

OKTOBER 2014
EUDP SEKRETARIATET

RESULTATER OG ERFARINGER FRA ENERGIRENOVERING AF RYESGADE 30

EUDP 2009: "UDVIKLING OG 1:1-DEMONSTRATION AF KONCEPTER TIL
RENOVERING AF ÆLDRE ETAGEBOLIGER TIL LAVENERGIKLASSE 1"

SLUTRAPPORT

 **DTU Byg**
Institut for Byggeri og Anlæg

ekolab

Ingeniørrådgivning indenfor bæredygtige energiløsninger

rönby.dk →

COWI

OKTOBER 2014
EUDP SEKRETARIATET

RESULTATER OG ERFARINGER FRA ENERGIRENOVERING AF RYESGADE 30

EUDP09-II: "UDVIKLING OG 1:1-DEMONSTRATION AF KONCEPTER TIL
RENOVERING AF ÆLDRE ETAGEBOLIGER TIL LAVENERGIKLASSE 1"

PROJEKTNR. A008744
DOKUMENTNR. n.a.
VERSION 1
UDGIVELSESDATO 01.10.2014
UDARBEJDET MGCH
KONTROLLERET SEM
GODKENDT SEM

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Resume	9
3	Ny forskning afledt af projektet	12
4	Formidling og kommunikation	13
4.1	Artikler og rapporter	13
4.2	Indlæg og foredrag	15
5	Bygningsbeskrivelse FØR renoveringen	17
6	Bygningsbeskrivelse EFTER renoveringen	19
6.1	Forbedringer	19
6.2	Vinduer	20
6.3	Ventilation	20
6.4	Indvendig isolering	23
6.5	Udvendig efterisolering	25
7	Måleresultater	26
7.1	Fugtforhold i bjælkeender	26
7.2	Energiforbrug	27
7.3	Indeklima og brugeradfærd	35

8	Konklusion	36
9	Billeder	38
10	Bilag A – " Erfaringer fra prøvelejlighed Ryegade 30C 1.tv."	41

1 Indledning

Denne rapport udgør slutrapporten på EUDP-projektet "Udvikling og 1:1-demonstration af koncepter til renovering af ældre etageboliger til lavenergiklasse 1". Projektet modtog tilsagn på 2.731.150 DKK fra Energistyrelsen i december 2009 og er færdiggjort i juli 2014. Parterne i projektet er:

- › COWI A/S
- › Rockwool A/S
- › DTU Byg
- › Rønby.dk
- › Ekolab
- › M.T. Højgaard
- › Exhausto
- › Drostfonden (Ejer af Ryesgade 30)

Formålet med projektet har været at udvikle løsninger til renovering af ældre etageejendomme og at afprøve/demonstrere løsningerne på oprindeligt to ejendomme i det indre København. Den ene ejendom ligger på Ryesgade 30 og den anden ligger på Herman Triers Plads, hvoraf den sidstnævnte måtte udgå af projektet undervejs.

Den største udfordring i projektet har som udgangspunkt været, at ejendommens facader er bevaringsværdige, og dermed var udvendig efterisolering udelukket. Fra projektets start har det været intentionen at demonstrere og teste andre isoleringsmaterialer end traditionel isolering, herunder specielt indvendig isolering udført med kompaktisolering.

Ejendommen på Ryesgade 30 har undergået en totalrenovering i forbindelse med den bygningsfornyelse, der blev projekteret i 2010 og gennemført fra efteråret 2011 og 14-15 måneder frem. Byfornyelsesprojektet omfattede bl.a. nye køkkener og badeværelser, vinduesudskiftning, udvendig efterisolering på en brandgavl og etablering af mekanisk ventilation. I den forbindelse gav EUDP-projektet mulighed for at "opgradere" renoveringen ved at give tilskud til energibesparende løsninger som f.eks. bedre isolerende vinduer, indvendig isolering af facaderne, varmegenvinding på ventilationen etc. samt udvikling, målinger og evalueringer.

For at kunne vælge de bedste energibesparende løsninger til ejendommen til den bedste pris, blev det besluttet at begynde med at renovere en enkelt lejlighed, en "prøvelejlighed", hvor forskellige tiltag blev afprøvet, målt og evalueret inden den totale renovering. Erfaringer herfra er beskrevet i delrapporten: "Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1.tv."¹

Denne slutrapport er udarbejdet i fællesskab af projektgruppen bestående af:

- > Leif Rønby Pedersen, rønby.dk
- > Maria Harrestrup, DTU
- > Troels Kildemoes, EKOLAB
- > Svend Erik Mikkelsen, COWI
- > Maja Grud Minzari, COWI

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.

Prisvinder

Projektet fik i september 2013 tildelt RENOVER Prisen 2013 for året bedste energirenovering – en pris stiftet af Realdania og GI for at sætte fokus på og styrke anerkendelsen af renovering. Sammen med prisen fulgte et beløb på 100.000 kr. til at fejre titlen med en fest.



1

http://energiplus.net/Dokumenter/Erfaringer_fra_proevelejlighed_Ryesgade_30C_1_tv_juli_2011.pdf

2 Resume

En københavnsk boligejendom fra 1896 beliggende på Ryesgade 30 på Nørrebro er blevet byfornyet i perioden 2011-2012. Ejendommen indeholder 32 lejlighedsmål samt erhvervslokaler og har en bevaringsværdi svarende til klasse 4 i SAVE klassifikationssystemet.

Tilskuddet på 2.731.150 DKK fra EUDP gav mulighed for at opgradere byfornyelsen med mere energieffektive løsninger såsom vinduer, isolering og ventilationsanlæg samt at registrere og måle energiforbruget både før og efter renoveringen. Ydermere har DTU undersøgt risikoen for fugtskader i træbjælkelagets ender som konsekvens af mere isolering.

I projektets indledende fase, blev en række løsninger testet i en såkaldt "prøvelejlighed" og målt og evalueret henover en opvarmningssæson. På baggrund af erfaringer herfra blev der valgt følgende løsninger til byfornyelsesprojektet:

- > Nye vinduer
- > Indvendig isolering
- > Udvendig isolering
- > Mekaniske ventilationsanlæg (Centrale CAV og VAV og decentrale anlæg)
- > Tagboliger
- > Solceller
- > Isolering mod kælder

Projektet har vist, at indvendig isolering er en god metode til at reducere energiforbruget, og risikoen for skimmeldannelse ser ud til at kunne minimeres, når udførelsen sker korrekt. Fugt- og temperaturmålinger af bjælkeenderne i træbjælkelaget har vist, at der ikke er risiko for fugtskader og nedbrydelse af bærende elementer i konstruktionen. De nye vinduer er designet, så de ligner de gamle vinduer med bl.a. trukket glas i yderste lag. Ventilationsanlæggene har i skrivende stund (september 2014) ikke haft så lang driftstid, men foreløbige målinger viser gode resultater.

Før renoveringen blev ejendommens samlede energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand målt til 156 kWh/m² pr. år.

Målet med projektet var at demonstrere løsninger til at energirenovere ældre etageboliger til den daværende lavenergiklasse 1, som var et forbrug på 35 kWh/m² pr. år.

Allerede da projekteringen var afsluttet og renoveringen gik i gang, stod det klart at vi ikke ville komme helt i mål. En Be10-beregning af de projekterede tiltag viste en reduktion til 51,5 kWh/ m² pr. år + yderligere en besparelse fra solceller på en del af bygningens tag.

De tiltag, der bidrog mest til energibesparelserne, var følgende tiltag, der hver stod for en besparelse på 20-22 kWh/ m² pr. år:

- > Indvendig isolering
- > Nye vinduer
- > Ventilation med varmegenvinding
- > Det nye isolerede tag med nye tagboliger

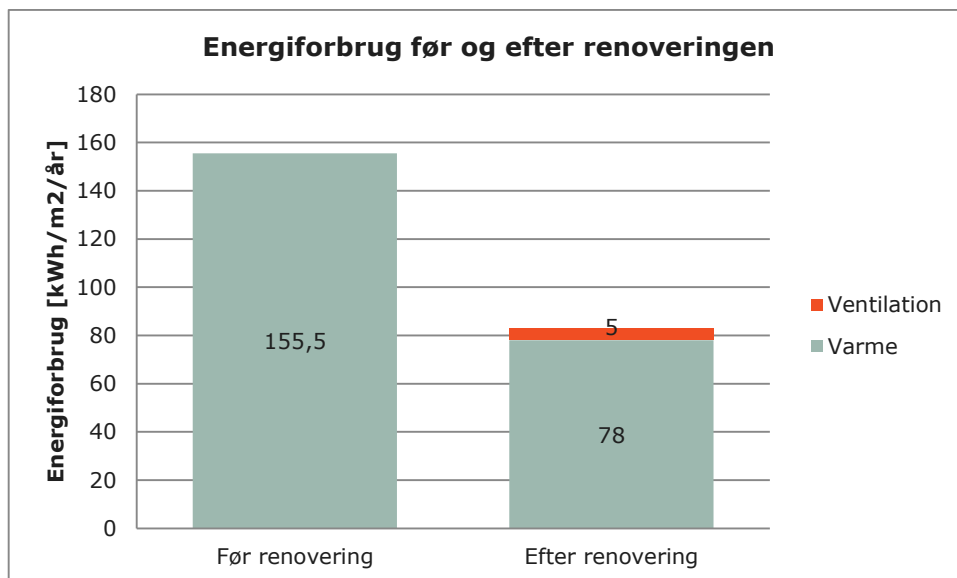
Efter at renoveringen er afsluttet, er der både foretaget målinger af energiforbruget og simuleringer med bygningsenergi simuleringsprogrammet IDA ICE. Simuleringerne er baseret på de tiltag, der faktisk blev gennemført, og som stort set svarer til de projekterede. Dog betød problemer med levering af materialer (som beskrevet sidst i afsnit 6.4) at der i enkelte rum i opgang A ikke blev udført indvendig facadeisolering.

I perioden fra september 2013 til september 2014 blev forbruget målt til 83 kWh/m² pr. år uden solcelleproduktionen (se Figur 1). Hertil kommer en produktion fra solcellerne, som kan fratrækkes det årlige energiforbrug. Fra producentens side blev produktionen beregnet til 8.950 kWh pr. år / 3310 m² = 2,7 kWh/m²/år, mens det målt har vist sig at producere 11.000 kWh pr. år / 3310 m² = 3,3 kWh/m²/år. Dette er knap 20 % over, hvad der var forventet og betyder, at det målte energiforbrug reduceres til 79,7 kWh/m² pr. år med solcelle produktionen. Dette svarer til en besparelse på 47 % uden solcelleproduktion og 49 % med solcelleproduktionen.

Dette ligger dog markant under det beregnede forbrug. En midlertidig årsag til det højere forbrug kan være, at varme- og ventilationsanlæg frem til årsskiftet 2013/14 ikke var indstillet og ikke fungerede optimalt, og at der derfor i den første tredjedel af måleperioden var skruet for højt op for både fremløbstemperatur og radiatorer.

En mere permanent årsag er, at beboerne har en højere rumtemperatur end de forudsatte 20°C, samt at mange har en tendens til at åbne vinduerne for at få frisk luft, hvilket ikke burde være nødvendigt, da den mekaniske ventilation forsyner frisk luft til lejlighederne. Dette skaber ekstra store varmetab, da der i disse tilfælde ikke er varmegenvinding på ventilationen.

Hvis temperaturen er holdt på 20°C også efter renoveringen, ville det være muligt at opnå en besparelse uden solcelleproduktionen på omkring 61 % eller et forbrug på 60,6 kWh/m² pr. år, og en besparelse på 63 % eller et forbrug på 57,3 kWh/m² pr. år med solcelleproduktionen. Dette lægger sig tæt op ad kravene til nye bygninger i henhold til bygningsreglementet 2010 (BR10).



Figur 1: Målt årligt energiforbrug for Ryesgade 30. Målinger af elforbrug til husholdninger samt produktionen fra solcellerne er ikke inkluderet.

Beboerne er generelt meget tilfredse med renoveringen og oplever store komfortforbedringer. Områder af lejlighederne, der før ikke kunne bruges pga. kulde og træk, kan nu udnyttes til fulde. Et sideløbende forskningsprojekt om brugeradfærd har vist, at beboerne har meget forskellige vaner, hvilket som nævnt afspejler sig i energiforbruget. Projektet påviser, at der fortsat er store udfordringer i at få beboere i nyrenoverede boliger til at bruge boligerne mest hensigtsmæssigt i forhold til energiforbrug.

3 Ny forskning afledt af projektet

Projektet har været underlagt en meget stor interesse fra branchen og det har været katalysator for en række nye forskningsprojekter, herunder både afgangspjekter, ph.d.-projekter og EUDP-projekter.

- › Martin Morelli: *"Development of a method for holistic energy renovation"*, udgivet i 2013, DTU BYG. Ph.d. projekt.
- › Maria Harrestrup: *"Energirenovering af etagebyggerier med vidtgående energibesparelser"*, udgives i 2014, DTU BYG. Ph.d. projekt.
- › Kristina Vang Jacobsen: *"Change of occupant behavior in Danish Apartments based on building renovation and personal feedback"*, 2014. Kandidatspeciale.
- › EUDP: *"Energirigtig komfort i ældre etageboliger"* bygger videre på erfaringerne fra det nu afsluttede projekt, med fokus på indvendig isolering og decentral ventilation, suppleret med bygningsintegreret produktion af vedvarende energi. Den innovative indsats for energi- og indeklimate optimering var afgørende for, at Ryesgade 30 med "Renovérprisen 2013" blev kåret som "Danmarks bedste renovering".
- › Ejeren af Ryesgade 30 har nu igangsat en endnu mere omfattende og ambitiøs renovering af Ryesgade 25, med udviklingsstøtte fra FornyelsesFonden og Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter.

4 Formidling og kommunikation

Projektformidlingens formål har været at sikre, at projektets resultater i videst muligt omfang kan virke som inspiration og kilde for andre renoveringer. De udarbejdede løsninger og indhentede erfaringer er derfor blevet grundigt beskrevet, først i delrapporten "Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1.tv. og siden hen i nærværende rapport, som beskrevet i ansøgningen til EUDP.

I ansøgningen beskrev projektteamet desuden en række platforme og medier, hvorpå projektet blev tænkt formidlet. Dette er blevet gjort i en vis udstrækning på nogle af disse platforme og medier, mens det for andre ikke alligevel var relevant at formidle projektet igennem.

Nedenfor angives en lang række af formidlingsaktiviteter, herunder artikler, rapporter, indlæg og foredrag, hvoraf mange er offentliggjort på internettet.

Alt i alt har projektet opnået et stort kendskab i branchen, ikke mindst pga. tildelingen af RENOVERprisen 2013.

4.1 Artikler og rapporter

Der er skrevet en række artikler og rapporter om Ryesgade 30, som er udgivet både online samt i faglige og videnskabelige tidsskrifter:

- › "Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a "nearly-zero" energy building based on experiences from test apartment", Martin Morelli et. al., 2012
- › "Energy retrofitting of an old multi-storey building with heritage value: a full-scale case study in Copenhagen", Maria Harrestrup et al., 2014.
- › "Energy retrofitting of an old multi-storey building with heritage value: A case-study in Copenhagen with full-scale measurement.", Maria Harrestrup et al., 2014, http://www.nsb2014.se/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/Retrofitting_of_Buildings.pdf
- › "Forsøg med indvendig isolering overrasker", Bedre Boliger nr. 4, 2012

- › "Vellykket energirenovering afhænger af brugernes adfærd", HVAC Magasinet, 2010, <http://techmedia.swiflet.com/tm/hvac/45/52/>
- › "Kan man holde varmen og samtidig holde facaden?", Leif Rønby, <http://www.bo-energi.net/nyheder/12>, 2011
- › Københavns Kommunes eksempelsamling: "Bæredygtig renovering af bygninger", 2013, <http://www.kk.dk/da/borger/byggeri/energiforbedringer/eksempelsamling>
- › "Beboere skal lære energirigtig adfærd", Rune Korsholm Andersen, Dynamo, 2013, http://www.dtu.dk/Nyheder/2013/11/Dynamo_Beboere-skal-laere-energirigtig-adfaerd
- › "Store energibesparelser uden at ødelægge arkitekturen", Svend Svendsen, Dynamo, 2013
- › "Danmarks bedste renovering er fundet", Teknikogviden.dk, 2013, <http://www.teknikogviden.dk/artikelarkiv/2013/9/danmarks-bedste-renovering-er-fundet.aspx>
- › "Danmarks bedste renovering er fundet", Building Supply, 2013, http://www.building-supply.dk/article/view/110509/danmarks_bedste_renovering_er_fundet#.U-C7-U2KC71
- › "Klassisk byejeendom vinder renoveringspris", Ingeniøren, 2013, <http://ing.dk/artikel/klassisk-byejeendom-vinder-renoveringspris-161525>
- › "Energirenovering med udfordringer", Byggeplads.dk, 2014, <http://www.byggeplads.dk/nyhed/2014/04/boligrenovering/energirenovering-med-udfordringer>
- › "Baggrund: Ekolab vinder Renoverprisen 2013", Passivhus Nordvest, 2014, <http://www.passivhusnordvest.dk/2014/01/ekolab-vinder-renoverprisen-2013/>
- › "Energirigtig brugeradfærd", RAPPORT, Rune Vinther Andersen, DTU Indeklima http://www.energiplus.net/Dokumenter/Rapport_om_konklusioner_fra_fase_1_15_04_11.pdf
- › "Indvendig efterisolering ved energirenovering", RAPPORT, Peter H. Moser-Nielsen, 2014, https://www.ucviden.dk/studentportal/files/24721434/Indvendig_efterisolering_ved_energirenovering_af_Peter_H._Moser_Nielsen_studienummer_153828.pdf

4.2 Indlæg og foredrag

Der er holdt foredrag og indlæg om projektet på Ryesgade på følgende konferencer, kurser og møder:

- 01.03.2012 Foredrag hos Struer Boligselskab
- 01.10.2012 Indlæg på passivhus designer uddannelsen, University College Nordjylland, Ekolab
- 13.12.2012: Københavns Kommunes Center for Bydesign workshop, Rønby.dk
- 01.02.2013 Indlæg på passivhus designer uddannelsen, University College Nordjylland, Ekolab
- 22.05.2013: Københavns Kommune Center for Byggeri, Gå-hjem-møde, Rønby, DTU og COWI
- 22.08.2013: Kursus i Byggecentrum, Rønby.dk
- 01.09.2013 Indlæg på passivhus designer uddannelsen, University College Nordjylland, Ekolab
- 23.09.2013: Temadag i Århus afholdt af Foreningen af Bæredygtige Byer og Bygninger, Ekolab
- 07.10.2013: Kursus i Byggecentrum, Rønby.dk
- 09.10.2013: Building Green messen, København, Københavns Kommune
- 08.11.2013: MiljøForum Fyn, Odense, Ekolab
- 19.11.2013: Dansk Bygningsarv workshop, Rønby.dk
- 22.11.2013: Estate Media konference, Krydsrum Arkitekter
- 02.12.2013: Dansk Arkitektur Center, Rønby.dk
- 25.02.2014: Kulturstyrelsen, Rønby.dk
- 01.04.2013 Indlæg på passivhus designer uddannelsen, University College Nordjylland, Ekolab
- 23.04.2014: VIA Horsens, Rønby.dk
- 27.05.2014: Kursus i Byggecentrum, Rønby.dk
- 16.06.2014: Præsentation på Nordic Symposium on Buildings Physics 2014 i Lund, Sverige, DTU.

18.06.2014: EnergiForsk14, Vejle, COWI

26.06.2014: IDA arrangement om Nordic Symposium on Buildings Physics 2014,
DTU

5 Bygningsbeskrivelse FØR renoveringen

Ejendommen Ryesgade 30 på Indre Nørrebro er en typisk Københavnerejendom fra 1896 bygget til beboelse. Den er bygget i røde og gule mursten i seks etager plus uopvarmet kælder- og loftsetage, se Figur 2. Bygningsarealet var i alt 2760 m² fordelt på tre opgange, 30A, 30B og 30C, med hhv. 12, 10 og 10 lejligheder samt erhvervslokaler i stueetagen. Bygningen har en bevaringsværdi svarende til klasse 4 i SAVE klassifikationssystemet pga. den tidstypiske murede, men slidte, facade med vandrette gesimser og bånd.

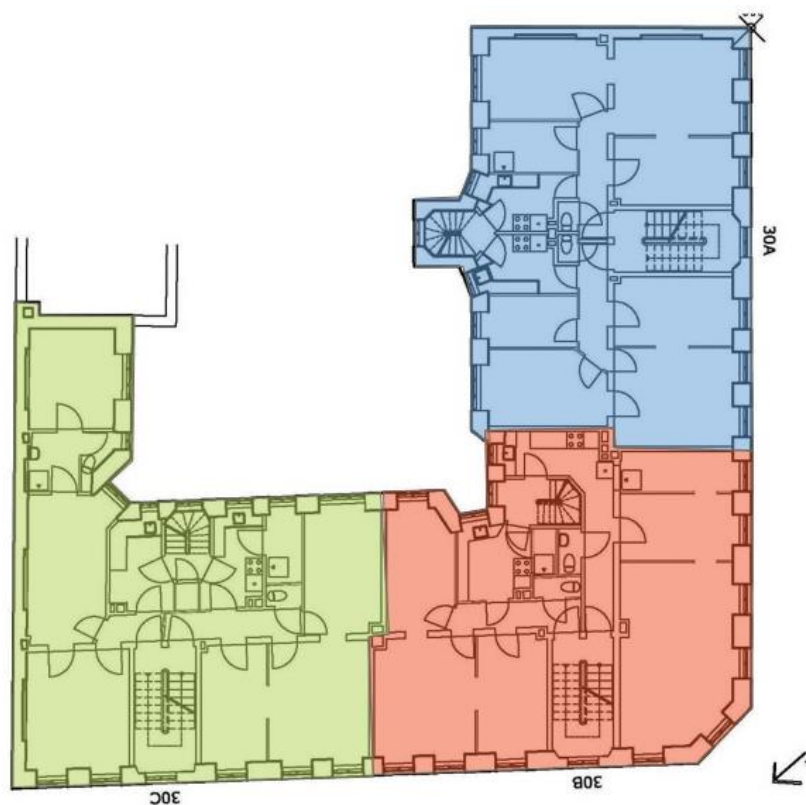


Figur 2: Ryesgade 30 før renoveringen.

Bygningen er opvarmet med fjernvarme og frisk luft blev leveret af naturlig ventilation fra åbne vinduer og utætheder. Før renoveringen var bygningen blevet tids-svarende og fra toilet/badeværelser og køkkener var der oprindeligt naturlig ventilation, men i de fleste lejligheder var kanalerne enten blokeret eller virkede ikke.

Alle lejligheder på nær én havde indeliggende toilet, enkelte lejligheder havde badeværelse, og en del havde brusekabine i værelse eller køkken.

Den bærende konstruktion består af træbjælker og massiv mur. Tykkelsen af facadens murværk varierer fra 350-710mm (1½-3 sten). Der var ingen isolering i klimaskærmen og vinduerne var gamle 1-lags ineffektive vinduer. Figur 3 viser en plantegning af bygningen.



Figur 3: Plantegning af Rymsgade 30 A, B og C

U-værdier for den eksisterende bygning kan ses i tabel 1.

Tabel 1: U-værdier for den eksisterende bygning

	U- VÆRDI $W/(m^2 \cdot K)$
Gennemsnitsværdi af facaden (mursten)	1,40
Tagkonstruktionen	0,52
Gulv mod kælder	1,50
1-lags vinduer	4,20

6 Bygningsbeskrivelse EFTER renoveringen

6.1 Forbedringer

Ejendommen blev i byfornyelsesprojektet både energirenoveret og moderniseret. Følgende forbedringer blev gennemført.

Generelle forbedringer:

- › Nye køkkener (i to af opgangene blev bagtrappen inddraget og i hovedtrapperum installeret sprinkleranlæg for at få større køkkener).
- › Nye badeværelser
- › Istandsættelse af facader, kælder og trapperum
- › Udskiftning af alle installationer, bortset fra dele af varmeanlægget
- › Attraktive penthouselejligheder med individuelle tagterrasser hvilket hæver det opvarmede areal til 3310 m².

Energimæssige forbedringer:

- › Nye energirigtige vinduer der ligner de oprindelige
- › Indvendig isolering med kompaktisolering
- › Mekanisk ventilation med varmegenvinding
 - › Opgang A: Traditionel central ventilation
 - › Opgang B: Central behovsstyret ventilation
 - › Opgang C: Decentrale ventilationsanlæg i lejlighederne
- › Solceller
- › Udvendig isolering af brandgavl med mineraluld
- › Isolering under kælderloft med mineraluld



Figur 4: Ejendommen på Ryegade 30 efter renovering.

6.2 Vinduer

På grund af bygningens status som bevaringsværdig, måtte renoveringen ikke ændre facadens udtryk. Kommunen accepterede dog, at vinduerne blev udskiftet med nye vinduer, der var konstrueret som de gamle vinduer, da det fra testlejligheden blev erfaret, at denne løsning var den billigste samtidig med at være den mest energibesparende. De nye vinduer var specialudviklede til projektet med bl.a. trukket glas i det yderste lag af ruden for at give vinduet det samme udtryk og spejling som oprindeligt i 1896.

De nye vinduer, som blev monteret, er trævinduer med koblede rammer 1+2 fra Frovin Vinduer og Døre A/S. U-værdien for vinduerne er på $U = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$, og E_{ref} er ca. $\pm 20 \text{ kWh/m}^2\text{/år}$.

6.3 Ventilation

Tre forskellige mekaniske ventilationssystemer med varmegenvinding blev installeret i de tre opgange for at lave en tæt sammenligning af drift og energiforhold.

6.3.1 Traditionelt centralt mekanisk ventilationsanlæg

Opgang A: Et traditionelt centralt mekanisk ventilationssystem (fabrikat Exhausto) er placeret i kælderen. Anlægget har friskluftindtag i kælderniveau ved trappeskakt. Eksisterende skorstene anvendes til at føre luften fra udsugningskanaler fra badeværelser og køkkener til kælder. Yderligere anvendes eksisterende skorstene til afkast af brugt luft over tag. Friskluft ledes frem til lejligheder via nye kanaler (fremføring af friskluft via eksisterende skorstene blev overvejet, men ville nødvendigvis

re en relativt dyr og kompliceret strømpøforing uden garanti for et tilstrækkeligt lavt tryktab + svært integrerbar lyd-dæmper i hvert rum i boligerne)

Anlægget er brandsikringsmæssigt opbygget som et røgventileret system med røgventilator placeret på tag.

Den tilførte luft til de resterende rum har en konstant luftstrøm på 140 m³/h. Udsugningsluften fra badeværelserne er konstant på 20 m³/h, når den relative luftfugtighed er under 55 % og 54 m³/h, når den overstiger 55 %. I køkkenet er udsugningen generelt på 72 m³/h, men stiger til 144 m³/h, når emhætten aktiveres.

Som det kan ses af elmålingerne inklusiv kommentarer i afsnit 7.2.3, har anlægget i opgang A et markant højere elforbrug end det tilsvarende centrale anlæg i opgang B. Dette skyldes blandt andet den store brug af eksisterende skorstene med relativt store tryktab til følge.



Figur 5: Traditionelt centralt placeret mekanisk ventilationsanlæg i kælderen.

6.3.2 Avanceret centralt mekanisk ventilationsanlæg

Opgang B: Ventilationsystemet i opgang B er et centralt ventilationssystem med et aggregat, der er placeret i kælderen (fabrikat Exhausto med Leanvent spjældsystem). Anlægget har friskluftindtag i kælderniveau ved trappeskakt. Der er nye hovedkanaler til både friskluft og udsugning fra lejligheder. Eksisterende skorstene anvendes til afkast af brugt luft over tag.

