

2026:07

Vurdering af metoder til indvendig efterisolering

Analyse af skimmelrisiko samt retningslinjer for
at reducere denne risiko

Ruut Peuhkuri, Nickolaj Feldt Jensen, Birgitte Andersen, Ernst Jan de Place Hansen

VURDERING AF METODER TIL INDVENDIG EFTERISOLERING

Analyse af skimmelrisiko samt retningslinjer
for at reducere denne risiko

Ruut Peuhkuri, Nickolaj Feldt Jensen, Birgitte Andersen, Ernst Jan de Place Hansen

TITEL	Vurdering af metoder til indvendig efterisolering
UNDERTITEL	Analyse af skimmelrisiko samt retningslinjer for at reducere denne risiko
SERIETITEL	BUILD Rapport 2026-07
FORMAT	Digitalt
UDGIVELSEÅR	2026
UDGIVET DIGITALT	Marts 2026, 1. udgave
FORFATTER	Ruut Peuhkuri, Nickolaj Feldt Jensen, Birgitte Andersen, Ernst Jan de Place Hansen
SPROG	Dansk
SIDETAL	58
LITTERATURHENVISNINGER	Side 56-58
EMNEORD	Murværk, efterisolering, fugt, indeklime, skimmelvækst, skimmelsporer, risikovurdering
ISBN	978-87-94561-74-7
OMSLAGSILLUSTRATION	Ruut Peuhkuri
FOTO	Projektgruppen, hvis ikke andet angivet.
UDGIVER	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

INDHOLD

FORORD	6
1 INDLEDNING	8
1.1 Baggrund	8
1.2 Projektets formål	9
1.3 Rapportens indhold	9
1.4 Publikationer fra projektet	10
2 BESKRIVELSE AF CASES	12
2.1 Case A (Bispebjerg)	12
2.2 Case B (Druehaven)	13
2.3 Case C (Christiania)	13
2.4 Case D (Folehaven)	14
2.5 Beskrivelse af isoleringssystemer	15
3 BESKRIVELSE AF METODER	18
3.1 Den forventede fugttekniske ydeevne	18
3.2 Den faktiske fugttekniske ydeevne	22
3.3 Afgrænsning	26
4 RESULTATER	28
4.1 Forventet fugtteknisk ydeevne som beregnet skimmelrisiko	28
4.2 Faktisk ydeevne ud fra destruktive undersøgelser	36
4.3 Sammenligning af forventet og faktisk ydeevne	40
4.4 Andre observationer fra feltarbejdet	42
4.5 Simulering af parametre med betydning for den fugttekniske ydeevne	44
4.6 Usikkerheder ved bestemmelse af den fugttekniske ydeevne	48
5 KONKLUSION OG ANBEFALINGER	50
5.1 Forventet fugtteknisk ydeevne	50
5.2 Faktisk fugtteknisk ydeevne	51
5.3 Anbefalinger og retningslinjer	52
6 REFERENCER	56
7 BILAG	60

FORORD

Efterisolering indefra er ofte den eneste mulighed for at forbedre varmeisoleringen af ældre bygninger med massivt murværk, da man ønsker at bevare udseendet af disse bygninger. En betydelig del af den danske bygningsmasse består af bygninger af denne type. Murede facader tegner sig for en meget stor del af det facadeareal, der er opført før 1950. Bevaring af disse bygninger, der giver karakter til bymiljøerne, kræver at murværket vedligeholdes og at bygningernes energi-, indeklimate- og komfortmæssige ydeevne bliver forbedret for at passe ind til fremtidens krav.

Indvendig efterisolering kan i nogle tilfælde føre til fugtrelaterede skader, fordi isoleringen ændrer temperatur- og fugtforholdene i den oprindelige ydervæg: Denne bliver koldere og mere sårbar for indtrængende fugt fx fra slagregn eller opstigende grundfugt, eller fugt fra indeklimaet. Derfor skal ønsket om at spare energi og øge komforten ses i sammenhæng med denne risiko.

I denne rapport samles resultaterne fra forskningsprojektet "Vurdering af metoder til indvendig efterisolering af kuldebroer med mineralsk plademateriale", hvis overordnede formål var at kunne vurdere risikoen for fugtrelaterede skader med større sikkerhed.

Projektet forløb fra slutningen af 2022 til slutningen 2025. I projektet deltog følgende forskere fra BUILD: Adjunkt Tessa Kvist Hansen (indtil medio 2023), adjunkt Nickolaj Feldt Jensen, lektor Birgitte Andersen, professor Lars Gunnarsen (indtil medio 2023), seniorforsker, sektionsleder Ernst Jan de Place Hansen og lektor Ruut Peuhkuri, som også har ledet projektet siden medio 2023.

Forskningsprojektet er finansieret af Landsbyggefonden og Grundejernes Investeringsfond, som også indgik i projektets styregruppe. Begge fonde takkes varmt for den finansielle støtte samt for værdifulde drøftelser undervejs i projektet. Desuden vil vi takke de boligorganisationer og beboere som har stillet indvendigt efterisolerede vægge i deres lejligheder til rådighed for destruktive undersøgelser og svaret på spørgeskemaer.

BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet
Sektion for Byggeteknik, Proces og Indeklima
Marts 2026

Ernst Jan de Place Hansen, sektionsleder



1

INDLEDNING

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Murværk efterisoleres indvendigt for at reducere varmetabet gennem ydervægge, hvor udvendig efterisolering ikke er mulig – fx af arkitektoniske eller æstetiske årsager. Isoleringen medvirker også til at forbedre det termiske indeklima og mindske trækgener. Selvom indvendig efterisolering ikke reducerer varmetabet lige så effektivt som udvendig efterisolering, kan der forventes besparelser på 9 – 43 %, afhængig af bygningens alder og layout (de Place Hansen & Wittchen, 2018). Gavle er generelt nemme at efterisolere indvendigt, da antallet af geometriske afbrydelser, fx skillevægge, er begrænset. På samme måde er brystninger og lysninger sædvanligvis nemme at tilgå. Teoretisk kan varmetabet reduceres op til 40% ved en indvendig efterisolering udelukkende af brystninger i forhold til en fuld efterisolering af facaden (Odgaard et al, 2018).

