

SEPTEMBER 2015
ENERGISTYRELSEN (EUDP-SEKRETARIATET)

GADEHAVEGÅRD - RENOVERING TIL PASSIVHUSSTANDARD

SLUTRAPPORT

EUDP2009-II | JOURNAL NR. 63011-0078
"DENMARK'S FIRST PASSIVE HOUSE REHABILITATION OF APARTMENT BLOCKS"



Foto: Bjerg Arkitektur



domea.dk bjerg | arkitektur a/s

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

COWI

SEPTEMBER 2015
ENERGISTYRELSEN (EUDP-SEKRETARIATET)

GADEHAVEGÅRD - RENOVERING TIL PASSIVHUSSTANDARD

SLUTRAPPORT

EUDP2009-II | JOURNAL NR. 63011-0078
"DENMARK'S FIRST PASSIVE HOUSE REHABILITATION OF APARTMENT BLOCKS"

PROJEKTNR. A001844
DOKUMENTNR. -
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 01.10.2015
UDARBEJDET Maja Grud Minzari (COWI), Anders Lund Jansen (DTU), Lars Køhler (Bjerg Arkitektur), Brian Hartmann Nielsen (DOMEA)
KONTROLLERET SEM
GODKENDT SEM

INDHOLD

1	Indledning	7
1.1	Om projektet	7
1.2	Formål	8
2	Summary	9
3	Resume	11
4	Om Gadehavegård-bebyggelsen	13
4.1	Omlægning af fjernvarme ved Gadehavegård	14
1	Bygningsrenoveringen	16
1.1	Før renovering	16
1.2	Efter renovering	18
1.3	Tekniske tiltag	20
2	Beboerdemokrati	23
2.1	Proces	23
2.2	Produkt	24
3	Energi og indeklima	26
3.1	Passivhuskrav	26
3.2	Måleudstyr og dataindsamling	26
3.3	Energiforbrug	28
4	Indeklimaundersøgelse	33
4.1	Temperaturer	33
4.2	Relative luftfugtigheder	38
4.3	Anbefalinger til det resterende monitoreringsforløb	40

5	Sammenfatning	41
6	Referencer	42
7	Billeder	43

1 Indledning

1.1 Om projektet

Denne rapport udgør slutrapporten på EUDP-projektet "Denmark's First Passive House Rehabilitation of Apartment Blocks" med journal nr. 63011-0078. Projektet modtog tilsagn på 2.529.245 DKK fra Energistyrelsen i 2008 og er færdiggjort pr. 30.06.2015. Projektet er et udviklings- og demonstrationsprojekt og deltagerne i projektet er:

- › COWI A/S (projektleder)
- › DOMEA
- › Danske Funktionærers Boligforening (DFB)
- › Bjerg Arkitektur
- › DTU Byg

Henvendelse vedrørende EUDP-projektet kan ske til projektleder:

Svend Erik Mikkelsen, COWI A/S,

sem@cowi.dk

Rapporten er udarbejdet af følgende forfattere:

- › Maja Grud Minzari (COWI)
- › Svend Erik Mikkelsen (COWI)
- › Anders Lund Jansen (DTU)
- › Lars Køhler (Bjerg Arkitektur)
- › Brian Hartmann Nielsen (DOMEA og DFB)

Gadehavegård har været indstillet til RENOVERprisen 2015.

Projektgruppen påtager sig intet ansvar for den videre anvendelse af projektets resultater og værktøjer, som helhed eller i uddrag, ligesom der tages forbehold for evt. fejl og mangler.

1.2 Formål

Projektets formål var at demonstrere dybdegående energirenovering af etageejendomme til passivhusstandard med et energiforbrug til opvarmning på ned til 10 kWhW/m² samtidigt med, at ekstraudgiften til denne renovering var begrænset set i et totaløkonomisk perspektiv.

Projekt tager udgangspunkt i Gadehavegårdbebyggelsen i Taastrup, der er bygget i 1979-1982, renoveret i 1999 og nu trænger til endnu en renovering. Betonen er nedslidt, vinduernes levetid er overskredet, og der er problemer med kuldebroer, fugt og skimmel.

Renoveringen forventedes at kunne forlænge bygningens levetid betragteligt.

2 Summary

In the period autumn 2014 to spring 2015 block 9 in the Gadehavegård neighbourhood has been undergoing a deep energy renovation, which had the purpose of bringing down the heat consumption to passive house standard and at the same time extend the lifetime of the building and create a modern apartment block in a burdened district. The project has been on its way for a long time, as the process with resident involvement and approval has been long and complicated.

The building was external insulated on all facades, new windows, insulation of the roof, decentralized ventilation systems and inclusion of the build-in balconies with foldable glass facades. Furthermore, a new district heating meter has been installed in the building, and it is planned, that all district heating pipes in the Gadehavegård area are replaced. Heat exchangers with flow-through and district heating meters are installed in all blocks. The existing ten block centrals today serving the 19 apartment blocks will be removed.

Energy consumption and indoor climate has been measured and evaluated and compared to similar measurements in a neighbouring block. On average, the residents in the non-renovated block had an indoor temperature of 22 °C in the bedroom and a corresponding relatively high air humidity of approx. 40 %. In comparison, the residents in block 9 had an average indoor temperature of 23 °C in the bedroom and a corresponding relative air humidity of approx. 30 %. That is a higher temperature and a lower relative air humidity than in the non-renovated block.

Before the renovation block 9 had a district heating consumption of 61 kWh/m² per year. The total heat consumption for space heating and domestic hot water is reduced by 26-35 % dependent of the calculation method, see Figure 1 and ends up in **36.3 kWh/m²** gross area per year after the renovation, when the consumption is corrected for climate data and an indoor temperature of 23 °C instead of standard 20 °C. The electricity consumption for shared functions, decentralized ventilation and the resident's private electricity consumption is measured to be **23.3 kWh/m²** per year corresponding to a primary energy consumption of **58.25 kWh/m²** per year (factor 2.5). Overall, this gives a total primary energy consumption of **94.55 kWh/m²**.

Converted to net area the heat consumption is **23.7 kWh/m²** and will not reach the passive house standard of 15 kWh/m² per year. The total heat consumption for space heating and domestic hot water is **40.9 kWh/m²** per year, see Figure 2, but considering the total primary energy consumption of **106.4 kWh/m²** per year, this complies with the passive house demand of max. 120 kWh/m² per year.

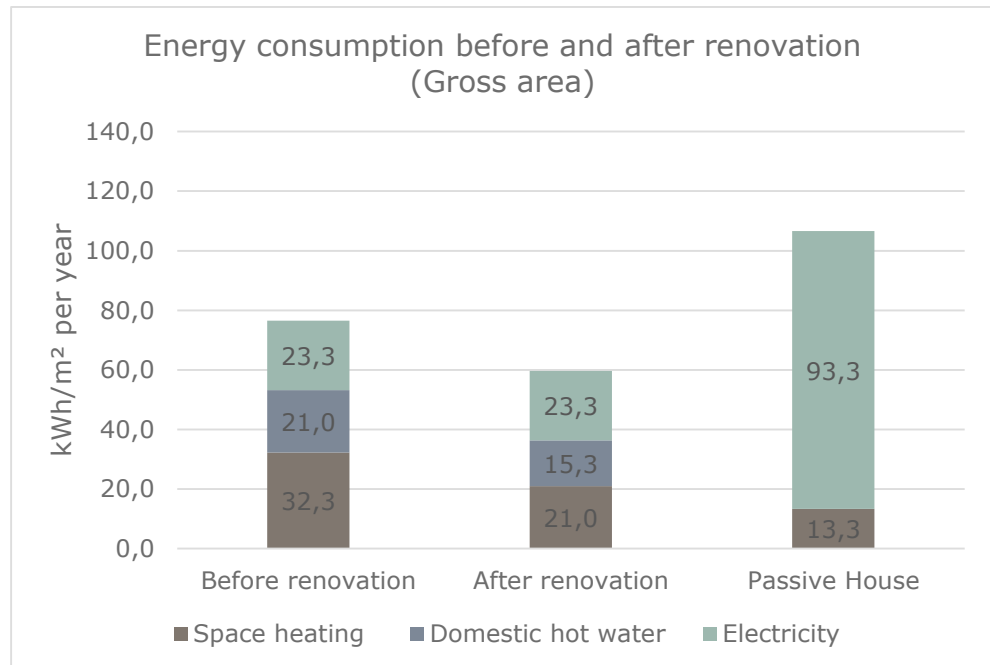


Figure 1: Total primary energy consumption before and after the renovation. The consumption is corrected for climate and a factual higher indoor temperature than standard (22 °C before and 23 °C after). Electricity primary energy factor: 2.5.

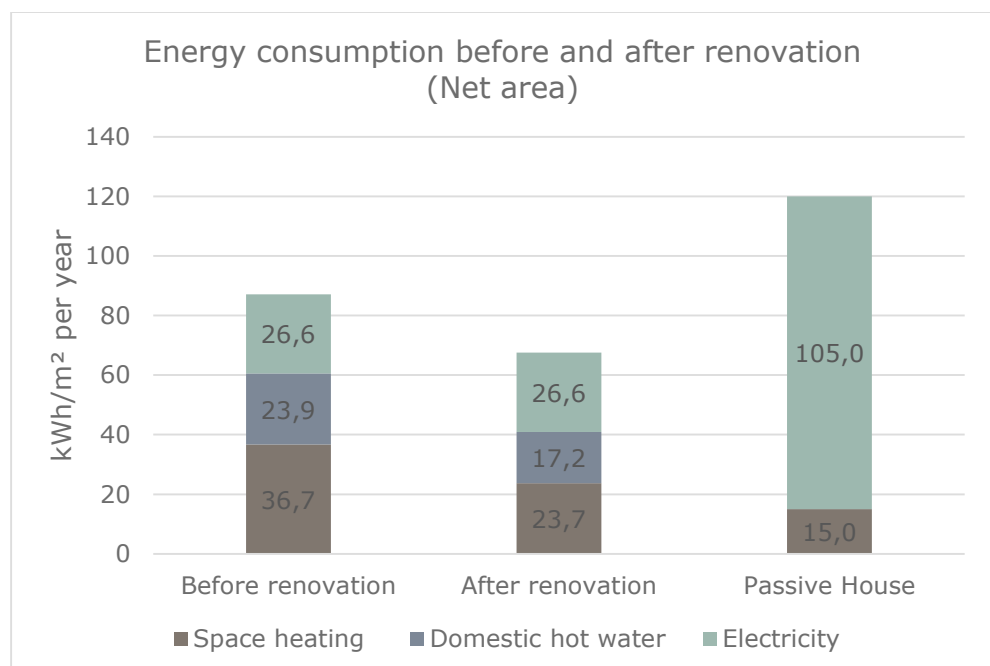


Figure 2: Total primary energy consumption before and after the renovation. The consumption is corrected for climate and a factual higher indoor temperature than standard (22 °C before and 23 °C after). Electricity primary energy factor: 2.5.

3 Resume

Blok 9 i Gadehavegård-bebyggelsen har i perioden efteråret 2014 til foråret 2015 gennemgået en dybdegående energirenovering, som havde til formål at nedbringe varmekonsumet til passivhusstandard og samtidig forlænge bygnings levetid og skabe en moderne boligblok i et belastet kvarter. Projektet har været længe undervejs, da processen med beboerinddragelse og godkendelse har været langvarig og kompliceret.

