EUDP-støttet projekt

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

Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1tv.

Delrapport

Juni 2011

COWI

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

elleh auge & kildemoes

rønby.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**	**10**
4.1	Indvendig isolering	12
4.2	Vinduer	37
4.3	Ventilation	50

1 Indledning

Formålet med EUDP-projektet "Udvikling og 1:1-demonstration af koncepter til renovering af ældre etageboliger til lavenergiklasse 1" er at udvikle løsninger til renovering 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, rönby.dk
2. Henrik Tommerup, DTU BYG
3. Troels Kildemoes, Ellehauge og Kildemoes
4. Svend Erik Mikkelsen, COWI
5. Maja Grud Christensen, COWI

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 demonstrationsejendommen.

- 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 tre-værelses lejlighed med to stuer en suite, et soveværelse samt køkken,

2.2 Vinduer

For at vurdere kvalitet, funktionalitet og effekt af forskellige vinduesløsninger er udført og evalueret følgende løsninger:

1. Renoverede vinduer med 1 lag glas + nye indadgående forsatsrammer med 1+1 lag glas
   Beregnet U-værdi 1,08 W/m ²
   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/m ²
   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 udargående)
   Beregnet U-værdi 1,76 W/m ²
   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/m ²
   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 termografierne være svært at se nogen større energimæssig effekt af løsning 3 med "optoglas". Da det tilmed er den dyreste løs-

ning, 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 forsatsvinduerne (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 bevares[1], må 1+2 løsningen med 2 lag glas i forsatsvinduerne 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 brugeradfærd[2] 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-transmittens[3], 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 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

---

[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 at tabellen på side 44 kan energitilskuddet være det samme for et vindue med højere U-værdi og transmittens, som for et vindue med lavere U-værdi og transmittens

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 CO_2-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 anlægger

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

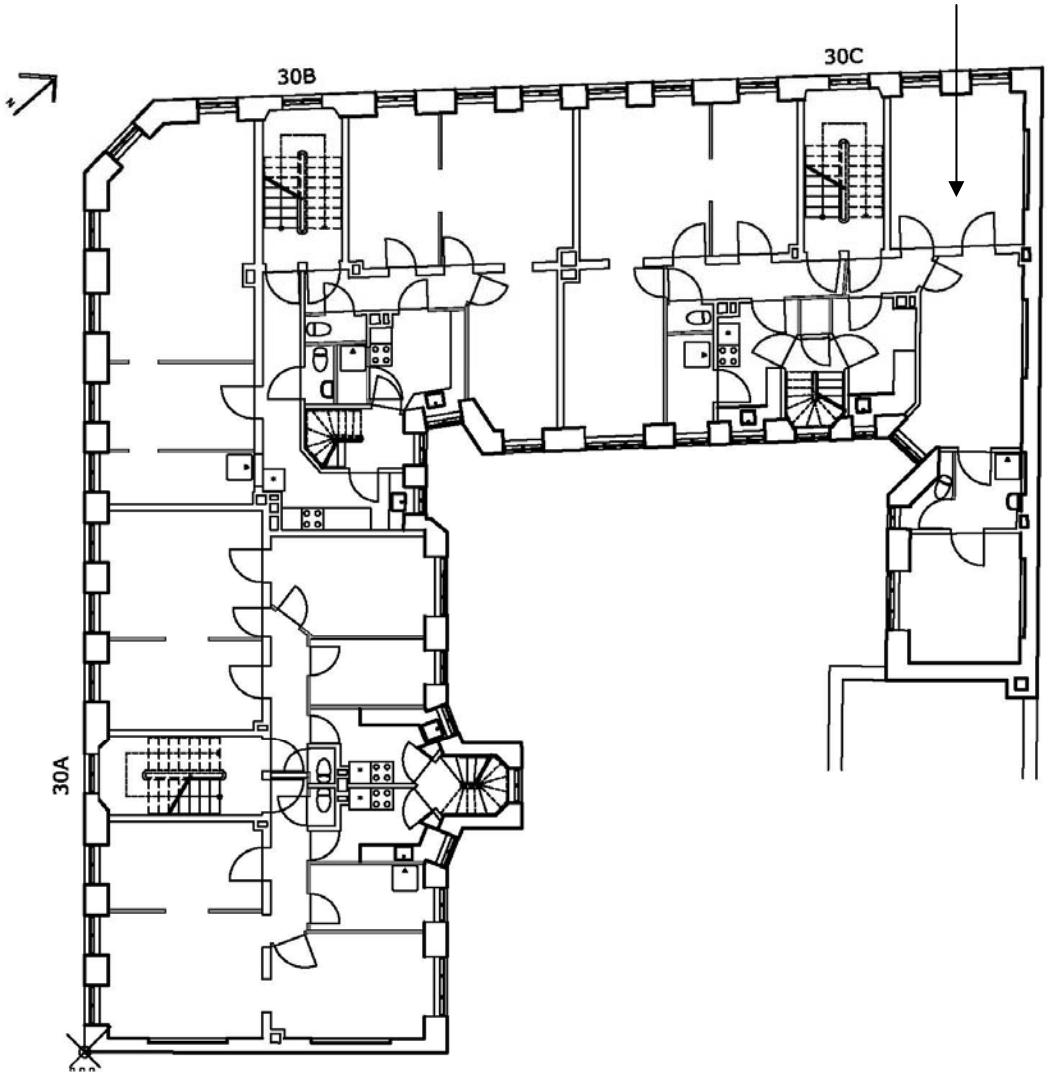
- At der før etablering af anlæggene findes løsninger til ”diskret” udformning og føring af synlige kanaler[4]

[4] Ved renoveringen af Ryesgade 30 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 er opsat i prøvelejligheden. Der vil desuden blive anvendt – og om nødvendigt udviklet – kanaler som er egnede til at blive ført synligt i beboelsesrummene

3 Beskrivelse af prøvelejligheden

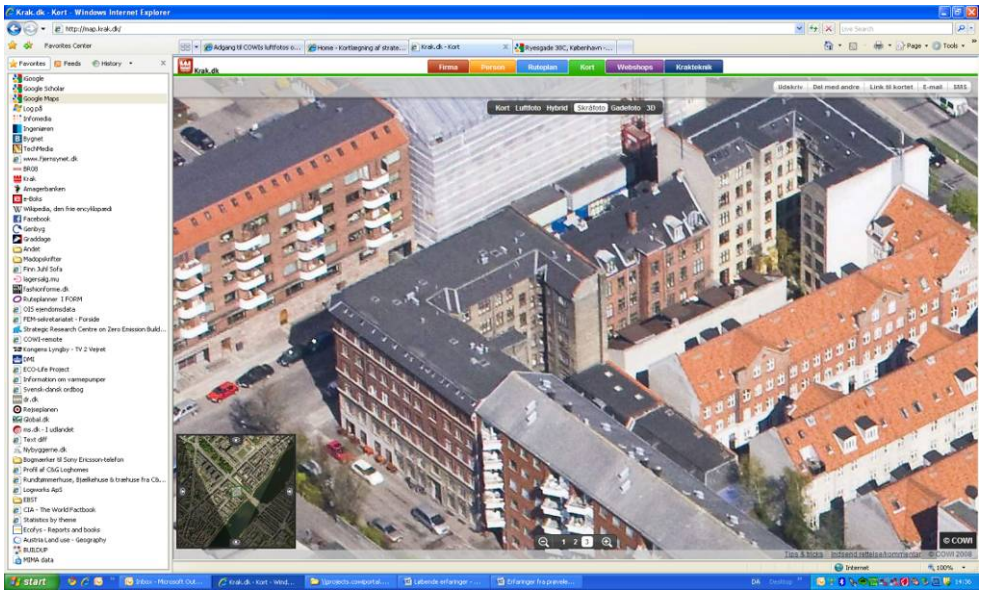
3.1 Plan

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 Ryesgade 30.

Prøvelejlighedens sydøstvendte gavlvæg, 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: Skråfoto af ejendommen på Ryesgade 30 samt baghuse i karréen.

3.2 Bygningsdele

3.2.1 Vægge

Brandgavlen består af 2½ sten i stueetagen og 1½ sten i de øvrige etager. Facader mod gade og gård har murpiller af varierende tykkelse, fra 3 sten i stueetage til 1½ sten i øverste etage. Vinduesbrystningerne er 1 sten,

I prøvelejligheden på 1. sal er facadernes murpiller 2½ sten og brandgavlen 1½ sten. Alle vægge i prøvelejligheden er beklædt med såkaldt savsmuldstapet og har høje fodpaneler.

3.2.2 Vinduer

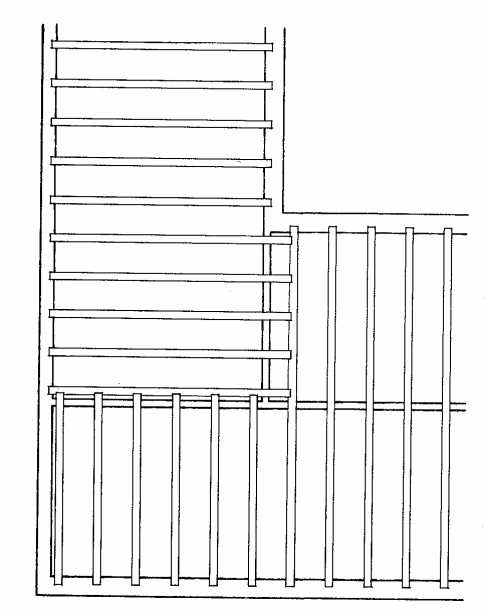
Vinduerne i lejligheden er alle med et enkelt lag glas i træramme. U-værdien for denne type vinduer ligger typisk omkring 4-5 W/m²K. Der er to 2-fagsvinduer i stuen mod gade, ét 2-fagsvindue i hjørneværelse mod gård og ét 3-fags vindue i værelset yderst i sidehuset. Desuden er der 1-fags vinduer i køkken 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). Luftskiftet 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:

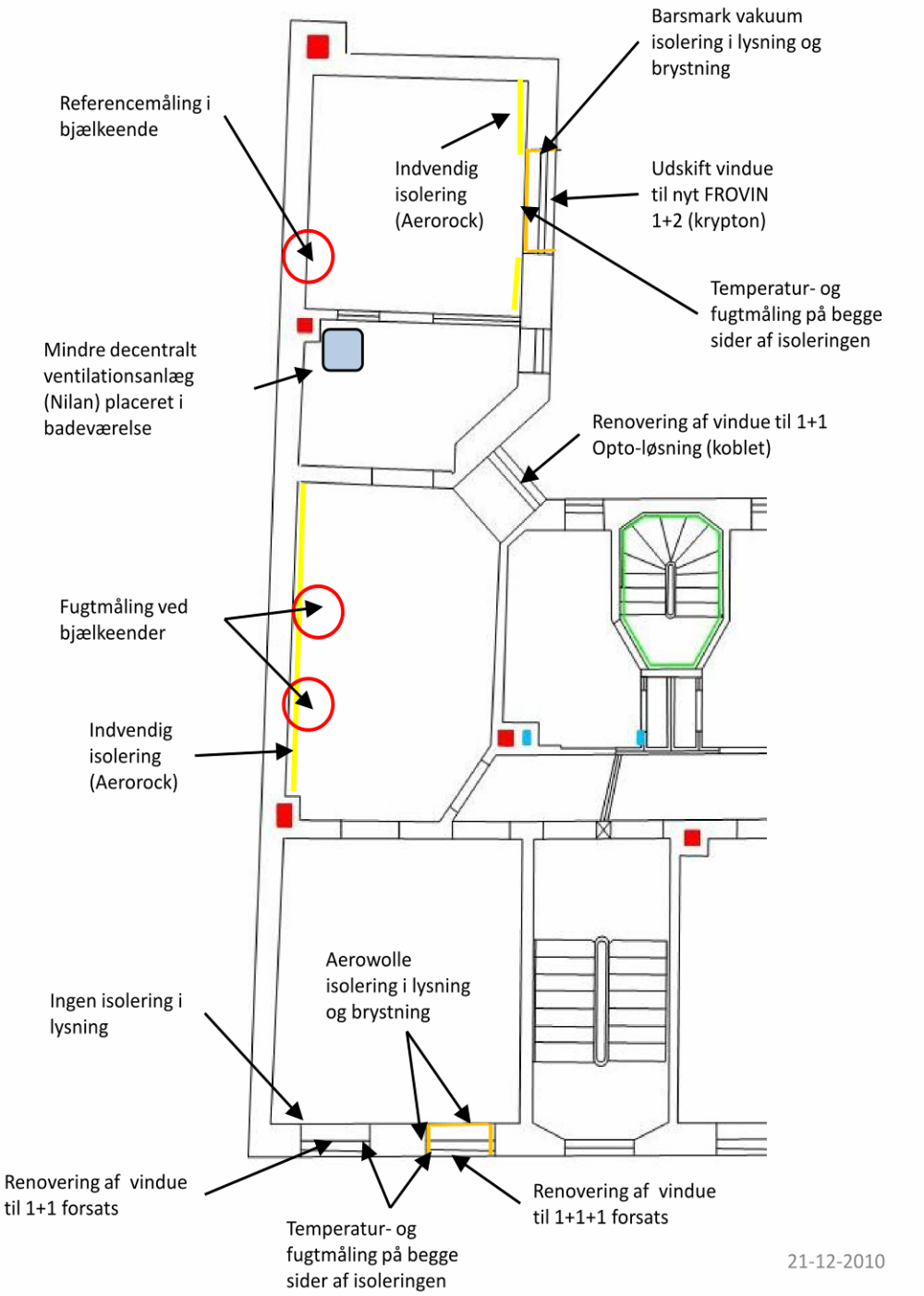
    1. Aerowolle
        i. i lysninger
        ii. på vægge
    2. Vakuumisolering i lysninger

    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 Ryesgade 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 indeklima. 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.

BMT

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

Prøve					Prøvested		Målelig forekomst af svampebiomasse		
Nr.	Før	Efter	Værdi målt	Prøve tagers sign.	Rum Nr.	Bygningsdel	Ingen/Ringe	Moderat	Massiv
	Rens						<25	26-450	>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 varmeledningsevnen 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 spareniche, 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 spareniche 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 1½ 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 2½ 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) 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 brystningsnicherne 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 fuldspartling 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.

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 gulvbrædder	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 m^2-pris på 1.800 kr..
I anden sammenhæng er prisen for færdigudviklet og markedsført, industrielt fremstillet produkt vurderet at blive ca. 400 kr. pr. m^2 – 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 201, 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 at 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 viderebehandling 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.

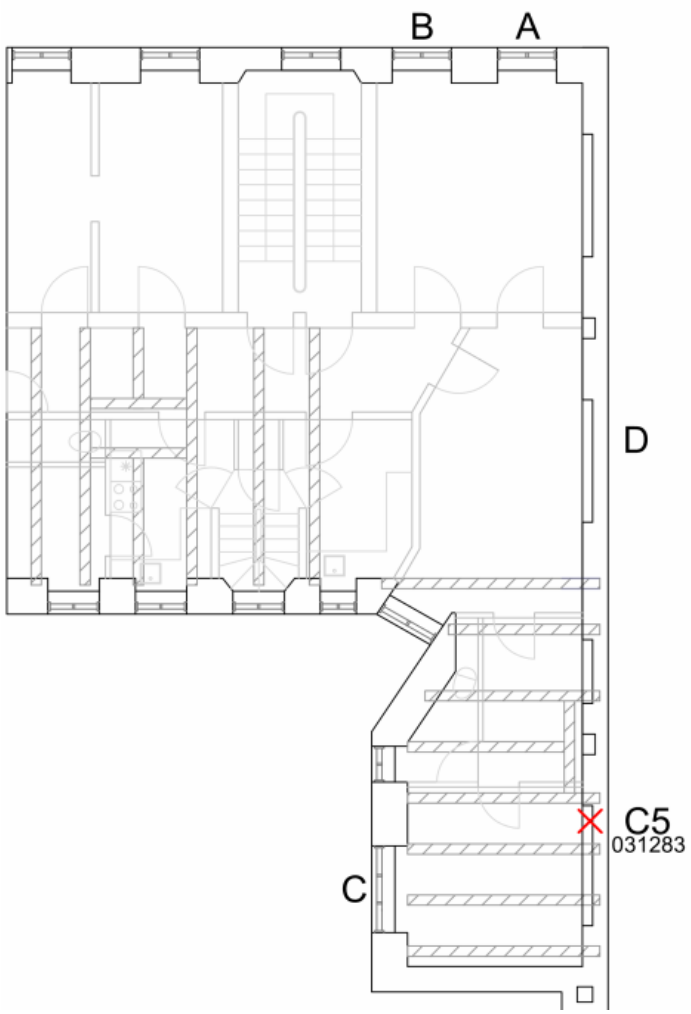
Dataopsamler: Opsamler data fra transmitterne. Der modtages et signal hvert 4. minut fra hver transmitter, mens én værdi for hver transmitter hver ½ time bliver logget og gemt. Der kan tilsluttes op til 60 målinger, men kun 32 kan logges. Da hver sensor ofte måler to værdier (temperatur og fugt) svarer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

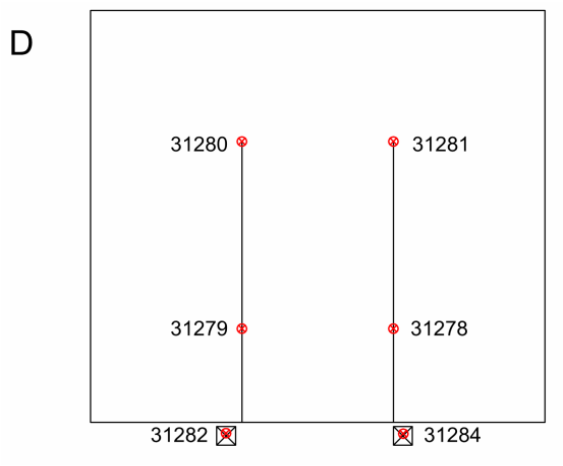
Detaljeret beskrivelse af målesystemet findes på www.bmtinstruments.dk

Tabel 1: Måleprogram med oversigt over målepunkter.

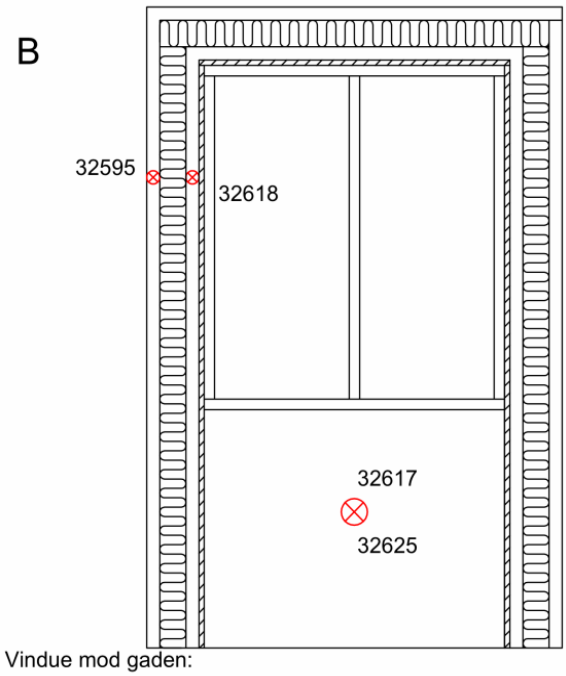
#	Beskrivelse af målepunkt	Hvad måles	Antal målinger	Bemærkninger
A	Midt på sidefals i rum mod gade (vindueslysninger som ikke isoleres)	Temp.	2	Placeres på mur bag paneler
B	Midt på sidefals og på brystning i rum mod gade (vindueslysninger som isoleres med aerorock)	Temp	4	Placeres umiddelbart bag paneler 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	



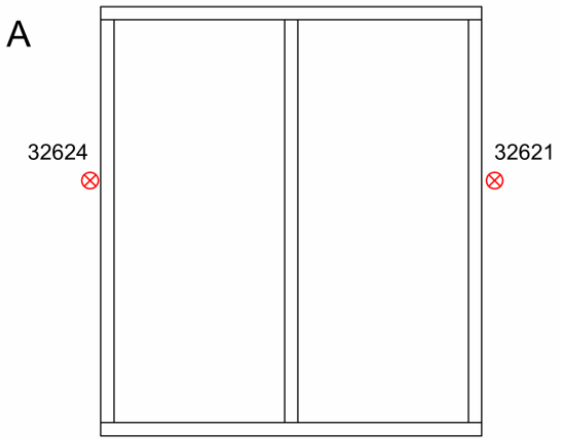
Figur 16. Overordnet placering af målepunkter i lejligheden.



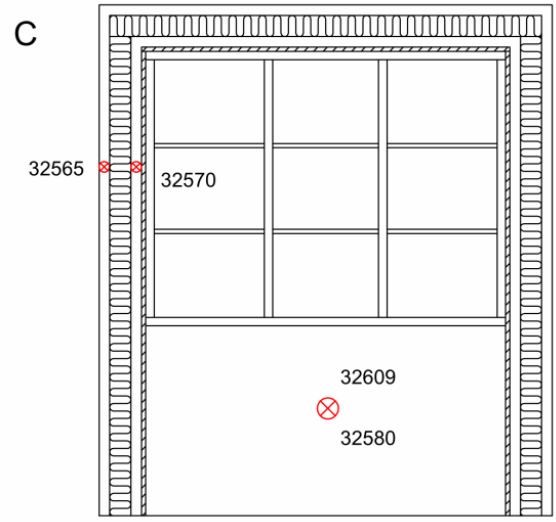
Figur 17: Målepunkter på den overflade af eksisterende mur før efterisolering (øverste). Billedet nederste viser det eksisterende murværk udefra, hvor det ses at murværket er i dårlig stand. Der er også målt i de to gulvbjælker umiddelbart under vægmålepunkterne (boret ind i bjælkeenderne).



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



Referencemålinger, vindue mod gaden.

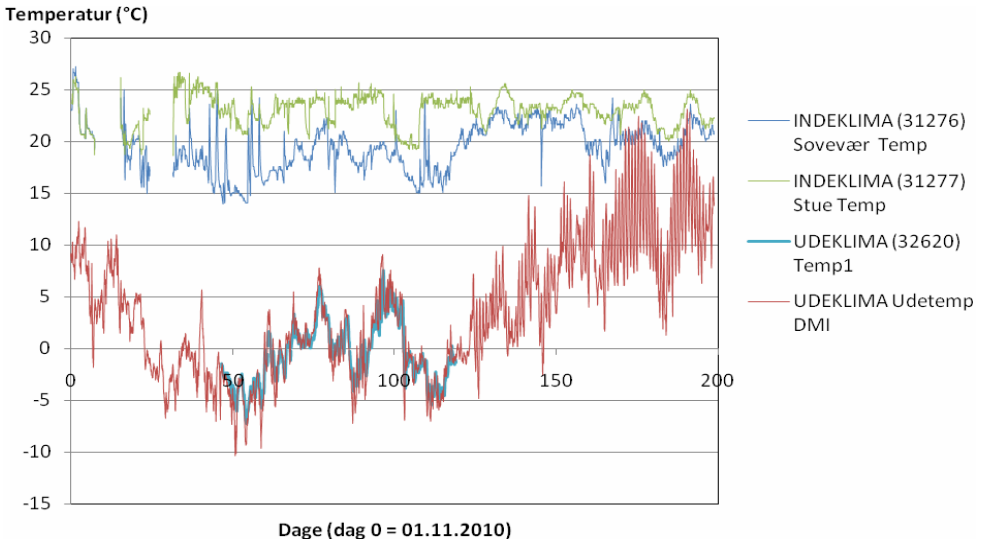


Sidefals + brystning i rum mod gård:
32570 og 32580 placeret bag lysningspanel
32565 og 32609 placeret bag isolering.