Brugen af eksisterende skorstene til afkast af brugt luft over tag har vist sig problematisk i opgang B. Selvom skorstenen er tætnet meget grundigt i forbindelse med renoveringen (dog ikke blevet trykprøvet), så er der i en specifik lejlighed opstået

mindre lugtgener pga. udsivning af afkastluft i små sprækker (der er et mindre overtryk i skorstenen pga. blæser i ventilationsanlæg i kælderen). Dette viser tydeligt, at brugen af eksisterende skorstene til afkast, og hvor der er et lille overtryk, er risikobetonet. Strømpeføring kan naturligvis minimere risikoen, men er som tidligere nævnt en relativ dyr løsning, og der er ikke garanti for et godt lavt tryktab.

Anlægget er brandsikringsmæssigt opbygget som et røgventileret system med røgventilator placeret på tag.

Ventilationssystemet er behovsstyret baseret på CO₂, relativ luftfugtighed og temperatur. Desuden er der et brugerpanel til at regulere specifikke brugerbehov. Når lejligheden er ubemandet, har kommunen givet dispensation til at afvige fra kravene i bygningsreglementet således, at der kun ventileres med et luftskifte på 22 m³/h.

6.3.3 Decentralt ventilationsanlæg

Opgang C: Ventilationsanlæggene i opgang C er decentrale anlæg på lejlighedsniveau (fabrikat Drexel & Weiss). Dette indebærer, at hver lejlighed har sit eget aggregat. Anlæggene er væghængte og placeret i skabe i henholdsvis køkken og mellemgang.

Hvert anlæg har friskluftindtag via facaden. I lejlighederne i opgangens højre side ledes afkast op over tag for hvert anlæg via brandisolerede kanaler i kanalskakt. I lejlighederne i opgangens venstre side ledes afkast til gavlvæg uden vinduer. Ventilationsanlæggene kører uden nogen form for behovsstyring. Anlægget kan dog forceres til maksimal kapacitet ved aktivering af emfang. Anlægget er ikke udført med intelligent spjæld (f.eks. Emboks fra Nilan) til prioritet af sug fra emfang under forceret drift. Da anlægget har en kapacitet begrænset til ca. 180 m³/h, så er emfangets effektivitet i flere af lejlighederne relativt begrænset pga. utilstrækkeligt sug (dette kan forbedres ved brug af intelligent spjæld).



Figur 6: Decentralt ventilationsanlæg i et køkkenskab

6.3.4 Sammenfatning ventilation

Der er udført omfattende brugerundersøgelser for at få feedback på ventilationen, og beboere er efterfølgende besøgt. Overordnet set er der tilfredshed med ventilationen i Ryesgade 30 - dog er der alligevel tendenser, som skal behandles og det er primært:

- › Ventilationen støjer (ventiler og aggregatstøj)
- › Emfanget virker dårligt
- › Beboerne forstår ikke, hvordan ventilationen (og anlægget) virker

Mht. driftssikkerhed, har de decentrale anlæg vist sig klart bedre end de centrale anlæg i opgang A og B. Anlæggene har også vist sig markant nemmere at fejlfinde på, da en given fejl kun er relateret til en enkelt lejlighed og enhed. I forbindelse med servicearbejde påvirkes kun et enkelt lejemål ad gangen og ikke en hel opgang som i A og B.

6.4 Indvendig isolering

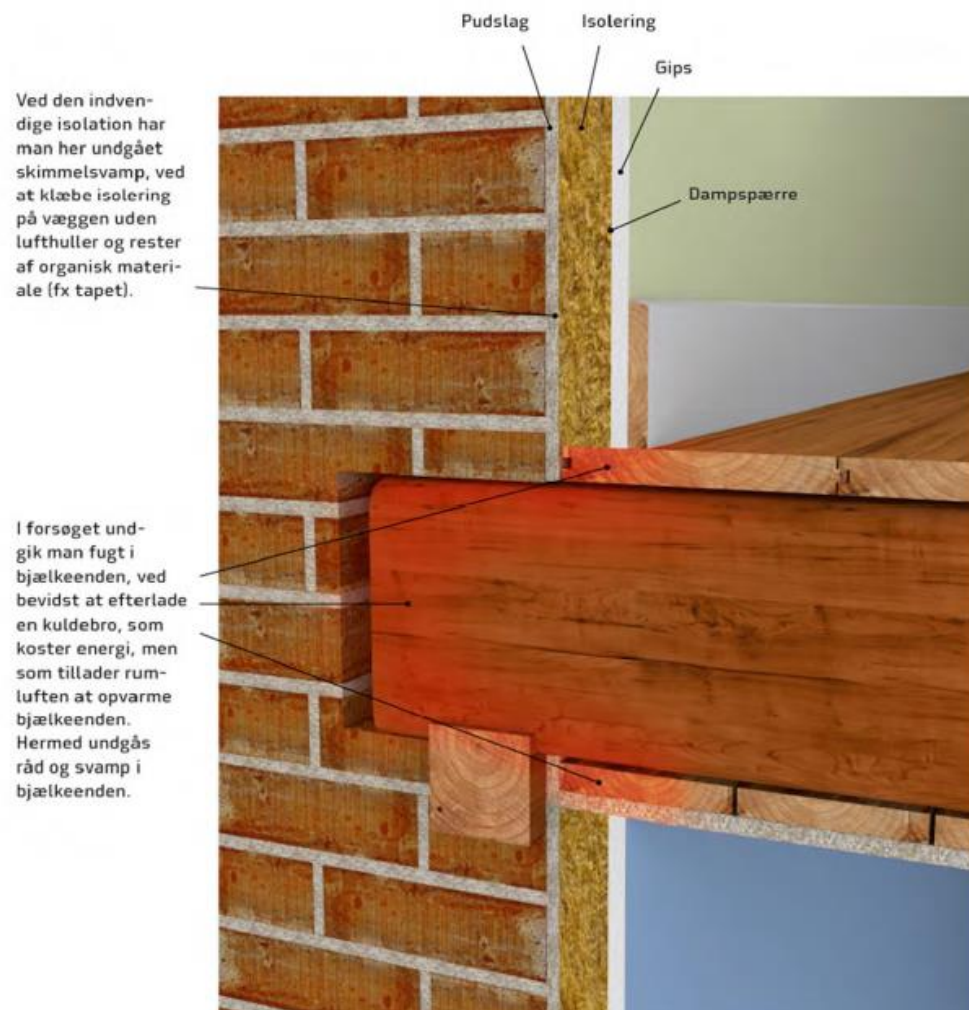
Det blev besluttet at anvende indvendig isolering i hele ejendommen efter gode erfaringer med dette fra prøvelejligheden. Dog viste disse erfaringer samtidigt, at det er vigtigt at tage en række forholdsregler.

Ved anvendelse af indvendig isolering er der risiko for fugtskader af det bærende træbjælkelag, da isoleringen ændrer temperatur og fugtforhold i bjælkeenderne i

murværket. Samtidig har tidligere eksempler på indvendig isolering vist, at der er risiko for dannelse af skimmelsvamp i grænsefladen mellem isoleringsmaterialet og murstenene, da temperaturen her sænkes og fugtigheden øges på grund af den indvendige isolering.

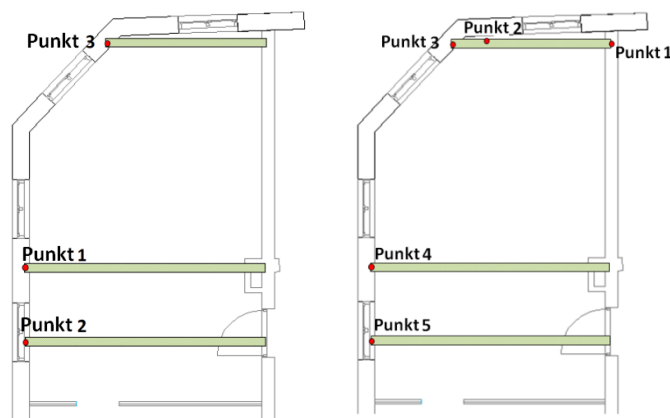
Efterprøvninger af nye kompakte isoleringsmaterialer i prøvelejligheden viste, at det er afgørende for væksten af skimmelsvamp, at afrense muren for alt organisk materiale, før den indvendige isolering opsættes, hvormed svampesporerne fratages deres næringsgrundlag. Derudover kræver det stor omhyggelighed at opsætte isoleringen således, at luftlommer bagved elimineres og fugtige områder, hvor svampen kan leve, dermed ikke kan opstå.

Analyser og beregninger relateret til prøveligheden og foretaget af DTU viste endvidere, at risikoen for skimmelsvamp vækst og trænedbrydende svampe i bjælkeenderne i den bærende bjælkekonstruktion minimeres, hvis de nederste 20 cm af væggen lige over gulvkonstruktionen friholdes for isolering, da der hermed tilføres mere varme til bjælken. Dette er særligt relevant i den øverste etage, hvor murtykkelsen er mindst på blot én mursten. Figur 7 viser en tegning af udførelsen af den indvendige isolering. Dog stoppes isoleringen nogle steder 200 mm. over gulvet, dels for at sikre en smule varmetilførsel til bjælkerne og dels for at give plads til installationer.



Figur 7: Princip skitse af udførelsen af den indvendige isolering.

For at undersøge risikoen for skimmelsvamp vækst og vækst af trænedbrydende svampe i træbjælkeenderne, blev der udført målinger af temperatur og relativ fugtighed i disse i de to mest udsatte lejligheder for drivende regn, som har en stor indflydelse på vand og fugtindhold i facaden og bjælkeenderne. Der blev målt på den sydvest vendte facade i opgang 30 B på 4. og 5. sal. På Figur 8 ses målepunkterne. Resultaterne herfra gennemgås i afsnit 7 Måleresultater.



Figur 8: Målepunkter for temperatur og relativ luftfugtighed på 4. sal (tv) og 5. sal (TH) i opgang B.

Lejlighederne i opgang A og B blev isoleret med Aerorock (en blanding af Rockwool og aerogel) med en varmeledningsevne (λ -værdi) på 0,019 W/mK og lejlighederne i opgang C blev efterisoleret med Kingspan (λ -værdi på 0,020 W/mK). Årsagen til at Aerorock blev udskiftet med Kingspan ligger i udviklingsprocessen, hvor forudsætningerne ændrede sig. Rockwool donerede et parti Aerorock til afprøvning og test i hhv. prøvelejligheden og byfornyelsesprojektet, men da man på baggrund af de gode resultater fra prøvelejligheden besluttede at videreføre den indvendige isolering i byfornyelsesprojektet, og dermed skulle bruge en større mængde Aerorock end forventet, fik Rockwool problemer med at levere. Årsagen skyldtes, at Rockwools tyske afdelings udvikling af produktet ikke var gået som forventet, og prisen på produktet var ikke længere økonomisk bæredygtig.

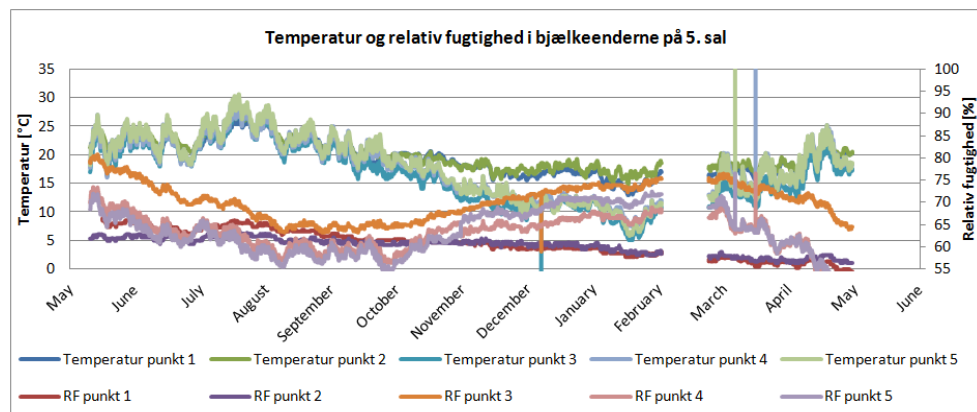
6.5 Udvendig efterisolering

Den nordøstlige facade af bygningen (brandgavl mod nummer 32) er blevet efterisoleret udvendigt med 250 mm mineraluld fra Rockwool (varmeledningsevne, λ -værdi = 0,039 W/mK).

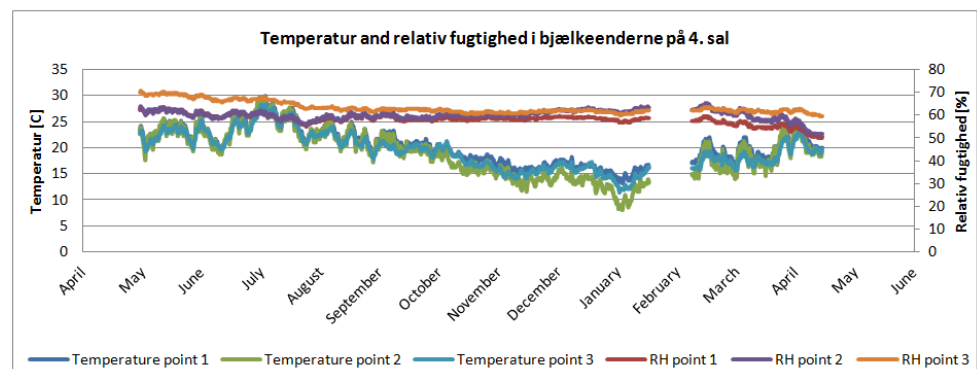
7 Måleresultater

7.1 Fugtforhold i bjælkeender

Der er foretaget målinger af temperatur og relativ luftfugtighed i træbjælkeenderne i to slagregnsudsatte lejligheder på hhv. 4. og 5. sal, og resultaterne er vist i Figur 9 og Figur 10. Som det kan ses på figurerne ligger den relative fugtighed i bjælkeenderne på 5. sal kun i meget korte perioder over 75 %, som anses for at være den kritiske grænse for vækst for skimmelsvamp. På 4. sal ses det, at den relative fugtighed ikke overstiger 70 %, med undtagelse af en kort periode i starten af måleperioden.

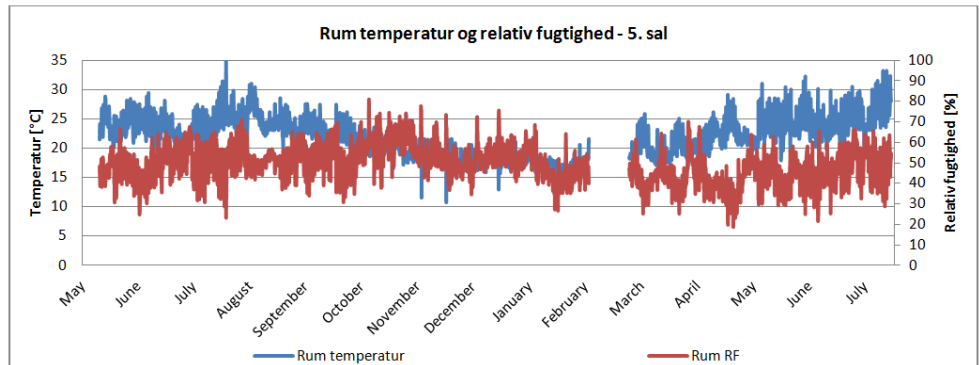


Figur 9: Temperatur og relativ luftfugtighed i bjælkeenderne på 5. sal

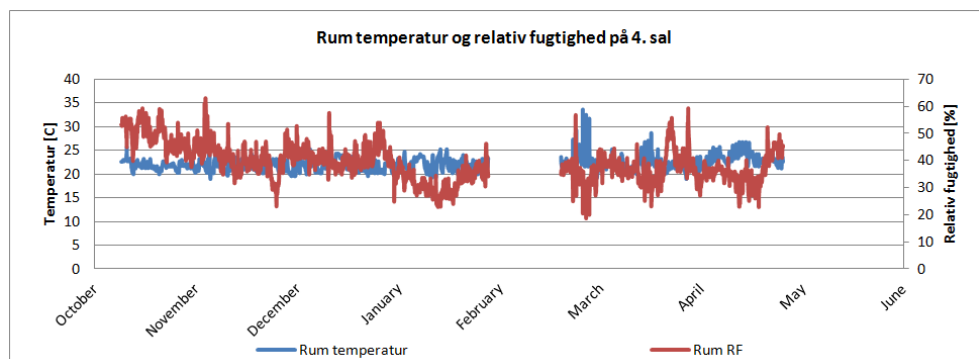


Figur 10: Temperatur og relativ luftfugtighed i bjælkeenderne på 4. sal.

Figur 11 og Figur 12 viser rumtemperaturen og relativ luftfugtighed i de to rum, hvori der udføres målinger i bjælkeenderne på hhv. 4. og 5. sal. Det ses, at rumtemperaturen på 5. sal i en periode over vinteren har ligget forholdsvis lavt (< 20 °C), hvor temperaturen på 4. sal har ligget på mellem 20-25 °C.



Figur 11: Temperatur og relativ luftfugtighed i rummet på 5. sal



Figur 12: Temperatur og relativ luftfugtighed i rummet på 4. sal.

Baseret på disse målinger, der viser, at forholdene for skimmelsvamp og andre trænedbrydende svampevækster kun er til stede i meget kort perioder, kan det umiddelbart konkluderes, at der ikke er nogen risiko for nedbrydning af træbjælkelaget ved indvendig isolering. Dog skal det nævnes, at den målte vinterperiode var en mild vinter i forhold til normalåret, hvorfor det er nødvendigt at indsamle flere data for koldere vintre for at kunne konkludere endeligt på risikoen.

7.2 Energiforbrug

7.2.1 Varmeforbrug

Før renoveringen

Det målte energiforbrug i ejendommen før renoveringen omfatter rumopvarmning og varmt brugsvand og er på 155,5 kWh/m² pr. år, som er et gennemsnit af årene 2007-2009. For at kunne evaluere og analysere renoveringen, energibesparelserne forbundet herved samt energiforbruget efterfølgende, er der lavet en simulering af energiforbruget i bygningen før renoveringen med bygningssimuleringsprogrammet IDA ICE 4.5 med udgangspunkt i det Danske Reference År (DRY). Simuleringen er udført ved en infiltration på 0,5 h⁻¹. Tabel 2 viser en oversigt over det

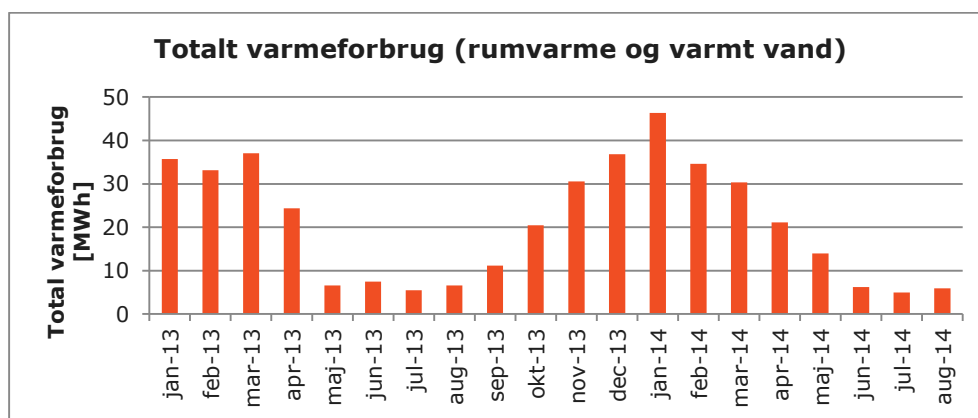
målte og beregnede forbrug før renoveringen ved forskellige holdte rumtemperaturer. Ved en rumtemperatur på 20°C afviger det beregnede forbrug 2,3 % fra det målte, hvilket antages for at være en acceptabel nøjagtighed af modellen. Data for det målte forbrug er leveret af HOFOR A/S, og måler det samlede varmeforbrug for hele bygningen inklusiv rumvarme og varmt brugsvand.

Tabel 2: Målt og beregnet varmeforbrug for ejendommen før renoveringen

RUMVARME OG VART BRUGSVAND I BYGNINGEN FØR RENOVERING				
[kWh/m ² /år]	Målt forbrug	Beregnet forbrug 20 °C	Beregnet forbrug 22 °C	Beregnet forbrug 24 °C
Opgang A	-	129.0	155.7	181.1
Opgang B	-	148.1	176.3	201.6
Opgang C	-	177.5	198.4	239.4
Total	155.5	151.9	181.5	220.8

Efter renoveringen

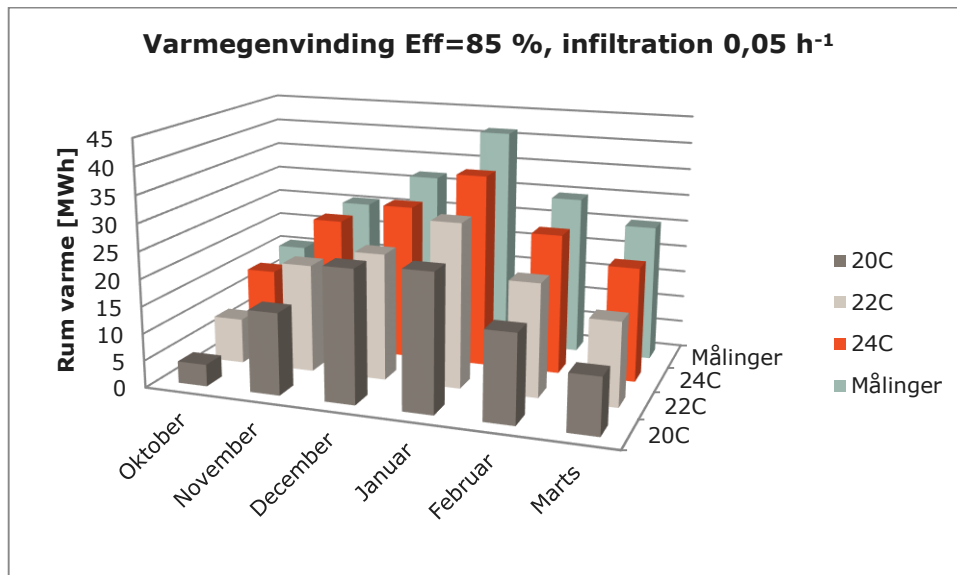
Varmeforbruget er ligeledes målt efter renoveringen, for at kunne evaluere hvor meget varme, der er sparet som følge af energirenoveringen. Det målte forbrug inkluderer både rumvarme og varmt brugsvand. Figur 13 viser det målte forbrug fra januar 2013 til og med August 2014. Der måles ikke separat på rumvarme og varmt brugsvand og dermed er forbruget til varmt vand estimeret til 18 kWh/m²/år baseret på forbruget i juni og juli 2014. Dette er en smule over, hvad der foreskrives i bygningsreglementet, hvor forskrifterne siger 13 kWh/m²/år for nye bygninger.



Figur 13: Målt varmeforbrug i Ryegade A, B og C.

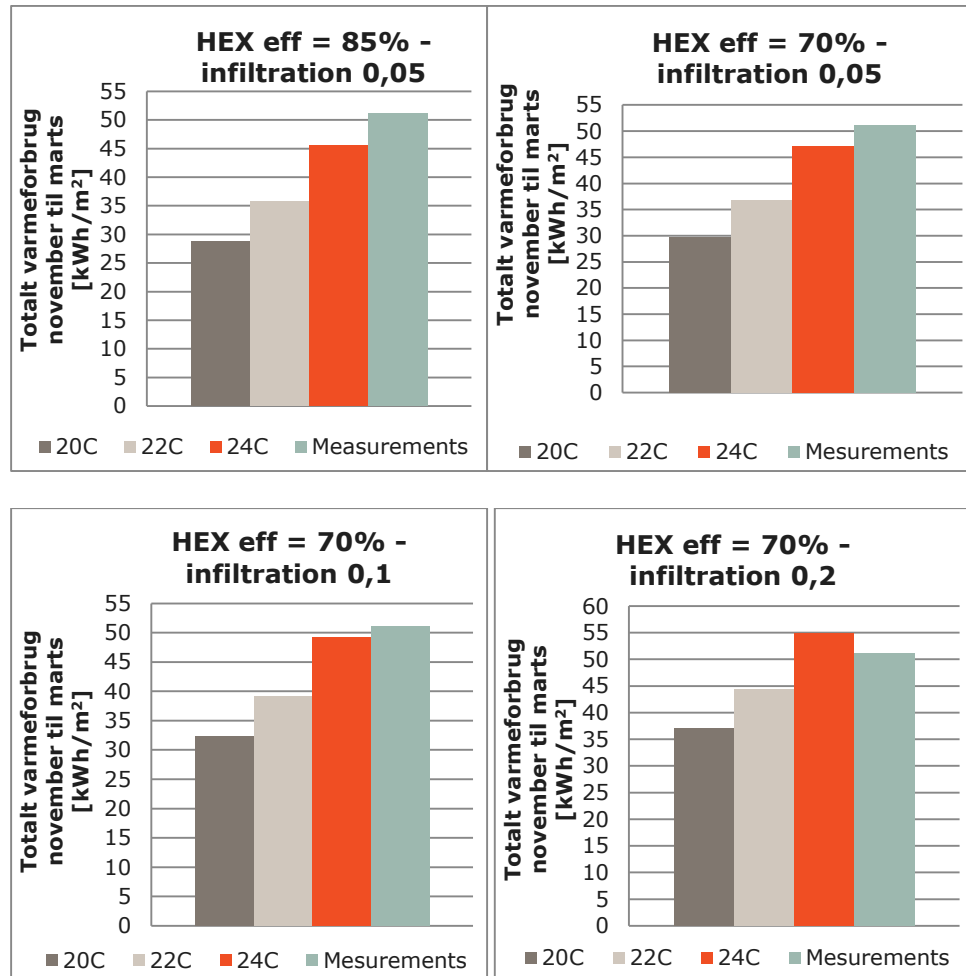
Varmeforbruget for rumvarme er hermed estimeret til 60 kWh/m²/år, hvilket ligger højere end forventet. Der er derfor lavet en simuleringsmodel af Ryegade efter renoveringen for at finde ud af, hvorfor rumvarmeforbruget ligger over det forventede. Figur 14 viser en sammenligning mellem det faktiske målte forbrug i vinterhalvåret

2012/2013 og det beregnede forbrug baseret på simuleringer ved forskellige rumtemperaturer. Til simuleringerne er benyttet målte vejrdata i perioden leveret af DMI. Simuleringen er som udgangspunkt udført ved en varmegenvinding på ventilation på 85 % og en infiltration på $0,05 \text{ h}^{-1}$.



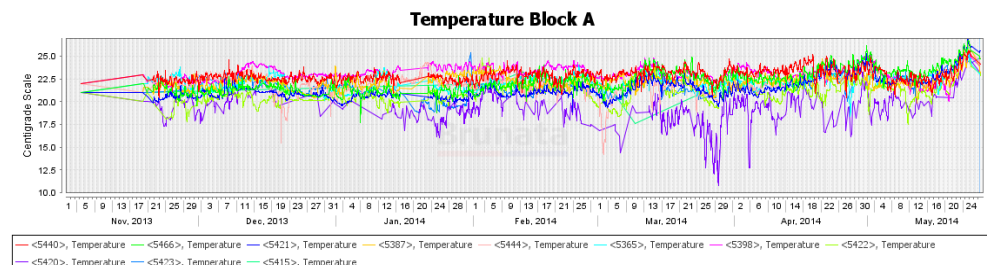
Figur 14: Sammenligning mellem målinger og simuleringer med IDA ICE. Varmegenvindingsgrad for ventilation på 85 % og infiltration på $0,05 \text{ h}^{-1}$ ved hhv. 20, 22 og 24°C .

