

Analyse og optimering af løsninger til energirenovering af bevaringsværdige bygninger

Undersøgelse af bevaringsværdige boliger i

Strandvejskvarteret

2100 Østerbro



Diplom Afgangprojekt

DTU BYG

10. juni 2013

Projektperiode: 4. februar til 10. juni 2013

Diplom Afgangprojekt

Titel: Analyse og optimering af løsninger til energirenovering af bevaringsværdige bygninger

Udarbejdet af:

Søren F. Larsen – s093403, soerenfl@hotmail.com

Kevin Tran – s093385, kevinhuangtran@gmail.com

Institut:

DTU BYG – Institut for Byggeri og Anlæg

Brovej 1

Bygning 118

2800 Kgs. Lyngby

Hovedvejledere:

Søren Peter Bjarløv, spb@byg.dtu.dk

Peter Andreas Sattrup, pans@byg.dtu.dk

Medvejleder:

Toke Ramme Nielsen, trn@byg.dtu.dk

1 Indholdsfortegnelse

2	Resumé.....	5
3	Abstract.....	6
4	Forord.....	7
5	Læsevejledning	8
6	Indledning	9
7	Metode.....	10
8	Beskrivelse af boligerne	10
8.1	Plan.....	10
8.2	Bygningsdele	11
8.2.1	Vægge	11
8.2.2	Vinduer og døre	12
8.2.3	Etagedæk	15
8.2.4	Tag.....	16
8.3	Referencebolig.....	16
9	Målinger af boligerne.....	17
9.1	Blowerdoor test	17
9.1.1	Bolig A	19
9.1.2	Bolig B	19
9.2	Termografiundersøgelser.....	20
9.2.1	Bolig A	20
9.2.2	Bolig B	24
9.3	HOBO Data	25
9.3.1	Datamålinger:.....	26
10	Be10	27
11	Løsningsforslag.....	27
11.1	Etagedæk	27
11.2	Spidsloft	29
11.3	Kælder.....	30
11.4	Tætning	30
11.4.1	Utætheder omkring vindueskarm.....	30
11.4.2	Utætheder ved gulv og fodpaneler under vinduer	30
11.4.3	Utætheder ved genbrydninger i konstruktion og samlinger	31
11.4.4	Utætheder mellem ramme og karm i vinduerne	31

11.5	Ydervægge	32
11.5.1	Indeklima.....	32
11.5.2	Fugt	32
11.5.3	Fugtkilder	33
11.5.4	Skimmelsvamp	33
11.5.5	Råd og trænedbrydende svampe.....	34
11.5.6	Fordele og ulemper ved efterisolering af ydervæg	34
11.5.7	Imprægnering.....	35
11.5.8	Løsningsforslag til indvendig efterisolering af ydervæg	35
11.5.9	Simuleringer	36
11.5.10	Forudsætninger og randbetingelser.	39
11.5.11	Resultater	43
11.6	Vinduer.....	48
11.6.1	Beregninger for referenceboligen.....	49
11.6.2	Løsningsmuligheder	52
11.6.3	Tiltag.....	57
11.7	Døre.....	61
12	Be10 løsningsforslag	61
13	Økonomi.....	62
13.1	Vinduer.....	62
13.1.1	Optimering af forskellige vindues typer.....	63
14	Diskussion	68
15	Konklusion.....	70
16	Litteraturliste	71
17	Bilagsliste	73

2 Resumé

Rapporten omfatter en energioptimerings analyse af ældre bevaringsværdige boliger. Der er efter ønske og samarbejde med Strandvejskvarteret på Østerbro kommet med løsningsforslag til energioptimering af boligerne i kvarteret. Målinger foretaget vha. blowerdoor test og termografering har dannet grundlag for løsningsmuligheder. Der har i denne forbindelse kunne konstateres at husene, som forventet var meget utætte. Luftsiftet gennem utætheder i klimaskærmen, som blev målt i 2 boliger lå langt over hvad man i dag skal over holde hvis der bygges nyt. Luftsiftet blev målt til hhv. $6,03 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ og $5,6 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$, som er langt over det omtalte krav, som er $1,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ opvarmet etage areal.

På baggrund af dette og en termografiundersøgelse, som viste forskellige typer af utætheder, er der valgt at komme med forbedringstiltag, så som udskiftning af gamle termoruder til en kombination af 2+3 lags ruder, når tiden er inde til udskiftning og isolering af etageadskillelse mellem 2. sal og spidsloft.

Da boligerne er bevaringsværdige, er udvendig efterisolering ikke tilladt. Mulighederne for indvendige efterisolering undersøges, ved hjælp af simuleringsprogrammet WUFI 2d. Undersøgelserne vurderer påvirkningen i bjælkerne i etageadskillelsen ved efterisolering. Disse er særligt udsatte for fugtpåvirkning, grundet temperaturfaldet som følge af indvendig isolering. I den forbindelse undersøges mulighederne, ved brug af kapillaraktive isoleringsplader Ytong multipor. For at hæve temperaturen ved bjælkeenden, blev der isoleret med porebeton 300 mm over og under etageadskillelsen, for at skabe en kuldebro. Ved at sammenholde simuleringer og besparelser ved tiltaget, kan der opnås en besparelse på 10 % af energi forbruget, uden risiko for råd og skimmelvækst, ved en kombination af løsningen med Ytong multipor og porebeton af isoleringstykkelsen 50 mm.

Undersøgelserne er baseret på en defineret reference bygning, som er bestemt ud fra undersøgelser af boligernes opbygning. Der er for denne udarbejdet energioptimeringsforslag, som kan bruges som reference for boligejerne i Strandvejskvarteret.

Det kan konkluderes at der er store besparelse at hente ved at efterisolere etagedækket mellem 2.sal-loft og ydervæggene. Derudover må det på baggrund af lokalisering af utæthederne antages at man vha. af tætning kan reducere varmekforbruget markant. For efterisolering af ydervæg og etagedæk, samt udskiftning af de gamle termoruder, opnås en samlet årlig besparelse på 4530 kr. Det gælder både for efterisolering af etagedæk og ydervæg, at investeringer er rentable og omkostningerne vil forholdsvis hurtigt være tjent hjem, nemlig ved hhv. 13 og 16 år. Da udskiftningen af de gamle termoruder på et tidspunkt i den nære fremtid vil blive uundgåelig, er man nødsaget til at skifte ruderne, selvom det ikke er en rentabel investering, det anbefales at udskifte til en kombination af 2-og 3-lags energiruder alt efter hvilken orientering vinduet har.

3 Abstract

The project comprehends an analysis of the energy optimizing initiatives of elderly residences, conservations worthy. An collaborate agreement has been made in association with Strandvejskvarteret (Østerbro), involving the development of a propositional solution of the previously mentioned; energy favouring renovation measures. Measurement gathered using the blowerdoor test and thermography builds the foundation for these solutionary opportunities. In the following investigation the residences showed extremely air leakages, as predicted. The continuation of the airflow turnover through these leakiness in the envelope, measured in two residences, turned out to be way over the keepings used for buildings raised now a days. The airflow turnover measured for the residence were 6,03 l/s m² and 5,6 l/s m², respectively. As mentioned this is way above the restricted 1,5 l/s m². Based on this observation and the thermography examination that demonstrated different types of leakiness, the choice of improvements involving the replacement of old thermal window glass, with an 2-3 layers combined window glass, for the replacement and insulation of the horizontal division between the ceiling floor slab. The internal insulation of the outer walls examination involved the utilizing of the hygrothermal simulation program "WUFI 2d". The investigation assesse the influence in the beam end in the exterior wall that would follow after the interior insulation. These beam end is specially vulnerable for the influence of humidity because of the expected temperature decrease that will follow the internal insulation. In the alliance the proposition of using capillary active insulation plates "Ytong multipor" were also explored. To increase the temperature in the beam end, insulation was made with aerated concrete 300 mm under and over the floor division, to create a thermalbrigde. By compartin the simulations and the economizing's achieved through these actions approximately a decrease of 10% in the energy consumption would be gained. This is without the hazard of rot or moisture growth since the solution involving combination of Ytong multipor and aerated concrete of 50 mm insulation thickness. The investigation is based on a defined reference building, determined from studying the construction/composition of the buildings. From this, an energy optimizing proposal has been composed, which is used as reference for residence owners in Strandvejskvarteret. A conclusion is made, that magnificence savings would be achieved by insulating ceiling floor deck and interior insulation of the walls.

Secondly, do to fixing of the leakage, based on the localization of the leaks, one would assume a significant decrease in heat expenditure. The overall saving, of the after-insulation of the external wall and storey cover, and replacement of the old thermal window glass, is yearly 4530 kr. The investment should be profitable and the expenses must be recouped rather quickly. This is all true for the after-insulation, in which the expenses will be recouped after 13 and 16 years respectively. The replacement of the old thermal windows in a nearby future is inevitable, even though it's not profitable. The replacement should be a combination of 2- and 3-layers energy windows, depending on the orientation of the window.

4 Forord

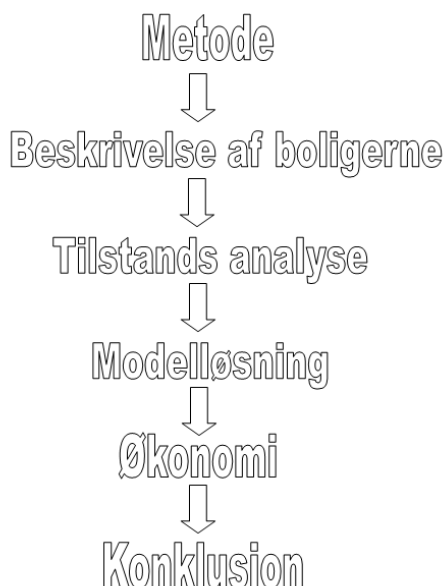
Rapporten her er udarbejdet af Søren F. Larsen og Kevin Tran som er et afgangsprøveprojekt på Diplom Bygning fra Danmarks Tekniske Universitet. Projektarbejdet er foregået i samarbejde med instituttet DTU Byg, hvoraf Søren Peter Bjarløv og Peter Andreas Sattrup fungerede som hovedvejledere på projektet. Derudover har der været 1 medvejleder, Toke Rammer Nielsen. Projektforløbet udstrakte sig over perioden 4. februar til 10. juni 2013.

Projektet omhandler energioptimering af bevaringsværdige bygninger. Målinger og undersøgelser samt konklusioner er baseret ud fra boliger i Strandvejskvarteret på Østerbro. Der har været indgået et samarbejde med et medlem fra Strandvejskvarteret energigruppe, nemlig Søren Borch som bor i kvarteret, da de ønsker at få belyst deres energioptimerings muligheder. Det skal påpeges at rapporten her blot er vejledende, forfatterne heraf pålægger sig intet ansvar.

Rapportens forfattere vil gerne takke for et godt samarbejde mellem vejlederne Søren Peter Bjarløv, Peter Andreas Sattrup og medarbejdere fra DTU Byg, der har været behjælpelige med rapporten. Derudover takker vi for samarbejdet med Søren Borch fra Strandvejskvarteret. Herudover skal der også gives en tak til Lars Due fra firmaet Isolink, som har været meget behjælpelig med at sætte os ind i hvordan der udføres tæthedsmålinger vha. af blowerdoor test.

5 Læsevejledning

Rapporten indledes med en indledning, der beskriver hvad projektet omhandler, hvad der danner grundlaget for projektet og hvor det skal føre hen. Herefter kommer en metode beskrivelse, som beskriver vejen frem til de ønskede resultater. Boligerne beskrives og deres tilstand analyseres hvorefter der beskrives løsningsforslag til en referencebolig, med fordelagtige energioptimeringsløsningsforslag med tilhørende økonomiske overslag og vurderinger.



Der er foretaget undersøgelser af to forskellige boliger af samme type i Strandvejskvarteret. Det drejer sig om Søren Borch og Peter Andreas Sattrups boliger på henholdsvis Berggreensgade nr. 50 og nr. 32. I rapporten vil boligerne blive omtalt som Bolig A og Bolig B.

Kildehenvisninger vises med en firkantet parentes med et nr. fx [1]. Alle kildehenvisninger er listet i litteraturlisten bagerst i rapporten.

En bilagsmappe er vedlagt denne rapport. Bilagsmappen indeholder en oversigt over bilag, som alle er angivet med et bogstav, samt et reference nummer. Reference til bilag angives som følgende.. [C.2 fig. A1].

I rapporten vil visse formler blive vist og de navngives med F og et nr., som fx (F1).

6 Indledning

Projektet omhandler energioptimering af bevaringsværdige byggeforeningshuse i strandvejskvarteret på Østerbro i København. Strandvejskvarteret består af 393 byggeforeningshuse opført i årene 1893-1903. Kvarteret ligger tæt op ad Østerbrogade, hvor Kildevældsgade og Berggreensgade med tilhørende sidegader danner rammen for et smukt kvarter. Husene var oprindeligt lavet til 3 familier, men bliver i dag oftest brugt som enfamiliehuse. Husene er i 3 plan med tilhørende kælder og spidslofttrum, hvor en opgang udgør adgang til etagerne.

Strandvejskvarteret ønskede en undersøgelse af boligernes tilstand og i denne sammenhæng en vejledning i energioptimering for netop disse boliger. De ældre bygninger er uisolerede og bevaringsværdige hvorfor der ikke må efterisoleres udvendigt. Mange fraråder at bruge indvendig isolering, men i dette tilfælde er der ikke andre muligheder. En rapport udarbejdet i forbindelse med indvendig efterisolering af nogle prøveboliger i Ryesgade på Nørrebro[29], viser at der over en periode på 9 måneder ikke har været fugtskader efter montering af den indvendige isolering. Denne rapport har derfor inspireret os til at kigge nærmere på disse problemstillinger og undersøge fugt forholdene i materialer over en længere periode. En analyse af husenes tæthed vha. forskellige test og analyser vil også danne grundlag for energioptimeringstiltag. Her undersøges husenes nuværende tilstand som bl.a. omfatter detektering af kuldebroer og utætheder, hvorpå der også udarbejdes en model der beskriver de nuværende energimæssige forhold i boligerne.

Der vil herudfra vha. programmer og teoretiske beregningsmetoder blive bestemt kritiske områder og mangler, hvorpå der kan energioptimeres. Der vil blive undersøgt mulighederne for forskellige energimæssige tiltag samt tilhørende udfordringer ved bevaring af bygningernes arkitektoniske værdier, som skal stemme overens med lokalplanen.

Målet med projektet er at analysere husenes nuværende tilsand, hvorefter det på baggrund af beregninger og undersøgelser vil blive belyst, hvilke energioptimeringstiltag og adfærdsmønstre der kan være fordelagtige mht. til energibesparelse og optimering af indeklimaforhold. Herunder er formålet at undersøge fugtforholdene i bjælkeender mod ydervægge, med henblik på at finde en energioptimerende løsning for indvendig isolering, der opfylder fugtforholdene. Energiopimeringstiltagene besparelser opstilles og der udarbejdes et prisoverslag for hvad det vil komme til at koste at udføre.

7 Metode

Boligerne registreres ved anskaffelse af tegninger fra Teknisk forvaltning i København og udleveret tegningsmateriale fra henholdsvis Peter Andreas og Søren Borch, som hver i sær har udarbejdet tegninger af deres bolig. Mere detaljerede tegninger, som konstruktions detaljer er baseret på erfaringer og besigtigelser samt tegningsmateriale hentet fra danskbyggeskik.dk [1], danskebygningsmodeller.dk [2] og godetage.dk [3]. Her beskrives det bl.a. hvordan man i den pågældende periode (1890-1920) byggede etageejendomme. På den tid var der ikke stor variation i byggetekniker og udførelsesmetoder, hvorfor det stemmer godt overens med boligerne i Strandvejskvarteret.

Boligernes tilstand vil blive analyseret blandt andet vha. tæthedsmålinger også omtalt som blower-door test. Denne giver en beskrivelse af hvor store utætheder der findes i de enkelte boliger. Derudover gør den det også muligt at lokalisere eventuelle kuldebroer og identificere de dominerende utætheder med tilhørende brug af termografisk kamera. Samtidig udføres målinger af mulige trækgener i opholdszoner vha. af et varmetrådsanemometer. Til bestemmelse af områder der bør undersøges med varmetrådsanemometeret, udføres der røgprøver som synliggør utæthederne.

For et bedre indblik i boligernes indeklima, opsættes hobo datalogger til måling af temperatur og relativ luftfugtighed.

Da bygningerne i strandvejskvarteret er bevaringsværdige, tillader dette ikke udvendig efterisolering af ydervæggen, hvorfor indvendig isolering kommer i betragtning. Da temperaturen falder i ydermuren, som følge af indvendig efterisolering, øges risikoen for kondensering i konstruktionen, endvidere kan dette medføre problemer for træbjælken i etageadskillelsen.

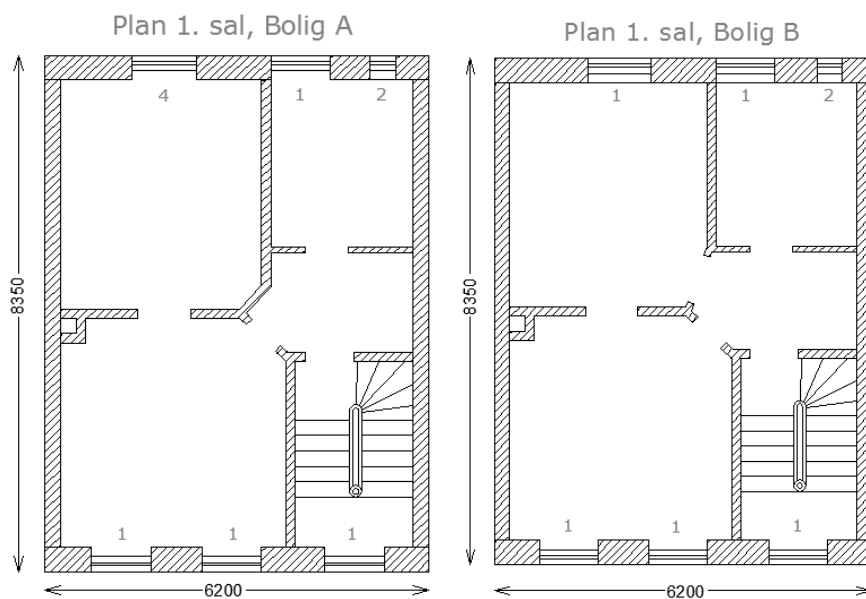
For at vurdere risiciene for vækst af råd og skimmelsvamp i konstruktionen, benyttes der til vurdering af de hygrotermiske forhold programmet WUFI 2d. Her vil den eksisterende ydervæg, samt løsningsforslag blive simuleret under forskellige parametre, for at undersøge hvilken indflydelse regn eller høj fugtig inden døre har. Ud fra vurdering af simuleringresultaterne, vælges det bedste tiltag.

På baggrund af indsamlede data og oplysninger omkring boligerne, dannes en reference bolig i Be10. De enkelte tiltag fra løsningsforslagene vil blive vurderet både mht. energibesparelse og rentabiliteten.

8 Beskrivelse af boligerne

8.1 Plan

En bolig består af 3 oprindelige lejligheder, som er sammenlagt, en kælder og et spidsloft i hver deres plan, med en tilhørende trappeopgang som skaber forbindelse mellem etagerne. Husene er en del af sammensatte rækkehuse, hvorfor der kun er to ydervægge, som vender mod nord og syd. På figur 1 nedenunder ses plantegninger af 1. sal for begge boliger. Disse tegninger kan sammen med de resterende plantegninger findes i bilag [A.1-2].



Figur 1 - Plantegning af 1. sal. Til venstre Bolig A, til højre Bolig B

8.2 Bygningsdele

8.2.1 Vægge

Som sagt vender facaderne mod nord og syd, hvor hoveddøren er placeret i facaden mod syd. Disse ydervægge består af 2 sten i kælderetagen og $1\frac{1}{2}$ sten på de øvrige etager. Ved vinduesbrystningerne er ydervæggen af 1 stens tykkelse. For perioden vides det at der er blevet benyttet teglsten med målene: 23x11x5,5 cm, som var fastlagte mål for standard teglsten fra 1896 [4]. Ifølge håndbogen [5] er stenen bundet sammen af kalkmørtel. Facaderne på disse huse er bevaringsværdige, hvilket medfører at det ikke er tilladt at ændre facadernes udseende. Kravene angivet i Strandvejskvarterets håndbog [5] skal overholdes, og der må ikke ændres noget uden Københavns kommunes tilladelse. På figur 2 nedenunder ses billeder af boligerne udefra.

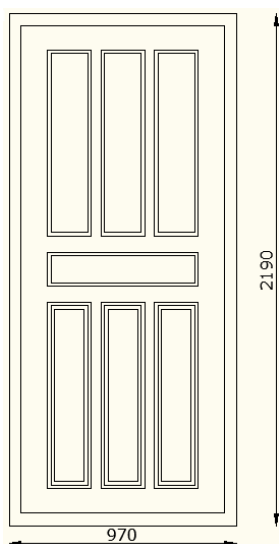


Figur 2 - Til venstre bolig B, til højre bolig A

8.2.2 Vinduer og døre

Hoveddøren er ens for begge boliger. Det er en trædør hvorpå der er isat 3 enkelt glas øverst i døren. På figur 3 nedenfor ses en tegning af døren. Herudover har hver bolig hver deres type kælder-dør, og hos Bolig B er der etableret en terrassedør i stuen i facaden mod nord.

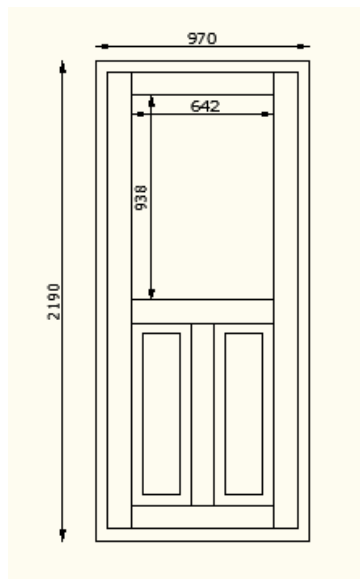
For begge boliger gælder det at, alle facadevinduer mod syd er 2-fags dannebrogsvinduer. I bilag [A.3-5] er der udarbejdet tegninger af de forskellige vindues- og dør typer, der kan findes i hhv. Bolig A og Bolig B. På plantegningerne i bilaget er der angivet vinduer og døre, nummereret efter hvilken type det er.



Figur 3 – Type a hoveddør

8.2.2.1 Bolig A

Ud over den tidligere viste hoveddør af type a, er der her en kælderdør af type b. Døren er vist nedenfor på figur 5.



Figur 5 - Kælderdør bolig a, type b

I denne bolig er alle vinduerne de oprindelige vinduer. Der er 3 typer af vinduer, nemlig 1-fag, 2-fag og 3-fags dannebrogsvinduer. Derudover findes der i taget almindelige ovenlys vinduer og et 4 stens jernvindue. I kælderen er der både 6- og 3 stens jernvinduer.

Ruderne i alle vinduer undtagen jernstens vinduerne, er dog blevet udskiftet og erstattet af 2 lags termoruder med afstandsprofil af aluminium og luft i hulrummet. I tabel 2 nedenfor er det listet hvor de forskellige typer af vinduer og døre optræder henne hos Bolig A.