Figur 18: Målepunkter i vinduesfals og brystninger.

4.1.3.2 Inde- og udeklima

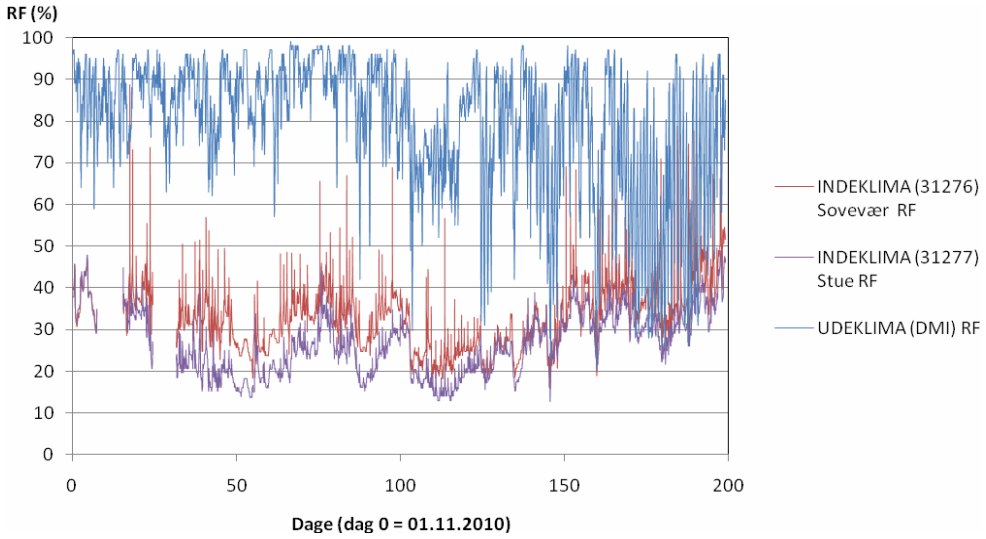
Der er målt indetemperatur i hhv. soveværelse og i stue via målere placeret over døråbninger. Resultaterne fremgår af Figur 19, som viser at temperaturen i soveværelset i vinterperioden har ligget på ca. 15-20°C, mens den i stuen har været 20-25°C. Udetemperaturen har svinget mellem ca. -10°C til 10°C. 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.

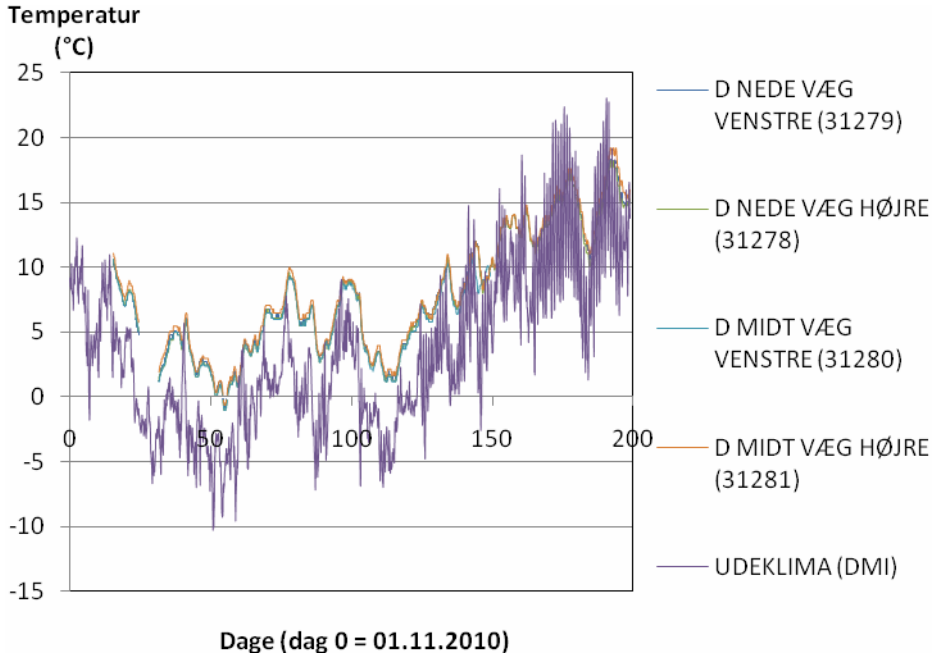
Den målte temperatur bag isoleringen kan sammenlignes med den beregnede, som kan bestemmes ved simpel forholdsregning ud fra lagenes isolans.

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

$R_{total} = 2{,}75\ m^2K/W$
$R_{i\text{-}x} = 2{,}27\ m^2K/W$
$T_x = 23{,}4 - (23{,}4 - 0{,}4) \cdot (2{,}27/2{,}75) = 4{,}4°C$

Den beregnede temperatur bag isoleringen er kun lidt lavere end den målte (5,7°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 W/mK. Men der er også usikkerheder på temperaturmålingerne mm, så det kan konkluderes at isoleringen yder som forventet.

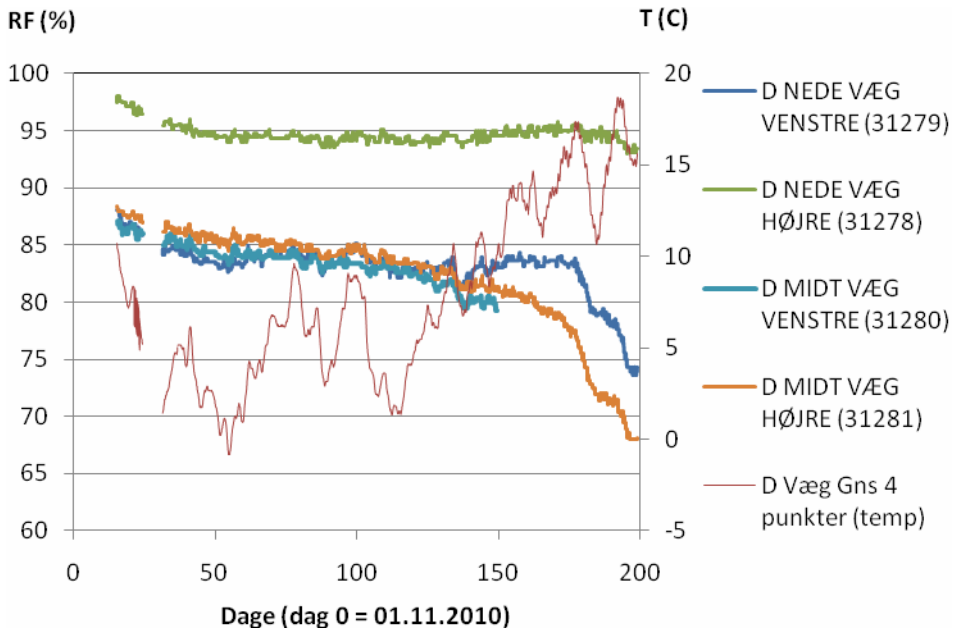


Figur 21. Temperaturen på den oprindelige mur med indvendig isolering.

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 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 skimmevækst 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.

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

[6] SBi-AAU (2009). SBi anvisning 224: *Fugt I bygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

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 skimmevækst 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.

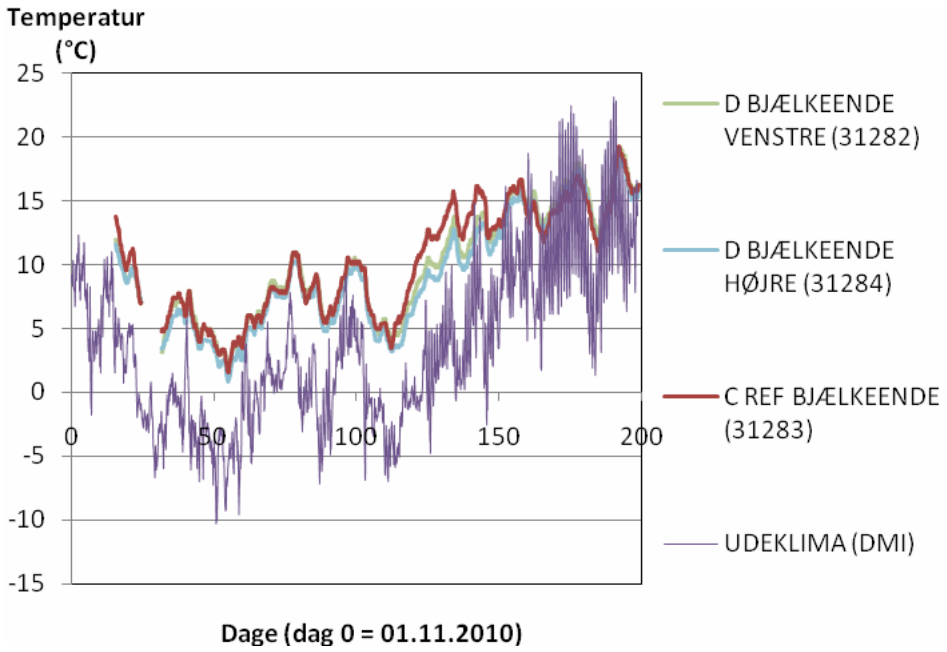
Den indvendige isolering i prøvelejligheden vil blive taget ned, når renoveringen går i gang i efteråret 2011, og man vil så kunne konstatere, om der er spor af eller tilløb til skimmelsvamp.

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.

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. viser temperaturen i bjælkeenderne samt udetemperatur. Temperaturen i bjælkeenderne svinger naturligvis med udetemperaturen og der er lidt varmere end udeklimaet. Målingerne viser, at der ikke er nogen nævneværdig temperaturforskel 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 indetemperaturen i soveværelset tilnærmelsesvis var den samme som i stuen og kuldebroen større pga. ingen indvendig isolering, hvilket medfører større varmestrøm og dermed højere temperatur.

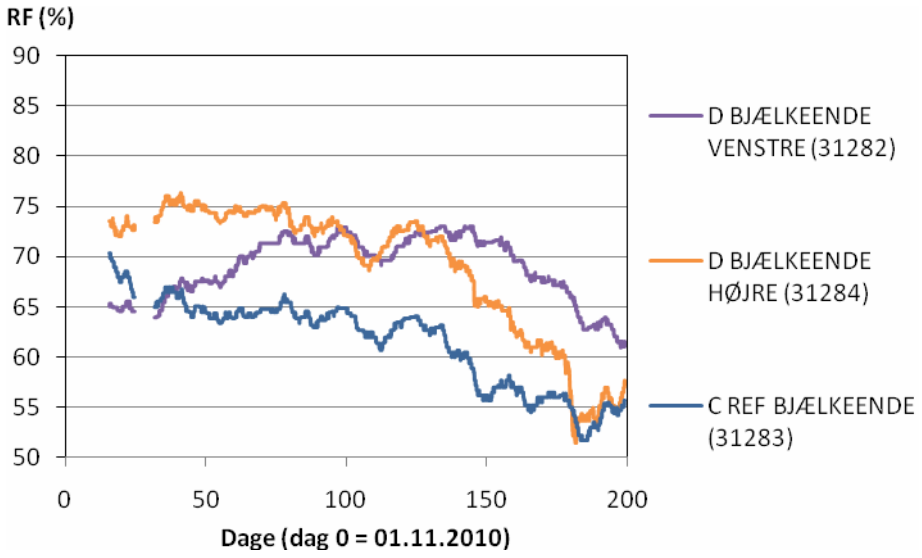
Figur 23. Temperatur i bjælkeender med og uden indvendig isolering samt udeklimaet



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 bør ske på den sikre side ud fra at træfugtigheden skal være under 15% (RF<73%).