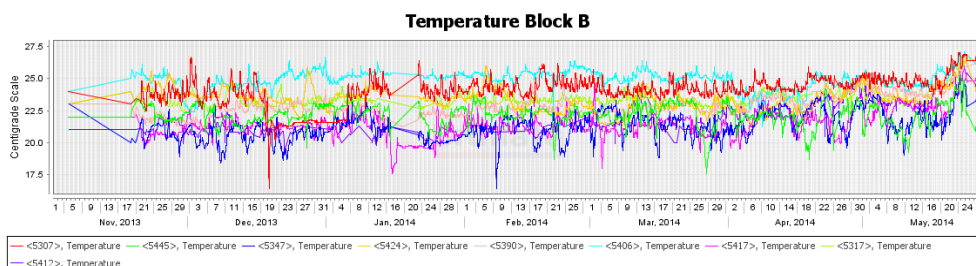
Som det ses i figuren ovenfor, er der nogen afvigelse mellem målt og beregnet rumvarme. For at kunne forklare dette, er der lavet en parameteranalyse, hvor varmegenvindingsgraden på ventilation og infiltration varieres. Resultaterne ses i Figur 15. Det ses, at hvis varmegenvindingsgraden på ventilation i virkeligheden kun er 70 %, samt hvis infiltrationen er omkring $0,1-0,2 \text{ h}^{-1}$ og rumtemperaturen er mellem $22-24^\circ\text{C}$, så ses der en god overensstemmelse mellem målingerne og beregningerne. Ved energirenovering ses det ofte, at brugeren oplever en øget komfort og mange har en tendens til at hæve rumtemperaturen. Når rumtemperaturen øges med ca. 2°C så kan varmeforbruget forøges med op til ca. 20 %. Derudover blev der lavet en brugerundersøgelse, som viste at på trods af, at det mekaniske ventilationsanlæg burde forsyne bygningen med frisk luft, så har mange beboere en tendens til ofte at åbne vinduer i stue og soveværelse. Dette kan skyldes vane eller at folk ikke føler, at de får frisk luft, med mindre vinduerne står åbne. Endvidere er der nogle rygere i lejlighederne, som åbner vinduet, hver gang der ryges, hvilket alt sammen skaber ekstra store varmetab.



Figur 15: Sammenligning mellem målinger og simuleringer med IDA ICE. Varmegenvindingsgraden varierer fra 70-85% og infiltrationen fra 0,05-0,2 h⁻¹ og temperaturerne er hhv. 20, 22 og 24 °C.

På Figur 16 ses de faktiske målte temperaturer i opgang A og B (leveret af Brunata). Desværre er temperaturerne fra opgang C ikke blevet logget pga. tekniske fejl i systemet. Som det ses af figureerne, er gennemsnitstemperaturerne omkring 22-23 °C, hvilket stemmer godt overens med antagelserne i simuleringssmodellen, som matcher varmemålingerne bedst.

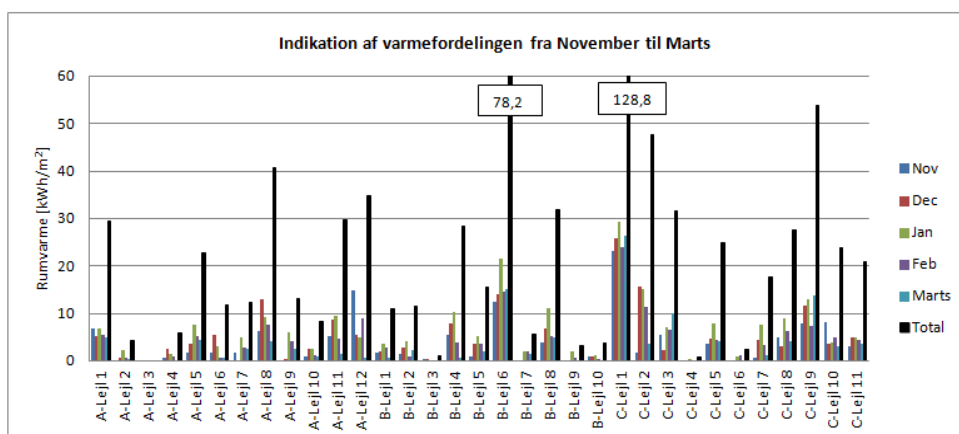




Figur 16: Målte temperaturer i opgang A og B.

7.2.2 Varmefordeling

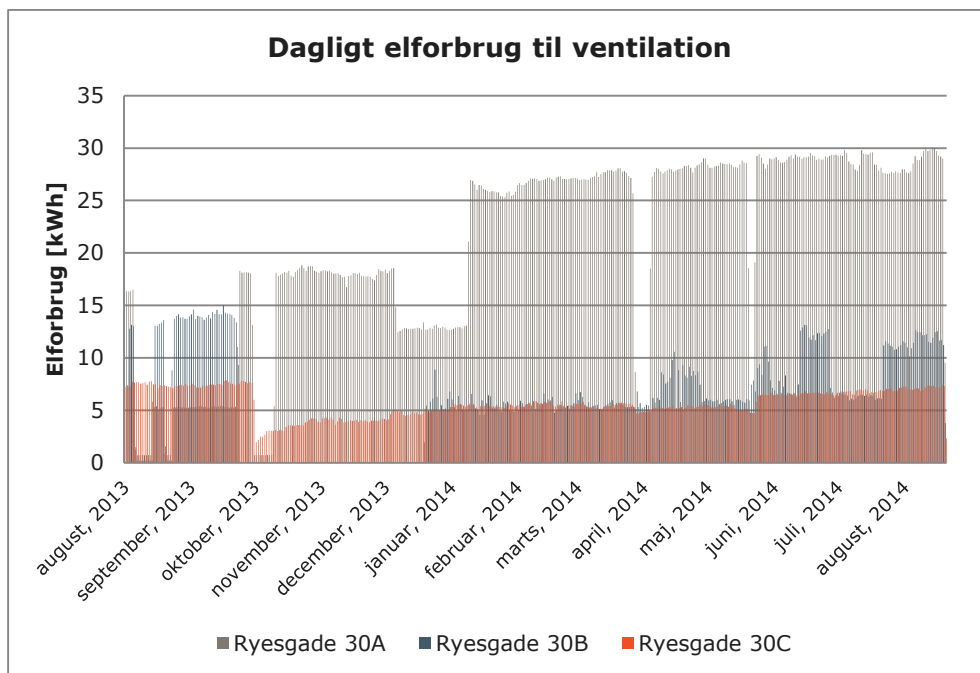
Fordelingen af rumvarme pr. måned og totalt i perioden fra november til marts er vist i Figur 17 for hver lejlighed. Figuren viser at C-lejl.1 forbruger mere end 5 gange så meget som det gennemsnitlige forbrug fra november til marts på 24 kWh/m². Lejligheden bliver benyttet til erhverv, hvilket kan være årsagen til det ekstra høje rumvarmeforbrug. De resterende lejligheder varierer ligeledes meget med op til omkring en faktor 80. Dette indikerer, at brugeradfærden er yderst afgørende for den opnåede energibesparelse.



Figur 17: Fordeling af varmeforbrug mellem lejlighederne i de tre opgange

7.2.3 Elforbrug

Elforbruget af de tre forskellige ventilationssystemer er målt fra august 2013 til slutningen af august 2014 og ses i Figur 18. Som det fremgår af figuren, har systemerne ikke haft en stabil drift i hele perioden, men siden januar 2014 synes driften at have indtaget et relativt stabilt leje. Derfor er det valgt kun at evaluere forbruget fra januar 2014.



Figur 18: Målt dagligt elforbrug til ventilation. Sammenligning mellem de tre forskellige anlæg.

I Tabel 3 ses en sammenligning mellem det målte og det beregnede elforbrug til ventilation fra januar 2014 til marts 2014. Det ses, at der er en forholdsvis god overensstemmelse mellem de målte og beregnede værdier.

Tabel 3: Målt og beregnet elforbrug til ventilation fra januar til marts.

ELFORBRUG TIL VENTILATION JANUAR-MARTS	OPGANG A		OPGANG B		OPGANG C	
	Beregnet	Målt	Beregnet	Målt	Beregnet	Målt
Total for perioden [kWh]	1946,0	2010,7	589,2	440,0	562,2	434,8
Totalt pr m ² for perioden [kWh/m ²]	2,0	2,1	0,6	0,4	0,6	0,5

Baseret på målingerne er det årlige elforbrug til ventilation estimeret og vist i Tabel 4. Som det ses, er der et stort elforbrug til ventilation i opgang A, hvilket bl.a. kan skyldes, at aggregaterne med varmegenvindingen er placeret i kælderen og afkast sker over taget. Dette betyder ekstra store tryktab, da luften skal rejse langt. I opgang B skal luften rejse lige så langt, men i den behovsstyrede ventilation er luftmængden betydeligt mindre og elforbruget derfor også lavere end i anlægget med konstant luft flow.

Tabel 4: Estimeret årligt elforbrug til ventilation på baggrund af målte data fra januar-marts 2014.

ÅRLIGT ELFORBRUG TIL VENTILATION	OPGANG A	OPGANG B	OPGANG C
Totalt pr m ² for perioden [kWh/m ²]	9,9	2,4	2,3

7.2.4 Produktion af el fra solceller

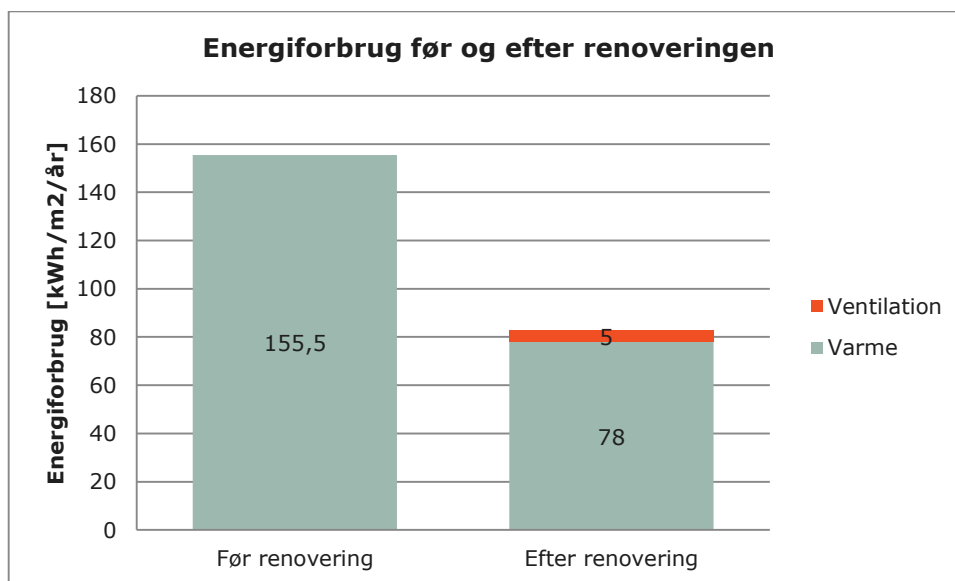
Der blev installeret 80 m² solceller på taget. Fra producentens side blev produktionen beregnet til 8.950 kWh pr. år / 3310 m² = 2,7 kWh/m²/år, mens det målt har vist sig at producere 11.000 kWh pr. år / 3310 m² = 3,3 kWh/m²/år. Dette er knap 20 % over, hvad der var forventet.

Produktionen fra solcellerne kan trækkes fra det årlige energiforbrug, således at energirammen forbedres.

For de boliger, der har ventilationsanlæg med lavt elforbrug (opgang B og C), er elproduktionen fra et solcelleanlæg, med et areal på 15-20% af det bebyggede areal (2,5% af etagearealet), større end elforbruget til ventilation.

7.2.5 Opnåede energibesparelser

Baseret på målinger og beregninger er besparelsen for energirenoveringen i Ryesgade 30 estimeret. Ifølge målingerne er der opnået en besparelse på 47 %, hvilket ses i figur 19 (eksklusiv solcelleproduktionen).



Figur 19: Målt energiforbrug før og efter renoveringen.

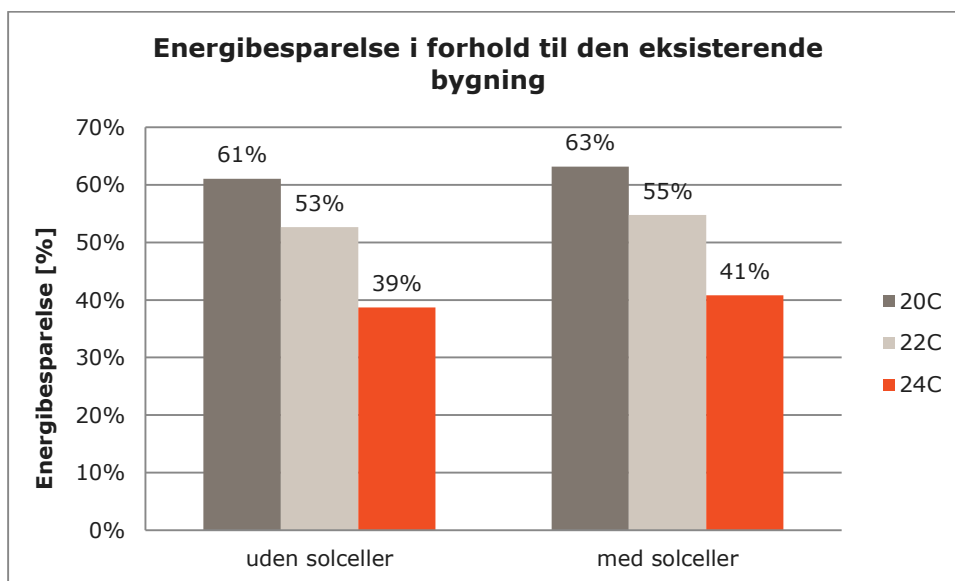
Besparelsen er endvidere estimeret baseret på den validerede simuleringsmodel, som er baseret på normalåret, nemlig det danske referenceår (DRY). Eftersom det

er påvist, at beboerne har en højere temperatur og sandsynligvis et større luftskifte via naturlig ventilation (gennem vinduer), er besparelsen beregnet med forskellige rumtemperaturer, for at vise hvor meget bygningen ville have sparet under uændret rumtemperatur og ved et standard vejrår.

I Tabel 5 ses energiforbruget før og efter renoveringen samt for forskellige rumtemperaturer, og i Figur 20 ses hvor meget, der spares i procent efter energireno- veringen. Det ses, at energibesparelserne i høj grad afhænger af setpunktet for rumtemperaturen. Ved en temperatur på 20°C spares 61 %, men hvis temperatu- ren hæves til hhv. 22°C eller 24°C bliver besparelsen kun hhv. 53 % eller 39 %.

Tabel 5: Energiforbrug før og efter renoveringen.

	EKS. BYGNING	RENOVERET BYGNING					
	Målt 20 °C	Beregnet 20 °C		Beregnet 22 °C		Beregnet 24 °C	
[kWh/m ² /år]	Rumvarme + VBV*	Rum- varme + VBV*	Ventila- tion	Rum- varme + VBV*	Ventilati- on	Rum- varme + VBV*	Ventila- tion
Blok A		70,2	8,0	88,8	8,0	119,4	8,0
Blok B		48,3	2,8	58,6	2,8	75,4	3,1
Blok C		50,1	2,5	60,4	2,5	77,8	2,7
Vægtet total	155,5	60,6		73,6		95,3	
Fratrukket solcelle produktion	155,5	57,3		70,3		92,0	



Figur 20: Energibesparelser i procent i forhold til den ikke-renoverede bygning.

7.3 Indeklima og brugeradfærd

Der er endvidere lavet en brugeradfærdsanalyse², som viser, at der er nogle folk som ryger og derfor har vinduerne åbnet, hvilket kan betyde store varmetab, hvis varmen samtidig er tændt. Derudover er der mange af beboerne, som åbner deres vinduer i soveværelse og stue dagligt for at lufte ud og få frisk luft ind, på trods af at det mekaniske ventilationsanlæg burde tilføre nok frisk luft. Dette skaber ekstra varmetab, da der ikke er nogen varmegenvinding på ventilationen.

² DTU International Center for Indoor Environment and Energy, Rune Korsholm Andersen

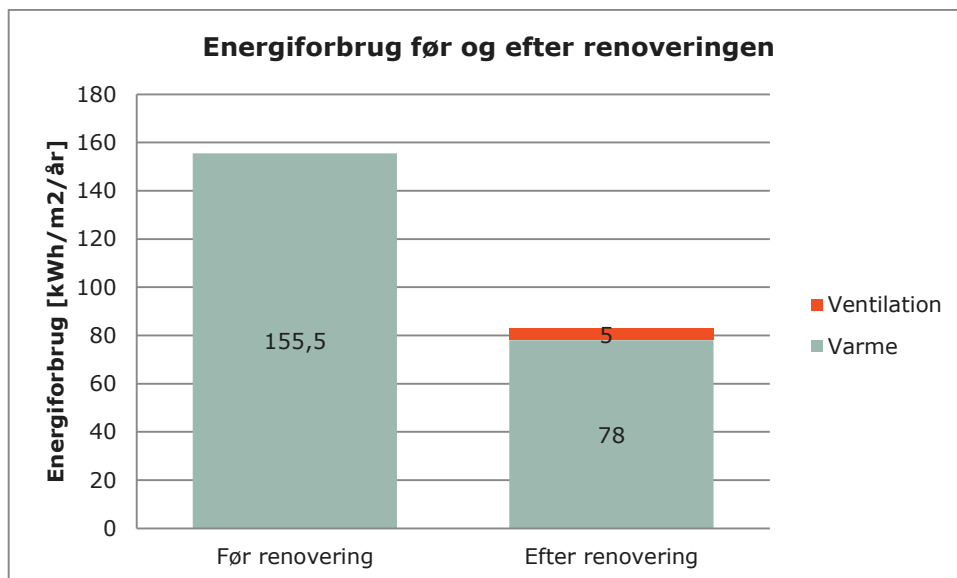
8 Konklusion

Før renoveringen havde ejendommen et samlet energiforbrug på 156 kWh/m² pr. år til rumopvarmning og varmt brugsvand.

Efter renoveringen er dette forbrug reduceret til 83 kWh/m²/år målt i perioden fra september 2013 til september 2014, se Figur 21. Dette svarer til en besparelse på 47 %, hvilket ligger under målet om at demonstrere løsninger til at energirenovere ældre etageboliger til den daværende lavenergiklasse 1, som var et forbrug på 35 kWh/m²/år.

Hovedårsagen til at dette ikke blev opnået er, at beboerne har en højere rumtemperatur end standard 20 °C samt, at mange har en tendens til at åbne vinduerne for at få frisk luft (hvilket ikke burde være nødvendigt, da den mekaniske ventilation forsyner frisk luft til lejlighederne). Dette skaber ekstra store varmetab, da der i disse tilfælde ikke er varmegenvinding på ventilationen. Hvis temperaturen er holdt på 20 °C også efter renoveringen, ville det være muligt at opnå en besparelse på omkring 63 % eller et forbrug på 57,3 kWh/m²/år inklusiv solcelleproduktionen, hvilket lægger sig tæt på kravene til nye bygninger i henhold til bygningsreglementet 2010 (BR10).

I opgang B og C, hvor der er udført isolering på alle ydervægge og valgt ventilationsanlæg med lavt elforbrug, er det beregnede energiforbrug (fratrasket solcellernes elproduktion) omkring 50 kWh/m²/år, som kan betragtes som svaret på, hvor tæt vi i dette projekt kunne komme på målet, som var de 35 kWh/m²/år.



Figur 21: Målt årligt energiforbrug for Ryesgade 30. Målinger af elforbrug til husholdninger samt produktionen fra solcellerne er ikke inkluderet.

Beboerne er generelt meget tilfredse med renoveringen og oplever store komfortforbedringer. Områder af lejlighederne, der før ikke kunne bruges pga. kulde og træk, kan nu udnyttes til fulde. Et sideløbende forskningsprojekt om brugeradfærd har vist, at beboerne har meget forskellige vaner, hvilket som nævnt afspejler sig i energiforbruget. Projektet påviser, at der fortsat er store udfordringer i at få beboere i nyrenoverede boliger til at bruge boligerne mest hensigtsmæssigt i forhold til energiforbrug.

9 Billeder



Figur 22: Nyt badeværelse og gangområde i lejlighederne.



Figur 23: *Nyt større køkken i området, hvor der tidligere var en køkkentrappe.*



Figur 24: *Tagboligerne set inde fra baggården.*



Figur 25: Åben køkken-spisestueløsning i én af tagboligerne. Trappen i højre side af billedet fører op til den private tagterrasse, som kan ses på billede i Figur 24.

10 Bilag A – " Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1.tv."



EUDP-støttet projekt

"Udvikling og 1:1-demonstration af koncepter til renovering af ældre etageboliger til lavenergiklasse 1"

Erfaringer fra prøvelejlighed Rymsgade 30C 1tv.

Delrapport

Juni 2011

COWI

ellehaug
kildemoes &

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

rönby.dk..>

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Konklusioner og anbefalinger	4
2.1	Facadeisolering	4
2.2	Vinduer	5
2.3	Ventilation	6
3	Beskrivelse af prøvelejligheden	8
3.1	Plan	8
3.2	Bygningsdele	9
4	Energibesparende tiltag	11
4.1	Indvendig isolering	13
4.2	Vinduer	39
4.3	Økonomi	47
4.4	Ventilation	52

Dokument nr. 072652-1

Version 1

Udgivelsesdato 6 juli 2011

Udarbejdet Leif Rønby, Troels Kildemoes, Henrik Tommerup, Maja Grud Christensen (MGCH)

Kontrolleret PEWE

Godkendt SEM

1 Indledning

Denne rapport er en delrapport i EUDP projektet "Udvikling og 1:1-demonstration af koncepter til renovering af ældre etageboliger til lavenergi-klasse 1". Formålet med dette projekt er at udvikle løsninger til renovering af ældre etageejendomme og at afprøve/demonstrere løsningerne på 2 ejendomme i det indre København. Den ene ejendom ligger på Ryesgade 30 og den anden ligger på Herman Triers Plads.

Den største udfordring i projektet er som udgangspunkt, at ejendommenes facader er bevaringsværdige, og dermed er udvendig efterisolering udelukket. Fra projektets start har det været intentionen at demonstrere og teste andre isoleringsmaterialer end traditionel isolering, herunder specielt indvendig isolering udført med kompaktisolering.

Ejendommen på Ryesgade 30 skal undergå en totalrenovering i forbindelse med et byfornyelsesprojektet, der løber fra sommeren 2011 og 8-9 måneder frem. Der skal bl.a. renoveres eller udskiftes vinduer, efterisoleres udvendigt på en stor brandgavl og etableres mekanisk ventilation. I den forbindelse giver EUDP-projektet mulighed for at "opgradere" renoveringen ved at give tilskud til energibesparende løsninger som f.eks. bedre isolerende vinduer, ekstra isolering, varmegenvinding på ventilationen etc.

For at kunne vælge de bedste energibesparende løsninger til ejendommen til den bedste pris, blev det besluttet at begynde med at renovere en enkelt lejlighed (fremover kaldet "prøvelejligheden"), hvor forskellige tiltag kunne afprøves, måles og evalueres inden den totale renovering.

Prøvelejligheden som ligger i Ryesgade 30C, 1.tv. har stået ubeboet fra d. 1. oktober 2010 til d. 1. november 2010, hvorefter en ny lejer er flyttet ind. Alle tiltag er derfor blevet implementeret i denne periode og efterfølgende målt og evalueret hen over vinteren og foråret..

Rapporten er udarbejdet i fællesskab af projektgruppen bestående af:

1. Leif Rønby, rønby.dk
2. Henrik Tommerup, DTU BYG
3. Troels Kildemoes, Ellehauge og Kildemoes
4. Svend Erik Mikkelsen, COWI
5. Maja Grud Christensen, COWI

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.

2 Konklusioner og anbefalinger

2.1 Facadeisolering

For at vurdere effekten af og fugtrisikoen ved indvendig isolering, er der opsat indvendig isolering på udvalgte vægge og i vindueslysninger i prøvelejligheden og efterfølgende foretaget målinger af efterisoleringens indvirkning på fugt- og temperaturforhold på den eksisterende mur, fals, brystninger og træbjælkeender.

På baggrund af de udførte målinger kan indvendig isolering, som udført i prøvelejligheden, umiddelbart anbefales.

De udførte målinger af temperatur og relativ fugtighed i to bjælkeender med isolerede ydervægge, hvor isoleringen er ført helt til gulv/loft, viser ingen tegn på kritiske forhold. Der er målt på bjælkeender i etagedækket mellem stueetagen og 1. sal ved den nordøstvendte gavl, hvor murværket har en tykkelse på 1½ sten og med kun ½ sten foran bjælkeenderne. Det skal dog bemærkes, at målingerne ikke er udført på de mest kritiske områder af facaden mht. slagregn og solpåvirkning, såsom 4. eller 5. sal mod vest-sydvest.

De udførte målinger af temperatur og relativ fugtighed bag den indvendig isoleringen viser at risikoen for skimmevækst er begrænset, når der vurderes på baggrund af aktuelle temperaturforhold og vækstbetingelser og usikkerhed omkring ”byggefugt” fra placering af sensorer og fugt udefra via murværk i dårlig stand. Den indvendige isolering i prøvelejligheden vil blive taget ned, når renoveringen går i gang i efteråret 2011, og man vil så kunne konstatere, om der er spor af eller tilløb til skimmelsvamp

De udførte målinger af temperatur i vinduesnicher med forskellige isoleringsløsninger (og vinduesløsninger), viser at vakuumpaneler isoleringsmæssigt er lidt, men ikke markant bedre end Aerowolle.

Det kan være fornuftigt at indbygge sensorer i bjælkeender og andre kritiske områder for derved at kunne følge fugtholdene og have mulighed for at gøre tiltag til udbedring af eventuelle kritiske fugtindhold. Det er vigtigt med robuste løsninger der tager hensyn til den meget forskellige beboeradfærd.

Måleresultaterne fra prøvelejligheden giver anledning til følgende anbefalinger:

- At der udføres indvendig isolering i de ca. 15 lejligheder, der skal totalrenoveres som del af bygningsfornyelsesprojektet på demonstrations-ejendommen.
- At den indvendige isolering af vægflader udføres med Aerorock standardplader, bestående af 40 mm Aerowolle og 10 mm fibergipsplade (under

forudsætning at murværket bringes i god stand og at det undgås at indbygge byggefugt).

- At isolering af lysninger foretages med 20 mm Aerowolle eller Vacupor
- At der opsættes måleudstyr til registrering af temperatur og relativ fugtighed bag den indvendige isolering af vægge i den mest "udsatte" lejlighed: Ryesgade 30 B 5. th. som har facader mod sydøst og sydvest.
- At der afsættes et beløb til de nødvendige foranstaltninger, hvis disse målinger – mod forventning – viser at der er risiko for fugtskader i bjælkeender. Prøvelejligheden er en treværelses lejlighed med to stuer en suite, et soveværelse samt køkken,

2.2 Vinduer

For at vurdere kvalitet, funktionalitet og effekt af forskellige vinduesløsninger er der udført og evalueret i alt 4 forskellige løsninger med vinduer i prøvelejligheden. Et 5te vinduer i etagen nedenunder er udskiftet.

følgende løsninger er prøvet:

1. Renoverede vinduer med 1 lag glas + nye indadgående forsatsrammer med 1+1 lag glas
 Beregnet U-værdi 1,08 W/m²
 Pris for 2-fags vindue excl. moms 8.900 kr.
2. Renoverede vinduer med 1 lag glas + nye indadgående forsatsrammer med 1 lag glas
 Beregnet U-værdi 1,62 W/m²
 Pris for 2-fags vindue. excl. moms 7.900 kr
3. Renoverede vinduer med 1 lag glas + 1 lag "optoglas" (hærdet glas koblet på eksisterende rammer og dermed udadgående)
 Beregnet U-værdi 1,76 W/m²
 Pris for 2-fags vindue. excl. moms 9.700 kr
4. Nye vinduer med 1 lag glas + koblede rammer med 2-lags rude (udadgående)
 Beregnet U-værdi 1,13 W/m²
 Pris for 2-fags vindue. excl. moms 7.000 kr

Termografier bekræfter, at de energimæssigt bedste løsninger er

Løsning 1 det renoverede vindue med 1+1 glas i forsatsrammer (1+1+1)

Løsning 4: det nye vindue med 2-lags energirude i koblede rammer (1+2)

Termografier viser også, at løsning 2 med 1 lag glas i forsatsrammerne tydeligvis begrænser varmetabet, men - som beregnet - mindre end løsning 1 og 4.