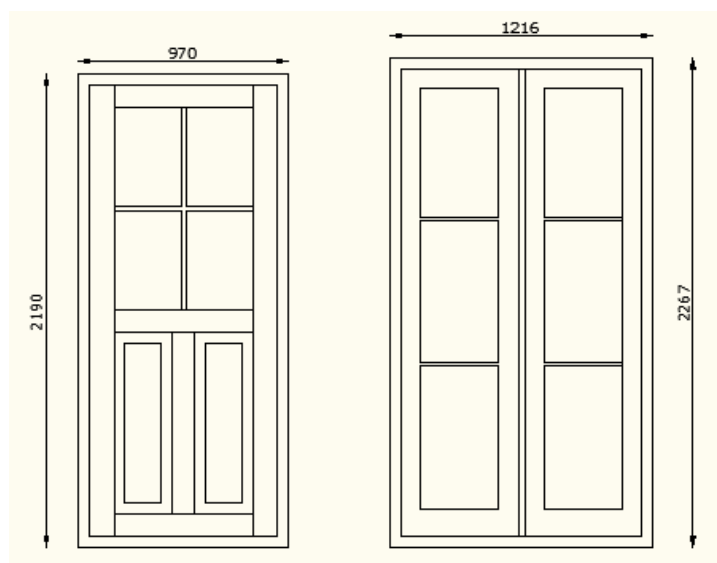
Tabel 2 - Oversigt over vindues- og dørtyper, bolig A

Adresse	Type	Beskrivelse	Etage	Facade	Rum	Antal
Bolig A	11	6-stens jernvindue	kælder	nord	vaskekælder	1
Bolig A	11	6-stens jernvindue	kælder	syd	værksted	1
Bolig A	12	3-stens jernvindue	kælder	Syd	værksted	1
Bolig A	12	3-stens jernvindue	kælder	nord	vaskekælder	2
Bolig A	b	Kælderdør	kælder	nord	kælderdør	1
Bolig A	1	2-fag	Stue	Syd	stue	2
Bolig A	2	1-fag	Stue	nord	køkken	1
Bolig A	3	1-fag	Stue	nord	køkken	1
Bolig A	4	3-fag	Stue	nord	spisestue	1
Bolig A	a	Hoveddør	stue	syd	hoveddør	1
Bolig A	1	2-fag	1. sal	Syd	kontor	2
Bolig A	1	2-fag	1. sal	nord	depot	1
Bolig A	1	2-fag	1. sal	Syd	opgang	1
Bolig A	2	1-fag	1. sal	nord	depot	1
Bolig A	4	3-fag	1. sal	nord	værelse	1

Bolig A	5	2-fag	2. sal	syd	kontor	1
Bolig A	5	2-fag	2. sal	nord	bad+værelse	2
Bolig A	7	1-fag	2. sal	syd	skråvæg opgang	1
Bolig A	8	1-fag	spidsloft	syd	spidsloft	1
Bolig A	10	4-stens jernvindue	spidsloft	nord	spidsloft	1

8.2.2.2 Bolig B

Ud over den ovenfor viste hoveddør er der her en kælderdør af type c og en terrassedør af type d. Begge døre er vist nedenfor på figur 4.



Figur 4 - til venstre kælderdør type c, til højre terrassedør type d

I Bolig B er alle vinduerne udskiftet til nye vinduer, dog med gammeldags termoruder. I tabel 1 nedenfor er listet hvor de forskellige typer af vinduer og døre optræder henne i Bolig B.

Tabel 1 –Oversigt over vindues- og dørtyper, bolig B

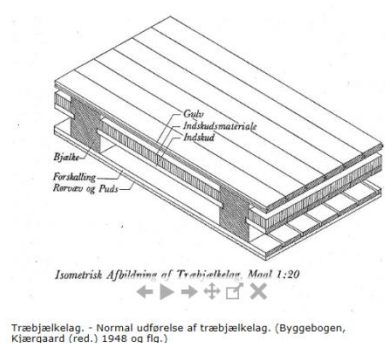
Adresse	Type	Beskrivelse	Etage	Facade	Rum	Antal
Bolig B	c	Dør	kælder	nord	kælderdør	1
Bolig B	13	1-fag	kælder	nord	vaskekælder	3
Bolig B	13	1-fag	kælder	syd	værksted	2
Bolig B	1	2-fag	Stue	Syd	stue	2
Bolig B	2	1-fag	Stue	nord	køkken	1
Bolig B	3	1-fag	Stue	nord	køkken	1
Bolig B	d	Dør	Stue	nord	Havedør	1
Bolig B	a	Dør	stue	syd	hoveddør	1
Bolig B	1	2-fag	1. sal	Syd	stue	2
Bolig B	1	2-fag	1. sal	nord	badeværelse	1
Bolig B	2	1-fag	1. sal	nord	badeværelse	1
Bolig B	1	2-fag	1. sal	nord	værelse	1
Bolig B	1	2-fag	1. sal	Syd	opgang	1
Bolig B	6	2-fag	2. sal	nord	værelse	1

Bolig B	6	2-fag	2. sal	Syd	værelse	1
Bolig B	7	1-fag	2. sal	nord	badeværelse	1
Bolig B	7	1-fag	2. sal	Syd	værelse	1
Bolig B	7	1-fag	2. sal	Syd	opgang tag	1
Bolig B	8	1-fag	spidsloft	nord	spidsloft	1
Bolig B	9	1-fag	spidsloft	nord	spidsloft	1
Bolig B	8	1-fag	spidsloft	nord	spidsloft	1

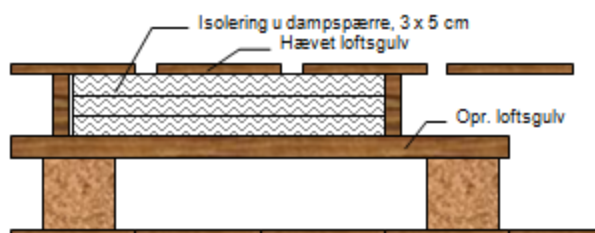
8.2.3 Etagedæk

Etageadskillelserne antages at være opbygget som det ses på figur 7 ifølge [2]. Hvor der er lagt 50 mm indskuds materiale af ler ind mellem indskudsbrædderne og gulvbrædderne, der oprindelisk skulle fungerer som en brandhæmmende foranstaltning. I Bolig B er etagedækket mellem stuen og 1. sal dog efterisoleret isoleret. Dækket på spidsspidsspidssloftet i bolig A er blevet hævet hvorefter der er blevet isoleret med 150 mm isolering, som vist på figur 8. Det antages at der ligger 6 bjælker på tværs i boligens bredde. Etageadskillelserne er opbygget i følgende lag, med de angivne tykkelser:

- 30 mm gulvbrædder
- 40 mm hulrum med luft
- 50 mm lerindskud
- 20 mm indskudsbrædder
- 90 mm hulrum med luft
- 20 mm forskallingsbrædder
- 5 mm puds



Figur 7 - Konstruktionstegning af eksisterende etageadskillelse

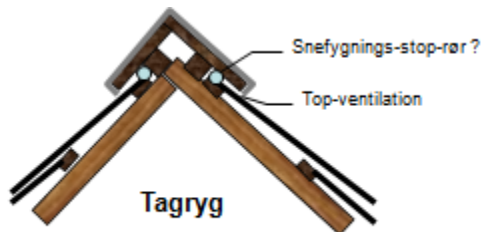


Figur 8 - Konstruktionstegning af hævet isoleret spidsloftguld, bolig A

8.2.4 Tag

8.2.4.1 Bolig A

Skråvæggen på spidsloftet er uisoleret og er opbygget af skifersten, taglægter og spær. Det antages at der er 7 lægter på hver skråvæg af 3,5 m i højden. Derudover antages det at der er 6 spær på hver skråvæg af bredden 5,7 m, da de formentlig ligger med et maksimalt mellemrum på 1 m. Dimensionerne antages at være 150x150 mm[3]. En principtegning af skråvæggen er illustreret på figur 9.



Figur 9 - Principskitse af skråvæg, bolig B

Skråvæggen på 2.sal har man efterisoleret med 150 mm isolering. Dermed består skråvæggen af skifer, taglægter, spær, isolering mellem spærerne, forskallingsbrædder og et afsluttende lag puds. Isoleringen har samme tykkelse som spærerne, hvilket vil sige at der er et ventilations hulrum mellem taglæggerne.

8.2.4.2 Bolig B

I denne bolig er skråvæggen på spidsloftet opbygget på samme måde som i Bolig A, man har dog her efterisoleret skråvæggen med 150 mm isolering, med et afsluttende lag gips af 2x13 mm. Etagedækket mod spidsspidloft her er urørt og ej isoleret. Skråvæggen på 2. sal består af skifer, taglægter, spær, forskallingsbrædder med et afsluttende lag puds. Dvs. at der i hulrummet mellem forskallingsbrædderne og skiferstenen er uisoleret.

8.3 Referencebolig

Som nævnt tidligere udføres beregninger og målinger ud fra et givent reference hus. Bolig A og B er blevet undersøgt, og det kan konstateres at der i bolig B allerede er udført en del energibesparende tiltag. Bolig A minder derimod mest om de oprindelige boliger, da der ikke er blevet foretaget de store ændringer. Reference boligen vælges derfor som værende i bolig A's tilstand uden efterisolering på skråvæg 2. sal og uden etablering af hævet gulv med isolering imellem. Vinduerne vælges også som værende gamle rammer med gammeldags termorude som i bolig A. Valget er baseret ud fra Strandvejskvarterets energigruppens spørgeskemaundersøgelse [30], hvor vindues typer i de forskellige boliger er blevet undersøgt. Her viste det sig at den gamle termorude i den oprindelige ramme, var den løsning der optræder i flest boliger.

9 Målinger af boligerne

Boligernes tilstand undersøges vha. følgende 3 elementer. En blowerdoor test, der måler boligens utæthed gennem klimaskærmen. En termografisk undersøgelse, der lokaliserer og identificerer utæthederne. Derudover foretages der målinger af temperatur og fugt forhold for boligen vha. HOBO dataloggere, som skal give et indblik i brugeradfærden.

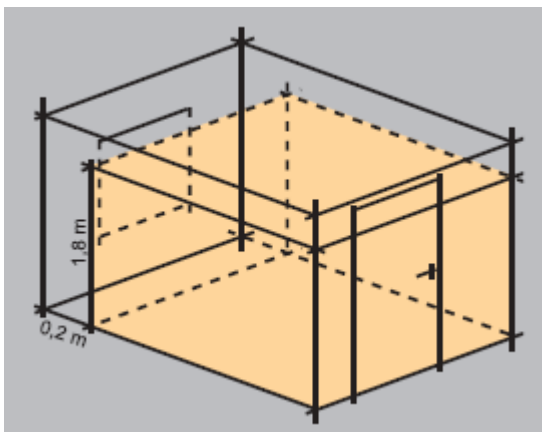
9.1 Blowerdoor test

Boligernes tilstand vil blive analyseret blandt andet vha. blowerdoor test. En blowerdoor test giver en beskrivelse af hvor store utætheder der findes i de enkelte boliger. Derudover gør den det også muligt at lokalisere eventuelle kuldebroer og identificere de dominerende utætheder med tilhørende brug af et termografisk kamera. Ved udførelse af blowerdoor testen skabes der først et overtryk i bygningen vha. en ventilator installeret i hoveddøren. Dette gør det muligt at bestemme den luftmængde der siver ud gennem bygningen, og dermed opnås der en beskrivelse af bygningens utæthed. Herefter vendes ventilatoren om og der skabes et undertryk i bygningen, hvorefter der udføres termografiske undersøgelser for at lokalisere og identificere utætheder og kuldebroer. Samtidig lokaliseres de største utætheder med røgprøver, som kan give en indikation af om der er store lokale lufthastigheder, hvorefter der udføres målinger af mulige træk gener i opholdszoner vha. af et varmetrådsanemometer.

Ud fra de termografiske undersøgelser er udarbejdet en rapport, der beskriver de fundne mangler. Rapporterne findes i bilag [D-G]. Her er manglerne beskrevet med billeder og beskrivende tekst. Forslag til forbedringer er ligeledes angivet i rapporten. De målte luftstrømme er foretaget mens bygningen har været udsat for undertryk (-50 Pa), da det i denne sammenhæng er nemmere at lokalisere utæthederne. Utætte områder i klimaskærmen – fx hvor der kan måles lufthastigheder over 1,2 m/s bør erfaringsmæssigt undersøges nærmere[20]. Luftstrømme med retning mod opholdszonen kan oftest opleves som træk. Utætheder i spidslofter og vægge, hvor der lokalt måles over de 1,2 m/s kan også medføre, at luft indefra strømmer ud i isoleringslaget og skaber risiko for kondensering og fugtophobning. Ved vinduer som oftest har mange mindre utætheder, kan det selvom de enkelte luftstrømme ikke måles til over 1,2 m/s stadig medføre træk gener.

Opholdszonen

Opholdszonen i et rum defineres som 0,2 meter fra ydervæg og indtil 1,8 meter over gulvet se figur 10.



Figur 10 - Opholdszonen i et rum

Den danske standard for termisk indeklime kræver at lufthastigheder i opholdszonen ikke overstiger 0,15 m/s ved en trykforskel mellem ude og inde på 10 Pa (normal situation). 1,2 m/s ved 50 Pa trykforskel, svarer til en lufthastighed på 0,4 m/s ved en trykforskel mellem ude og inde på 10 Pa. Når der lokalt måles denne hastighed eller mindre opleves det sjældent som træk i opholdszonen. Derfor er det kun interessant at vurdere utætheder som har en lufthastighed på mere end 1,2 m/s ved 50 Pa's trykforskel.

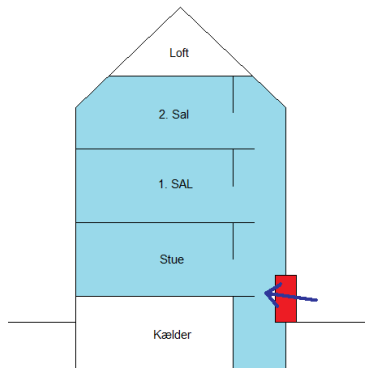
De opgivne luftstrømme i termografiundersøgelsen [D+F] er omregnet til hvad de ville svare til i en normal situation ved trykforskel mellem inde og ude på 10 Pa. Den målte luftstrøm ved trykforskel på 50 Pa, kan ganges med en faktor på 0,33 og lufthastigheden for en normal situation ved en trykforskel på 10 Pa opnås.

Ved udførelse af blowerdoor test opnås en specifik utæthed w_{50} [l/s*m²], som angiver luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen. Denne værdi bruges til at udregne boligens infiltration, som vist i formel (F1)[26] side 59.

$$Infiltration = 0,04 + 0,06 * w_{50} [l/s * m^2 opvarmet etageareal] \text{ (F1)}$$

9.1.1 Bolig A

I denne bolig blev tæthedsmålingen udført for hele boligen undtagen spidsloft og kælder, altså var der lukket af op til spidsloftet og ned til kælderen. Da både kælderen og spidsloftrummet holdes uopvarmet, ville det ikke være brugbart at tage disse med i målingerne, da disse rum ikke har indflydelse på boligens samlet varmeforbrug, se figur 11. I blowerdoor rapporten [E] er måleresultaterne angivet.



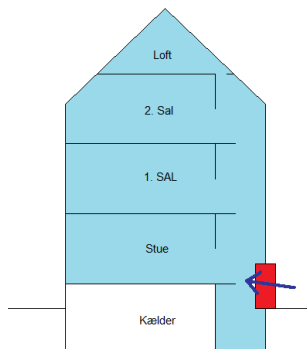
Figur 11 - Blowerdoor test, opstilling i bolig A

Den specifikke utæthed blev målt til $w_{50}=6,303 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$, som er luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen, etagedækkene og dørene op til spidsloftet og ned til kælderen. Dette overholder langt fra BR10's krav til nybyggeri om et luftskifte på max $1,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ [27]. Det forventes heller ikke at ældre bygninger overholder dette, men det giver en tydelig indikation af, at boligen er langt mere utæt end nybyggeri.

De væsentlige fejl og mangler ud fra termografi undersøgelsen, er angivet nedenunder i afsnit 9, beskrevet med tilhørende billeder. De resterende mangler fundet ud fra undersøgelsen kan ses i [E]. Forbedringer af manglerne bliver senere hen beskrevet i afsnit 11.

9.1.2 Bolig B

I denne bolig blev tæthedsmålingen udført for hele boligen undtagen kælder, altså med adgang til spidsloftrum (se figur 12), da kælderen ikke er opvarmet. I [G] er måleresultaterne angivet.



Figur 12 - Blowerdoor test, opstilling i bolig B

Den specifikke utæthed blev målt til $w_{50}=5,592 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$, som er luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen, etagedækket over kælder og kælder dør. Her er der også langt til BR10's krav på $1,5 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$.

9.2 Termografiundersøgelser

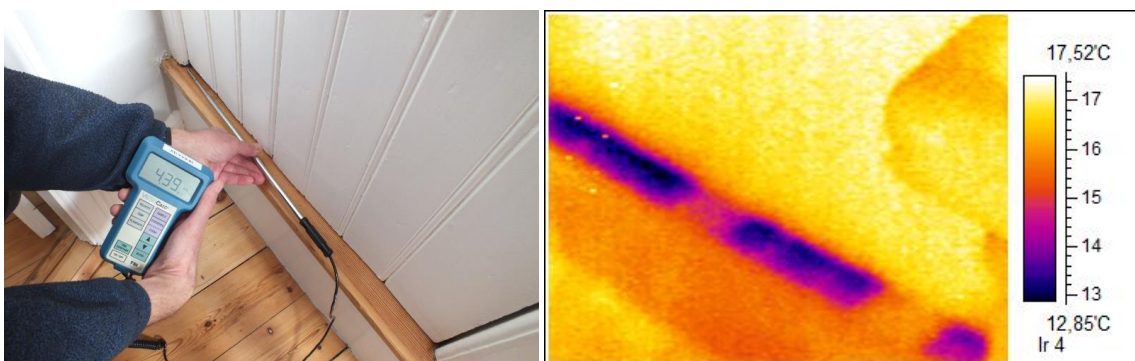
9.2.1 Bolig A

Konklusion af termografi undersøgelse

- Dør op til spidsloft er meget utæt
- Kuldebroer spottet på ydervæg i soveværelset på 2. sal
- Der er flere steder på badeværelset på 2. sal, opdaget utætheder ved samling mellem træ væggene og spidsspidsløftet.
- Utæt mellem rude og ramme på vindue i opbevarings rum på 1. sal mod syd.
- Utæt mellem vindueskarm og vindues hul, vindue mod syd på 2. sal

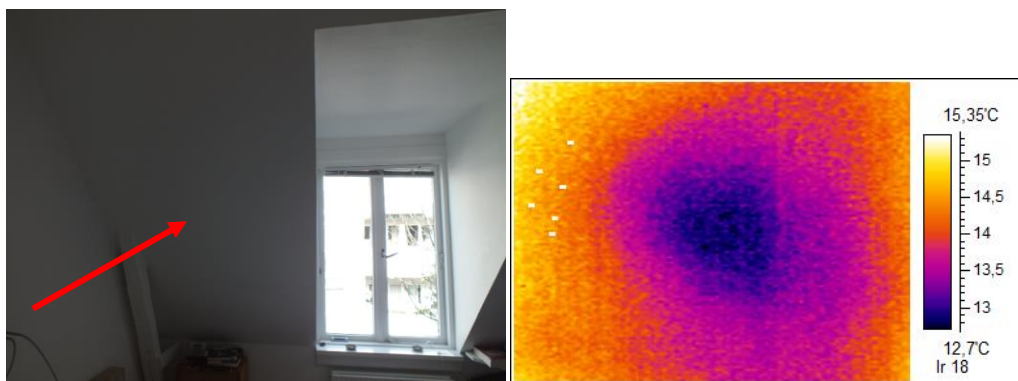
Generelt:

- Stort set alle vinduer er utætte. Specielt mellem ramme og karm.
Specielt vinduet til venstre i stuen mod syd. Her er der blevet målt luftstrømme på op til $7,44 \text{ m/s}$ (ved undertryk på 50 Pa).
- Utæt under vinduer ved gulvpanelerne.
- Utæt hvor synligt hanespær gennembryder spidsloft eller gulv.
- Stor temperatur forskel på ydervægge hvor skillevæg, ydervæg og spidsloft/etagedæk mødes.
- Dør og vinduer i kælderen er generelt meget utætte.
- Kolde ydervægge.



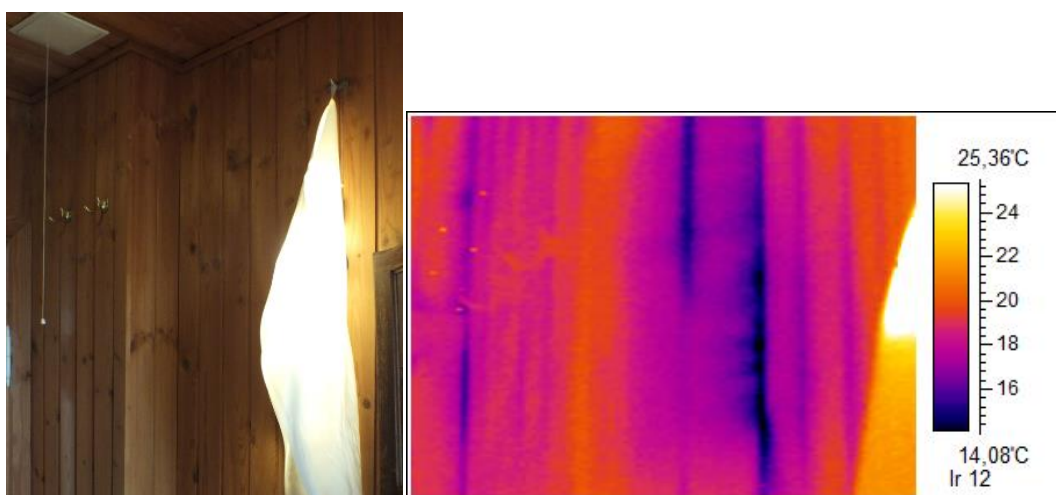
Figur 13 - Generelt utæt dør op til spidsloft, Bolig A

Døren op til spidsloft rummet slutter generelt ikke tæt, hvilket medfører store utætheder, som bekræftes af de målte luftstrømme.



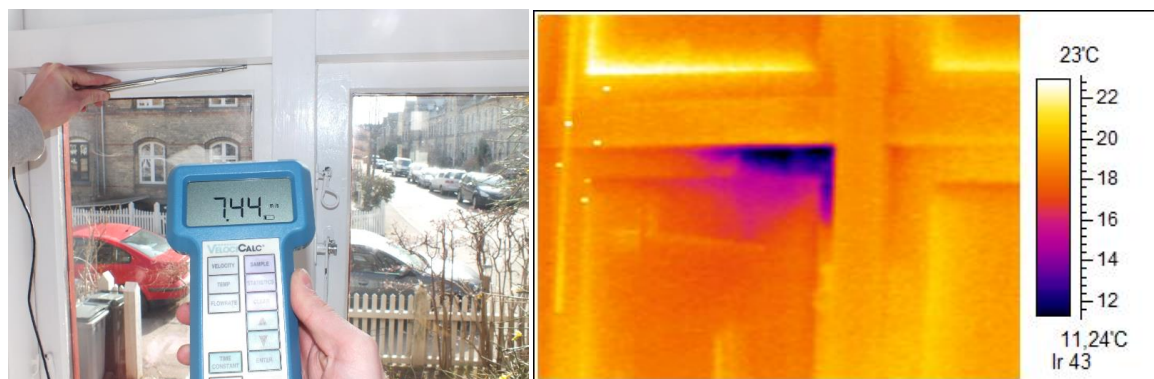
Figur 14 - Kuldebro på ydervæg mod nord, soveværelse 2. sal, Bolig A

På denne ydervæg ses en større kuldebro. Det skyldes nok manglende isolering på skråvæggen. Da der er efterisoleret.