Målingerne viser at fugtigheden i bjælkeenden, hvor der ikke isoleres, er et god stykke fra det kritiske niveau. For bjælkeenderne hvor der er udført indvendig efterisolering over og under bjælkerne er fugtniveauet generelt fornuftigt, selv om den ene bjælke dog i en kort perioden 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 facader og gavle. Målepunkerne 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, hvorfor resultaterne kan være på den sikre side. Samtidig kan det vurderes, at det ikke tyder på fugtproblemer i bjælkeenderne pga. indeklimaet.

SBi har foretaget en simplificeret vurdering af hvilket ude- og indeklima der vil medføre et kritisk fugtindhold i bjælkeende (Rasmussen, 2011)[7]. Udgangspunktet er en forudsætning om at temperaturer over 5°C og 75% RF vil give anledning til vækst af skimmesvamp. På den baggrund og typiske fugtindhold i udeluften, konkluderes at udeklimaet ikke er kritisk og at indeklimaet ikke vil forårsage kritiske fugtindhold i bjælkeenderne, 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 kritiske fugtindhold. Det er vigtigt med robuste løsninger der tager hensyn til den meget forskellige beboeradfærd.[8]

---

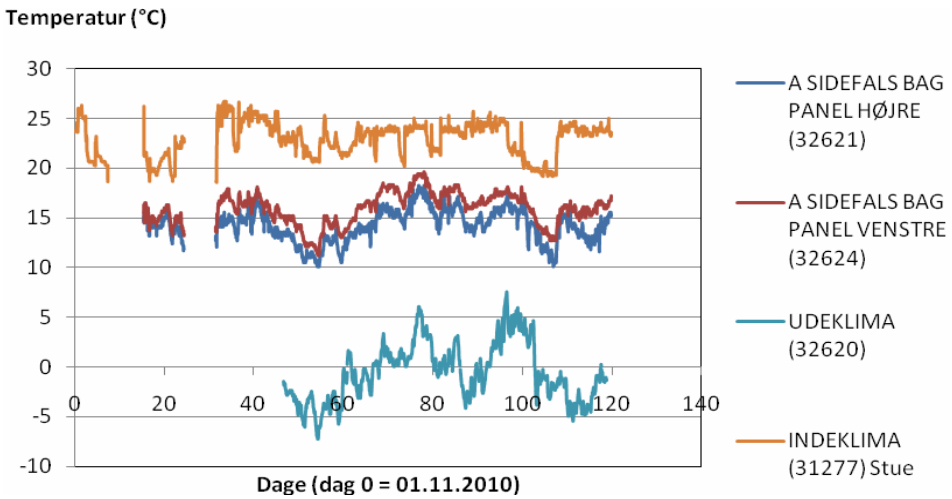
[7] Rasmussen, T.V (2010). *Post-Insulation of Existing Buildings Constructed between 1850 and 1920*. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI,ASHRAE, December 5-9, 2010.

[8] "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/

4.1.3.5 Vinduesfalse og -brystninger

Der er foretaget temperaturmålinger i vinduesfalse og -brystninger med forskellige isoleringsmaterialer og en referencemåling på vindue uden isolering. Der er målt umiddelbart bag panelerne 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.

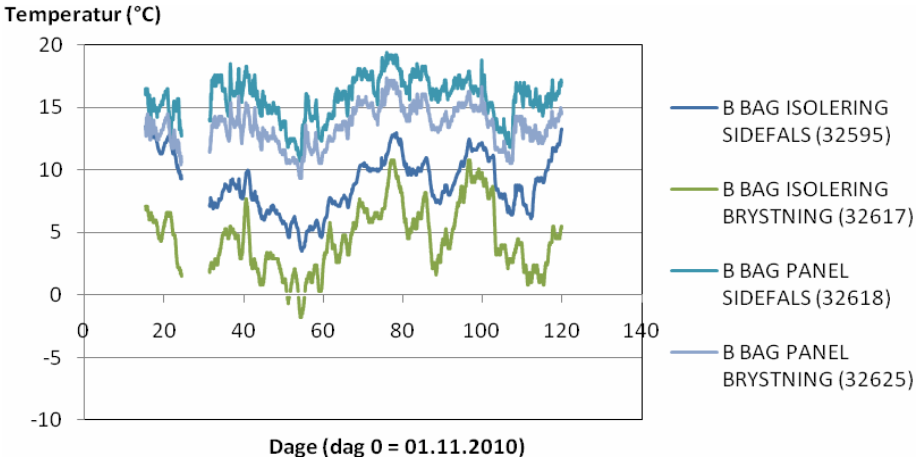


Figur 26. Referencevindue 1+1 mod gade: Temperatur bag lysningspaneler uden isolering.

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.

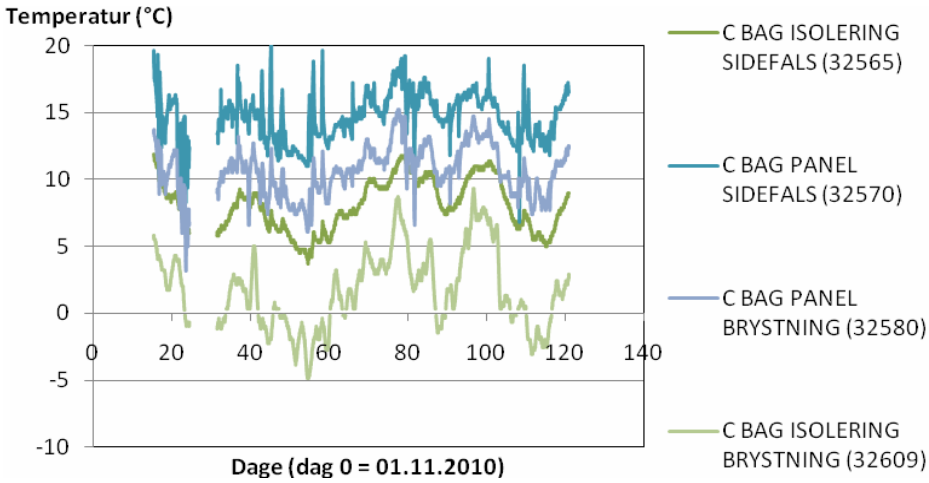
Der er målt omtrent samme temperatur bag lysningspanelet i venstre sidefals for de to vinduer mod gaden; 16,9°C for vindue med isoleret lysning (B) og 17,1°C for vindue med uisoleret lysning (A), hvor man umiddelbart skulle forvente en højere temperatur for den isolerede lysning. Med isolering i lysningen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

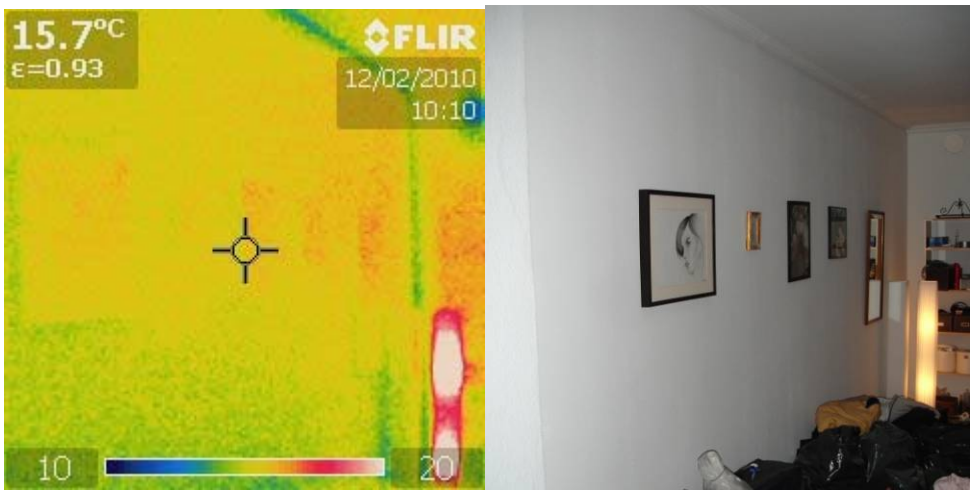
I denne vinduesniche er der i modsætning til vinduesniche B også isoleret indvendig på muren der grænser op til vinduet. Temperaturfaldet over isoleringen er i gennemsnit for januar måned 2011 på 6,4°C for sidefals og 8,6°C for brystning ved en samlet temperaturforskel mellem ude og inde på ca. 18°C 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 luftspalter 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.

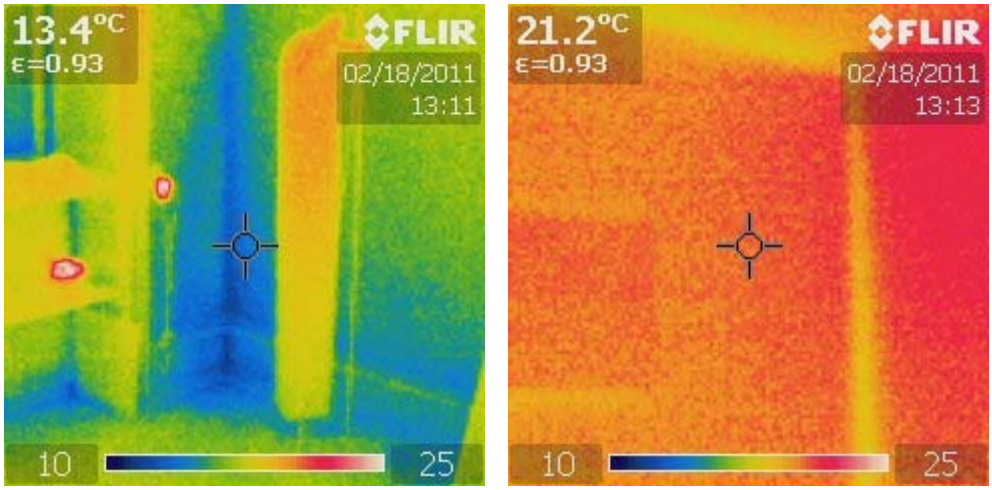
4.1.3.6 Termografier

Aerorock - isolering af indv. vægge

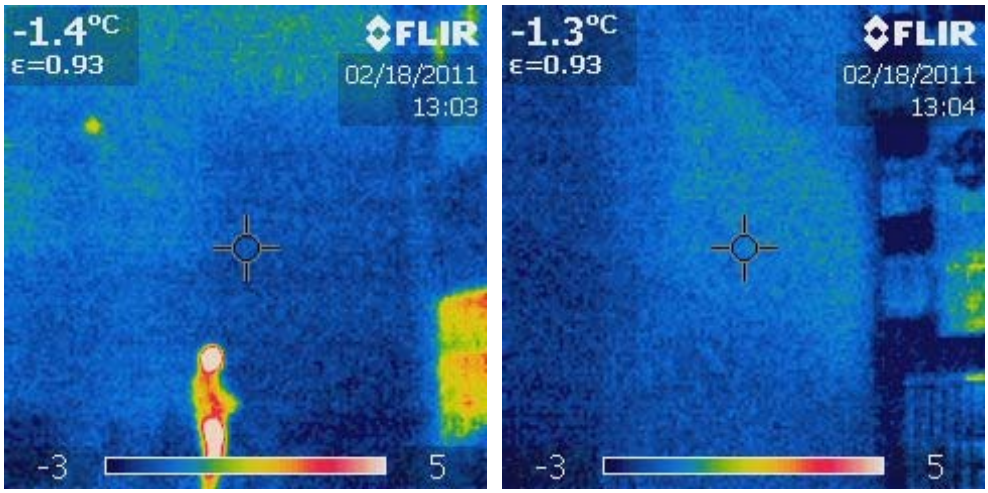


Figur 29: Isoleret væg i midterste værelse i prøvelejligheden.