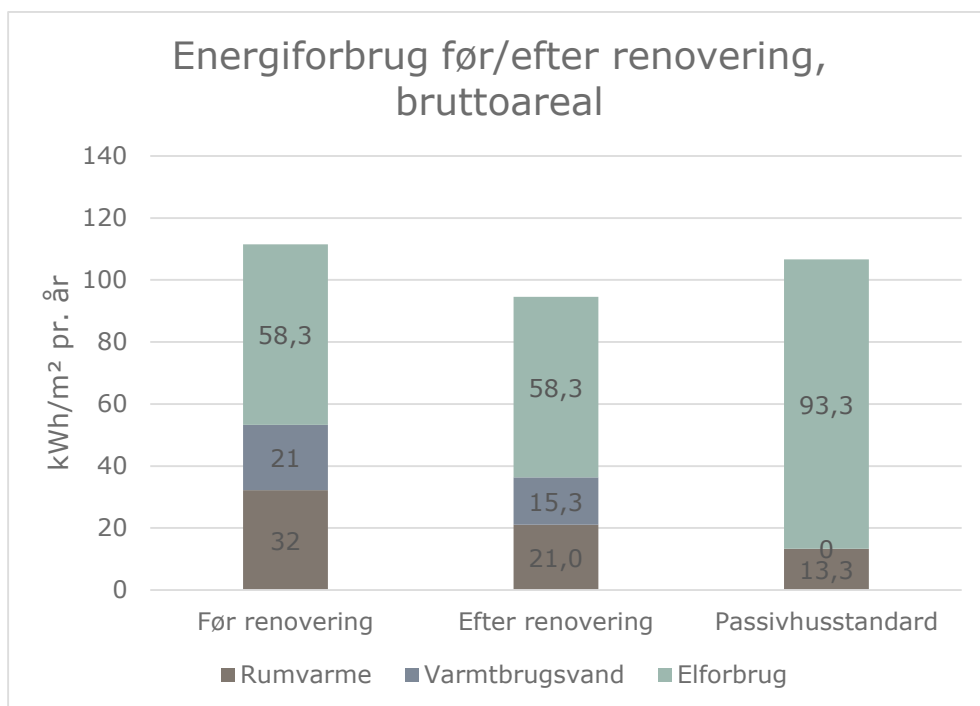
Bygningen har fået udvendig efterisolering på alle facader, nye vinduer, efterisolering af taget, decentrale ventilationsanlæg samt inddraget indbyggede altaner med foldbare glasfacader. Derudover, er der installeret en ny fjernvarmemåler i bygningen, og det er planen, at alle fjernvarmerør på Gadehavegård's område skal udskiftes, der installeres vekslere med gennemstrømningsvandvarmer og der opsættes fjernvarmemålere i alle blokke. De eksisterende 10 blokcentraler til de 19 blokke nedlægges.

Energiforbrug og indeklima er blevet målt og evalueret og sammenholdt med tilsvarende i en naboblok. I gennemsnit holdt beboerne i den ikke-renoverede blok en indetemperatur på 22 °C i stuen og 20 °C i soveværelse med en tilhørende relativ luftfugtighed på ca. 40 %. Til sammenligning havde beboerne i blok 9 en gennemsnitlig indetemperatur på 23 °C i stuen og 22°C i soveværelse med en tilhørende relativ luftfugtighed på ca. 30 %. Altså en højere temperatur og lavere relativ luftfugtighed end i den ikke renoverede blok.

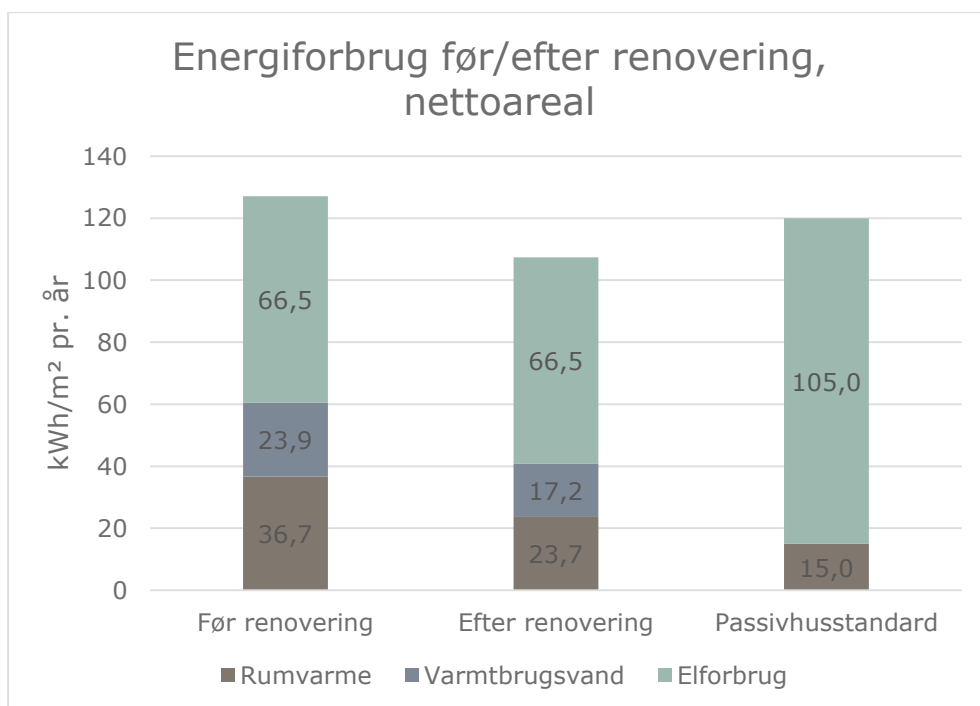
Blok 9 havde før renoveringen et fjernvarmekonsum på 61 kWh/m² pr. år. Det samlede varmekonsum til rumvarme og varmt brugsvand er reduceret med 26-35 % afhængigt af beregningsmetoden, se Figur 1, og lander på **36,3 kWh/m²** bruttoareal pr. år efter renoveringen, når forbruget er korrigeret for klimadata og en indetemperatur på 23 °C i stedet for 20 °C. Elforbruget til fællesfunktioner, decentral ventilation og beboernes private elforbrug er målt til 23,3 kWh/m² pr. år, som bliver til **58,25 kWh/m²** primærenergiforbrug ved en faktor 2,5. Samlet set giver det et totalt primærenergiforbrug på **94,55 kWh/m²**.

Omregnet til nettoareal lander rumvarmekonsumet på **23,7 kWh/m²** og når altså ikke helt ned på passivhuskriteriet på 15 kWh/m² pr. år. Det samlede varmekonsum til rumvarme og varmt brugsvand omregnes til **40,9 kWh/m²**, se Figur 2, men ses

på det totale energiforbrug på **106,4 kWh/m² pr. år** overholder dette fint passivhuskriteriet på max. 120 kWh/m² pr. år i primærenergibehov.



Figur 1: *Totalt primært energiforbrug før og efter renovering. Forbruget er korrigeret for klima og en faktisk højere indeklimatemperatur end standard. (22 °C før og 23 °C efter). Bruttoareal. Elforbrug er primærenergiforbrug (faktor 2,5).*



Figur 2: *Totalt primært energiforbrug før og efter renovering. Forbruget er korrigeret for klima og en faktisk højere indeklimatemperatur end standard. (22 °C før og 23 °C efter). Nettoareal. Elforbrug er primærenergiforbrug (faktor 2,5).*

4 Om Gadehavegård-bebyggelsen

Gadehavegård er et etagebyggeri i den almene boligsektor, som ligger tæt ved Høje Taastrup Station. Området er bygget 1977-1982, og med næsten 1.000 lejligheder fordelt på 19 blokke i 4 plan og tæt ved 2.500 beboere er Gadehavegård en af de største almene boligafdelinger i kommunen.

På grund af områdets alder står Gadehavegård over for en omfattende renovering og modernisering. Den seneste større renovering af området skete i 1999. Det er planen, at den nyrenoverede blok 9 skal være demonstrationsejendom for de resterende 18 blokke, der skal renoveres løbende i de kommende år.

Blok 9 består af 54 lejligheder med et samlet opvarmet brutto areal på 4.911 m², efter renoveringen. Bebyggelsen er i 4 plan med tilhørende kælder, hvor bl.a. installationer befinder sig.

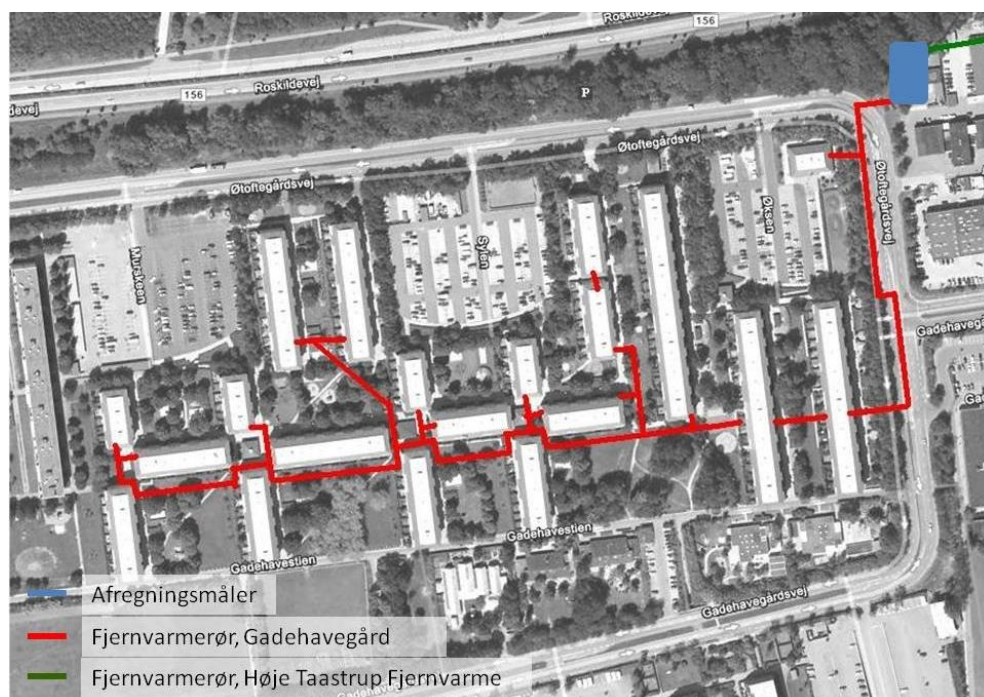


Figur 3: Luftfoto over Gadehavegård. Foto: ©COWI ©Geodata. DK-DDOland2010_125mm_UTM32ETRS89

4.1 Omlægning af fjernvarme ved Gadehavegård

Ud over den planlagte omfattende renovering af Gadehavegårds bygninger, er der også planlagt en omlægning af fjernvarmen på Gadehavegårds område.

Dette skyldes, at Gadehavegård i dag forsynes med fjernvarme fra Høje Taastrup Fjernvarme via en blokvarmecentral beliggende i det nordøstlige hjørne af Gadehavegård i svinget på Øtoftegårdsvej, se principskitse i Figur 4. I denne varmecentral sidder den fælles afregningsmåler for hele Gadehavegård. Varmetænderne i jorden er de oprindelige fra 1977-1982 og derfor tæt på at være udslidte. Der er et stort varmetab fra rørene svarende til ca. 35 % af Gadehavegårds samlede varme-forbrug. Omkostningerne til dette varmetab fordeles i dag mellem beboerne.



Figur 4: Principskitse over de eksisterende fjernvarmerør og placering af afregningsmåler.

Høje Taastrup Fjernvarme er anmodet om at etablere nye fjernvarmerør på Gadehavegårds område. Samtidig ændres afregningssystemet således, at den fælles afregningsmåler og vekslerstation i svinget på Øtoftegårdsvej nedlægges og der installeres individuelle målere på nye varmevekslere under hver blok, se principskitse i Figur 5. På denne måde vil beboerne kun betale for den varme, der forbruges i bygningerne. De nye rør vil være bedre isolerede og varmetabet fra dem vil blive mindre, hvilket betyder, at den samlede CO₂-udledning bliver mindre. Da rørsystemets ejerforhold overgår til Høje Taastrup Fjernvarme, overtager selskabet ligeledes vedligeholdelsen, og Gadehavegård undgår udgifter til reparation af det gamle rørsystem.

Forslaget forventes at blive godkendt af Høje Taastrup Fjernvarme, da forslaget også er i fjernvarmeselskabets interesse. Høje Taastrup Fjernvarme indgik i 2009 en energispareaftale med Dansk Fjernvarme og Energistyrelsen, hvilket forpligter selskabet til at reducere energiforbruget med 4.622 MWh om året i perioden 2010-2012.

1 Bygningsrenoveringen

1.1 Før renovering

1.1.1 Gadehavegårds arkitektur

Gadehavegård er produktet af en tid hvor industrialiseringen nærmest tog overmagt, og hvor der i jagten på en ny industrialiseret og optimeret ny byggeform, var en uheldig tendens til nærmest at glemme både arkitektur, men endnu værre mennesket i arkitekturen.

Gadehavegård er først og fremmest en meget stor bebyggelse. Med primært meget store boligblokke, der på både indgangs såvel som på altansiderne fremstår fremmedgørende og ikke er hverken opmuntrende, menneskelige eller imødekommende i deres materialevalg, udtryk, skala og formgivning. Indgangsfacaderne er uden individualitet og genkendelighed, og nærmest skriger af industrialisering og ensretning. Forskellen mellem indgangsfacade og altanfacade er overvældende, og der er ikke noget der binder disse visuelt sammen, ud over brugen af beton i forskellige afskygninger.

