliger.

Indetemperaturen antages som nævnt at være 20 °C jf. Bygningsreglementet. Denne antagelse kunne være en realistisk gennemsnitlig værdi i et gammelt hus, hvor primære værelser som køkken, badeværelser og stue måske opvarmes til 21-23 °C og andre sekundære rum som entré, soveværelser eller bryggers måske kun opvarmes til 18-19 °C. Traneparken har gennemgået en dybtgående energirenovering, og har en relativt velisoleret klimaskærm, og derfor vil det være mere realistisk med en mere jævn indetemperatur, og her kunne 21 – 23 °C formentlig være realistisk. Gennemsnitstemperaturen i stuerne fra de tidligere omtalte målinger er ca. 21,5 °C i kapitel 5.

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr (inklusive belysning) antages normalt at være henholdsvis 1,5 W/m² og 3,5 W/m² jf. Bygningsreglementet. I nye bygninger eller bygninger, som har gennemgået en dybtgående energirenovering, vil dette bidrag til varmebalancen have en betydelig indflydelse på varmebehovet, da det svarer til $(1,5 + 3,5) \text{ W/m}^2 \times 6000 \text{ h (fyringssæsonen)} = 30 \text{ kWh/m}^2$.

Normalt regner man med at én person afgiver 90 W. Hvis en lejlighed har fra 1-4 beboere, vil det interne varmetilskud fra personer altså ligge fra 0,75 W/m² til 3,00 W/m². Dermed er det formentlig realistisk at benytte de 1,5 W/m² som gennemsnit.

Ifølge Energistyrelsen er elforbruget for en lejlighed med hhv. 1 voksen, 2 voksne og 2 voksne og 2 børn ca. 2400, 2950 og 3350 kWh om året, svarende til hhv. 2,30, 2,80 og 3,20 W/m². Dette er altså noget lavere end standardværdien. Der anvendes her 2,80 W/m².

Infiltrationen i bygningen (dvs. primært tætheden af klimaskærmen) skal være 0,10 l/s pr. m², for at bygningen opfylder kravet til 2015-byggeri i Bygningsreglementet. Der er imidlertid ikke lavet en tæthedsprøvning af bygningen, og derfor kunne man overveje om værdien kunne være lidt højere, fx 0,13 l/s pr. m², svarende til kravet til 2010-byggeri.

Ventilationsraten for bygningen regnes normalt at være 0,30 l/s pr. m² for beboelse (der er krav om mindst 0,30 l/s pr. m² i Bygningsreglementet). Der er lavet en rapportering af indreguleringen af ventilationsanlægget, og her er det angivet at ventilationsraten er fastlagt som 0,34 l/s pr. m². Målingerne af luftskiftet i 3 lejligheder viser en gennemsnitlig udelufttilførsel på 0,71 l/s pr. m², og dermed har infiltrationen nok været noget højere i de pågældende lejligheder på det pågældende tidspunkt ($0,71 - 0,34 = 0,37 \text{ l/s pr. m}^2$). I det følgende antages mere moderate niveauer for infiltration og ventilationsrate, svarende til tallene fra rapporten om indreguleringen af ventilationsanlægget og til den forventelige tæthed en bygning af denne type som gennemgår dybtgående energirenovering. Højere niveauer kunne være en del af forklaringen på forskelle mellem det målte og beregnede forbrug.

Sammenfattende indføres der følgende ændringer i beregningsmodellen:

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Indetemperatur: | 22,0 °C |
| Internt varmetilskud: | $1,5 + 2,8 = 4,3 \text{ W/m}^2$ |
| Infiltration: | 0,13 l/s pr. m ² |
| Ventilationsrate: | 0,34 l/s pr. m ² |

I tabel 6.5 er opstillet resultaterne for beregningen, dels med standardparametre og så med parametre ændret som nævnt ovenfor. Til sammenligning er givet de målte resultater.

Tabel 6.5: Beregnet varme- og varmtvandsforbrug for Traneparken i kWh/m². Beregning med standardværdier og tilpassede værdier og målte resultater til sammenligning.

| | Forbrug | Standard kWh/m ² | Tilpasset kWh/m ² | Målt kWh/m ² |
|------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Gennemsnit | Varme (leveret) | 19,4 | 34,1 | 49,7 |
| | Varme (fordelt) | 19,4 | 25,0 | 19,0 |
| | Varmt vand (leveret) | 14,3 | 14,3 | 14,8 |
| | Varmt vand (fordelt) | 20,9 | 19,7 | 9,9 |
| | Total | 74,0 | 93,1 | 93,4 |

Sammenlignes resultaterne af den tilpassede beregning med de målte resultater, er det tydeligt, at det totale varmeforbrug stemmer meget godt, men at enkeltdelene passer mindre godt. Det leverede varmtvandsforbrug passer rimeligt godt, men de øvrige 3 bidrag har store afvigelser. Det er imidlertid ikke muligt at tilpasse modellen meget bedre, og da det samtidig er meget usikkert hvordan den faktiske fordeling for bygningen ser ud, benyttes ovenstående som endeligt resultat.

6.4 Sammenligning af målt og beregnet besparelse

Før energirenoveringen blev der lavet en overslagsberegning (af rådgivende ingeniører Sigfred Lorentzen) af den forventede varmebesparelse ved renoveringen. I tabel 6.6 er vist den beregnede varmebesparelse samt tilsvarende målt graddøgncorrigeret besparelse. Der er i den beregnede besparelse anvendt standardforudsætninger for indetemperaturer mv., og derfor er niveauerne for forbruget noget lavere end det målte.

Tabel 6.6: Beregnet og målt varme- og varmtvandsforbrug.

| | | |
|--|-------------|------------------------|
| Beregnet energiforbrug (varme og varmt vand) | | kWh/m ² /år |
| Før renovering | | 105,7 |
| Efter renovering | | 63,0 |
| Beregnet besparelse | | 42,7 |
| Målt energiforbrug | år | kWh/m ² /år |
| Før renovering | 2011 – 2012 | 139,1 |
| Efter renovering | 2014 – 2015 | 93,4 |
| Målt besparelse | | 45,7 |

Den samlede beregnede energibesparelse til varme og varmt brugsvand kan opdeles i to; de nye vinduer samt efterisoleringen af ydervægge og tagkonstruktion giver ca. det halve af den totale energibesparelse, mens reduktionen i ventilationstabet, dvs. forøget lufttæthed af klimaskærmen samt den mekaniske ventilation med varmegenvinding giver den anden halvdel.

6.5 Opnået energimærke efter renovering

Til sidst foretages en beregning af varmeforbruget for bygningen, hvor de tidligere omtalte parametre (indetemperatur, internt varmetilskud, ventilation, infiltration og varmt brugsvandsforbrug) indstilles til standardniveauerne, således at bygningens samlede energibehov kan sammenholdes med energirammen. I den forbindelse bliver også varmtvandsforbruget justeret så det svarer til standardværdien på 250 l/m².

Tabel 6.7: Beregnet varme- og varmtvandsforbrug. Beregning med standardværdier.

| | Forbrug | Standard kWh/m ² |
|------------|----------------------|--------------------------------|
| Gennemsnit | Varme (leveret) | 19,4 |
| | Varme (fordelt) | 19,4 |
| | Varmt vand (leveret) | 13,1 ^{*)} |
| | Varmt vand (fordelt) | 20,9 |
| | Total | 72,8 |

^{*)} Energibehovet til varmt vand (leveret) er her lidt lavere end i tabel 6.5, idet der er regnet med 250 l/m² i stedet for de 274 l/m² der blev målt.

Bygningens samlede energibehov, dvs. totalt varmebehov fra tabel 6.7 plus el-behov til bygningsdrift (5,2 kWh/m² el ganget med en primærenergifaktor på 2,5), bliver 85,8 kWh/m², hvilket svarer til et C-mærke (maksimalt energibehov: 111,8 kWh/m²). Heri er der dog ikke taget hensyn til el-produktionen fra solcelleanlægget. Solcelleanlægget producerer ca. 32.000 kWh el om året, svarende til 6,05 kWh/m² opvarmet etageareal. Dermed reduceres energibehovet for bygningen med $2,5 \cdot 6,05 = 15,1$ kWh/m² til 70,7 kWh/m², og hermed får bygningen et B-mærke (maksimalt energibehov: 72,2 kWh/m²).

Bygningen var oprindeligt projekteret til BR2015-niveau. Dette svarer til et energibehov på 30,6 kWh/m² men her skal der så også tages hensyn til at der anvendes andre primærenergifaktorer for fjernvarme (0,8 i BR2015 mod 1,0 i BR2010). Bygningens energibehov med primærenergifaktorer svarende til BR2015 bliver 56,1 kWh/m². I nyeste version af Bygningsreglementet (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015) kan man derudover medregne 50 % af det opvarmede eller delvist opvarmede kælderareal i energirammen. Hvis kælderen i Traneparken opfattes som delvist opvarmet, og hvis dette tages med i ovenstående beregninger, ender man med et resulterende energibehov på ca. 48,1 kWh/m². Dette svarer til Renoveringsklasse 1, eller et A2010 energimærke.

Det beregnede bruttoenergiebehov er altså stadig ca. 60 % højere end energikravet til BR2015. Årsagen til at bebyggelsen ikke overholder kravene til BR2015 er primært, at der er relativt store varmetab fra uisolerede rør i hhv. varmfordelingsanlægget og varmtvandsinstallationen i kælderen og i forbindelse med distributionen til lejlighederne. Hvis disse rør efterisoleres med fx 50 mm isolering og der samtidig opsættes yderligere 75 m² solceller, vil bebyggelsen overholde BR2015-kravet.

7 Økonomi

7.1 Investering

Bygningerne havde stærkt brug for renovering på grund af nedslidte facader, vinduer og tag, som trængte til udskiftning og forbedringer. Derfor kunne en stor del af renoveringen finansieres med midler til rådighed for "forbedring af den nuværende situation" og en dansk fond for sociale boliger støtter netop denne type formål: Landsbyggefonden.

Renoveringen kostede i alt ca. 45 mio. kr. inkl. nye fjernvarmerør. Heraf kom de 26 mio. kr. fra Landsbyggefonden. Foreningen kunne desuden låne penge af BOSJ's dispositionsfond og tilbagebetale vha. energibesparelser.

Et overslag over fordelingen af udgifter ses i tabel 7.1

Tabel 7.1: Total investering for Traneparkens renovering.

| Udgifter | Totalt | Pr. m ² |
|-------------------------|---------------|--------------------|
| Håndværkere/entreprenør | 34,7 mio. kr. | 6.556 kr. |
| Rådgivere | 10,3 mio. kr. | 1.946 kr. |
| Totalt | 45,0 mio. kr. | 8.502 kr. |

Udgifter til klimaskærmen er fordelt som nedenstående:

- Omkostningerne for efterisolering af ydervægge og panelvægge var ca. 12,5 mio. kr. (inkl. moms)
- Omkostningen for renovering og efterisolering af tagkonstruktioner var ca. 4,2 mio. kr. (inkl. moms)
- Omkostningerne for selve vinduerne var ca. 850.000 kr. (inkl. moms eksklusiv omkostninger til udskiftningen).

7.2 Reducerede energjudgifter

For beboerne har renoveringen medført en årlig stigning i huslejen på ca. 88 kr. pr. m², men samtidig har de fået reduceret deres energiforbrug, svarende til en besparelse på ca. 35 kr. pr. m².

For en netto huslejestigning på ca. 53 kr. pr. m² får de til gengæld:

- Forbedret indeklima
- Forbedret luftkvalitet
- Større brugbart areal som følge af varmere overflader (ydervægge og vinduer)
- Nye altaner
- Æstetisk smukke bygninger som forbedrer den generelle kvalitet for hele området.

Den årlige besparelse for reduktionen i fjernvarmeforbruget svarer til ca. 154.000 kr. pr. år. Udgifterne til fjernvarme vil være ca. 341.000 kr. pr. år svarende til 35 kr./m² pr. år.

Forøgelsen af elforbruget som følge af de installerede ventilationsanlæg vil svare til ca. 100.000 kr. pr. år. Solcelleanlægget producerer ca. 32.000 kWh pr. år, hvilket svarer til

en besparelse på ca. 64.000 kr. pr. år. Besparelsen opnås naturligvis kun i det omfang, at den producerede el kan anvendes direkte i bebyggelsen.

8 Yderligere økonomi- og energianalyser

I de foregående afsnit er der en udførlig beskrivelse af energirenoveringens omfang for bebyggelsens klimaskærm og installationer, en kort gennemgang af de målinger der er lavet af bebyggelsens indeklima efter renoveringen og en sammenligning af de forventede energibesparelser og de faktisk opnåede energibesparelser.

Men de gennemførte renoveringstiltag i Traneparken er kun en af flere mulige kombinationer af renoveringstiltag, som kunne lede til samme eller højere energibesparelse. Der er derfor foretaget teoretiske økonomi- og energianalyser for forskellige energibesparende tiltag og pakker af energibesparende tiltage for at give et indtryk af, hvor stor en energibesparelse hvert tiltag eller pakke af tiltag kan lede til. Desuden giver analyserne et overblik over økonomien for tiltagene/pakkerne beregnet som bl.a. nødvendig investering, nutidsværdi (over 30 år) og simpel tilbagebetalingstid. Analyserne er udført med beregningsprogrammet ASCOT. ASCOT er et regnearksbaseret beregningsprogram, der på samme tid beregner energiforbrug, økonomisk livscyklus (LCC) og miljømæssig livscyklus (LCA). Programmet kan findes på www.iea-annex56.org. ASCOT er her blevet kalibreret med en tilsvarende Be15 beregning af den anvendte referencebygning.

Resultatet af analyserne er beskrevet detaljeret i appendiks A og B.

I appendiks A "Beskrivelse af referencebygning, energirenoveringstiltag og pakkeløsninger" findes en beskrivelse af den valgte referencebygning, svarende til blok B fra Traneparken, før bebyggelsen gennemgik den dybtgående energirenovering. Appendiks A beskriver hvert enkelt af de teoretiske energirenoveringstiltag/-pakker, herunder tekniske detaljer og økonomi. Til sidst gennemgås resultaterne af analyser af udvalgte pakkeløsninger til opnåelse af hhv. Renoveringsklasse 1, BR2015 og BK2020.

Hovedkonklusionerne fra analyserne i appendiks A er:

- der findes forskellige renoveringspakker for at opnå Renoveringsklasse 1, BR2015 og BK2020. Disse har forskellig økonomi, så det gælder om at vælge den renoveringspakke, som er økonomisk optimal for et givet renoveringsprojekt. Hvilken pakke, der er bedst, afhænger meget af de lokale forhold – specielt af den eksisterende bygning
- en dybdegående energirenovering er kun økonomisk forsvarlig, hvis bygningen alligevel skal gennemgå en nødvendig renovering
- den totale energiomkostning (inklusive investering) efter en dybere energirenovering (foretaget sammen med alligevel renovering) er billigere eller ikke meget dyrere end omkostningen før renoveringen afhængig af, hvilken pakke af renoveringstiltag, der vælges
- da energiomkostningen ved energirenovering til Renoveringsklasse 1, BR2015 og BK2020 er nogenlunde den samme, bør det altid vurderes, om en dybere energirenovering er mulig, hvis bygningen alligevel skal renoveres
- energirenovering til BR2015 og BK2020 kræver typisk anvendelse af solceller
- den tidligere nettomålerordning for elektricitet produceret med solceller gjorde dybdegående energirenovering (inkl. solceller) mere rentabel end med dagens timeafregning af elektricitet tilført det omgivende elnet

I appendiks B "Økonomi- og energianalyse af hvert enkelt energibesparende tiltag" findes inddata samt resultater af analyserne for nogle af de anvendte enkelttiltag. Formålet med denne analyse er at give et indtryk af, hvor stor en energibesparelse hvert enkelt tiltag

kan bidrage med, i forhold til at nå forskellige niveauer med de samlede renoveringspakker. Resultaterne er vist som to plots for hvert tiltag; første plot viser sammenhængen mellem investering, nutidsværdi og tilbagebetalingstid mens andet plot viser nettoenergi-besparelsen samt den samlede sparede primærenergi.