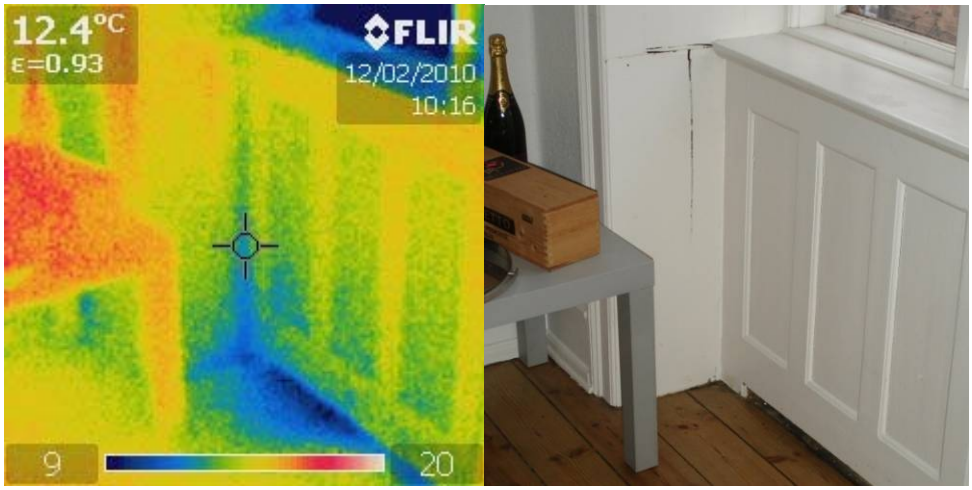
Figur 30: Uisoleret væg i midterste værelse i den tilsvarende lejlighed på 2. sal.



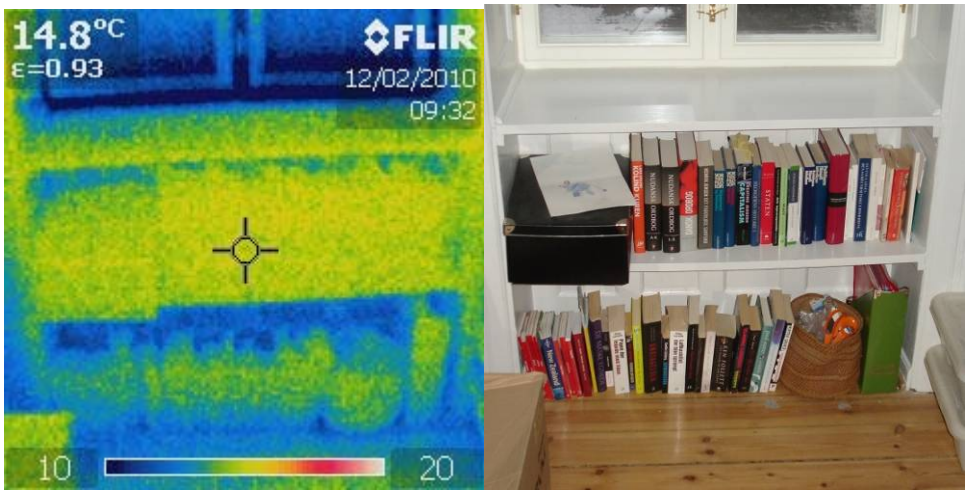
Figur 31. *Inderside af 1½ stens brandgavl – tv. uden og th. med indvendig isolering*



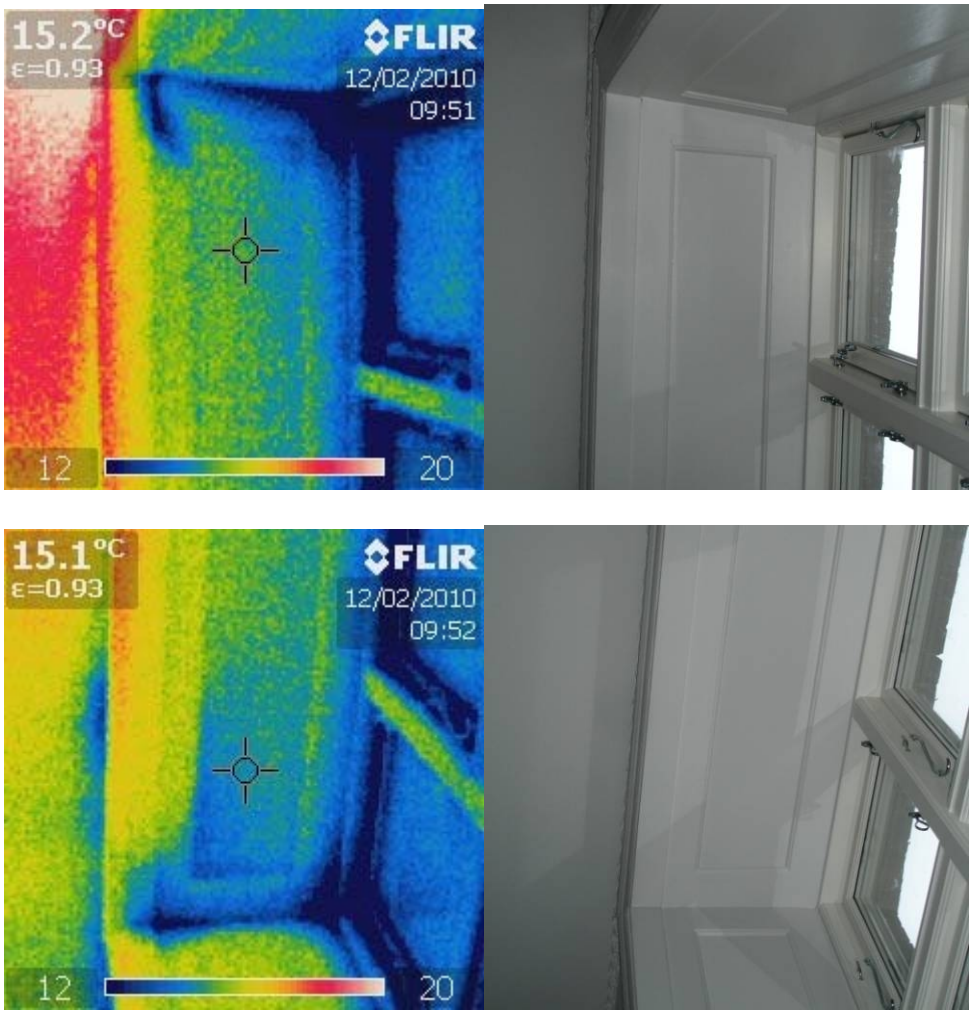
Figur 32. Gavl udvendigt. Billede tv.: person stående ved grænse for isolering (*tv. uden og th. med indvendig isolering). Billede th.: Øvrig del af gavl, hvor den isolerede del ses tv. i billedet.*



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

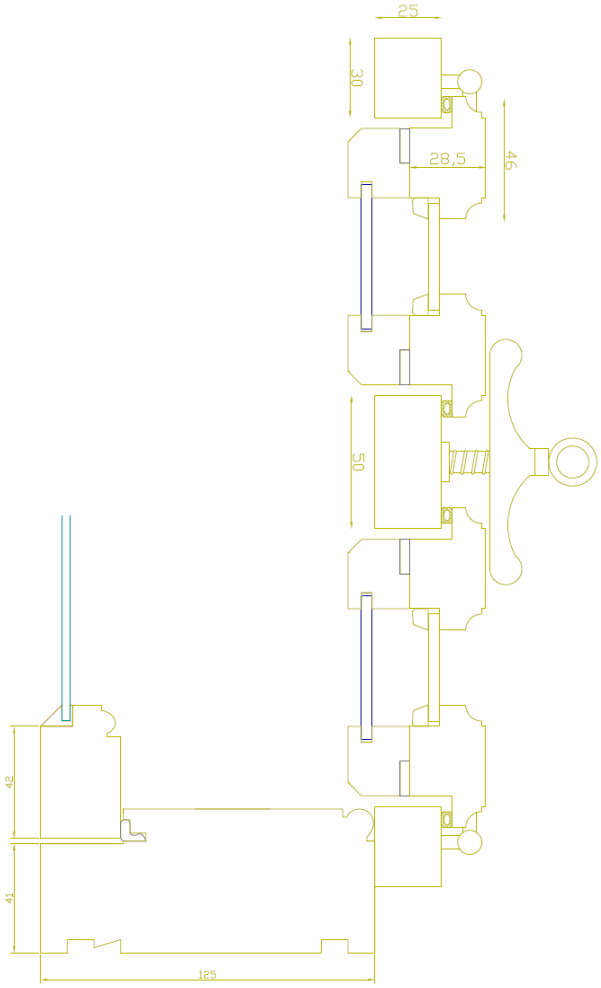
Der er udført fire forskellige løsninger på vinduerne i lejligheden. Tre 2-fagsvinduerne er blevet renoveret, mens et 3-fagsvindue er blevet udskiftet med et nyt..

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.

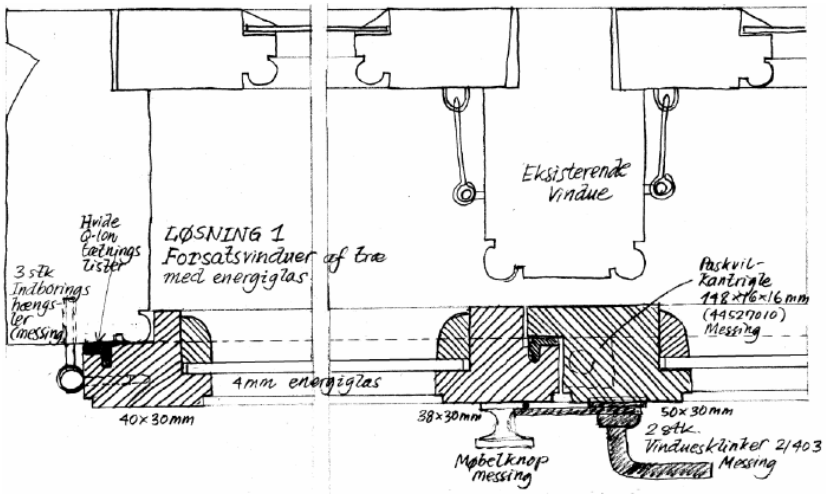
De i forvejen fine energimæssige egenskaber kan yderligere forbedres ved montering af et isolerende / reflekterende natgardin i hulrummet mellem oprindelig ramme og forsatsramme, der har et stort energisparepotentiale, da 75% af fyringssæsonens graddøgn er mørke



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: Principskitse af 1+1 forsatsløsning.

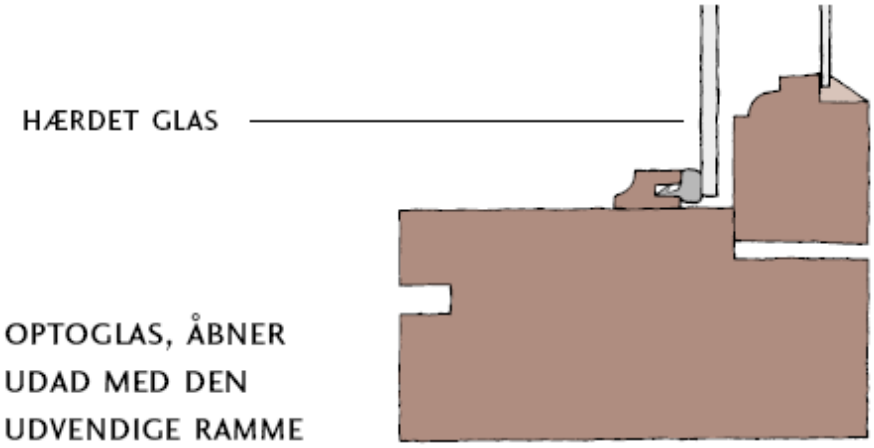
Figur 38. Energirenoveret 2-fags dannebrogsvindue med 1+1 forsatsløsning - set indefra og udefra.