Indvendig isolering af ældre bygninger med murværk gør imidlertid den eksisterende væg koldere, reducerer udtørningspotentialet og introducerer nogle fugtrelaterede risici, såsom øget risiko for skimmelvækst bag isoleringen og risiko for nedbrydning af den oprindelige facade. For at forstå de afgørende mekanismer og faktorer for disse risici er der blevet gennemført adskillige monitorerings- og simuleringstudier i løbet af de sidste 10 til 15 år, for eksempel disse danske studier: Harrestrup & Svendsen (2016), Hansen et al (2018), Hansen et al (2019), Jensen et al (2021a), Hansen & Peuhkuri (2023), Jensen et al (2024), Pagoni et al (2024a), Pagoni et al (2024b).

Formålet og indholdet af disse studier har naturligvis været varieret; de har dog det til fælles, at de monitorerer og analyserer den fugttekniske ydeevne af et eller flere forskellige indvendige isoleringssystemer enten i virkelige bygninger eller i laboratorie-mockups. I en opsamling af de danske casestudier med indvendig efterisolering beskrives bygningerne, isoleringssystemerne, monitoreringen samt måleresultater (Peuhkuri & Jensen, 2024). I denne rapport findes også en liste med alle videnskabelige udgivelser relateret til undersøgelserne. Foruden disse danske studier findes der naturligvis en række internationale studier. I en review artikel er de mest relevante samlet, og det fremhæves at dansk forskning er meget aktiv i dette felt (Sukop & Ostrý, 2025).

De forskellige studier viser, at der er mange forhold som kan have indflydelse på de opnåede resultater med mineralske plader som indvendig efterisolering: indeklima, orientering, pudset/blank ydre overflade, den generelle tilstand af murværket, eksisterende fugtforhold, og geometri – herunder både isoleringstykkelse og murtykkelse. Vurderingen af skimmelrisikoen i de omtalte studier er primært baseret på analyse af målinger og simuleringer i skillefladen mellem den oprindelige vægoverflade og den opsatte indvendige efterisolering. Om der i virkeligheden opstår skimmel eller ej, trods den påviste risiko, er generelt ikke undersøgt, med enkelte undtagelser:

- I en etageejendom fra 1960 i København, hvor isoleringssystemet var polyurethan-skum med kanaler af kalciumsilikat, blev isoleringen taget ned efter to år efter opsætningen. Undersøgelsen viste ingen indikationer for skimmelvækst i skillefladen (Hansen & Peuhkuri, 2023).
- I et stort containerforsøg ved DTU i Lyngby blev en række forskellige indvendige efterisoleringssystemer testet under semi-kontrollerede forhold. Skimmelundersøgelserne viste at høj pH værdi og begrænset eller ingen tilgængelige næringsstoffer skabte ugunstige vækstbetingelser og forhindrede skimmelvækst i en længere

periode. Vækst blev dog fundet i isoleringssystemer med lav pH værdi og tilgængelige næringsstoffer f.eks. i mineralske plader af porebeton, hampeisolering og den traditionelle mineralulds løsning. (Jensen et al, 2021a, Jensen et al, 2021b, Jensen et al, 2024)

Derfor ses destruktive undersøgelser af indvendig efterisolering, der har været installeret i en længere årrække i rigtige beboelsesejendomme, som et nødvendigt og afgørende næste skridt i udvidelsen af vidensgrundlaget for indvendig efterisolering uden risiko for skimmel.

1.2 Projektets formål

Projektets overordnede formål var at kunne fastlægge konkrete retningslinjer for hvornår indvendige efterisoleringsløsninger af murede facader i ældre boligbyggeri *mere sikkert* kan anses for fugtteknisk robuste. Disse retningslinjer skal kunne fungere som grundlag for planlægning og udførelse af indvendig efterisolering som en del af energioptimering og forbedring af indeklimaforhold i af ældre etageboliger, som er udført med murede facader.

Projektets forskningsmæssigt formål var også at etablere en korrelation mellem den forventede og faktiske fugttekniske ydeevne og skimmelrisiko bag den indvendige efterisolering. Den forventede ydeevne er beregnet og bestemmes typisk ved hjælp af numerisk simulering af de hygrotermiske forhold – temperatur og relativ fugtighed – og teoretiske skimmelmodeller, mens den faktiske ydeevne er baseret på observationer og bestemmes ved måling af de hygrotermiske forhold og detektion af skimmelsvampevækst.

I projektet undersøges derfor også:

- Er det muligt at forudsige skimmelvækst baseret på hygrotermiske simuleringer?
- Hvilke parametre er nødvendige for denne forudsigelse?
- Hvilke parametre er afgørende for at undgå skimmelsvampevækst bag det indvendige isoleringssystem?

1.3 Rapportens indhold

I den nærværende rapport opsummeres baggrunden for projektet, de undersøgte cases og de anvendte metoder beskrives, og resultaterne af undersøgelserne præsenteres og fortolkes. Rapporten afrundes med anbefalinger til hvordan indvendige efterisoleringsløsninger af murede facader i ældre boligbyggeri kan projekteres og udføres fugtsikkert.

Uddybende beskrivelser og analyser findes i de publicerede videnskabelige papers og artikler, se "Publikationer fra projektet".

I bilag findes relevant dokumentation vedrørende projektets undersøgelser (BILAG 3), samt testprotokol (BILAG 1) og spørgeskemaer (BILAG 2). I BILAG 4 findes de opdaterede, konkrete retningslinjer for fugtsikker indvendig efterisolering af murede, ældre facader som også omfatter en risikovurdering.