Beregningerne i appendiks B viser, at der er mange forskellige muligheder for at reducere energibehovet i eksisterende etageejendomme. De fleste energirenoveringstiltag er imidlertid ikke rentable i sig selv. Beregningerne understreger dermed vigtigheden af, at energirenovering foretages i forbindelse med, at man alligevel skal renovere bygningen på grund af slidtage eller i forbindelse med den normale vedligehold af bygningen.

Appendiks B omtaler også andre renoveringstiltag, som der ikke er gennemført beregninger for. Appendiks B kan derfor anvendes som en inspirationskilde eller tjekliste for at få belyst en bred vifte af mulige energibesparende tiltag, som tilsammen kan udgøre den renoveringspakke, der leder frem til den ønskede energibesparelse eller -klasse.

9 Beslutningsproces

9.1 Baggrund

Traneparken krævede en større renovering pga. nedslidte facader, tagkonstruktioner og vinduer. Dette behov for renovering medførte, at man samtidig valgte at udføre en dybtgående energirenovering af bebyggelsen. Traneparken har på denne måde opnået store energibesparelser samtidig med, at beboerne har fået nogle æstetisk smukkere bygninger og herudover et væsentligt bedre indeklima, større brugbart areal i lejlighederne, altaner og en væsentlig forskønnelse af bygningernes omgivelser.

I efteråret 2011 startede renoveringen af Traneparken, og den blev afsluttet mod udgangen af 2012. Bebyggelsen har et beboer-demokrati, som bestemmer, hvor langt man ville gå med renoveringen. Afdelingen havde en dygtig formand, som også havde været medvirkende til at få etableret en opsparing i foreningen, og afdelingen skal have orden i deres økonomi for at få tilskud. Man fik 26 mio. kr. af Landsbyggefonden til renovering af Traneparken. Boligselskabet Sjælland (BOSJ) sætter også krav til energistandarden, og de enkelte afdelinger kan søge om at låne penge af BOSJ's dispositionsfond og tilbagebetale vha. energibesparelser.

Der blev holdt møder i afdelingen, og de forskellige renoveringsforslag blev forelagt beboerne. Derefter blev der stemt om de forskellige forslag, og herefter kom der en rådgiver på sagen, som lavede en helhedsplan, som til sidst blev godkendt.

Kommunen ejer bygningerne, og BOSJ administrerer dem. Det var BOSJ, som startede renoveringsprocessen.

9.2 Processen

Det er BOSJ, som vælger rådgiver samt entreprenør til opgaven efter de almindelige betingelser for udbud. Det billigste tilbud accepteres. Samarbejdet om renoveringen af Traneparken gik fint og efter planen, og det var i øvrigt samme rådgiver som i Sems Have (Jensen, Rose et al, 2017).

I forbindelse med renoveringen blev der fundet både PCB og asbest, men man var klar over begge dele på forhånd, så det påvirkede ikke tidsplanen. Der var en del problemer med nogle vinduesbeslag som måtte udskiftes, men den forsinkelse blev indhentet, og det endte faktisk med at byggeriet blev færdigt lidt før tid.

Hele renoveringsprocessen var til stor tilfredshed for alle parter. Byggepladsen blev holdt ordentligt ryddet, og man tog én lejlighed ad gangen, hvilket betød minimale gener for beboerne. Beboerne blev desuden hele tiden holdt informeret om processen.

Renoveringsprojektet i Traneparken har givet en række vigtige erfaringer. Fx tager det længere tid at planlægge og gennemføre renovering end nybyggeri, især hvis lejlighederne er beboet under renoveringsprocessen. Traneparken er alment byggeri, og derfor skal lejerne indgå i beslutningsprocessen. Derfor er det også vigtigt at lejerne får, hvad de forventer, så fra begyndelsen af projektet er det nødvendigt at lægge en stor indsats i at sikre, at forventningerne er afstemt med det, der kan opnås i praksis. Tidsplanen er derfor også vigtig, og lejerne skal vide, hvornår noget kommer til at ske i deres bolig, hvornår der er håndværkere osv. Det er besværligt at udføre renoveringsarbejde i lejligheder, hvor folk bor under processen, og der er et stort behov for, at håndværkerne er hensynsfulde. Der skal af samme grund være en høj sikkerhed på byggepladsen. Alt dette lykkedes i

forbindelse med renoveringen af Traneparken, og beboerne var generelt meget tilfredse med hele processen.

9.3 Erfaringer

De 3 bedste ting ved renoveringsprocessen:

1. Samarbejdet med entreprenøren
2. Beboerdemokratiet virkede fint med gode diskussioner
3. En god formand, en ildsjæl, der var med til at skaffe gode resultater både arkitektonisk og energimæssigt.

De største udfordringer ved renoveringsprocessen:

1. Der er meget lang sagsbehandling hos Landsbyggefonden. Så man skal starte renoveringsprocessen i god tid! En helhedsplan kan strække sig over 10-15 år. Samtidig har Landsbyggefonden oplevet en reduktion af kapitalen, og der er derfor færre midler til rådighed end tidligere.
2. Man skal prøve at genere beboerne mindst muligt, så man skal planlægge renoveringsprocessen nøje, således at dette håndteres bedst muligt.
3. Godkendelsen af ventilationskasserne på taget krævede en nabohearing; der var ingen modstand, men det var et "bump" på vejen.

Det er i dag endnu mere attraktivt at bo i Traneparken end før renoveringen, men det har altid været nemt at udleje lejlighederne i bebyggelsen. Bebyggelsen har fået et rigtig godt ry, og ventelisten er længere end tidligere.

10 Sammenfatning

Før renoveringen var de tre blokke med i alt 66 lejligheder typiske eksempler på danske boligblokke fra 1960'erne med præfabrikerede betonsandwichelementer med relativt ringe isolering. Bygningerne var nedslidte og så ret kedelige ud. Der var problemer med facader, vinduer, tage osv. Energibehovet var højt og indeklimaet var utilfredsstillende. Bygningerne havde brug for en dybtgående renovering.

Boligselskabet besluttede med støtte fra lejerne ikke kun at løse problemerne, men også at opgradere bygningerne til at matche nye bygninger med hensyn til energibehov, indeklima, arkitektur og livskvalitet. Ydervægge og kældervægge samt tag blev efterisoleret, og de gamle vinduer med termoruder blev erstattet af nye lavenergivinduer med tre lag glas.

Det gamle udsugningsanlæg blev erstattet af et energieffektivt balanceret mekanisk ventilationssystem med varmegenvinding. Den ekstra isolering og det nye ventilationssystem forbedrede indeklimaet og luftkvaliteten i lejlighederne. De varmere vægge og vinduer gør det lettere og mere behageligt at udnytte alle m² af lejlighederne. Alle lejligheder har nu en altan med udsigt over de renoverede grønne områder i gården. Et PV-system på taget af en af blokkene hjælper med at reducere energibehovet til det fælles vaskeri og de nye ventilationsanlæg.

Det energimæssige mål med renoveringen var at opfylde kravene til Lavenergiklasse 2015 i Bygningsreglement BR10 svarende til niveauet i det nuværende Bygningsreglement 2015 (BR2015). Dette krav svarer for bebyggelsen til et årligt bruttoenergiforbrug på 30,6 kWh/m² med standardværdier for anvendelse og primærfaktorer for el og fjernvarme på hhv. 2,5 og 0,8.

Energibehovet for Traneparken er beregnet med dels nogle standardiserede forudsætninger og dels tilpasset det målte forbrug. Forskellen mellem det beregnede energibehov og det målte energiforbrug skyldes mange faktorer, som for eksempel brugeradfærd, bygningens anvendelse, bygningens konstruktion og varierende vejrforhold i forskellige år. En af de største kilder til usikkerhed på energiforbruget er helt klart brugerne, deres antal og adfærd. Beregningsmodellen er derfor tilpasset, så varmebehovet så vidt muligt svarer til det målte varmeforbrug.

Hvis før- og eftermålinger af varme – og varmtvandsforbruget sammenlignes direkte, er varmeforbruget blevet reduceret med omkring 33 %.

Bygningens samlede energibehov efter renoveringen, dvs. totalt varmebehov plus el-behov til bygningsdrift, bliver 85,8 kWh/m², hvilket svarer til et C-mærke (maksimalt energibehov: 111,8 kWh/m²). Dette er dog uden hensyntagen til el-produktionen fra solcelleanlægget. Hvis solcelleanlægget medtages i regnestykket reduceres energibehovet for bygningen til 70,7 kWh/m², og hermed får bygningen et B-mærke (maksimalt energibehov: 72,2 kWh/m²).

Bygningen var oprindeligt projekteret til BR2015-niveau. Dette svarer til et energibehov på 30,6 kWh/m² men her skal der så også tages hensyn til at der anvendes andre primærfaktorer for fjernvarme (0,8 i BR2015 mod 1,0 i BR2010). Bygningens energibehov med primærfaktorer svarende til BR2015 bliver 56,1 kWh/m². I nyeste version af

Bygningsreglementet kan man derudover medregne 50 % af kælderarealet i energirammen, og hvis dette tages med i ovenstående, ender man med et energibehov på ca. 48,1 kWh/m². Dette svarer til Renoveringsklasse 1, eller et A2010 energimærke.

Bruttoenergibehovet er altså stadig ca. 60 % højere end energikravet til BR2015. Årsagen til at bebyggelsen ikke overholder kravene til BR2015 er primært, at der er relativt store varmetab fra uisolerede rør i hhv. varmfordelingsanlægget og varmtvandsinstallationen i kælderen og i forbindelse med distributionen til lejlighederne. Hvis disse rør efterisoleres med fx 50 mm isolering og der samtidig opsættes yderligere 75 m² solceller, vil bebyggelsen overholde BR2015-kravet.

Selvom målet om energikravet til BR2015's niveau ikke blev nået, er der stadig tale om en betydelig reduktion af energiforbruget set i forhold til både før renoveringen og i forhold til andre danske boligblokke.

Det er vigtigt i fremtidige projekter at sikre, at samtlige energiforbrug er medtaget i beregningerne i projekteringsfasen. Desuden er det vigtigt at forstå, at en Be15 beregning med standardværdierne for brugen af bygningen typisk ikke giver det rigtige energiforbrug i drift. For at få et bedre skøn over bygningens reelle energiforbrug er det nødvendigt nøje at overveje den fremtidige brug af bygningen og derefter foretage de nødvendige justeringer af standardværdierne i Be15.

Parametervariationerne med Be15 og sammenligning mellem målt og beregnet opvarmingsbehov viser, at det er en kompliceret og tidskrævende proces at opnå overensstemmelse mellem målt og beregnet energiforbrug. Opnåelse af en sådan overensstemmelse er vigtig for at kunne forstå, om en bygning overholder et specifikt energikrav og eventuelt, hvorfor kravet ikke overholdes.

Renoveringsprojektet Traneparken har givet en række vigtige erfaringer. Det tager længere tid at planlægge og gennemføre renovering end nybyggeri, især hvis lejlighederne er beboet under renoveringsprocessen. Traneparken er alment byggeri, og derfor skal lejerne indgå i beslutningsprocessen. Derfor er det også vigtigt, at lejerne får, hvad de forventer, så fra begyndelsen af projektet er det nødvendigt at lægge en stor indsats i at sikre, at forventningerne er afstemt med det, der kan opnås i praksis. Tidsplanen er vigtig, og lejerne skal vide, hvornår noget kommer til at ske i deres bolig, hvornår der er håndværkere osv. Det er besværligt at udføre renoveringsarbejde i lejligheder, hvor folk bor under processen, og der er et stort behov for at håndværkerne er hensynsfulde. Der skal af samme grund være en høj sikkerhed på byggepladsen.

Traneparken krævede en større renovering pga. nedslidte facader, tagkonstruktioner og vinduer. Dette behov for renovering medførte, at man samtidig valgte at gennemføre en dybtgående energirenovering af bebyggelsen. Traneparken har på denne måde opnået store energibesparelser samtidig med, at beboerne har fået nogle æstetisk smukkere bygninger og herudover et væsentligt bedre indeklima, større brugbart areal i lejlighederne, altaner og en væsentlig forskønnelse af bygningernes omgivelser.

I appendiks A er der lavet en række teoretiske beregninger, hvor blok B fra Traneparken er anvendt som udgangspunkt, for at belyse økonomi og energi for alternative muligheder for at energirenovere. De enkelte energirenoveringstiltag beskrives, og der foretages analyser hvor enkelttiltagene kombineres i pakkøløsninger, således at der opnås hhv. Renoveringsklasse 1, BR2015 og BR2020. Beregningerne viser, at der er forskellige muligheder for at nå de forskellige energiniveauer, og at økonomien er relativt dårlig, så længe man

holder energibesparelsen op mod det totale investeringsbehov. Hvis man derimod fratrækker de omkostninger der ville være ved almindelig renovering/vedligehold af bygningen, så har tilføjelsen af energibesparende tiltag en god økonomi.

I appendiks B findes inddata samt resultater af analyserne af hvert enkelttiltag. Formålet er at give et indtryk af, hvor stor en energibesparelse hvert enkelt tiltag kan bidrage med, i forhold til at nå forskellige niveauer med de samlede renoveringspakker. Resultaterne vises dels som sammenhængen mellem investering, nutidsværdi og tilbagebetalingstid og dels som varmebesparelsen og den samlede sparede primærenergi. Beregningerne i Appendiks B viser, at de fleste energirenoveringstiltag ikke i sig selv er rentable, og understreger dermed vigtigheden af, at energirenovering foretages i forbindelse med at man alligevel skal renovere bygningen på grund af slidtage eller i forbindelse med den normale vedligehold af bygningen.

11 Litteratur

Aggerholm, S. og Grau, K. 2014. Bygningers energibehov - Pc-program og beregningsvejledning. (Building energy demand – PC program and user guide) SBI-Anvisning 213. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København, Danmark. <http://sbi.dk/anvisninger/Pages/213-Bygningers-energibehov-4.aspx>.

ASCOT. 2016. ASsociated COsTs. Link: www.iea-annex56.org (under Results/Tools)

BOSJ, Hvalsø Boligselskab, Traneparken. Foreløbig helhedsplan, oktober 2007.

BYG-SOL. 2008. Solenergi i byggeriet. Link: www.solarcitycopenhagen.dk

Energimærke for Traneparken – dateret 9.3.2009.

Energimærke for Traneparken – dateret 26.6.2017.

Jensen, S. Ø., Rose, J. et al: Energirenovering af Sems Have. Rapport fra PSO projekt, ISBN nr.: 978-87-93250-05-5, september 2017.

Knudsen, H. N., Thomsen, K. E. Rose, J. & Bergsøe, N. C. 2015. Tenants' experiences and satisfaction in social housing subject to comprehensive retrofitting - A Danish case study. (SBI 2015:20). Copenhagen: Danish Building Research Institute, Aalborg University. Link: <http://sbi.dk/Pages/Tenants-experiences-and-satisfaction-in-social-housing-subject-to-comprehensive-retrofitting.aspx>.

Sigfred Lorentzen Rådgivende Ingeniører: Notat. Traneparken og varmebesparelser efter renovering. 10.10.2011.