Altanfacaderne er begravet bag de meget store og meget dybe altaner med meget lukkede og visuelt tunge brystninger, der har den uheldige konsekvens, at de fjerner livet fra facaderne og rykker mennesket langt ind i bygningerne, væk fra lys, luft og de grønne fællesarealer. Dette medfører, at bygningerne og derved bebyggelsen som helhed føles menneskeforladt, når man bevæger sig rundt i bebyggelsen. Dvs. de ellers meget velplejede og meget grønne mellemrum og offentlige rum mellem bygningerne, fremstår tomme, livsforladte og mentalt utiltalende. Dette understøtter igen oplevelsen af en bebyggelse, der ikke er bygget til mennesker og liv.

Bebyggelsens grønne områder er som nævnt af høj kvalitet, både mht. ophold, leg og møder mellem beboerne. Ønsket om at korrigere og rette op på dette misforhold mellem lejligheder og derved beboerne og det grønne fællesareal mellem bygningerne, har dannet udgangspunkt i den arkitektoniske og energimæssige løsningsmodel, der blev fremlagt og udført på blok 9.

1.1.2 Blokkens konstruktioner

Bygningerne er oprindeligt opført i præfabrikerede betonelementer med konstruktionsløsninger, der af gode grunde er optimeret til denne produktionsform. Dette har medført flere meget store kuldebroer flere steder i bygningerne, hvor betonen gennembrøder klimaskærmen for at kunne ligge af på de bærende elementer i bygningen. Disse kuldebroer har vist sig at skabe indeklimaproblemer i form af skimmel-svamp og fugt i lejlighederne samtidig med, at de medfører en forøget driftsudgift for beboerne, da varmen strømmer ud af lejlighederne i de kolde måneder. Et af hovedformålene med den nye passivhusrenovering, har været at fjerne disse kuldebroer og derved både sikre bygningens og beboernes sundhed samtidig med en kraftig reduktion af blok 9's energitab.

1.1.3 Energi reference beregning og PHPP

Beregnet baseline for projektet blev først udført i et total økonomisk software, hvor energirammen i en før- og efter-situation beregnes og hvor investering og driftsbesparelse samt økonomiske parametre såsom energiprisstigning, inflation og investeringsomkostninger medtages. Som grundlag for projekteringen op mod passivhus krav og som grundlag for optimering blev der gennemført en PHPP-beregning i PHPP vers. 1.0.07 © bjerg arkitektur a/s 2011. PHPP-softwaret er videreudviklet på basis af PHPP 1.0.07 således, at der sker en digital overførsel af de geometriske data fra en 3D-Revit tegningsmodel. I PHPP suppleres med data for U-værdier og energidata for vinduer og klimaskærm i øvrigt samt VVS-systemer.

PHPP-beregningen er desuden anvendt til beregning af en "før-situation". I PHPP før-situationen er der forskellige værdier, som er vurderet. For eksempel er bygningens utæthed en antaget værdi. PHPP-beregnings resultat ses i Tabel 1:

Tabel 1: PHPP-beregningsresultat

Før-situation	Resultat
Varmebehov	80 kWh/m ² pr. år
Varmeeffekt	41 W/m ²
Antaget lufttæthed	5,6 h ⁻¹
Total energibehov	133 kWh/m ² pr. år

Tabel 2: Beregningsinput

Klimaskærmen, før	U-værdi, W/m ² K
Ydervæg mod balkon - syd	0,38
Ydervæg mod betonvæg	0,57
Tag	0,37

Kælderloft	0,35
Kælder ydervæg/sokkel	3,7
Vinduer, indbygget gennemsnit	2,93
Ventilation:	Udsugningsanlæg central og naturlig ventilation.

I bebyggelsen er der før energirenoveringen indsat et mekanisk udsugningsanlæg. Det er uklart i hvor høj grad, anlægget har fungeret, da udsugningskanaler er observeret tillukket hos nogle beboere. Ventilering med naturlig ventilation via vinduer har nok i nogen grad fungeret, da facade mod syd er orienteret mod balkon.

1.2 Efter renovering

Overordnet set har vi fokuseret på at finde balancen mellem en optimal energirenovering, hvor de byggekonstruktive udfordringer er blevet løst og afklaret, og hvor de energimæssige ambitioner er blevet løftet til fulde, og så en menneskelig, human tilgang til arkitekturen. Det ene har ikke kunnet tage front i forhold til det andet, og de løsninger, funktionelle, visuelle, konstruktive og energimæssige, der er implementeret på Blok 9, har alle haft grobund og udgangspunkt i begge disse aspekter.

Generelt set har vi skabt en ny klimaskærm for bygningen, som er blevet udformet med øje for at løse de konstruktive problemer, minimere bygningens energitab og løfte mennesket i bebyggelsen. Bygningen er blevet isoleret udvendigt, hele vejen rundt. Loftrum er blevet yderligere efterisoleret og omkring bygningens fundamenter, er der ført isolering ned for at bremse kuldebroerne fra jord til bygning.

På altansiden er der valgt en alternativ løsning, hvor den nye klimaskærm er ført forbi på ydersiden af de store betonaltaner. Herved er altanerne blevet flyttet om på den opvarmede side af klimaskærm og kan fremadrettet bruges som et uopvarmet "orangeri", som nu muliggør helårligt ophold. Vi har ændret åbningerne ved disse altaner til at være mere lodrette frem for horisontale, for som nævnt visuelt at ændre bygningens horisontale retning til en mere vertikal. De store vinduespartier der her er sat i facaden, skaber ude fra transparens og åbenhed ind til lejlighederne og indefra skabes større tilhørsforhold til de grønne fællesarealer mellem bygningerne.

Denne løsning er netop valgt og udviklet i tæt parløb mellem de rigtige, gennemtænkte energiløsninger og ønsket om at inddrage mennesket i arkitekturen. Ved denne løsning får vi både bremset og neutraliseret de meget store kuldebroer, hvor altanernes beton løber ind gennem den gamle klimaskærm, og vi får samtidig trukket livet i lejlighederne ud til facaderne, så dette er "tilgængeligt" og synligt fra mellemrummet mellem bygningerne.

Udformningen af vinduespartierne ved de nye "orangerier" fordrede en ny afstemning, da brugergruppen efter lang tids arbejde, besluttede at vælge en løsning med

et samlet foldbart parti, som var bedre rent funktionelt, men markant dyrere end de oprindeligt tiltænkte vinduer. De nye foldevinduer blev ligeledes stemt igennem.

Selve taget har ikke været en del af projektet, da dette blev udskiftet for ca. 10 år siden, og stadigvæk er i god stand.

1.2.1 Det visuelle udtryk

Vi har visuelt ønsket at bryde størrelsen af blok 9 ned, med henblik på en fremtidig samlet løsning til hele bebyggelsen. Dette har vi gjort ved at vende den primære facaderetning fra at være horisontal til at være vertikal og derved bryde bygningsstørrelserne ned i mindre enheder.

Yderligere har vi visuelt opdelt blokkene i mindre "rækkehuse", hvilket er gjort med tilføjelsen af de bevægelige skodder som solafskærmning på havefacaden, som var for nødvendige for både energikonceptet og indeklimaet. Ved deres markante og livlige farver markerer de et enkelt "rækkehus" omkring en enkel opgang.

De farvede skodder bidrager yderligere til bevægelige friske facader, der binder bygningerne sammen med de farverige udearealer, samt udtrykker dynamik, liv og menneskelig individualitet.

For desuden at binde indgangsfacade og havefacade sammen er disse farver gentaget på indgangssiden omkring indgangene og i vinduesbåndene. Dette har skabt en samhørighed, individualitet og menneskelig relation, som ikke var der forinden – ex. jeg bor i den grønne opgang.

Alle facader er pudsede. Der er i parteretagen brugt en antracitgrå farve og i de øverst liggende etager en hvid puds. Dette skel er udført for visuelt at gøre bygningen lettere, med den hvide masse der "ligger" oven på den grå masse i bunden.

1.2.2 Energi reference beregning og PHPP - efter

PHPP beregningen er anvendt til beregning af en "efter renoverings situation" med norm værdier for bruger adfærd og husholdning. I PHPP-projektering er der forskellige værdier, som er antaget. For eksempel er bygnings utæthed en antaget værdi for en blowerdoor-test. PHPP-projekteringsens beregningsresultat:

Tabel 3: PHPP-beregningsresultat

Efter-situation	Resultat
Varmebehov	10 kWh/m ² pr. år
Varmeeffekt	9 W/m ²
Antaget lufttæthed	1,0 h ⁻¹
Total energibehov	90 kWh/m ² pr. år

Tabel 4: Beregningsinput

Klimaskærmen, før	U-værdi, W/m ² K
Ydervæg mod balkon - syd	0,13
Ydervæg mod betonvæg	0,14
Tag	0,11
Kælderloft	0,35
Kælder ydervæg/sokkel	0,10
Vinduer, indbygget gennemsnit	0,92
Ventilation:	Effekt veksler 83%. : Udsugningsanlæg med varmegenvinding i modstrømskrydsveksler, decentral pr. bolig og naturlig ventilation for sommer komfort.
Solafskærmning	Screens

I Projekteringen er der arbejdet først med et centralt placeret anlæg, der kunne udnytte eksisterende rørføringer. Pga. pladmangel og skærpede brandkrav er der dog slutteligt projekteret med og udført decentrale anlæg. Naturlig ventilation via vinduer kan ske sammen med mekanisk ventilation for natkøling i sommerperioden. Balkonen og de konstruktive kuldebroer her er annulleret ved at omslutte de bærende betonkonstruktioner med klimaskærmen.

Varmetab mod kælder er begrænset, da varmetab fra kælderens varmerør holder et relativt højt temperatur niveau. Varmetabsfaktor for kælderloft er 0,24 og det anbefales derfor først renoveret sammen med en evt. renovering af fjernvarmefordelingsrør. Kælderydervæg isoleres for at minimere kuldebro ved etagedækkets randområde og kælder ydervæg.

1.3 Tekniske tiltag

Helt essentielt for en energirenovering er der opsat nye ventilationssystemer i hver lejlighed. Der er i Gadehavegårds tilfælde valgt en decentral løsning, hvor hver lejlighed har sit eget aggregat og fungerer uafhængigt af de andre lejermål. Der er valgt to forskellige aggregater for at imødekomme forskellige lejlighedstyper. I de store lejligheder er der valgt lofthængte aggregater, der er monteret i loftet i lejlighedernes depot, og for de lejligheder, der ikke har et depot, er der opsat et emhættebaseret ventilationsaggregat. Der er desuden ført den nødvendige rørføring rundt i lejlighederne, som er udformet med det formål for øje at mindske den visuelle påvirkning af disse kanaler i lejlighedernes rum. Kanalerne er f.eks. ført uden om entréen, da vi ved, at den oplevelse man får, når man træder ind i en lejlighed for første gang, dvs. hvad man oplever her, udstikker i stor grad den oplevelse, man har

af lejligheden som helhed. Kanalerne er inddækket og malet hvide, ligeledes for at mindske den visuelle påvirkning for beboerne. Alle anlæg kan ikke slukkes inde fra lejligheden af beboeren, da dette potentielt kunne skabe store problemer for indeklima og drift af bygningerne.

Der er desuden sat en el-forvarmer i disse anlæg, som går i drift, hvis der måles for kolde temperaturer på luften, der trækkes ind fra facaderne. På denne el-forvarmer er der sat en maksimal indblæsningstemperatur på 19 °C. Dette er gjort for at sikre, at ventilationsanlæggene med el-forvarmeren som varmekilde ikke kan bruges som lejlighedernes primære varmekilde, hvilket aldrig har været ønsket.

Lejlighedernes eksisterende varmeanlæg, fjernvarme og radiatorer er blevet bevareret, da en totaløkonomisk beregning viste, at dette ville være det mest økonomisk fordelagtige. Dette anlæg er efterfølgende blevet indreguleret til de nye behov for fremløbstemperaturer.

Der er på bygningens tag, monteret et 203 m² stort solcelleanlæg. Dette solcelleanlæg er opsat til generering af el til fællesarealer, og bidrager desuden til driften af de nye ventilationsanlæg i bygningen.



Figur 6: Altaner under byggeperioden, inden den nye glasfacade er monteret.



Figur 7: Altaner under byggeperioden, efter den nye glasfacade er monteret.

2 Beboerdemokrati

2.1 Proces

Inden for de almene boligselskaber står og falder alle gode idéer og projekter med, om beboerdemokratiet i sidste ende bakker op om et forslag til en ændring, forandring eller forbedring – samt ikke mindst konsekvenserne heraf.