1.4 Publikationer fra projektet

Projektets resultater, inklusive de mere uddybende beskrivelse af både metoder, resultater og analyser findes i følgende videnskabelige publikationer, som omfatter både tidsskrifter og konferenceproceedings:

Jensen, N.F. & Peuhkuri, R.H. (2026) Mould growth risk of internal insulation systems – Predicted performance (Forventes publiceret i et videnskabeligt tidsskrift i 2026)

Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H. & Andersen, B. (2026) Mould growth risk of internal insulation systems – Verified performance with destructive investigations. (Forventes publiceret i et videnskabeligt tidsskrift i 2026)

Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026a). Hygrothermal Performance of Internally Insulated Solid Masonry Walls: Impact of Radiator Placement Adjacent to the Interior Surface. In proceedings: 14th Nordic Symposium on Building Physics NSB2026, Tampere, Finland (Forventes publiceret i 2026)

Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026b). Hygrothermal Performance of Internally Insulated Walls Under Future Climate Scenarios. In proceedings: 17th International Conference on the Durability of Building Materials and Components DBMC 2026. Montreal, Canada (Forventes publiceret i 2026)

Jensen, N. F., Peuhkuri, R. H., de Place Hansen, E. J., Pagoni, P., & Møller, E. (2024b). The effect of interior paint treatments on the hygrothermal conditions in internally insulated solid masonry walls. I U. Berardi (red.), *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 3: Building Systems and HVAC Technologies* (s. 438-444). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8313-7_61

Peuhkuri, R. H., Jensen, N. F., de Place Hansen, E. J., Pagoni, P., & Møller, E. (2024a). Retrofitting facades of modern/industrial era from inside – Hygrothermal performance. I U. Berardi (red.), *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 1: Moisture and Materials* (s. 495-501). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8305-2_70

Peuhkuri, R.H., Jensen, N.F., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026). Guidelines for Moisture-proof Energy Renovation of Conservation-worthy Masonry Walls. In proceedings: 14th Nordic Symposium on Building Physics NSB2026, Tampere, Finland (Forventes publiceret i 2026)

The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, slightly irregular curves that flow across the entire page, creating a modern and abstract aesthetic.

2

BESKRIVELSE AF CASES

2 BESKRIVELSE AF CASES

Fire bebyggelser er benyttet som cases for de destruktive undersøgelser i projektet. Disse cases blev udvalgt, da de tidligere har været en del af demonstrations- og forskningsprojekter, hvor man blandt andet har monitoreret temperatur- og fugtforhold i skillefladen mellem den oprindelige mur og den indvendige efterisolering (Peuhkuri & Jensen 2024).

Der er tale om etageejendomme på Bispebjerg (case A), etageejendomme i Valby (case B og D) samt en etageejendom på Christiania (case C), alle i København.

2.1 Case A (Bispebjerg)

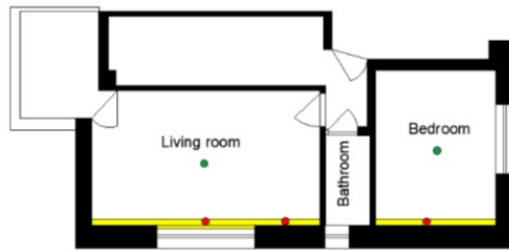
Etageejendommene på Bispebjerg i København er fra 1940. Ydervæggene består af massivt gult murværk, som er 1½ sten (350 mm) tyk. Muren i brystninger er 1 stens mur (230 mm). Indvendigt var der oprindeligt 10 mm puds. Etageadskillelserne består af træbjælker indlejret i ydervæggene. Disse bjælker er understøttet af trælægter muret i facaden.

Gavlene i fire lejligheder blev i 2018 indvendig efterisoleret med 100 mm mineralske isoleringsplader af porebeton. Brystningspartierne blev isoleret med 220 mm. Den diffusionsåbne isolering blev afsluttet med puds og diffusionsåben maling. De fire lejligheder ligger i forskellige bygninger, med enten syd- eller nordorientering af gavlen, og på forskellige etager. Samtidigt med isoleringen blev der påført facadeimprægnering på én syd- og én nordvendt gavl, se FIGUR 1.

I forbindelse med efterisoleringen blev der installeret måleudstyr til måling af relativ fugtighed og temperatur bag den indvendige isolering. Derudover blev der målt indeklima i stuen og i et soveværelse i hver lejlighed, se FIGUR 2. Måleperioden var fra oktober 2018 til omkring april/maj 2021. En beskrivelse af casen, monitoreringen og resultaterne findes i (Pagoni et al 2024a).



FIGUR 1. De indvendigt efterisolerede lejligheder i case A (Bispebjerg), der ligger i hver sin bygning, vender enten mod nord (A1 og A3) eller syd (A2 og A4). En gavl i hver orientering er imprægneret (A1 og A2) Foto: Google Street View.