Mørck O. C. 2016. Concept development and technology choices for the More-Connect pilot energy renovation of three apartment blocks in Denmark. Energy Procedia 00 (2016) 000-000. Available online at www.sciencedirect.com

Thomsen, K. E., Rose, J., Mørck, O., Jensen, S. Ø., Østergaard, I., Knudsen, H. N. & Bergsøe, N. C. 2016: Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting. Energy and Buildings 123 (2016).

Trafik- og Byggestyrelsen, 2015; Bygningsreglement 2015, København, Danmark.

Mørck, O., Gutierrez, M. S. M., Jensen, S. Ø., Thomsen, K. E og Rose, J. Vejledning for boligselskaber – Økonomi og medfølgende fordele ved energirenovering af boligblokke til lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020 niveau. SBI-Rapport. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København, Denmark.

Appendiks A Beskrivelse af referencebygning, energirenoveringstiltag og pakkeløsninger

På de foregående sider beskrives renoveringen af Traneparken, som den blev gennemført med de faktisk valgte renoveringstiltag. Ville resultatet være blevet anderledes, hvis andre renoveringstiltag var blevet valgt og hvilke energibesparelser ville det være muligt at opnå med andre sammensætninger af renoveringspakker? Det kan eksemplet fra Traneparken ikke direkte svare på, men det vil i det følgende blive undersøgt teoretisk med udgangspunkt i Traneparken.

A.1 Beskrivelse af referencebygning

Der er i det følgende taget udgangspunkt i blok B af Traneparken (se evt. figur 1.1), som har facader vendende syd og nord. Figur A.1 og A.2 viser blok Bs nordfacade før og efter renoveringen. Som referencebygning i de følgende teoretiske analyser anvendes blok B før der blev gennemført en energirenovering af bebyggelsen.



Figur A.1. Forsiden af blok B efter renovering.



Figur A.2. Bagsiden af blok B før renoveringen.

Implementering af forskellige "pakker" af energibesparende tiltag er analyseret med henblik på at nå et energibehov som opfylder energikravene til hhv. Renoveringsklasse 1, BR2015 og Bygningsklasse 2020 for en typisk etageejendom.

Referencebygningen består af 3 etager med et samlet opvarmet areal på ca. 1800 m² og fuld uopvarmet kælder. Ydervæggene består af præfabrikerede vægge med U-værdi på 0,67 W/m²K og paneler mellem vinduer med 0,71 W/m²K, hvilket svarer til ca. 50 mm mineraluld i gennemsnit. Taget er isoleret med 200 mm isolering, svarende til en U-værdi på 0,20 W/m²K. Gulvet mod den uopvarmede kælder er isoleret med cirka 30 mm isolering svarende til en U-værdi på 0,66 W/m²K. Vinduerne og hoveddøren var blevet skiftet mindst én gang siden opførelsen af bygningerne. Vinduer og døre har en gennemsnitlig U-værdi på 1,80 W/m²K.

De energimæssige og økonomiske beregninger er udført med beregningsprogrammet ASCOT [A.1]. Referencebygningen har et beregnet årligt energibehov på 135,5 kWh/m². Beregningerne er udført med samme standardforudsætninger som i Be15 beregninger vedr. f.eks. rumtemperatur, brugsvandsbehov og gratisvarme fra personer og udstyr.

Bygningen har karakteristika som vist i figur A.1.

Tabel A.1. Bygningens karakteristika. Referencebygning.

| Parameter | Beskrivelse | Værdi |
|--|---|--|
| Samlet opvarmet bygningsareal | | 1810,8 m ² |
| Antal lejligheder | | 18 lejligheder |
| Gulvareal mod kælder | | 603,7 m ² |
| % kælder opvarmet | 0 % | |
| Loft/tagareal til beregningerne | | 603,7 m ² |
| Ydervægsareal ekskl. Vinduer | | 898,4 m ² |
| Etagehøjde | | 2,51 m |
| Vinduesareal | | 315,5 m ² |
| Vinduesareal/opvarmet areal | 17 % | 315,4 m ² /1810,8 m ² |
| Fordeling af vinduesareal | Syd: 50 % Nord: 50 % | 157,8 m ² 157,8 m ² |
| Varmekapacitet | Middeltung | 120 Wh/Km ² |
| *Varmtvandsbehov | | 250 l/m ² |
| Cirkulationstab (Rumvarme + varmt brugsvand) | Uisolerede fordelingsrør | 40,3 kWh/m ² /år |
| *Ventilation, q _m | Udsugningsventilation q _m : 0,34 l/s pr. m ² , SEL: 1,0 kJ/m ³ | Ventileret areal: 1810,8 m ² |
| Lufttæthed | Der regnes ikke med infiltration ved udsugningsventilation | |
| Rumtemperatur | 20 °C | |
| Kældertemperatur | Beregnet ved varmebalance | |

Tabel A.2 viser karakteristika for referencebygningens klimaskærm.

Tabel A.2. Klimaskærm. Referencebygning.

| Konstruktion | U-værdi [W/m ² K] | Areal [m ²] |
|--------------------|------------------------------|-------------------------|
| Vinduer/døre | 1,80 | 315,4 |
| Ydervægge | 0,67 | 898,4 |
| Kælderydervægge | 0,93 | 276,7 |
| Tag | 0,20 | 603,7 |
| Gulv mod kælder | 0,66 | 603,7 |
| Kældergulv | 0,40 | 573,2 |
| Kuldebro | ψ-værdi [W/mK] | Længde [m] |
| Linjetab fundament | 0,40 | 132,0 |
| Linjetab vinduer | 0,08 | 674,0 |

Vinduernes g-værdi antages at være 0,67.

Hvis vinduerne ikke havde været udskiftet, og dermed kunne antages af have en U-værdi på 2,9 W/m²K og g-værdi på 0,75, ville energibehovet for referencebygningen være 19 kWh/m² højere, svarende til 154,5 kWh/m².

A.2 Energirenoveringstiltag

De implementerede energirenoveringstiltag er beskrevet herunder. Generelt er priserne fundet vha. V&S prisdatabaser [A.2] kombineret med Energy10 [A.3] og egne (Cenergia/Kuben Management) erfaringer.

- Solvarme brugsvand i fællesanlæg
Start effektivitet: η_0 : 0,82
1. ordens varmetabskoefficient: a_1 : 2,21 W/m²K
2. ordens varmetabskoefficient: a_2 : 0,0135 W/m²K
Pris: 4.529 kr./m² solvarme panel
Solvarmebeholder:
Isoleringstykkelse: 100 mm
Varmeledning: 0,04 W/ mK

Tabel A.3. Varmtvandsbeholder data

| Solfangerareal m ² /lejlighed [m ²] | Fælles beholder volumen, [l] | Beholder volumen/lejlighed [l] | Fælles beholder varmetab [W/K] | Beholder varmetab/lejlighed [W/K] |
|--|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 858 | 48 | 3,3 | 0,18 |
| 2 | 1704 | 95 | 4,9 | 0,27 |
| 3 | 1860 | 103 | 5,2 | 0,29 |

- Solceller
Monokrystallinske celler
Peak effekt: 150 Wp/m²
System effektivitet: 80 %
Pris: 18.521 kr./kWp
- Tilføjelse af isolering på ydervæg (udvendig), tag, etagedæk mod kælder, samt kældervæg

Tabel A.4. Pris på ekstra isolering. Varmeledningsevne for isoleringen: 0,04 W/mK.

| Ekstra ydervægsisolering | Pris kr./m ² |
|--------------------------|-------------------------|
| +50 mm isolering | 1.120 |
| +100 mm isolering | 1.334 |
| +150 mm isolering | 1.548 |
| +200 mm isolering | 1.762 |
| +250 mm isolering | 1.976 |
| +300 mm isolering | 2.190 |

| Ekstra Loftsisolering | Pris kr./m ² |
|-----------------------|-------------------------|
| +50 mm isolering | 63 |
| +100 mm isolering | 126 |
| +150 mm isolering | 190 |
| +200 mm isolering | 253 |
| +250 mm isolering | 316 |
| +300 mm isolering | 379 |

| Ekstra isolering af etagedæk mod uopvarmet rum | Pris kr./m ² |
|--|-------------------------|
| +75 mm isolering | 431 |
| +100 mm isolering | 467 |
| +150 mm isolering | 541 |

| Kælderydervægsisolering | Pris kr./m ² |
|-------------------------|-------------------------|
| Udvendig 50 mm | 931 |
| Udvendig 100 mm | 1.125 |
| Udvendig 200 mm | 1.513 |

Priserne er taget fra V&S prisbøger – med en forventet mængderabat på 20 %.

4. 2-lags energi-vinduer med gas
U-værdi: 1,2 W/m²K
g-værdi: 0,63
F- faktor: 0,8
Linjetab: 0,03 W/mK
Pris: 4.096 kr. /m² vindue

5. 3-lags lavenergi-vinduer med gas
U-værdi: 0,7 W/m²K
g-værdi: 0,53
F- faktor: 0,8
Linjetab: 0,03 W/mK
Pris: 4.409 kr. /m² vindue – der er regnet med prisforskellen ift. punkt 4 ovenfor (4.409-4.096)= 313 kr./m², hvis man udskifter vinduer som alligevel renovering.

6. Middelgod mekanisk ventilation med varmegenvinding (VGV)
SEL: 1,5 kJ/m³
Effektivitet: 67 %
Brugstid: 8.760 timer/år
Ventilation: 0,34 l/s pr. m²
Infiltration: 0,13 l/s pr. m²
Pris: 519,3 kr./m² opvarmet areal

7. God mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding (VGV)
SEL: 1,2 kJ/m³
Effektivitet: 90 %
Brugstid: 8760 timer/år
Ventilation: 0,34 l/s pr. m²
Infiltration: 0,1 l/s pr. m²
Pris: 611,5 kr./m² opvarmet areal – der er regnet med prisforskellen til 6 ovenstående (611,5-519,3)= 92,2 kr./m², hvis man installerer mekanisk ventilation (alligevel renovering)

8. Lufttæthed (50 Pa)
BR10: q_i: 1,5 l/s pr. m²
Pris: 75 kr./m² opvarmet areal/ gratis, hvis man udskifter vinduerne (alligevel renovering). Denne pris er ikke inkluderet i prisen for nye vinduer udskiftning. Prisen på lufttæthedsoptimering er uafhængig af vindues-prisen.
BR15:
q_i:1,0 l/s pr. m²
Pris: 113 kr./m² opvarmet areal - der er regnet med prisforskellen til BR10 (113-75) = 38 kr./m², hvis man udskifter vinduerne (alligevel renovering)

BR20:

q_i : 0,5 l/s pr. m^2

Pris: 150 kr./ m^2 opvarmet areal – der er regnet med prisforskellen til BR10 (150-75) = 75 kr./ m^2 , hvis man udskifter vinduerne (alligevel renovering)

9. Teknisk isolering rør

Cirkulationsledninger for varme og varmt vand isoleres med 50 mm, resulterende i et varmetab på 18,9 kWh/ m^2 . I modsætning til det beregnede varmetab på 40,3 kWh/ m^2 før renovering.

Pris: 175 kr./m rør

Energirenoveringstiltag, der skulle have været implementeret af andre årsager, dvs. såkaldt alligevel renovering.

a. Renovering/vedligehold af ydervæggen for at beskytte facaden. Udvendig maling eller tilsvarende med tilhørende stilladsarbejde. (Ekskl. isolering).

Pris: 934 kr./ m^2 ydervæg

b. 2-lags energivinduer

U- værdi: 1,20 W/ m^2K g-værdi: 0,62

F_r : faktor: 0,8 (svarer til ca. 20 % karm/ramme)

Pris: 4.096 kr./ m^2 vinduer

Da udskiftning af vinduer er taget med som et tiltag, der alligevel skulle foretages, er der i beregningerne ikke taget højde for, at eksisterende trævinduer ellers skulle have været malet hvert 7. år – en relativ stor udgift til stillads og maling, som derfor skulle have været medtaget i de totale omkostninger før renoveringen – ca. 28,20 kr./ m^2 /år.

c. Middelgod mekanisk ventilation med varmegenvinding (VGV)

- som ovenfor under 6

Pris: 519,3 kr./ m^2 opvarmet areal

d. Lufttæthed (50 pa)

q_i : 1.5 l/s pr. m^2

Pris: 75 kr./ m^2 opvarmet areal

A.3 Energifriser

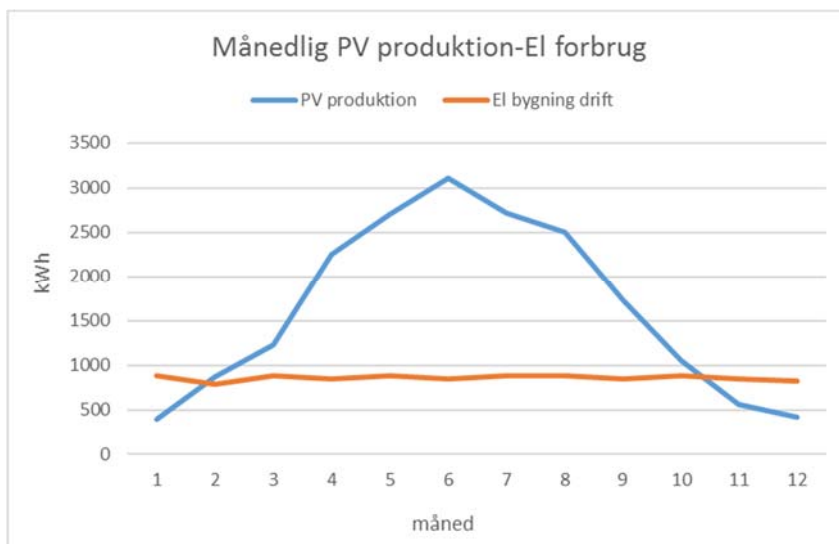
Tabel A.5 viser energipriserne anvendt i beregningerne.

Tabel A.5. Energifris

| Energifris | Fast | Variabel |
|------------|--------|----------|
| | kr./kW | kr./kWh |
| El | - | 2,20 |
| El solgt | - | 0,26 |
| Fjernvarme | 0,30 | 0,40 |

El-produktionen fra solceller (PV) følger ikke elforbruget i løbet af året.

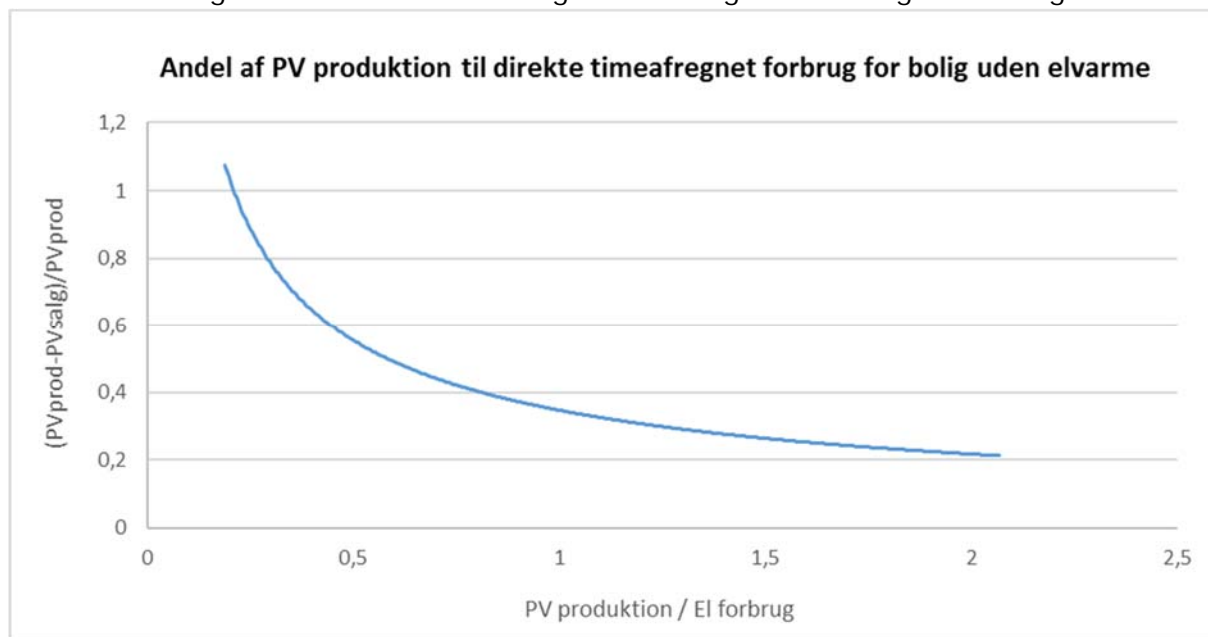
Figur A.3 viser et eksempel på relationen mellem elforbrug til bygningsdrift (ventilation og pumper) og el-produktion over året for en almindelig etageejendom.