Til gengæld kan det på termograferne være svært at se nogen større energimæssig effekt af løsning 3 med ”optoglas”. Da det tilmed er den dyreste løsning, og samtidig er den der ser ”billigst” og mindst ”gennemført” ud, kan den ikke betegnes som egnet til et projekt som det, der skal gennemføres i Ryesgade 30.

Af de 2 løsninger som har de bedste energi-egenskaber, vil det for brugerne bedste valg være det nye vindue med energiruder i koblede rammer, fordi løsningen med renoverede vinduer + forsatsvinduer

- er 25 % dyrere
- har dårligere funktion på en række punkter (som beskrevet i starten af afsnit 4.2)

Den dårligere funktion giver også en risiko for, at beboerne fjerner forsatsvinduene (som en del beboere i Ryesgade 30 har gjort med de eksisterende forsatsvinduer)

Evalueringen af vinduesløsningerne i prøvelejligheden giver derfor anledning til følgende anbefalinger:

- At ejendommens vinduer udskiftes til nye vinduer med koblede rammer med 2 lags energiruder
- Hvis der er myndighedskrav om, at eksisterende vinduer skal bevares¹, må 1+2 løsningen med 2 lag glas i forsatsvinduene anbefales – den isolerer bedre og koster ikke meget mere end 1+1 løsningen.
Hvis der vælges en løsning med forsatsvinduer, bør der i analysen af brugeradfærd² efter energirenoveringen registreres brugsmønstre og konstateres om forsatsvinduer fjernes eller ikke lukkes tæt.
- Uanset om der vælges udskiftning eller fornyelse, er det vigtigt at have fokus på ikke kun på U-værdi men også på dagslys-transmittans³, for at optimere lys i og udsigt fra boligen.

2.3 Ventilation

For at vurdere effekten af balanceret ventilation med varmegenvinding blev der i prøvelejligheden etableret et decentralt ventilationsanlæg – dvs. et anlæg som kun betjener den enkelte lejlighed.

Effekten på indeklimaet er målt, men resultaterne er ikke særligt signifikant, og måske heller ikke helt repræsentativt. Prøvelejligheden kun er beboet af 1-2

¹ Hvis bevaringsløsninger for vinduer skal finde bredere anvendelse – ud over støttede projekter hvor det kan stilles som myndighedskrav – er der behov for at udvikle løsninger med koblede rammer monteret på eksisterende rammer - løsninger som både i funktion og pris kan konkurrere med nye vinduer

² ICIEE-projektet ”Energirigtig Brugeradfærd” som udføres med støtte fra Socialministeriet

³ Som det ses af tabellen på side 44 kan energitilskuddet være det samme for et vindue med højere U-værdi og solvarmetransmittans, som for et vindue med lavere U-værdi og solvarmetransmittans

personer og at de ofte har åbne vinduer. Dette betyder henholdsvis lav fugtproduktion samt stor infiltration med frisk luft. Samlet set betyder dette at det i prøvelejligheden er svært at dokumentere en klar effekt af den mekaniske ventilation på indeklimaet.

Målinger af indeklima i andre lejligheder i ejendommen (uden mekanisk ventilation) viser høje CO₂-koncentrationer og dermed stort behov for bedre luftskifte.

Behovet for mekanisk ventilation er derfor meget forskelligt – det betyder at der bør være behovsstyring på ventilationsanlægget.

Ved etablering og drift af anlægget viste der sig 2 forhold, som kræver en løsning:

- kanalføringer i lejligheden – som er mere omfattende i anlæg med varmegenvinding og fordeling til flere rum – og som udført med standard-kanaler ikke har et acceptabelt udseende i de rum, hvor den er synlig.
- støj fra anlægget – som hvis den er for høj betyder, at beboerne slukker for anlægget

Evalueringen af ventilationsløsningen i prøvelejligheden giver derfor anledning til følgende anbefalinger:

- At anlæg med balanceret ventilation udføres med behovsstyring, og at effekten af anlæggene – som planlagt – registreres og analyseres efter at de er taget i brug
- At der til anlæggene anvendes komponenter med dokumenteret meget lavt støjniveau
- At der før etablering af anlæggene findes løsninger til ”diskret” udformning og føring af synlige kanaler⁴

⁴ Ved renoveringen af Ryesgade 30 i byfornyelsesprojektet er det planlagt at udføre decentrale ventilationsanlæg med varmegenvinding i opgangen 30 C og centrale anlæg i opgangene 30 A og B.

I 30 A bliver udsugningen behovsstyret. Til 30 B udvikles en avanceret behovsstyring af både udsugning og indblæsning.

I 30 A sker både udsugning og indblæsning via eksisterende skorstene – dvs. at der ikke bliver synlige kanaler i lejlighederne (men støjdæmpere og ventiler, som skal gøres så små og så ”pæne” som muligt)

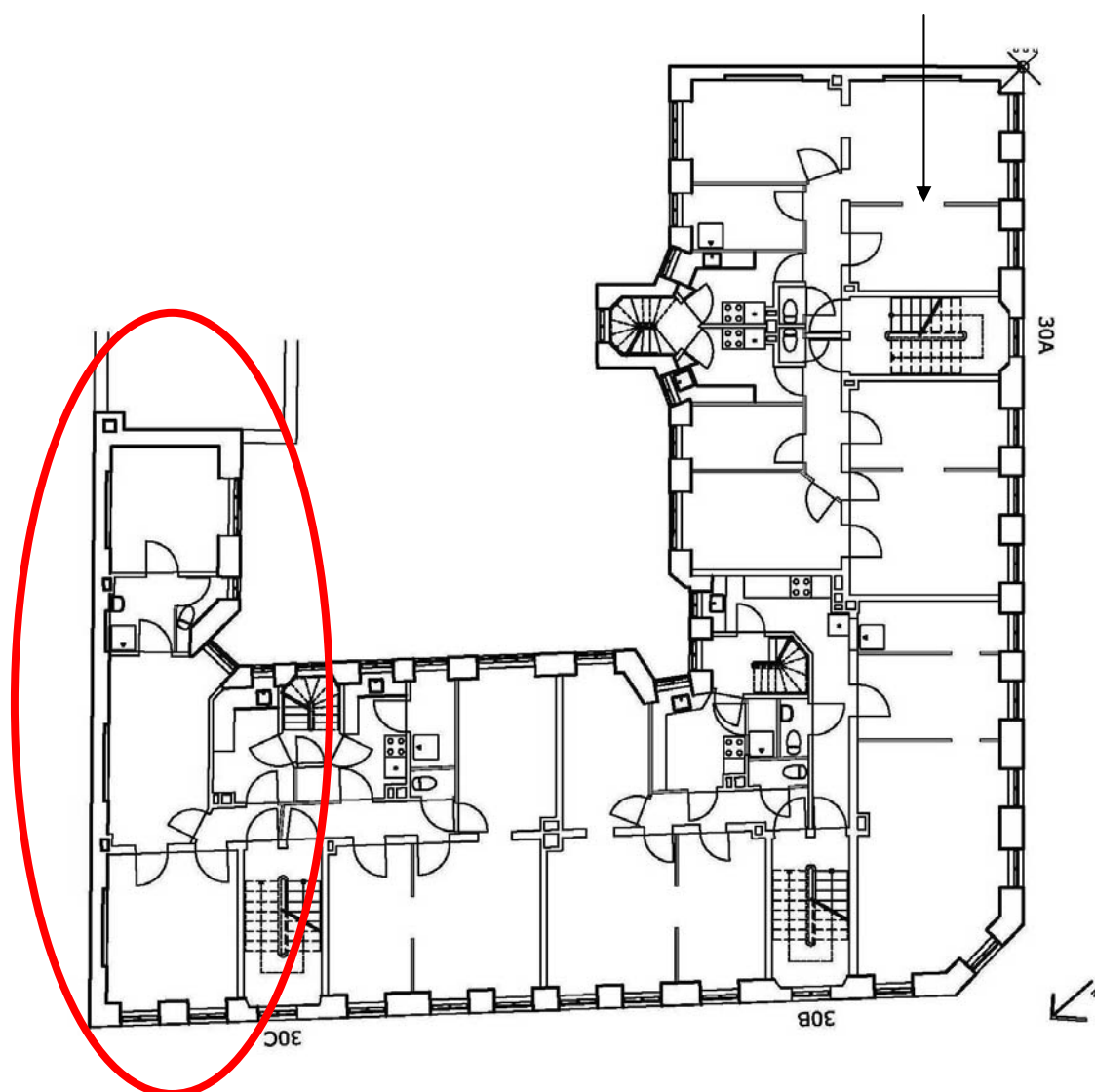
I 30 B fordeles indblæsningsluften i lejligheden via kanaler over sænket loft i entréerne.

I 30 C anvendes aggregater med behovsstyring og med langt lavere støjniveau end det er opsat i prøvelejligheden. Der vil desuden blive anvendt – og om nødvendigt udviklet – kanaler som er egnet til at blive ført synligt i beboelsesrummene

3 Beskrivelse af prøvelejligheden

3.1 Plan

Prøvelejligheden er en tre-værelses lejlighed med to stuer en suite, et soveværelse samt køkken, bad og fordelingsgang. Alle tre værelser ligger i forlængelse af hinanden, da ejendommen på denne adresse har en sidefløj og ender i en brandgavl. På *Figur 1* ses en plantegning af ejendommen, hvor prøvelejligheden ligger til højre i billedet.



Figur 1: Plantegning af demonstrationsejendommen på Rymsgade 30. Prøvelejligheden markeret med rød oval.

Prøvelejlighedens sydøstvendte gavl-væg, som kan ses på luftfoto *Figur 2* grænser op til en nabobygning i to etager og brandgavlsvæggen i endeværelset grænser delvist op til en bygning i 2½ etage. Disse vægge behøver altså ikke indvendig isolering.



Figur 2: Foto af ejendommen på Rymsgade 30 med prøvelejligheden markeret med rød oval.

3.2 Bygningsdele

3.2.1 Vægge

Brandgavlen består af $2\frac{1}{2}$ sten i stueetagen og $1\frac{1}{2}$ sten i de øvrige etager. Facader mod gade og gård har murpiller af varierende tykkelse, fra 3 sten i stueetage til $1\frac{1}{2}$ sten i øverste etage. Vinduesbrystningerne er 1 sten,

I prøvelejligheden på 1. sal er facadernes murpiller $2\frac{1}{2}$ sten og brandgavlen $1\frac{1}{2}$ sten. Alle vægge i prøvelejligheden er beklædt med såkaldt savsmuldstapet og har høje fodpaneler.

3.2.2 Vinduer

Vinduerne i lejligheden er alle med et enkelt lag glas i træramme. U-værdien for denne type vinduer ligger typisk omkring $4-5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der er to-fagsvinduer i stuen mod gade, ét 2-fagsvindue i hjørneværelse mod gård og ét 3-fags vindue i værelset yderst i sidehuset. Desuden er der 1-fags vinduer i køkken og i mellemgang, hvor der er indrettet toilet og bad.

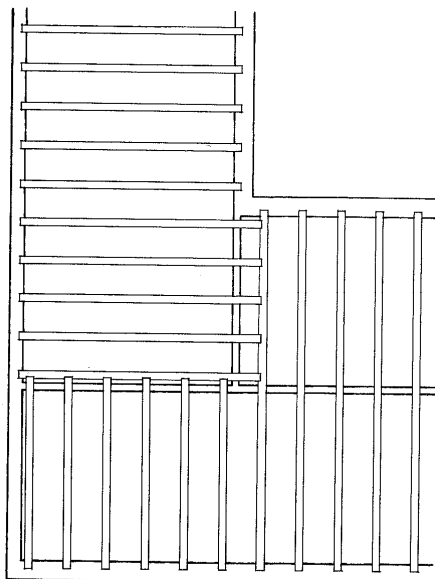
3.2.3 Ventilation

Lejlighederne har ventilationskanaler fra køkken og toilet (mange steder er disse kanaler blokeret). Luftsiftet sker i øvrigt gennem revner og sprækker langs vinduer og døre og i murværket.

3.2.4 Gulv og loft

Gulvet er originalt bræddegulv og almindeligt for denne type ejendom. Bjælkelaget i lejligheden er udformet som vist på Figur 3

Loftet er gipsloft med forskellig stuk i alle opholdsrum.



Figur 3: Bjælkelagets udformning i prøvelejligheden.

4 Energibesparende tiltag

Figur 4 viser en plantegning af prøvelejligheden med de gennemførte energibesparende tiltag. Det er så vidt muligt forsøgt at afprøve så mange forskellige løsninger som muligt. Her opridses kort de forskellige tiltag, som uddybes senere:

1. To forskellige slags indvendig isolering:

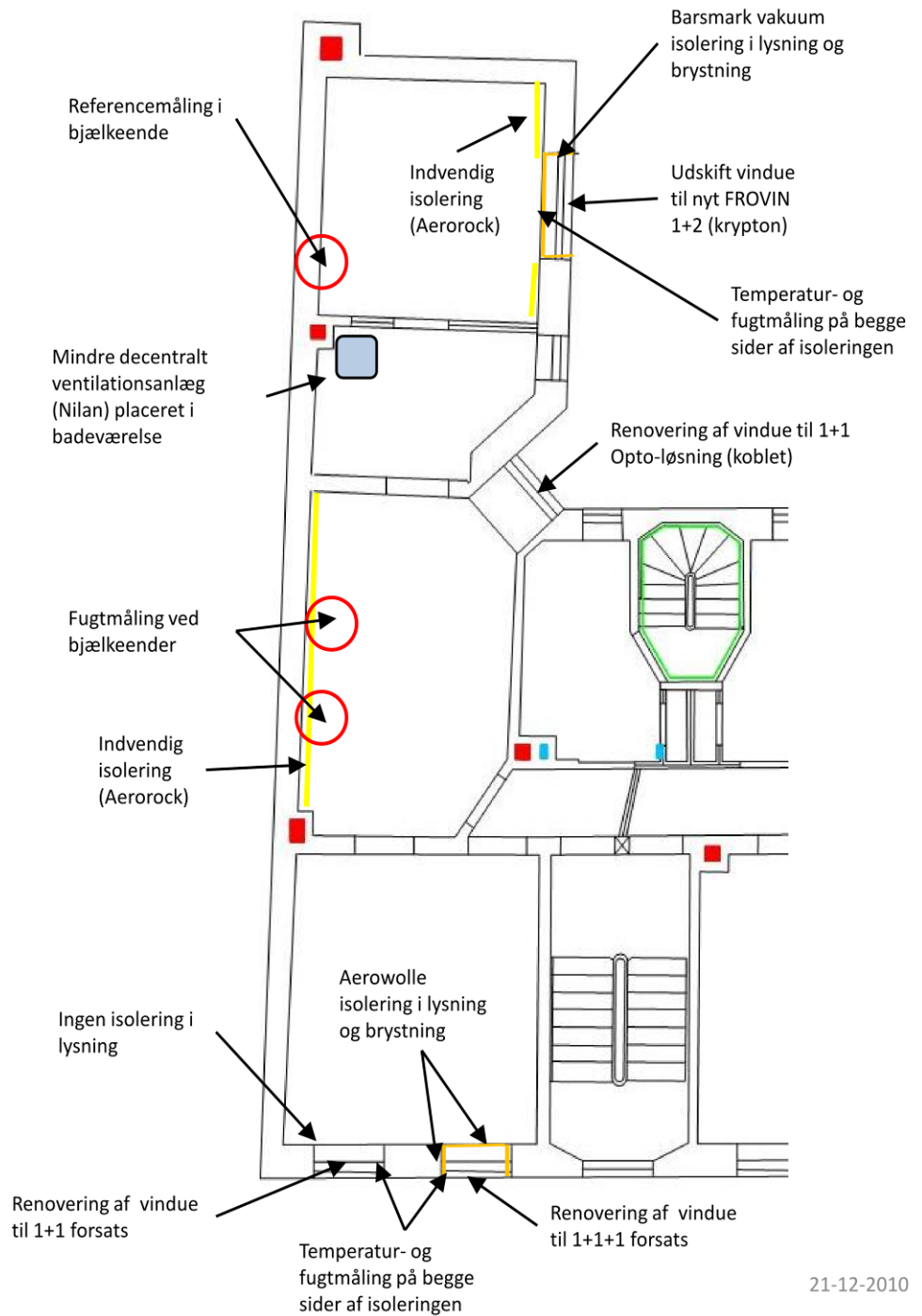
1. Aerowolle
 - i. i lysninger
 - ii. på vægge
2. Vakuumisolering i lysninger

Der udføres temperatur- og fugtmålinger på bjælkeender i gavl samt på begge sider af den indvendige isolering på vægge og i lysninger

2. Fire forskellige vinduesløsninger:

1. Renovering med forsatsramme og energiglas (1+1+1)
2. Renovering med forsatsramme (1+1)
3. Renovering med energiglas (Optoglas) (1+1)
4. Udskiftning til FROVIN vindue med energirude med krypton (1+2)


3. Decentralt ventilationsanlæg med varmegenvinding



Figur 4: Plantegning af prøvelejlighed på Rymsgade 30C 1tv med planlagte tiltag.

4.1 Indvendig isolering

Traditionelle indvendige isoleringsløsninger kan, hvis ikke arbejdet er gjort meget omhyggeligt, give store problemer med fugt og skimmelsvamp og dertilhørende sundhedsfarlige indeklime. Derfor har isoleringsarbejdet i dette projekt været under stor bevågenhed. Inden arbejdet gik i gang rådførte projektgruppen sig med Tommy Bunch Nielsen fra Bygge- og Miljøteknik A/S, som er specialist inden for indvendig efterisolering og skader som følge af fugt og svamp. Efter råd fra denne blev de pågældende vægge afrenset grundigt for alt organisk materiale, som ellers udgør gode vækstbetingelser for skimmelsvamp, herunder tapet og maling. Efter afrensningen blev der foretaget en MycoMeter-test for at undersøge for rester af skimmelsvamp. Ud fra prøverne vurderede Bygge- og Miljøteknik A/S at der ikke var skimmelsvamp, men kun støv.

		Dr. Neergaards Vej 15 2970 Hørsholm		Telefon: 45662922 Telefax: 45664922					
MycoMeter-test									
Sags Nr.		BMT 3683		Prøve tager TBN					
Sags Navn		Ryesgade 30 C		Prøve dato 06.10.2010					
Nr.	Prøve		Værdi målt	Prøve tagers sign.	Prøvested		Målelig forekomst af svampebiomasse		
	Før Rens	Efter			Rum Nr.	Bygningsdel	Ingen/Ringe <25	Moderat 26-450	Massiv >450
01	x		52	CH	stue	væg/Murværk		x	
02	x		45	CH	værelse	væg/murværk		x	

Figur 5: Resultat af Mycometertest.

Aerorock - isolering af indv. vægge

På tre indvendige vægge er isoleret med et system kaldet Aerorock, som leveredes af Rockwool. Systemet, der er udviklet i Tyskland og i skrivende stund ikke kan købes på det danske marked, består af tre forskellige moduler til hhv. vægoverflader, lofter og skillevægge samt lysninger, se Figur 7. I alle moduler indgår Rockwools nye satsning på superisolering, Aerowolle, der er en kombination af det porøse materiale aerogel og almindelige stenuldsfibre og har en varmeledningsevne på 0,019 W/mK.



Figur 6: Aerorock i forskellige udgaver. Fra venstre: 2x20mm + gipsplade (indvendige vægoverflader), kilemodul (skillevægge og lofter) samt 1x10 mm + gipsplade (lysninger)

Væggen i det midterste værelse i stuelejemålet er isoleret af hensyn til måleresultaternes validitet, da det var vigtigt at isolere både over og under de bjælkeender, der ligger af i gavlen. Hvis ikke der isoleredes under bjælkeenderne, ville de stadig blive opvarmet nedefra og den realistiske effekt af isoleringen ikke kunne måles. Isoleringen på denne væg ønsker bygherren at beholde efter testperiodens udløb, da den udvendige isolering på gavlen først monteres fra første sal og op pga. pladsmangel i porten. Derfor valgtes det på denne væg at forsøge at nedtage stukken, så isoleringen kunne monteres ordentligt. Væggen viste sig at indeholde en ekstra lille udfordring i form af en sparniche (en niche som man undlod at udmure for at spare mursten), som blev udfyldt med isolering i et skelet af stålprofiler og lukket med vådrumsgips for at undgå brug af organiske materialer bagved det kommende Aerorock-system. (Se Figur 7).



Figur 7: Billeder fra væggen i stuelejemålet inden montering af indvendig efterisolering. En sparniche i muren blev udfyldt med alm. isolering og lukket med vådrumsgips inden montering.

I selve prøvelejligheden blev to vægge efterisoleret, som vist på *Figur 4*.

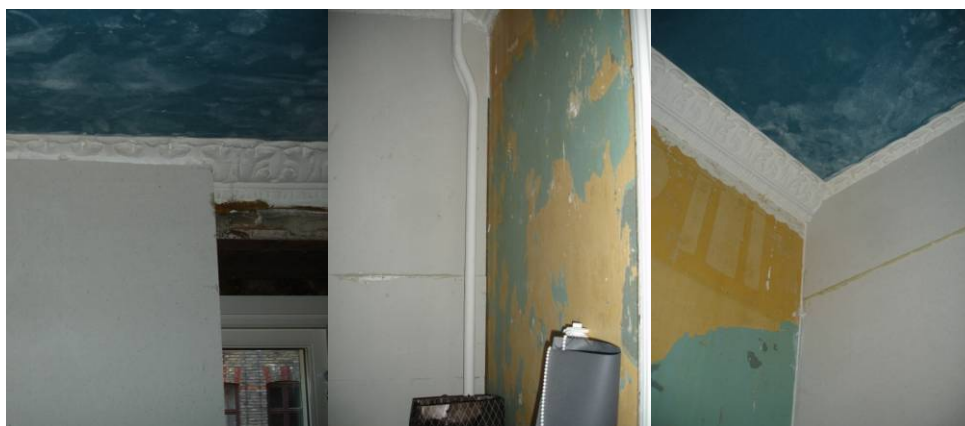
Den største væg, som er væggen i midterværelset, isoleredes for at kunne måle på fugt og temperaturer i bjælkeenderne. Murtykkelsen (brandgavlen) er her $1\frac{1}{2}$ sten, dvs. den samme som facadernes murpiller i den øverste etage. Det er i denne murtykkelse, bjælkeenderne er tættest på facadens yderside og derfor mest udsatte for fugtskader

Den anden væg, som er en $2\frac{1}{2}$ sten facade mod gården, isoleredes for at teste samlingen af isolering på væg og i lysning omkring vinduet, se *Figur 8*.

Isoleringen er ført op til stukken og afsluttet med en tætsluttende fuge (også ved gulv og ved samlinger med skillevæge) for at undgå opstigende fugtig luft på bagsiden af isoleringen. Efter montering af isolering, blev væggene fuldspartlet, filtet og malet, se *Figur 10* og *Figur 11*



Figur 8: Isolering monteret på væg i endeværelset.



Figur 9: Nærbilleder af samlingsdetaljer ved Aerorock som er tætnet med en fuge.



Figur 10: Montering af Aerorock på væg i prøvelejligheden - under og efter.



Figur 11: Efter montering af isolering blev væggen fuldspartlet og filtet inden afsluttende overfladefinish med maling.

Aerowolle - isolering af lysninger

I vinduet til venstre mod gaden (vindue 1, se Figur 4) er der isoleret i lysningerne med Aerowolle, se *Figur 12*. Et af modulerne i Rockwools system Aerorock består af 10 mm Aerowolle med 10 mm gipsplade, som er beregnet til efterisolering af lysninger. I dette tilfælde, hvor bygherren gerne ville bevare de gamle lysningspaneler med fyldninger, var dette modul ikke egnet. I stedet er der brugt Aerowolle á 20 mm, som er monteret på den rene muroverflader og herefter er de gamle lysningspaneler monteret på ny. Der viste sig at være en smule plads bagved panelerne, men ikke helt nok til at rumme både isoleringen

og panelet når dette samtidig skulle monteres i den gamle not i vinduet. Derfor er panelet fastgjort med lim og karmskruer og selve vindueshullet er en smule mindre end i det højre vindue. Brystningspanelet kunne desuden heller ikke monteres på sin nøjagtige oprindelige placering, da isoleringen i hver side gjorde vindueshullet mindre. Derfor måtte det tilpasses den nye bredde, så brystningsnicjerne blev ens for de to gadevinduer, se *Figur 13*.



Figur 12: Montering af Aerowolle i venstre vindue mod gaden.



Figur 13: De færdige vinduer mod gaden mod hhv. til venstre og højre.

Vacupor - isolering af lysninger

I tre-fags-vinduet mod gården er lysninger isoleret med Barsmark Vacupor NT vakuumisolering i paneler af 20 mm tykkelse og forudbestilte størrelser. Materialet er et mikroporøst isoleringsmateriale med meget lav varmeledningsevne, hvor hovedbestanddelen består af opskummet silicium, mens de øvrige indholdselementer er midler til minimering af infrarød stråling samt silikater. Ved 20 mm tykkelse og et tryk på 1 mbar har materialet en varmeledningsevne på 0,005 W/mK, mens den er 0,019 W/mK ved atmosfærisk tryk (ødelagt vakuum), svarende til isoleringsevnen for Aerowolle.

Selvom materialet i sig selv udgør en dampspærre, blev der alligevel monteret en dampspærre, da dette var den letteste måde at få samlingen mellem vakuumisolering og vindue samt vakuumisolering og Rockwools indvendige isolering tæt på. I hulrummet mellem øverste lysningspanel og vakuum/mur blev der stoppet med overskydende mineraluld (kun længst ude mod facaden).



Figur 14: Montering af vakuumisolering i lysninger

4.1.1 Erfaringsopsamling på udførelse

Aerowolle/Aerorock

Generelt har produktet været nemt at arbejde med, da det er en kombination af traditionelle byggematerialer. Dog har det været nødvendigt med stor fokus på vægens planhed, da produktet i den nuværende udgave ikke har mulighed for optagelse af tolerancer. Produktet skal fuldklæbes efter anvisningerne fra Tyskland for at undgå bagvedliggende luftlommer, hvilket gør det svært at få pladerne til at flugte. Dette gør, at en fuldpartling af den færdige vægoverflade er nødvendig.

Det foreslås til Rockwools videreudvikling af produktet nedenstående ændringer, som vil medvirke til en mere plan vægoverflade.

- Pladesamlinger udføres med overlap eller fer-not samling
- Pladekanter udføres med spartlekant - ligesom ved almindelige gipsplader

Det er svært at afmontere stuk uden den går i stykker. Af en væglængde på 5 m kunne kun samlet ca. 1 m reddes. Der er behov for at udvikle en metode til nedtagning samt montage af en ny.

Vacupor - vakuumisolering

Materialet har været svært at arbejde med, fordi den forsigtighed materialet kræver i håndteringen af det, gjorde det besværligt. Desuden blev måltagningen foretaget i vinduet før lysningspanelerne var nedtaget, men det faktiske vindueshul uden paneler var større end dette, og derfor kom der til at mangle ca. 5-10 cm isolering. Dette hul blev dog udfyldt med Aerowolle.

Selvom håndværkerne var blevet informeret om produktets skrøbelighed, skete det alligevel, at nogle af panelerne mistede deres vakuum under montagen. Uheldet skete formentlig, da håndværkerne ville fastholde panelerne i den øverste vandrette del af vindueslysningen med holdere efter limning, se figur 15. I princippet bør materialet behandles med samme forsigtighed som glas, og ved et glaspanel ville man næppe sætte en skrue så tæt på kanten. Det burde dog være muligt, at se forskel på de forskellige paneler ved senere termografering. De væsentligste problematikker ved vakuumisoleringen er nævnt her:

- Materialet skal bestilles efter nøjagtige mål, og det er ikke muligt at tilpasse størrelserne på stedet. (F.eks. ved forkert måltagning).
- Materialet bør i princippet behandles med samme forsigtighed som glas.
- Det er en udfordring at fastgøre lysningspaneler, når det ikke er tilladt at gennembryde isoleringen.