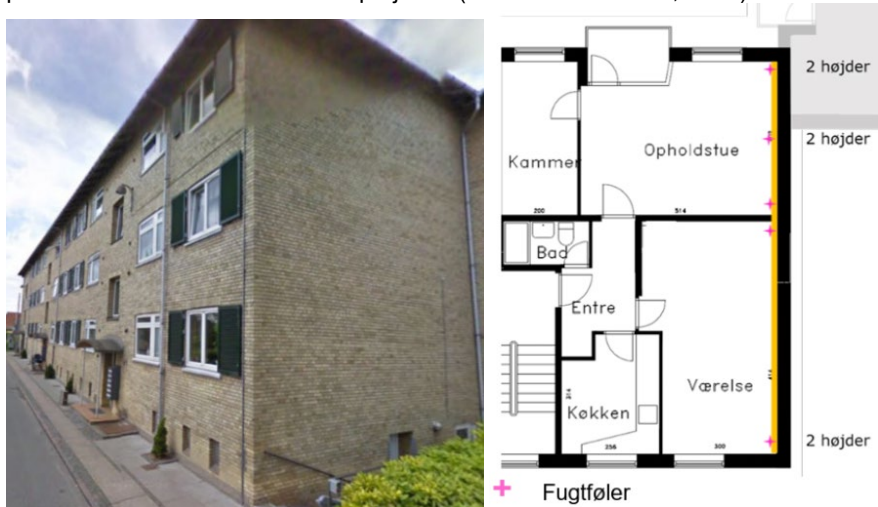
FIGUR 2. Case A. Placering af temperatur- og relativ fugtighedssensorer bag den indvendige efterisolering i stue og i soveværelse, samt for måling af indeklimate. Grundplanen varierer fra case til case.

2.2 Case B (Druehaven)

Ydervæggene i denne bebyggelse er opbygget af gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton med en samlet tykkelse på $1\frac{1}{2}$ mursten (360 mm). På 2. sal er muren hulmur med faste bindere.

Der blev opsat indvendig isolering i tre lejligheder (en i stueetagen, en på 1. sal og en på 2. sal) på en nordvendt gavlvæg i én bygning. Gavlvæggen er efterisoleret med 80 mm mineralske isoleringsplader af porebeton i 2015. Der blev opsat trælister til ophængning af billeder m.m. Isoleringssystemet er diffusionsåbent.

Der blev opsat måleudstyr i skillefladen mellem væg og den indvendige isolering samt til bestemmelse af indeklimaet i lejlighederne, se figur 3. Monitoreringen af skillefladen blev påbegyndt i slutningen 2015 og løb til 2023, dog løb nogle følere tør for batteri et par år inden. Der henvises til en mere detaljeret beskrivelse af casen, monitoreringen og resultaterne i publikationen om demonstrationsprojektet (Hansen & Peuhkuri, 2023)



FIGUR 3. Den nordvendte gavlvæg for case B (Druehaven) og placering af indvendig efterisolering og sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed. Bemærk at nogle følere i stuen er i en væg som ikke er en ydervæg. Foto: Google Street View.

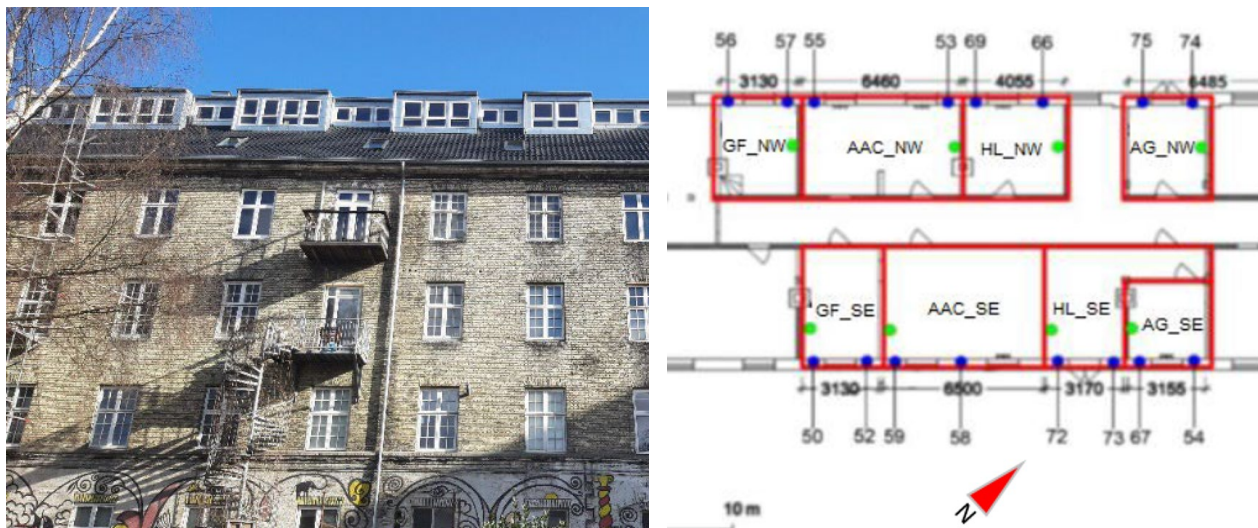
2.3 Case C (Christiania)

Bygningen på Christiania er fra 1837 og repræsenterer en typisk fuldmuret etageejendom fra den tid. Ydermuren er massivt murværk, som på 3. sal har en tykkelse på $1\frac{1}{2}$ sten. I brystninger er murtykkelsen 1 sten. Facaderne vender hhv. mod nordvest og sydøst.

I alt otte værelser på 3. sal blev i sommeren 2021 indvendigt efterisoleret med fire forskellige indvendige efterisoleringssystemer: celleglas, mineralske isoleringsplader af

porebeton, hampebeton og aerogel. Hvert system blev installeret både i facade med orientering mod sydøst og i facade med orientering mod nordvest. Samtidig med efterisoleringen blev vinduerne udskiftet.

Mellem isoleringen og den oprindelige mur blev der monteret to sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed for hver vægvariant. Sensorerne blev monteret ca. 1,5 m fra gulvet. Også indeklimaforhold blev monitoreret. Målingerne startede i efterår 2022 og fortsætter foreløbigt. En beskrivelse af casen, monitoreringen og resultaterne findes i (Pagoni et al 2024b).