Figur A.3. Månedligt forhold mellem PV produktion og elforbrug for etageejendom.

Som det ses, er PV-produktionen meget højere end elforbruget om sommeren, og det modsatte er tilfældet om vinteren. Figuren er baseret på månedsdata, og for at få et mere retvisende resultat skal forholdene vurderes dynamisk.

Relationen beregnet time for time for en gennemsnitlig dansk bolig er vist i figur A.4.



Figur A.4. Andel af PV produktion til direkte timeafregnet forbrug for gennemsnitlig dansk bolig.

Hvis den årlige PV-produktion er lig med det årlige elforbrug til drift (ventilation og pumper) er x-akse værdien = 1. Af grafen kan man aflæse, at dette betyder, at egetforbruget af PV-produktionen så er omkring 34 %, mens de resterende 66 % må sælges til nettet. De økonomiske analyser er baseret på denne graf med en værdi af egetforbrug på 2,20 kr./kWh og af solgt el på 0,26 kr./kWh.

I øjeblikket skal der betales ca. 65 kr. årligt for at få lov til at sælge el til nettet. Imidlertid falder denne værdi hvert år. Af denne grund er gebyret ikke taget i betragtning i den økonomiske analyse.

A.4 Kombination af tiltag – “renoveringspakker”

Tabellerne på de følgende sider viser forskellige kombinationer af energisparetiltag implementeret som samlede pakker for at nå forskellige energiniveauer. Tabellerne indeholder resultaterne af de økonomiske beregninger, der er udført for hver pakkeløsning. Endvidere er der vist resultatet af beregninger, hvor investeringen i de tiltag der gennemføres alligevel, er fratrukket den samlede investering. Derved kan man sammenligne økonomien for tiltagene i de to situationer, hvor der hhv. ikke skal foretages en renovering alligevel, og hvor der skal. De økonomiske resultater omfatter investering, tilbagebetalingstid (simpel), nutidsværdi (net present value (NPV)) og de totale energiomkostninger.

For at opnå energiramme 2015 og 2020 er det nødvendigt at installere solceller. To forskellige scenarier analyseres:

Scenarie 1 - Implementering af et mindre PV-anlæg. PV-anlægget dækker primært det årlige elforbrug til bygningens drift: Elforbrug til pumper og ventilationssystem. En del af el-produktionen bruges direkte i bygningen, og resten sælges til nettet. Værdien af PV-el-produktionen beregnes i henhold til figur A.4. Prisen for den sparede el er sat til 2,20 kr./kWh, og for den solgte el er den sat til 0,26 kr./kWh, som nævnt i kapitel A.3. Ved anvendelse af el-batterier kan andelen af PV-el-produktionen, der kan benyttes til eget forbrug øges. Dette kræver en særskilt beregning.

Scenarie 2 - Implementering af et større PV-anlæg. PV-anlægget dækker årligt elforbrug til bygningsdrift og i boligerne: Elforbrug til pumper, ventilationssystem, belysning, madlavning, underholdning og andet udstyr. Hele el-produktionen udnyttes i bygningen (der sælges intet el). Dette scenarie viser hvad overgangen fra nettomåler-ordningen til timebaseret afregning betyder for brugerøkonomien ved installation af solcelleanlæg.

De parametre, der indgår i tabellerne, er:

Energikrav [kWh/m²]: Energiramme for den energiklasse, der søges opnået.

Teknologi: 4 forskellige kombinationer af energitiltag, der er sat sammen for at optimere både energien og økonomien for den eksisterende bygning og opnå den energiramme, der er angivet i tabellen. Kun 4 kombinationer er vist ud af mange forskellige muligheder. De anvendte energitiltag er udvalgt blandt de energitiltag, der er beskrevet tidligere.

Beregnet energiforbrug [kWh/m²]: Primært energibehov beregnet som en energirammeberegning vha. Be15.

Pris for investering [kr./m²]: Samlet pris for alle implementerede teknologier

Pris for investering fratrukket pris for alligevel renovering [kr./m²]: Samlet pris for alle implementerede teknologier minus samlet pris for de teknologier, der skal gennemføres alligevel for renoveringsprojektet.

Tilbagebetalingstid [år]: Simpel tilbagebetalingstid for alle implementerede teknologier. Den beregnes som totalprisen på investeringen divideret med værdien af besparelserne. Priserne på vedligeholdelse af teknologierne medtages ikke.

Besparelser beregnes som forskellen mellem omkostningerne til energi til bygningsdrift før og efter renoveringen.

Bygningens energiomkostninger er beregnet ud fra følgende relation mellem priserne: Opvarmning – Solfanger produktion + El til pumper og ventilation (samt belysning og andet udstyr) – PV-produceret el

Tilbagebetalingstid fratrukket pris for alligevel reovering [år]: Simpel tilbagebetalingstid for investeringen til alle implementerede teknologier minus investeringen til teknologierne, der skal implementeres alligevel under reoveringsprojektet.

Nutidsværdi – Net Present Value (NPV) [kr./m²]: Nutidsværdien er defineret som rentabiliteten af en forventet investering i 30 år af alle de implementerede teknologier.

NPV beregnes ud fra: Investeringspris for de implementerede teknologier og besparelserne til bygningsdrift over 30 år.

NPV (over 30 år) fratrukket alligevel reovering [kr./m²]: Rentabiliteten af investering til alle de implementerede teknologier minus teknologierne, der skal implementeres alligevel under reoveringsprojektet.

Totale energiomkostninger før reovering (kun energi) [kr./m²/år]: Bygningens driftsomkostninger før reoveringsprojektet.

Totale energiomkostninger efter reovering over 30 år (energi + investering) [kr./m²/år]: Driftsomkostningerne efter reoveringsprojektet plus finansieringsomkostningerne ved implementering af alle teknologier.

Totale energiomkostninger efter reovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel reovering [kr./m²/år]: Driftsomkostningerne efter reoveringsprojektet plus finansieringsomkostningerne ved implementering af alle teknologier minus teknologierne, der skal implementeres alligevel under reoveringsprojektet.

Tabel A.6 viser, at de totale energiomkostninger før reoveringen er 71 kr./m²/år. Efter alligevel reoveringen er de totale energiomkostninger inklusive investeringsomkostningerne 167 kr./m²/år, men hvis man fratrukker investeringsomkostningerne lander man på 64 kr./m²/år. Alligevel reoveringen koster altså 103 kr./m²/år (167 – 64 kr./m²/år) og medfører en energibesparelse på 7 kr./m²/år (71 – 64 kr./m²/år).

Energikravet for Reoveringsklasse 2 er beregnet som 110 kWh/m² + 3200/opvarmet areal = 111,8 kWh/m² pr. år. Det ses af ovenstående tabel, at gennemførslen af de teknologier, der er en del af alligevel reoveringen ikke er nok til at nå energikravet for Reoveringsklasse 2, da energiforbruget i tabel A.6 er beregnet til 118,5 kWh/m² pr. år. I konsekvens heraf skal der gennemføres yderligere ét eller flere energibesparende tiltag for at nå energirammen for Reoveringsklasse 2. Det er dog en relativ beskeden energibesparelse: 118,4 – 111,8 = 6,6 kWh/m² pr. år eller 6 %, det drejer sig om for at nå Reoveringsklasse 2. Reoveringsklasse 2 vil ikke yderligere blive behandlet her, da formålet med undersøgelserne er dyb energireovering af boligblokken.

I de efterfølgende 5 tabeller er økonomien blevet undersøgt for at bringe bygningen ned på et energiforbrug svarende til energirammerne for Reoveringsklasse 1, BR15 og Bygningsklasse 2020.

Tabel A.6. Alligevel renovering med de tiltag, som ville være indgået i en traditionel renovering.

| Energiniveau | Alligevel renovering |
|---|---|
| Teknologi | Kun gennemførelse af tiltag, der følger af alligevel renovering |
| Solvarme | - |
| Solceller | - |
| Ydervægsisolering | Renovering af ydervæg (uden isolering) |
| Løftisolering | - |
| Etagedæk over uopvarmet rum | - |
| Kældervægsisolering | - |
| Vinduer | 2-lags energiruder (1,2 W/m ² K) |
| Ventilation | Middelgod mekanisk ventilation med varmegenvinding (67 %) |
| Øget tæthed | 1,5 l/s pr. m ² |
| Teknisk isolering rør | - |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 118,4 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 1.587 |
| Pris for investering fratrukket pris for alligevel renovering/vedligehold [DKK/m ²] | 0 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 209 |
| Tilbagebetalingstid fratrukket pris for alligevel renovering/vedligehold [år] | 0 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -2.108 |
| NPV (over 30 år) fratrukket alligevel renovering/vedligehold [DKK/m ²] | 172 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 71 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 167 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel renovering/vedligehold [kr./m ² /år] | 64 |

I Appendiks B er økonomien for de enkelte tiltag vurderet separat og ikke set i forhold til, om bygningen skal renoveres alligevel eller ej. Appendiks B viser, at isoleret set er de fleste dybdegående renoveringstiltag ikke rentable, men som en samlet pakke, som foretages samtidigt med, at bygningen alligevel skal renoveres, så fremstår en dybere energirenovring økonomisk fornuftig, som det vises i det følgende.

I det følgende tages der udgangspunkt i "Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel renovering/vedligehold [kr./m² pr. år]" – dvs. sidste række i tabel A.7 – A.11, da dette i den sidste ende er det, der slår igennem i huslejen. Dette sammenlignes med den "Totale energiomkostning før renoveringen" – tredje sidste linje i tabel A.6.

Energikomkostningen før renoveringen var 71 kr./m² pr. år med et årligt energiforbrug på 118,4 kWh/m², hvor det i tabel A.7, A.8 og A.10 (henholdsvis Renoveringsklasse 1, BR15 og Bygningsklasse 2020) ligger mellem:

| | Energikomkostning [kr./m ² /år] | Energiforbrug [kWh/m ²] |
|---------------------|---|--|
| Renoveringsklasse 1 | 59 – 94 | 53,4 |
| BR15 | 69 – 83 | 30,6 |
| Bygningsklasse 2020 | 72 - 89 | 20,0 |

Tabel A.7. Fire forskellige energirenoveringspakker for at nå Renoveringsklasse 1.

| Energyniveau | Renoveringsklasse 1 (energimærke A2010) | | | |
|---|--|--|--|--|
| | 52,5+1650/A | | | |
| Energikrav [kWh/m ²] | 53,4 | | | |
| Teknologi | V1 | V2 | V3 | V4 |
| Solvarme | 1,2 m ² pr. bolig = 7,1 kWh/m ² | | 1,0 m ² pr. bolig = 6,1 kWh/m ² | 2,0 m ² pr. bolig = 8,9 kWh/m ² |
| Solceller | | | | |
| Ydervægsisolering | +100 mm (0,25 W/m ² K) | +200 mm (0,15 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) |
| Loftisolering | | | +200 mm (0,10 W/m ² K) | +100 mm (0,13 W/m ² K) |
| Etagedæk over uopvarmet rum | | | +75 mm udvendig (0,29 W/m ² K) | +150 mm udvendig (0,19 W/m ² K) |
| Kældervægsisolering | | +100 mm udvendig (0,28 W/m ² K 0,25 W/mK) | | +100 mm udvendig (0,28 W/m ² K 0,25 W/mK) |
| Vinduer | 3-lags energi (0,70 W/m ² K) | 3-lags energi (0,70 W/m ² K) | 3-lags energi (0,70 W/m ² K) | 2-lags energi (1,20 W/m ² K) |
| Ventilation | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | Middel VGV (67 %) | Middel VGV (67 %) |
| Øget tæthed | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² |
| Teknisk isolering rør | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 53,2 | 52,6 | 53,4 | 53,3 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 2.000 | 2.241 | 2.376 | 2.525 |
| Pris for investering fratrukket pris for alligevel renovering [DKK/m ²] | 412 | 653 | 788 | 938 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 51 | 55 | 61 | 66 |
| Tilbagebetalingstid fratrukket pris for alligevel renovering [år] | 10 | 16 | 20 | 25 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -1.923 | -2.109 | -2.235 | -2.389 |
| NPV (over 30 år) fratrukket alligevel renovering [DKK/m ²] | 475 | 264 | 86 | -74 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 71 | 71 | 71 | 71 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 162 | 177 | 187 | 197 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel renovering [kr./m ² /år] | 59 | 73 | 84 | 94 |

Tallene viser altså, at når der alligevel skal renoveres:

- kan det lade sig gøre at nå Renoveringsklasse 1 med en lavere energiomkostning end før renoveringen, som desuden leder til, at bygningens energiforbrug mere end halveres.
- kan energiomkostningen ved energirenovering til BR15 og Bygningsklasse 2020 være ca. den samme som for Renoveringsklasse 1, men formentlig lidt dyrere end energiomkostningen før renoveringen.
- vil en energirenovering til enten BR15 eller Bygningsklasse 2020 koste nogenlunde det samme som det koster at nå Renoveringsklasse 1, og derfor bør det altid vurderes om en dybere energirenovering er mulig, når en bygning skal renoveres.

Hvis man betragter resultaterne uden at fratække omkostningen for alligevel renoveringen, dvs. næstsidste linje i tabellerne A.7, A.8 og A.10, ses det:

- at den totale energiomkostning bliver væsentligt højere end før renoveringen: 162-197 kr./m² pr. år mod før renoveringen på 71 kr./m² pr. år. Dermed er den rene energirenovering tydeligvis ikke rentabel.

- at energiomkostningen for Renoveringsklasse 1, BR15 og Bygningsklasse 2020 ligger på samme niveau, og der er altså ikke stor forskel i prisen for at nå de forskellige energiniveauer.

Merinvestering i forhold til alligevel renovering er også relativt beskedent:

| | Meromkostning [kr./m ²] |
|---------------------|--|
| Renoveringsklasse 1 | 412 – 938 |
| BR15 | 565 – 893 |
| Bygningsklasse 2020 | 735 – 1.005 |

Fx koster det mellem 25 – 35 % ekstra at gå fra alligevel renoveringen til Renoveringsklasse 1, mens det bliver lidt dyrere at gå til Bygningsklasse 2020.

I 2012 blev nettomålerordningen udfaset og udskiftet til timebaseret afregning, som betyder, at den strøm, der time for time ikke anvendes i bygningen bliver afregnet til en meget lavere pris, end prisen for den el, som købes fra el-nettet. Dette har gjort installation af solcelleanlæg mindre rentabelt, som det også vises i Appendiks B. For at vurdere, hvad udfasningen af nettomålerordningen har betydet for muligheden for dyb energirenovering af boligblokke, er beregningerne i tabel A.9 og A.11 blevet gennemført for renovering til BR15 og Bygningsklasse 2020.