Figur 15: Nogle af vakuumpanelerne så ud til at miste deres vakuum under montering. Her nederst til venstre og øverst til højre. Det viser sig ved at de skarpe folder på folien bliver bløde, det kan ikke ses på fotoet.

4.1.2 Økonomi

Tiltag prøvelejlighed	Pris excl. moms
Opsætning (MT Højgaard)	
Maler (MT Højgaard)	
Montering af tilsætninger på lysninger (Bygmestrene)	8.881
Optagning af gulvbrætter	2.100
Retablering af fodpaneler	2.625
Forberedelse til indvendig isolering	5.938
Konsulenthjælp, Bygge- og Miljøteknik A/S	14.639
Afrensning af tapet samt test af skimmelvækst, Microclean A/S	5.137
I alt excl. isoleringsmaterialer	

Tiltag byfornyelse pr. lejlighed	Pris excl. moms
Opsætning på vægge	3.200 kr.
Materiale til vægge (Aerorock 4+1) ⁵	27.000 kr.
Nedtagning/genopsætning lysnings-/brystningpaneler	6.800 kr.
Materialer lysninger (20 mm Aerowolle eller Vacupor)	13.000 kr.
I alt inkl. isoleringsmaterialer	50.000 kr.

⁵ Baseret på m²-pris på 1.800 kr..

I anden sammenhæng er prisen for færdigudviklet og markedsført, industrielt fremstillet produkt vurderet at blive ca. 400 kr. pr. m² – dvs. ca. 6.000 kr. pr. lejlighed. Det vil i givet fald reducere den samlede pris på indvendig isolering fra 50.000 kr. til under 30.000 kr.

4.1.3 Måleresultater

Med det formål at vurdere fugtrisikoen ved indvendig isolering, er der foretaget målinger af efterisoleringens indvirkning på fugt- og temperaturforhold på den eksisterende mur, fals og brystninger, samt ved bjælkeender.

I det følgende rapporteres måledata for perioden 1. november 2010 til og med 18. maj 2011, som svarer til 199 dage - dog kun til og med 28. februar 2011 for målinger på fals og brystninger.

Der har været mindre perioder med udfald i målingerne, hvorfor der optræder enkelte ”huller” i de rapporterede måledataserier. Dette har især været tilfældet for udeklima målingerne, så der er indhentet måledata fra den nærmeste DMI målestation (Landbohøjskolen).

Lejligheden har i måleperioden været beboet af én person (yngre kvinde).

4.1.3.1 Måleprogram og -system

Måleprogrammet blev implementeret af BMT-Instruments ApS, som desuden har stået for at hjemtage måledata og videresende til DTU Byg for behandling og analyse. Målingerne er blevet opsamlet trådløst og centralt i lejligheden. Måleprogrammet fremgår af *Tabel 1*, mens placering af målere fremgår af *Figur 16*, *Figur 17* og *Figur 18*.

Det anvendte trådløse målesystem består af 4 dele:

Sensorer: Til registrering af temperatur, luftfugtighed og træfugt (fugtmålerondel type AMe. Ø51mm x 12 mm).

Transmitter: En lille radiosender der sender signalet fra sensor til central opsamlingsenhed – en transmitter for hver sensor.



Forstærker: Forstærkeren benyttes kun ved manglende dækning. Hvis signalet fra en transmitter ikke når frem til den centrale dataopsamler, kan der sættes en forstærker ind mellem transmitter og dataopsamler.

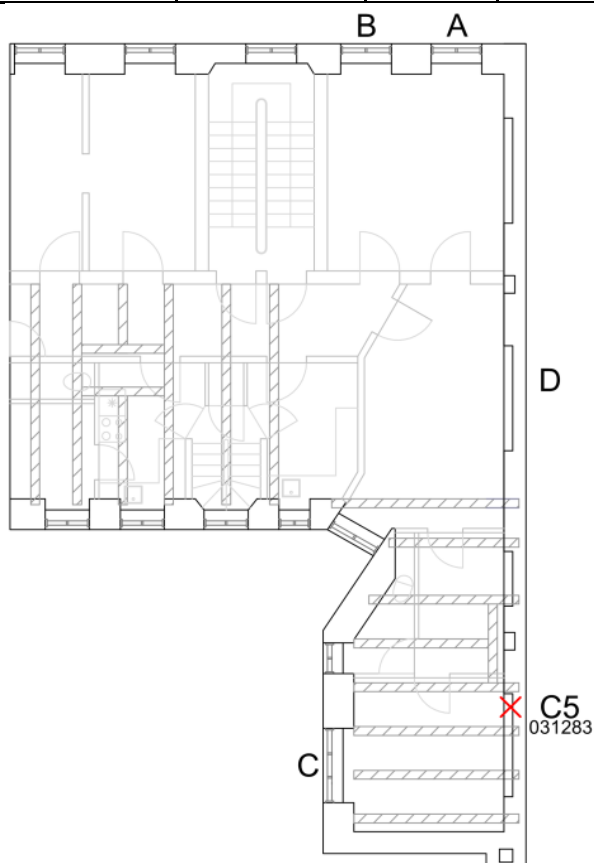
Dataopsamler: Opsamler data fra transmitterne. Der modtages et signal hvert 4. minut fra hver transmitter, mens én værdi for hver transmitter hver ½ time bliver logget og gemt. Der kan tilsluttes op til 60 målinger, men kun 32 kan logges. Da hver sensor ofte måler to værdier (temperatur og fugt) svarer det til det halve antal måle-

punkter. Der kan gemmes op til 72.000 enkeltmålinger, svarende til ca. 1,5 måneds data ved 16 målepunkter. Målingerne kan hentes på forskellige måder.

Detaljeret beskrivelse af målesystemet findes på www.bmtinstruments.dk

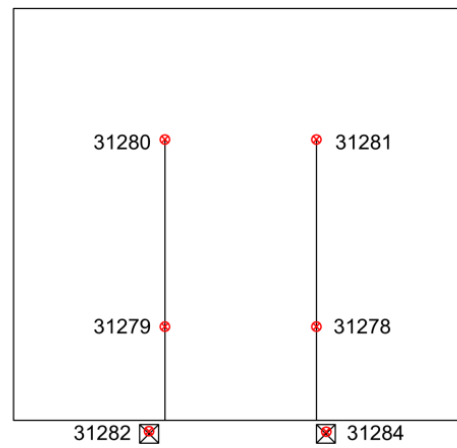
Tabel 1: Måleprogram med oversigt over målepunkter.

#	Beskrivelse af målepunkt	Hvad måles	Antal målinger	Bemærkninger
A	Midt på sidefals i rum mod gade (vindueslysninger som ikke isoleres)	Temp.	2	Placeres på mur bag træpaneler
B	Midt på sidefals og på brystning i rum mod gade (vindueslysninger som isoleres med aerorock)	Temp	4	Placeres umiddelbart bag paneler og på mur bag isolering
C	Midt på én sidefals og på brystning i rum mod gård (vindueslysninger som isoleres med vakuumisolering)	Temp	4	Placeres umiddelbart bag lysningpaneler og på mur bag isolering
C5	Inde, rum mod gård, bjælkeende længst til venstre	RF+Temp	1	Reference måling
D	Midterste rum, mellem oprindelige mur og efterisolering midt på gavlvæg	RF+Temp	4	Målere monteres i spor i oprindelig mur og spartler før montering af aerorock plader. Sendere placeres under gulvbrædder.
D5	Midterste rum i bjælkeender	RF+Temp	2	Bores ned i bjælkeender og sendere placeres under gulvbrædder
E	Ude, mod nord	RF+Temp	1	Placeres på gavlen ca. 2 m over jorden
F	Indeføler i stuen	RF+Temp	2	Placeres i venstre side på væggen modsat ydervæggen
		I alt	20	

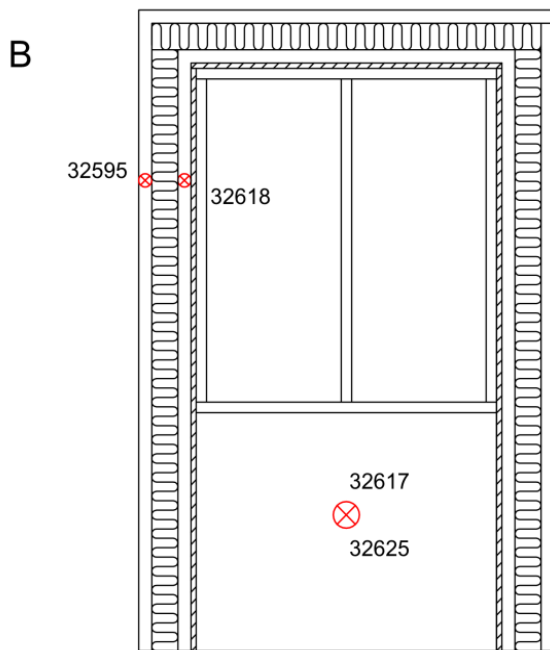


Figur 16. Overordnet placering af målepunkter i lejligheden.

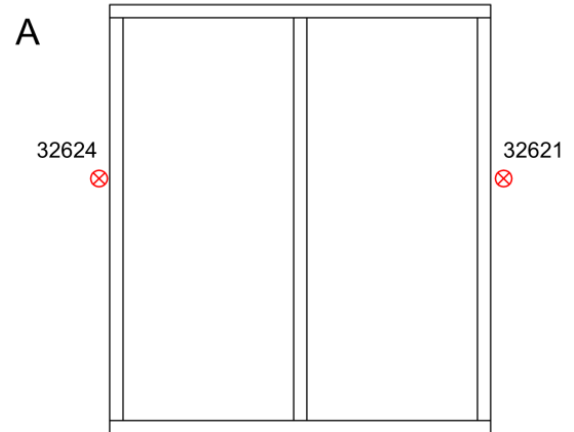
D



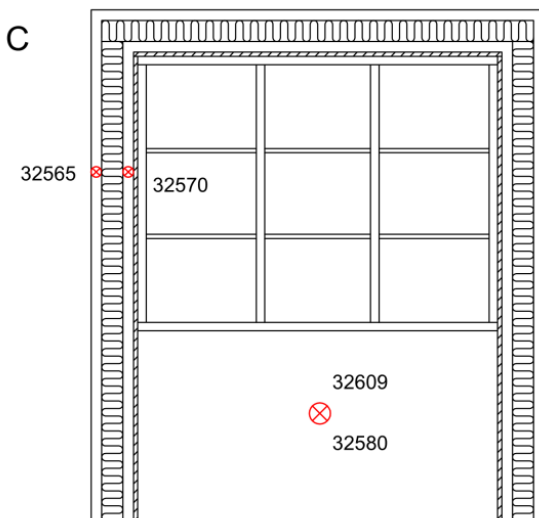
Figur 17: Målepunkter på overflade af eksisterende mur før indvendig efterisolering (øverste). Der er også målt i de to gulvbjælker umiddelbart under vægmålepunkterne (boret ind i bjælkeenderne). Billedet nederst viser det eksisterende murværk udefra, hvor det ses at murværket er i dårlig stand.



Vindue mod gaden:
 32618 og 32625 placeret bag lysningspanel
 32595 og 32617 placeret bag isolering.



Referencemålinger, vindue mod gaden.

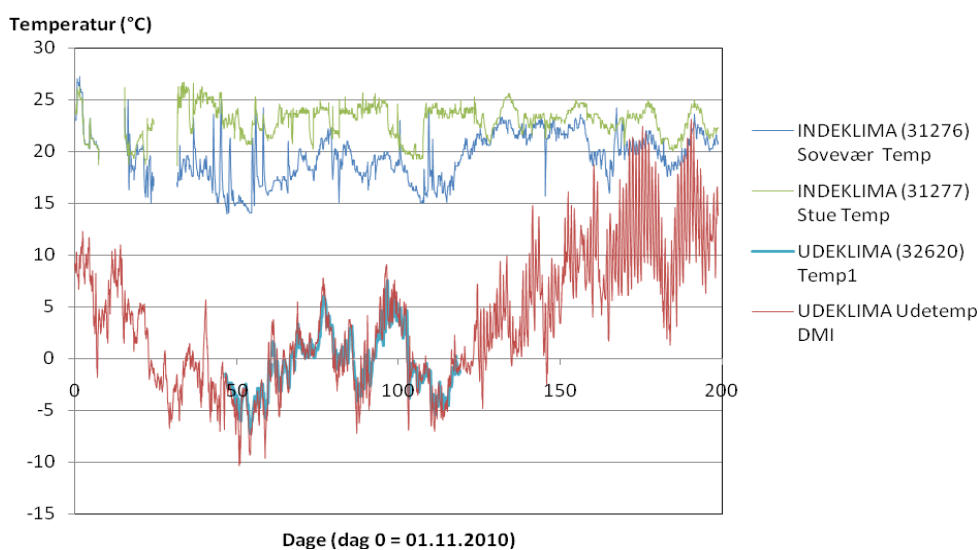


Sidefals + brystning i rum mod gård:
 32570 og 32580 placeret bag lysningspanel
 32565 og 32609 placeret bag isolering.

Figur 18: Målepunkter i vinduesfals og brystninger.

4.1.3.2 Inde- og udeklima

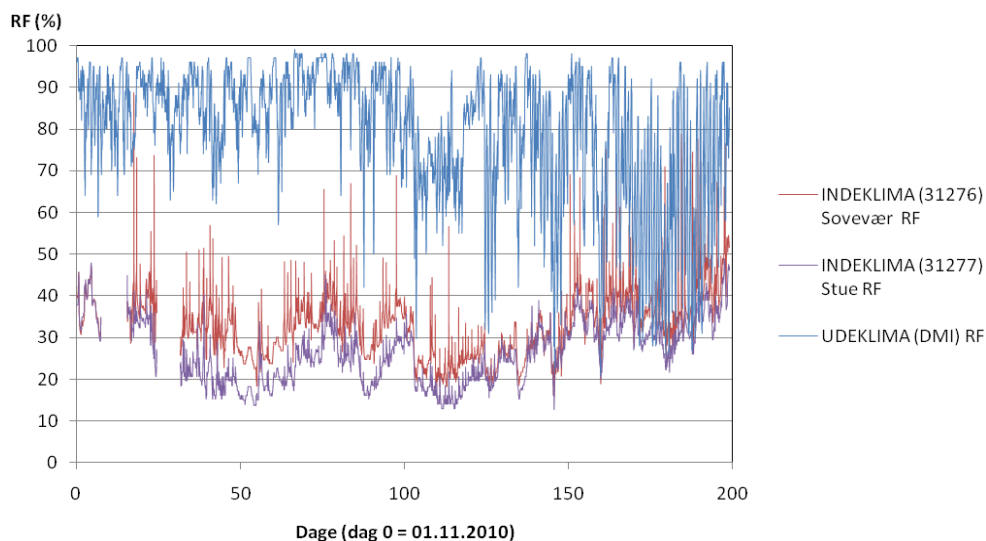
Der er målt indetemperatur i hhv. soveværelse og i stue via målere placeret over døråbninger. Resultaterne fremgår af *Figur 19*, som viser at temperaturen i soveværelset i vinterperioden har ligget på ca. 15-20°C, mens den i stuen har været 20-25°C. Udetemperaturen har svinget mellem ca. -10°C til 10°C. I januar måned 2011 (dag 61-91 inkl.) er der målt en gennemsnitlig temperatur i soveværelset og stuen på hhv. 18,8°C og 23,4°C. Indetemperaturen i soveværelset følger til dels svingningerne i udetemperaturen, hvilket indikerer at der generelt har været slukket for radiatoren i rummet, og det bekræftes af beboeren.



Figur 19. Indetemperaturen i hhv. soveværelse og stue, samt udetemperaturen.

Figur 20 viser den relative fugtighed (RF) inde og ude. I soveværelset er niveauet cirka 25-40 %, men med betydelige og kortvarige udsving, som kan skyldes at måleren er placeret tæt på badeværelset. I stuen er der som forventet ikke de samme udsving og niveauet er lavere (højere temperatur). I vintermånederne vil RF normalt være mellem 30-50 %, men det konstaterede lavere fugtniveau kan formentlig forklares ved en lav fugtproduktion (lejlighed beboet af 1 person) og en meget tør underliggende stuelejlighed (opvarmet, men ubenyttet), som kan have fjernet fugt fra prøvelejligheden og dermed reduceret fugttilskuddet.

Omkring dag 105 ses et fald i den relative fugtighed, både inde og ude. Dette tidspunkt faldet dog sammen med tidspunkt for tilslutning af det decentrale ventilationsanlæg. Fra dag 179 og måleperioden ud blev anlægget bevidst sat ud af drift for at teste effekten af ingen mekanisk ventilation. Effekten på RF vil evt. kunne sige noget størrelsen af infiltrationen. Dette er analyseret nærmere under måleresultater for ventilationsanlægget.



Figur 20. Relativ fugtighed (RF) i hhv. soveværelse og stue, samt udeluftens RF.

4.1.3.3 Ydervæg

Der er målt temperatur og fugtighed bag den indvendige isolering i form af 40 mm aerowolle, som svarer omtrent til isoleringsevnen af 100 mm mineraluld i træskelet konstruktion.

Temperaturen bag isoleringen fremgår af *Figur 21*, hvor også udetemperaturen er angivet. Temperaturerne er som forventet meget ens. Der er en lille træghed i ændringer i overfladetemperaturen i forhold til udetemperaturen, hvilket primært kan forklares ved ydervæggens betydelige varmekapacitet (massiv mursten).

I januar måned 2011 (dag 61-91 inkl.) er målt en gennemsnitlig temperatur i de 4 målepunkter bag isoleringen på 5,7°C, mens ude- og indetemperaturen i samme periode er målt til hhv. 0,4°C og 23,4°C. Temperaturen bag isolering er altså kun ca. 5°C højere end udetemperaturen, hvilket indikerer at isoleringen virker effektivt. Temperaturfaldet over isoleringen er 17,7°C mod en samlet temperaturforskel mellem inde og ude på 23°C.

Den målte temperatur bag isoleringen kan sammenlignes med den beregnede, som kan bestemmes ved simpel forholdsregning ud fra lagenes isolans.

$$T_x = T_i - (T_i - T_u) \cdot (R_{\text{inde - given grænseflade}} / R_{\text{total}})$$

Hvor T_x er temperaturen i en given grænseflade.

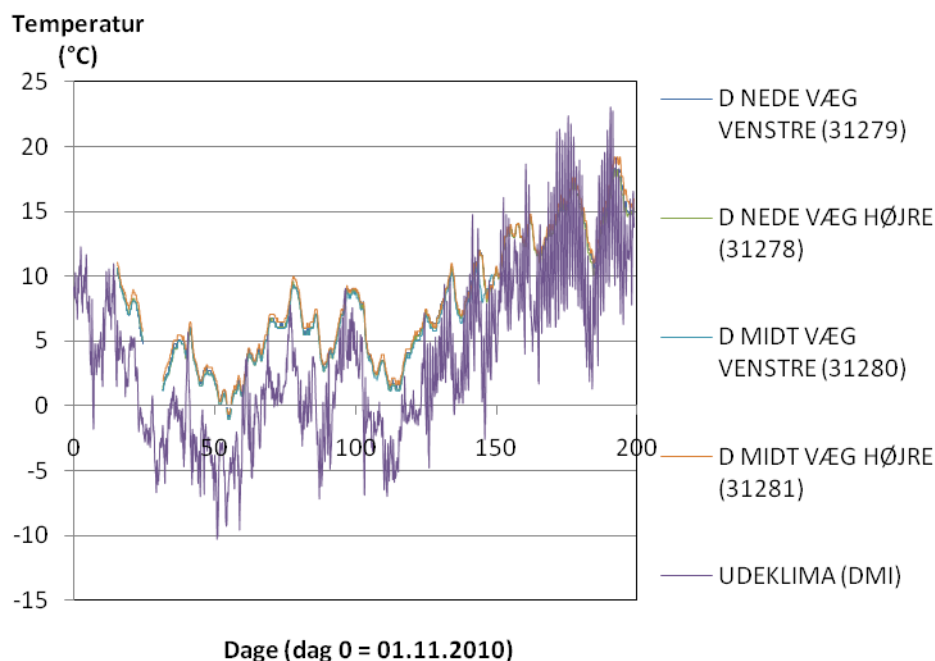
Der forudsættes en varmeledningsevne for Aerowolle på 0,019 W/mK og typiske værdier for fibergips beklædningen, murværk og overgangsisolanser.

$$R_{\text{total}} = 2,75 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{i-x}} = 2,27 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$T_x = 23,4 - (23,4 - 0,4) \cdot (2,27/2,75) = 4,4^\circ\text{C}$$

Den beregnede temperatur bag isoleringen er kun lidt lavere end den målte ($5,7^{\circ}\text{C}$). Den lavere temperatur indikerer en lidt for optimistisk ansættelse af isoleringsevnen. For at få den samme temperatur som målt skal R_{i-x} reduceres lidt til 2,12, hvilket betyder at varmeledningsevnen for isoleringsmaterialet alt andet lige øges til $0,204 \text{ W/mK}$. Men der er også usikkerheder på temperaturmålingerne mm, så det kan konkluderes at isoleringen yder som forventet.

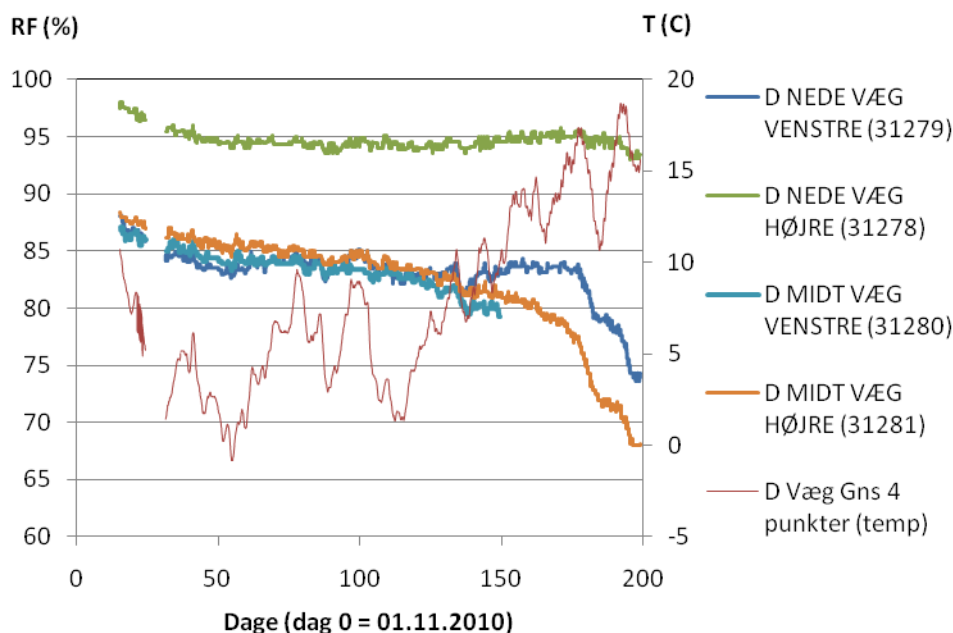


Figur 21. Temperaturen på den oprindelige mur med indvendig isolering.

Figur 22 viser relative fugtighed i samme 4 målepunkter. Da det kritiske fugtniveau for vækst af skimmesvamp er temperaturafhængigt, er der også vist den gennemsnitlige temperatur i de 4 målepunkter.

Det ses, at RF for 3 af 4 målepunkter som forventet ligger på omtrent samme niveau, mens niveauet for det fjerde målepunkt (31278) (se Figur 17), afviger betydeligt fra de øvrige. Dette skyldes ikke en lavere temperatur og umiddelbart ikke den måde sensorerne er monteret på eller fejl i udførelsen, men kan skyldes et lokalt mere utæt murværk. Det antages dog at der er tale om en sensorfejl og målepunktet betragtes derfor ikke yderligere.

De 3 øvrige målepunkter viser en fugtighed på ca. 87 % i starten af måleperioden og svagt faldende henover vinterperioden til 80-84 %. Sidst i måleperioden falder RF betydeligt til under 75 %, hvilket falder sammen med et betydeligt varmere og mere tørt udeklima. Murværkets stand og byggefugt i form af anvendt mørtel til "reparation" af riller/huller til sensorer og ledninger (se Figur 17) kan have bidraget til de forholdsvis høje fugtindhold.



Figur 22. Relativ fugtighed og temperatur (gennemsnit af 4 målepunkter) på den oprindelige mur med indvendig isolering.

Vurdering af risikoen for skimmelsvampevækst bag efterisoleringen er vanskelig, fordi den afhænger af både relativ fugtighed, temperatur, tilgængelighed af næringsstoffer og latenstiden. Latenstiden er tiden fra vækstbetingelser er til stede, til skimmelsvampevækst begynder og kan være fra dage til måneder. Den sikreste måde at undgå skimmelvækst på er at sørge for, at RF på materialeoverfladen altid er under det kritiske niveau. SBI anvisning 224 (SBI-AAU, 2009)⁶ angiver eksperimentelt bestemte kritiske RF for skimmelvækst på overfladen af en række byggematerialer ved lang tids påvirkning ved 20°C, dog ikke murværk med puds. For beton som ikke er eller bliver tilsmudset angives en kritisk RF på 90-95 %. Anvisningen angiver desuden at der normalt kan regnes med, at det kritiske fugtniveau på den sikre side er 75 % RF, men også at der ved vurdering af risiko for skimmelvækst kan tages hensyn til at væksten reduceres eller ophører ved lave temperaturer. Der henvises til litteratur som peger på at der ikke sker skimmelvækst ved temperatur og RF under hhv. 0°C og 80 %. Ved højere temperatur og RF stiger væksten og er optimal ved 25-30°C. I SBI anvisning 224 omtales også en tilnærmet model for bestemmelse af det temperaturafhængige kritiske fugtindhold for træ og træbaserede materialer, som resulterer i en kritisk RF på 95 % ved 0°C, 90 % ved 5°C, 85 % ved 10°C og 80 % ved 20°C. Andre angiver også at den kritiske RF for skimmelvækst ligger mellem 80 og 90 % afhængig af temperatur og varighed⁷.

På ovenstående baggrund forekommer det som et rimeligt på den sikre side ”kompromis”, at vurdere den pågældende efterisolerede ydervæg ud de sidst

⁶ SBI-AAU (2009). SBI anvisning 224: *Fugt i bygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

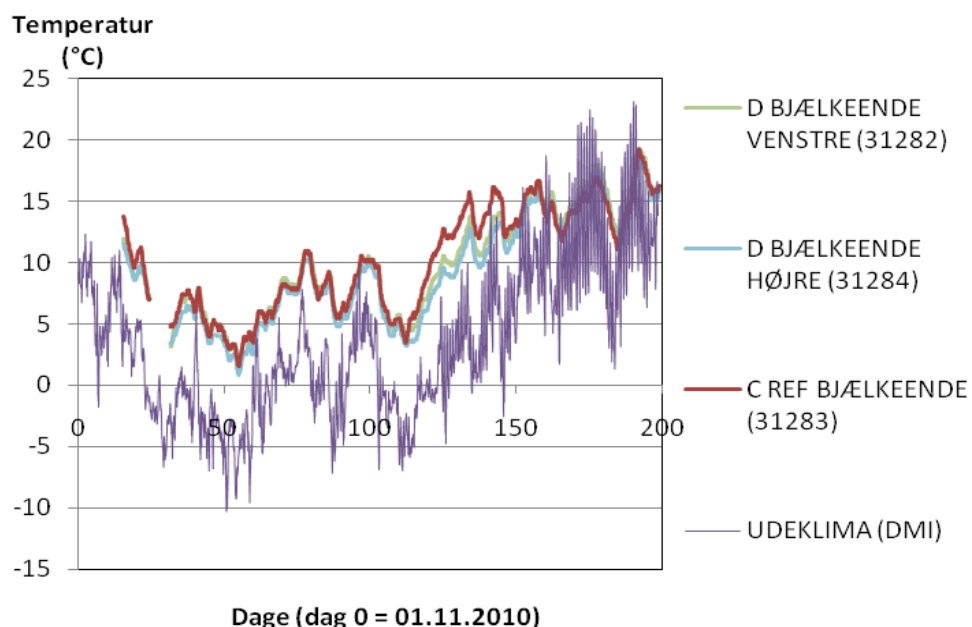
⁷ Internal Insulation of Masonry Walls with Wooden Floor Beams in Northern Humid Climate. Martin Morelli m.fl. Danmarks Tekniske Universitet, Ashrae 2010.

omtalte kritiske fugtigheder. I det meste af måleperioden (indtil ca. dag 150), hvor temperaturen bag isoleringen var under 10°C, er der målt RF på omkring 85 %, som er det valgte kriterium for risiko for skimmelvækst. I den resterende måleperiode stiger temperaturen og RF falder, hvilket også gælder det kritiske fugtniveau (80 % ved 20°C). Det kan derfor konkluderes at risikoen for skimmelvækst er begrænset, når der vurderes på baggrund af aktuelle temperaturforhold og vækstbetingelser. Usikkerhed omkring omtalte ”byggefugt” og evt. fugt ude fra via murværk i dårlig stand, styrker blot konklusionen og minder om vigtigheden af at sikre at murværket er i god stand og at der ikke indbygges byggefugt i forbindelse med indvendig efterisolering.