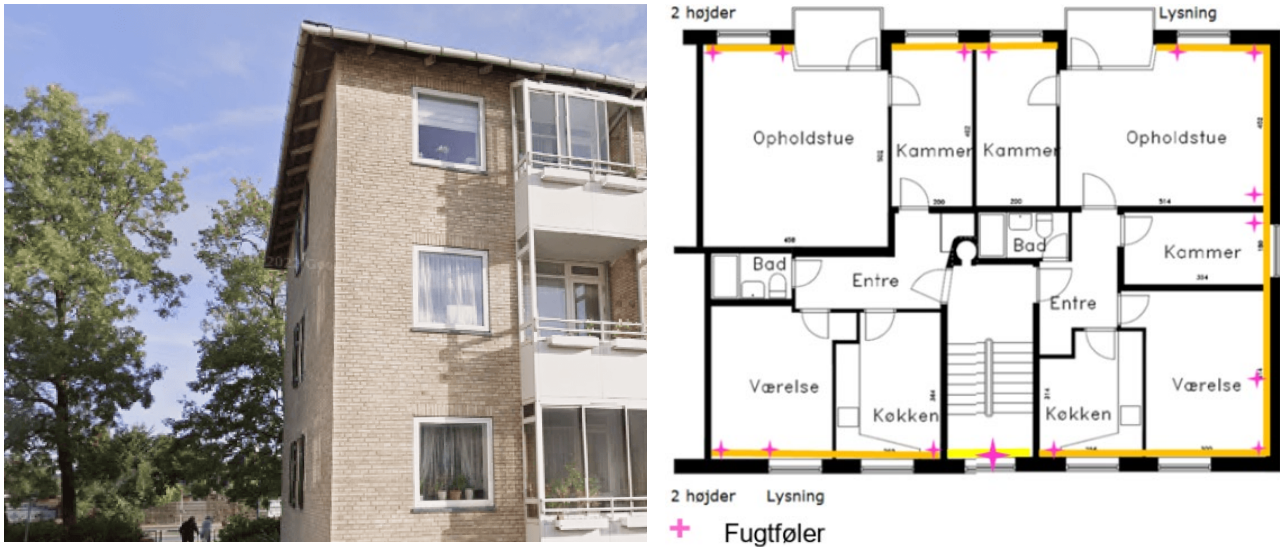
FIGUR 4. Case C (Christiania). Placering af indvendig efterisolering og sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed. Foto: Panagiota Pagoni.

2.4 Case D (Folehaven)

Ydervæggene er som i case B opbygget af gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton med en samlet tykkelse på $1\frac{1}{2}$ mursten (360 mm). På 2. sal er muren hulmur med faste bindere.

Der blev opsat indvendig isolering i alle seks lejligheder i en opgang (to i stueetagen, to på 1. salen og to på 2. salen) på nord- og sydvendte facader samt på den vestvendte gavlvæg, se FIGUR 5. De nærværende undersøgelser vedrører kun galvlejligheden i stuen. Facaderne og gavlvæggen er blevet efterisoleret med hhv. 50 mm og 80 mm polyurethanskum med indbyggede kanaler af kalciumsilikat. Isoleringssystemet er relativt diffusionstæt.

Der blev opsat måleudstyr i skillefladen mellem den eksisterende ydervæg og den indvendige isolering samt til måling af indeklimaet i lejlighederne. Monitoreringen af skillefladen blev påbegyndt i slutningen 2015 og løb til 2023, dog løb nogle følere tør for batteri et par år inden. En detaljeret beskrivelse af casen, monitoreringen og resultaterne findes i publikationen om demonstrationsprojektet (Hansen & Peuhkuri 2023).



FIGUR 5. Bygningen i case D (Folehaven). Placering af indvendig efterisolering og sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed. De nærværende undersøgelser vedrører kun galvlejligheden i stuen. Foto: Google Street View.

2.5 Beskrivelse af isoleringssystemer

I projektet er primært undersøgt mineralske plader som indvendig efterisolering. Mineralske plader er enten fremstillet som en form for letvægtsporebeton, med særligt mange luftbobler, eller af kalciumsilikat. Mineralske plader af porebeton er fremstillet af kalk, sand, cement og vand, og med additivet aluminiumspulver, mens kalciumsilikat består af kalk, silikat og vand, i nogle tilfælde også træfibre.

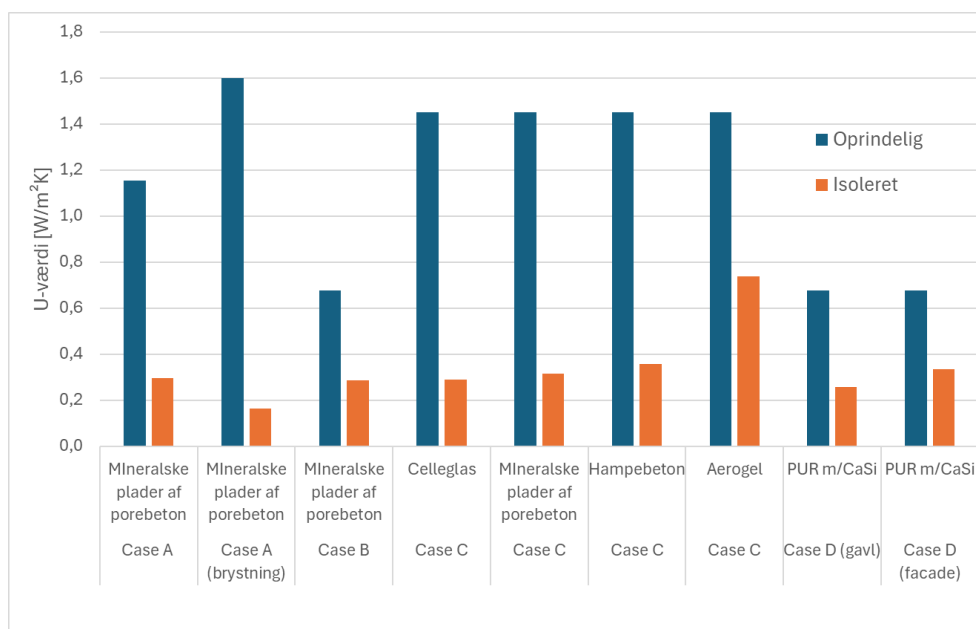
Mineralske plader er formstabile, trykfaste og ubrændbare. De er diffusionsåbne, og fuldklæbes til bagvæggen og monteres uden dampspærre. De er hygroskopiske og delvist også kapillaraktive. Dette betyder, at de er i stand til at optage og fordele fugt og senere afgive den igen. Denne egenskab er essentiel for diffusionsåbne løsninger, da der ellers opstår risiko for kondens i skillefladen mellem isolering og murværk, når fugt fra indeluften møder de kolde bygningsdele.