I tabel A.9 og A.11 antages det, at el-produktionen fra solcelleanlægget på årsbasis dækker både elforbruget til bygningens drift og al elforbruget i lejlighederne. Derfor er tallene i sidste række højere end i tabel A.7, A.8 og A.10, da udgiften til lejlighedernes elforbrug også indgår i tabel A.9 og A.11.

Hvis lejlighedernes elforbrug lægges til tredjesidste række i tabel A.6 (alligevel renovering), øges dette tal fra 71 til 159 kWh/m² pr. år. Til sammenligning ligger dette tal for renovering til BR15 og Bygningsklasse (andensidste linje i tabel A.9 og A.11) mellem:

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| BR15: | 108-136 kr./m ² pr. år |
| Bygningsklasse 2020: | 106-132 kr./m ² pr. år |

Dette betyder altså at:

- med nettomålerordningen ville det økonomisk være væsentligt mere fordelagtigt at gennemføre en dyb energirenovering end en traditionel renovering
- det er lige så billigt at renovere til Bygningsklasse 2020 som til BR15.

Ovenstående er som nævnt et tænkt eksempel, der indeholder nogle udfordringer. Bl.a. er der frit el-valg i Danmark, hvilket betyder, at et boligselskab ikke kan tvinge den enkelte lejer til at aftage el fra et bestemt selskab, hvilket er nødvendigt for gennemføre scenariet i tabel A.9 og A.11. Alligevel viser ovenstående at en ordning á la nettomålerordningen kan lede til at boligblokke vil blive energirenoveret mere dybdegående, end det sker i dag.

I beregningerne i dette appendiks, er der generelt taget udgangspunkt i, at bygningen har fjernvarme som opvarmningsform, da omkring 90 % af samtlige udlejningsboliger i den almene sektor er forsynet med fjernvarme. Der kan naturligvis foretages tilsvarende beregninger, hvis varmforsyningen er baseret på olie, gas, varmepumper eller træpiller. Nogle af disse beregninger er foretaget i anden sammenhæng [A.4], og det fremgår heraf,

at for en bygning forsynet med varme fra en varmepumpe vil resultaterne svare til resultaterne for fjernvarme, mens økonomien for olie- og gasforsynede bygninger vil være markant bedre end for fjernvarme og omvendt ringere, hvis bygningen er forsynet med et træflis- eller træpillefyrr.

Tabel A.8. Fire forskellige energirenovringspakker for at nå BR15. Scenarie 1 dækker som tidligere beskrevet over, at solcellestrøm, der ikke forbruges i den time, den produceres, sælges til nettet til kun 0,26 kr./kWh.

| Energiramme Bygningsreglement 2015 (energimærke A2015). Scenarie 1 | | | | |
|---|--|---|--|--|
| Energikrav | 30+1000/A | | | |
| Energikrav [kWh/m ²] | 30,6 | | | |
| Teknologi | V1 | V2 | V3 | V4 |
| Solvarme | 1,1 m ² per bolig = 6,4 kWh/m ² | | 1,1 m ² per bolig = 6,4 kWh/m ² | 0,6 m ² per bolig = 3,8 kWh/m ² |
| Solceller [kWp eller Netto kWh/m ² bygning] | 18,0 kWp = 9,71 kWh/m ² | 13,5 kWp = 6,94 kWh/m ² | 7,9 kWp = 4,10 kWh/m ² (el til bygningsdrift) | 7,7 kWp = 3,97 kWh/m ² (el til bygningsdrift) |
| Solceller [kWp/ lejlighed] | 1,00 kWp | 0,75 kWp | 0,44 kWp | 0,43 kWp |
| Elproduktion – til eget forbrug | 23 % | 24 % | 35 % | 35 % |
| Elproduktion - sælges til nettet | 77 % | 76 % | 65 % | 65 % |
| Ydervægsisolering | +200 mm (0,15 W/m ² K) | +200 mm (0,15 W/m ² K) | +300 mm (0,11W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) |
| Loftisolering | | | | |
| Etagedæk over uopvarmet rum | | | | +150 mm (0,15 W/m ² K) |
| Kældervægsisolering | | | | |
| Vinduer | | | | |
| Ventilation | 2-lags energi (1,2 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) |
| Øget tæthed | Middel VGV (67 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) |
| Teknisk isolering rør | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² | q: 1,0 l/sm ² |
| Solvarme | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 30,6 | 29,6 | 30,6 | 30,6 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 2.152 | 2.200 | 2.333 | 2.480 |
| Pris for investering fratrukket pris for alligevel renovering [DKK/m ²] | 565 | 613 | 746 | 893 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 55 | 50 | 51 | 53 |
| Tilbagebetalingstid fratrukket pris for alligevel renovering [år] | 14 | 14 | 16 | 19 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -2.022 | -2.023 | -2.123 | -2.246 |
| NPV (over 30 år) fratrukket alligevel renovering [DKK/m ²] | 313 | 377 | 289 | 157 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 71 | 71 | 71 | 71 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 173 | 171 | 177 | 186 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel renovering [kr./m ² /år] | 69 | 67 | 74 | 83 |

Beregningerne i dette appendiks skal anvendes med forsigtighed. Dette skyldes mange forhold. For det første vil der altid for et konkret projekt være særlige forhold, der gør, at priserne for at få udført de forskellige energisparetiltag vil variere i forhold til de priser, der er anvendt i beregningerne (primært V&S Prisbøger). Beregningerne i dette Appendiks bør derfor kun anvendes vejledende.

Tabel A.9. Fire forskellige energirenovringspakker for at nå BR15. Scenarie 2 dækker som tidligere beskrevet over, at solcellestrøm sælges til nettet til samme pris som strøm, der købes fra nettet (2,20 kr./kWh), som i den tidligere nettomålerordning der blev udfaset i 2012.

| Energiniveau | Energiramme Bygningsreglement 2015 (energimærke A2015). Scenarie 2 | | | |
|---|--|--|---|--|
| Energikrav | 30+1000/A | | | |
| Energikrav [kWh/m ²] | 30,6 | | | |
| Teknologi | V5 | V6 | V7 | V8 |
| Solvarme | 1,1 m ² per bolig = 6,4 kWh/m ² | 3,0 m ² per bolig = 9,7 kWh/m ² | | 3,0 m ² per bolig = 9,7 kWh/m ² |
| Solceller [kWp eller Netto kWh/m ² bygning] | 86,4 kWp = 44,4 kWh/m ² | 87,8 kWp = 45,1 kWh/m ² | 86,4 kWp = 44,4 kWh/m ² | 86,4 kWp = 44,4 kWh/m ² |
| Solceller [kWp/ lejlighed] | 4,80 kWp | 4,88 kWp | 4,78 kWp | 4,88 kWp |
| Ydervægsisolering | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +250 mm (0,13 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) |
| Loftisolering | | +150 mm (0,11 W/m ² K) | +100 mm (0,13 W/m ² K) | +300 mm (0,08 W/m ² K) |
| Etagedæk over uopvarmet rum | | +75 mm (0,29 W/m ² K) | +150 mm (0,19 W/m ² K) | +150 mm (0,19 W/m ² K) |
| Kældervægsisolering | | | +100 mm (0,28 W/m ² K 0,25 W/mK) | +100 mm (0,28 W/m ² K 0,25 W/mK) |
| Vinduer | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 2-lags energi (1,2 W/m ² K) |
| Ventilation | God VGV (90 %) | Middel VGV (67 %) | God VGV (90 %) | Middel VGV (67 %) |
| Øget tæthed | q: 1,0 l/s pr. m ² | q: 1,0 l/s pr. m ² | q: 1,0 l/s pr. m ² | q: 1,0 l/s pr. m ² |
| Teknisk isolering rør | + 50 mm isolering | + 50 mm isolering | + 50 mm isolering | + 50 mm isolering |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 30,3 | 30,6 | 30,3 | 30,6 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 2.951 | 3.075 | 3.273 | 3.354 |
| Pris for investering fratrasket pris for al- ligevel renovering [DKK/m ²] | 1.363 | 1.488 | 1.686 | 1.767 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Tilbagebetalingstid fratruk- ket pris for alligevel reno- vering [år] | 10 | 11 | 12 | 13 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -743 | -851 | -1.037 | -1.112 |
| NPV (over 30 år) fratrukket alligevel renovering [DKK/m ²] | 1.791 | 1.640 | 1.473 | 1.358 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 159 | 159 | 159 | 159 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 212 | 221 | 232 | 239 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fra- trasket alligevel renove- ring [kr./m ² /år] | 108 | 118 | 129 | 136 |

Et andet forhold, der har stor betydning for de aktuelt opnåede besparelser, er brugernes adfærd. I beregningerne er anvendt en gennemsnitstemperatur på 20 °C, som skal anvendes ved energiramme-beregninger. Den typiske beboer har måske 22 - 23 °C. Umiddelbart skulle man tro, at dette vil medføre en større energibesparelse ved gennemførelse af tiltag, der reducerer bygningens varmetab. Imidlertid kan der være en del beboere, som har levet med temperaturer lavere end 20 °C før renoveringen af sparehensyn, men efter renoveringen udnytter muligheden for en bedre komfort uden det koster særligt meget ekstra og derfor skruer op for temperaturen – der refereres ofte til dette fænomen som hhv. "pre-bound" og "rebound"-effekter. Dette vil betyde, at den målte energibesparelse vil blive mindre end beregnet, hvilket analyserne i kapitel 6 i denne rapport også klart viser. Men til gengæld har beboerne så opnået en væsentligt bedre komfort.

Tabel A.10. Fire forskellige energirenoveringsskemaer for at nå Bygningsklasse 2020. Scenarie 1 dækker som tidligere beskrevet over, at solstrøm, der ikke forbruges i den time, den produceres, sælges til nettet til kun 0,26 kr./kWh.

| Energiniveau | Energiramme Byggeri 2020 (energimærke A2020). Scenarie 1 | | | |
|---|--|--|--|---|
| Energikrav [kWh/m ²] | 20 | | | |
| Teknologi | V1 | V2 | V3 | V4 |
| Solvarme | 3,0 m ² per bolig = 9,7 kWh/m ² | 2,5 m ² per bolig = 9,4 kWh/m ² | 1,1 m ² per bolig = 6,6 kWh/m ² | |
| Solceller [kWp eller Netto kWh/m ² bygning] | 9,00 kWp= 4,58 kWh/m ² | 7,7 kWp = 3,96 kWh/m ² | 7,74 kWp = 3,96 kWh/m ² | 10,8 kWp = 5,55 kWh/m ² |
| Solceller [kWp/ lejlighed] | 0,50 kWp | 0,43 kWp (el til bygningsdrift) | 0,43 kWp (el til bygningsdrift) | 0,60 kWp |
| Elproduktion – til eget forbrug | 32 % | 35 % | 35 % | 27 % |
| Elproduktion - sælges til nettet | 68 % | 65 % | 65 % | 73 % |
| Ydervægsisolering | +200 mm (0,15 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +200 mm (0,15 W/m ² K) |
| Loftisolering | | +50 mm (0,16 W/m ² K) | | |
| Etagedæk over uopvarmet rum | | | +150 mm (0,19 W/m ² K) | +100 mm (0,25 W/m ² K) |
| Kældervægsisolering | | | | +200 mm (0,16 W/m ² K 0,12 W/m ² K) |
| Vinduer | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) |
| Ventilation | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) |
| Øget tæthed | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² |
| Teknisk isolering rør | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 19,9 | 19,8 | 19,8 | 19,9 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 2.322 | 2.443 | 2.539 | 2.593 |
| Pris for investering fratrukket pris for alligevel renovering [DKK/m ²] | 735 | 855 | 952 | 1.005 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 49 | 50 | 52 | 54 |
| Tilbagebetalingstid fratrukket pris for alligevel renovering [år] | 15 | 18 | 20 | 21 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -2.103 | -2.192 | -2.261 | -2.321 |
| NPV (over 30 år) fratrukket alligevel renovering [DKK/m ²] | 339 | 240 | 150 | 74 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 71 | 71 | 71 | 71 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 175 | 182 | 188 | 192 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fratrukket alligevel renovering [kr./m ² /år] | 72 | 79 | 85 | 89 |

A.5 Referencer

[A.1] ASCOT. 2016. ASSociated COsTs. Link: www.iea-annex56.org (under Results/Tools)

[A.2] V&S Huspriser

[A.3] Energy10

[A.4] Beregninger med andre opvarmningsformer...?

Tabel A.11. Fire forskellige energirenoveringspakke for at nå Bygningsklasse 2020. Scenarie 2 dækker som tidligere beskrevet over, at solstrøm sælges til nettet til samme pris som strøm, der købes fra nettet (2,20 kr./kWh), som i den tidligere nettomålerordning der blev udfaset i 2012.

| Energigrænse | Energiramme Byggeri 2020 (energimærke A2020). Scenarie 2 | | | |
|---|--|--|--|--|
| Energikrav [kWh/m ²] | 20 | | | |
| Teknologi | V5 | V6 | V7 | V8 |
| Solvarme | 3,0 m ² per bolig = 9,7 kWh/m ² | 1,4 m ² per bolig = 7,9 kWh/m ² | 0,5 m ² per bolig = 3,2 kWh/m ² | 0,5 m ² per bolig = 3,2 kWh/m ² |
| Solceller [kWp eller Netto kwh/m ² bygning] | 85,9 kWp 44,1 kWh/m ² | 85,9 kWp 44,1 kWh/m ² | 85,3 kWp 43,9 kWh/m ² | 85,3 kWp 43,9 kWh/m ² |
| Solceller [kWp/ lejlighed] | 4,77 kWp | 4,77 kWp | 4,74 kWp | 4,74 kWp |
| Ydervægsisolering | +200 mm (0,15 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) | +300 mm (0,11 W/m ² K) |
| Loftisolering | | +100 mm (0,13 W/m ² K) | +100 mm (0,13 W/m ² K) | +200 mm (0,1 W/m ² K) |
| Etagedæk over uopvar- met rum | | | +100 mm (0,25 W/m ² K) | +100 mm (0,25 W/m ² K) |
| Kældervægsisolering | | | +200 mm (0,16 W/m ² K 0,12 W/mK) | +100 mm (0,28 W/m ² K 0,25 W/mK) |
| Vinduer | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) | 3-lags energi (0,7 W/m ² K) |
| Ventilation | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) | God VGV (90 %) |
| Øget tæthed | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² | q: 0,5 l/s pr. m ² |
| Teknisk isolering rør | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering | +50 mm isolering |
| Beregnet energiforbrug [kWh/m ²] | 19,9 | 19,9 | 19,8 | 19,9 |
| Pris for investering [DKK/m ²] | 2.927 | 3.038 | 3.375 | 3.358 |
| Pris for investering fratruk- ket pris for alligevel reno- vering [DKK/m ²] | 1.340 | 1.451 | 1.788 | 1.771 |
| Tilbagebetalingstid [år] | 21 | 21 | 24 | 24 |
| Tilbagebetalingstid fratruk- ket pris for alligevel reno- vering [år] | 10 | 10 | 13 | 12 |
| NPV (over 30 år) [DKK/m ²] | -727 | -788 | -1.094 | -1.078 |
| NPV (over 30 år) fratruk- ket alligevel renovering [DKK/m ²] | 1.834 | 1749 | 1.428 | 1.444 |
| Totale energiomkostninger før renovering (kun energi) [kr./m ² /år] | 159 | 159 | 159 | 159 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) [kr./m ² /år] | 209 | 215 | 237 | 236 |
| Totale energiomkostninger efter renovering over 30 år (energi + investering) fra- trukket alligevel renovering [kr./m ² /år] | 106 | 112 | 133 | 132 |

Appendiks B Økonomi- og energianalyse af hvert enkelt energibesparende tiltag

I det foregående Appendiks A er der gennemført energi- og økonomiberegninger for forskellige pakker af energibesparende tiltag. Disse pakker består af en kombination af forskellige af tiltagene nævnt nedenfor:

- Ydervægsisolering
- Loftsisolering
- Kældervægsisolering
- Isolering over uopvarmet kælder
- Lavenergivinduer
- Reduceret varmetab af installationer
- Ventilation med varmegenvinding
- Solvarme
- Solceller (mindre anlæg på 0,43 – 1 kWp pr. lejlighed - dækker kun el-behov til bygningsdrift) den præcise størrelse er afpasset efter energirammebetingelserne, efter at de andre teknologier er valgt.
- Solceller (større anlæg på ca. 4,8 kWp pr. lejlighed – dækker både el-behov til bygningsdrift og i boligerne) – et tænkt eksempel, der illustrerer hvor meget et større solcelleanlæg kan betyde for den samlede energibesparelse, hvis nettoafregning genindføres – dvs. elmåleren populært sagt "løber baglæns", når man sælger el til nettet. Der er i denne beregning ikke den begrænsning af solcellestrøm, som gælder for energirammeberegninger

I det følgende er ovenstående tiltag samt en del flere enkelttiltag kort beskrevet, og der er gennemført energi- og økonomiberegning for nogle af disse. Beregningerne tager udgangspunkt i reference-bygningen i Appendiks A: blok B i Traneparken før renoveringen. Beregningerne er gennemført for at give et indtryk af, hvor stor en energibesparelse (nettoenergi og primærenergi) hvert tiltag kan bidrage med, og hvordan økonomien er for tiltaget beregnet som nu-tidsværdi (over 30 år) og som simpel tilbagebetalingstid.