Der har fra start af været en utvetydig og solid opbakning fra afdelingens bestyrelse og driftsledelse, som ikke kun straks så de praktiske og konkrete fordele ved energireoveringsprojektet, men også muligheden for at gøre Gadehavegård kendt for andet end at være en boligafdeling på "ghettolisten".

I januar måned 2013 blev der afholdt et sidste informationsmøde, hvorefter projektet skulle konkretiseres så meget, at der kunne afholdes et besluttende ekstraordinært afdelingsmøde omkring rammen for gennemførelse af projektet.

I perioden frem til ultimo november 2013 blev projektet konkretiseret ud for et forløb, hvor primært teknikkerne i projektet var den drivende kraft og afdelingsbestyrelsen i begrænset grad blev brugt som retningsgiver. I ugen op til det besluttende afdelingsmøde blev der afholdt en række "Åbent Hus"-arrangementer, hvor interesserede beboere havde mulighed for at komme og stille spørgsmål til det omdelte materiale m.m. Projektgruppen fik til gengæld en række værdifulde tilbagemeldinger, som i høj grad kunne indgå i forberedelsen til det førnævnte afdelingsmøde.

Afdelingsmødet besluttede at gennemføre projektet – om end det var tydeligt, at der var meget stor fokus på især "herlighedsværdien" af altanerne. Herudover var det tydeligt, at en række energitekniske løsninger, som var nødvendige for at nå målene, skulle italesættes endnu bedre i processen for at sikre en større forståelse og ejerskab for løsningerne blandt beboerne.

I styregruppen besluttedes det, som følge af en passioneret debat omkring projektet blandt beboerne, at nedsætte et beboerudvalg under afdelingsbestyrelsen, hvis opgave undervejs var at agere sparringspartner for projektgruppen. Til gengæld var håbet, at projektet ville få en række ambassadører uden for kredsen i afde-

lingsbestyrelsen og at flere "øjne" var med til at kvalitetssikre de løsninger som fremover skulle konkretiseres endnu mere.

Der blev samlet en beboerudvalgsgruppe på ca. 18-20 interesserede beboere og bestyrelsesmedlemmer, som fulgte projektet videre igennem projekteringsfasen, og undervejs blev der holdt ca. 5 møder med gruppen frem til det afgørende afdelingsmøde.

I det videre arbejde frem til det endelige afdelingsmøde i juni måned 2014 blev bl.a. emner som funktionaliteten af altanerne, privatliv på altanerne, farvetema for bebyggelsen og rørføring for ventilationsanlæg behandlet som de væsentligste emner. Igennem beboerinddragelsen blev det også tydeligt, at der var opbakning og forståelse for, at opgraderede løsninger ville koste lidt mere i husleje. Med andre ord fik alle parter et andet blik på dimensionen omkring huslejestigningen efter beboerinddragelsen, i det der inden beboerudvalgets inddragelse var mange følelsesmæssige antagelser omkring "en rimelig huslejestigning" fra bestyrelse og projektgruppen. Efter beboerudvalgets inddragelse blev konkrete ønsker om opgraderinger i projektet prissat, og anbefalingen fra et enigt beboerudvalg var at udvide den økonomiske ramme for projektet.

Projektet endte med at blive næsten dobbelt så dyrt målt på huslejestigning, men med beboerudvalgets opbakning og anbefaling om gennemførelse vedtog et ekstraordinært afdelingsmøde i juni måned 2014 at gennemføre energirenovierungsprojektet trods dette.

2.2 Produkt

I projektet var der mange faktorer og interesser, som mødtes og endte med at gå op i en højere enhed. Afdelingen var nedslidt og var begyndt at indstille sig på nødvendigheden af en større renoveringsindsats. At renoveringsprojektet fik mulighed for at blive en realitet i Gadehavegård var det ikke mindst pga. en række ildsjæle i afdelingsbestyrelsen brændte for grønne og energi- og miljørigtige løsninger, også hvad bygningsdrift og renovering angår. Det var måske ikke så væsentligt for den enkelte beboer, hvad den endelige energiramme blev – nok nærmere hvad man ville få, hvad man ville slippe for af "bøvl" med en dårlig klimaskærm, og ikke mindst hvad det ville ende med at koste. Projektet havde et højt ambitionsniveau på de energitekniske løsninger, og som følge heraf et medbragt økonomisk støttebidrag til både rådgivning og anlæg. Beboerne har til gengæld måttet acceptere, at der ikke var helt "frit slag" omkring de byggetekniske løsninger.

Rådgivningen omkring projektet både i den besluttende og udførende fase har været en nøgleydelse. Der er ingen tvivl om, at der har skullet bruges ekstra ressourcer på at visualisere og italesætte de løsninger, som måske var mere nødvendige end efterspurgte blandt beboerne.

I bygningsdesignet var arbejdet omkring altanerne og funktionaliteten af disse en særlig udfordring. Lysindfald, privathed og muligheden for at åbne vinduespartiet i altanen var temaer, som fyldte meget i projektet. Det var en særdeles interessant

opgave at skabe forståelse i beboergruppen for, at der var en energiramme, som skulle overholdes, og at dette materialiserede sig eksempelvis i, at der var krav om, hvor store vinduesarealerne måtte være og hvor meget sollys, der måtte komme igennem.

For dem som ønskede privatliv på en mere åben altan, blev der eksempelvis designet en folie til montering på glasset, som tillader solenergien at passere, men giver bedre mere på altanen. Løsningen blev i dette tilfælde frivillig og for egen regning.

Brugsværdien af altanerne blev sikret ved at udforme vinduerne som foldevinduer med et fast parti i bunden. Herved kunne man bibeholde sin indretning med have-møbler m.m. på altanen og samtidig "åbne op", når vejret tillader det. Således bevares den bedste funktion fra den gamle altan med designet på det nye. Bagsiden af løsningen var omvendt, at der reelt set kun var to leverandører på markedet og at prisen blev uforholdsvist meget højere grundet skrappe passivhus-krav til vindueskomponenter.

Projektet har været vigtig for afdelingen af flere grunde og via støtten har det været oplagt at afprøve forskellige løsninger i 1:1 før der udrulles et renoveringsprojekt for de resterende 18 andre blokke. Det er ikke givet, at afdelingen vælger et ambitionsniveau, som matcher Passivhus-standard, men der er ingen tvivl om, at energieffektive løsninger er i fokus for afdelingen fremover. Evnen til at kunne kapitalisere og konsekvensberegne energieffektive løsningsforslag, samt omsætte disse til debatoplæg i en beslutningsproces, som både er præget af følelser og fakta, er uvurderlig, og har været en meget vigtig øvelse for afdelingen og projektgruppen.

3 Energi og indeklima

I dette afsnit evalueres bygningens energiforbrug og indeklima baseret på faktiske målinger foretaget af DTU og Teknologisk Institut.

3.1 Passivhuskrav

Kravene for at opnå passivhusstandarden består af følgende tre kriterier (Feist, 2013)¹:

- › Maksimalt energiforbrug til opvarmning på 15 kWh/m² pr. år (iht. nettoarealet) ELLER maksimal varmeeffekt på 10 W/m².
- › Maksimalt samlet primærenergiforbrug på 120 kWh/m² pr. år (energi til opvarmning, varmt brugsvand, ventilation, privat og fælles elforbrug) ved en faktor 2,5.
- › Maksimalt luftskifte på 0,6 h⁻¹ for trykprøvning for både over- og undertryk på 50Pa (denne del vil ikke blive omtalt i denne rapport)

Forudsætninger for kravene er som følger:

- › Indetemperatur på 20°C
- › Varmtvandsforbrug antaget til at være 25 l/person/dag v. 60°C
- › Personbelastning: 1 person pr. 35 m²

3.2 Måleudstyr og dataindsamling

Eftersom renoveringen blev færdiggjort i januar 2015 foreligger der kun komplette målinger efter renoveringen for månederne januar, februar, marts, april og maj.

¹ http://www.passivhus.dk/kriterier_for_passivhusboliger.html

3.2.1 Fjernvarmeforbrug

Ved renoveringen af blok 9 blev der installeret en separat fjernvarmemåler til at måle fjernvarmeforbruget kun for blok 9. Der har tidligere været fælles afregning for alle blokkene.

Privat varmeforbrug

I kombination med renoveringen overgik afmålingsmetoden af privat varmeforbrug, fra aflæsning i hver lejlighed, til fjernaflæsning via et system fra Techem. Grundet denne overgang har det ikke været muligt at få målingerne for det private varmeforbrug for hele blokken, dette er derfor estimeret ud fra det samlede fjernvarmeforbrug. Der forelægger målinger for de lejligheder, hvor der er lavet indeklimamålinger, dog er ikke alle disse målinger komplette.

Privat varmtvandsforbrug

Eftersom afmålingsmetoden er overgået til fjernaflæsning gælder samme kriterie, som for det private varmeforbrug. Dog indeholder aflæsningerne på fjernvarmemåleren ikke varmtvandsforbrug. På sigt skal fjernvarmemåleren indeholde varmt brugsvand, men i måleperioden er varmt brugsvand stadig tilført via en varmtvandsbeholder i blokcentralen i nabobygningen. Estimatet for varmt brugsvand efter renoveringen er derved lavet på baggrund af de lejligheder der er lavet indeklimamålinger i.

3.2.2 Elforbrug

Elforbruget i blokken er delt op i privat- og fællesforbrug. Derudover er der sat separate elmålere på 10 af de installerede decentrale ventilationsenheder.

Privat elforbrug

Det private elforbrug er aflæst manuelt på månedsbasis. Da elmålere for hver lejlighed er placeret i opgangene har de været let tilgængelige.

Fælles elforbrug

Det fælles elforbrug er aflæst manuelt på månedsbasis fra den fælles måler placeret i kælderen. Det fælles elforbrug dækker bl.a. over belysning i fælles arealer og pumper.

Elforbrug til decentral ventilation

Da elforbruget til de installerede decentrale ventilationsanlæg går ind under det private elforbrug, er der ikke mulighed for at udrede hvor meget elforbrug der går til ventilationsanlæggene. Der er derfor opsat 10 separate målere til 10 decentrale ventilationsanlæg, så det specifikke elforbrug til ventilation kan udredes for disse enheder. Målingerne af de 10 ventilationsenheder lægger til grund for at estimere elforbruget til ventilation for samtlige lejligheder.

3.2.3 Indeklimamålinger

Der er opsat temperatur- og relativ luftfugtighedsmålere i udvalgte lejligheder. Da der ikke findes målinger fra før renoveringen er der sat tilsvarende målere op i naboblokken, som fungerer som en referencebygning. Der er opsat målere i 10 reno-

verede lejligheder og i 10 lejligheder i referencebygningen. Målerne er placeret i lejlighedernes stue. Der er derudover sat en ekstra måler op i soveværelset i 4 af de 10 renoverede lejligheder, og i 7 af de 10 lejligheder fra referencebygningen. Målerne der er sat op i stuerne er af typen Testo 174H. Målerne der er sat op i soveværelserne er af typen HOBO logger.

3.3 Energiforbrug

3.3.1 Fjernvarmeforbrug

Der er sat en måler på blok 9, som udelukkende måler den renoverede bloks fjernvarmeforbrug. Det målte fjernvarmeforbrug indeholder kun energi brugt til opvarmning af lejligheder, mens varmt brugsvand forsynes fra blok 10. Da måleren måler hele blokkens fjernvarmeforbrug er rørtab inde i bygningen også en del af denne måling. Det samlede fjernvarmeforbrug for måleperioden fra d. 8. januar til d. 30. september, 282 dage, er 81.170 kWh.

Der er foretaget målinger i sommerperioden, hvor der ikke burde være et fjernvarmeforbrug. Der har dog været et forbrug, som må tænkes at være recirkulering, da der ikke har været slukket for fjernvarmen på hovedhanen. Dette forbrug er antaget kun at forekomme i sommermånederne og er derved ikke blevet klimakorrigeret. Det er blevet fratrukket beregningerne, da det er et unødigt forbrug, som ikke forventes at være til stede i næste sommerperiode. Der bør slukkes for rumvarmen og cirkulation uden for opvarmningsæsonen.

Energiforbruget til varmt brugsvand er estimeret til 17,2 kWh/m² pr. år baseret på nettoareal eller 15,3 kWh/m² pr. år baseret på bruttoareal.

Eftersom måleperioden kun har været 9 måneder, og for at kunne sammenligne forbruget efter renoveringen med før-situationen, er forbruget blevet klimakorrigeret ved hjælp af graddage (Teknologisk Institut, 2015,²).