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.

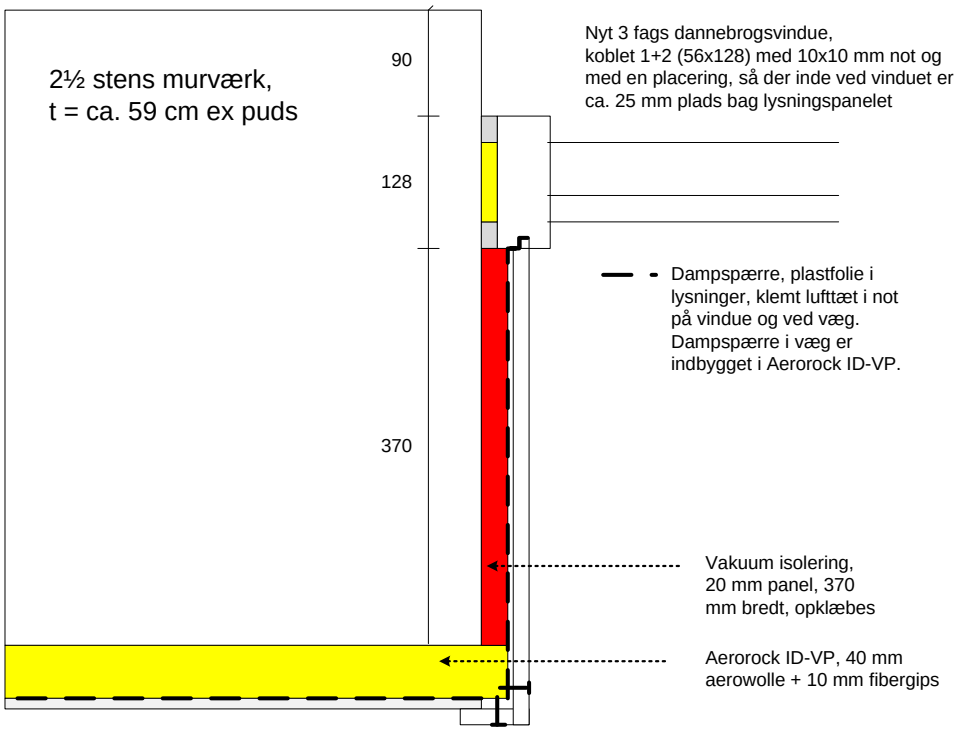
Figur 41:Renoveringsløsningen med Optoglas.

Vindue 4 mod gården

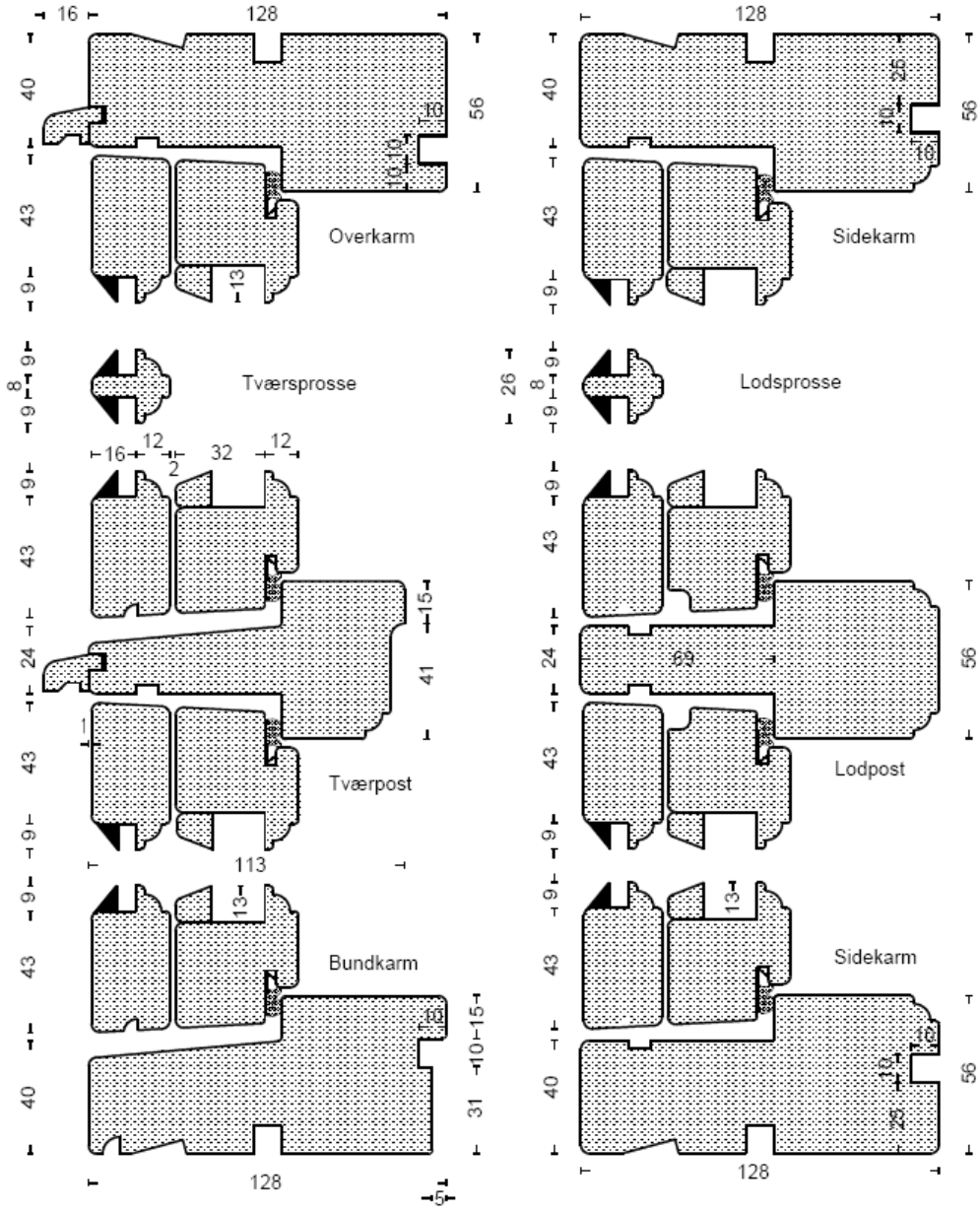
Det nye 3-fags vindue er fra Frovin Vinduer og Døre A/S og er udført med 1+2 koblede ruder med to energiglas (inderste og yderste glas) og energirude med ”varm” rudekant og krypton fyldning.

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.



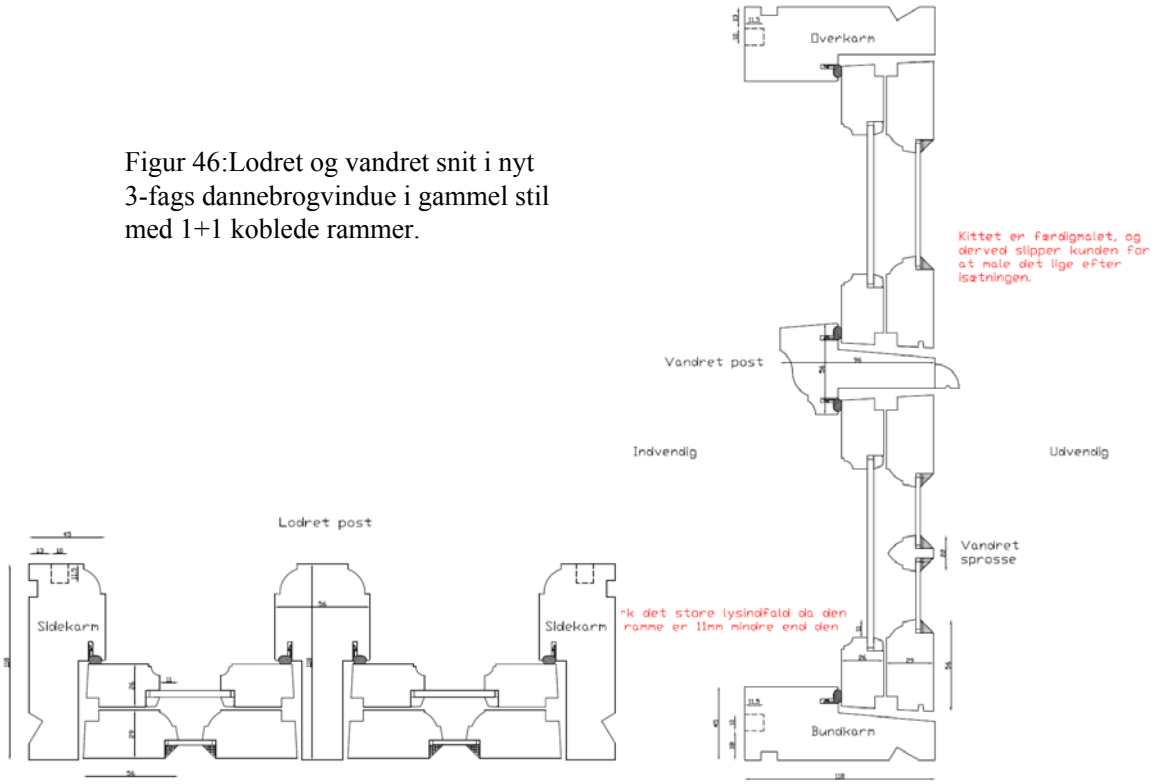
Figur 44. Snit i 3-fags dannebrogsvindue med 1+2 koblede ruder, 2-lags energirude i de koblede rammer

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 dannebrogvindue 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 forseglet 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 fremfor #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 transmittansfaktor for hele vinduet.