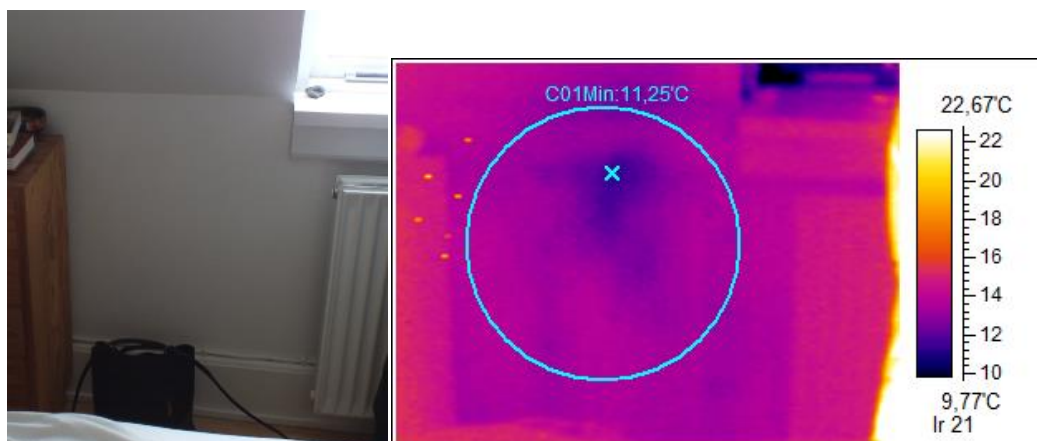
Figur 15 - Utæt samling, 2. sal badeværelse, Bolig A

På badeværelset på 2. sal kan der konstateres at mange af samlingerne mellem spidsloft og væg er utætte. Nogle steder pga. manglende liste. Som i tilfældet på figur 15 ses en stor utæthed i denne samling som støder op til en udluftningsskakt, grundet manglende tætning.



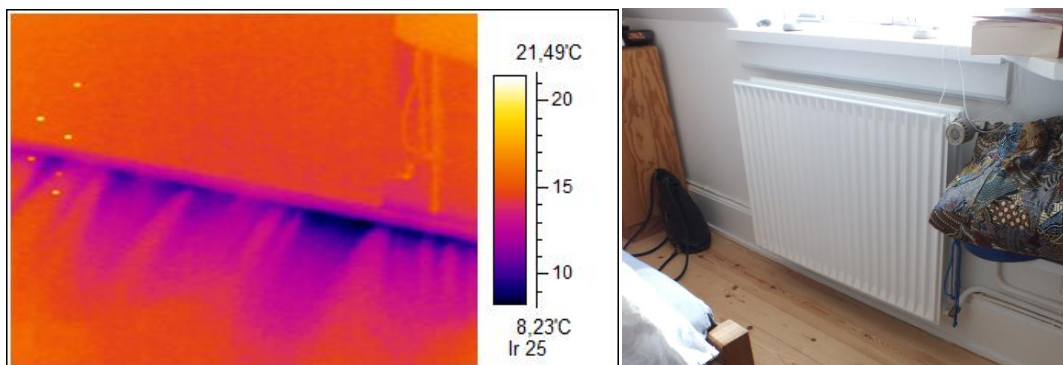
Figur 164 - Utæt vindue mellem ramme og karm, stuen vindue til venstre mod syd, Bolig A

På mange af vinduerne kunne det konstateres at der ikke sluttes tæt mellem ramme og karm, som det ses her. Denne utæthed medfører en luftstrøm på 2,46 m/s ved 10 Pa, som er langt over det den danske standard for termisk indeklima kræver, hvilket er 0,4 m/s lokalt, som så svarer til en luftstrøm på 0,15 m/s i opholdszonen. Dermed udgør dette formentlig en stor træk gene hvis man opholder sig nær vinduet.



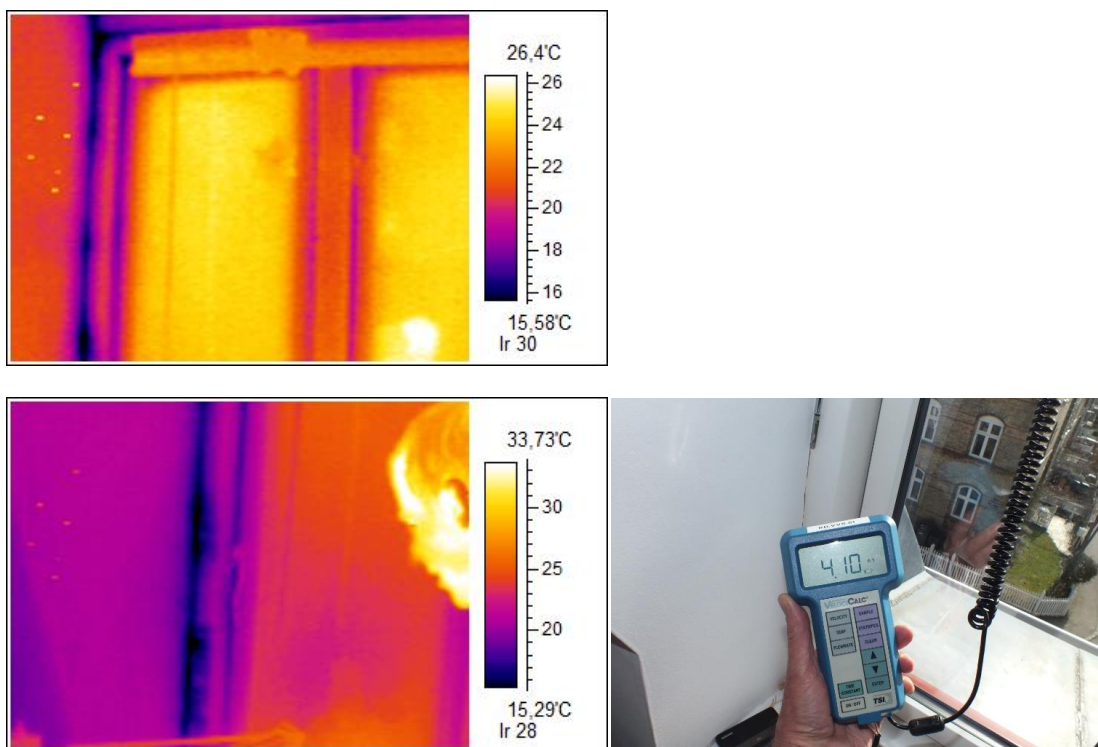
Figur 17 - Kold ydervæg mod nord, 2. sal soveværelse, Bolig A

Ydervæggen i boligen var præget af meget lave temperaturer. Specielt dem mod nord. Det var svært at vurdere ydervæggene mod syd, da de blev opvarmet af solen i forsøgsperioden. Men man må gå ud fra de har samme egenskaber. På figur 17 ovenover ses et eksempel på en kold ydervæg grundet manglende isolering. Det koldere område på væggen kunne være pga. slidte og hullede fuger i ydervæggen.



Figur 18 - Utæt ved fodpanel under vindue, 2. sal soveværelse mod nord, Bolig A

Under næsten alle vinduer, er der utætheder ved gulvet under fodpanelet. Det er her svært at komme med et fornuftigt bud på hvad utætheden skyldes, og hvorfor det kun gør sig gældende ved vinduerne. Der bør der derfor foretages yderligere undersøgelse for hvad dette kan skyldes, før en optimal forbedring kan foretages.



Figur 19 - Utæt mellem karm og vindueshul, vindue 2. sal mod syd, Bolig A

Her ses en stor utæthed mellem vindueskarmen og vindues hullet. Der er målt luftstrømme op til 4,1 m/s som ved normale forhold svarer til 1,35 m/s, hvilket kan skabe væsentlige træk gener, da man i dette tilfælde har et skrivebord placeret tæt på vinduet. Det kan skyldes at kalfatringsfugen er blevet beskadiget med tiden og derfor ikke slutter tæt.

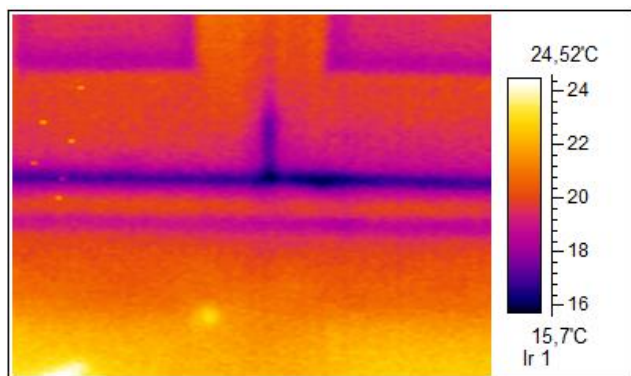
9.2.2 Bolig B

Konklusion af termografi undersøgelse

- Terrassedør slutter ikke tæt i bunden, ved samling mellem karm, ramme og ramme.
- På værelse mod nord på 1. sal, er der opserveret tegn på fugtskader.
- Der er opdaget utætheder mellem vindueskarm og vindues hul.
- Manglende renoveringsarbejde, så som montering af fliser i vindueskarmen på badeværelset.

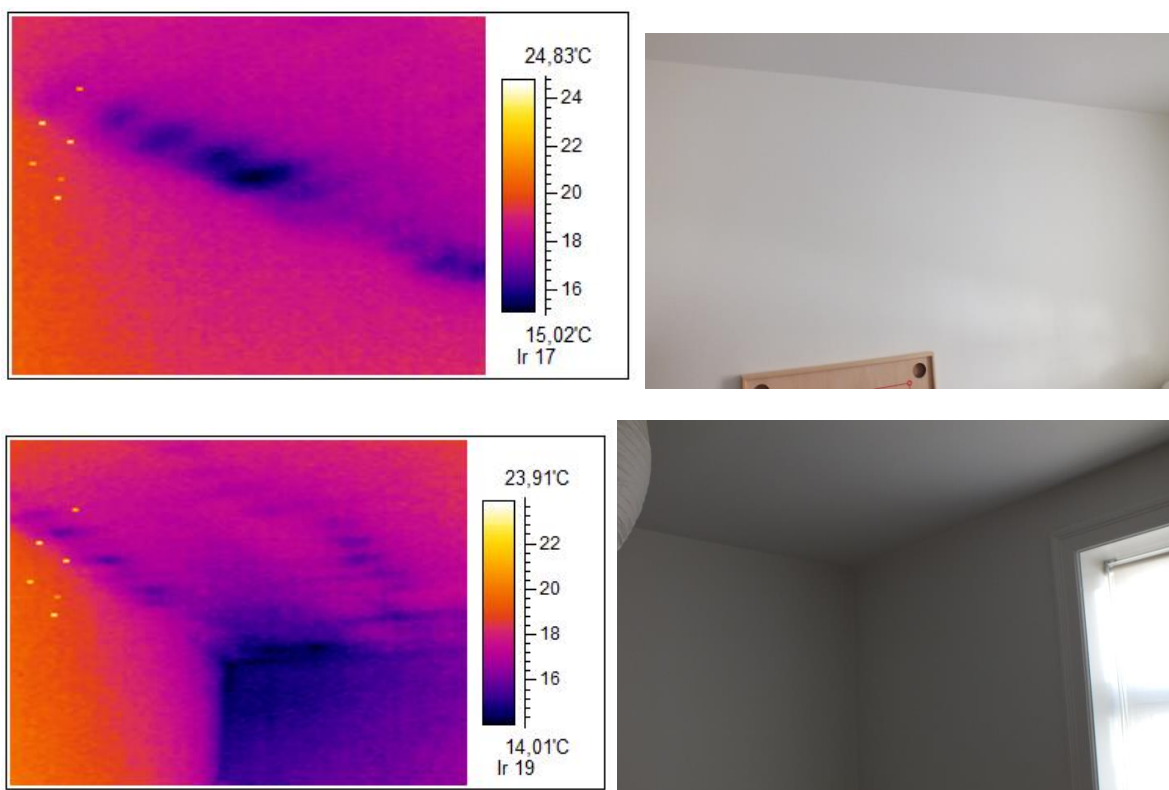
Generelt:

- Utæt under vinduer ved gulvpanelerne.
- Kolde ydervægge
- Utætte vinduer mellem ramme/karm
- Utæt hvor synligt hanespær gennembryder spidsloft eller gulv.
- Kuldebroer hvor ydervægge, skillevæg og etagedæk mødes.
- Kælder generelt kold.



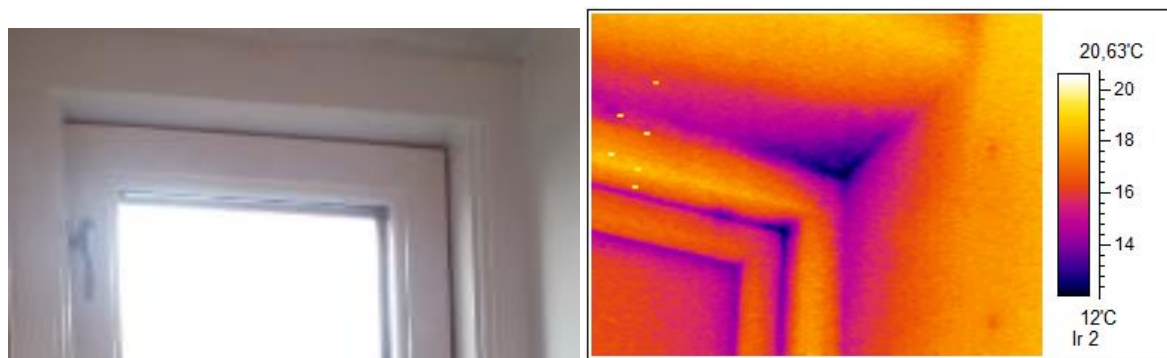
Figur 20 - Terrassedør slutter ikke tæt, Bolig B

Det ses her at terrassedøren ikke slutter tæt med dørkarmens bund. Der blev målt luftstrømme op til 5,15 m/s, som væsentligt overstiger 1,2 m/s.



Figur 21 - Eventuelle fugtskader registreret i værelse mod nord 1. sal, Bolig B

Dette kunne godt ligne tegn på fugtskader i etagedækket evt. i bjælkerne. Det kan muligvis skyldes at fugerne på ydervæggen er beskadiget og konstruktion derfor har optaget en masse fugt igennem de beskadigede fuger.



Figur 22 - Utæthed mellem vindues hul og karm, Bolig B

Her ses en tydelig utæthed mellem vindueshullet og karmen. Dette kan måske skyldes, at fugebåndet mellem vinduet og vindueshullet er beskadiget eller monteret forkert.

Ud over disse specifikke mangler, er fejlene stort set identiske med bolig A.

9.3 HOB0 Data

For at få et bedre indblik i indeklima forholdene i bolig A og B, opsættes dataloggere til at måle den relative fugtighed og temperatur over en periode. På baggrund af målingerne af temperatur og fugt forholdene, kan der vurderes hvorvidt indeklimaet er sundt og gunstigt for beboerne og boligen. Vurderingen af boligens indeklima, dannes ud fra det anbefalet relative fugt niveau på 30-50 %.

I Bolig A blev 5 dataloggerer sat op, til at måle i perioden d. 8.3 til d. 15.3. Dataloggerne blev placeret således, at kælderen og loftrummet blev målt. Ligeledes blev der målt i stueetagen, samt på 2 sal hvoraf der skulle forekomme aktivitet. For at have en reference til klimaet udenfor, blev en datalogger sat til at måle de udvendige forhold.

I bolig B blev der opsat 5 dataloggerer, til at måle i perioden fra d. 19.03 til d. 03.04. Dataloggerne blev placeret i kælderen, stueetagen, 2 sal, loftrummet og en udendørs. Ligesom bolig A, blev der sat dataloggere på hhv. stueetagen, 2 sal, kælderen, loftrummet og udendørs. Modsat bolig A, benytter beboerne i bolig B loftrummet, som hertil betragtes som værende et opvarmet rum.

For et bedre overblik af HOBO dataloggernes placering i hhv. bolig A og B, henvises der til [I.1] og [I.2]

9.3.1 Datamålinger:

Betragtes bolig A, vurderes indeklima forholdene ud fra Bilag [I.1].

Temperaturen i kælderen er stabil og forholder sig omkring 16 °C. og 32 % RF.

Vurderes loftrummet, sker der periodevis markante udsving fra ca. 5 °C til 23 °C. Loftrumets gennemsnitlige temperatur forholder sig omkring 9 °C og RF på 52 %. Her ses et sammenhæng mellem temperatur stigning falder den relative fugtighed på loftet.

Den gennemsnitlige temperatur og RF % for 2. sal, er hhv. 20 °C og 35 % RF. Betragtes Stue etagen observeres det en middel temperatur på 20 °C og 39 RF %.

Betragtes bolig B observeres der i kælderen [I.2] over måleperioden, at den gennemsnitlige temperatur er 14 °C. Under måleperioden forekommer der tre markante stigninger af den RF %, som kan skyldes at der er blevet vasket tøj, den relative fugtighed falder efterfølgende henover dagen ned til ca. 40 % RF.

På spidsloftet observeres varierende temperatur, som har sit maksimum ved middag på omkring 26 °C, hvoraf den relative fugtighed falder som følge af temperatur stigningen. Den relative fugtighed er i gennemsnit omkring på 28 % RF.

På 2. sal er temperaturen forholdsvis stabil omkring de 20 °C hvoraf den gennemsnitlige relative fugtighed er på 36 % RF. Betragtes stuen forholder temperaturen sig gennemsnitlig på 23 °C, og en RF på 33 %.

Der vurderes umiddelbar ingen fareindikationer, dog observeres der forholdsvis store udsving af temperatur og relativ fugtighed ved bolig A på spidsloftet, som kan tyde på utætheder.

10 Be10

Beregningsprogrammet Be10 anvendes til, at beregne bygningens energibehov i relation til bygningsreglementets energibestemmelser. Be10 beregner varmebehovet iht. DS/EN ISO 13790 (2008, 2. Udgave) – *Bygningers energieffektivitet – beregning af energiforbrug til rumopvarmning og køling*. Transmissionsarealerne til Be10 er bestemt i overensstemmelse med DS 418. Den anvendte infiltration for beregning af energirammen, beregnes ud fra måleresultaterne fra Blowerdoor testen.

11 Løsningsforslag

Da boligernes tilstand er blevet undersøgt for begge boliger vha. blowerdoor test, er der for bolig B også udarbejdet beregninger af vinduernes nuværende tilstand og besparelser ved energiforbedring. Skemaer med resultater hertil findes i [B].

Løsningsforslagene er foretaget som sagt ud fra reference boligen.

11.1 Etagedæk

Varmetabet gennem etageadskillelsen mellem 2.sal og spidsloft beregnes vha. Be10. Der skal i denne sammenhæng beregnes en samlet U-værdi for etageadskillelsen. Dette gøres vha. [7], hvoraf beregninger og løsning fremgår af tabel 3 og 4. Etagedækket er opbygget som nævnt tidligere i afsnit 7.2.3, med 30 mm gulvbrædder, 40 mm lufthulrum, 50 mm lerindskud, 20 mm indskudsbrædder, 90 mm hulrum, 20 mm forskallingsbrædder, 5 mm puds. Det antages at der er 6 bærende bjælker som har dimensionerne 200x200 mm. U-værdien for etagedækket findes først ved at bestemme U-værdien gennem dækket ved bjælker og der hvor der ikke er bjælker vha. formel (F2) [7]. Herefter regnes en samlet U-værdi ud fra de fundne U-værdier og forholdet mellem de tilhørende arealer(F3).

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{gulvbrædder} + R_{indskudsbrædder} + R_{forskalling} + R_{puds}} \quad (F2)$$

$$U_{samlet} = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + \dots + U_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (F3)$$

I tabel 4 ses den beregnede U-værdi til indtastning i Be10 for etagedækket mellem 2. sal og spidsloft. Først bestemmes overgangsisolanserne, se tabel 3.

Tabel 3 - Overgangsisolanser for de forskellige lag i etagedækket, reference bolig

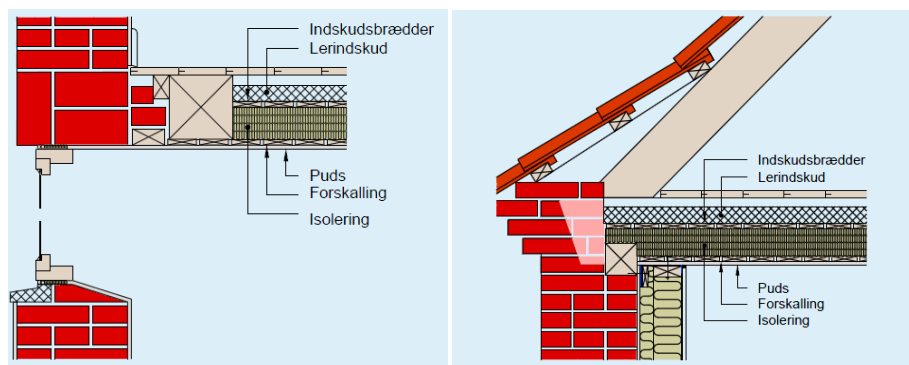
	d	λ	R
	Tykkelse [m]	U-værdi W/mK	Overgangsisolans m ² K/W
træ, gulv	0,03	0,024	1,25
luft lag1	0,04	0,024	1,666666667
ler	0,05	1,5	0,033333333
træ, ind	0,02	0,15	0,133333333
luftlag2	0,09	0,024	3,75
Forskalling	0,02	0,125	0,16
puds	0,005	0,025	0,2
bjælker	0,2	0,15	1,333333333
R _{Si, kælder-stue}			0,17
R _{Se, kælder-stue}			0,04
R _{Si, 2.sal-spidsloft}			0,1
R _{Se, 2.sal-spidsloft}			0,04

Tabel 4 - U-værdier for etagedæk mellem 2. sal - spidsloft, reference bolig

Etageadskillelse		$\sum_{i=1}^n R_i$	U	A	U _{Samlet}
mellem	uden bjælker	m ² K/W	W/m ² K	m ²	W/m ² K
2.sal - spidsloft	kun bjælker	1,90	0,49	15,48	0,459
	uden bjælker	2,75	0,35	4,13	

Tiltag

Der efterisoleres med indblæsningsisolering i hulrummet under indskudsbrædderne jf. vejledning fra [25]. På figur 23 ses princippet.



Figur 23 - Isolering af etageadskillelsen over kælder (tv.) og under spidsloft (th.) ved indblæsning af isolering i hulrum under lerindskud

U-værdien for den isolerede etageadskillelse beregnes nu for det isolerede etagedæk. Isoleringen der indblæses i hulrummet under indskudsbrædderne har en designvarmeledningsevne $\lambda=0,036$. dermed bliver $R_{\text{isolering}} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, se tabel 5 for U-værdi.

Tabel 5 - U-værdier efter efterisolering af hulrum under indskudsbrædder for etagedæk mellem 2. sal - spidsloft

Etageadskillelse		$\sum_{i=1}^n R_i$	U	A	U _{Samlet}
		$\text{m}^2\text{K/W}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	m^2	$\text{W/m}^2\text{K}$
mellem	uden bjælker				
2.sal-spidsloft	kun bjælker	4,24	0,23	15,48	0,253
	uden bjælker	2,75	0,35	4,13	

11.2 Spidsloft

U – værdierne gennem tagkonstruktionen beregnes i dette afsnit til indsættelse i Be10. Dette gøres på samme måde som i afsnit 6.3.1 for etagedækket[7]. Tagkonstruktionen er opbygget som beskrevet i afsnit 8.2.4. Der regnes først U-værdier for 4 områder i konstruktion hvor lagene varierer i forhold til hinanden. Derefter beregnes et samlet transmissionstab, hvorfor den samlede U-værdi for hele tagfladen kan bestemmes. Der er taget højde for vinduer som gennembryder lagene og disse arealer er derfor trukket fra. Ud fra dette er den samlede U-værdi blevet beregnet. Skemaerne fremgår i bilag [B].

Hvis man ønsker at benytte spidsspidsloftet som opholdsrum, bør det efterisoleres som ved Bolig B, se afsnit 8.2.4 eller ifølge byggeri og energis vejledninger til efterisolering af skråvægge [32].