Opvarmningsbehovet for den renoverede blok er for et klimakorrigeret normalt år 23,7 kWh/m² nettoareal pr. år, se Tabel 5, hvilket er over passivhuskravet på 15 kWh/m² pr. år. Det samlede fjernvarmeforbrug inkl. varmt brugsvand og recirkulering er 40,9 kWh/m² pr. år, se Tabel 5. Regnes med bruttoarealet, som er standard i Danmark, er opvarmningsbehovet 21,0 kWh/m² pr. år og det samlede varmebehov på 36,3 kWh/m² pr. år.

² <http://www.teknologisk.dk/graddage/pressemeddelelse/492?cms.query=graddage>

Tabel 5: Klimakorrektion af fjernvarmeforbrug ved hjælp af graddage, for Gadehavegård blok 9, for sæsonerne før renoveringen 2011/2012 og 2012/2013, og sæsonen 2015 efter renoveringen.

Fjernvarmeforbrug Gadehavegård blok 9		Før renovering		Efter renovering	
		Netto areal	Netto areal	Brutto areal	Brutto areal
Sæson	[-]	2011/2012	2012/2013	2015	2015
Samlet fjernvarme forbrug	[kWh]	148.047	148.487	90.000	90.000
- Varmtvandsforbrug	[kWh]	76.479	81.251	39.983	39.983
- Recirkulering	[kWh]	-	-	9.428	9.428
- Opvarmningsforbrug	[kWh]	148.047	148.487	84.392	84.392
Estimeret rørtab til varmtvandsforbrug ¹	[kWh]	12.209	12.971	6.383	6.383
Estimeret rørtab til opvarmning ¹	[kWh]	6.497	6.517	9.428	9.428
Periode	[dage]	366	365	282	282
Antal graddage i perioden ²	[graddage]	2.894	3.336	2.082	2.082
Graddage - uafhængigt forbrug (GUF) ³	[kWh]	76.479	81.251	39.983	39.983
Graddage - uafhængigt forbrug (GUF)	[kWh/dag]	209	223	189	189
Graddage - afhængigt forbrug (GAF) ⁴	[kWh]	154.544	155.003	84.392	84.392
Graddage - afhængigt forbrug (GAF)	[kWh/graddag]	53	46	41	41
Antal graddage normalt år ²	[graddage]	2.547	2.547	2.547	2.547
Areal	[m ²]	3.708	3.670	4.363	4.911
Varmtvandsforbrug	[kWh/m² pr. år]	24	26	17,2	15,3
Opvarmningsforbrug klimakorrigeret	[kWh/m² pr. år]	36,7	32,2	23,7	21,0
Fjernvarmeforbrug klimakorrigeret	[kWh/m² pr. år]	61	58	40,9	36,3

- 1) Rørtab er regnet for scenarierne før renoveringen i henhold til tidligere bestemte rørtab fra COWI.
- 2) Graddage data stammer fra Teknologisk Institut(Teknologisk Institut, 2015).
- 3) GUF – forbrug der ikke afhænger af graddage, i dette tilfælde varmt brugsvandsforbruget
- 4) GAF – forbrug der er afhængigt af graddage, i dette tilfælde opvarmningsforbrug og det dertilhørende rørtab.

En oversigt over besparelsen er angivet i Tabel 6.

Tabel 6: Procentvis besparelse i forhold til før renoveringen med hhv. netto- og bruttoareal.

Energibehov	Før renovering, kWh/m ² pr. år	Efter renovering kWh/m ² pr. år	Procentvis reduktion %
Rumopvarmningsbehov, nettoareal	36,7 / 32,2	23,7	26-35 %
Samlet opvarmningsbehov, nettoareal	61 / 58	40,9	29-33 %
Rumopvarmningsbehov, bruttoareal	32,3 / 28,1	21,0	25-35 %
Samlet opvarmningsbehov, bruttoareal	53 / 50	36,3	27-32 %

Rørtab	Målingerne fra før renovering for sæsonerne 2011-2012 og 2012-2013 er på lejlighedsniveau, disse målinger er derved uden varmtab fra varmerør. Der er varmetab fra både lodrette stigstrengene og vandrette rør i kælderen, men sidstnævnte er udeladt fra beregningerne, da rørene vil blive renoveret på et senere stadie. Varmetabet fra lodrette rør til varmt brugsvand er i et tidligt projektstadium estimeret af COWI til at være ca. 16 % af varmtvandsforbruget i lejlighederne og kun i 4 måneder om året, mens rørtabet for varmerør ca. 4,4 % af opvarmningsforbruget i lejlighederne. For at kunne sammenligne før- og efter-scenarierne er rørtabene tillagt i før-scenarierne. For efter-scenariet er kun rørtabet for varmt brugsvand tillagt, da rørtabet for opvarmningsforbruget allerede indgår i målingerne.
Arealer	Arealet før og efter renoveringen er ikke ens. Dette skyldes, at altaner er blevet inddraget i det opvarmede boligareal og arealet efter renoveringen er derved blevet større. Derudover var der ikke komplette før-målinger for alle lejligheder, de lejligheder uden komplette målinger er taget ud af beregningerne. Derfor er arealerne for de to før-scenarier ikke ens.
Energi til varmt brugsvand	Målingerne for varmtvandsforbruget er angivet i m ³ varmt vand, for at omregne kubikmeter varmt vand om til kWh, er det antaget at starttemperaturen på vandet er 10°C og sluttemperaturen er 55°C. Der er anvendt en massefylde for vand på 1.000 kg/m ³ og en specifik varmekapacitet på 4,19 KJ/(kgK). Energiforbruget er udregnet vha. følgende formel: <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> $Q = C_p \cdot M \cdot \Delta T$ </div> <p>Hvor,</p> <p>Q, mængden af energi [kWh] C_p, specifik varmekapacitet [kJ/(kgK)] M, massen [kg] ΔT, temperaturdifferensen mellem varm og kold [K]</p>
Nettoareal kontra bruttoareal	Der er stor forskel på hvilket areal, der anvendes til at udregne det årlige energiforbrug. Nettoarealet er i denne udregning anvendt, da det anvendes ved passivhuskravene. Almindeligvis i Danmark anvendes bruttoarealet. Der er derfor lavet ud-

regninger med bruttoarealet, da det kan anvendes til at sammenligne med andre danske byggerier. Bruttoarealet er bestemt til 4911 m².

Korrektion for inde-temperatur

Da indetemperaturen efter renoveringen i gennemsnit er ca. 23°C, se afsnit 4.1, er der ligeledes lavet beregninger, der tager højde for ændrede graddage, se Tabel 7, da den almindelige graddags-klimakorrektion er ud fra antagelsen om en indetemperatur på 20°C.

Tabel 7: Klimakorrektion af fjernvarmeforbrug vha. graddage, for Gadehavegård blok 9, for sæsonen 2015 efter renoveringen. Tabellen viser resultater ved anvendelse af forskellige arealer og temperatur korrektioner.

Blok 9 efter renovering, udregninger afhængige af arealer og temperatur korrektion	Varmtvandsforbrug [kWh/m ² pr. år]	Opvarmningsforbrug klimakorrigeret [kWh/m ² pr. år]	Samlet Fjernvarmeforbrug klimakorrigeret [kWh/m ² pr. år]
Netto areal	17,2	30,8	46,5
Brutto areal	15,9	27,3	43,3
Netto areal inkl. korrektion for 23°C	17,2	23,7	40,9
Brutto areal inkl. korrektion for 23°C	15,3	21,0	36,3

Det ses af Tabel 7, at areal og temperaturkorrektion har stor indflydelse på det samlede fjernvarmeforbrug. Alt efter hvilken model der anvendes, spænder fjernvarmeforbruget for blok 9 mellem 36,3 kWh/m² pr. år og 46,5 kWh/m² pr. år.

3.3.2 Elforbrug

Elforbruget måles for hhv. husholdningsel og fælles forbrug, men da passivhuskravet gælder en kombination af disse, lægges de sammen. Det private elforbrug for perioden 7. januar til 31. august, 235 dage, er målt til 64.204 kWh, mens det fælles elforbrug i samme periode er målt til 9.513 kWh. Det samlede elforbrug for perioden bliver derved 73.717 kWh.

Det antages, at elforbruget ikke er afhængigt af vejrforholdene og derved kan estimeres for hele året. Det samlede elforbrug er derved estimeret til 114.497 kWh/år, hvilket svarer til 26,2 kWh/m² pr. år.

Det samlede energiforbrug for hele blokken bliver derved (40,9 + 26,2*2,5) kWh/m² pr. år = 106,4 kWh/m² pr. år, og opfylder dermed passivhusstandardkravet om et maksimalt samlet forbrug på 120 kWh/m² pr. år. (Nettoareal). Omregnet til bruttoareal svarer det til 94,55 kWh/m².

3.3.3 Elforbrug til ventilation

Elforbruget til ventilation er medregnet i det samlede elforbrug. Det er dog interessant at se på, hvor meget elforbruget specifikt til ventilation udgør, da der før renoveringen ikke var elforbrug til ventilation.

Der er installeret decentral ventilation i hver lejlighed. Der er ét decentralt ventilationsaggregat pr. lejlighed, hvor der er lavet kanalføring fra aggregatet til de forskellige ind- og udblæsningsarmaturer. I en typisk lejlighed er der lavet indblæsning i stue, soveværelse og værelse, og udsugning fra køkken og bad. Friskluftindtaget er ført ind igennem facaden i en isoleret kanal til aggregatet, der er placeret i et teknikrum, mens afkastluften er ført over tag i eksisterende skakt.

De installerede ventilationsanlæg er af typen Nilan Comfort CT150, der er trinstyret i fem forudbestemte trin. Der er dog i de mindre lejligheder installeret aggregater af typen X-line, som er placeret i emhætten med kanalføring til de omkringliggende rum. X-Line aggregatet styres manuelt af brugeren ved at skrue op og ned på en knap på emhætten - typisk under madlavning. Det er ikke muligt for brugeren at slukke for X-Line aggregatet, men muligt at skrue ned til et minimumsniveau, der sikrer et minimums luftskifte.

Der er stor forskel på, hvordan Nilan og X-Line aggregaterne bliver styret af brugerne på. Hvor X-Line aggregatet styres af brugeren dagligt i forbindelse med madlavning, er det yderst tvivlsomt at Nilan-aggregatet vil blive ændret af brugeren på daglig basis. Dette skyldes, at Nilan aggregatet er placeret i teknikrummet, og at styringen af aggregatet kræver en introduktion for hver enkelt beboer. Det er derfor yderst tvivlsomt at Nilan-aggregaterne reelt vil fungere som VAV-systemer, som de er designet til, men nærmere fungere som CAV-systemer, som måske skifter luftstrømmen nogle få gange om året, såfremt beboerne finder ud af at betjene dem. Eftersom at brugerne pt. ikke ændrer på indstillingerne for Nilan-aggregatet vil elforbruget til ventilationen være konstant, og der behøves derfor ikke at tages hensyn til at klimakorrigerer elforbruget til ventilation.

Der er blevet målt på 10 separate ventilationsanlæg, som ligger til grund for at estimere, hvad der i gennemsnit bliver brugt af elforbrug til ventilation. De 10 installerede decentrale ventilationsaggregater er installeret i forskellige størrelser af lejligheder, deres energiforbrug er derfor blevet korrigeret for arealet af lejlighederne, de er installeret i.