Den indvendige isolering i prøvelejligheden vil blive taget ned, når renoveringen går i gang i efteråret 2011, og man vil så kunne konstatere, om der er spor af eller tilløb til skimmelsvamp.

4.1.3.4 Bjælkeender

Der er målt temperatur og relativ fugtighed i træbjælkeenderne i etagedækket mellem stueetagen og 1. sal ved den nordøstvendte gavl, hvor murværket har en tykkelse på 1½ sten. Det antages at der er ½ sten foran bjælkeenderne, hvilket svarer til hvad der kan forekomme i facaderne i tagbjælkelaget. Der er normalt den dobbelte tykkelse eller 1 sten foran bjælkeenderne. Der er udført tre målinger, hvor den ene er en reference måling uden indvendig isolering (i soveværelset), og de to andre målinger er med indvendig isolering både over og under bjælkerne.



Figur 23. Temperatur i bjælkeender med og uden indvendig isolering samt udeklimaet

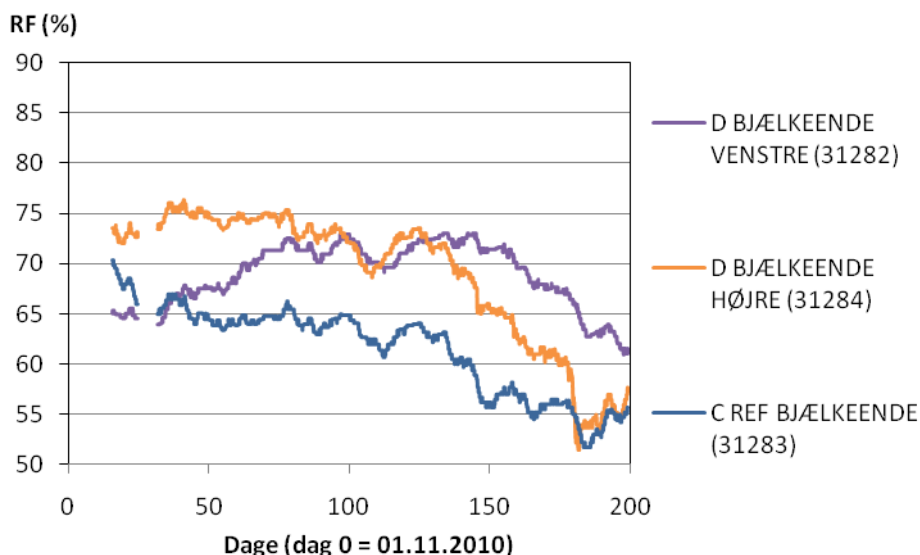
Figur 23 viser temperaturen i bjælkeenderne samt udetemperaturen. Temperaturen i bjælkeenderne svinger naturligvis med udetemperaturen og der er lidt varmere end udeklimaet. Målingerne viser, at der ikke er nogen nævneværdig tempera-

turforskel mellem den uisolerede reference måling og de to bjælkeender med isolerede ydervægge frem til ca. dag 120 - hvor man ville forvente at referencemålingen ville give højere værdier - hvilket er et udtryk for at temperaturen i soveværelset var betydeligt lavere end i stuen. I resten af måleperioden viser referencemålingen som forventet en højere temperatur i bjælkeenden, idet inde-temperaturen i soveværelset tilnærmelsesvis var den samme som i stuen og kuldebroen større pga. ingen indvendig isolering, hvilket medfører større varmestrøm og dermed højere temperatur.

Figur 24 viser relativ fugtighed (RF) i bjælkeenden for de tilsvarende målepunkter. Reference målingen (31283) viser et fugtindhold på 70 % lige i starten af måleperioden, faldende til 65 % i løbet af vinteren og til under 60 % i slutningen af perioden. Den relative fugtighed i de to bjælkeender, hvor der er efterisoleret, er i begyndelsen af måleperioden forskellige, men efter et par måneder (i januar) og resten af vinteren er RF på samme niveau (70-75 %). I slutningen af perioden falder fugtindholdet til under 65 %.

Det kritiske fugtindhold for træ ift. råd og trænedbrydende svampe ansættes normalt til 20 % ved nyangreb, svarende til ligevægt med luft med ca. 87 % RF og 15 % i tidligere angrebet træ, svarende til ligevægt med luft med ca. 73 % RF. Vurdering af bjælkernes tilstand og risiko for råd og svamp kan på den sikre side foretages ud fra at træfugtigheden skal være under 15 % (RF<73 %).

Målingerne viser at fugtigheden i bjælkeenden, hvor der ikke isoleres, er et godt stykke fra det kritiske niveau. For bjælkeenderne hvor der er udført indvendig efterisolering over og under bjælkerne er fugtniveauet generelt fornuftigt, idet den ene bjælke dog i en kort periode når over det kritiske niveau.



Figur 24. Relativ fugtighed i træbjælkeender. Ref-målingen er ved ydervæg uden indvendig isolering.

Fugtindholdet i bjælkeenderne ser fornuftigt ud under de givne forudsætninger, men det bør overvejes, om måleforholdene er gældende for alle områder på fa-

cadet og gavle. Målepunkterne er placeret i en gavl orienteret mod nordøst, hvorpå der sjældent er slagregn. Yderligere er målepunkterne placeret lavt på bygningen, og der er en nabo bygning, som har en afskærmende effekt mod eventuel sol og slagregn, se *Figur 25*.



Figur 25. Prøvelejligheden Ryesgade 30 C, 1 tv, er beliggende til højre lige over porten, og det er i gavlen at der er udført målinger på bjælkeenderne.

Den danske byggeskik fra 1900 tallet betød at facadetykkelsen blev reduceret i takt med bygningens højde, og på 5. sal er facaden opbygget med 1½ sten. Det vurderes, at målingerne er udført i en ydervæg, der kan sammenlignes med konstruktionen på de øverste etager i bygningen. Bygninger, der udsættes for slagregn, er mest udsat i de øverste etager og ned langs siderne af bygningen, hvorimod midten og nederst på bygningen har mindst slagregnspåvirkningen. Det vurderes, at målepunkterne er installeret i områder af facaden, hvor slagregnspåvirkningen er minimal. Samtidig kan det vurderes, at det ikke tyder på fugtproblemer i bjælkeenderne pga. indeklimaet.

SBi har foretaget en simplificeret og på den sikre side vurdering af hvilket ude- og indeklima der vil medføre et kritisk fugtindhold i bjælkeenderne (Rasmussen, 2011)⁸. Udgangspunktet er en forudsætning om at temperaturer over 5°C og 75 % RF vil give anledning til vækst af skimmesvamp. På den baggrund og med typiske fugtindhold i udeluften, konkluderes at udeklimaet ikke er kritisk og at indeklimaet ikke vil forårsage kritiske fugtindhold i bjælkeenderne i prøvelejligheden, hvis den relative luftfugtighed i indeklimaet holdes under 35 % om vinteren og 75 % om sommeren ved 20°C. De målte relative luftfugtigheder i prøvelejligheden ligger generelt under disse niveauer. Det anføres at det kan være fornuftigt at indbygge sensorer i bjælkeender og andre kritiske områder for derved at kunne følge fugtholdene og gøre tiltag til udbedring af eventuelle

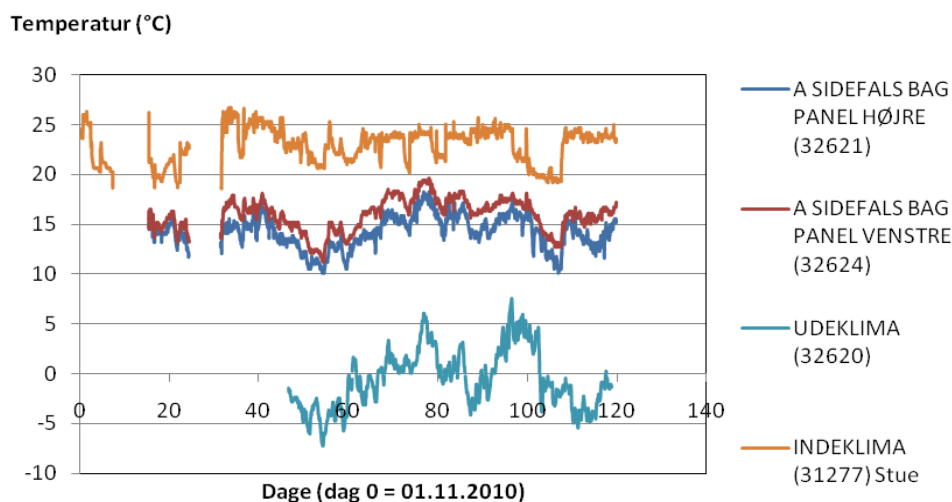
⁸ Rasmussen, T.V (2010). *Post-Insulation of Existing Buildings Constructed between 1850 and 1920. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI*,ASHRAE, December 5-9, 2010.

kritiske fugtindhold. Det er vigtigt med robuste løsninger der tager hensyn til den meget forskellige beboeradfærd.⁹

4.1.3.5 Vinduesfals og -brystninger

Der er foretaget temperaturmålinger i vinduesfals og -brystninger med forskellige isoleringsmaterialer og en referencemåling på vindue uden isolering. Der er målt umiddelbart bag træpanelerne (foran isoleringen) og bag isoleringen.

Figur 26 viser temperaturen bag lysningspanelet i den uisolerede vinduesniche (vindue A). Temperaturen er noget mindre end indetemperaturen (panelet isolerer), men meget varmere end udeluften, hvilket indikerer et betydeligt varmetab. Temperaturen bag lysningspanelet er primært påvirket af udetemperaturen. Sidefalsen til højre (set indefra) er lidt koldere, hvilket kan skyldes placering tæt på et ydervægshjørne.



Figur 26. Referencevindue 1+1 mod gade: Temperatur bag lysningspaneler uden isolering.

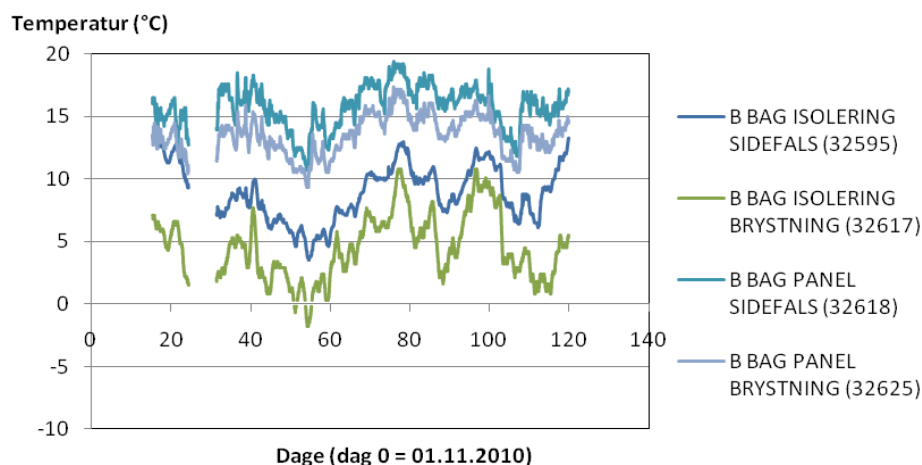
I Figur 27 er vist temperaturer i vinduesnichen med Aerowolle (vindue B) .

Temperaturen bag panelerne er lidt højere i sidefalsen end i brystningen. Dette skyldes primært at sidefalsen påvirkes af varmestrøm fra to sider; lysningen og murpillen, som ikke er efterisoleret. Forskellen er større hvis man ser på temperaturen bag isoleringen, hvor f.eks. temperaturfaldet henover isoleringen i gennemsnit for januar måned 2011 er på 7,4°C for sidefalsen og 8,9°C for brystningen ved en samlet temperaturforskel mellem ude og inde på ca. 23°C.

Der er målt omtrent samme temperatur bag lysningspanelet i venstre sidefals for de to vinduer mod gaden; 16,9°C for vindue med isoleret lysning (B) og 17,1°C for vindue med uisoleret lysning (A), hvor man umiddelbart skulle forvente en højere temperatur for den isolerede lysning. Med isolering i lysningen vil overfladetemperaturen være meget konstant i falsens dybde, hvorimod den

⁹ "Sensorer i bygninger. Fugt i boliger og byggeri", udarbejdet af SBI i regi af projektet "Senobyg": <http://www.sbi.dk/byggeteknik/bygningsfysik/fugt/sensobyg-sensorer-i-bygninger/>

uden isolering vil afhænge meget af dybden og være koldest ved vinduet. De ens temperaturer er derfor mere et udtryk for at placeringen af sensoren i tilfældet uden isolering tilfældigvis giver samme temperatur. Var den placeret helt ude ved vindueskarmen havde temperaturen været væsentligt lavere end ved isolering i lysningen.

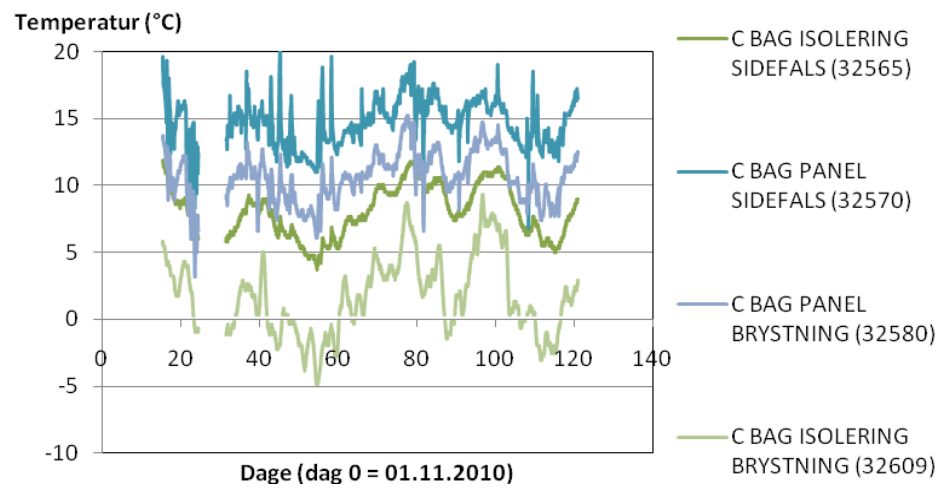


Figur 27. Vindue 1+1+1 mod gade: Temperatur bag på lysningspanel i sidefals og bag 20 mm aerowolle isolering hhv. bag på brystningspanel og 20 mm aerowolle isolering suppleret med mineraluld i resterende hulrum.

I Figur 28 er vist temperaturer i vinduesniche med vakuumisolering (vindue D), som er beliggende i soveværelset.

I denne vinduesniche er der i modsætning til vinduesniche B også isoleret indvendig på muren der grænser op til vinduet. Temperaturfaldet over isoleringen er i gennemsnit for januar måned 2011 på 6,4°C for sidefals og 8,6°C for brystning ved en samlet temperaturforskel mellem ude og inde på ca. 18°C i samme periode. Temperaturfaldet er omtrent det samme som for vinduesniche B med Aerowolle, men forskellen mellem inde- og udetemperaturen er ca. 20 % mindre, nemlig 18°C i forhold til 23°C. Dette indikerer at vakuumisoleringen lever delvist op til sin meget bedre isoleringsevne. At der ikke er en større forskel kan skyldes forhold nævnt under erfaringsopsamling (kapitel 3), herunder luft-

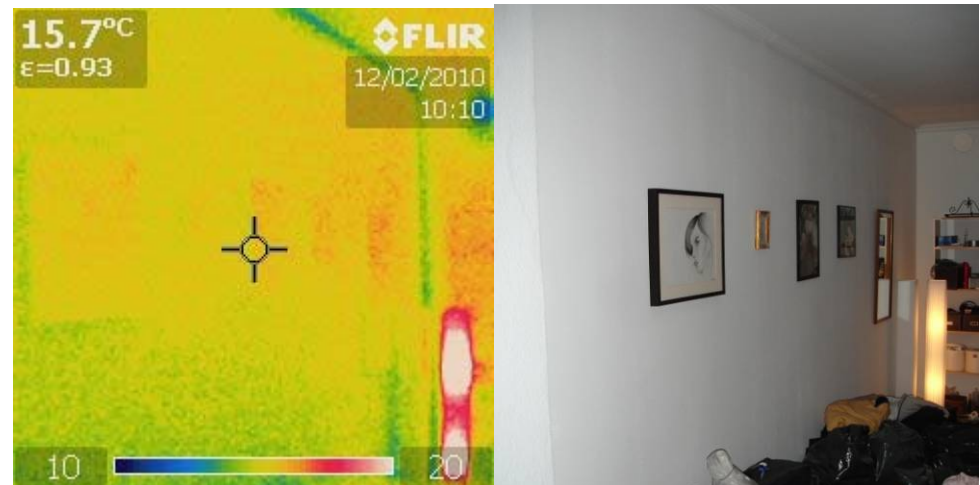
spalter i isoleringen.



Figur 28. Vindue 1+2 mod gård: Temperatur bag lysningspanel i sidefals og bag 20 mm vakuum isolering hhv. bag på brystningspanel og 20 mm vakuum isolering suppleret med mineraluld i resterende hulrum.

4.1.3.6 Termografier

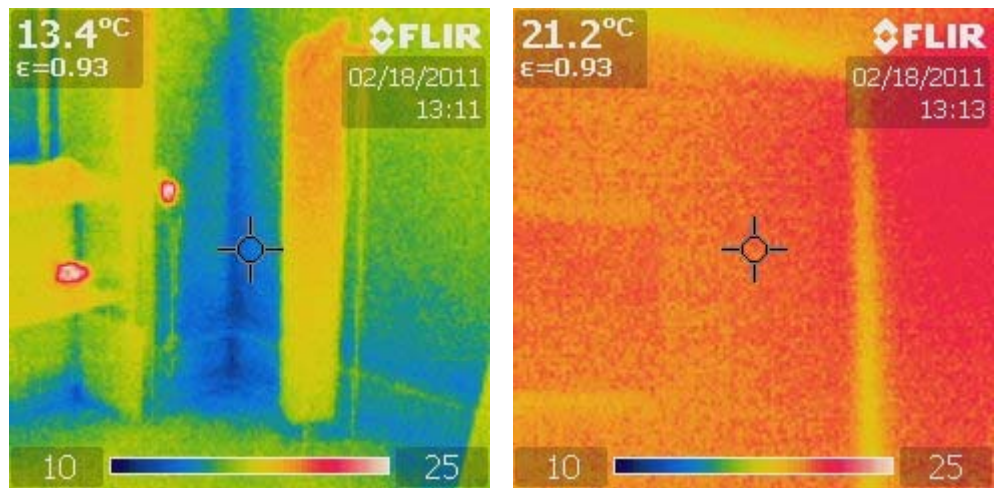
Aerorock - isolering af indiv. vægge



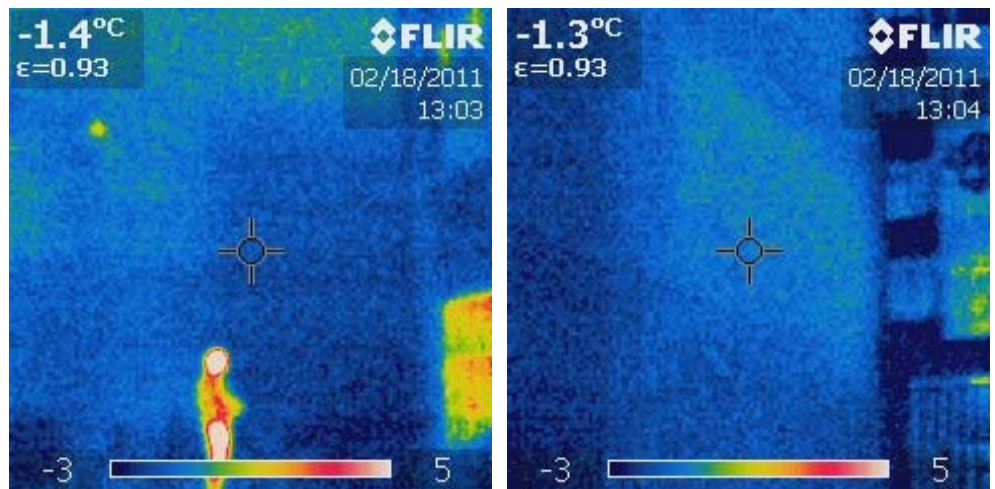
Figur 29: Isoleret væg i midterste værelse i prøvelejligheden.



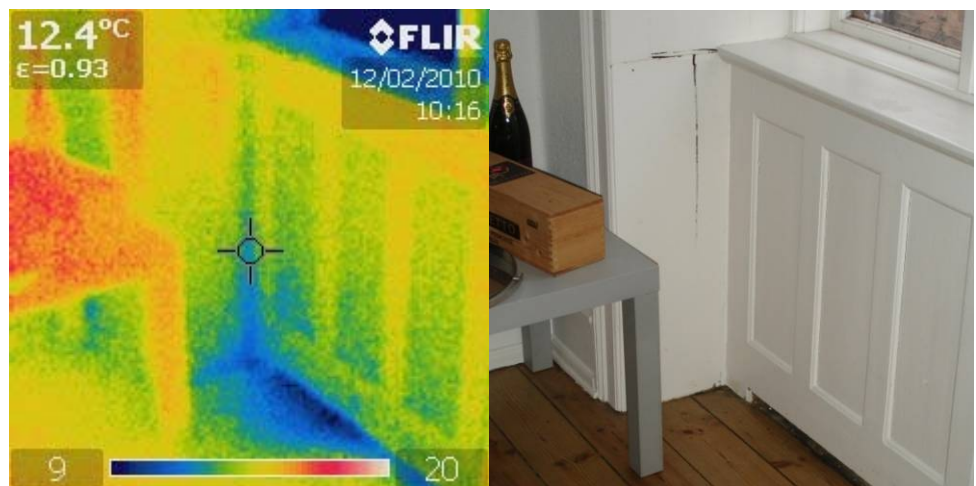
Figur 30: Uisoleret væg i midterste værelse i den tilsvarende lejlighed på 2. sal.



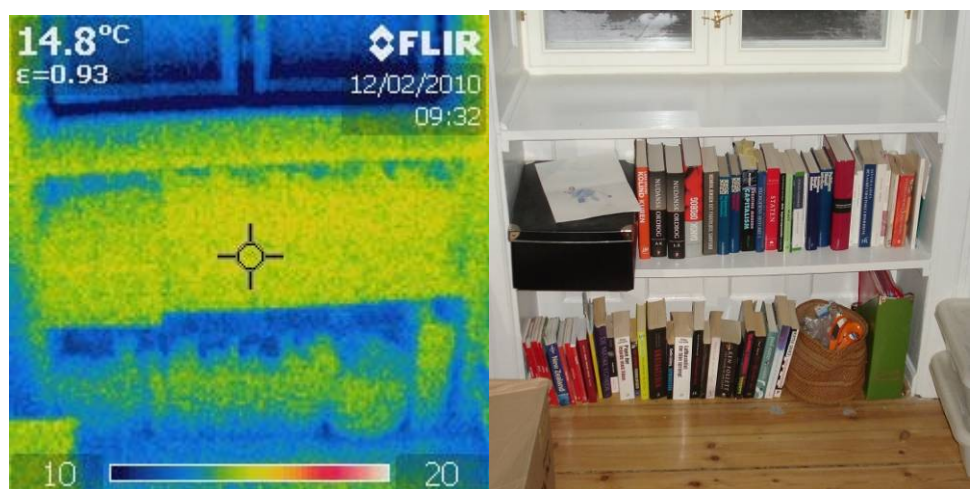
Figur 31. Inderside af 1½ stens brandgavl – tv. uden og th. med indvendig isolering



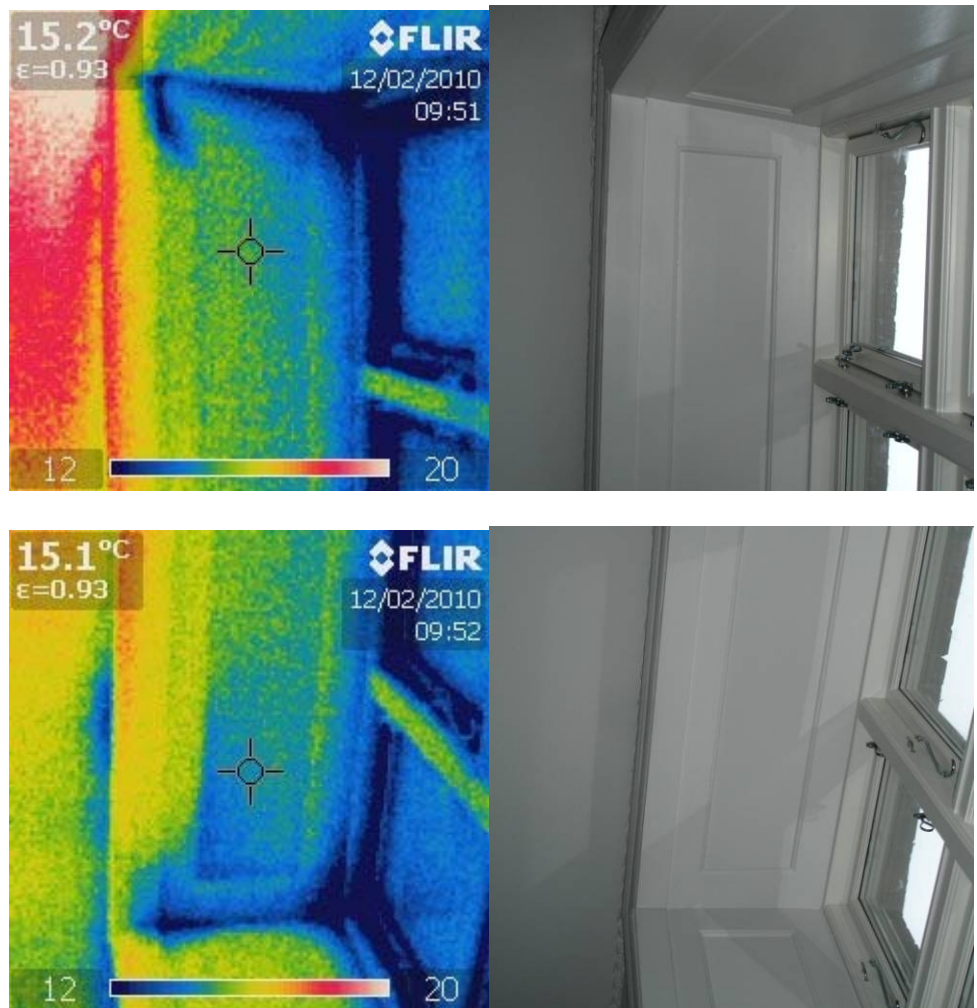
Figur 32. Gavlv udvendigt. Billede tv.: person stående ved grænse for isolering (tv. uden og th. med indvendig isolering). Billede th.: Øvrig del af gavlv, hvor den isolerede del ses tv. i billedet.