11.2.1.1 Bolig A

Skråvæg på spidsloft

I dette tilfælde er spidslofttrummet uisolaret og U-værdien for tagkonstruktionen er blevet beregnet til $U=6,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. [B.1]

Skråvæg på 2. sal

Her er skråvæggen efterisolaret med 150 mm isolering, se afsnit 5.2.4. Den beregnede U-værdi er $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. [B.2]

11.2.1.2 Bolig B

Skråvæg på spidsloft

I dette tilfælde er spidslofttrummet efterisolaret og U-værdien for tagkonstruktionen er blevet beregnet til $U=0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$. [B.3]

Skråvæg på 2. sal

Her er der ikke efterisolaret, se afsnit 5.2.4. Den beregnede U-værdi er $U = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. [B.4]

11.3 Kælder

Til Be10 skal U-værdien for kældervæggene og betondækket beregnes. Dette gøres vha. [7] side 3. Væg konstruktionerne i kælderen er 480 mm tyk og betondækket er 100 mm tyk. U-værdien for væggen og dækket er beregnet og ses i tabel 6.

Tabel 6 - Beregning af U-værdier for kældervægge og kælderdek

Beregning af U-værdi						
Materiale		d	λ	R	R _m	U
		[m]	W/mK	m ² K/W	m ² K/W	W/m ² K
Ydervæg	Tegl	0,48	0,6	0,8	0,814286	0,695272
Kælderdek	Beton	0,1	1,5	0,066667	0,066667	0,447094
	Puds	0,01	0,7	0,014286	-	-
R _{Sj, vandret}		0,13 m ² K/W				
R _{Sj, nedad}		0,17 m ² K/W				
R _{Sj, indtil 2 meter}		0,494 m ² K/W				
R _{Sj, dybere end 2 meter}		2 m ² K/W				

11.4 Tætning

Ved undersøgelse af boligernes tæthed vha. af blowerdoor test og termografering, kunne det konstateres at der flere steder var store utætheder. Der beskrives herunder forskellige forbedringsforslag til udbedring af utæthederne.

11.4.1 Utætheder omkring vindueskarm

I flere tilfælde kunne der konstateres utætheder imellem vinduesrammen og vindueshullet. For bolig A var et særligt slemt tilfælde, hvor der blev målt lufthastigheder op til 4,1 m/s ved 50 Pa trykforskel, se figur 19. Dette skyldes nok at man før i tiden udførte tætningen med kalfatringsfuger, som skete ved at man stoppede hulrummet med værk (hørfibre) og tætnede med mørtelfuger på yder-og indersiden. I og med træ udvider og trækker sig sammen, kan det have været med til at forringe fugens holdbarhed, da mørtelen ikke på samme måde kan følge bevægelserne mellem materialerne i facaden. Det er derfor nødvendigt at reetablere kalfatringsfugen og isolere mellemrummet med isolering, eller også kan der fx monteres fugebånd i stedet for, som følger facadens bevægelser og derfor er bedre egnet. For bolig B, hvor det er nye vinduer, er der sandsynlighed for at de er tætnet med fugebånd. Der kan i så fald, i tilfælde af denne omtalte form for utæthed, anbefales at kontrollere om fugebåndet slutter tæt og er monteret korrekt.

11.4.2 Utætheder ved gulv og fodpaneler under vinduer

Som sagt er det svært at komme med en forklaring på hvad disse utætheder skyldes og hvorfor det netop er særlig slemt under vinduerne. Den kolde ude luft må jo komme udefra gå igennem konstruktionen. Normalt kunne sådanne utætheder være tegn på ødelagte fuger mellem murstenene, som muliggør den kolde luft at trænge gennem konstruktionen. Da utæthederne optræder de samme steder, kan det næsten ikke være det der skyldes. Der bør derfor foretages en nærmere undersøgelse af konstruktion ved de pågældende steder. I Bolig B har man isoleret etagedækket mellem stuen og 1. sal, hvor der ved termografiundersøgelsen kunne konstateres at disse utætheder ikke optræder her. En mulig løsning kunne derfor være at isolere dækket ved ydervæggen. Som sagt bør der alligevel undersøges hvad utæthederne skyldes.

11.4.3 Utætheder ved genbrydninger i konstruktion og samlinger

Badeværelset på 2. sal i bolig A, hvor vægge og lofter er beklædt med træ, viser tydeligt at der ingen dampspærre er, hvorfor der opstår disse store utætheder. Det bør derfor overvejes om der skal monteres en tæt dampspærre, fx jf. [24]. Dengang boligerne blev bygget var dampspærren ikke opfundet. Pudsens fungerede dengang som en form for dampspærre der kunne blokere for luft gennemstrømmen.

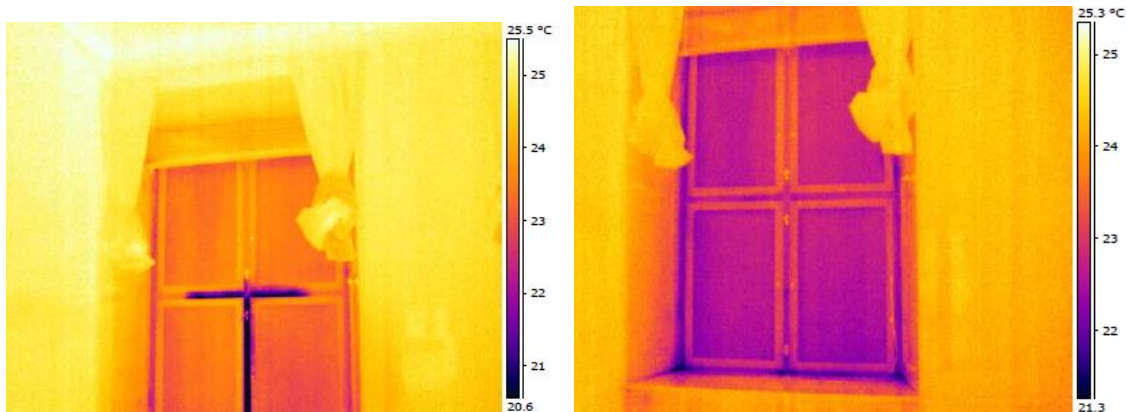
Ved gennembrydninger af fx hanespær i spidsloft eller gulv, bør der isoleres omkring. Alternativt kan der benyttes fugemasse, til en afsluttende tætning. Det bør være en fugemasse der kan bruges til de pågældende materialer, se evt. [23].

11.4.4 Utætheder mellem ramme og karm i vinduerne

I forbindelse med blowerdoor rapporten kunne det som sagt konstateres at, der i mange tilfælde var utæt mellem ramme og karm i vinduerne. Dette skyldes vinduet ikke lukker helt tæt.

11.4.4.1 Juster ramme

I visse situationer kan utæthederne skyldes rammen sidder skævt i karmen. Man kan være heldig at udbedre utætheden ved at justere rammen. Det er dog svært efterfølgende at kontrollere om utætheden er forsvundet. Men hvis der udføres termografisk undersøgelse af boligen, kan man på denne måde kontrollere dette efterfølgende. Figur 24 nedenunder viser en væsentlig udbedring af en sådan en utæthed, ved justering af rammen. Figuren er fra en rapport udleveret af Lars Due fra Isolink.



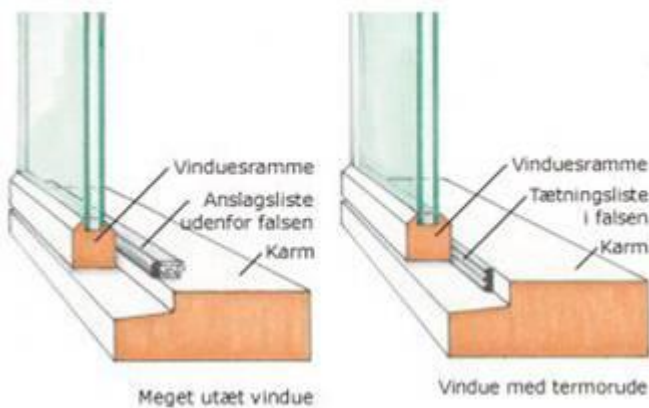
Figur 245 - Eksempel på udbedring af utæthed mellem ramme og karm ved justering af vinduet

Det ses tydeligt her, at afkølingen ved rammens lukninger er forsvundet og det kan efterfølgende konstateres at vinduet er tæt.

11.4.4.2 Tætningslister

Det er en god ide, at kontrollere om tætningslisterne mellem ramme og karm har behov for fornyelse. Typiske fejl kan være at listerne er monteret forkert, de er af en forkert type eller de kan have taget skade og fx er revnet eller har revet sig løs.

Tætningslisterne kan enten side indvendig i falsen eller på den indvendige karm så den støder op til rammen. Der opnås dog det bedste resultat ved at placere den i falsen, som vist på figur 25 til højre.



Figur 25 - Placering af tætningsliste

Hvis vinduet har en forsatsramme eller en koblet ramme skal tætningslisten side på disses indvendige side. Den må ikke placeres på det yderste lag glas inderside, da det som nævnt tidligere kan skabe kondens på indersiden af ruden pga. manglede ventilation. En monteringsvejledning til tætningslister kan ses her [21].

11.5 Ydervægge

11.5.1 Indeklima

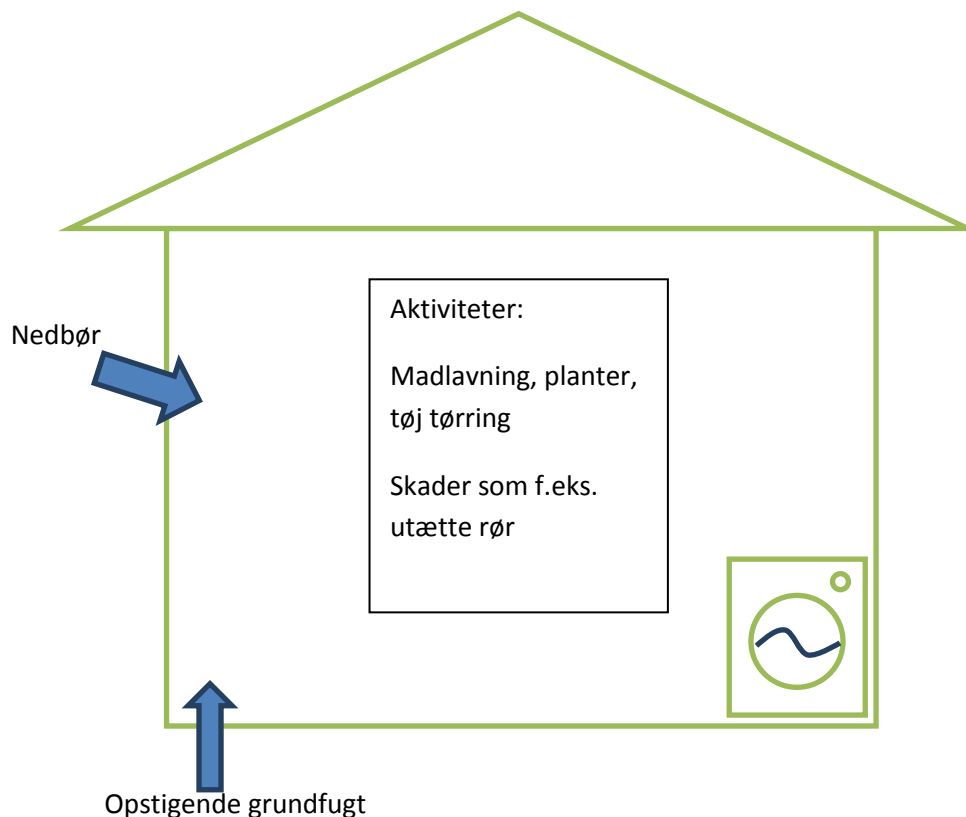
Nu til dags opholder folk sig indendørs meget af tiden, derfor er det vigtigt med et sundt indeklima. Opholder man sig i en bygning med dårligt indeklima, kan der hos mennesker, især hos følsomme personer, opstå symptomer i varierende grad, iblandt andet i form af irriterede slimhinder, hovedpine, træthed samt koncentrationsbesvær [33]. Udover de påvirkninger vi ser hos mennesker, er også bygningen udsat. Dette giver sig til udtryk i form af skimmelsvampsvækst eller råd i konstruktionskomponenterne. Et dårligt eller dissideret skadeligt indendørs miljø, kan opstå som følge af fejl eller skader på bygningen. Et øget fugtniveau skyldes ikke udelukkende fejl som utætte rør eller vandinstallationer, men fugten kan også kondensere på kolde overflader, som især ses hos ældre bygninger, pga. af dårlig isolering. Dårligt indeklima kan også forekomme i nyere og tætte boliger, da brugeradfærden spiller en væsentlig rolle, her har vaner og aktiviteter som f.eks. madlavning, badning og sjælden udluftning stor betydning.

11.5.2 Fugt

Luftfugtigheden indendørs kan variere en del afhængig af årstiderne, da udeklimaet vil påvirke den relative fugtighed indendørs. Den relative fugtighed bør normalt være imellem 30 – 50 %, og balancen af denne er vigtig, da en forhøjet luftfugtighed inden døre kan give ubehagelige virkninger, som bl.a. at fremme væksten af husstøvmider og skimmelsvampe. Hvorimod for lav relativ fugtighed ligeledes kan føre til irritation som følge af den tørhed der vil forekomme her. [33]

11.5.3 Fugtkilder

For bedre at kunne imødegå høj fugtighed i et indendørsmiljø, er det vigtigt at have en forståelse af hvor fugten kan komme fra. Nedenstående figur illustrerer mulige fugtkilder.



11.5.4 Skimmelsvamp

Væksten af skimmelsvamp kan variere fra dage til måneder, og afhænger af en række faktorer:

1. Høj relativ luftfugtighed på materialets overflade, 75 % RF vurderes som værende det kritiske fugtindhold.
2. Mængden af tilgængelig næring i form af f.eks. papir, pap og træspåner.
3. Temperaturen (her kan væksten af skimmelsvamp forekomme i flere intervaller, dog er væksten størst omkring 20-30 °C, mens temperaturer over 50 °C og under 0 °C har modsatte effekt og ingen vækst forekommer.)

11.5.5 Råd og trænedbrydende svampe

Organiske byggematerialer som træ, vil i tilfælde af høj fugtighed være udsatte for trænedbrydende svampe eller råd. Udviklingen af en rådskaide foregår langsomt, væksthastigheden løber over alt fra 3 måneder til flere år [34]. Det kritiske fugtindhold for træ, som ikke er angrebet tidligere, er 20 % hvilket svarer til 87 % RF. Derimod for tidligere angrebet træ er, det kritiske fugtindhold kun 15 %, svarende til 73 % RF.

Nedenstående tabel angiver kritiske relative fugtigheder for vækst af skimmel på forskellige materialer [35].

Tabel 7- Eksperimentelt bestemte kritisk relativ fugtighed for vækst af skimmel på overfladen af byggematerialer [35] ved lang tidspåvirkning ved 20 °C

Materiale	Kritiske RF for svampevækst [%]
Træ og træbaserede materialer	75 - 80
Karton på gipskartonplader	80 – 85
Mineraluld	90 – 95
Ekspanderet polystyren (EPS)	90 – 95
Beton	90 – 95
Forurenede materialer	75 - 80

I tabel 7, angives den kritisk RF for skimmelvækst, for alle ikke-organiske materialer til 90-95 % RF. Da Ytong multipor og pudset er mineralske materialer, vurderes det at have tilsvarende kritisk RF %.

11.5.6 Fordele og ulemper ved efterisolering af ydervæg

Det kan ved første øjekast virke meget fornuftigt, at efterisolere væggen for at opnå en energibesparelse. Efterisoleringen af ydervæggen kan foregå på to måde, ved enten indvendig- eller udvendig efterisolering. Da bygningen er bevaringsværdig og skal bibeholde de arkitektoniske værdier, er udvendig efterisolering ikke tilladt.

Eksempler på fordelene ved indvendig efterisolering er:

- Oprindelige udseende bibeholdes.
- Reducering af varmetab.
- Økonomisk gevinst ved lavere varmeregning.
- Indvendig væg overflader bliver varmere, herved reduceres risikoen for vækst af skimmel-svamp.

Mulige ulemper ved indvendig efterisolering:

- Sænkning af væg temperatur med risiko for kondensering i ydervægskonstruktionen.
- Reduceret nettoareal.
- Installationer og radiatorer skal flyttes hvis de er placeret ved ydervæggen.
- Gennembrydning af den indvendige isolering af f.eks. dæk eller vægge, vil kuldebroer opstå.

Det er vigtigt, at tage stilling til materialevalget ved efterisolering af ydervæggene. Der er ved ældre murværk er risiko indtrængende fugt, som følge af slagregn. Væggen udsættes endvidere for fugtig inde luft. I forbindelse med undersøgelse af boliger med massivt murværk, ville det være optimalt, at finde en løsning uden brugen af dampspærre, for at optimere udtørring af konstruktionen. Herved mindskes risiciene for fugt ophobning, ved fejlagtig udførelse eller gennemboring af dampspærren.

Alternativt kan der benyttes et kapillæraktivt materiale, som kan lede fugten fra murværket, så der ikke sker en ophobning af fugt i konstruktionen. Et fordelagtigt alternativt materialevalg til indvendig efterisolering, er f.eks. isolering med kapillæraktive Ytong multipor isoleringsplader. Ved montage af Ytong multipor isoleringsplader anvendes en diffusionsåben klæbemørtel, hvor der ikke benyttes dampspærre.

Som følge af indvendig efterisolering, sker en temperaturnedsænkning af den eksisterende ydermur, som kan medføre problemer for træbjælkeenden i etageadskillelsen, pga. den lavere temperatur og højere relativ fugt. Det er derfor vigtigt, at efterisolering sker med omtanke, hvor den nuværende tilstand af bygningen undersøges og vurderes.

11.5.7 Imprægnering

For at forebygge opfugtningen af ydervæggen, som følge af slagregn, er imprægnering en mulighed. Herved dannes en vandafvisende overflade, endvidere er det vigtigt at det anvendte materiale til imprægnering er diffusionsåbent, så fugten kan fordampe ud af konstruktionen.

11.5.8 Løsningsforslag til indvendig efterisolering af ydervæg

Der undersøges 3 alternative konstruktionsopbygninger for efterisoleringen af den eksisterende ydervæg. Den eksisterende ydervæg består af 380 mm massivt murværk og 10 mm indvendigt puds-lag af kalkmørtel. Konstruktionsopbygninger vil blive refereret til som værende hhv. løsningsforslag A, B og C. Fælles for løsningsforslag A og C er anvendelsen af isoleringsmaterialet Ytong Multipor, hvor der simuleres ved tre forskellige isoleringstykkelser.

Model A: Efterisolering med Multipor montage iht. Producentens anvisning[38]

- 380 mm massivt murværk
- 10 mm indvendig puds af kalkmørtel
- 5 mm Multipor grundpuds
- 50/100/200 mm Ytong Multipor
- 10 mm Multipor grundpuds (med armeringsvæv)
- Silikatmaling

Model B: Efterisolering med mineraluld og dampspærre:

- 380 mm massivt murværk
- 10 mm indvendig puds af kalkmørtel
- 100 mm Mineraluld
- 1 mm Dampspærre
- 13 mm Gips
- Maling

Model C: Efterisolering med Multipor, dog anvendes anden isolering materiale 300 mm over og under etageadskillelsen:

- 380 mm massivt murværk
- 10 mm indvendig puds af kalkmørtel
- 5 mm Multipor grundpuds
- 50/100/200 mm af hhv. Ytong Multipor og porebeton
- 10 mm Multipor grundpuds (med armeringsvæv)
- Silikatmaling

11.5.9 Simuleringer

11.5.9.1 Termiske simuleringer

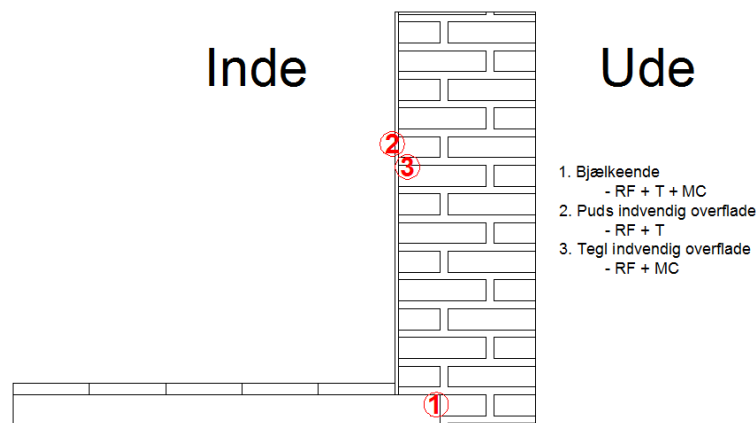
Beregning af varmetabet i konstruktionerne, benyttes programmet HEAT2, som kan beregne 2-dimensionel varmeoverførelse i konstruktionen ved varierende forhold samt ved stationær tilstand. Til vurdering af løsningsforslagene for ydervæggen, beregnes kuldebroen mellem etageadskillelsen og den tilstødende ydervæg med HEAT2. HEAT2 beregner kuldebroen iht. EN ISO 10211, hvoraf de forskellige løsningsforslag A og C sammenlignes i forhold til varmetabet. Ved simuleringerne opbygges konstruktionen som angivet for løsningsforslag, hvor af den tilstødende massive mur, er både 1 m under og over etageadskillelsen, iht. EN ISO 10211.

11.5.9.2 Hygrotermiske simuleringer

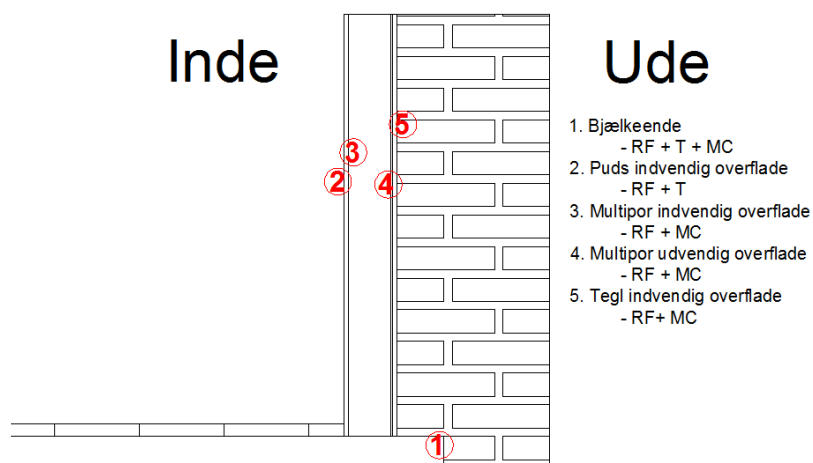
Til beregning og simulering af de hygrotermiske forhold ved bjælkeenden i ydervægskonstruktionen, benyttes programmet WUFI® 2d 3.3. Dette program beregner 2-dimensionelt fugt- og temperaturudvikling i bygningskonstruktioner, med indflydelse fra inde- og udeklima.

Orienteringen af ydervæggen vil i simuleringerne være sydvest vendt, for at udsætte konstruktionen for den størst mulige belastning af slagregn. Endvidere undersøges konstruktionen med forskellig regn reduktions faktorer (RRF) af hhv. 0.1 og 0.5, som er en måde at reducere slagregnen på ydervæggen. Ved at variere regn reduktions faktoren i simuleringerne, undersøges indflydelsen af slagregnen på konstruktionen. Reduceringen af slagregn i simuleringen, vil give et indblik i effekten af tiltag som imprægnering af ydervæggens ydre. Der vil endvidere foretages en simulering på enkelte modeller, med et højt fugtbelastnings niveau for de indvendige flader. Dette kan herved give et indblik i påvirkningen af ydervægskonstruktionen, ved høj relativ fugt indenfor.