#	Vinduesløsning	U_w	g_w	E_{ref}	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

Kilder:

1 DTU-beregninger

2 Beregninger leveret af producenterne

4.2.1 Økonomi

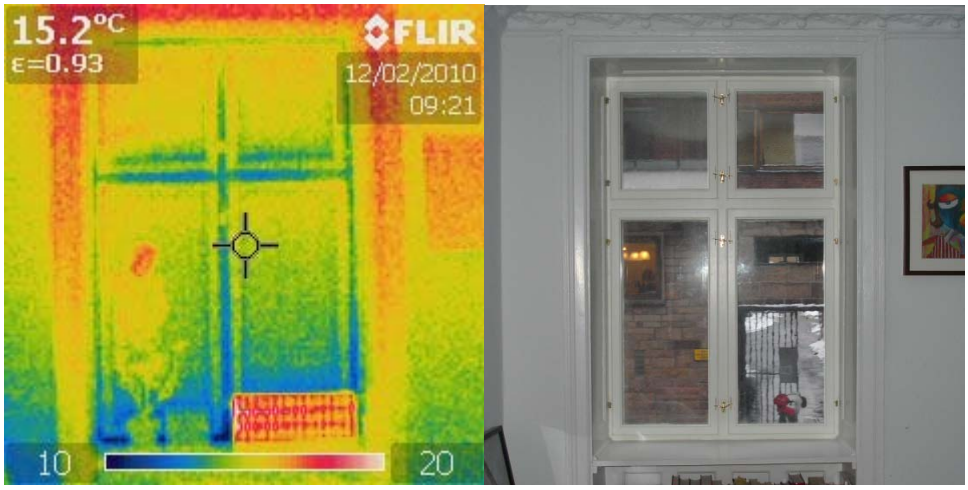
Tiltag i prøvelejlighed	Pris excl. moms	Pris i alt 2-fags vindue	Pris i alt 3-fags vindue
Løsning #1 Istandsættelse og maling (excl. indv. maling) Forsatsrammer med to lag glas	 3.500 8.720	 12.220	
Løsning #2 Istandsættelse og maling (excl. indv. maling) Forsatsrammer med et lag glas	 3.500 8.250	 11.750	
Løsning #3 Istandsættelse og maling: (excl. indv. 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. indv. maling) Forsatsrammer med to lag glas	 4.800 4.100	 8.900	 12.400
Løsning #2 Istandsættelse og maling (excl. indv. maling) Forsatsrammer med et lag glas	 4.800 3.100	 7.900	 11.240
Løsning #3 Istandsættelse og maling: (excl. indv. 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

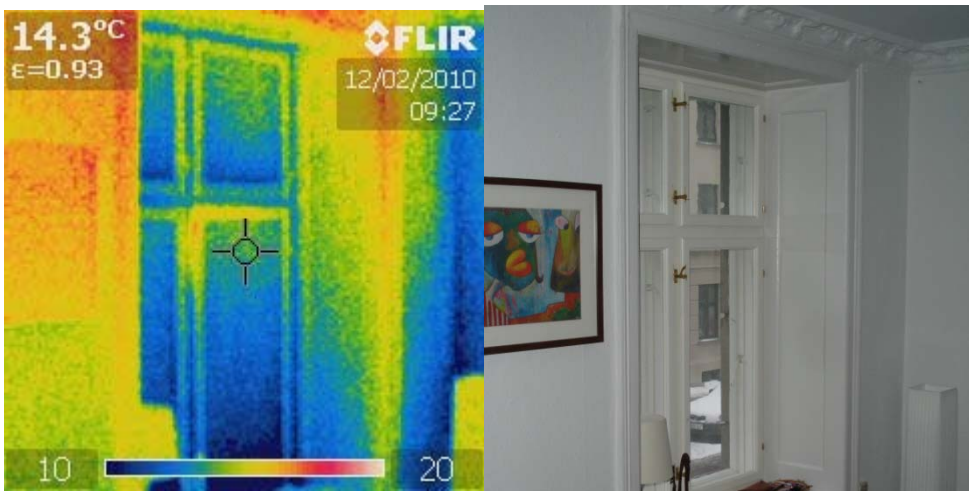
4.2.2 Resultater

4.2.2.1 Termografier

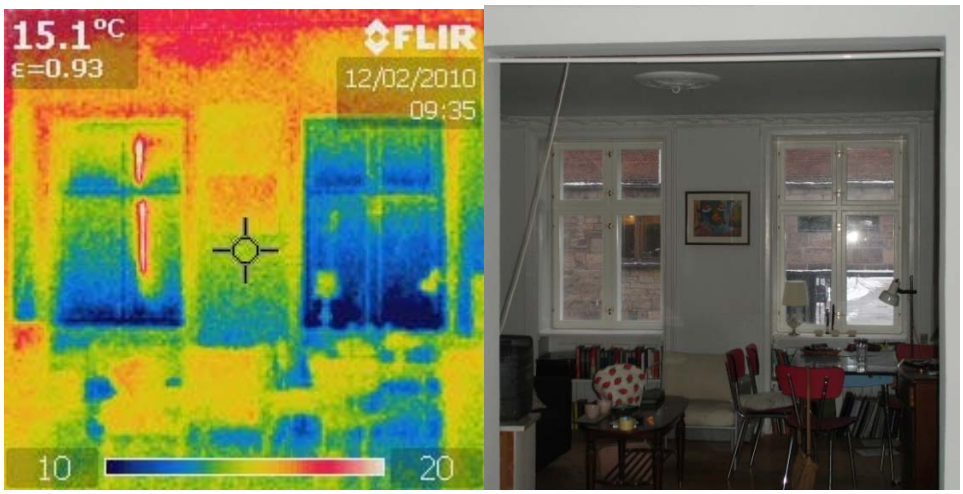
Herunder ses en række termografibilleder samt tilhørende almindelige digitalbilleder af vinduer og isolering i prøvelejligheden taget om morgenen d. 2. december 2010. For sammenligningens skyld er der også taget billeder af vinduer med 1 lag glas i den tilsvarende lejlighed på 2. sal.



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

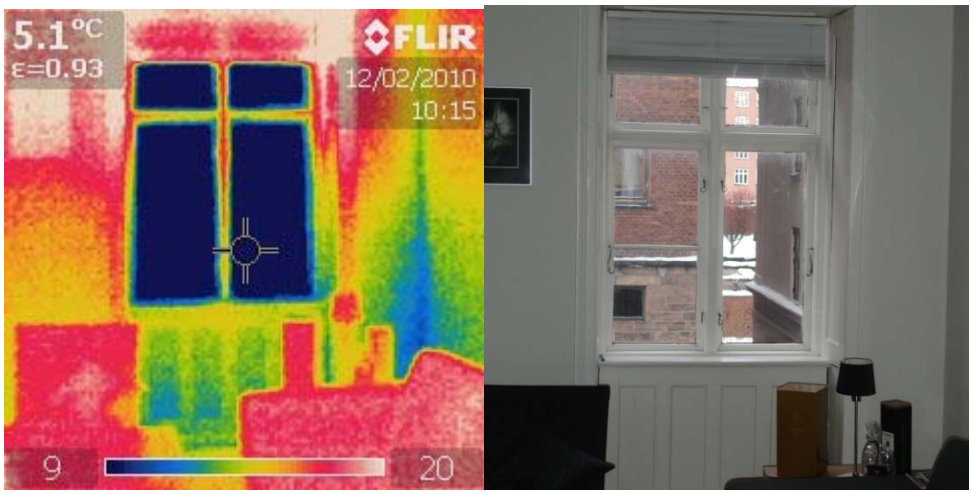


Figur 48: Vindue 2 i stuen mod gaden. (1+1 løsning med forsatsramme) Overfladetemperaturen er 12-13 grader

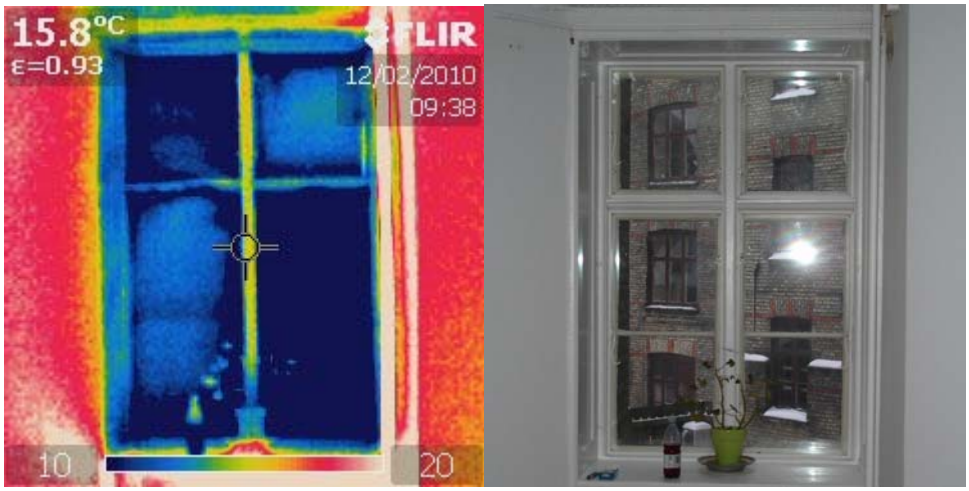


Figur 49: Sammenligning mellem vindue 1 til venstre og vindue 2 til højre i stuen. På det venstre vindue ses refleksion fra varmerør på modstående væg.

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



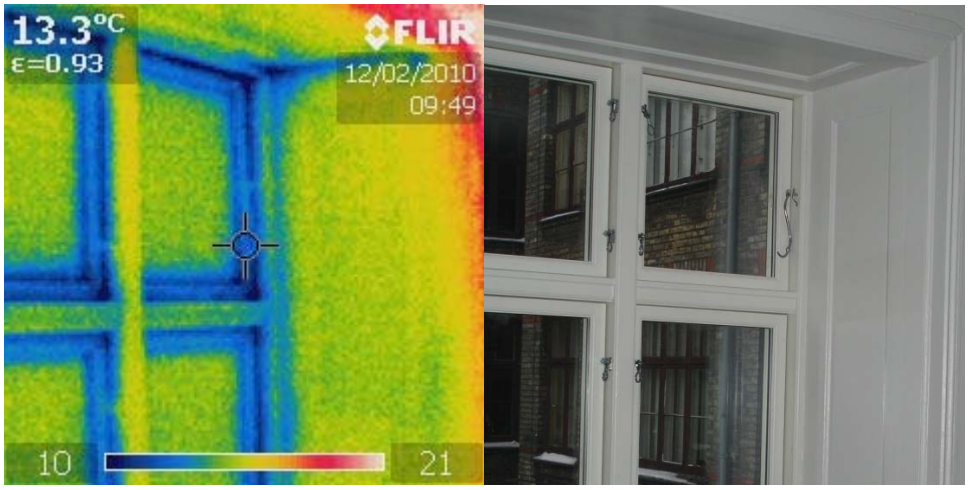
Figur 50: Det højre vindue i stuen i lejligheden på 2. sal. Overflade temperaturen på vinduet er under 10 grader og markant lavere end i på forsatsvinduerne i prøvelejligheden.



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 termografierne 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 værdi1,08 på vindue 1, 1+2 løsning med forsatsvinduer – og termografierne viser også nogenlunde samme overfladetemperatur på de to vinduesløsninger

4.3 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 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.

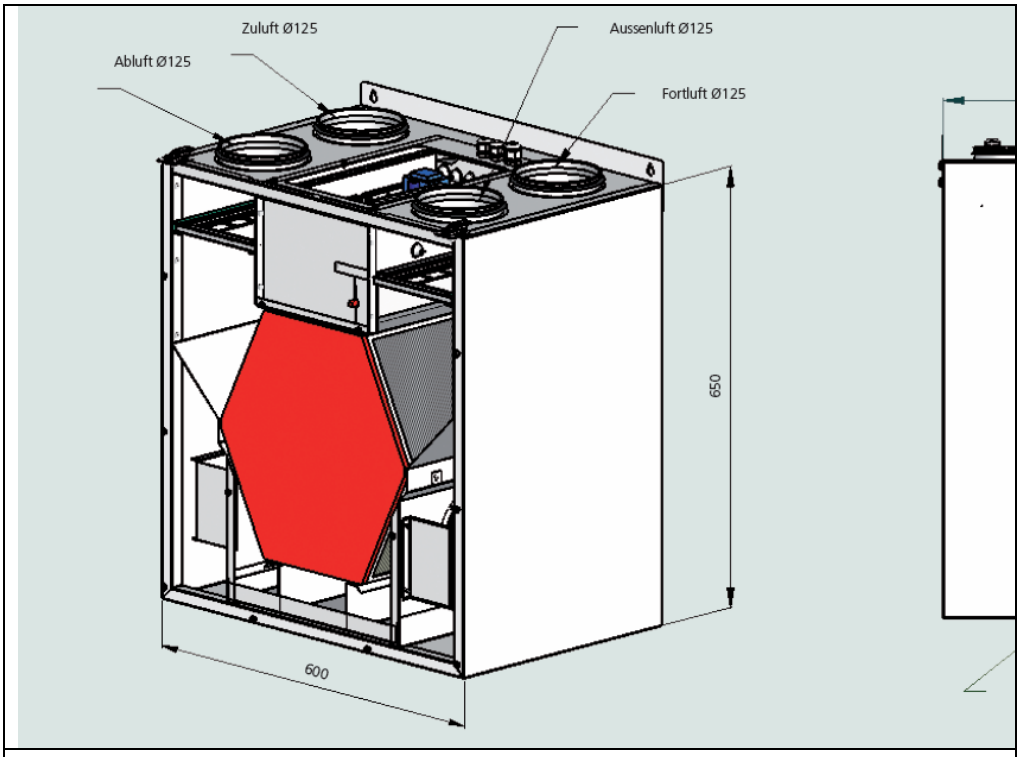
To emhætteløsninger har været i spil og er blevet diskuteret bl.a. med bygherren. Det var henholdsvis løsning med emhætte tilkoblet ventilationsanlæg og løsning med selvstændig emhætte med recirkulation og aktivt kulfilter. Førstnævnte løsning bruges i stort omfang af Nilan i boliger og rækkehuse, som 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.