Figur 33: Uisoleret brystning ved venstre vindue i stuen i lejligheden på 2. sal.



Figur 34: Isoleret brystning (Aerowolle) under venstre vindue i stuen i prøvelejligheden.



Figur 35: Vindueslysningen som blev isoleret med Vacupor. Det mest blå område på det midterste billede markerer stedet, hvor vakuumisoleringen slap op, og der måtte erstattes med Aerowolle. Løsningen blev tilsyneladende ikke rigtig god.

4.2 Vinduer

Der er udført fire forskellige løsninger på vinduerne i lejligheden. Tre 2-fagsvinduerne er blevet renoveret, mens et 3-fagsvindue er blevet udskiftet med et nyt..

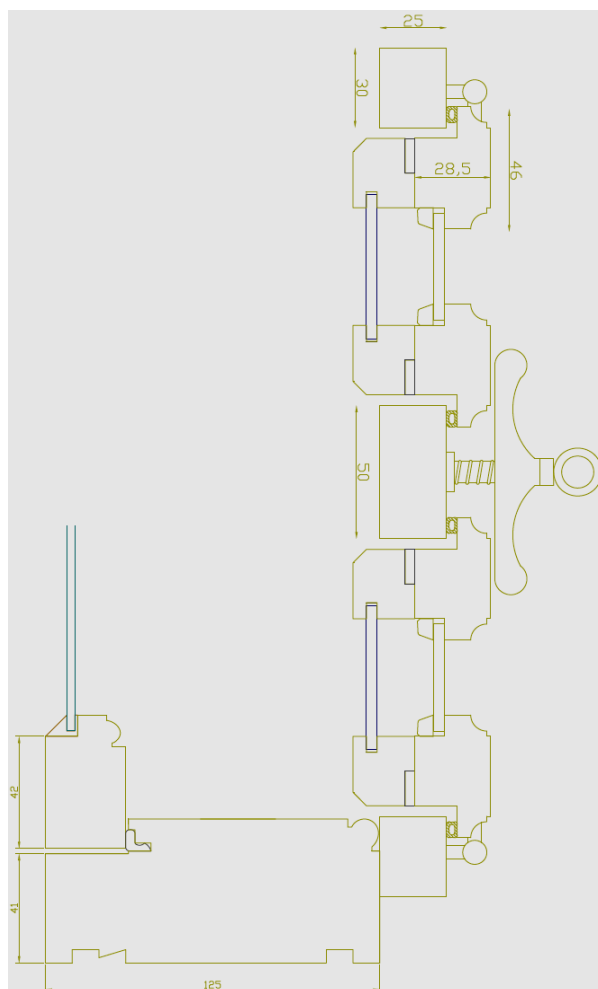
Vinduerne er udskiftningsmodne, men kommunens sagsbehandler ønsker at bevare vinduerne af principielle årsager. Løsningen med forsatsvinduerne har dog mødt modstand fra lejerne, der ikke ønsker vinduer, som åbner indad fordi løsningen er besværlig og begrænser brugen af vindueskarmen. Brugen af forsatsvinduer har desuden vist sig problematisk - de eksisterende vinduesrammer har mange fugtskader fordi forsatsvinduerne ikke har været lukket tæt.

Vindue 1 mod gaden (tv.)

Der er afprøvet en 1+1+1 forsatsløsning, der indbefatter et ekstra lag glas monteret på den udvendig side af forsatsvinduet, så der er ét almindeligt glas og to enkelte energiglas.. Afstand mellem de to enkelte energiglas er i forsøgsvinduet 23 mm. Dette bør være min. 20 mm, idet mindre hulrum væsentligt nedsætter isoleringsevnen.

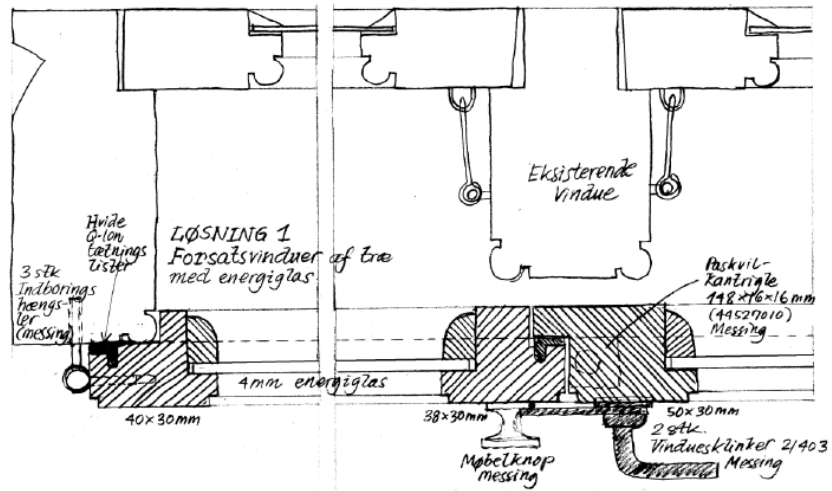
De i forvejen fine energimæssige egenskaber kan yderligere forbedres ved montering af et isolerende / reflekterende natgardin i hulrummet mellem oprindelig ramme og forsatsramme, der har et stort energisparepotentiale, da 75 % af fyringssæsonens graddøgn er mørke

Figur 36: Vandret snit 1+1+1 forsatsløsning med to energiglas i forsatsvinduet.



**Vindue 2
mod gaden (th.)**

Der er udført en traditionel energiforbedrende renoveringsløsning i form af istandsættelse af det eksisterende vindue og montering af et forsatsenergiglas i separat ramme (1+1 forsatsløsning).



Figur 37: Principkitse af 1+1 forsatsløsning.



Figur 38. Energirenoveret 2-fags dannebrogsvindue med 1+1 forsatsløsning - set inde-
fra og udefra.

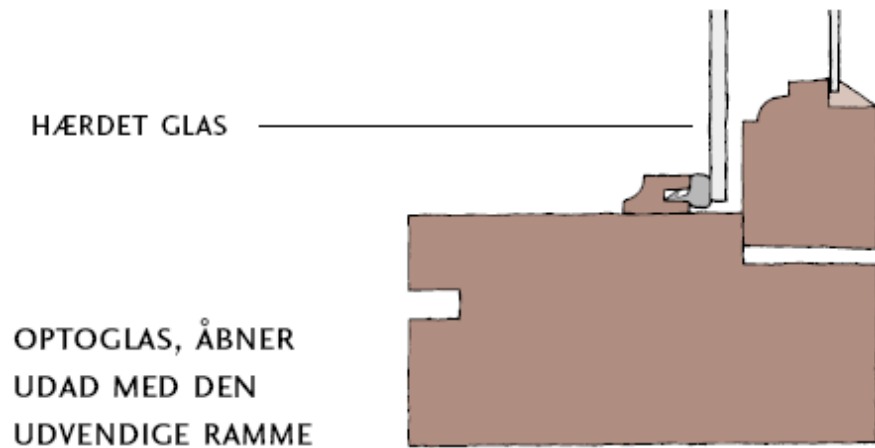


Figur 39. Nærbillede af anslagsliste for ny tætningsliste, hvor der af hensyn til mulighed for ventilering af fugt er udeladt tætningsliste ved stormkroge og hasper.

Ved reetablering af lysninger konstateredes det at der manglede kalfaltringsisolering mellem vindueskarm og murværk, så der blev foretaget en isoleringsstopning af fugerne omkring vinduerne.

**Vindue 3
mod gården**

Ét vindue blev istandsat med montering af forsatsenergiglas af 4 mm hærdet glas, monteret direkte på den indvendige side af vinduesrammen ved hjælp af patenterede specialhængsler og -beslag. Fordelen ved denne særlig ”Optoglas” løsning er især at tætheden af forsatsløsningen ikke afhænger af beboernes adfærd og at vindueskarmen ikke skal ryddes ved åbning af vinduet.



Figur 40: Principskitse af renoveringsløsningen med Optoglas.



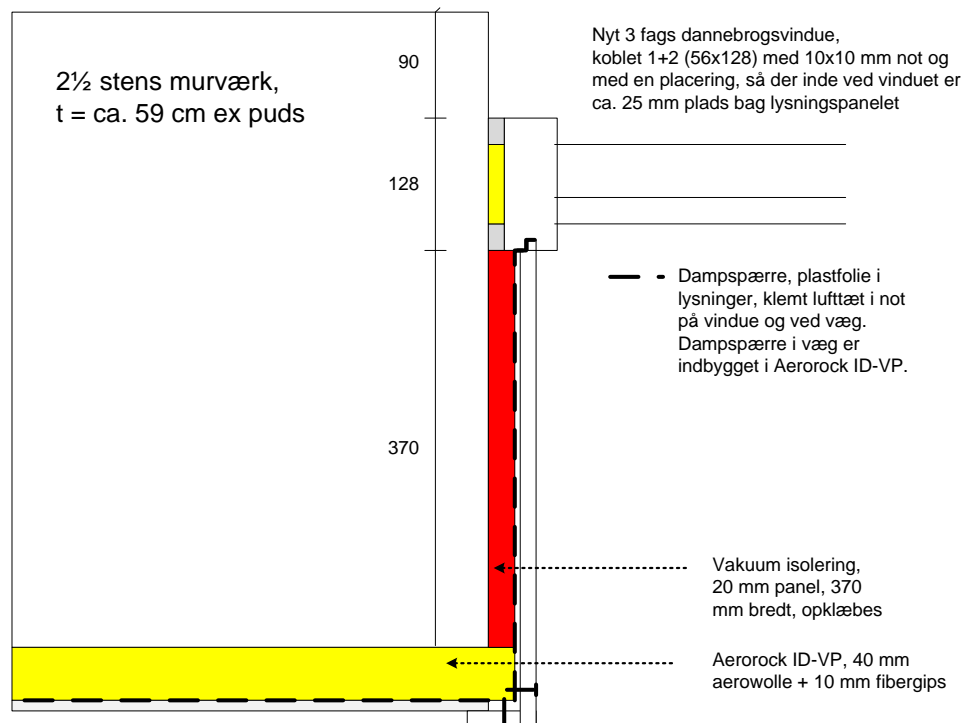
Figur 41: Renoveringsløsningen med Optoglas.

**Vindue 4
mod gården**

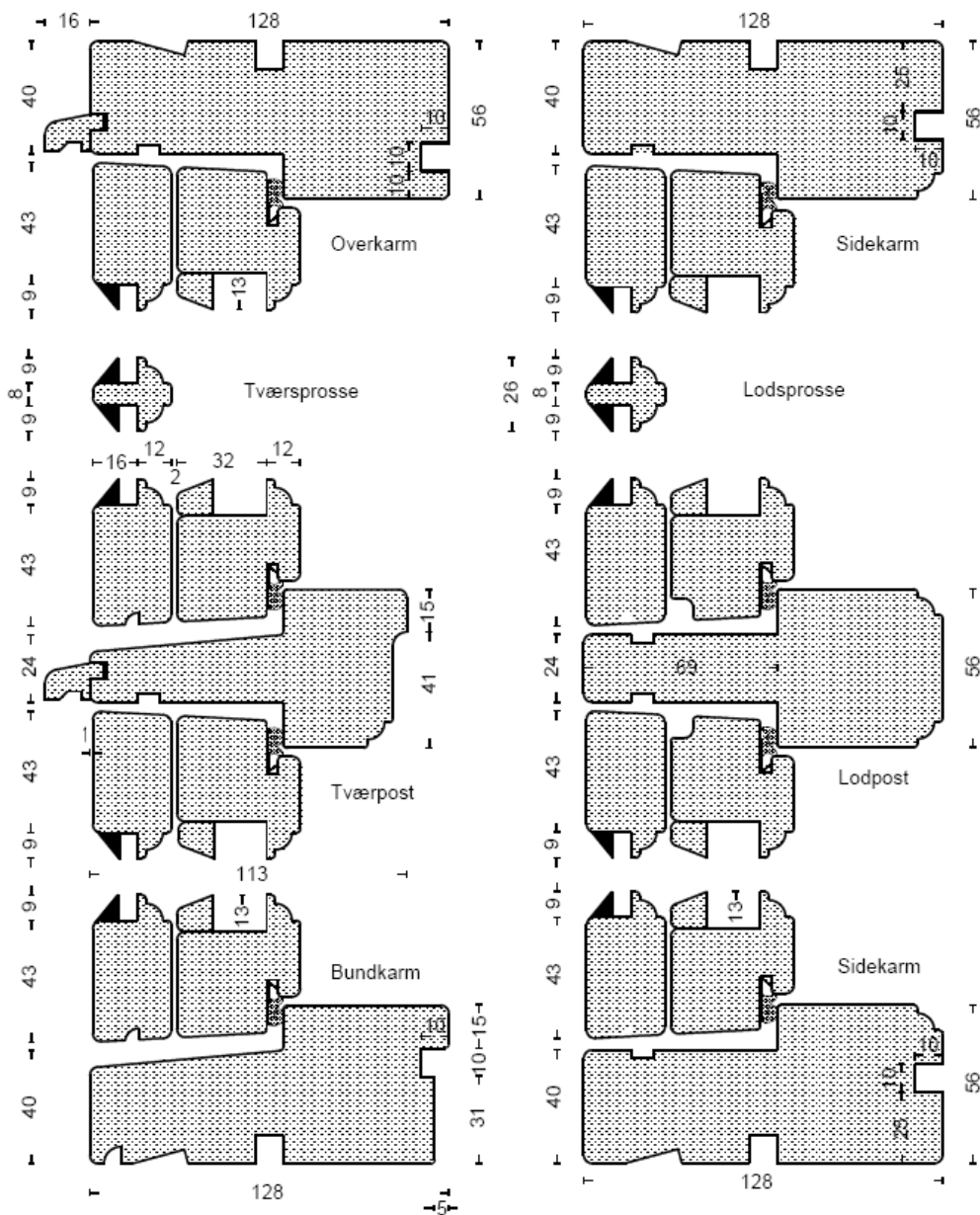
Det nye 3-fags vindue er fra Frovin Vinduer og Døre A/S og er udført med 1+2 koblede ruder med to energiglas (inderste og yderste glas) og energirude med ”varm” rudekant og krypton fyldning.



Figur 42. Nyt 3-fags dannebrogvindue med 1+2 koblede ruder, dvs. med 2-lags energirude i de koblede rammer



Figur 43: Principskitse (vandret snit) af sammenbygningsdetalje mellem nyt vindue med 1+2 koblet rudeløsning, vakuum isolering i lysninger og aerowolle på væg. Klemning af dampspærre i not på vindueskarm.



Figur 44. Snit i 3-fags dannebrogsvindue med 1+2 koblede ruder, 2-lags energirude i de koblede rammer

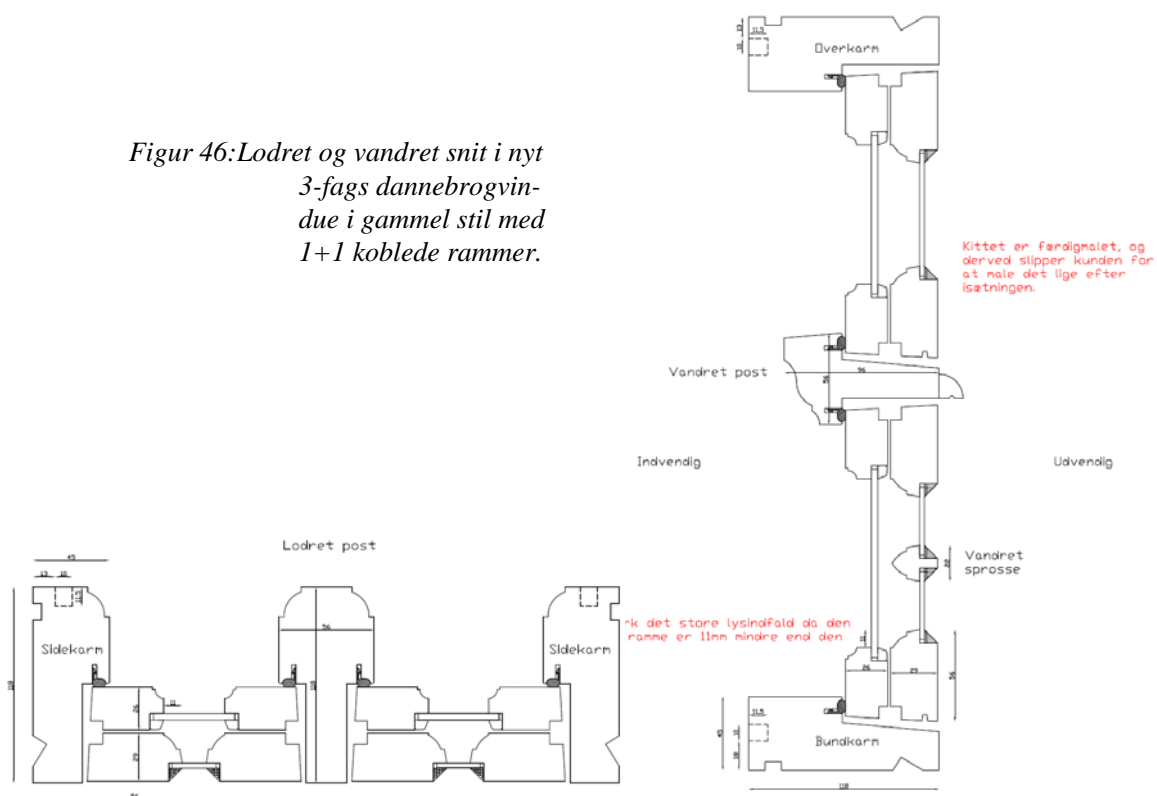
Vindue 5 (stuen)

I stueetagen under vindue 4 er isat et nyt vindue fra Linolie Vinduet ApS, udført med 1+1 koblede ruder med ét energiglas. Producenten har forsøgt at efterligne detaljerne ved de eksisterende vinduer.



Figur 45: Nyt 3-fags dannebrogsvindue i gammel stil med 1+1 koblede rammer.

Figur 46: Lodret og vandret snit i nyt 3-fags dannebrogsvindue i gammel stil med 1+1 koblede rammer.



Varmetekniske data

Tabel 2 viser de varmetekniske data for de forskellige vinduesløsninger. Den energimæssige kvalitet er udtrykt ved energitilskuddet E_{ref} for de aktuelle vinduer, som er solvarmetilskuddet fratrukket varmetabet. E_{ref} er et relevant udtryk til at sammenligne forskellige vinduers ydeevne i opvarmningssæsonen (bemærk at E_{ref} i bygningsreglement sammenhæng udregnes for et 1-fags vindue med referencemålene 1,23 x 1,48 m).

Det ses at alle de afprøvede vinduesløsninger, både renovering og nye, vurderes at give anledning til betydelige energibesparelser i forhold til eksisterende vinduer (1 lag glas eller 1+1 almindelige glas). Optoglas løsningen (#3) klarer sig energimæssigt dårligst af vinduesløsninger med 1+1 glas.

De energimæssigt bedste løsninger er naturligvis løsning #1 og #4 med 3 glas, hvoraf de 2 glas er energiglas.

Løsningerne kan yderligere forbedres med et integreret natgardin, og hvis det benyttes i de mørke timer, kan U_w reduceres (for løsning #1 fra 1,08 til 0,95) og E_{ref} forbedres fra (for løsning #1 fra -26 til -12.) Det ses også at både renoveringsløsninger og nye vinduer med koblede rammer er ”konkurrencedygtige” ift. nye vinduer med forsejlet 2- eller 3-lags energirude (Pro Tec).

Løsning #1 har lidt lavere U_w og lidt højere transmittans, hvilket skyldes brug af enkelte lag glas og hård lavemissionsbelægning frem for #4, der har energirude med kantkonstruktion og blød lavemissionsbelægningen.

Løsning #4 kan forbedres ved at ruder med lavere U_w eller højere LT_w end dem, der er anvendt i prøvelejligheden

Tabel 2. Varmetekniske data for 2-fags dannebrogsvinduer uden sprosser (1,1 x 1,6 m) i form af U- og g-værdi for hele vinduet, energitilskud i fyringssæsonen, samt dagslys- soltransmittansfaktor for hele vinduet. (Kilder: 1 DTU-beregninger 2 Beregninger leveret af producenterne)

#	Vinduesløsning	U_w [W/m ² /K]	g_w [-]	E_{ref} [kWh]	LT_w [-]
	Traditionelt vindue med 1 lag alm. glas	4,40	0,54	-294	0,55
	Traditionelt vindue med forsats alm. glas (1+1)	2,32	0,48	-116	0,50
1	Vindue 1+1+1 med forsatsrammer ¹	1,08	0,37	-26	0,37
2	Vindue 1+1 med forsatsrammer med energiglas ¹	1,62	0,44	-58	0,45
3	Vindue 1+1 med Optoglas koblet løsning ¹	1,76	0,44	-73	0,45
4	Nyt vindue 1+2 med kobl. rammer (Frovin) ²	1,13	0,29	-45	0,39
5	Nyt vindue 1+1 med kobl. rammer (Linolievindue.) ²	1,74	0,46	-67	-
	Nyt vindue med 2-lags energirude (Pro Tec Classic) ²	1,54	0,36	-68	0,46
	Nyt vindue med 3-lags energirude (Pro Tec Multi 7) ²	1,24	0,29	-55	0,42

4	Nyt vindue 1+2 (Frovin) ruder med større LT_w	1,25	0,38	-39	0,43
4	Nyt vindue 1+2 (Frovin) ruder med lavere U_w	1,06	0,29	-38	0,38

4.3 Økonomi

Tiltag i prøvelejlighed	Pris excl. moms	Pris i alt 2-fags vindue	Pris i alt 3-fags vindue
Løsning #1 Istandsættelse og maling (excl. indiv. maling) Forsatsrammer med to lag glas	3.500 8.720	12.220	
Løsning #2 Istandsættelse og maling (excl. indiv. maling) Forsatsrammer med et lag glas	3.500 8.250	11.750	
Løsning #3 Istandsættelse og maling: (excl. indiv. maling) Optoglas to-fags-monteret:	3.500 12.590	16.090	
Løsning #4 Nyt Frovin-vindue (1+2 med koblede rammer): Isætning:	8.950 2.850		11.800
Vindue 5 mod gård: Nyt Linolievindue (1+1 med koblede rammer): Isætning:	14.950 2.850		17.800
Tiltag ved byfornyelse alle vinduer i ejendommen	Pris excl. moms	Pris i alt 2-fags vindue	Pris i alt 3-fags vindue
Løsning #1 Istandsættelse og maling (excl. indiv. maling) Forsatsrammer med to lag glas	4.800 4.100	8.900	12.400
Løsning #2 Istandsættelse og maling (excl. indiv. maling) Forsatsrammer med et lag glas	4.800 3.100	7.900	11.240
Løsning #3 Istandsættelse og maling: (excl. indiv. maling) Optoglas to-fags-monteret:	4.800 4.900	9.700	
Løsning #4 Nyt Frovin-vindue (1+2 med koblede rammer): 2-fags 3-fags Isætning:	6.000 8.950 1.000	7.000	9.950

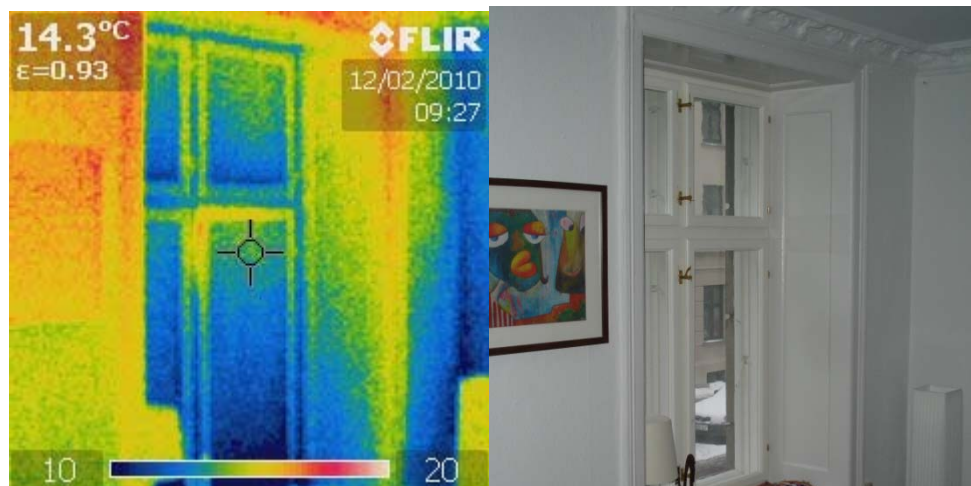
4.3.1 Resultater

4.3.1.1 Termografier

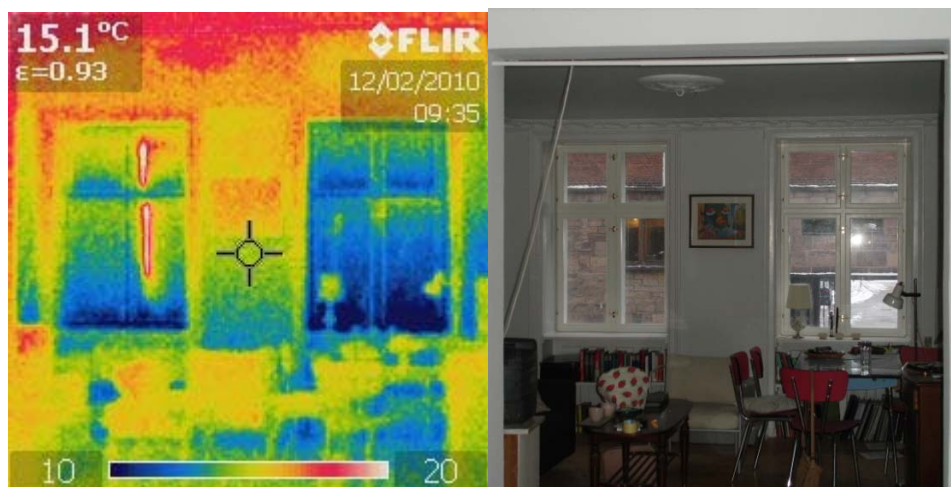
Herunder ses en række termografibilleder samt tilhørende almindelige digitalbilleder af vinduer og isolering i prøvelejligheden taget om morgenen d. 2. december 2010. For sammenligningens skyld er der også taget billeder af vinduer med 1 lag glas i den tilsvarende lejlighed på 2. sal.



Figur 47: Vindue 1 i stuen mod gaden (1+2 løsning med forsatsramme). Overfladetemperaturen på ruderne er ca. 15 grader.