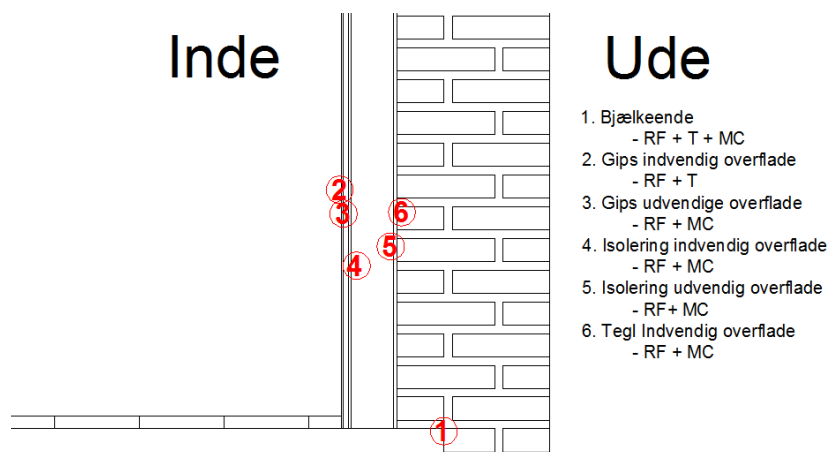
Simuleringsresultaterne af løsningsforslagene, vil have fokus på bjælkeenden i murværket, for risikoen af grobund for råd. Risikoen for skimmelvækst ved efterisolering, vurderes i sammenhæng med simuleringerne. Målingspunkterne for simuleringsmodellerne er illustreret på figur 24-27, hvoraf den relative fugtighed betegnes "RF", temperatur "T" og % -vandindhold i massen "WC". Resultaterne fra simuleringerne opstilles i grafer, hvor abscissen angives i antal timer, hvoraf ordinataksen i venstre side angives som den relative fugtighed i %. På ordinataksen i højre side angives enten temperatur i °C eller vandindhold i masse- %. Graferne vil for løsningsforslag A, B og C blive kaldt for hhv. Model A, B og C.



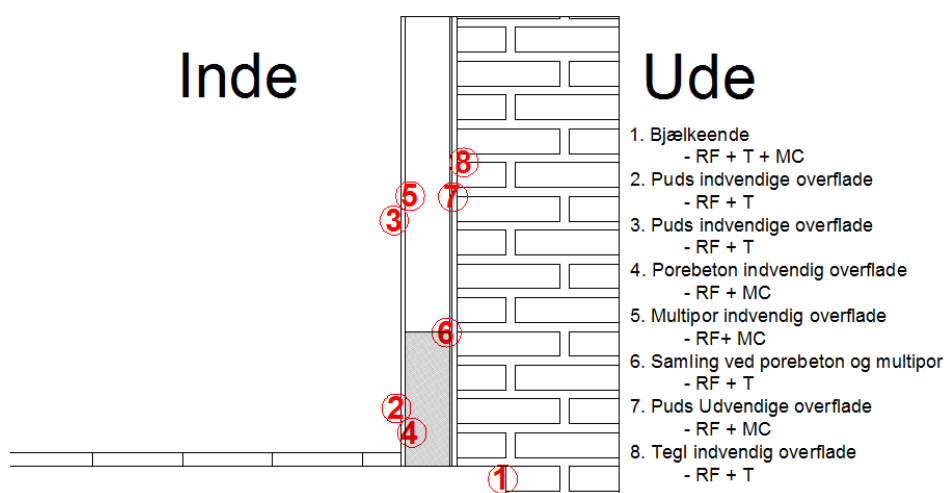
Figur 24 – Punkter for målinger af den eksisterende konstruktion



Figur 25 – Punkter for målinger af løsningsforslag A



Figur 26 – Punkter for måling af løsningsforslag B



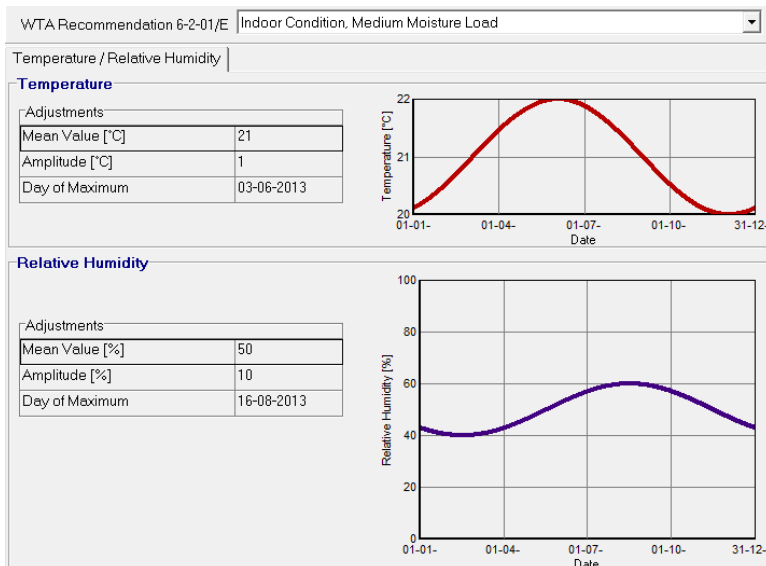
Figur 27 – Punkter for målinger af løsningsforslag C

11.5.10 Forudsætninger og randbetingelser.

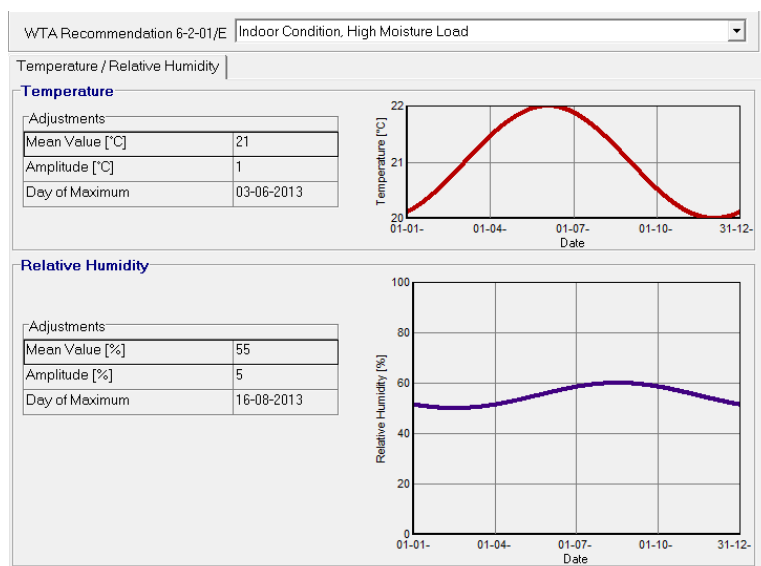
Grundet manglende klimadata for Danmark benyttes i stedet data for Bremerhaven, Tyskland, som randbetingelserne for udeklimaet i simuleringerne. Vejrforholdene i Bremerhaven minder tilnærmelsesvis de danske forhold. På figur 30 kan det ses, at den kritiske orientering for slagregn er sydvest.

Det forudsættes at der i den eksisterende mur, ikke forekommer revner eller skader, som kan forårsage fugtphobninger i konstruktionen. Materialernes fugtindhold sættes som udgangspunkt til 80 %, herved kan en evt. udtørring eller opfugtning følges. Simuleringsperioden i WUFI 2d vil være over en periode af 5 år, hvor alle simuleringerne altid starter d. 1. oktober.

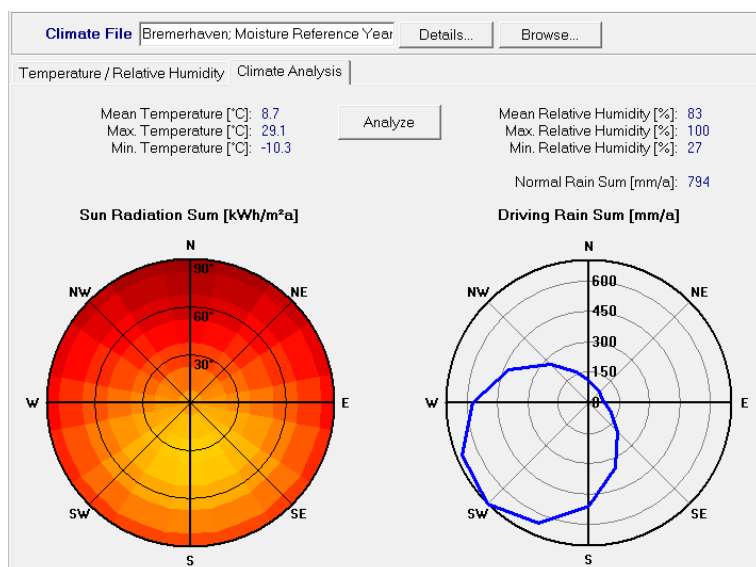
For de hygrotermiske simuleringerne anvendes nedenstående indeklima profil, figur 28 for de indvendige flader. Indeklimaet illustrerer forholdene ved middel fugtbelastning i boligen. Indeklimaprofilen har regelmæssige udsving i både temperatur og luftfugtighed, som illustrerer døgn driftssituationen i en bolig, med en gennemsnitlig temperatur og luftfugtighed på hhv. 21 °C og 50 %. Ved undersøgelse af indeklimaet indvirkning på konstruktionen, benyttes indeklima profil for høj fugtbelastning for de indvendige overflader, se figur 29. Den gennemsnitlige relative fugtighed og temperatur er 55 % RF og 21 °C.



Figur 28 - Indeklima profil fra WUFI 2d, middel fugtbelastning



Figur 69 - Indeklima profil fra WUFI 2d, høj fugtbelastning



Figur 70 - Vejrdata for Bremerhaven, Tyskland, fra databasen i WUFI 2d.

Den indvendige overflade for løsningsforslag A og C males med silikatmaling, som er diffusionsåben. I WUFI 2d angives diffusionsåbenheden af den indvendige overflade med faktoren S_d . Diffusionsmodstanden for silikatmaling findes i SBI-anvisning 224 Tabel 30, som værende $1 \text{ GPa m}^2/\text{s/kg}$, S_d -værdien kan herved omregnes ved formel (F4):

$$S_d = Z \cdot 0,176 = 0,2 \text{ (F4)}$$

For pudsbehandlingen med silikatmaling angives diffusionsåbenheden i WUFI som værende $S_d=0,2$.

Transmissionskoefficienterne for overflader til konstruktionerne er defineret iht. DS 418, og kan ses i tabel 8.

Tabel 8 - Transmissionskoefficienter til simuleringerne

	Varmestrømmens retning		
	Opad [W/m ² K]	Vandret [W/m ² K]	Nedad [W/m ² K]
Indvendig overflade	10	8	6
Udvendig overflade	25	25	25

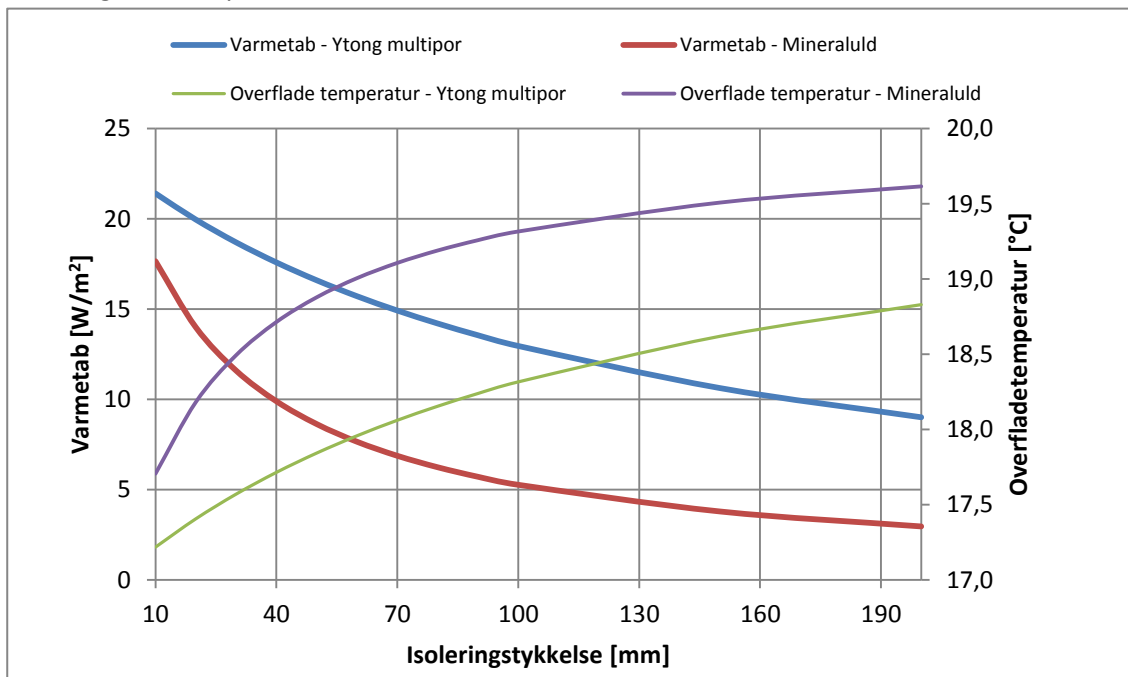
De anvendte materialedata er fra databasen i WUFI 2d, er angivet i nedenstående tabel:

Tabel 9 - Materialedata fra WUFI database

	Enhed	Ytong Multipor	Ytong Multipor Adhesive	Lime pla- ster (kalk- mørtel)	Mursten	Spruce (træ)	Porebeton	Gipsplade	Dampspærre (sd=100m)	Isover isolering
Densitet	[kg/m ³]	115	833	1600	1900	455	600	850	130	32,5
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0,96	0,686	0,3	0,24	0,73	0,72	0,65	0,001	0,95
Specifik varme ka- pacitet	[J/kgK]	850	850	850	850	1500	850	850	2300	840
Termisk varmeled- nings evne	[W/mK]	0,042	0,155	0,70	0,60	0,09	0,14	0,20	2,30	0,03
Vanddamps diffusi- onsmodstand, u	[-]	4,1	15,1	7	10	130	8,3	8,3	100000	1
Specifik Volume kapacitet	[MJ/m ³ K]	0,10	0,71	1,36	1,62	0,68	0,51	0,72	0,30	0,03

11.5.11 Resultater

U-værdien for den eksisterende væg er $1,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ved efterisolering af ydervæggen med Ytong Multipor bliver U-værdien hhv. $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ved 50 mm.), $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ved 100mm.) og $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ved 200mm.). U-værdien ved efterisolering med mineraluld samt gips og dampspærre, bliver $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ved 100mm.). Nedenstående graf illustrerer redueringen af varmetabet og forøgelsen af overfladetemperaturen som funktion af isoleringstykkelse, beregnet iht. Glaser metoden fra SBI-anvisning 224, ved ude temperatur på $-1,1^\circ\text{C}$ og inde temperatur af 20°C .



Figur 31 - Varmetab og overfladetemperatur som funktion af isoleringstykkelse iht. Glaser metoden [36], der er i dette tilfælde ikke taget hensyn til kuldebroer.

11.5.11.1 Termiske simuleringens resultater

Tabel 10 - varmetab ved bjælkeenden og ydervæg. Ved ude temperatur på $-1,1^\circ\text{C}$ og inde temperatur på 20°C .

	Efterisolering med porebeton over og under etageadskillelser [mm]	Varmetab [W/m]	Min. overflade temp. [$^\circ\text{C}$]
Uisoleret	0	53,4	15,5
50 mm Multipor		21,7	17,1
100 mm Multipor		14,5	17,7
200 mm Multipor		8,8	18,4
50 mm Multipor	300	25,7	17,0
100 mm Multipor		18,5	17,6
200 mm Multipor		12,0	18,2

Betragtes figur 31 og tabel 10, bemærkes en markant stigning af overfladetemperaturen. Ved de første millimeter isolering, ses en størst effekt mht. reducere af varmetab og øget overfladetemperatur.

Der observeres endvidere en forskel på varmetabet ved, at benyttelsen af porebeton 300 mm under og over etageadskillelsen ved efterisolering. Forskellen på varmetabet ved isoleringstykkelser af hhv. 50 mm, 100 mm og 200 mm, er omkring 6-7 %. Selvom varmetabet øges ved at skabe en kuldebro, opnås der en forholdsvis stor reducere i forhold til den uisolerede ydermur.

11.5.11.2 Fugt simuleringerne

Resultaterne for simulering af modelløsningerne fremgår i bilag [C.1-C.5].

Eksisterende væg- isolering: 0 mm

ed vurdering af den eksisterende ydervæg, betragtes simuleringresultaterne i bilag [C.1]. Udover simuleringer ved to forskellige RRF, vurderes indflydelsen af indeklimaet ved, at udsætte konstruktionen for hhv. en middel- og høj fugtbelastning.

Betragtes indflydelsen af indeklimaet på bjælkeendens tilstand [C.1, fig.1, fig. 2 og fig.3], observeres der på [C.1 fig.1] bjælkeenden ved middel fugtbelastning. Temperaturen når sit minimum på 5 °C ved vinter og 25 °C over sommer. Ved RRF på 0.5 falder den relative fugtighed fra 80 % - 73% RF og ender med et vandindhold på 15,2WC%. Ved reducere af RRF til 0.1, falder fugtigheden til 69 %RF og 13,7 WC% ved slutningen af simuleringperioden.

Ved ændring til høj fugtbelastning, observeres der på [C.1 fig.2] for bjælkeenden ved RRF på 0.5 fra 80 % til 76% RF den 5 årige simuleringperiode. Hvorved RRF er 0.1 falder bjælkeendens RF til 72%. Vandindholdet, efter 5 år, ved hhv. RRF på 0.5 og 0.1 ved høj fugtbelastning er 16,1 WC% og 14,7WC%.

Ved ændring af middel fugtbelastning til høj fugtbelastning øges vandindholdet i bjælkeenden ca. 1%WC.

Betragtes den massive mur og pudslaget [C.1, fig. 4-7], observeres ingen forskel ved parametre ændringen af RRF. Der bemærkes regelmæssige udsving henover simuleringperioden af den RF. Ved middel fugtbelastning svinger den RF mellem 49-63 % RF, hvorimod ved høj fugtbelastning forholder den RF mellem 58-65 % RF. Den indvendige overfladetemperatur for ydervæggen, svinger mellem ca. 16 °C til 22 °C over simuleringperioden.

Løsningsforslag A:

Vurderingen af simuleringresultaterne for bjælkeenden, sker ud fra bilag [C.2].

Bjælkeendens tilstand betragtes ved efterisolering af 50 mm [C.2 fig.A1 og fig.A4], her bemærkes at ved RRF på 0.5 stiger den RF og fugtindholdet over simuleringperioden fra 80-83 %RF og vandindholdet fra 17,5-18,7 %WC. Modsat ved RRF på 0.1 falder fugtindholdet fra 17,5 – 16,7 %WC, og ender med 77% RF. Ved reducere af RRF, falder fugtindholdet frem for at stige, med ca. 2 %WC.

Betragtes bjælkeenden ved efterisolering af 100 mm [C.2 fig.A2 og fig.A4], fugtindholdet og den RF stiger ved RRF:0.5, over simuleringperioden stiger den RF fra 80-84 % RF og fugtindholdet fra 17,5-19,5 % WC.

Ved reducere af RRF til 0.1, vil fugtindholdet og den relative fugtighed falde tilbage til udgangspunktet 17,5%WC og fra 80-77%RF. Fugtindholdet i bjælken reduceres med 2 %WC ved mindre slagregn.

Ved 200 mm efterisolering [C.2 fig.3 og fig.4] er fugtindholdet og den RF stigende selv ved reducere af RRF. Ved ændringen af RRF, ses en forandring af fugtindholdet på 2% WC.

Betragtes den indvendige og udvendige flade af det isolerende lag [C.2, fig. A5-A13], er der en tidsmæssig forskydning af opfugtningen, og opfugtningen fra den udvendige overflade optræder på den indvendige flade. vurderes den udvendige flade af multipor laget [C.2, fig. A10-A13] ses der en opfugtningen i vinterperioden, som efterfølgende udtørre. Ved isoleringstykkel 50 mm, svinger den relative fugtighed mellem 70 % og 85 % og fugtindholdet mellem 0,8-2,2% WC. Ved 100 mm er den relative fugtighed for overfladen mellem 75-88 % RF, hvor reducere af RRF ikke har den stor indflydelse, og først efter tredje simuleringsår ses en mindre forandring. Ved 200 mm svinger den relative fugtighed mellem 79-90 %RF, ligeledes optræder forskellen ved reducere af RRF først efter 3 tredje simuleringsår.

Den relative fugtighed for den indvendige overflade af den massive mur [C.2, fig. A14-A16], når en ligevægt efter et år. Betragtes murens overflade ved isolering af 50 mm, svinger den RF mellem 74 % og 85 %. Udsvingene i RF er højere ved 100 mm og 200 mm efterisolering hhv. 77-87 % og 80-90 %

Vurdering af løsningsforslag A

Det kritiske fugtindhold for bjælkeenden er 20 %, hertil observeres der en stigende tendens for ophobning af fugtindholdet over simuleringsperioden, ved RRF på 0.5. Fugtindholdet ved de tre undersøgte isoleringstykkelser er imellem 18,7-20 % WC, da dette er tæt på den kritiske grænse og fugtindholdet er stigende fungere denne løsning ikke. Ved reducere af RRF til 0.1, vil fugtindholdet for løsningsforslag ved 50 og 100 mm være dalene over simuleringsperioden, og først da ville disse løsningsforslag kunne tages i betragtning.

Løsningsforslag B:

Vurderingen af bjælkeendens tilstand, ved efterisolering af mineraluld, dampspærre og gips, kan ses i [C.3, fig. B1 og B2]. Simuleringen af løsningsforslag B foregik kun ved isoleringstykkel 100 mm, hvorunder der observeres en væsentlig effekt ved reducere af RRF på bjælken RF %. Fælles for simuleringerne ved hhv. RRF på 0.1 og 0.5 er, at bjælkeenden RF % stiger i første vinterperiode. For bjælkeenden ved RRF på 0.5, fortsætter stigningen af den RF og når inden udgangen af den 5-årige simuleringsperiode tæt på 85 %. I modsætning til RRF på 0.5, formår bjælkeenden at falde til omtrent 77 % RF.

Betragtes den indvendige og udvendige overflade af gipspladen [C.3, fig. B3 og B4], stiger og falder fugtindholdet ens. Fugtindholdet svinger fra 42-60 %. Overfladetemperaturen af den indvendige gipsplade svinger mellem 19-22 °C. Den relative fugtighed følger indeklimaprofilen, mht. udsving af opfugtning og udtørring. Der ses ingen påvirkning ved regulering af parameteren RRF, eller indflydelse fra udeklimaet som følge af placeringen af dampspærret.

Vurderes konstruktionen på den udvendige side af dampspærren, betragtes [C.2, fig. B5-B7]. Der observeres en lille, men konstant forøgelse af fugtindholdet i målingerne på overfladen af den massive mur, ved RRF på 0.5. Fugtindholdet formår ikke at udtørre inden næste vinter. På den indvendige overflade af mineraluldet, sker der en markant forøgelse af fugtindholdet i slutningen af vinterperioden, hertil kan der vurderes en

tidsmæssig forskydning af fugttransporten fra ydermuren. Udsvingene af fugtindhold i mineraluldet, svinger fra en RF af 20 % til 82 %.

Overordnet sker der et fald af fugtindholdet i den massive mur og bjælkelaget, ved reducere af RRF.