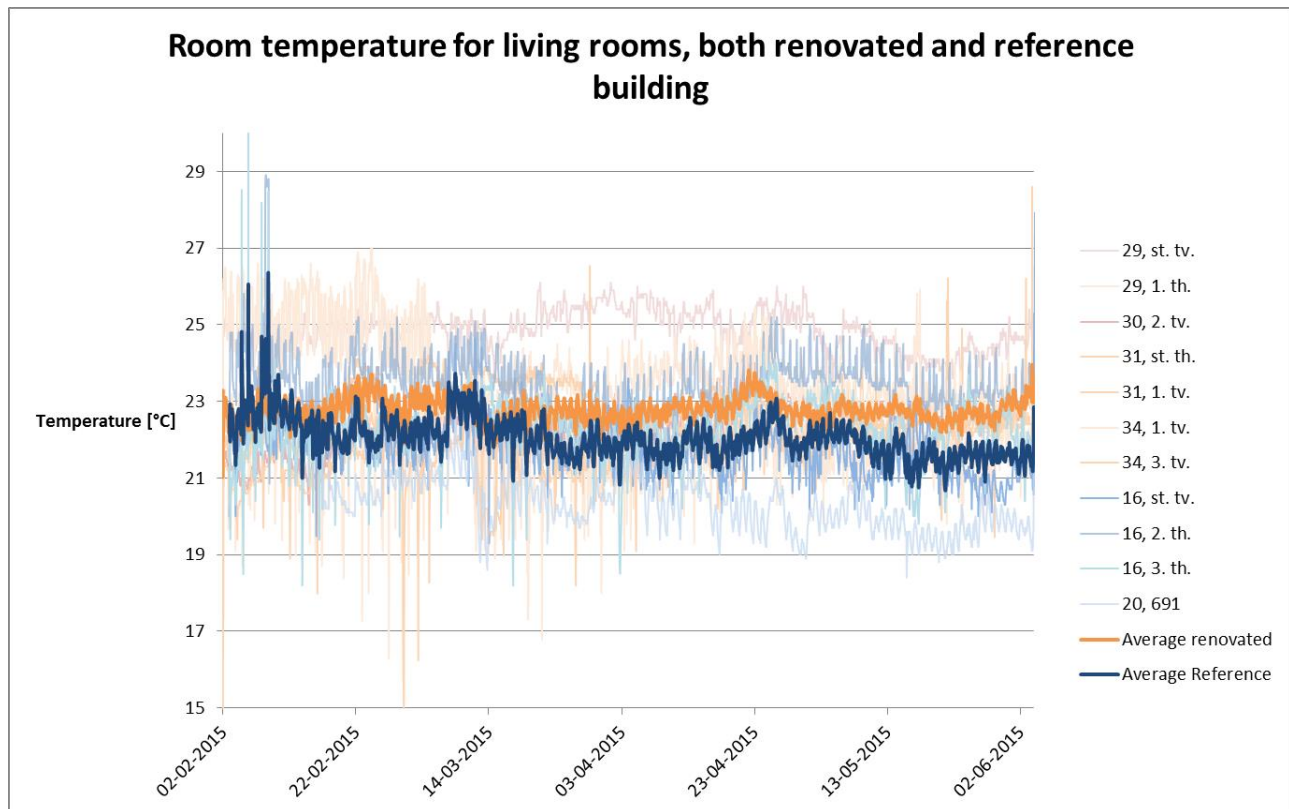
Det gennemsnitlige elforbrug til decentral ventilation er 1,8 kWh/m² bruttoareal pr. år (inkl. korrektion af arealer), hvilket er en smule højt, men acceptabelt.

4 Indeklimaundersøgelse

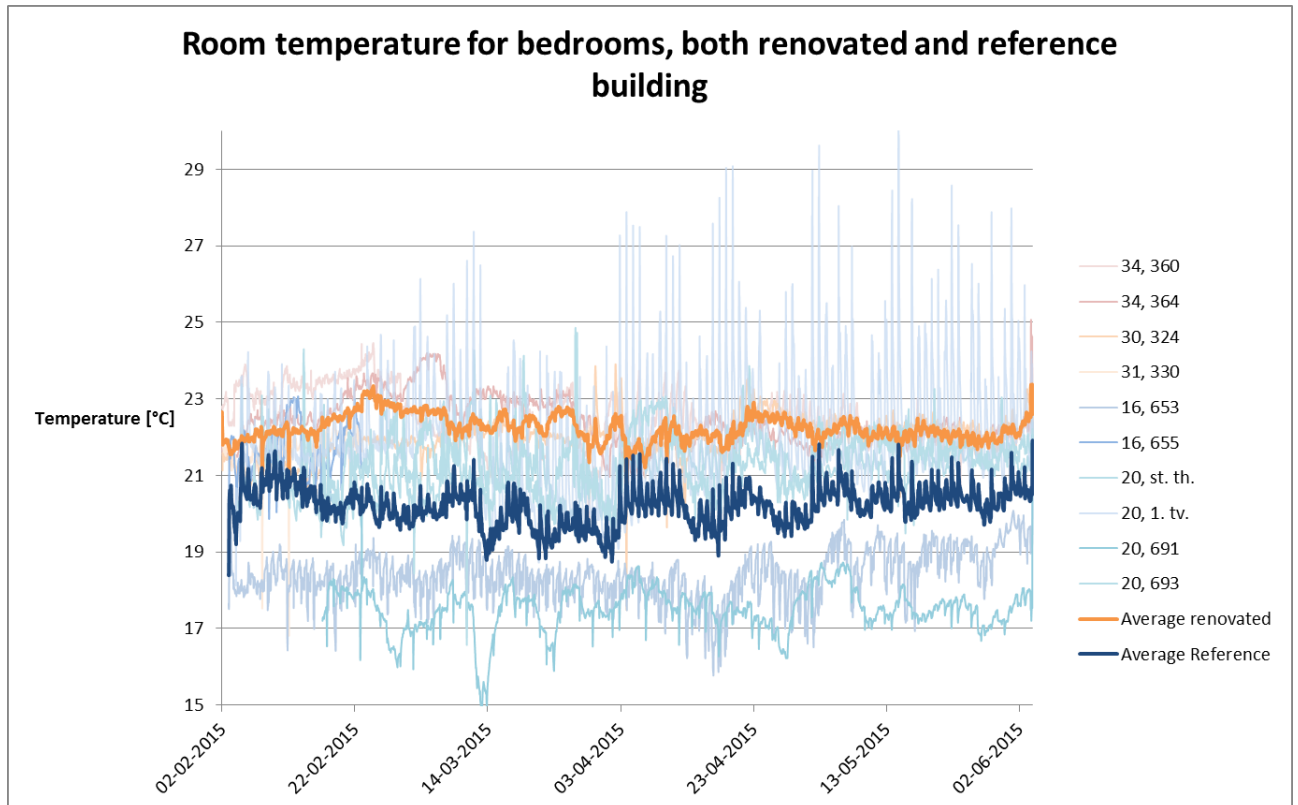
Der er lavet indeklimatemålinger i stuen af 10 renoverede lejligheder og 10 ikke-renoverede lejligheder. Derudover er der lavet målinger i soveværelset i 4 af de 10 renoverede lejligheder og 6 af de 10 ikke-renoverede lejligheder. Det er desværre ikke lykkedes at indsamle alle målere, da ikke alle beboere har været samarbejdsvillige. Derfor indgår der færre målinger i analysen end der er sat målere op til. Derudover er målingerne for soveværelset i lejlighed "16, 657" forkastet, da det viste sig at rummet ikke blev anvendt som et soveværelse.

4.1 Temperaturer

Generelt er temperaturerne i de renoverede lejligheder højere end i de ikke-renoverede lejligheder. Dette gælder både for målinger i stuer og soveværelser. Dog er temperaturforskellen mere markant for målingerne i soveværelserne, se Figur 8 og Figur 9.



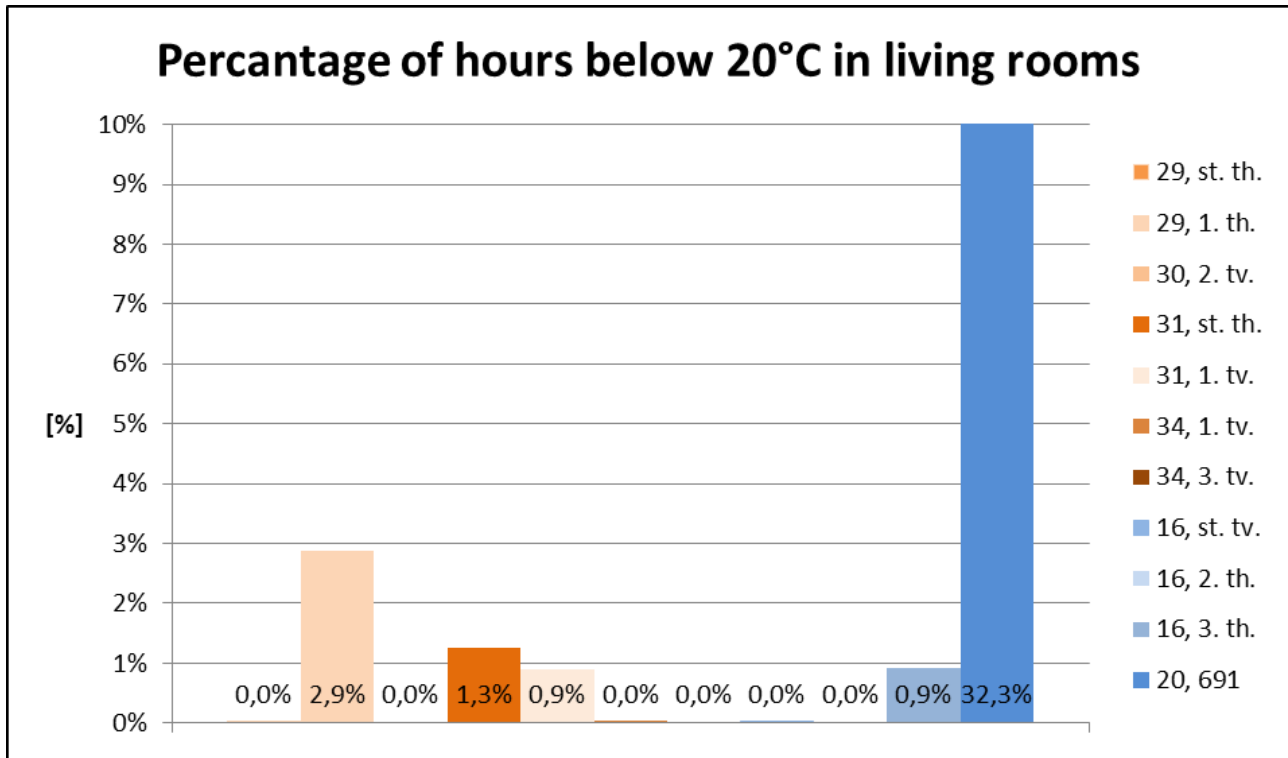
Figur 8: Rumtemperaturer fra februar til juni for stuer i både den renoverede blok 9 og den ikke-renoverede reference blok. De renoverede lejligheders temperaturer er markeret med orange, mens reference lejlighedernes temperaturer er markeret med blå. Gennemsnittet for hhv. de renoverede lejligheder og reference lejlighederne er de markerede orange og blå linjer.



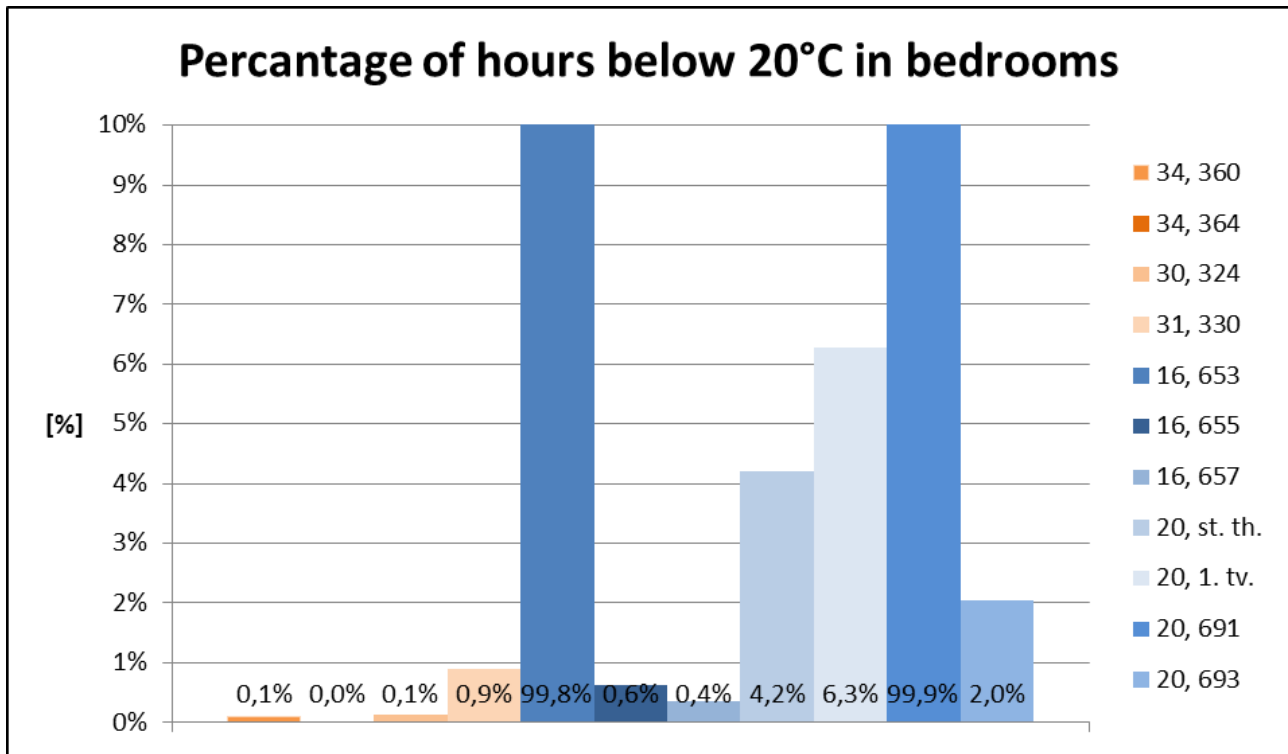
Figur 9: Rumtemperaturer fra februar til juni for soveværelser i både den renoverede blok 9 og den ikke-renoverede reference blok. De renoverede lejligheders temperaturer er markeret med orange, mens reference lejlighedernes temperaturer er markeret med blå. Gennemsnittet for hhv. de renoverede lejligheder og reference lejlighederne er de markerede orange og blå linjer.