Det fremgår af graferne med økonomiresultater, at nutidsværdien er negativ for alle tiltag undtagen for solceller, hvor den producerede strøm kan benyttes både til bygningsdrift og til beboernes elforbrug i lejlighederne. Ser man på tilbagebetalingstiden, har alle tiltag lange tilbagebetalingstider – fra 25 til over 100 år, igen med undtagelse af solcellerne. Det er vigtigt at understrege, at det kan være misvisende at lægge for meget vægt på tilbagebetalingstiden for den enkelte teknologi. Hvis merinvesteringen er begrænset i forhold til den samlede investering, kan det give god mening at medtage en teknologi, selvom denne isoleret set har en lang tilbagebetalingstid.

De negative nutidsværdier for de fleste teknologier er en tydelig understregning af, at det sjældent er muligt at sammensætte en "pakke" af teknologier med henblik på at nå en markant energibesparelse, hvis der ikke samtidigt er planer om at gennemføre en mere gennemgribende renovering. Dette sker oftest i forbindelse med en helhedsplan, hvor f.eks. vinduerne skal udskiftes alligevel, facaden renoveres og et balanceret ventilationsanlæg med varmegenvinding installeres for at undgå fugtproblemer i lejlighederne og den dermed følgende risiko for dannelse af skimmelsvamp.

Både netto- og primærenergibesparelsen ved udskiftning af hver enkelt teknologi vises. Den viste primærenergibesparelse er nettoenergibesparelsen multipliceret med en primærenergifaktor. Det primære energibehov før renoveringen sammenlignes med primærenergibehovet efter Bygningsklasse 2020. De primære energifaktorer før renoveringen var 1 til opvarmning og 2,5 for el og efter renoveringen 0,6 for opvarmning (da bygningen er opvarmet med fjernvarme) og 1,8 for el.

Gennemgangen af de enkelte tiltag er langt fra udtømmende, men er mere ment som en tjekliste og inspirationskilde. Tiltagene er delt op i tiltag, der relaterer sig til klimaskærmen, tiltag der relaterer sig til de tekniske installationer i bygningen samt vedvarende energi.

B.1 Energibesparende tiltag med relation til klimaskærmen

B.1.1 Ydervægsisolering

Der er ofte store besparelser at hente ved at efterisolere facaderne på ældre etageejendomme, naturligvis under hensyntagen til arkitektoniske og konstruktionsmæssige forhold. Med en kombination af udvendig efterisolering og hulmursisolering er det muligt at opnå energibesparelser, bedre indeklima samt et tidssvarende udtryk på facaden. Det er muligt at efterisolere indvendigt, men her er der ofte store fugttekniske udfordringer.

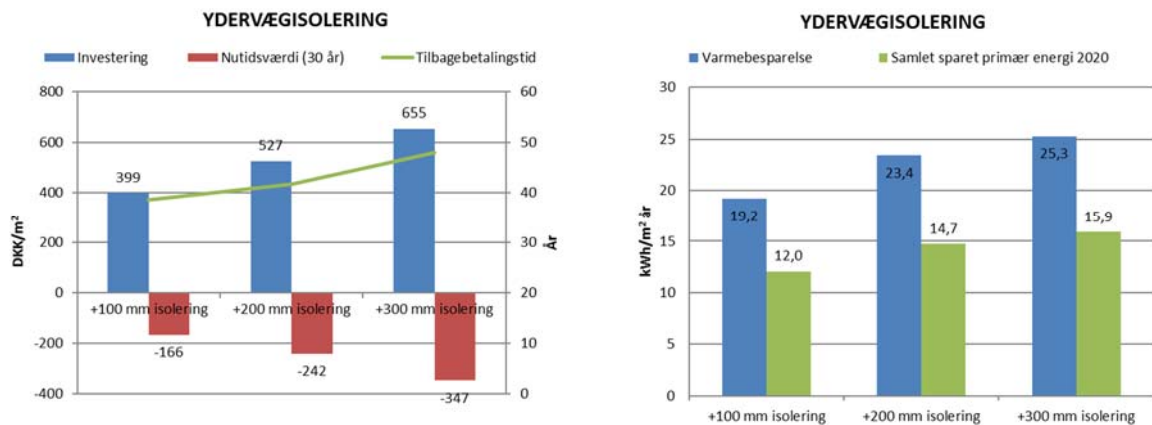
Fra ca. 1850 og frem til 1920'erne blev mange etageejendomme opført med massive ydervægge. Efterisoleringen bør ske med udvendig isolering under hensyntagen til arkitektoniske forhold med minimum 200 mm plus sokkelisolering. Isoleringen afsluttes med en ny formur eller med den eksisterende, som eventuelt genanvendes.

En del etageejendomme er i 1960'erne og 1970'erne udført i betonsandwich-elementer, og disse bør som oftest renoveres med en udvendig efterisolering. Efterisoleringen giver også mulighed for at ændre facadens udtryk. Dette gælder også de bygninger som i denne periode blev udført med massive ydervægge af letbeton.

Hule mure findes som oftest i byggeri fra 1940 frem til omkring 1970. Når hulmurene efterisoleres, bliver den indvendige overflade varmere og risikoen for fugtproblemer minimeres. En hulmursisolering kan i visse tilfælde med fordel kombineres med en udvendig efterisolering [B.1].

Figur B.1 viser et beregningseksempel, hvor ydervæggene er blevet efterisoleret udvendig med henholdsvis 100, 200 og 300 mm som eneste tiltag og ikke i forbindelse med "alligevel renovering".

Som forventet er isolering af ydervæggene ikke økonomisk rentabel, når dette ikke gennemføres sammen med anden nødvendig renovering af bygningen, men kan være økonomisk attraktiv sammen med andre renoveringstiltag, som alligevel skal gennemføres, som vist i Appendiks A. I figur B.1 er 100 mm mere "rentabel" end 200 og 300 mm, men ekstra isolering kan være nødvendig for at nå et specifikt energimål samt bedre komfort.



Figur B.1. Beregningseksempel hvor ydervæggene er blevet udvendigt efterisoleret med henholdsvis 100, 200 og 300 mm.

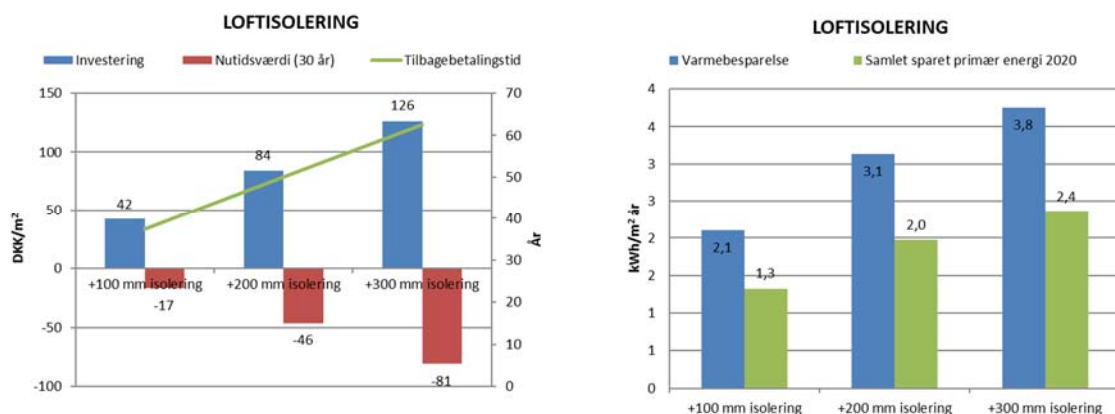
B.1.2 Loftisolering

Ældre etagebygninger fra før 1930'erne er ofte udført med mansardtage og bør efterisoleres, hvis der er mindre end 200 mm isolering. Efterisoleringen bør ske til minimum 300 mm samlet isoleringstykkelse og gerne mere, hvis det er muligt. Efterisolering af mansardtag og skunkgulve kan udføres indefra, hvis ikke taget skal udskiftes.

Flade tage med tagpap er typiske for etagebyggeri opført fra 1960 og frem til ca. 2000 og derfor fra en periode med relativt beskedne krav til isolering. Hvis tagkonstruktionen er isoleret med mindre end 150 mm, bør det flade tag efterisoleres. Der bør efterisoleres op til mindst BR15 krav, og det kan med fordel udføres, når tagdækningen alligevel fornyes. Efterisolering udføres nemmest som en udvendig efterisolering oven på det eksisterende tag.

Hvis etagebygningen har en tagkonstruktion med gitterspær eller hanebåndsloft, findes der ofte et ikke udnyttet loftsrums. Her vil det som oftest være muligt at efterisolere loftet og lægge isolering oven på den eksisterende konstruktion. Arbejdet med efterisoleringen omfatter dermed etablering af en tæt og holdbar dampspærre, udlægning af isolering samt etablering af undertag og korrekt ventilation af loftsrums. Der bør efterisoleres op til mindst BR15 krav, eller til det krav, der er rentabelt.

Figur B.2 viser et beregningseksempel, hvor loftet er blevet efterisoleret med henholdsvis 100, 200 og 300 mm som eneste tiltag og ikke i forbindelse med "alligevel renovering".



Figur B.2. Beregningseksempel hvor loftet er blevet efterisoleret med henholdsvis 100, 200 og 300 mm.

Efterisolering af loftet er i figur B.2 ikke rentabel, hvis det gennemføres alene, men hvis taget alligevel skal udskiftes, er det typisk et rentabelt energibesparende tiltag. Komforten i de øverste lejligheder vil samtidigt typisk blive forbedret.

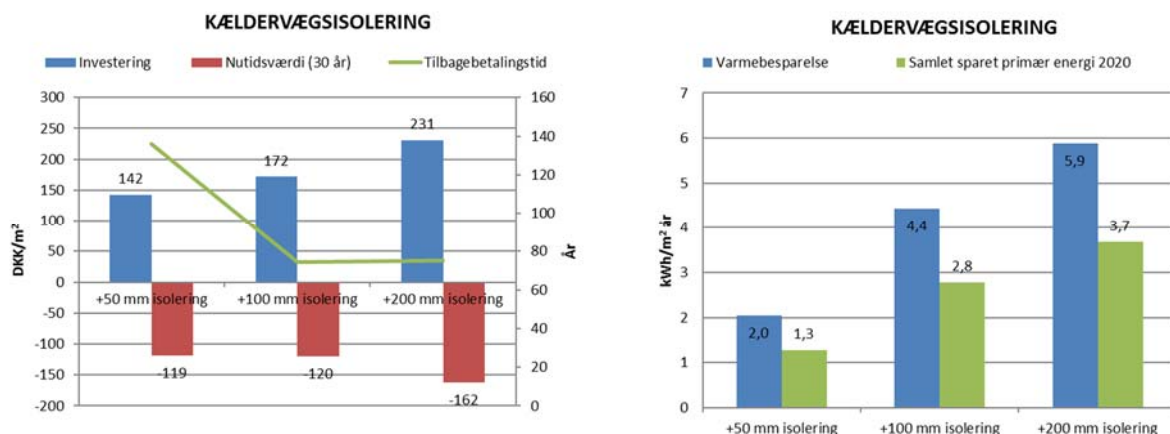
B.1.3 Kældervægsisolering

Kældervægge bør efterisoleres, hvis den samlede isoleringstykkelse er 50 mm eller derunder. En indvendig efterisolering vil altid medføre en risiko for fugt og dermed skimmel-svamp, så en udvendig efterisolering op til lavenergistandard med ca. 300 mm isolering anbefales hvis muligt.

Figur B.3 viser et beregningseksempel, hvor kældervæggene er blevet efterisoleret med henholdsvis 50, 100 og 200 mm som eneste tiltag og ikke i forbindelse med "alligevel renovering".

Fundamentets linjetab for reference-bygningen og med 50 mm efterisolering af kældervæggen er identisk. I modsætning til situationen, hvor der isoleres med 100 mm isolering, hvor fundamentets linjetab reduceres til det halve. Derfor reduceres tilbagebetalingstiden markant med tilføjelse af 100 mm isolering.

- Udvendig efterisolering +50 mm - linjetab for fundament samme som for reference-bygning = 0,50 W/mK
- Udvendig efterisolering +100 mm - linjetab for fundament = 0,25 W/mK
- Udvendig efterisolering +200 mm - linjetab for fundament = 0,12 W/mK



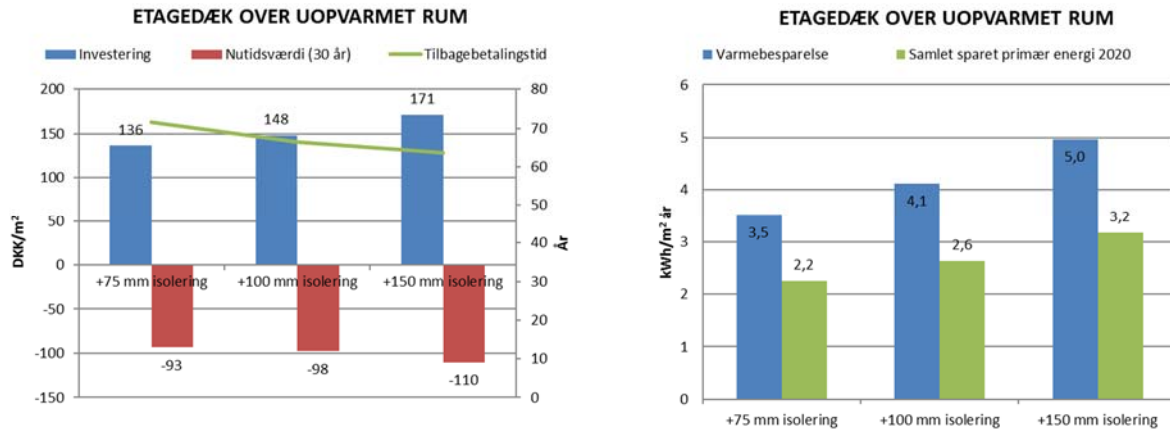
Figur B.3. Beregningseksempel hvor kældervæggene er blevet efterisoleret med henholdsvis 50, 100 og 200 mm.