Vurdering af løsningsforslag B:

Betragtes bjælkeenden indikerer det stigende fugtindhold, at fugten ikke kan nå at tørre ud. Der bemærkes et stigende fugtindhold på den indvendige overflade af isoleringen og ydermuren. Dette kan være tegn på akkumulering af fugt i konstruktionen, da bjælkeenden er ved at nå det kritiske fugtindhold, samt at konstruktionen ikke når en ligevægt efter de 5 år, vurderes denne løsning som værende ikke egnet.

Løsningsforslag C:

Efter simulering af løsningsforslag C over perioden af 5 år, ved RRF på hhv. 0.1 og 0.5, kan bjælkeendens tilstand vurderes se [C.4, fig. C1-C4]. Betragtes temperatur forholdene i bjælkeenden, er forholdene tilnærmelsesvis ens for de tre isoleringstykkelser, mens temperaturen varierer fra -3 °C til 24 °C. Ved RRF 0.5 stiger den relative fugtighed, for isoleringstykkelsen 200 mm, fra udgangspunktet 80 % til 84 % henover simuleringperioden. Ved 100 mm observeres en mindre konstant stigning af den RF %, bjælkeenden ender hermed på en RF af 82 % efter 5 års simulering. Ved 50 mm formår fugten fra vinterperioden, modsat de to andre isoleringstykkelser, at tørre ud og er ved udgangen af de 5 år, er den nede omkring 17,4 % WC og 79 % RF. Ved RRF på 0.1 falder den RF %, uanset isoleringstykkelse, her observeres et fald på 5 % RF sammenlignet med resultaterne ved RRF 0.5.

Der observeres et generelt fald af fugtindhold, ved reducere af RRF.

På den indvendige overflade af Pudslaget (multipor grundpuds malet med silikatmaling), er forholdene også her tilnærmelsesvis ens for alle isoleringstykkelser, se [C.4, fig. C5-C10]. Overfladetemperaturen for hhv. måling 2 og 3, varierer fra ca. 19 °C – 21 °C og 19 °C – 22 °C, det vil sige at temperaturstigningen i forhold til isoleringstykkelsen er minimal. Den relative fugtighed på overfladerne har en middelværdi på omtrent 50 % RF, hvoraf der periodevis nås et maksimum og minimum på henholdsvis, ca. 63 % til 43 % RF, uanset isoleringstykkelse.

Betragtes den indvendige overflade på den massive mur, samt den udvendige overflade af pudslaget, hhv. måling 7 og 8 [C.4, fig. C20-C25], er murværkets indvendige overflade, ved 200 mm efterisolering, over 86 % RF i perioder på ca. 2 måneder. Den RF falder efterfølgende til 79 % over ca. 6 måneder. Betragtes murværkets indvendige overflade ved 100 mm, stiger den relative fugtighed, periodevis til 85 %, for efterfølgende at falde til 72 %. Ved 50 mm isolering, topper relative fugtighed ved 82 % RF i en periode af 2 måneder, mens de efterfølgende 6 måneder falder til 72 % RF, før næste opfugtningsperiode. Vurderes den udvendige overflade af pudset [C.4, fig. C20-C22], observeres en umiddelbar lighed med murværkets tilstand.

I det isolerende lag bestående af Multipor, betragtes den indvendige overflade [C.4, fig. C14-C15]. Her observeres der en tidsmæssig forskydning af opfugtningen i forhold til murværket og pudslaget. RF forløber med stor lighed ved isoleringstykkelserne 100 og 200 mm, her svinger RF mellem 39 % til 63 %. På trods af den store lighed, er RF og vandindholdet en smule højere ved 100 mm, mens RF ved 50 mm svinger i en

kortere periode mellem ca. 39 og 65 %. Vandindholdet er omtrent 0,5 % højere i isoleringslagets overflader ved 50 mm isolering i forhold til hhv. 100 og 200mm.

Betragtes samlingspunktet mellem multipor og porebetonen [C.4, fig. C17-C19], fremgår det at RF svinger mellem 69 % og 76 % ved 50 mm isolering, mens RF ved 100 mm svinger fra 74 % til 81 %. Ved 200 mm isolering til svarer fugttransportens svingninger, som ved de andre isoleringstykkelser, dog er fugtniveauet generelt højere.

For at vurdere indflydelsen af et højt indendørs fugtbelastnings niveau, undersøges model C med 50 mm isoleringstykkelse. Sammenlignes målingerne i bjælkeenden, med middel og høj fugtbelastning, observeres en forskel af vandindhold på omtrent 1 % ved udgangen af simuleringsperioden. Ved de andre målingspunkter [C.4 for 50 mm] og [C.5], kan der ved en overordnet sammenligning af ydervæggen, bemærkes en højere RF ved høj fugtbelastning. Betragtes måling 6 og 7 [C.5, fig. D7-D8], ses en forskel på 5 % RF i forhold til målingerne ved middel fugt belastning, altså observeres en stigning helt op til hhv. 83 % og 88 % over en periode af ca. 2 måneder.

11.5.11.3 Vurdering af løsningsforslag C

Vurderes bjælkeenden ved efterisolering af hhv. 100 og 200 mm, bemærkes det at fugtindholdet er stigende over simuleringsperioden, hvorimod fugtindholdet falder ved brug af isoleringslag på 50 mm. Der observeres en forøgelse af fugtindholdet, for hhv. løsning ved 100mm og 200 mm, endvidere er fugtindholdet kun omtrent 1 % fra det kritiske fugtniveau. Altså vil løsningsforslag C ved 100 og 200 mm, ikke være holdbar fugtmæssigt. Vurderes den indvendige overflade for løsningsforslag C 50 mm, ses en højere overfladetemperatur i forhold til den uisolerede ydervæg. Det kan konstateres, at konstruktionen opfugtes i vinterperioden fra oktober, men tørrer efterfølgende ud, uden at nå en kritisk relativ fugtighed. Løsningsforslag C ved 50 mm vurderes som et muligt tiltag for ydervæggen.

11.6 Vinduer

Vinduer er en af de største faktorer der spiller ind, når man ser på en boligs samlede varmetab. I følgende afsnit vil de eksisterende døre og vinduers varmetransmissionskoefficient (U-værdi) blive beregnet. Værdierne skal bruges til at udregne varmetabet i Be10.

For både vinduer og døre beregnes U-værdien vha. nedenstående formel fra afsnit 6.8.1 i [7]

$$U = \frac{A_g U_g + l_g \Psi_g + A_p U_p + A_f U_f + l_k \Psi_k}{A_g + A_p + A_f} \quad [W/m^2 K] \quad (F5)$$

Da der ingen fyldning i vinduet er, simplificeres formelen:

$$U = \frac{A_g U_g + l_g \Psi_g + A_f U_f}{A_g + A_f} \quad [W/m^2 K] \quad (F6)$$

Det er ikke nok kun at se på varmetabet igennem døre og vinduer, da solen bidrager med et energitilskud i form af solenergi der transmitteres gennem ruderne. Derfor beregnes energitilskuddet for hvert vindue i hånden frem for kun at have det med i Be10, da man ikke kan se dette i Be10 og det er nemmere at skabe et overblik over de forskellige vinduers løsninger og energiforbedringer.

Energitilskuddet for et bestemt vindue i fyringssæsonen, med en given orientering bestemmes ud fra nedenstående formel [14]:

$$E = I_{kor} * g * F_s - G * U \quad [kWh/m^2 K] \quad (F7)$$

I_{kor} og G , som er hhv. solindfaldet korrigeret for g -værdiens afhængighed af indfaldsvinklen og gradtimer baseret på en inde temperatur på 20 °C i fyringssæsonen, er oplyst i tabel 11 ved nord- og sydvendt facade i fyringssæsonen.

Tabel 11 - Korrigeret solindfald og gradtimer for forskellige orienteringer i fyringssæsonen

Orienteering	Korrigeret solindfald I_{kor} [kWh/m ²]	Gradtimer, G [kKh]
Nord	104,5	90,36
Syd	431,4	90,36
Øst/vest	232,1	90,36

For at opnå et entydigt sammenligningsgrundlag baseres klassifikationen af vinduer på energitilskuddet af et reference hus med følgende vinduesfordeling: Nord 26 %, syd 41 % og øst/vest 33 % og en skyggefaktor på 0,7. Hermed får man formelen for et vindues samlede energitilskud:

$$E_{reference} = E_{nord} + E_{syd} + E_{\text{øst,vest}}$$

$$E_{reference} = 0,26(104,5 * 0,7 * g - 90,36 * U) + 0,41(431,4 * 0,7 * g - 90,36 * U) + 0,33(232,1 * 0,7 * g - 90,36 * U)$$

$$E_{reference} = 196,4 * g - 90,36 * U \quad [kWh/m^2] \quad (F8) \quad [8]$$

Denne formel benyttes af alle vinduesproducenter, når energitilskuddet opgives, når vinduets placering og omgivelser endnu ikke kendes. Det sande energitilskuddet vil derfor afvige en del fra dette, alt efter om vinduet vender mod syd, nord eller vest/øst. Da boligerne i Strandvejskvarteret har mange forskellige placeringer i forhold til verdenshjørnerne, benyttes denne formel ved beskrivelse af energitilskuddet til løsningsforslagene til alle i kvarteret. Hvis man vil have en mere præcis værdi af ens vinduers energitilskud, skal man benytte sig af formel (F7), som tager højde for hvilken retning vinduet vender. Det skal nævnes at for reference boligen i denne rapport, er energiforbruget til Be10 beregningerne baseret på formel (F7), da vindues orienteringer her er blevet bestemt og man i Be10 ikke kan benytte sig af formel (F8).

11.6.1 Beregninger for referenceboligen

Varmetabskoefficienten for vinduerne beregnes vha. formel (F6).

Transmissionskoefficienten midt på ruden U_g , bestemmes vha. Figur N1 på s. 117 i [7]. Glasafstanden antages at være 15 mm. For dørene og jernvinduerne, som kun har et glaslag, sættes U_g normalt til 5,9 W/m²K, men denne vælges i stedet til 4,4 W/m²K, da man i [11] benytter denne værdi for de gamle vinduer.

Idet det antages at tykkelsen af ramme = 56 mm og tykkelsen af karm = 116 mm er middeltykkelsen = 86 mm. Vinduerne er af hårdt træ og transmissionskoefficienten for ramme og karme U_f , kan da aflæses til $U_f = 1,6$ W/m²K vha. figur 6.8.1 s. 33 i [7]. For jernvinduerne sættes transmissionskoefficienten U_f normalt til 5,9 W/m²K, men denne vælges som med U_g til 4,4 W/m²K.

Det vides at afstandsprofilet er af aluminium eller almindeligt stål og linjetabet for termorudens afstandsprofil Ψ_g , kan derfor bestemmes ved aflæsning og interpolation vha. tabel 6.8.3 i [7]. Ved de døre og vinduer der kun har et enkelt glas lag sættes $\Psi_g = 0$ jf. s. 35 i [7].

Det skal nævnes at U-værdien for vinduet ikke er helt korrekt, da man ud fra ovenstående ikke kan regne det varmetab der er mellem ramme og karm med. Blowerdoor testen viste bl.a., at der var store utætheder mellem ramme og karm i mange af vinduerne. Derfor vil den sande u-værdi for det enkelte vindue være højere end beregnet.

I tabel 12 er U-værdien beregnet for alle de forskellige typer af vinduer og døre der optræder i denne bolig.

Tabel 12 - Beregning af vinduer- og dørenes U-værdier, bolig A

Type	Karmmål		Rammemål		Areal	Glasmål		Arealer		Omkreds		Linjetab	Transmissionskoeffi- cienter		Transmissionskoeffici- enten for vinduet
	b [mm]	h [mm]	b [mm]	h [mm]	A _k [m]	b [mm]	h [mm]	A _g [m]	A _f [m]	L _k [m]	L _g [m]	Ψ _g [W/mK]	U _g [W/m ² K]	U _r [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Type 1	960	1430	870	1331	1,37	726	1187	0,86	0,51	0,86	3,83	0,0616	2,8	1,6	2,52
Type 2	420	1025	354	959	0,43	282	887	0,25	0,18	0,25	2,34	0,0616	2,8	1,6	2,63
Type 3	735	1430	669	1339	1,05	597	1195	0,71	0,34	0,71	3,58	0,0616	2,8	1,6	2,62
Type 4	1050	1430	931	1306	1,50	715	1137	0,80	0,71	0,80	3,70	0,0616	2,8	1,6	2,39
Type 5	1150	1430	1060	1364	1,64	916	1292	1,18	0,46	1,18	4,42	0,0616	2,8	1,6	2,63
Type 7	666	759	600	693	0,51	621	528	0,33	0,18	0,33	2,30	0,0616	2,8	1,6	2,66
Type 8	566	766	500	700	0,43	428	628	0,27	0,16	2,66	2,11	0,0616	2,8	1,6	2,64
Type 10	-	-	370	443	0,16	310	383	0,12	0,05	0,12	1,39	0	4,4	4,4	4,40
Type 11	-	-	730	563	0,41	650	544	0,35	0,06	0,35	2,39	0	4,4	4,4	4,40
Type 12	-	-	730	403	0,29	650	363	0,24	0,06	0,24	2,03	0	4,4	4,4	4,40
Type a	970	2190	870	2084	2,12	468	766	0,36	1,77	0,36	2,47	0	4,4	1,6	2,07
Type b	970	2190	870	2084	2,12	642	938	0,60	1,52	0,60	3,16	0	4,4	1,6	2,39

Energitilskuddet for dørene og vinduerne i denne bolig kan nu beregnes og fremgår af tabel 13 nedenfor. Her benyttes formel (F7), da vi kender vinduernes orientering i denne bolig. Da vinduerne af type 7, 9 og 10 er tagvinduer med en hældning på 45 °C er formel (F7) ikke blevet brugt her, da den kun kan bruges for lodrette vinduer, og derfor ikke korrigerer for det større solindfald. Derfor er energitilskuddet i disse tilfælde aflæst ud fra g-værdien og U-værdien af figur 30 og figur 32 i notatet [8], som tager højde for at vinduerne hælder 45 °C.

Tabel 13 - Beregning af vinduer og døres energitilskud, bolig A

Type	Ori- ente- ring	Antal	Ikor	G, Grad- timer	g- værdi	U-værdi [W/m²K]	E, energitil- skud [kWh/m²]	Vindues areal [m²]	Energitilskud [kWh]
Type 1	Nord	1	104,5	90,36	0,76 ^A	2,52	-148,74	1,37	-204,18
	Syd	3	431,4	90,36	0,76	2,63	90,06	4,12	370,89
Type 2	Nord	2	104,5	90,36	0,76	2,63	-158,39	0,86	-136,37
Type 3	Nord	1	104,5	90,36	0,76	2,62	-157,74	1,05	-165,79
Type 4	Nord	2	104,5	90,36	0,76	2,39	-136,30	3,00	-409,32
Type 5	Nord	2	104,5	90,36	0,76	2,63	-158,14	3,29	-520,11
	Syd	1	431,4	90,36	0,76	2,63	90,31	1,64	148,51
Type 7	Syd	1	-	-	0,76	2,66	-5,00	0,51	-2,53
Type 8	Syd	1	-	-	0,76	2,64	-20,00	0,43	-8,67
Type 10	Nord	1	104,5	90,36	0,86 ^A	4,40	-307,71	0,16	-50,44
Type 11	Nord	1	104,5	90,36	0,86	4,40	-307,71	0,41	-126,47
	Syd	1	431,4	90,36	0,86	4,40	-26,58	0,41	-10,92
Type 12	Nord	2	104,5	90,36	0,86	4,40	-307,71	0,59	-181,05
	Syd	1	431,4	90,36	0,86	4,40	-26,58	0,29	-7,82
Type a	Syd	1	104,5	90,36	0,86	2,07	183,73	2,12	390,30
Type b	Nord	1	431,4	90,36	0,86	2,39	-126,43	2,12	-268,57
A: [22]									
									Samlet energitilskud = -1182,55 kWh

Det ses af tabel 13, at hoveddøren af type a bidrager med et positivt energitilskud til boligens varmebalance. Det betyder at døren i fyringssæsonen netto giver en tilførsel af energi til boligens opvarmning. Men i og med det er hoveddøren, har det ikke den store indflydelse på boligens varmebalance, da man ikke holder opgangen varm.

11.6.2 Løsningsmuligheder

Vinduer udgør ca. ⅓ af en boligs samlede varmetab, hvorfor der er store besparelser at hente ved at renovere disse. Efter at have analyseret vinduerne i hhv. Bolig A og Bolig B, kan det konstateres at der er behov for at energioptimere vinduerne, da de begge er udført med gamle termoruder og samtidig er utætte. I dette afsnit kommer der forslag til forbedringer, hvis man som i Bolig A og B har gamle termoruder, men derudover vil der også komme forbedringsforslag til andre typer af vinduer. Da det er forskelligt hvordan vinduerne i de forskellige boliger i Strandvejskvarteret er opbygget. I en spørgeskemaundersøgelse udarbejdet af Strandvejskvarterets energigruppe oplagt på deres hjemmeside [30], kan man her se hvilke vindues typer der optræder i boligerne i kvarteret og hvilke der er hyppigst forekommende. I tabel 14 nedenfor ses de udvalgte vindues typer, der vurderes løsningsforslag til.

Tabel 14 - Oversigt over vinduestyper, der vurderes løsningsforslag til

Vinduestype	U-værdi	g-værdi	E, Energitilskud [kWh/m ²]
1 - Oprindeligt staldvindue med jern ramme og et lag glas	4,4	0,86	-228,68
2 - Oprindeligt trævindue med 1 lag glas	4,4	0,86	-228,68
3 - Oprindeligt vindue med gamle termoruder	2,71	0,76	-95,61
4 - oprindeligt vindue med gammel forsatsramme	2,4	0,46	-126,52

11.6.2.1 Nyt staldvindue

De gamle staldvinduer som sidder i kælderen og på spidsspidsloftet i mange af boligerne, har en meget ringe isoleringsevne. U-værdien ligger er ca. 4,4-5,9 W/m²K, hvorfor det godt kan betale sig at udskifte vinduet, hvis man skal bruge rummene som opholdsrum. De har en ramme af jern og består kun af et lag glas. Mange holder spidsloftet og kælderen kold, så i disse tilfælde kan det ikke betale sig at udskifte vinduet, da rummene ikke skal holdes varme. Hvis man derimod ønsker at opvarme rummene og gøre rummene "beboelige", kan der spares penge på at udskifte disse vinduer, da man får et meget mindre varmetab. Efter undersøgelser og beregninger viser det sig at det ikke kan betale sig at købe 3-lags energiruder frem for 2-lags, da vinduerne og samtidig glas arealerne er forholdsvis små, derfor vælges der 2-lagsenergiruder, da de er de billigste. I reference boligen udskiftes disse vinduer ikke, da de ikke har indflydelse på boligens samlet varmemeforbrug. I tabel 15 nedenunder, ses de nye vinduer der kan erstattes med staldvinduerne og ovenlysvinduet på spidsloftet.

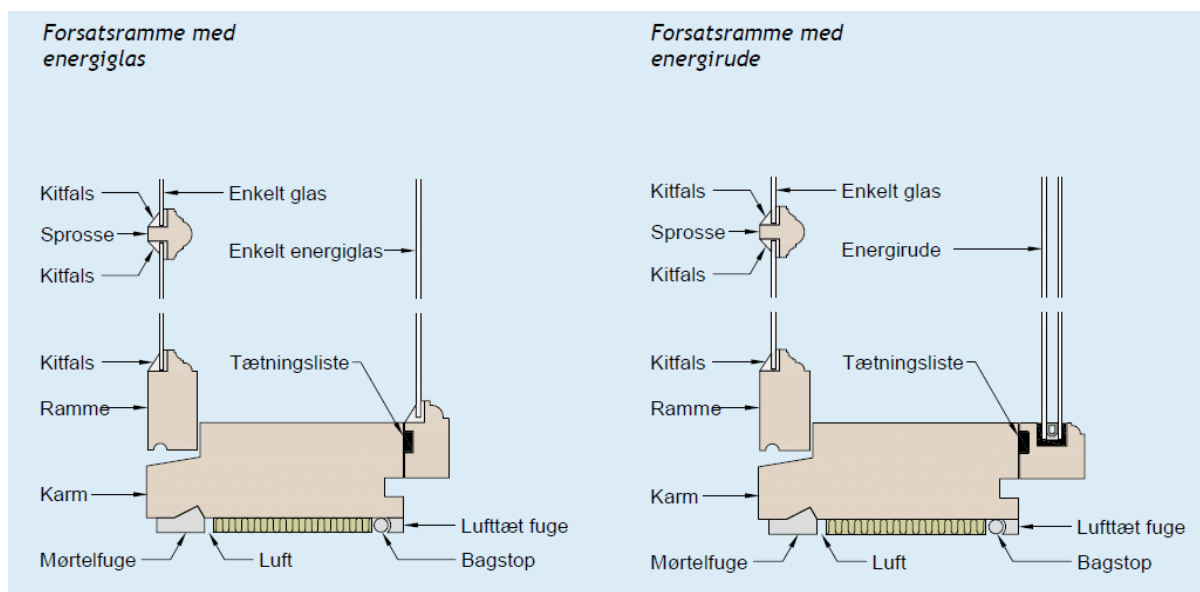
Tabel 15 - Udskiftning af staldvinduer til nye energivinduer

Type	Rude	Bxh [mm]	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi	Energitilskud, kWh/m ²	Pris [kr.]
Type 10	Oprindeligt ovenlys vindue	370x440	4,40	0,86	-50,44	
	Ny 2-lags termovindue ^A	560x780	1,3	0,66	12,16	1895
Type 11	Oprindeligt stalvindue	730x603	4,40	0,86	-50,44	
	Ny 2-lags termovindue ^B	733x603	1,5	0,63	-11,80	2026
Type 12	Oprindeligt staldvindue	730x403	4,40	0,86	-50,44	
	Ny 2-lags termovindue ^B	733x403	1,59	0,63	-19,94	2026
A: [9]						
B: [18]						

Energitilskuddet er beregnet ud fra formel (F8) og beskriver derfor et reference vindue. Vinduet af type 10, som er det nye ovenlysvindue i spidsloftrummet, er større end det eksisterende staldvindue der sidder i nu. Derfor skal der tages højde for at vindueshullet skal udvides. Det samme gør sig gældende for de nye type 11 og 12 vinduer, det drejer sig dog ikke om så mange cm.

11.6.2.2 Ny forsatsramme

Som sagt kan det bedst betale sig at renovere de gamle vinduer med 1-lag glas med fx forsatsrammer, frem for at udskifte vinduet helt eller med energiruder. På denne måde bevarer man også de gamle vinduer og vinduets oprindelige udseende, som man ønsker i Strandvejskvarteret. Ved denne løsning monterer man en ekstra ramme med enten energiglas eller en energirude i. Rammen monteres på indersiden af det eksisterende vindues karm, se figur 31 nedenfor.



Figur 31 - Forsatsrammeløsning med energiglas og energirude

Ulempen ved denne løsning er, at der ved vinduespudsning nu skal pudses 4 sider, hvorimod det kun var 2 ved det gamle vindue. Den nye ramme sidder som sagt på den indvendige side af karmen og forsatsrammen åbner derfor indad. Dette giver reduceret udnyttelse af vindueskarmen, da det skal være muligt at åbne vinduet ved udluftning. Dette har medført utilfredshed hos en del beboere. I en rapport udarbejdet i forbindelse med renovering af en prøvelejlighed i Ryesgade 30C 1.tv. [29], skabte denne løsning modstand blandt beboerne, da den begrænsede brugen af vindueskarmen. Nogle beboere havde oven i købet fjernet de eksisterende forsatsvinduer, hvorfor man valgte ikke at anbefale denne løsning. I denne rapport er dette dog også blot en mulighed beboerne har blandt andre. Nedenunder på figur 32 ses et forsatsvindue.



Figur 32 - Forsatsvindue, set udefra (tv.) og set indefra (th.)