I henhold til indeklimaklasse 2 må temperaturen ikke være udenfor komfortintervallet i mere end 5% af den tid beboeren opholder sig i rummet (Dansk Standard, 2007). Figur 10 og Figur 11 viser, at der ikke er problemer med undertemperaturer i de renoverede lejligheder. Én enkelt lejlighed har under 20°C i 2,9% af tiden. Anderledes ser det ud for de ikke-renoverede lejligheder, hvor antallet af timer under 20°C er større. Det må forventes, at de to lejligheder på Figur 11 **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** med hhv. 99,8 og 99,9% af tiden under 20°C i soveværelset, skyldes en bevidst ønsket lavere temperatur.

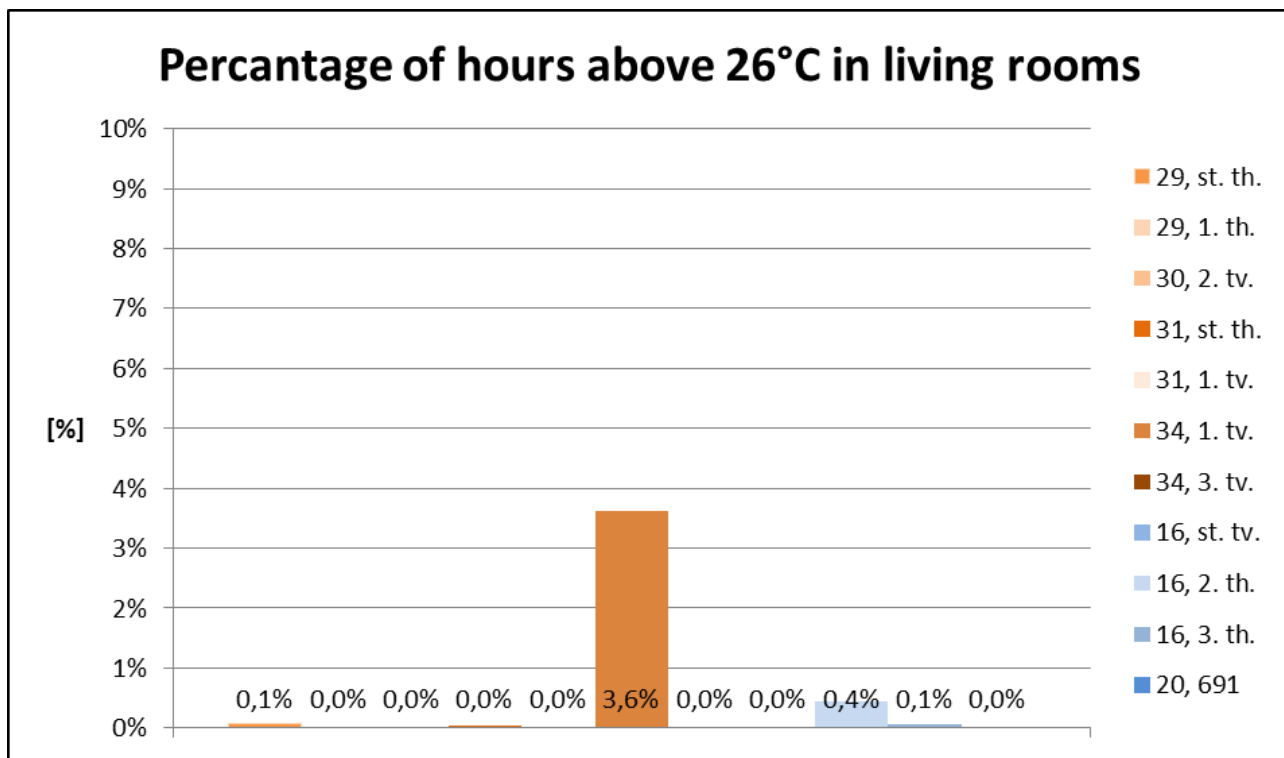
Procentdelen af timer under 20°C kan dog forventes at stige, for både den renoverede og den ikke-renoverede blok, hvis en vinter med lavere udetemperaturer forekommer.



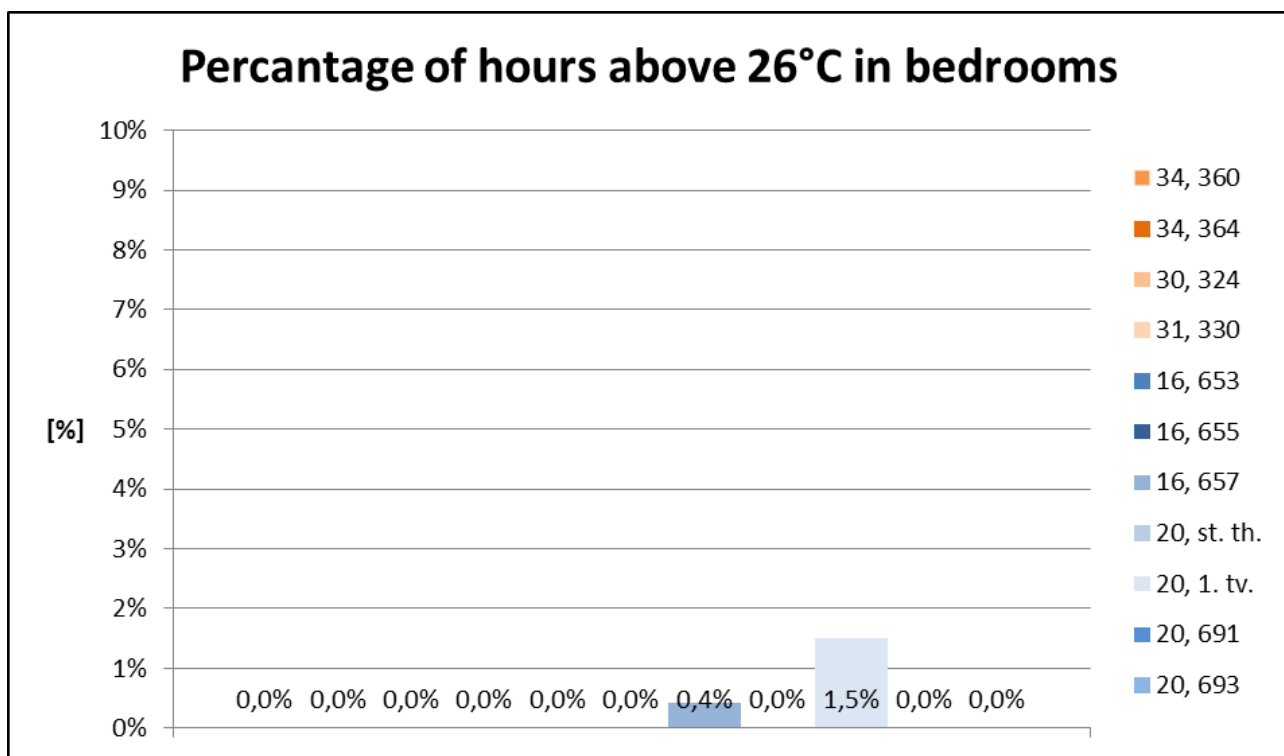
Figur 10: Procent af tiden, hvor temperaturen i stuerne er under 20°C. De renoverede lejligheder er markeret med røde nuancer, mens de ikke-renoverede lejligheder er markeret med blå nuancer.



Figur 11: Procent af tiden, hvor temperaturen i soveværelserne er under 20°C. De renoverede lejligheder er markeret med røde nuancer, mens de ikke-renoverede lejligheder er markeret med blå nuancer.



Figur 12: Procent af tiden, hvor temperaturen i stuerne er over 26°C. De renoverede lejligheder er markeret med røde nuancer, mens de ikke-renoverede lejligheder er markeret med blå nuancer.

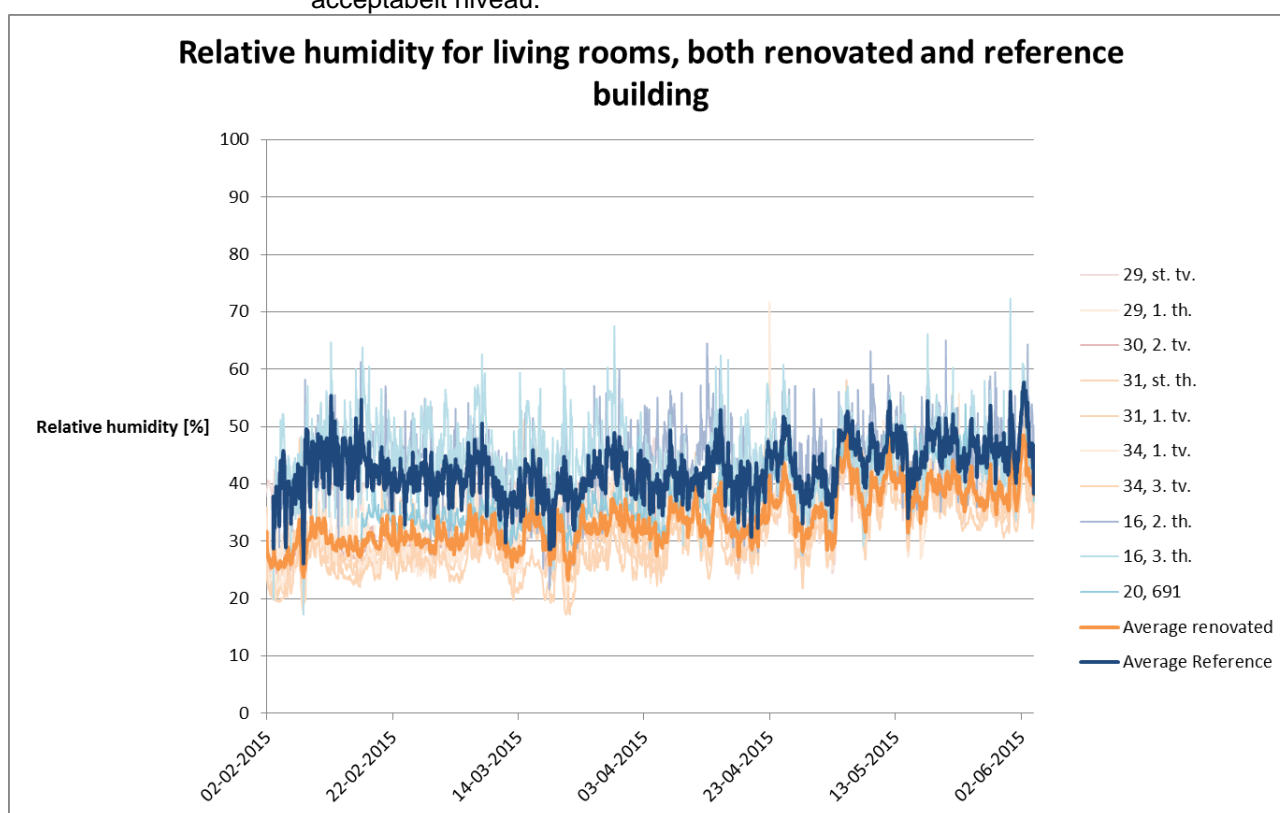


Figur 13: Procent af tiden, hvor temperaturen i soveværelserne er over 26°C. De renoverede lejligheder er markeret med røde nuancer, mens de ikke-renoverede lejligheder er markeret med blå nuancer.