Der indgår også cases med udvalgte andre isoleringsmaterialer for at få et bredere billede af de parametre der er afgørende for ydeevne af indvendige efterisoleringssystemer. Der er tale om celleglas, polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat, hampebeton og aerogel. TABEL 1 viser hvilke isoleringssystemer og -tykkelser er brugt i de enkelte cases samt nogle centrale materialeleværdier.

Eftersom de undersøgte cases ikke har ens murværk og de brugte isoleringssystemer og -tykkelser er ret forskellige, er effekten af den indvendige efterisolering for varmetabet illustreret i FIGUR 6, som viser estimerede U-værdier af alle undersøgte cases før og efter indvendig efterisolering. Jo lavere U-værdi desto mindre varmetab.

TABEL 1. Isoleringssystemer brugt i de undersøgte cases samt aktuelle isoleringstykkelser og værdier for centrale materialeparametre.

Case	Isoleringssystem	Isolerings- tykkelse [mm]	Varmelednings- evne λ [W/mK]	Diffusions- modstand μ [-]	Kapillær vandoptagelse A_w [kg/m ² s ^{0.5}]
Case A	Mineralske plader af porebeton	100	0.040	2	0.0034
Case A (brystning)	Mineralske plader af porebeton	220	0.040	2	0.0034
Case B	Mineralske plader af porebeton	80	0.040	2	0.0034
Case C	Celleglas	100	0.036	40.000	0
Case C	Mineralske plader af porebeton	100	0.040	2	0.0034
Case C	Hampebeton	150	0.071	5	0.1
Case C	Aerogel	10	0.015	5	0.0004
Case D (gavl)	Polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat	80	0.033	27	0.0001
Case D (facade)	Polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat	50	0.033	27	0.0001



FIGUR 6. Estimerede U-værdier [W/(m²K)] for ydervæggen i de undersøgte casebygninger før og efter indvendig efterisolering. Se tabel 1 for isoleringsmaterialers egenskaber. PUR m/CaSi = Polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat.

BESKRIVELSE AF METODER

3 BESKRIVELSE AF METODER

I projektet er der arbejdet med at bestemme dels den forventede og dels den faktiske fugt- tekniske ydeevne af indvendige efterisoleringssystemer. Arbejdet er baseret på indsamlet empiri fra casestudier med indvendig isolering, hygrotermiske simuleringer og beregninger af disse, samt tilgængelig litteratur med fokus på fugt teknisk ydeevne af isoleringssystemer med mineralske plader og indvendig efterisolering af brystninger og gavle.

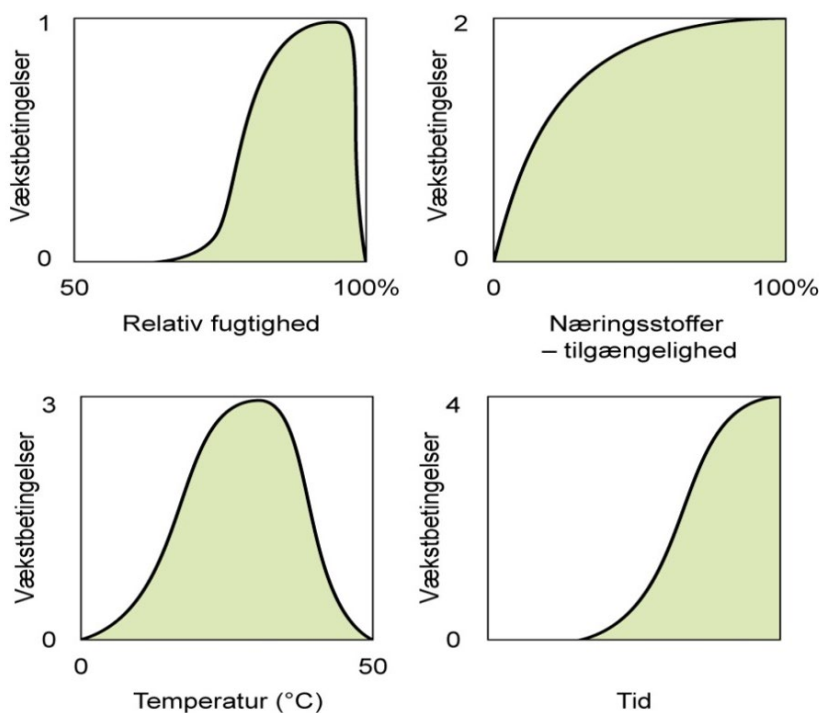
Den forventede fugt tekniske ydeevne er bestemt som en beregnet, teoretisk risiko for skimmelvækst og er baseret enten på dynamiske hygrotermiske simuleringer og/eller målte og observerede hygrotermiske forhold bag isoleringen. Disse forhold er blevet brugt som input i teoretiske skimmelmodeller.

Den faktiske fugt tekniske ydeevne er bestemt ud fra observationer og er baseret på destruktive undersøgelser bag isoleringen, hvor de hygrotermiske forhold måles med yderligere metoder, og eksistensen af skimmelsvampevækst testes med flere forskellige metoder til detektion af skimmelsvampe.