Inden montering er det vigtigt at man kontrollerer om det eksisterende vindue trænger til vedligeholdelse som fx maling eller nye tætningslister. Det er vigtigt at forsatsrammen slutter helt tæt med vindues karm og der skal af samme grund være en tætningsliste mellem karmen og forsatsrammen. Hvis der her er selv små utætheder, kan det skabe kondens på den indvendige side af det yderste lag glas. Derfor gør det ikke noget at den gamle ramme ikke slutter helt tæt, da den tørre udeluft skaber ventilation i hulrummet og mindsker risikoen for kondens. Derfor skal man også huske, at hvis man monterer tætningslister på den yderste ramme, skal de være afskåret i top og bund, så der kan blive skabt den nødvendige ventilation så der undgås dug.

11.6.2.3 Koblet ramme

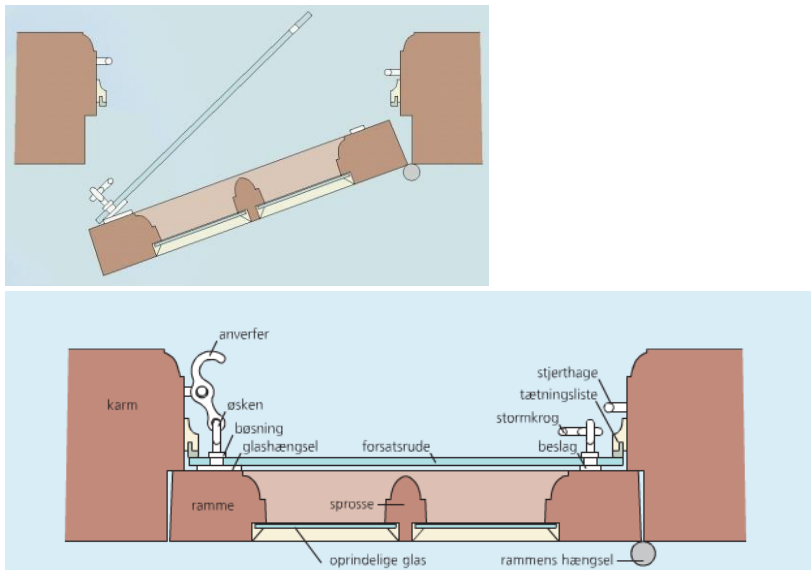


Figur 33 - Koblet rammeløsning

Den koblede ramme løsning er et alternativ til forsatsrammen, der opnås stort set den samme forbedring af U-værdien. Den koblede ramme monteres direkte på vinduets ramme med et koblingsbeslag, så det kan fikseres ved pudning. Der udføres en tætning mellem den koblede ramme og vindues karm. Lige som med forsatsrammen er det vigtigt at man ikke tætnet den eksisterende ramme med karmen 100 %, da hulrummet mellem eksisterende ramme og den nye koblet, skal ventileres med ude luften, for at undgå kondens. Det skal nævnes at koblede rammer med energiruder, kan blive meget tunge og det er ikke alle eksisterende vinduer, der kan klare belastningen. Derfor skal der tages højde for dette inden, så man undgår rammetræet flækker eller skævvridninger af hængslerne. Derfor frarådes det at bruge 3-lags energiruder. Der findes to måder at montere rammen på. Enten fræses den eksisterende karmfals dybere, eller den koblede ramme udføres smallere end den eksisterende, så den kan slå an mod ny tætningsliste på indersiden af karmen. Ulempen ved den koblede ramme sammenlignet med forsatsrammen er at, den har en ringere lyd isolation og så er den mere besværlig at pudse. Den løser dog problemet med udnyttelsen af vindueskarmen.

11.6.2.4 Rammeløs koblet forsatsløsning med Optoglas

Denne rammeløse løsning, som i øvrigt er godkendt og anbefalet til montage på vinduer i fredede bygninger, ligner en koblet rammeløsning. Her monteres en forsatsrude af hærdet glas, direkte på den eksisterende ramme med et lag glas. I denne rapport fokuseres der på Optoglas[15]. Lige som løsningen med forsats- og koblede rammer, isolerer denne løsning ca. 30 % bedre end termovinduer og får U-værdien ned på omkring $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, som svarer til en 3-lags termorude.



Figur 34 - Detaljetejning, rammeløs koblet forsatsløsning med Optoglas



Figur 35 - Rammeløs koblet forsatsløsning med Optoglas

Som det også ses på 34 og 35 ovenfor, skaber det her ingen problemer ved udluftning i forhold til udnyttelse af vindueskarmen. Glasset er monteret direkte på den eksisterende ramme og kan åbnes ved pudsning af indersiden af glassene. Derudover slipper man også for at vedligeholde den indvendige ramme. Optoglas kan man selv håndtere hvis man har mod på det. På Optoglas hjemmeside er der en monteringsvejledning [12].

11.6.2.5 Nyt energiglas eller energirude i eksisterende forsatsramme

Hvis vinduerne er med gamle forsatsrammer med et almindeligt lag glas på indersiden og ydersiden, kan det med fordel udskiftes for at opnå en energioptimering. Der kan enten monteres et nyt energiglas eller en energirude med varm kant. Ved montering af energiruden kræver det dog at der er plads i forsatsram-

men til denne. Hvis falsen i den eksisterende forsatsramme er større end 23-25 mm, kan der anvendes en tynd energirude med dimension 4-9-4 mm. Hvis dette ikke er tilfældet, må der monteres en helt ny forsatsramme. Se figur 31 ovenover for løsning med hhv. energiglas og energirude. Hvis man selv har mod på at skifte det gamle glas til en ny energirude med varm kant, er der her en vejledende video [16] og en vejledningsguide [21] der viser hvordan man gør.

11.6.2.6 Forbedring af gamle termoruder

Der kan også opnås en stor energibesparelse, ved at udskifte de gamle termoruder med en ny energirude med varm kant. Det kan både være 2- eller 3-lags energiruder. Montering sker på samme måde, som ovenover [16]. En koblet rammeløs forsatsløsning kunne være et yderligere tiltag. Det anbefales dog at man starter med at få udskiftet termoruderne med energiruder, da disse alligevel skal skiftes på et tidspunkt. Der ses bort fra forsats- og koblede rammer til denne løsning, da risikoen for overvægt er alt for stor.

11.6.3 Tiltag

11.6.3.1 Referencebolig

Referenceboligen har som sagt gamle termoruder og der regnes derfor på, hvilken løsningsmulighed der er bedst. Nedenunder i tabel 16 er energitilskuddet for hhv. løsningen med 2- og 3-lags energi ruder og Optoglas løsningen sammenlignet med hinanden.

I mange ældre termoruder er afstandsprofilet mellem ruderne af metal eller aluminium, som leder varmen ganske godt tværs gennem ruden. Dette medfører en forholdsvis stor kuldebro, så hvis termoruderne er relativt små er dette linjetab ekstra stort. Varmetabet langs kanterne bliver dermed større end varmetabet i rudens midte grundet kuldebro påvirkningen. Man skal ca. 10-15 cm ind fra kanterne før rudens opgivne center u-værdi er korrekt. Derfor er ældre termoruder en dårlig idé, da de oftest har små ruder. Man siger at, ved en rustestørrelse på under 50 cm på den ene led, er udvendige termoruder decideret fejlanbragte. [11] Ved nye termoruder har man formået at nedsætte randtabet langs kanten, ved at det gamle afstandsprofil er blevet erstattet af en såkaldt "varm kant", hvor afstandsprofilet er af isolerende materiale, såsom rustfrit stål, plast eller silikoneprodukter.

Energirude og energiglas

En energirude er en termorude med varm kant, hvor det inderste lag glas er en energirude og hvor hulrummet mellem de to ruder er fyldt med en gasart, som oftest er argon eller krypton. Disse gasarter er tungere end luft, hvilket forbedrer isoleringseffekten sammenlignet med gamle termoruder hvor hulrummet består af luft. Afstandsprofilet på ældre termoruder er enten af metal eller aluminium, som forøger risikoen for kondens mellem glassene, da listen skaber en kuldebro. Dette er blevet forbedret med en såkaldt varm kant, som er en afstandsliste lavet af bedre isolerende materiale, såsom rustfrit stål og plast.

Energiglasset er forsynet med en tynd metalbelægning, der stadig lader den gratis solenergi passerer gennem ruden. Det har så den fordel at glasset reflekterer den langbølgede rumvarme tilbage i rummet. Energiglas fås enten som hard- eller soft coated. Soft coated har den bedste effekt, men er sårbar overfor fysisk kontakt. Hvorimod hard coated kan tåle mere, hvilket er grunden til man bruger dette i forsats- eller koblede rammer. Soft coated energiglas bruges til termoruder, da belægningen vender mod hulrummet og derfor ikke er udsat. Energiruder fås enten som 2-lags- eller 3-lags energiruder. De 3 lags energiruder kræver en

anelse mere plads og er en hel del tungere. Derfor bør det undersøges om det eksisterende vindue, hvis man overvejer en forsats- eller koblet løsning, kan holde til vægten. Derudover gør den ekstra rude at g-værdien bliver reduceret, så mindre solenergi trænger igennem ruden, derfor er mange af disse ruder ikke meget bedre end 2-lags energiruder på sydvendte sider.

Tabel 16 - Energibesparelser ved energioptimering af vinduer i reference boligen

Energibesparelser ved energioptimering af vin- duer hos Bolig A													Besparelse			
Eksisterende					2-lags			3 lags			Optoglas på termorude			2-lag	3-lag	Optoglas
		U	g	E	U	g	E	U	g	E	U ^A	g ^A	E	delta E [kWh/m²år]		
		[W/m²K]		[kWh/m²år]	[W/m²K]		[kWh/m²år]	[W/m²K]		[kWh/m²år]	[W/m²K]		[kWh/m²år]			
Type 1	Nord	2,52	0,76	-148,74	1,46	0,63	-65,89	1,21	0,50	-56,79	1,40	0,64	-59,62	113,73	91,95	89,11
Type 1	Syd	2,63	0,76	90,06	1,46	0,63	140,05	1,21	0,50	106,66	1,40	0,64	149,59	50,00	16,61	59,54
Type 2	Nord	2,63	0,76	-158,39	1,64	0,63	-82,72	1,41	0,50	-75,30	1,40	0,64	-59,62	75,67	83,08	98,76
Type 3	Nord	2,62	0,76	-157,74	1,47	0,63	-67,05	1,20	0,50	-56,11	1,40	0,64	-59,62	90,68	101,63	98,11
Type 4	Nord	2,39	0,76	-136,30	1,49	0,63	-68,55	1,28	0,50	-62,99	1,40	0,64	-59,62	67,76	73,31	76,68
Type 5	Nord	2,63	0,76	-158,14	1,49	0,63	-68,55	1,12	0,50	-48,75	1,40	0,64	-59,62	89,59	109,39	98,51
Type 5	Syd	2,63	0,76	90,31	1,49	0,63	137,40	1,12	0,50	114,70	1,40	0,64	149,59	47,09	24,39	59,28
Type 7	Syd	2,66	0,76	-5,00	1,56	0,63	152,00	1,30	0,50	145,00	1,40	0,64	200,00	157,00	150,00	205,00
Type 8	Syd	2,64	0,76	-20,00	1,59	0,63	150,00	1,34	0,50	140,00	1,40	0,64	200,00	170,00	160,00	220,00
Type 10	Nord	4,40	0,86	-307,71	1,30	0,66	-48,50							259,22		
Type 11 ^B	Nord	4,40	0,86	-307,71	1,50	0,63	-69,71							238,01		
Type 11 ^B	Syd	4,40	0,86	-26,58	1,50	0,63	136,24							162,82		
Type 12 ^B	Nord	4,40	0,86	-307,71	1,59	0,63	-77,84							229,88		
Type 12 ^B	Syd	4,40	0,86	-26,58	1,59	0,63	128,11							154,69		

A: [15]

B: Nye vinduer, se [A..6]

2-lags energirude ug = 1,1

3-lags energirude ug = 0,7

I_{korrt} nord = 104,5

I_{korrt} syd = 431,4

G, Gradtimer = 90,36

Som det ses ud fra tabel 17, kan det bedst svare sig at monterer den rammeløse koblede løsning med Optoglas på de eksisterende termovinduer. I dette tilfælde anbefales det dog at udskifte de gamle termoruder frem for at montere Optoglas, da termoruderne alligevel skal skiftes indenfor den nærmeste fremtid, samtidig er Optoglas også en del dyrere, man kan efterfølgende vælge at montere Optoglas. For energiruderne ses det at 2-lags energiruder er det bedste alternativ varmeteknisk for sydvendte vinduer, hvorimod 3-lags energiruderne er optimale for nord vendte vinduer. 2-lags energiruderne mod syd har et bedre energitilskud, da g-værdien er højere og der derfor trænger mere sollys ind gennem vinduet som giver et positivt bidrag til varmebalancen i boligen.

11.6.3.2 Optimering af forskellige vindues typer

Da det er forskelligt hvordan vinduerne i de forskellige boliger i Strandvejskvarteret er opbygget. Boliger hvor vinduerne består af et lag glas, kunne man her vælge at udskifte de gamle vinduer med nye termovinduer, men undersøgelser viser at hvis de gamle vinduer af træ bliver istandsat og forbedret med koblede eller forsatsrammer med energiglas eller energiruder, opnås der en varmeøkonomisk effekt der er betydeligt bedre end nye vinduer med termoruder eller sågar forbedrede energiruder. Derudover er de også billigere at vedligeholde. Det vides også at et 200 år gammelt vindue, sagtens kan holde i 100-200 år mere, med den rigtige vedligeholdelse. Hvorimod mange nye vinduer kun holder i 20-25 år. [10] I en spørgeskemaundersøgelse udarbejdet af strandvejskvarterets energigruppe oplagt på deres hjemmeside[30], kan man her se hvilke vinduestyper der optræder i boligerne i kvarteret og hvilke der er hyppigst forekommende. I tabel 17 nedenfor ses de udvalgte vindues typer, der med fordel kan energioptimeres, samt løsningsforslag til energioptimering med dertilhørende beregnet energitilskud, beregnet ud fra formel (F8) for reference boligen.

Tabel 17 - Vinduer med behov for forbedring, samt løsningsforslag

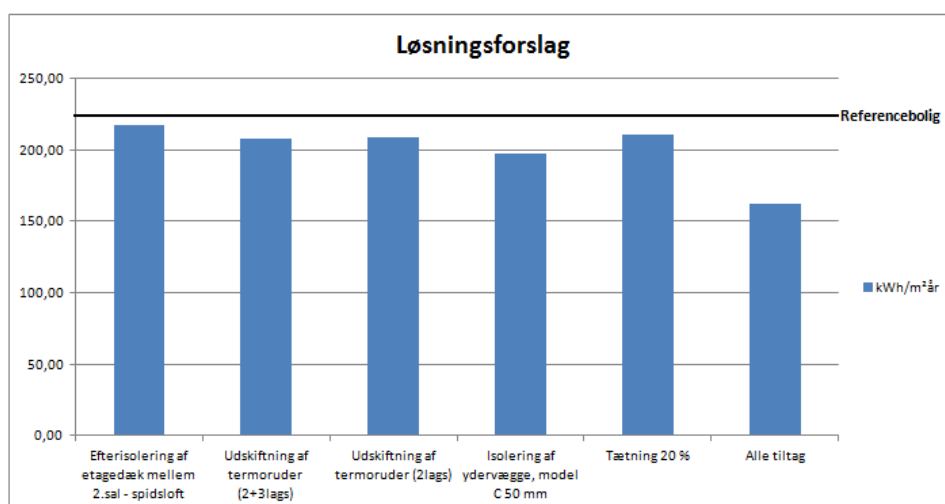
Vinduestype	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi	E, Energitilskud [kWh/m ²]
1 - Oprindeligt staldvindue med jern ramme og et lag glas ^{[11],[22]}	4,4	0,86	-228,68
1.1 Nyt vindue, type 10 ^[9]	1,5	0,34	-68,76
Nyt vindue, type 11 ^{[18],[A.]}	1,48	0,64	-27,48
Nyt vindue type 12 ^{[18],[A.]}	1,55	0,64	-43,06
2 - Oprindeligt trævindue med 1 lag glas ^{[11],[22]}	4,4	0,86	-228,68
2.1 Forsatsramme med energiglas (1+1) ^[11]	1,7	0,44	-67,196
2.2 Forsatsramme med energirude (1+2) ^[11]	1,3	0,33	-52,656
2.3 Koblet ramme med energiglas (1+1) ^[11]	1,7	0,44	-67,196
2.4 Koblet ramme med energirude (1+1) ^[11]	1,3	0,33	-52,66
2.5 Rammeløs koblet forsatsløsning med Optoglas (1+1) ^[15]	1,7	0,7	-16,13
3 - Oprindeligt vindue med gamle termoruder ^[22]	2,71	0,76	-95,61
3.1 Udskiftning af termorude til 2-lags energirude (1+1) ^[22]	1,1	0,63	24,33
3.2 Udskiftning af termorude til 3-lags energirude (1+2) ^[22]	0,7	0,50	34,95
4 - oprindeligt vindue med gammel forsatsramme ^[13]	2,4	0,46	-126,52
4.1 Udskiftning af glas i forsatsramme til energiglas (1+1) ^[11]	1,7	0,44	-67,20
4.2 Udskiftning af glas i forsatsramme til energirude (1+1) ^[11]	1,3	0,33	-52,67
Evt. ny forsatsramme hvis energirude ikke kan være der			

11.7 Døre

I begge boliger anbefales det at hvis man vil optimerer utæthederne i kældrene, bør man udskifte kælder-døren af type b og c for hhv. Bolig A og Bolig B. De er begge meget utætte og har synlige skader. Nogle steder er glasset revnet. Flere steder er det registreret at døren ikke slutter tæt med karmen, mellemrumme- ne her imellem var flere steder større end 5 mm. Der er indhentet tilbud fra danske-vinduer.dk på en ny kælderør af type b og c, hvorpå prisen lød på 5410 kr. med ny 2 lags energirude, hvilket giver optimeret U- værdien fra 2,3 -1,5 W/m²K. Der er ikke foretaget termograferende undersøgelser af hoveddøren i og med ventilatoren var monteret heri. Men det kunne konstateres at tætningslisterne trængte til en udskiftning.

12 Be10 løsningsforslag

I Be10 er de forskellige energioptimerings løsninger udregnet. Tabel 18 og figur 36 viser reference boligens varmemeforbrug for den nuværende situation og ved hver enkelt tiltag, samt varmemeforbruget der opnås ved at kombinere alle de forskellige tiltag, hvor løsningen for 2+3-lags ruder benyttes. Reference boligens nuvæ- rende varmemeforbrug uden nogle form for tiltag er på 220,20 kWh/m²år, denne værdi er beskrevet ved den sorte vandrette linje i figur 36. Nøgletallene for Be10's beregninger er angivet i bilag [H].



Figur 36 - Reference boligens løsningsforslag med besparelse i kWh/m²år

Tabel 18 - Besparelser af reference boligens løsningsforslag

Reference boligens løsningsforslag				
	Forbrug			Besparelse
	kWh/m ² år	kWh/år	kWh/m ² år	kWh/år
Nuværende tilstand	220,20	30.387,60		
Tiltag:				
Efterisolering af etagedæk mellem 2.sal - spidsloft	217,80	30.056,40	2,40	331,20
Udskiftning af termoruder (2+3lags)	207,80	28.676,40	12,40	1.711,20
Udskiftning af termoruder (2lags)	209,00	28.842,00	11,20	1.545,60
Isolering af ydervægge, model C 50 mm	197,90	27.310,20	22,30	3.077,40
Tætning 20 %	210,40	29.035,20	9,80	1.352,40
Alle tiltag	173,3	23.915,40	46,9	6.472,2
1 kWh fjernvarme = 0,7 kr.				
Etageareal = 138 m ²				

Yderligere beregninger i Be10 viser at hvis temperaturen falder med 1 °C, falder varmemeforbruget med 6 %. Ud fra temperatur målingerne kan det konstateres at man i bolig B i stuen, i 50 % af tiden har en temperatur på 23 grader, se figur N.8 i bilag [I.2.]. Dette er relativt højt, da man normalt regner med en inde temperatur på 20 grader. Det vil sige at bruger adfærd spiller en stor rolle mht. varmemeforbruget, og man bør som beboer være opmærksom på dette, hvis man vil sænke sit varmemeforbrug.

13 Økonomi

De beregnede besparelse vha. Be10 opstilles og besparelserne angives i kr., som det ses i tabel 22. Dernæst udarbejdes et prisoverslag, for hvad det vil koste at realiserer energirenoveringerne. Til beregning af besparelserne i kr., er der blevet brugt en fjernvarmepris på 0,7 kr./kWh, som er fjernvarme prisen for 2013 i København, der leveres af Hofo. [28] Da 3-lags energiruder er dyrere end 2-lags energiruder, kontrolleres det derfor først om løsningen med 3+2-lags energiruder i virkeligheden bedst kan svare sig, i forhold til rentabiliteten, sammenlignet med løsningen hvor det kun bruges 2-lags energiruder. Der opstilles også en vejledning til beboerne i kvarteret, med løsningsforslag til energioptimering alt efter hvilken typer af vinduer der er tale om.

Til bestemmelse af om investeringen er rentabelt, benyttes formel (F9) fra [31], side 11.

$$\frac{\text{levetid} * \text{besparelse}}{\text{investering}} < 1,33 \text{ (F9)}$$

13.1 Vinduer

De benyttede priser er fra tilbud givet af www.glarmester-bs.dk. Der er givet en samlet pris for ruderne, hvorfor det er gennemsnitspriser for de enkelte vinduer. Priserne er ikke bindene og kan derfor variere.

Løsningerne vurderes nu mht. rentabiliteten, hvor det antages at levetiden for ruderne er på 25 år, som nævnt tidligere.

Tabel 29 - Priser og rentabilitet af gamle termoruder i reference boligen

Priser og rentabilitet, for reference bolig			2+3	2 lag	Montering
Vinduestype	Areal [m ²]	Antal [Stk.]	Pris [kr.]	Pris [kr.]	
1	1,37	1	787,5	787,5	
1	1,37	5	3.938	3.938	
2	0,43	2	2.625	1.575	
3	1,05	1	1.312,5	787,5	
4	1,50	2	2.625	1.575	
5	1,64	2	1.575	1.575	
5	1,64	1	788	788	
i alt			13.650	11.025	11.400
1 kWh fjernvarme koster 0,7 kr.					
	Besparelse		1.198	1.082	Kr.
	omkostning		25.050	22.425	Kr.
	Rentabilitet		1,20	1,21	-
	Tjent ind efter		20,91	20,73	År
	Gevinst efter 25 år		4.896	4.623	Kr.

Det ses her at rentabiliteten er for lav i begge tilfælde, hvilke ofte ses for termoruder. Hvis man kigger på rentabiliteten kan det bedst betale sig at købe en kombinationen af 2- og 3-lags ruder selvom det er lidt dyrere, hvis det antages at ruderne holder i 25 år, som nævnt tidligere. Investeringen for ruderne er tjent hjem hvis vinduerne holder i 31,59 år og 32,27 år for hhv. 2+3 lags og 2-lags energiruder, hvis man altså er så heldig at ruden holder så længe, hvilke den nok ikke gør. Dette viser at forslaget om at benytte sig af løsningen med 2+3-lags ruder er det rigtige valg, når rentabilitet vurderes.