Figur B.3 viser, at isolering af kældervæggene alene ikke er rentabel, men viser samtidigt, at hvis det bliver besluttet at isolere kældervæggene, er det bedre at gøre det med 100 og 200 mm end med 50 mm, da kuldebroerne ikke reduceres nok med 50 mm.

B.1.4 Isolering af etageadskillelser

For etagebygninger opført i perioden ca. 1850-1920 er etageadskillelsen typisk udført som træbjælkelag. Her kan det være en mulighed at indblæse isolering i hulrummet. Det kan være en mulighed, hvis kælder eller loft er opvarmede, og hvor man ikke kan komme til at isolere under eller over etageadskillelsen. Efterisolering af etageadskillelsen kan medføre, at temperaturen i de uopvarmede rum falder, hvilket kan medføre en højere luftfugtighed i rummene.

I figur B.4 er der foretaget en analyse af isolering af etagedækket over uopvarmede rum typisk en kælder som eneste renoveringstiltag. Etageadskillelsen er her efterisoleret med henholdsvis 75, 100 og 150 mm. Analysen viser, at det er mere rentabelt at isolere meget end lidt. Dog har højden af kælderen stor indflydelse på, hvor meget der kan efterisoleres, idet efterisolering sænker loftshøjden i kælderen.



Figur B.4. Beregningseksempel hvor etageadskillelsen mod kælder er blevet efterisoleret med henholdsvis 100, 200 og 300 mm.

B.1.5 Lavenergivinduer

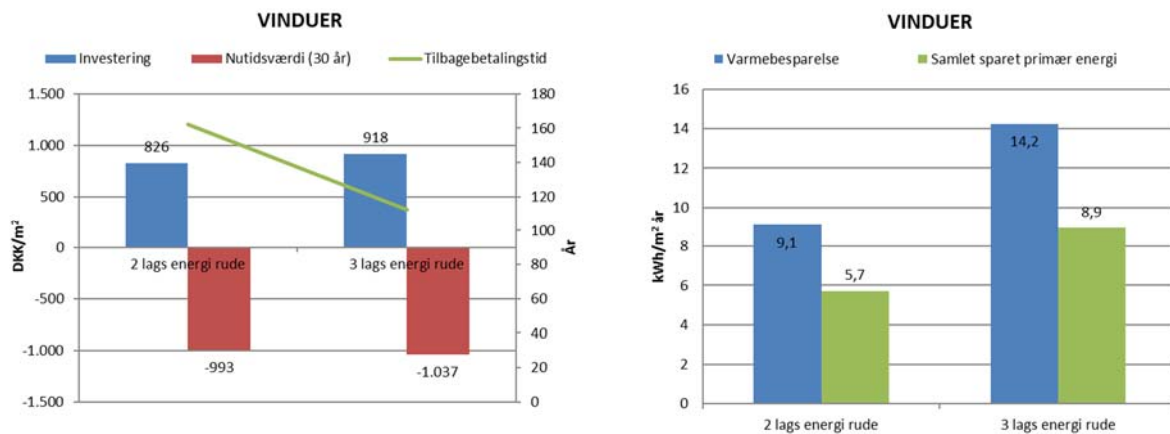
Når en termorude skal skiftes, bør det vurderes, om det er nok med ruden, eller om det er hele vinduet, der skal udskiftes. Hvis det er ruden alene, der skal skiftes, bør der vælges 2- eller 3-lags energiruder med varm kant. Bredden af falsen er afgørende for, om der vælges ruder med 2 eller 3 lag glas. Udskiftning til ruder til lavenergyniveau giver den bedste økonomi på lang sigt. Når termoruder udskiftes til energiruder, bliver vinduets indvendige overflade varmere og man nedsætter derved risikoen for kondens på rudernes inderside.

Hvis vinduerne er i dårlig stand, kan bygningens oprindelige udtryk genskabes ved at udskifte til vinduer i den oprindelige stil. Vinduets tætningslister mellem ramme og karm bør gennemgås i samme ombæring og udskiftes, hvis de ikke slutter tæt. Fugen omkring vinduerne bør også gås efter og tættes.

Figur B.5 viser beregninger, hvor traditionelle termoruder bliver skiftet ud med 2-lags energiruder eller 3-lags energiruder som eneste renoveringstiltag.

- 2-lags energirude inklusive pris for øget tæthed til 1 l/s pr. m² og linjetab for vinduer = 0,03 W/m K
- 3-lags energirude inklusive pris for øget tæthed til 0,5 l/s pr. m² og linjetab for vinduer = 0,03 W/m K
- Priser for at opnå tæthed på hhv. 1,0 og 0,5 l/s pr. m² fremgår af appendiks A

Hvis bygningen allerede har 2-lags lavenergiruder, kan energibesparelse ved at udskifte disse til 3-lags lavenergiruder findes ved at trække søjlerne i figur B.5 til højre fra hinanden. Hvis en bygning allerede har gode 2-lags lavenergiruder, vil det typisk ikke være rentabelt at udskifte disse. Dog kan det være nødvendigt, hvis et givet højt krav til energibesparelser skal nås.



Figur B.5. Beregningseksempel hvor traditionelle termoruder er blevet udskiftet med henholdsvis 2-lags og 3-lags lavenergiruder.

B.1.6 Infiltration

For at opnå et godt og sundt indeklima er ventilation nødvendigt. Ifølge bygningsreglementet (BR15) må luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen i nybyggeri ikke overstige 1,0 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykforskel med 50 Pa. For lavenergibygninger er kravet 0,5 l/s pr. m².

En dampspærre skal modvirke, at den varme fugtige rumluft kan trænge ud i konstruktionen og kondensere på kolde overflader. Sker dette, er der risiko for, at bygningsdele bliver angrebet af skimmelsvamp, mug og råd. Derudover sikrer en tæt dampspærre, at varmetabet reduceres, og trækgener formindskes.

I forbindelse med efterisolering af de forskellige klimaskærmskonstruktioner er det vigtigt, at der udføres en fugtteknisk korrekt lufttætning af samlinger mellem konstruktioner og omkring installationsgennembrydninger af tæthedsplanet

B.2 Energibesparende tiltag med relation til de tekniske installationer

Da de tekniske installationer i en bygning (varmesystem, ventilationsanlæg og belysning) typisk har kortere levetid end bygningens klimaskærm, er det altid en god ide at overveje udskiftning af disse i forbindelse med en renovering af bygningen.

I det følgende beskrives kort forskellige typiske tekniske installationer i boligblokke, - herunder også varmepumper.

Det er dog vigtigt, at energibesparende tiltag vedr. klimaskærmen besluttet før der træffes beslutning om renovering af de tekniske installationer, da et reduceret energiforbrug har indvirkning på flere af de tekniske installationer, - specielt størrelsen og dermed økonomien for disse.

Der er i det følgende kun udført beregningseksempler for ventilations-, solvarme og solcelleanlæg.

B.2.1 Varmeanlæg

90 % af Danmarks etageboliger er opvarmet ved hjælp af fjernvarme, 6 % med naturgas og under 3 % med olie [B.2]. Kun 0,2 % er opvarmet ved hjælp af varmepumper. I forbindelse med udfasningen af fossile brændsler i det danske energisystem vil en del af de olie- og naturgasopvarmende etageboliger overgå til fjernvarme og varmepumper.

Varmeanlægget bør være vejrkompenseret, således at fremløbstemperaturen til rumopvarmning er så lav som mulig.

B.2.1.1 Fjernvarmevekslere

Fjernvarmevekslere skal have et lavt varmetab, og i kombination med varmeafgiversystemet og varmtvandsbeholderen skal det sikres, at der opnås den nødvendige afkøling af fjernvarmevandet. For lille afkøling vil normalt lede til en økonomisk straf fra fjernvarmeselskabet.

B.2.1.2 Varmepumper

Varmeoptager (f.eks. jordslanger eller varmeveksler til udeluft) og varmeafgiver (radiatorer og varmtvandsbeholder) skal dimensioneres sådan, at der opnås en årlig effektivitet for varmepumpen (årlig leveret varme divideret med årlig elforbrug - SPF (Seasonal Performance Factor)) på 3,5-4 for væske/vand varmepumper og 3-3,5 for luft/vand varmepumper. For at opnå en høj SPF er det vigtigt, at varmeanlægget dimensioneres, så den nødvendige fremløbstemperatur til varmeafgiverne er så lav som muligt.

Ved væske/vand varmepumper skal der sikres et tilstrækkeligt areal til nedgravning af jordslangen, alternativt skal varmeoptaget etableres via nedboring af slanger (kræver tilladelse) eller fra fx en sø. Ved luft/væske varmepumper må varmepumpens ude-del ikke stå for tæt på bygninger på grund af støj fra ventilator og kompressor.

B.2.1.3 Brugsvandsopvarmning

I forbindelse med fjernvarme kan brugsvandsopvarmningen i mindre ejendomme ske i gennemstrømningsvarmevekslere, mens der i større ejendomme og i forbindelse med andre opvarmningsformer normalt anvendes en brugsvandsbeholder med ekstern eller intern varmeveksler. Det skal i alle tilfælde sikres, at varmetab fra beholder og varmeveksler er lavt. Brugsvandstanken skal dimensioneres i forhold til det aktuelle brugsvandsbehov. En for stor tank leder til et for stort varmetab og en for lille gennemstrømning i beholderen, der evt. kan danne grobund for bakteriedannelse.

B.2.1.4 Varmeafgiversystem

Varmeafgiversystemet til rumopvarmning består typisk af radiatorer og nogle gange af gulvvarme i badeværelser. I nyere ejendomme kan rumopvarmningen udelukkende bestå af gulvvarme.

Det er vigtigt at sikre tilstrækkeligt store varmeafgivere (radiatorer), så afkølingen over disse bliver stor. Dette reducerer risikoen for straf ved for lille afkøling af fjernvarmevandet og en høj effektivitet for varmepumpen, hvis en sådan er bygningens varmekilde.

Radiator/gulvvarme-systemet skal indreguleres så der kan skabes jævn varme i bygningen uden at nogle lejligheder kræver en højere fremløbstemperatur end resten af ejendommen.

Der skal være radiatortermostater på alle varmeafgivere. Helst elektroniske termostater der kan kommunikere, da dette på sigt kan anvendes til yderligere energibesparelser.

B.2.1.5 Rørføring

Ved reduktion af rumopvarmningsbehovet vil de eksisterende rør typisk være for store til den nye volumenstrøm gennem radiatorerne. Et specialtilfælde er dog i forbindelse med varmepumper, hvor der er behov for en stor volumenstrøm for at sikre en høj effektivitet. Reduktion af rørdiameteren samt minimum 50 mm isolering vil betydeligt reducere varmetabet fra rørene. Det er specielt vigtigt at reducere varmetabet fra rørene for det varme brugsvand, idet der her cirkuleres varmt vand alle døgnets timer og årets dage. Rørene for det varme brugsvand skal derfor være velisolerede i hele bygningen. Evt. kan man overveje at anvende en rør i rør løsning, hvor returrøret for det varme brugsvand føres inden i fremløbs-røret.

I forbindelse med flere boligblokke, der betjenes af én varmecentral, er det vigtigt at anvende godt isolerede rør mellem bygningerne. Det anbefales her at anvende fjernvarmerør.

B.2.1.6 Pumper

Der går en del pumpeenergi til at føre det varme vand (både varmt brugsvand og til rumopvarmning) rundt i en etagebebyggelse. Der skal derfor anvendes energieffektive (A-mærkede) pumper velegnet til deres formål. Et specialtilfælde er igen varmepumper, der kræver en stor volumenstrøm og derfor større pumper end fjernvarmeanlæg.

B.2.1.7 Varmeflader i ventilationsanlæg

Hvis effektiviteten af varmeveksleren i et balanceret mekanisk ventilationsanlæg er for lav, er det typisk nødvendigt at eftervarme den friske luft, for ikke at skabe trækproblemer i lejlighederne. Hvis effektiviteten af varmevekslere modsat er meget høj, vil der i perioder med frostvejr kunne opstå isdannelse i varmeveksleren, hvilket nedsætter effektiviteten og i værste fald blokerer for luftgennemstrømningen. Dette kan modvirkes ved kortvarigt at slukke for den friske luft eller ved at forvarme den friske luft før varmeveksleren med varme fra opvarmningssystemet. I begge tilfælde koster det energi.

Varmeflader i et ventilationsanlæg skal benyttes mindst muligt, og rørene til disse varmeklader skal være velisolerede – specielt hvis de føres i et uopvarmet loftrum.

B.2.2 Ventilationsanlæg

Ilt og en god luftkvalitet er nødvendig for menneskets velbefindende. Formålet med ventilation er at bringe frisk luft til boligen og samtidig fjerne forurenende stoffer fra indeluften: CO₂, fugt, støv og afgassede stoffer fra materialer i boligen samt fra madlavning.

Ældre etageejendomme er typisk naturligt ventileret eller har afkastventilation. Naturlig ventilation har det problem, at luftskiftet er meget skiftende og typisk for lavt. Afkastventilation har det problem, at luften suges ind koncentreret gennem facaden, hvorved der kan opstå træk, der leder til, at friskluftventiler ofte lukkes eller blokeres, så luftskiftet bliver for lavt.

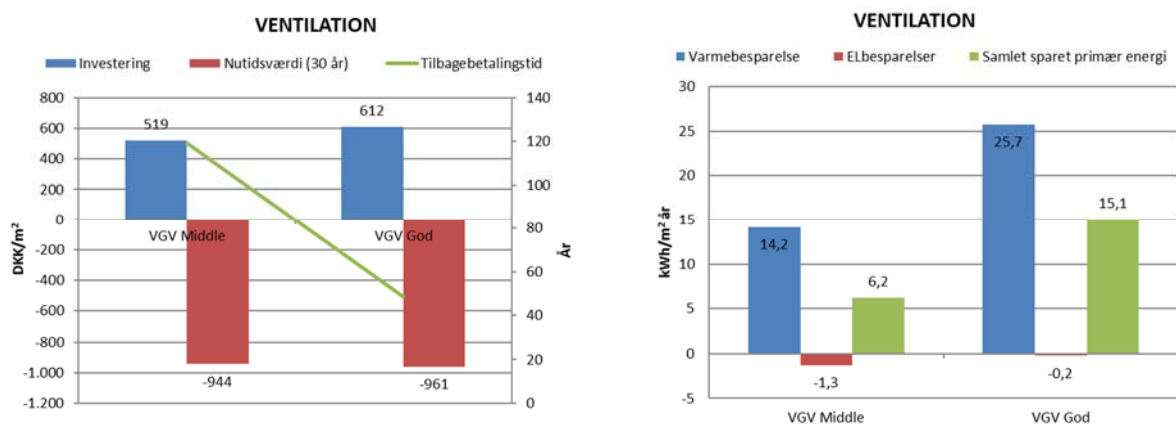
B.2.2.1 Mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding

I dag bliver alle nye bygninger opført med balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Balanceret betyder, at der blæses ca. lige så meget luft ind i bygningen, som der suges ud. På den måde er det muligt at sikre et kontrolleret luftskifte i bygningen, hvis klimaskærmen samtidig er tæt. Varmegenvinding betyder, at en stor del af varmen i afkastluften bliver overført til den friske luft, der blæses ind i bygningen. Hvis effektiviteten af varmeveksleren er høj, blæses luften ind med en temperatur, der ikke skaber træk, med mindre det er meget koldt udenfor. I det tilfælde kan en varmeklader i ventilationsanlægget

sikre mod træk. Varmevekslerens effektivitet ligger typisk mellem 65 og 90 %. Der bør stiles efter en så høj effektivitet som muligt.