Det ses af Figur 12 og Figur 13 at der generelt ikke er problemer med overophedning. Dog har én enkelt af de renoverede lejlighed over 26°C i 3,4% af tiden. Det tyder på at denne lejlighed kan få problemer med overophedning. Eftersom måleperioden ikke har omfattet sommerperioden, kan det ikke udelukkes at der kan forekomme problematikker med overophedning for både den renoverede og ikke-renoverede blok.

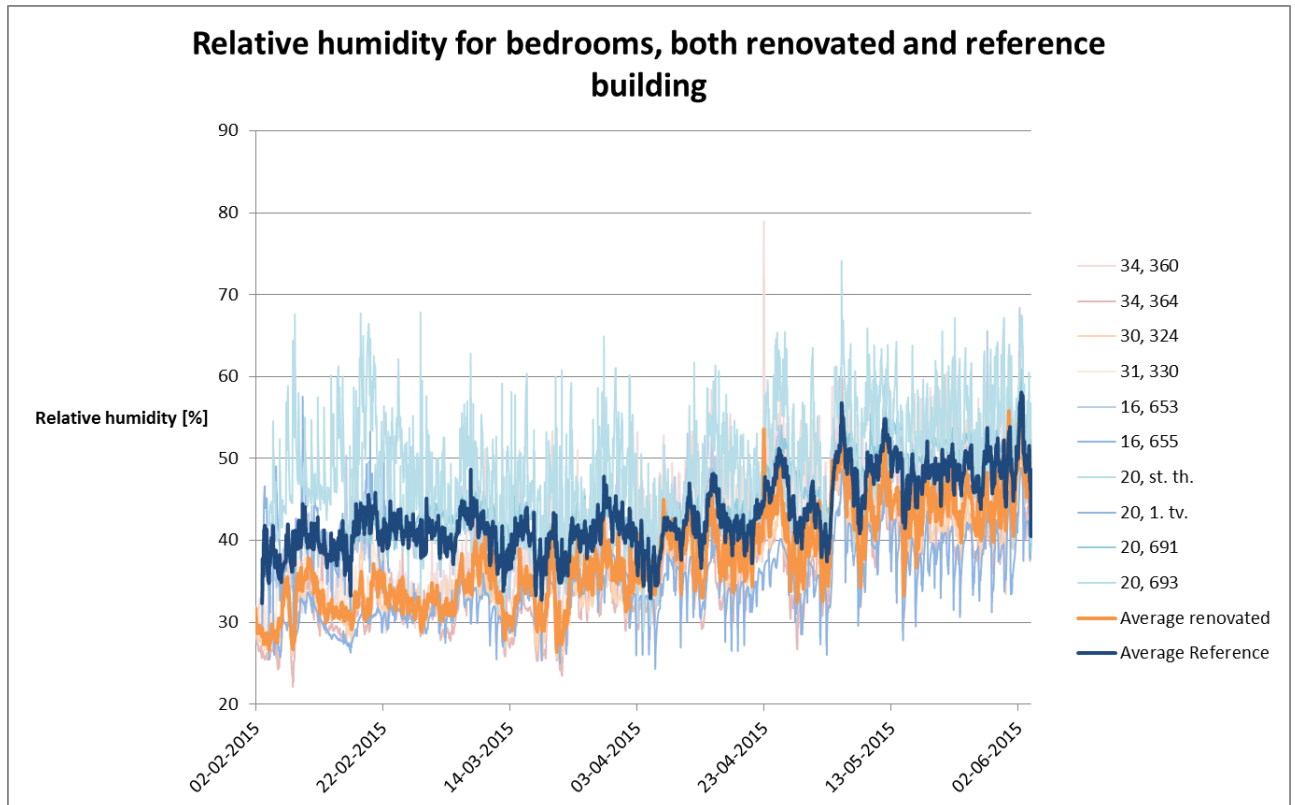
4.2 Relative luftfugtigheder

Generelt er luftfugtigheden i de renoverede lejligheder lavere end i de ikke-renoverede lejligheder. Dette gælder både målinger for stuer og soveværelser. Dog er de relative luftfugtighederne for de ikke-renoverede lejligheder stadig på et acceptabelt niveau.

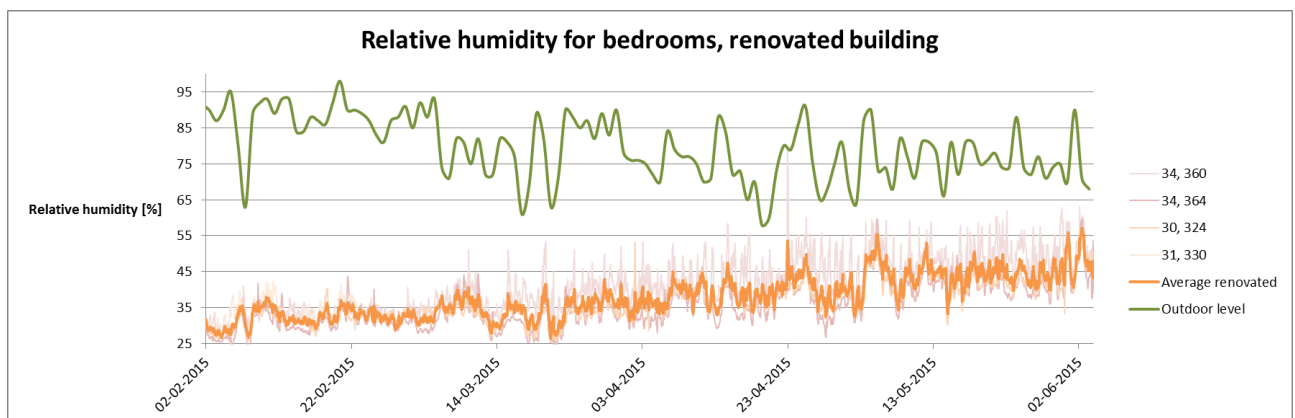


Figur 14: Relative luftfugtigheder fra februar til juni for stuer i både den renoverede blok 9 og den ikke-renoverede reference blok. De renoverede lejligheders temperaturer er markeret med orange, mens reference lejlighedernes temperaturer er markeret med blå. Gennemsnittet for hhv. de renoverede lejligheder og reference lejlighederne er de markerede orange og blå linier.

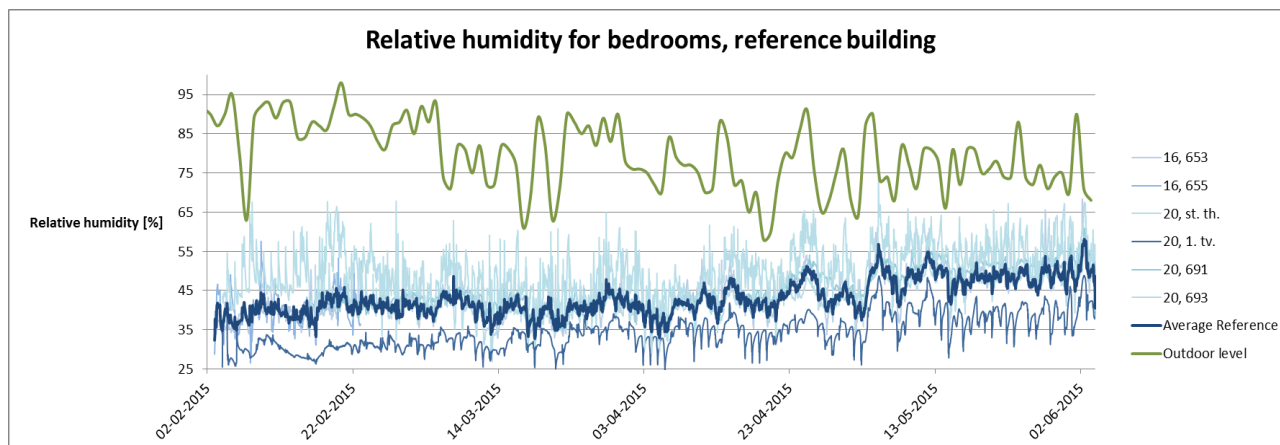
Det ses af Figur 14 at den relative luftfugtighed er lavere i de renoverede lejligheder end de ikke-renoverede. Dette er især gældende i vintermånederne. Dette kan skyldes at beboerne i vintermånederne ikke er så tilbøjelige til at åbne vinduerne for at lufte ud. Derved stiger luftfugtigheden i de ikke-renoverede lejligheder, mens fugtigheden holdes nede i de renoverede lejligheder grundet luftskiftet fra de installerede ventilationsanlæg. Det samme gør sig gældende for soveværelserne, se Figur 15.



Figur 15: Relative luftfugtigheder fra februar til juni for soveværelser i både den renoverede blok 9 og den ikke-renoverede reference blok. De renoverede lejlighedsers temperaturer er markeret med orange, mens reference lejlighedernes temperaturer er markeret med blå. Gennemsnittet for hhv. de renoverede lejligheder og reference lejlighederne er de markerede orange og blå linier.



Figur 16: Relative luftfugtigheder fra februar til juni for soveværelser den renoverede blok 9. Gennemsnittet for de renoverede lejligheder er den markerede orange linie. Den grønne linie indikerer den udendørs relative luftfugtighed (DMI, 2015).



Figur 17: Relative luftfugtigheder fra februar til juni for soveværelser den ikke-renoverede reference blok. Gennemsnittet for de ikke-renoverede lejligheder er den markerede blå linie. Den grønne linie indikerer den udendørs relative luftfugtighed (DMI, 2015).

Det ses af Figur 16 og Figur 17 at luftfugtighederne følger udendørsniveau (DMI, 2015), hvilket påviser at der er en frisklufttilførsel, dette er gældende både for de renoverede og ikke-renoverede lejligheder. Det ses dog også af Figur 16 og Figur 17 at luftfugtighederne for de renoverede lejligheder er mere stabile, hvilket indikerer en konstant friskluftstilførsel fra de installerede decentrale ventilationsanlæg.

4.3 Anbefalinger til det resterende monitoreringsforløb

Da der ikke forelægges målinger for alle lejligheders varmtvandsforbrug efter renoveringen, er det blevet estimeret ud fra de 10 lejligheder der fik installeret indeklimamålere. Det er ikke tilstrækkeligt at basere varmtvandsforbruget ud fra disse 10 lejligheder, da brugeradfærd her spiller en stor rolle. Det anbefales derved i det videre ECO-Life projekt, at målingerne for hver enkelt lejlighed anskaffes. Derudover anbefales det også at måle temperaturerne på det varme brugsvand og gennemgå det teoretiske rørtab, da disse faktorer har stor indflydelse på det store energiforbrug til varmt brugsvand.

Eftersom at ikke alle indeklimamålere er blevet generhvervet fra beboerne er antallet af lejligheder i indeklimaundersøgelsen ikke tilstrækkelig stor. Da brugeradfærd kan have en stor indflydelse på resultaterne anbefales et større antal lejligheder at indgå i det videre ECO-Life projekt.

5 Sammenfatning

Fjernvarmeforbruget er blevet reduceret med 31-35 % (nettoareal) eller 29-33 % (bruttoareal) set i forhold til før renoveringen. Dog overholder blok 9 ikke passivhuskravet om et maksimalt forbrug på 15,0 kWh/m² pr. år til opvarmning, da blokken forbruger 22,7 kWh/m² pr. år, men det er ikke langt fra. Passivhuskravet om et samlet energiforbrug på maksimalt 120 kWh/m² pr. år er overholdt, da det samlede forbrug for blok 9 efter renoveringen er opgjort til 66,1 kWh/m² pr. år.

Indetemperaturer for blok 9 befinder sig på et acceptabelt niveau mellem 21-25°C. Der er ingen af de målte renoverede lejligheder, der har temperaturer under 20°C i mere end 3% af tiden, eller over 26°C i mere end 4% af tiden.

Luffugtighedsniveauet for de renoverede lejligheder befinder sig på et acceptabelt niveau mellem 20 og 50% relativ luffugtighed.

6 Referencer

- › Dansk Standard. (2007). DS 15251. *Ds 15251*. Dansk Standard.
- › DMI. (2015). <http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/>. Retrieved June 12, 2015, from <http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/>
- › Feist, W. (2013). *Certified Passive House - Certification Criteria for Residential Passive House Buildings*. *Passive House Institute* (pp. 1–6).
- › Teknologisk Institut. (2015). <http://www.teknologisk.dk/graddage/pressemeddelelse/492>. Retrieved June 23, 2015, from <http://www.teknologisk.dk/graddage/pressemeddelelse/492>

7 Billeder



Figur 18: Kilde: https://renover.dk/projekt/gadehavegaard_-blok-9/