3.1 Den forventede fugt tekniske ydeevne

Teoretiske skimmelmodeller

Den fugt tekniske ydeevne af indvendig efterisolering defineres i denne sammenhæng ud fra *risikoen for skimmelvækst bag den indvendige efterisolering*. Vækstbetingelser for skimmel er afhængige af den rette kombination af temperatur, fugtighed, tid og næring, samt andre forhold som tilstedeværelse af ilt og den rette pH, se en forenklet illustration af dette i FIGUR 7.



FIGUR 7. Vækstbetingelser for skimmel. En forenklet illustration fra (SBI Anvisning 277)

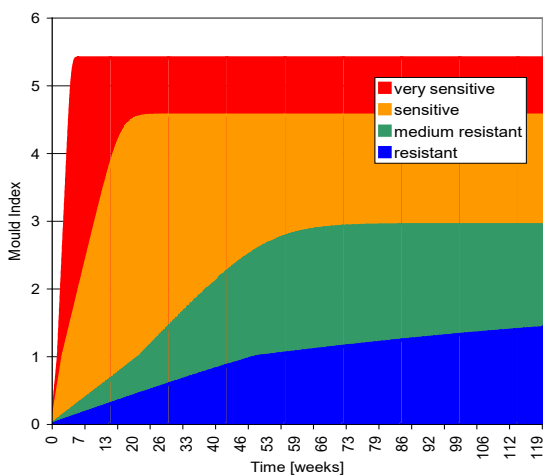
Til vurdering af denne risiko bruges i dette projekt et såkaldt *skimmelindeks (FinMould Index M)*, som er et værktøj til at omsætte dynamiske temperatur- og fugtforhold (målte eller simulerede) til en risiko for skimmelvækst. Skimmelindeksen udtrykker omfanget af skimmelvækst og ligger mellem 0 og 6, se **TABEL 2**

TABEL 2. Definitionen af de forskellige trin i skimmelindeks (FinMould index M).
Se uddybende beskrivelse i (Ojanen et al 2010).

FinMould Index M	Beskrivelse
0	Ingen vækst
1	Små kolonier på overfladen men kun synlige med mikroskop, første stadier af vækst
2	Flere kolonier på overfladen men kun synlige med mikroskop
3	Synligt vækst på overfladen (dækker < 10 %), eller < 50 % vækst synlig med mikroskop
4	Synligt vækst på overfladen (dækker 10 - 50 %), eller > 50 % vækst synlig med mikroskop
5	Udbredt, synligt vækst på overfladen (dækker > 50 %)
6	Overgroet og tæt vækst (dækker ca. 100 %)

Skimmelindekset er stærkt afhængigt af materialets sensitivitet for skimmelsvampevækst. Biobaserede materialer er de mest sensitive mens mineralske materialer ofte er de mest modstandsdygtige overfor skimmelvækst, se **FIGUR 8**.

Skimmelindeks udtrykker en beregnet risiko for skimmelvækst, og skal ikke forveksles med observeret skimmelvækst, som præsenteres i afsnit 2.2. Dog er den i øjeblikket én af de bedste måder at vurdere ydeevne af konstruktioner i forhold til risiko for skimmelvækst. Modellen er beskrevet bl.a. i (Ojanen et al, 2010).



Mould sensitivity class	Typical materials
Very sensitive	Untreated wood, Materials including nutrients
Sensitive	Planed wood, Paper coated products, Wood based boards
Medium resistant	Cement based materials, Plastic based materials, Mineral fibers
Resistant	Glass products, Metal products, Materials with protective compound treatments

FIGUR 8. Beskrivelse af de sensitivitetklasser, som forskellige materialer er delt i efter deres sårbarhed for skimmelvækst. Organisk materiale indeholder næring til skimmelsvampe og er derfor mest sårbare. (Ojanen et al, 2010)

Når der er tale om vurdering af den fugttechniske ydeevne af indvendig efterisolering, hvor risikoen for skimmelvækst oftest er størst inde i konstruktionen, bag den indvendige efterisolering, betyder skimmelindeks < 2 en lav risiko og skimmelindeks > 3 en høj risiko (Viitanen et. al 2015). I dette projekt er skimmelindeks mellem 2 og 3 defineret som en risiko som kræver opmærksomhed og yderligere vurdering. **TABEL 3** viser denne sammenhæng mellem beregnet skimmelindeks og risiko for skimmelvækst samt hvilken konsekvens denne

risiko giver for indvendige efterisoleringssløsninger. Denne sammenhæng er gennemgående for både analyse af resultater og de definerede retningslinjer i dette projekt.

TABEL 3. Omsætning af beregnet skimmelindeks til vurdering af fugtteknisk ydeevne af indvendig efterisolering.

Skimmel indeks	Risikoklasse	Konsekvens for isoleringsløsningen
0 – 2	Lav risiko for skimmelvækst	Indvendig efterisoleringssløsning kan som regel bruges
2 – 3	Middel risiko for skimmelvækst	Indvendig efterisoleringssløsning kan måske bruges
> 3	Høj risiko for skimmelvækst	Indvendig efterisoleringssløsning frarådes

Monitorerede fugtforhold bag indvendig efterisolering

Som et udgangspunkt benyttes langtidsmonitorering af temperatur- og fugtforhold i skillefladen mellem den oprindelige ydervæg og den indvendige efterisolering til bestemmelse af det teoretiske skimmelindeks og dermed den fugttekniske ydeevne.