Figur B.6 viser resultatet af beregninger, hvor traditionel afkastventilation (udsugning fra køkken og bad, mens luften til bygningen sker gennem friskluftventiler i vinduerne samt utætheder i klimaskærmen) bliver erstattet med et balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding (VGV) som eneste renoveringstiltag. Der er undersøgt to typer af balanceret mekaniske ventilationsanlæg:

- VGV middel med øget tæthed til 1,0 l/s pr. m² (inkl. qi værdi, men øget tæthed priser ikke inkl.), SEL: 1,5 kJ/m³, effektivitet: 67 %.
- VGV god med øget tæthed til 0,5 l/s pr. m² (inkl. qi værdi, men øget tæthed priser ikke inkl.), SEL: 1,2 kJ/m³, effektivitet: 90 %.
- Elforbruget er højere ved implementeringen af mekanisk ventilation med varmegenvinding, sammenlignet med det eksisterende udsugningssystem. Derfor er elbesparelsen negativ.



Figur B.6. Beregningseksempel hvor traditionel udsugningsventilation er erstattet med balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Ventilationsanlægget med VGV på 67% indgår i renoveringspakken "alligevel renovering" i Appendiks A, da dette tiltag mere gennemføres for at forbedre indeklimaet end for at opnå energibesparelser. Figur B.6 viser, at hvis man alligevel installere mekanisk ventilation med varmegenvinding, så er det både økonomisk og energimæssigt bedst at vælge et så godt anlæg som muligt.

B.2.2.2 Ventilatorer

Der bør altid anvendes energieffektive ventilatorer, men selv med energieffektive ventilatorer kan elforbruget blive højt, hvis det ikke samtidigt sikres, at tryktabet over ventilationsanlægget ikke er højt. Bygningsreglementet stiller derfor krav om en maks. SEL værdi, som er den energimængde, der kræves for at flytte en m³ luft rundt i bygningen. I BR15 er dette krav 1.800 J/m³ for etageboliger og 1.000 J/m³ for en-familieboliger (den sidste værdi er relevant, hvis der installeres individuel ventilation i hver bolig i en etageejendom).

B.2.2.3 Decentral vs. central ventilation

En stor udgift ved energirenovering af etageejendomme er installation af ventilationskanalerne til den balancerede mekaniske ventilation, idet det kræver trækning af kanaler både lodret og vandret i bygningen. Det kan derfor være nærliggende at installere individuelle anlæg i hver lejlighed med indtag og afkast i facaderne, da der derved ikke er brug

for store kanaler lodret i bygningen. Typisk ender det dog med centrale anlæg med kanaler til og fra et ventilationsaggregat på et uudnyttet loftrum, bl.a. fordi det her er lettere at sikre den nødvendige afstand mellem indtag og afkast.

B.2.2.4 Ventilationsvarmepumpe

Varmegenvinding på ventilationsluften kan også etableres i forbindelse med afkastventilation. Varmegenvinding sker ved, at varmen fra afkastluften overføres til opvarmningssystemet ved hjælp af en luft/væske varmepumpe, der trækker varmen ud af afkastluften fra bygningen og overfører den til det vandbårne rum- og/eller varmtvandssystem. Hvis varmen anvendes til at forvarme varmt brugsvand, kan varmen fra afkastluften også nyttiggøres i sommerhalvåret.

B.2.3 Lys

Ældre lysarmaturer bør udskiftes med nye armaturer, specielt bør LED belysning overvejes på grund af lavt energiforbrug og lange levetider. Belysningen bør styres af bevægelses-sensorer og dagslysfølere.

B.3 Vedvarende energi

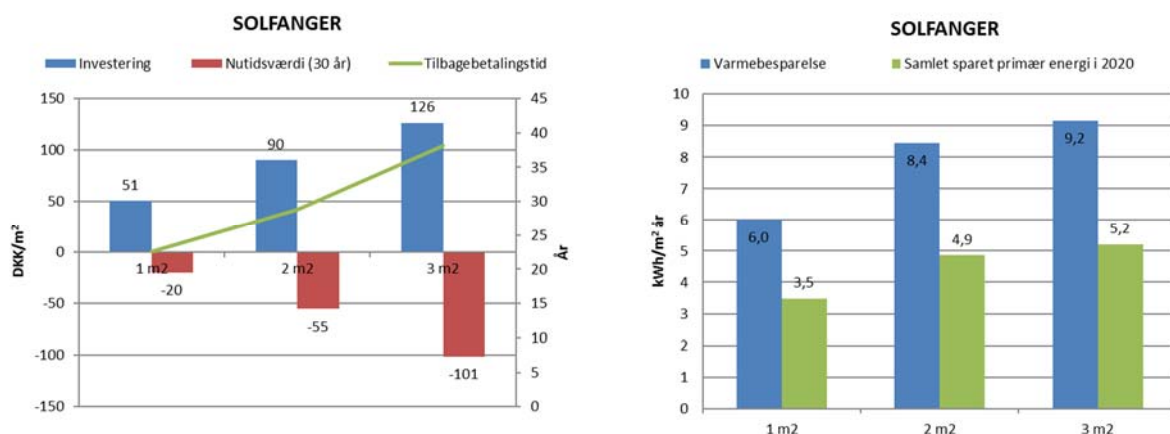
En bygnings forbrug af energi fra energinettet (el og fjernvarme) kan yderligere nedbringes ved at installere vedvarende energi på bygningen i form af fx solvarme og/eller solceller.

B.3.1 Solvarme

Da der typisk er et relativt stort varmtvandsforbrug i etageboliger, bør et solvarmeanlæg overvejes, hvis tagarealet ellers er velegnet til dette. Taget bør være uden skygger og have en hældning på mellem 15 og 75° og være orienteret mellem sydøst og sydvest. Den bedste økonomi opnås i forbindelse med en samtidig udskiftning af tagbelægningen.

Figur B.7 viser beregninger, hvor der er installeret et solfanger-areal på hhv. 1, 2 og 3 m² pr. lejlighed.

Det ses af figur B.7, at tilbagebetalingstiden for det lille areal på 1 m² pr. lejlighed er i samme størrelsesorden som levetiden for solfangerne. Specielle forhold som f.eks. et stort forbrug af varmt brugsvand kan dog gøre, at et større solvarmeanlæg kan være fornuftigt.



Figur B.7. Beregningseksempel hvor der er installeret et solfanger-areal på henholdsvis 1, 2 og 3 m² pr. lejlighed.

B.3.2 Solceller

Indtil 2012 var det en rigtig god forretning at forbedre en bygnings energiklasse ved at installere solceller på bygningen. Det omgivende el-net kunne anvendes som et tabsfrit lager (nettomålerordningen), og al den producerede el kunne anvendes til at forbedre bygningens energiklasse.

Nettomålerordningen blev i 2012 afløst af overgangsordninger, der bringer prisen for solgt el til nettet ned fra indkøbsprisen for el til den øjeblikkelige produktionspris i el-systemet, som i 2016 i gennemsnit var omkring 26 øre.

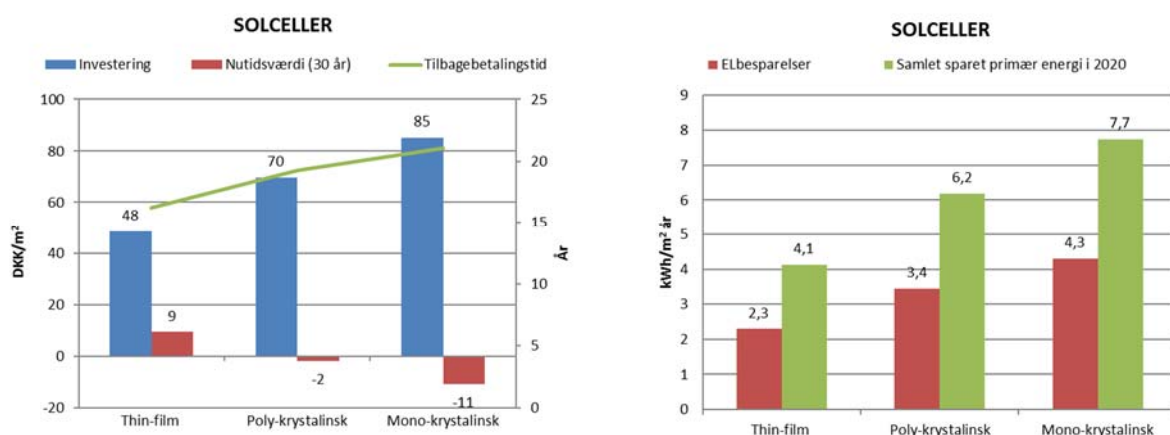
Figur A.3 i Appendiks A viser, at der ikke er sammenfald mellem el-produktion og el-forbrug, mens figur A.4 viser, hvor stor en del af el-produktionen, der anvendes i den time solcelleanlægget producerer. Tabel A8/A.9 og A.10/A.11 viser, hvad dette betyder for rentabiliteten af at installere solcelleanlæg.

Selvom det er mindre rentabelt i dag at installere solcelleanlæg, viser figur B.8 en tilbagebetalingstid på 15-20 år, hvilket er kortere end solcellernes levetid. Solceller kan derfor anvendes til at bringe renoveringen af en bygning ned på den ønskede energiramme. Dog skal det erindres, at det i dag kun er tilladt at medregne 10 kWh/år produceret el pr. m² etageareal. Dvs. $10 \cdot 1,8 = 18,0$ kWh/m² primær-energi for Bygningsklasse 2020 til at forbedre energiklassen for bygningen.

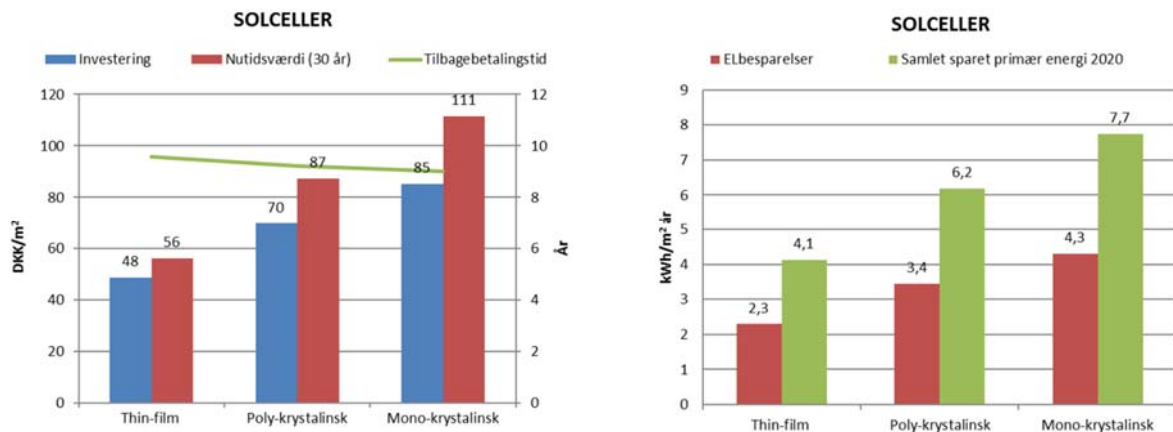
Solceller skal placeres på en flade uden skygger. Fladens hældning bør være mellem 15 og 75° og have en orientering mellem sydøst og sydvest.

Figur B.8 viser en beregning, for et solcelleanlæg på 56 m², hvilket på årsbasis dække elforbruget til bygningsdrift. 56 m² svare til 3,1 m²/lejlighed. Ca. to tredjedele af el-produktionen sælges til el-nettet. Beregningerne er gennemført for tre solcelletyper med forskellig effektivitet og pris: fra venstre mod højre på x-aksen: øget effektivitet og pris.

Figur B.9 viser det samme som figur B.8, men hvor værdien af hele el-produktionen er 2,20 kr./kWh. Dvs. at al elektriciteten anvendes i bygningen eller sælges til nettet til 2,20 kr./kWh som under det tidligere nettomåler ordning.



Figur B.8. Beregningseksempel med et 56 m² solcelleareal af forskellig type. En del af el-produktionen benyttes til bygningsdrift – resten sælges til nettet. Værdien af el-besparelsen er 2,20 kr./kWh, mens værdien af el solgt til nettet er 0,26 kr./kWh, som det fremgår af figur A.4 i Appendiks A.

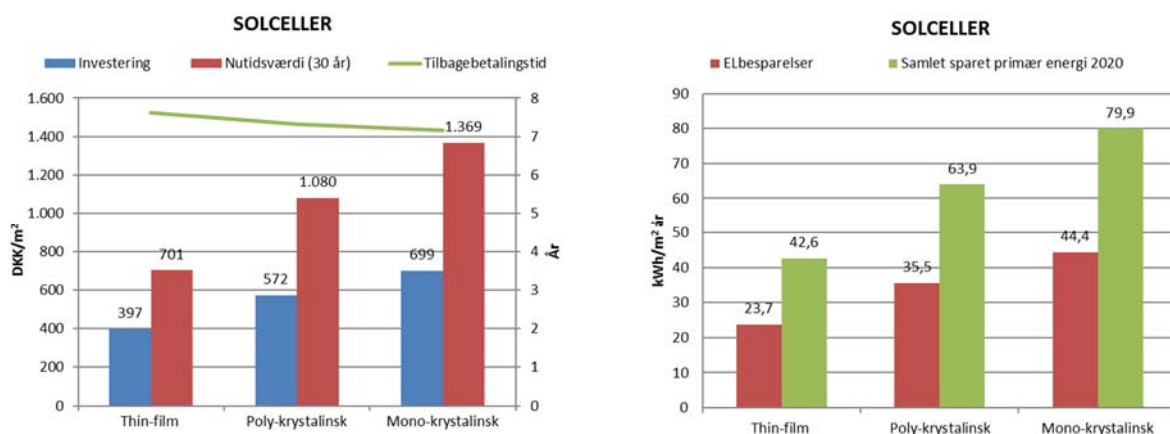


Figur B.9. Samme som figur B.8, men hvor hele el-produktionen udnyttes i bygningen. Ingen el sælges. Værdien af el-besparelsen er 2,20 kr./kWh.

Figur B.8 viser, at installationen af 56 m² solceller, hvis disse er tyndfilms-celler (Thin-film i figur B.9), er rentabel (positiv Nutidsværdi), mens tilbagebetalingstiden for alle typer af solceller er mindre end 20 år.

Figur B.9 viser, at nettomålerordningen var væsentlig mere rentabel for ejeren af solceller.

I figur B.10 er et større solcelleanlæg undersøgt. 576 m² eller 32 m²/lejlighed. Dette anlæg dækker det årlige elforbrug for både bygningens drift og elforbruget i lejlighederne. Det antages, at alt el anvendes i bygningen, hvilket vil sige, at intet el sælges til el-nettet. Dette er en tænkt situation, som for at kunne lade sig gøre kræver et meget stort batteri (der er dyrt), som ikke er med i beregningerne, eller en tilbagevenden til den tidligere nettomålerordning. Beregningen viser, at en bedre afregningsordning vil kunne øge anvendelsen af store solcelleanlæg i forbindelse med renovering af boligblokke (på grund af en høj nutidsværdi for investeringen) og dermed være med til at sikre overgangen fra fossil brændsel til vedvarende energi i det danske energisystem.



Figur B.10. Beregningseksempel med et 576 m² solcelleareal af forskellig type. Solcelleanlægget producerer på årsbasis samme mængde elektricitet, som anvendes til bygningens drift samt i lejlighederne. Hele el-produktionen udnyttes i bygningen. Ingen el sælges. Værdien af el-besparelse.

B.4 Referencer

- [B.1] Videncenter for energibesparelser i bygninger. Guide: Energirenovering af klimaskærm – Større Bygninger. <http://www.byggeriogenergi.dk/energiloesninger/>
- [B.2] Danmarks Statistik, 2017.