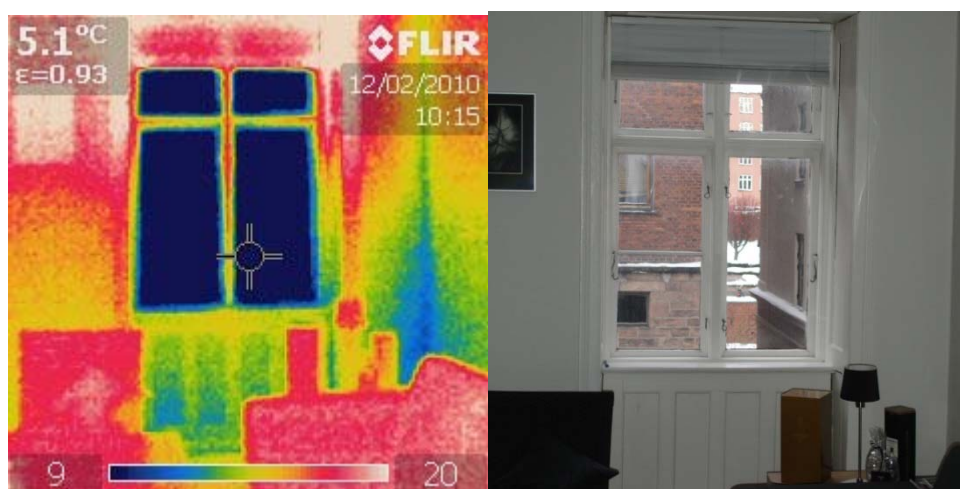


Figur 48: Vindue 2 i stuen mod gaden. (1+1 løsning med forsatsramme) Overfladetemperaturen er 12-13 grader

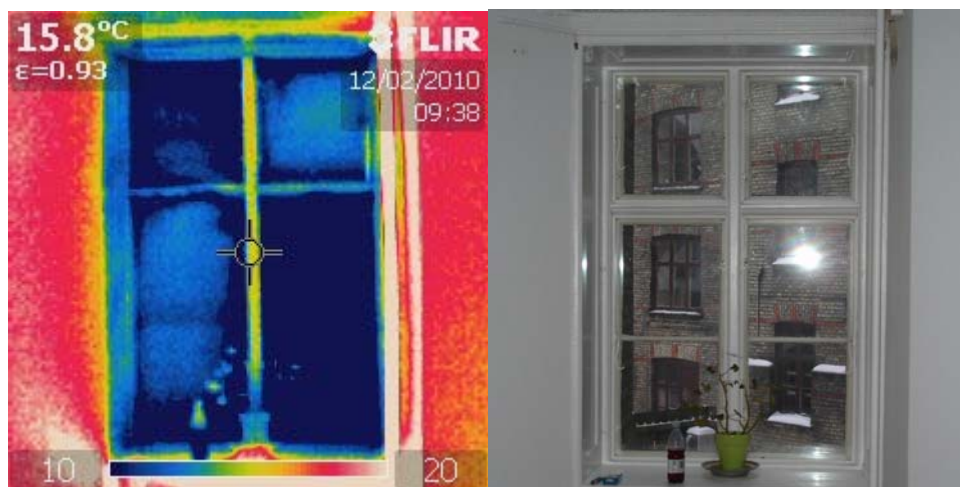


Figur 49: Sammenligning mellem vindue 1 til venstre og vindue 2 til højre i stuen. På det venstre vindue ses refleksion fra varmerør på modstående væg.

De to renoverede vinduer med forsatsvinduer har beregnede U-værdier på hhv. 1,08 og 1,62 – hvilket synes at svare meget godt til den forskel, der kan ses på termografierne



Figur 50: Det højre vindue i stuen i lejligheden på 2. sal. Overflade temperaturen på vinduet er under 10 grader og markant lavere end i på forsatsvinduerne i prøvelejligheden.



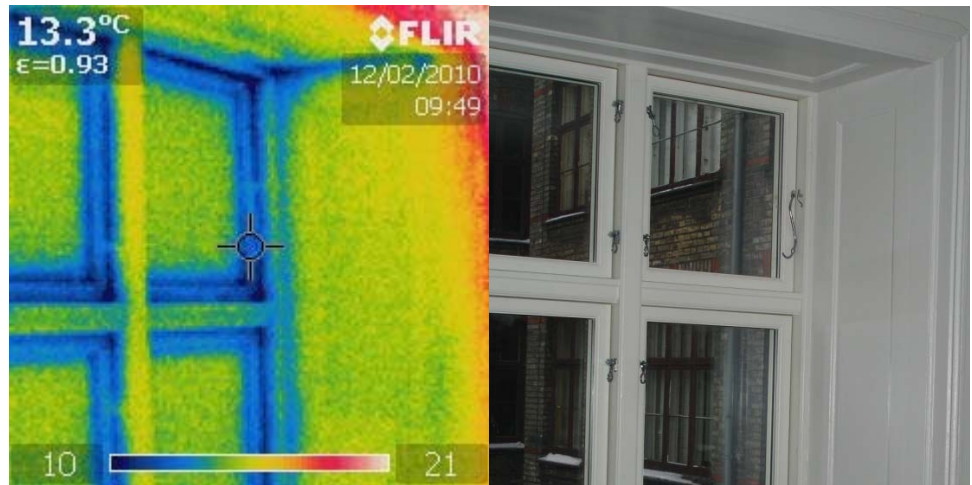
Figur 51: Vindue 3 mod gården med påsat Optoglas. Overfladetemperaturen er omkring 10 grader og ikke markant højere end på 1-lags glasset i det ikke-renoverede vindue.

Vinduet med Optoglas har en beregnet U-værdi på 1,76, dvs. samme størrelsesorden U-værdien 1,62 på vindue 2, 1+1 løsningen med forsatsvindue.

Men termograferne viser at der er meget stor forskel på effekten, og at Optoglas-løsningen synes at give en betydeligt dårligere isolering end beregnet.



Figur 52: Det ikke-renoverede vindue mod gården i midterværelset i den tilsvarende lejlighed på 2. sal.



*Figur 53: Vindue 4- nyt vindue med koblede rammer,
1 + 2 lag glas, beregnet U-værdi 1,13.
Samme størrelsesorden som U værdi 1,08 på vindue 1, 1+2 løsning med
forsatsvinduer – og termograferne viser også nogenlunde samme over-
fladetemperatur på de to vinduesløsninger*

4.4 Ventilation

Valg af anlægstype

Formålet med undersøgelsen har været at undersøge og teste brugen af ventilationsanlæg med varmegenvinding og balanceret ventilation. På forhånd var det givet, at det i prøvelejligheden kun kunne dreje sig om decentrale anlæg, da centrale anlæg ville berøre andre lejligheder. Primære kandidater har derfor været traditionelle anlæg som især kendes fra enfamiliehuse, ligeledes har små mikroanlæg placeret i vægge været diskuteret. Pga. den indtil videre begrænsede erfaring med små mikroanlæg, blev disse fravalgt til fordel for en mere traditionel løsning med et standard ventilationsanlæg.

Der har været særligt fokus på problematik omkring integration af emhætte i køkkenet. I lejligheder hvor der er etableres en stor tæthed i klimaskærmen, kan forceret emhættedrift uden balanceret ventilation erfaringsmæssigt skabe problemer med døre der binder, støj mv. Derfor har den balancerede ventilation været et krav.

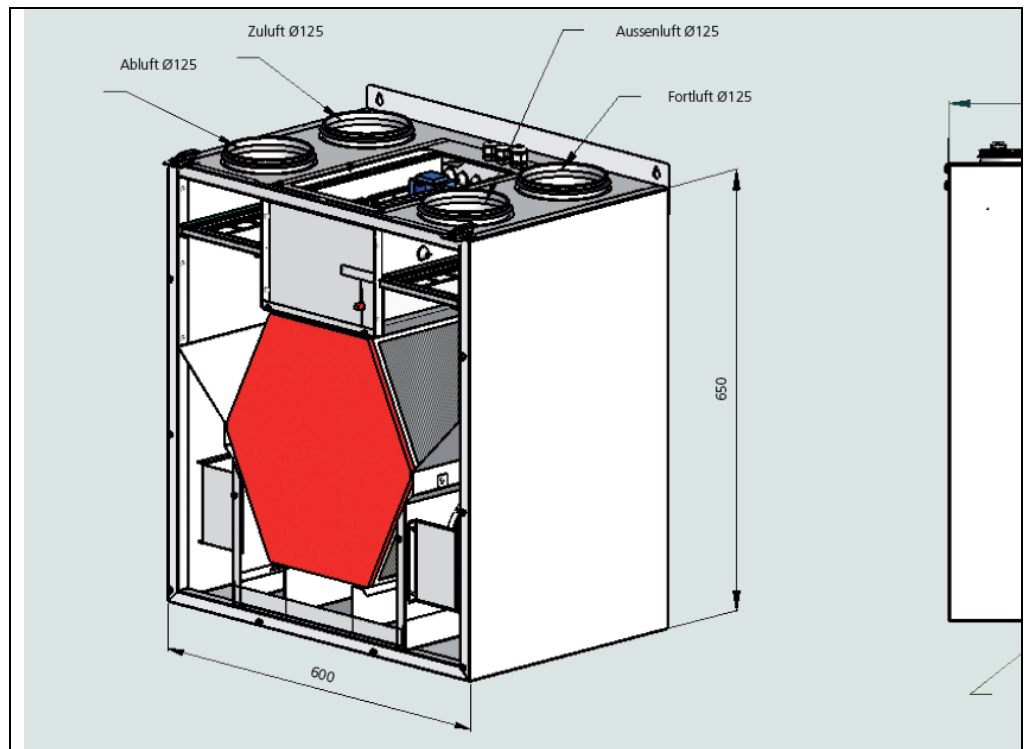
To emhætteløsninger har været i spil og er blevet diskuteret bl.a. med bygherren. Det var henholdsvis løsning med emhætte tilkoblet ventilationsanlæg og løsning med selvstændig emhætte med recirkulation og aktivt kulfilter. Førstnævnte løsning bruges i stort omfang af Nilan i boliger og rækkehuse, som udføres med stor tæthed (løsning blev udviklet i forbindelse med de første passivhuse i Danmark). Erfaringerne er gode.

Sidstnævnte løsning med recirkulering og aktivt kulfilter, er ikke i overensstemmelse med Bygningsreglementet men ville formodentligt kunne implementeres efter dispensation. Løsningen er meget udbredt i udlandet og mange forventer at denne løsning vil vinde indpas i dansk byggeri.

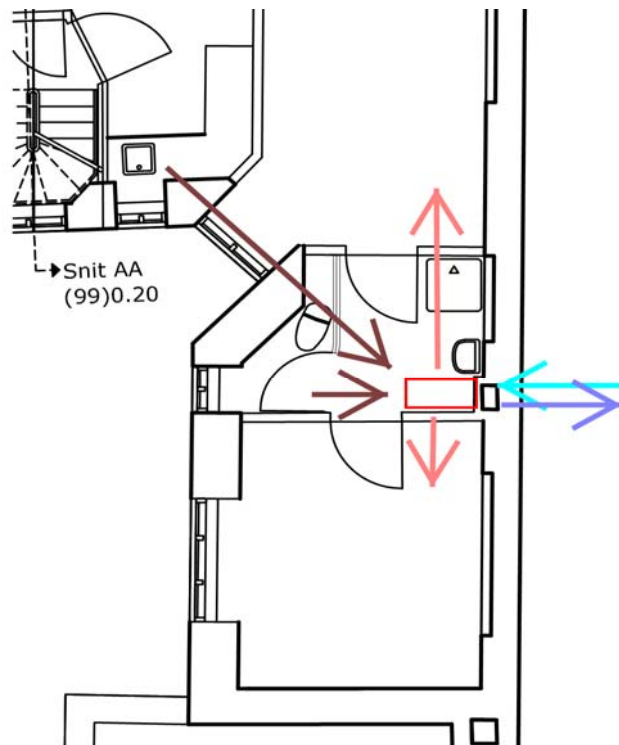
I samarbejde med bygherren blev det besluttet hvilken type der skulle testes for at kunne opnå en løsning i fuld overensstemmelse med BR samt reducerede udgifter til filterskift (et aktivt kulfilter skal typisk udskiftes 1-2 årligt, hvorimod fedtfilteret i Nilans emhætteløsning kan vaskes i en vaskemaskine. Et aktivt kulfilter koster typisk 150-300 kr.).

Anlægget Nilan Comfort 250 (max luftmængde 250 m³/h) blev valgt som ventilationsanlæg, da det har kapacitet til at medtage en emhætte samt at Nilan har løsningen som standard. Figur 54 viser en tegning af anlægget med dimensioner.

Figur 55 viser en illustration af ventilationsprincippet i prøvelejligheden. Friskluftindtag samt afkast føres via ydervæg (afkast skal i forbindelse med endeligt renoveringsprojekt føres over tag men dette var ikke muligt i prøvelejligheden). Friskluft tilføres soveværelse samt stue. Udsugning via toilet/badeværelse samt emfang i køkken.



Figur 54: Nilan Comfort 250 (vægplaceret unit)



Figur 55: Principskitse af decentralt ventilationsanlæg

4.4.1 Erfaringsopsamling på udførelse

På grund af testperiodens planlagte korte varighed (februar 2011 – august 2011 – derefter nedtagning af anlæg pga. påbegyndelse af renoveringsprojekt), blev indbygning af ventilationsunit i skab samt placering og udførsel af kanalføring tillagt mindre betydning. Især kanalføringen viste sig dog at være et stort problem, hvilket tydeligt indikerer behov for både særlige kanaltyper og kanalløsninger. Første installation var af så ringe kvalitet, at installationen blev nedtaget. Billeder af vægplaceret unit samt endelig kanalføring ses på figur 56 – 57.

Alle kanaler i lejligheden er baseret på Ø 125 mm kanalerør. Friskluft tages via Ø 125 mm rør ført igennem ydervæg. Afkastluft til det fri via 125 mm kanalerør (disse to kanaler blev ikke kondensisoleret pga. forsøgets korte varighed).

Nilan unitten har indbygget bypass i anlægget som frostsikring af veksleren, hvilket betyder at balanceret ventilation kan opretholdes konstant (et alternativ hertil er forvarmning af friskluft via jordrør eller el/væske baseret varmeplade – ved el skal der påregnes ca. 150 kWh/år). Unitten blev leveret med indbygget sensor til måling af relativ fugtighed for at muliggøre behovsstyret ventilation. Fugtsensoren er placeret før modstandsveksler og måler således en ”midlet” relativ fugtighed for lejligheden.

Det var oprindeligt tiltænkt at benytte den såkaldte EMBOKS fra Nilan (se figur 58) til styring af ventilationsmængderne ved forceret emhættedrift. Princippet bag EMBOX løsningen fra Nilan bygger på at fastholde en given udsugningsmængde fra eksempelvis vådrum selvom ventilationsanlægget speeder op i forbindelse med forcering af emhætten. Princippet er illustreret på figur 59-60. Emhætten er tilkoblet EMBOX, som via en styring kan aktivere et spjæld ved forceret drift. Samtidig sendes signal til ventilationsanlægget om at gå op på højt trin.

Jf. BR10 er kravet til luftskifte i en lejlighed med behovsstyret ventilation ≥ 0.3 l/m² pr sek. For den givne lejlighed betyder det i alt 90 m³/h (det tidligere krav ville være udsugning på 54 m³/h fra baderum og 72 m³/h fra køkken, i alt 126 m³/h). Ved forceret emhættedrift er kravet jf. BR10 til udsugning fra køkken/emhætten 144 m³/h dvs. i alt 198 m³/h under forceret drift.

For at stile efter mest mulige kompakte installation og prisbillige installation blev EMBOX'en udeladt og kanalstrengen til emhætten i køkkenet tilkoblet direkte via et normalt T-stykke.

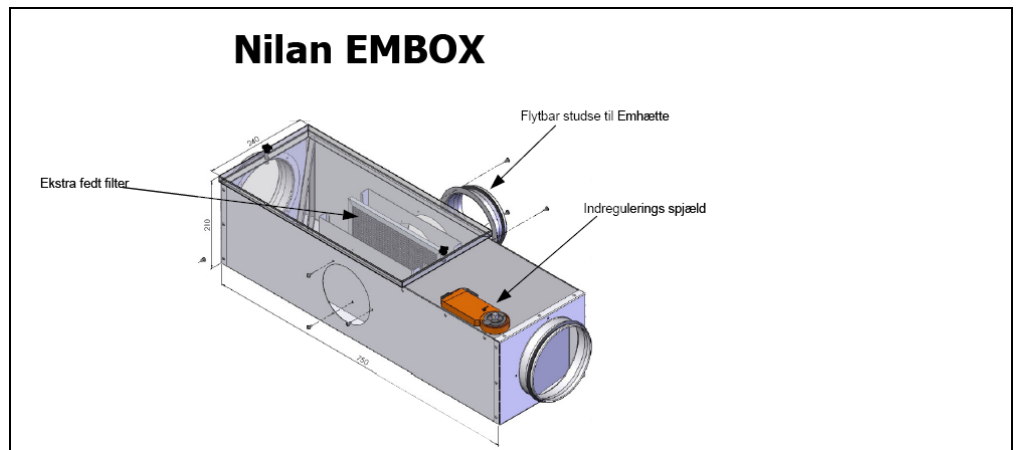
Tabel 3 viser målte udsugningsmængder på trin 1 – normal drift, trin 2 (forceret normaldrift pga. høj fugtighed) samt trin 3 ”forceret emhættedrift”. Som det ses opnåedes ikke helt 198 m³/h samt 144 m³/h ved forceret emhættedrift. Afvigelsen var dog ikke større end at ventilationsmængderne blev vurderet som fuldt ud tilstrækkelige til prøvelejligheden.



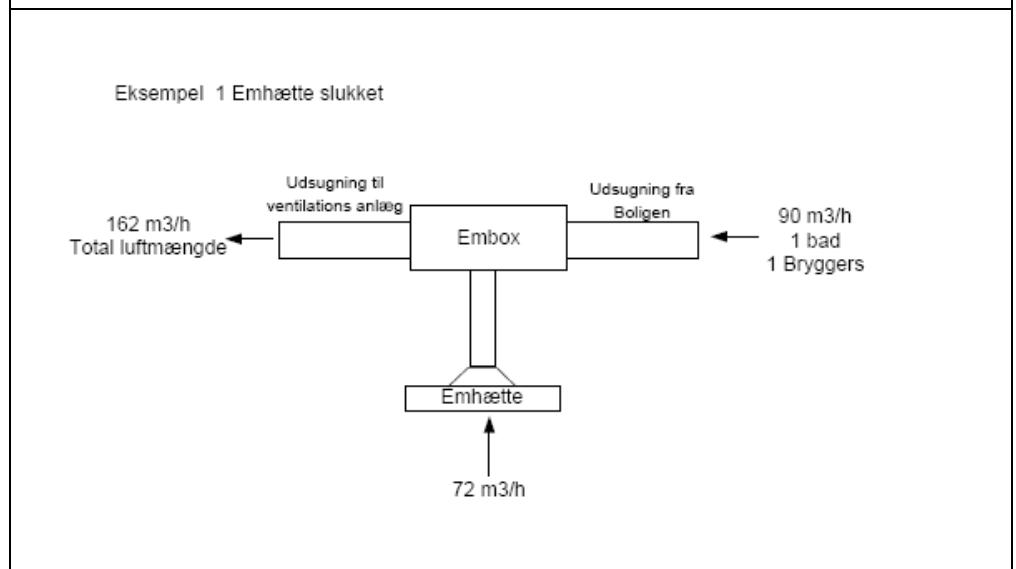
Figur 56: Ventilationsanlæggets placering i badeværelset samt rørføring under loft.



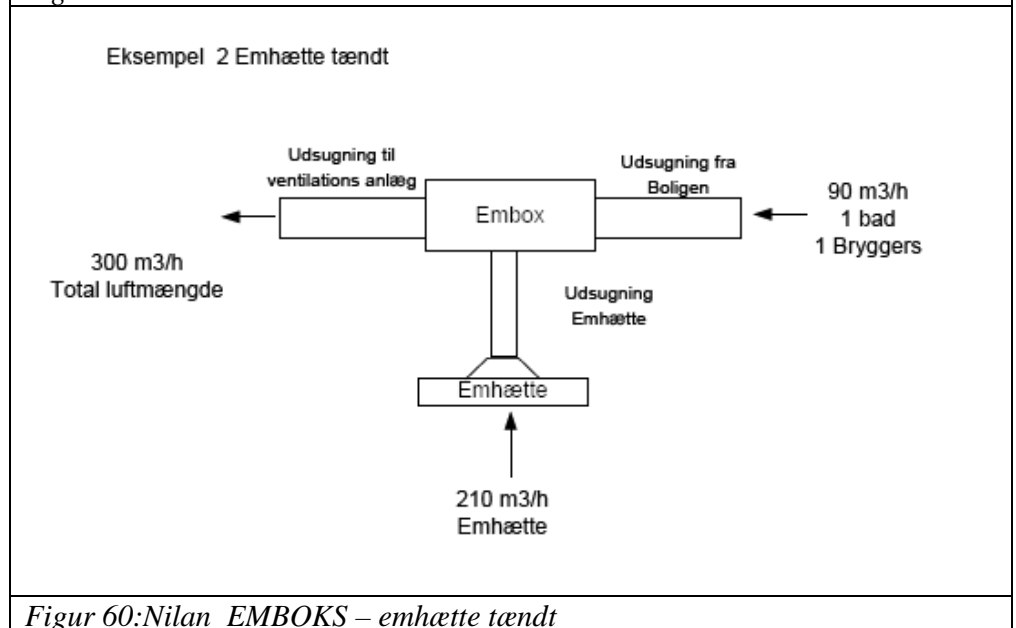
Figur 57: Rørføring til emhætte i køkken via stue.



Figur 58:Nilan EMBOKS



Figur 59:Nilan EMBOKS – emhætte slukket



Figur 60:Nilan EMBOKS – emhætte tændt

Tabel 3: Målte ventilationsmængder i i prøvelejligheden (m³/h)

Trin	Køkken/emfang	Bad/WC	Ialt
1	51	40	90
2	75	51	126
3	105	75	180

4.4.2 Økonomi i ventilationsanlæg i prøvelejlighed

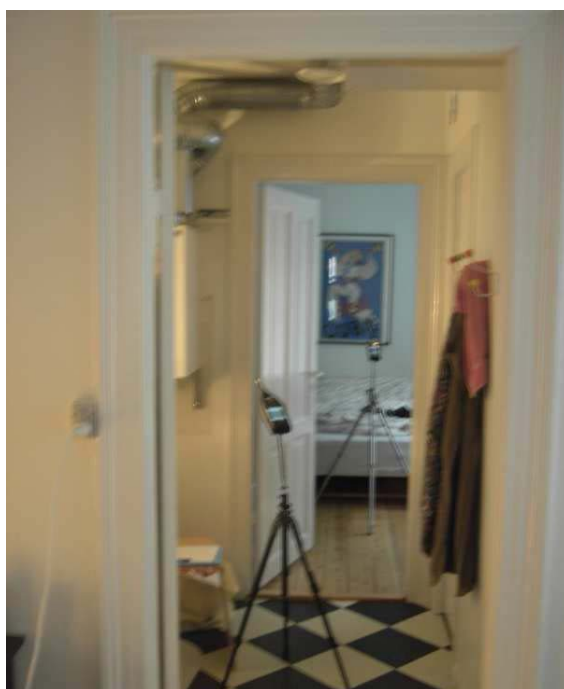
I forbindelse med den planlagte renovering er der indhentet tilbud på komplet monterede decentrale ventilationsanlæg med emhætte (emfang) af typen Nilan Comfort 250 (inklusive EMBOX). For 13 lejligheder bliver udgiften pr. lejlighed 44.500 kr.

Tiltag i byfornyelse	Pris excl. moms
Smock tilbud 13. lejligheder	579.500 kr.
Pr. lejlighed	44.500 kr.

4.4.3 Resultater

4.4.3.1 Støj

Ventilationsanlægget blev idriftsat medio februar. Efter kort tid blev det klart at støj fra ventilationsanlægget lå på et generende niveau for lejlighedens beboere på trods af stærk reduceret drift (Trin 1: 90 m³/h). En støjmåling viste, at støjkilden primært er relateret til selve unitten, hvor især pladesvingninger i kabinettet bidrager til støjen. Støjen fra ventiler blev vurderet som meget begrænset. Figur 61 viser opstilling med mikrofoner fra støjmålingen. Figur 62 viser støjmålinger ved trin 1, 2 og 3. Som det ses, ligger målt støjniveau på trin 1 på 38 dB i badeværelse – ved forceret emhættedrift på 53 dB. Da badeværelset udgør gang ind til soveværelset, står døre typisk åbne hvilket får støjen til at forplante sig ud i lejligheden. Den typiske designregel om en støj på max 30 dB og allerhelst 25 dB (helt lydløs) er langt overskredet. Støjen fra selve anlægget kan naturligvis reduceres markant ved at indbygge unitten i et særligt støjskab men dette er bekosteligt og optager plads.



Figur 61: Støjmåling i badeværelse og soveværelse – ventilationsunit ses til venstre

Tabel 4.1 Bredbåndsværdier

	Efterklangstid, 500 Hz	Baggrund	Trin 1	Trin 2	Trin 3	Trin 4
	[s]	dB(A)	L _{Aeq} , 1min dB			
Badeværelse	0,3	22	38	45	53	61
Soveværelse	0,5	20	25	29	37	45
Dæmpning	/	/	13	16	16	16

Figur 62: Resultater af støjmåling – skal tillægges 3 dB før de sammenlignes med grænseværdierne i BR 10

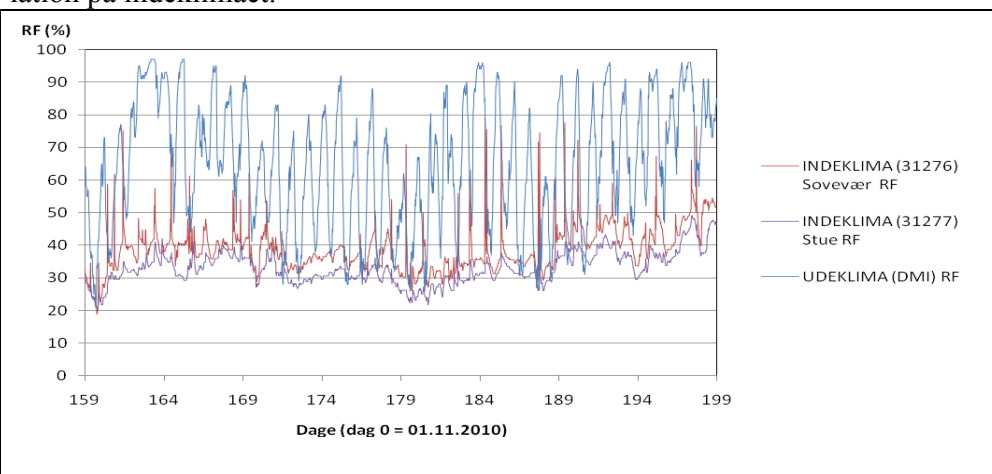
4.4.3.2 Emhættedrift

Beboerne i lejligheden har været meget tilfredse med funktionen af emhætten. Tidligere havde lejligheden ingen emhætte i køkkenet; den nye emhætte udgør en stor komfortforbedring.

4.4.3.3 Målinger

Der er foretaget indeklimatemålinger af relativ fugtighed, temperatur og CO₂ i prøvelejligheden. For at undersøge betydningen af den mekaniske ventilation, blev anlægget slukket d. 29/4-2011 og 20 dage frem (dag 179 på figur 63 svarer til 29/4-2011). Efter stop af anlægget opstår en tendens til stigning i relativ fugtighed RF indendørs; samtidig er der dog en mindre stigning i RF i udeluften, hvilket betyder at man ikke umiddelbart kan konkludere på effekten af ventilationsanlægget.

Indeklimatemålingerne er påvirket af at prøvelejligheden kun er beboet af 1-2 personer og at de ofte har åbne vinduer. Dette betyder henholdsvis lav fugtproduktion samt stor infiltration med frisk luft. Samlet set betyder dette at det i prøvelejligheden er svært at dokumentere en klar effekt af den mekaniske ventilation på indeklimaet.



Figur 63: Indeklimamålinger – relativ fugtighed i prøvelejlighed

4.4.4 Konklusion

Støj fra det decentrale anlæg har vist sig at være en afgørende hindring for at få et optimalt indeklima. Det pågældende anlæg kan med sin nuværende udformning umiddelbart kun benyttes i lejligheder såfremt der foretages en markant støjdempering af egenstøj fra unitten f.eks. via indbygning i støjskabe. Det anbefales derfor at søge efter meget støjsvage decentrale anlæg til lejlighederne i opgang C. Et bud herpå kunne være model ”topo” fra Drexel & Weiss, som har en egenstøj fra kabinet på 33 dB ved 120 m³/h.

Et andet central punkt er kanalføring og placering og indbygning af ventiler. For ikke at skæmme indretning og arkitektur, kræves både særlige komponenter (fx specialtilpassede kanaler) samt installation af høj håndværksmæssig ydelse.

En tæt dialog mellem arkitekt/ingeniør og entreprenør er helt afgørende for opnåelse af acceptable resultater.