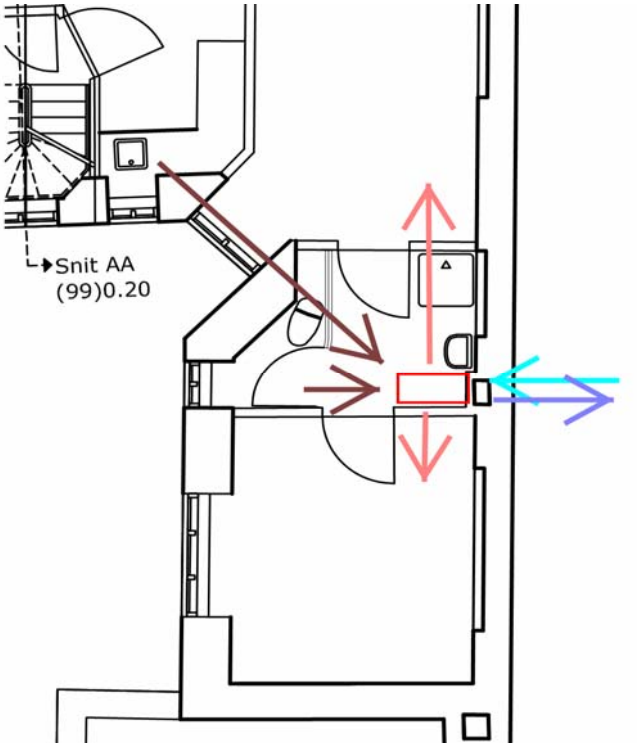
I samarbejde med bygherren blev det besluttet at teste type 1 primært for at opnå en løsning i fuld overensstemmelse med BR samt reducerede udgifter til filterskift (et aktivt kulfilter skal typisk udskiftes 1-2 årligt, hvorimod fedtfilteret i Nilans emhætteløsning kan vaskes i en vaskemaskine. Et aktivt 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

4.3.1 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 kanalrør. Friskluft tages via Ø 125 mm rør ført igennem ydervæg. Afkastluft til det fri via 125 mm kanalrør (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 varmeflade – 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 ifm. 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.

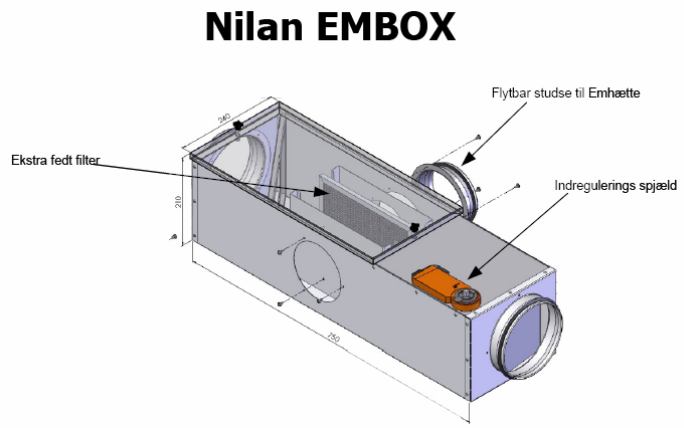
Jf. BR10 er kravet til luftskifte i en lejlighed med behovsstyret ventilation ≥ 0.3 l/m2 pr sek. For den givne lejlighed betyder det i alt 90 m3/h (det tidligere krav ville være udsugning på 54 m3/h fra baderum og 72 m3/h fra køkken, i alt 126 m3/h). Ved forceret emhættedrift er kravet jf. BR10 til udsugning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

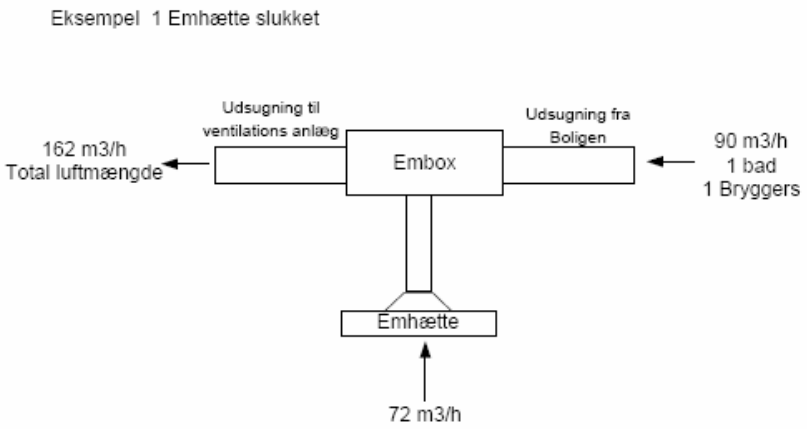
Tabel 3 viser målte udsugningsmængder på trin 1 – normal drift, trin 2 (forceret normaldrift pga. høj fugtighed) samt trin 3 ”forceret emhættedrift”. Som det ses opnåedes ikke helt 198 m3/h samt 144 m3/h ved forceret emhættedrift. Afvigelsen var dog ikke større end at ventilationsmængderne blev vurderet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

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

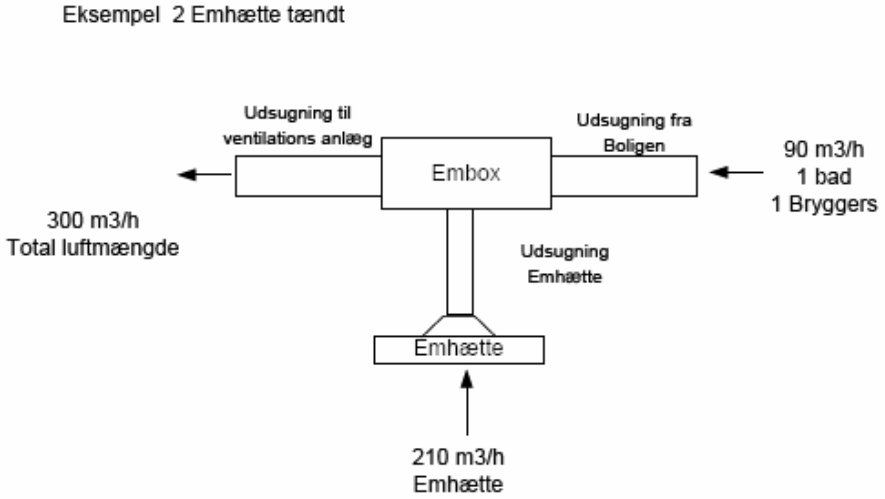
Figur 57:Rørføring til emhætte i køkken via stue.



Figur 58:Nilan EMBOKS



Figur 59:Nilan EMBOKS – emhætte slukket



Figur 60:Nilan EMBOKS – emhætte tændt

Tabel 3: Målte ventilationsmængder i lejlighed

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

4.3.2 Økonomi i ventilationsanlæg i prøvelejlighed

Ventilationsanlægget i prøvelejligheden har inklusiv montage og diverse udbedring af kanalføring kostet 42.000 ex. moms. Prisen kan dog ikke benyttes som vejledende for markedsprisen pga. diverse udbedringstiltag, fabrikanttilskud mv.

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

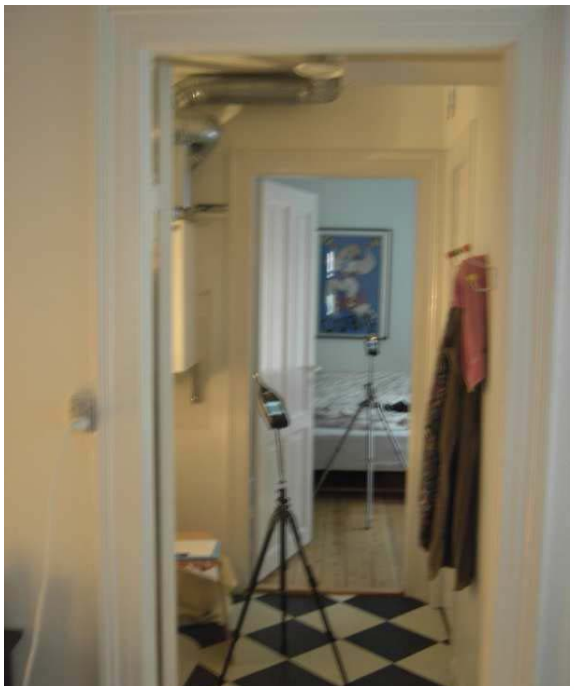
Tiltag i prøvelejlighed	Pris excl. moms
Projektpris for Nilan anlæg incl. installation	28.000 kr.
Efterfølgende arbejde af Smock	15.000 kr.
I alt	**42.000 kr.**

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

4.3.3 Resultater

4.3.3.1 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

	Efterklangs-tid, 500 Hz	Bag-grund	Trin 1	Trin 2	Trin 3	Trin 4
	[s]	dB(A)	LAeq, 1min dB			
Badeværelse	0,3	22	38	45	53	61
Soveværelse	0,5	20	25	29	37	45
Dæmpning			13	16	16	16

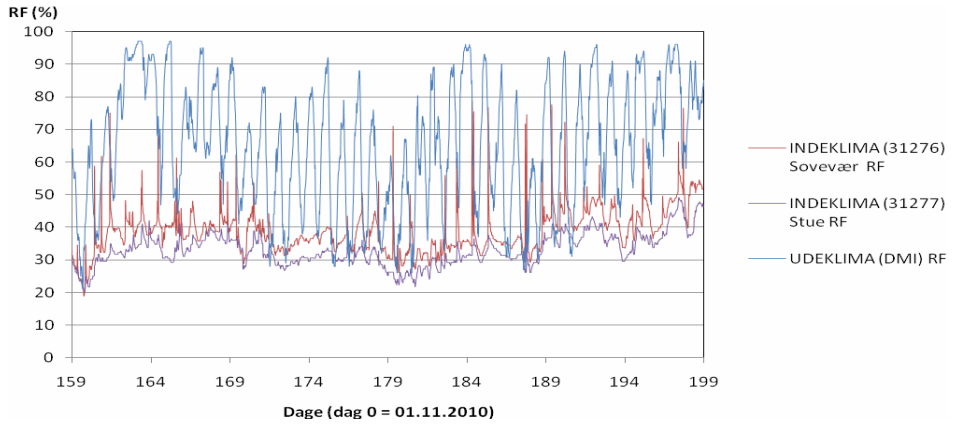
Figur 62: Resultater af støjmåling – skal tillægges 3 dB før de sammenlignes med grænseværdierne i BR 10

4.3.3.2 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.

4.3.3.3 Målinger

Der er foretaget indeklimamålinger af relativt 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.
Indeklimamålingerne 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

4.3.4 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 støjdæmpning 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.