13.1.1 Optimering af forskellige vindues typer

Ud fra tabel 17, som beskriver de forskellige tiltag ved de forskellige eksisterende vinduer, udarbejdes der her en oversigt over hvor meget der kan spares alt efter hvilke vinduer man i forvejen har og hvilke tiltag man ønsker at gøre sig. Dette skal fungere som en vejledning til boligejerne i Strandvejskvarteret. Her beregnes energitilskuddet for reference boligen, altså vha. formel F8. Denne formel er som sagt ikke helt korrekt, da vindues placeringer vil være forskellige og man derfor vil opnå et større energitilskud hvis et vindue vender mod syd. Derfor skal man som boligejer ikke regne med at energitilskuddet herunder er helt korrekt. Hvis der er behov for det, bør man få udarbejdet beregninger af energitilskuddet der matcher ens boligs vindues placeringer, for at få de korrekte værdier. Nedenstående er blot vejledende. Tabel 21 er en oversigt der viser hvor meget man kan spare ved udførelse af de forskellige vinduestiltag i de forskellige situationer. Energitilskuddet i kWh er beregnet for reference boligen, for vinduerne af type 1-5, hvorfor der er brugt et vindues areal på 18,09 m². Besparelsen for udskiftning af de gamle staldvinduer på spidsspidsloftet og i kælderen med nye, er ligeledes opstillet, hvis man ønsker at udskifte disse i forbindelse med en evt. efterisolering af spidsloft og eller kælder.

Der er blevet indhentet flere forskellige tilbud for de forskellige løsninger. De valgte leverandører er listet i tabel 20 nedenunder, hvor pris for levering og montering er oplyst.

Tabel 20 - Indhentede tilbud til forbedring af reference boligens vinduer i opvarmede rum

Indhentede tilbud, for typerne 1-5								
	Type	1	2	3	4	5	Levering	montering
	stk.	4	2	1	2	3	[kr.]	[kr.]
[A] Trehoje-traeindustri.dk								
forsatsrammer, 2 lags		18.810	2.310	2.125	7.560	7.695	38.500	16.800
forsatsrammer, 3 lags		26.850	3.170	2.975	11.980	9.675	54.650	16.800
[B] Linolievinduet.dk								
forsatsrammer, energiglas		21.582	2.062	1.862	8.590	7.128	55.506	16.800
Optoglas		44.208	4.838	4.493	23.826	5.241	111.414	16.800
Koblede, 2-lags		38.808	3.526	3.593	18.426	3.941	93.524	16.800
[C] Larsjohansen.dk								
Optoglas			4.857	2.429	4.857	7.286	34.000	5.214
		14.571						
[D] Glarmester-bs.dk								
energiruder 2-lags		4.725	1.800	900	1.800	2.700	11.025	11.400
energiruder 3-lags		7.875	3.000	1.500	3.000	4.500	18.375	11.400

Der skal tages forbehold for tilbuddene ikke er bindende og der kan derfor forekomme ændringer i prisen.

Ud fra tabel 17, som beskrev løsningsmulighederne for de forskellige vinduer, er der for denne bolig blevet undersøgt hvilke af mulighederne der er mest fordelagtige. Hvis det ønskes at udskifte vinduerne af typen 10, 11 og 12 er der givet et forslag til nye vinduer. Alle de resterende vinduestyper nemlig typerne af 1, 2, 3, 4, 5, 7 og 8 består alle af de oprindelige vinduer med gamle termoruder i. I tabel 21 er de forskellige energi-forbedringer listet.

Tabel 21 - Priser og rentabilitet på løsningsforslag for reference boligens eksisterende vindues typer

Priser og rentabilitet			Besparelse				Pris			Rentabilitet	Tjent ind
	areal	E, Energitilskud				Levetid	levering	montering	i alt	> 1,33	
Vinduestype	[m²]	[kWh/m²år]	kWh/år	kWh/år	kr./år	[år]	[kr.]	[kr.]	[kr.]		år
2 - Oprindeligt trævindue med 1 lag glas	18,09	-228,68	-4.135,76	-	-	-	-	-	-		
2.1 Forsatsramme med energiglas (1+1)	18,09	-67,20	-1.215,26	2.920,49	2.044,35	150,00	55.506,25	16.800,00	72.306,25	4,24	35,37
2.2 Forsatsramme med 2 lags energirude (1+2)	18,09	-52,66	-952,30	3.183,46	2.228,42	25,00	38.500,00	16.800,00	55.300,00	1,01	24,82
2.3 Koblet ramme med energiglas (1+1)	18,09	-67,20	-1.215,26	2.920,49	2.044,35	150,00	-	-	-	-	-
2.4 Koblet ramme med 2 lags energirude (1+1)	18,09	-52,66	-952,30	3.183,46	2.228,42	25,00	93.523,75	16.800,00	110.323,75	0,25	99,48
2.5 Rammeløs koblet forsatsløsning med Optoglas (1+1)	18,09	-16,13	-291,75	3.844,00	2.690,80	150,00	34.000,00	5.214,29	39.214,29	10,29	14,57
3 - Oprindeligt vindue med gamle termoruder	18,09	-95,61	-1.729,17	-	-	-	-	-	-		
3.1 Udskiftning af termorude til 2-lags energirude (1+2)	18,09	24,34	440,13	2.169,29	1.518,51	25,00	11.025,00	11.400,00	22.425,00	1,69	14,77
3.2 Udskiftning af termorude til 3-lags energirude (1+3)	18,09	34,95	632,05	2.361,22	1.652,85	25,00	18.375,00	11.400,00	29.775,00	1,39	18,01
4 - oprindeligt vindue med gammel forsatsramme	18,09	-126,52	-2.288,16	-	-	-	-	-	-		
4.1 Udskiftning af glas i forsatsramme til energiglas (1+1)	18,09	-67,20	-1.215,26	1.072,90	751,03	150,00	-	-	-		
4.2 Udskiftning af glas i forsatsramme til energirude (1+2)	18,09	-52,66	-952,30	1.335,86	935,10	25,00	11.025,00	11.400,00	22.425,00	1,04	23,98
Spidsloft											
1 - Oprindelige staldvinduer med jern ramme og et lag glas	0,16	-228,68	-37,48								
1.1 Nyt vindue (type 10) x 1	0,16	8,20	1,34	38,83	27,18	25,00	1.895,00	1.200,00	3.095,00	0,22	113,88
Kælder											
3 - Oprindelige staldvinduer med jern ramme og et lag glas	0,41	-228,68	-93,99								
3.1 Nyt vindue (type 11) x 2	0,41	-15,61	-6,42	100,40	70,28	25,00	2.026,00	1.200,00	3.226,00	0,54	45,90
4 - Oprindelige staldvinduer med jern ramme og et lag glas	0,29	-228,68	-67,28								
4.1 Nyt vindue (type 12) x 3	0,29	-23,72	-6,98	74,25	51,98	25,00	2.026,00	1.200,00	3.226,00	0,40	62,07
1 kWh fjernvarme koster 0,7 kr. [28]											

Det samlede varmetab i reference boligen ved nuværende situation og ved de forskellige løsningsforslag er angivet i tabel 22. Tabellen viser også besparelsen, omkostningen og rentabiliteten ved at udføre hvert enkelt tiltag. Den samlede besparelse der kan opnås ved at kombinere alle tiltagene, er ligeledes angivet. Dette er for løsningsforslaget med 2+3- lags energiruder. Grunden til løsningsforslaget med 2-lags energiruder også optræder i skemaet, er hvis man hellere ser denne løsning frem for 2+3-lags energiruder, da omkostningerne er lavere.

Tabel 32 - Besparelser og rentabilitet for reference boligen

Besparelser for reference boligens løsningsforslag										
	Forbrug			Årlig besparelse			Omkostning [kr.]	Rentabilitet		
	kWh/m ² år	kWh/år	kWh/m ² år	kWh	kr.	%		Levetid	Rentabilitet	Tjent ind efter
Nuværende tilstand	220,20	30.387,60								
Tiltag:								år	-	år
Efterisolering af etagedæk mellem 2.sal - spidsloft	217,80	30.056,40	2,40	331,20	231,84	1,09	3.116	40	2,98	13,44
Udskiftning af termoruder (2+3lags)	207,80	28.676,40	12,40	1.711,20	1.197,84	5,63	25.050	25	1,20	20,91
Udskiftning af termoruder (2lags)	209,00	28.842,00	11,20	1.545,60	1.081,92	5,09	22.425	25	1,21	20,73
Isolering af ydervægge, model C 50 mm	197,90	27.310,20	22,30	3.077,40	2.154,18	10,13	34.912	40	2,47	16,21
Tætning 20 %	210,40	29.035,20	9,80	1.352,40	946,68	4,45		-	-	-
Alle tiltag	173,30	23.915,40	46,90	6.472,20	4.530,54	21,30	63.078	-	-	-
1 kWh fjernvarme koster 0,7 kr.										
Etageareal = 138 m ²										

14 Diskussion

Efter at have analyseret bolig A og bolig B's nuværende tilstand i forbindelse med blowerdoor test og termografiske undersøgelser, kunne det konstateres at begge boliger generelt var meget utætte. Luftskiftet gennem klimaskærmens utætheder er langt over hvad man i dag skal overholde når man bygger nyt. Flere steder var der tegn på store utætheder ved gulvene mod ydervæg under vinduerne. Der kan umiddelbart ikke konstateres hvad denne utæthed skyldes, hvorfor det ikke har været muligt at udbedre utætheden. Der bør foretages yderligere undersøgelser af konstruktionsområdet for at der kan opstilles et brugbart løsningsforslag. Det kræver formegentlig et indgreb i konstruktionen med demontering af fodpaneler, gulvbrædder mv. Det viste sig i bolig B på 1.sal, af denne form for utæthed ikke var gældende her, hvilket kunne være pga. etagedækket her er efterisoleret, hvorfor man bør overveje denne løsning ved den nærmere undersøgelse.

Mange af vinduerne viste store utætheder, hvorfor der er behov for at tætnes utætheden for at skabe et mindre varmetab her igennem. Det viser sig at det ikke kan betale sig at investere i energitermoruder, det er slet ikke rentabelt at udskifte de gamle termoruder med nye energiruder, da besparelsen er lille i forhold omkostningerne og fordi levetiden er så kort. De gamle termoruder har en lille smule kortere levetid end nye termoruder og udskiftningen vil derfor også være uundgåeligt og skal formodentlig ske inden for den nærmeste fremtid. Når det er tid til at udskifte de gamle termoruder for referenceboligen ville det optimale være at udskifte ruderne med en kombination af 2- og 3-lags energirude. Energitemskuddet er nemlig højere for 2-lags energiruder der vender mod syd, hvilket også mindsker omkostninger da det er billigere for 2-lags ruder.

Kælderen i reference boligen er uopvarmet og er derfor udsat for fugt, hvis temperaturerne bliver for kold. Derfor undlades det at isolere etagedækket mellem stuen og kælderen, for at undgå kondens problemer. Etagedækket mellem spidloft og 2.sal kan med fordel isoleres, da spidsloftet ventileres godt ved naturlig ventilation.

Ud fra temperaturmålinger ses det at brugeradfærden svinger meget og det er forskelligt hvilke temperaturer der optræder i rummene. Det anbefales at man holder temperaturen så tæt som mulig på 20 grader, og at man ikke har for høje temperaturer. Selvfølgelig skal det være behageligt at opholde sig i rummene. Men det kan ud fra Be10 målinger konkluderes at der opnås en besparelse på ca. 6 % pr. grad temperaturen sænkes.

Indvendig efterisolering frarådes normalt, grundet de store risici for fugtophobning og vækst af skimmelsvampe på den eksisterende ydervæg. Problematikken er også at temperaturen i selve ydermuren sænkes, med risiko for kondens, som kan virke skadeligt for den indmurede bjælke og man skal derfor være påpasselig med isoleringstykkelsen. Mange faktorer har betydning for hvorvidt om konstruktionen kan holde. I forhold til simulering af løsningsforslag, vælges den hårdeste orientering mht. slagregn, netop for at se hvorvidt konstruktionen kan klare belastende forhold.

Ud fra simuleringsresultaterne kan der ved hhv. løsningsforslag B og A, observeres et stigende fugtindhold i bjælkeenden. Da fugtindholdet er stigende over hele simuleringsperioden, og samtidig er tæt på de kritiske 20 % fugtindhold, er der risiko for råd i bjælkeenden. Ses der bort fra bjælkelaget og sammenlignes ydervæggen ved brugen af dampspærre og ytong multipor ved 100 mm, er den relative fugtighed tilnærmelsesvis ens for den indvendige overflade af hhv. gipspladen og pudslaget. Betragtes ydermuren, ses der en for-

skel på 1 % WC efter simuleringsperioden, ligeledes bemærkes det at for løsningsforslag B sker der en opfugtning i ydermuren, som ikke når at tørre ud.

Til forskel fra løsningsforslag A og B, er der i C, skabt en kuldebro, for netop at hæve temperaturen til bjælkeenden. På trods af kuldebroen, er resultaterne ved isoleringstykkelse af 100 mm og 200 mm tvivlsomme, grundet fugtindholdet er stigende opfugtning for hvert år.

Den eneste konstruktion som reelt lever op til de forventede krav, mht. kritiske fugtniveau, ved en RRF på 0.5, er løsningsforslag C ved isoleringstykkelse af 50 mm., der til forskel for de andre løsningsforslag, har et faldende fugtindhold ved bjælkeenden over simuleringsperioden.

Fælles for alle løsningsforslagene, ses en stigende opfugtning af ydermuren i forhold til den eksisterende konstruktion. Dette kan øge risikoen for frost skader, ved den øgede mængde vand i konstruktionen. Endvidere øges ydermurens varmeledningsevne, som følge af det forøgede vandindhold i ydermuren. En mulig løsning på dette kunne være, ved at imprægnere ydervæggens overflade, for at minimere slagregnen på facaden. Der ses en tydelig ændring på opfugtningen af bjælkeenden ved, at reducere RRF for alle løsningsforslag. For løsningsforslag A, betyder redueringen af slagregn, at udviklingen af fugtindholdet i bjælkeenden reduceres over simuleringsperioden. Der observeres ingen reel forskel af fugtindholdet i det isolerende lag af konstruktionen, hvilket betyder at løsningsforslag A ved 50 og 100mm. Er et muligt tiltag så frem slagregnen reduceres.

Betragtes løsningsforslag B, reduceres fugtindholdet ligeledes ved RRF på 0.1. Dog observeres stadig store udsving på fra 20-80 % RF, hvorved en utæthed i dampspærret, kan medføre en risiko for vækst af skimmelsvamp på bagsiden af gipspladen.

Reduceringen af slagregn gør det muligt, at efterisolere helt op til 200 mm idet, den relativ fugtighed ved alle isoleringstykkelser, er reduceres henover simuleringsperioden. Herved kan ydervæggen opnå en U-værdi på $0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$, og derved overholde bygningsreglementets krav om isolering af ydervægge med U-værdi på $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. [37]

Da imprægnering ofte medføre en farveændring af den behandlede overflade, vil det ikke være en mulig løsning, da boligernes ydre skal bibeholdes. Yderligere risici ved imprægnering er øget vandbelastning ved bunden af facaden, da fugten vil løbe ned af den vandafvisende overflade.

Betragtes nu en øget fugtbelastning fra indeklimaet, simuleret for den eksisterende ydervæg. Bemærkes en forøgelse af fugtindholdet på 1 % i bjælkeenden, dog ses der ingen fare indikationer for gunstige vækstbetingelser for svamp eller råd.

Udsættes løsningsforslag C på 50 mm, for en højere fugtbelastning, observeres der en stigende fugtindhold i bjælkeenden, ligeledes bemærkes at imellem Multipor og murværket, har en øget relativfugtighed, som topper 88 % RF over ca. en periode af 2 måneder.

Sammenlignes varmetabet mellem løsningsforslag A og C ved 50mm, ses en formindskelse af varmetabet på 52 % ved løsningsforslag C, hvorimod hvis der ikke isoleres med porebeton, opnås et mindre varmetab i forhold til den nuværende ydervæg.

15 Konklusion

Det har vist sig efter tæthedsundersøgelse at der på mange område kan energioptimeres i de ældre bygninger i Strandvejskvarteret. Bl.a. vinduerne viste at være utætte mange steder, hvorfor det anbefales at sikre sig vinduerne er tætte. Det samme gør sig gældende for dørene. Hvis man kigger på varmetabet gennem vinduerne er der her også muligheder for at forbedre isoleringsevnen, alt efter hvilke typer af vinduer det drejer sig om. For boliger i kvarteret der stadig har det gamle oprindelige vindue med et lag glas, er der store besparelser at hente, og det ses at disse vinduer ved energibesparende tiltag nærmest som de eneste er rentable. Det er løsninger med energiglas, hvilke medvirker en høj levealder for vinduet. Den billigste løsning er at montere en rammeløs forsatsløsning med Optoglas monteret på den eksisterende ramme. Hvis der benyttes tilbud modtaget af larsjohansen.dk der er de billigste, opnås der en besparelse 1424 kr./år, hvor omkostningen lyder på i alt 39.215 kr.

Det er ikke rentabelt at investere i energiruder, grundet deres lave levealder. For reference boligen anbefales det, når de gamle termoruder skal skiftes, at udskifte dem til en løsning med 2-lags glas for de fleste sydvendte vinduer og 3-lagsglas for vinduerne mod nord. Dette bliver på et tidspunkt nødvendigt da de gamle termoruder kun har en levetid på 25 år. Det billigste tilbud er fra glarmester-bs.dk som lyder på en omkostning på 37.537 kr., hvor der her opnås en besparelse på 1198 kr./år. Så når det er tid til udskiftning af vinduerne bør det være denne løsning.

Ved energimæssig renovering af ydervæggene, hvor indvendig efterisolering er den eneste mulighed, skal dette udføres med stor omhu og omtanke. Ved observation af bjælkeenden, med de forskellige løsningsforslag, viste det sig ud fra simuleringresultaterne, at fugtindholdet i bjælken ikke overskred det kritiske niveau ved løsningsforslag C 50 mm ytong multipor. På trods af at der ved løsningsforslag C, var en tiltænkt kuldebro på 300 mm porebeton over og under etageadskillelsen, var der stadig en reduktion af varmetabet på 52 % i forhold til den uisolerede ydervæg. Ved efterisolering efter model C, ville man kunne opnå en energibesparelse på 10 % i forhold til vores reference bolig, hvoraf omkostningerne er tjent igen efter ca. 16 år. Ved reduktion af slagregn på facaden, faldt fugtindholdet i bjælkeenden, hvilket ville gøre det muligt at efterisolere uden en kuldebro ved dæk og loft. Dette ville muliggøre efterisolering med 200 mm Ytong multipor og hermed skabe reduktion af varmetabet ved bjælkeenden og den tilstødende væg på 83 %. Der kan endvidere konkluderes, at høj fugtbelastning udover at give et ringere indeklima, også belaster bygningsmaterialerne. Løsningsforslag C ved 50 mm ville være at anbefale blandt de undersøgte tiltag, da den som den eneste kunne håndtere slagregnen. Dog skal der understreges, at dette er baseret på simuleringer, hvor mange parametre har en stor indflydelse på simuleringresultaterne. Før denne løsning benyttes, bør der foretages yderligere dybdegående undersøgelser, for holdbarheden af løsningsforslaget.

Det kan konkluderes at der er store besparelser at hente ved at efterisolere etagedækket mellem 2.sal-loft og ydervæggene. Derudover må det antages at man bare vha. af tætning kan reducere varmeforbruget yderligere. For Efterisolering af ydervæg og etagedæk, samt udskiftning af de gamle termoruder, opnås en årlig besparelse på 4530 kr. Det gælder både for efterisolering af etagedæk og ydervæg, at investeringer er rentable og omkostningerne vil forholdsvis hurtigt være tjent hjem, nemlig hhv. 13 og 16 år. Hvorimod det ikke er en god investering at udskifte termoruder, grundet deres korte levetid. Udskiftningen vil dog blive uundgåelig.

16 Litteraturliste

- [1] www.danskbyggeskik.dk
- [2] www.danskebygningsmodeller.dk
- [3] www.godetage.dk
- [4] [http://www.denstoredanske.dk/It, teknik og naturvidenskab/Kemi/Keramisk industri-Glas, m%C3%B8rtel, gips mv./tegl/tegl \(Mursten\)](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Kemi/Keramisk_industri-Glas,_m%C3%B8rtel,_gips_mv./tegl/tegl_(Mursten))
- [5] http://www.strandvejskvarteret.dk/fileadmin/uploads/Hbogen/2006-09-24_Haandbog.pdf
- [6] <http://www.bolius.dk/alt-om/vinduer-og-doere/artikel/valg-af-nye-termoruder/>
- [7] DS 418
- [8] <http://www.energimarkning.dk/Rapporter/Kompendium07.pdf>
- [9] http://ipaper.ipapercms.dk/VELUX_Danmark/Prisliste2013/
- [10] [http://www.bygningsbevaring.dk/files/Anvisninger2010/Gode_raaed om Vinduer 2002.pdf](http://www.bygningsbevaring.dk/files/Anvisninger2010/Gode_raaede_om_Vinduer_2002.pdf)
- [11] <http://www.genbyg.dk/download/vinduesEnergi.pdf>
- [12] <http://www.optoglas.dk/index.php/brochure1>
- [13] http://www.bygningsbevaring.dk/files/anvisninger2010/10-ANVISN_Vinduer_energiforbedring.pdf
- [14] <http://www.eref.dk/forside.aspx?ReturnUrl=%2f>
- [15] <http://www.optoglas.dk/index.php/brochure1>
- [16] <http://www.glasindustrien.org/Webnodes/da/Web/CMS/Forsiden/S%E5dan+laves/Vindue+energirenovering>
- [17] <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/AF8A60DA-CB3C-4382-9F1D-662D29AA048A/0/Skemaovertypiskel%c3%b8sninger4.pdf>
- [18] www.rationel.dk
- [19] www.energirude.dk
- [20] BYG-ERFA erfaringsblad (99) 101118 – Utætheder i klimaskærm, måling, lokalisering og vurdering.
- [21] <http://www.bolius.dk/alt-om/vinduer-og-doere/artikel/saadan-monterer-du-let-taetningslister/>
- [22] <http://energiwiki.dk/index.php/Vinduer>

- [23] http://www.danalim.dk/fileadmin/editors/brochurer/fugemasser_fugebaand/Fuge_detail_DK.pdf
- [24] Byg-Erfa erfaringsblad (39) 111122 – Dampspærresamlinger og tætningsmidler
- [25] www.byggeriogenergi.dk
- [26] SBI-anvisning 213 – bygningers energibehov
- [27] www.bygningsreglementet.dk/br10_03id107/0/42
- [28] <http://www.hofor.dk/fjernvarme/prisen-pa-fjernvarme-2013/>
- [29] http://energiplus.net/Dokumenter/Erfaringer_fra_proevelejlighed_Ryesgade_30C_1tv_juli_2011.pdf
- [30] <http://www.strandvejskvarteret.dk/>
- [31] SBI-anvisning 221 – Efterisolering af etageboliger
- [32] <http://www.byggeriogenergi.dk/efterisolering-skraavaeg-kip>
- [33] http://www.sst.dk/publ/publ2005/cff/skimmelsvamp/skimmelsvamp_05.pdf
- [34] <http://www.bolius.dk/alt-om/reparationer-og-skader/artikel/red-dit-hus-tjek-det-for-raad-og-svamp/#Hvorfor-boer-du-tjekke-huset-for-raad-og-svamp>
- [35] http://fuktsakerhet.se/sv/fakta/Documents/SP_RAPP_2005_11.pdf
- [36] SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger
- [37] http://bygningsreglementet.dk/br10_02_id118/0/42
- [38] http://www.ytong.dk/dk/docs/102428_460_MONTAGE_MULTIPOR_VAEG.pdf

17 Bilagsliste

- A – Tegningsmateriale
 - A.1 - A.6
- B – Tabeller
 - B.1-B.5
 - B.5.1 – B.5.4
- C – Grafer
 - C.1 – C.5
- D – Termografiundersøgelse Bolig A
- E – Måledata fra blowerdoor test Bolig A
- F – Termografiundersøgelse Bolig B
- G – Måledata fra blowerdoor test Bolig B
- H – Be10
- I.1 – HOBO datalogger, bolig A
- I.2 – HOBO datalogger, bolig B