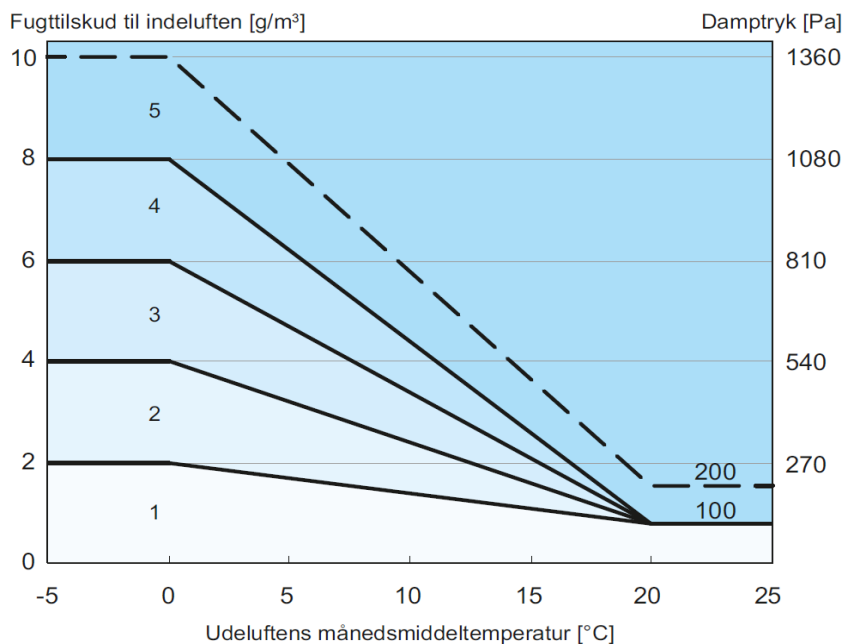
For alle cases i dette projekt er en sådan monitorering foretaget i kortere eller længere perioder, hvor sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed blev installeret i skillefladen i forbindelse med efterisoleringen. Antallet af sensorer varierer fra en enkelt sensor til 3-5 sensorer per isoleret væg. Antallet samt placering af disse fremgår i beskrivelse af cases i kapitel 2. En nærmere beskrivelse af sensorer findes i de publicerede papers om målingerne, se (Peuhkuri & Jensen 2024), som også har en oversigt over disse papers.

Monitoreret indeklima

Indeklimaet er monitoreret i nogle af casene, men kun i Case C (Christiania) fandt monitoreringen sted samtidigt med måleperioden for forholdene i skillefladen. Ved at monitorere indeklimaet opnås viden om temperatur- og fugtforhold indenfor. Det er vigtigt for at kunne bestemme fugtbelastningsklassen, se FIGUR 9, da især de diffusionsåbne indvendige efterisoleringssystemer fungerer erfaringsmæssigt bedst, hvis indeklimaet ikke er for fugtigt. Fugtbelastningsklassen i henhold til ISO 13788 bestemmes af fugtproduktionen indendørs og luftskiftet og hænger sammen med udeluftens temperatur- og fugtforhold (SBI Anvisning 277).

I forbindelse med de destruktive undersøgelser, se afsnit 3.2, blev små indeklimaloggere afleveret til beboerne, med det formål at bedre kunne estimere fugtbelastningsklassen i de undersøgte lejligheder. Måleperioden var omkring to uger i februar/marts.

Udeklimaet er ikke monitoreret, i stedet er benyttet vejrdata fra DMI.



FIGUR 9. Definition af fugtbelastningsklasser 1 – 5 i henhold til ISO 13788. Figuren viser sammenhængen mellem fugttilskud til indeluften i forhold til udeluftens fugtindhold i de forskellige fugtbelastningsklasser, og udeluftens månedsmiddeltemperatur. Figur fra (SBi Anvisning 277).

Simulerede fugtforhold bag indvendig efterisolering

I projektet er bygget kalibrerede simuleringsmodeller af de cases, hvor monitoreringen af fugtforhold bag den indvendige efterisolering ikke har rakt til tidspunktet for de destruktive undersøgelser, se **TABEL 4**. Til det formål er simuleringsværktøjet DELPHIN 6 benyttet, som er velegnet til at kunne håndtere brugerdefinerede input og kan regne både 1D og 2D.

Simuleringsmodellerne er bygget ud fra beskrivelsen af både geometri og materialer for de forskellige cases. Som udgangspunkt er der benyttet materialedata fra DELPHIN's database, hvis materialet findes der, og enkelte materialeparametre er justeret i forhold til oplysninger i tilgængelige datablade.

Valg af materialedata for det eksisterende murværk er baseret på bedste skøn, dog er mursten for Case C blevet testet i forbindelse med et tidligere projekt og disse værdier er benyttet i simuleringerne (Pagoni et al 2024). Murværket består af mursten og mørtel men er simuleret simplificeret som mursten.

Som udeklima blev klimadata for Sjælsmark (20 km nord for København) indhentet fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Visse klimaparametre blev justeret 10% for at tage højde for "Urban-heat-Island" -effekten i København. I de cases, hvor målinger af indeklimaet ikke fandt sted, blev luftfugtigheden indendørs estimeret ud fra udendørsforholdene ved hjælp af fugtbelastningsklasse 1-5 i henhold til EN 13788 (SBi Anvisning 277).

Modellerne blev i første omgang kalibreret for temperaturforhold og efterfølgende i forhold til fugt. Materialeegenskaberne for isoleringssystemer blev generelt bibeholdt mens murværkets materialeegenskaber, overgangskoefficienter og startfugtindholdet blev justeret. Numeriske metoder som "Root Mean Square Error" (RMSE) og "absolute difference" (ABS) blev brugt til at evaluere de kalibrerede modeller i forhold til målingerne.

Hovedparten af simuleringer, herunder kalibreringen af modellerne, er blevet gennemført som 1D modeller, mens 2D simuleringer er benyttet til undersøgelse af betydning af geometriske kuldebroer. 2D simuleringer er ikke med i denne rapport.

TABEL 4. Fugtforhold (monitorerede eller simulerede) som ligger til grund for beregnet skimmelindeks til vurdering af fugttechnisk ydeevne. Alle benyttede simuleringer er kalibreret i forhold til de monitorerede forhold.

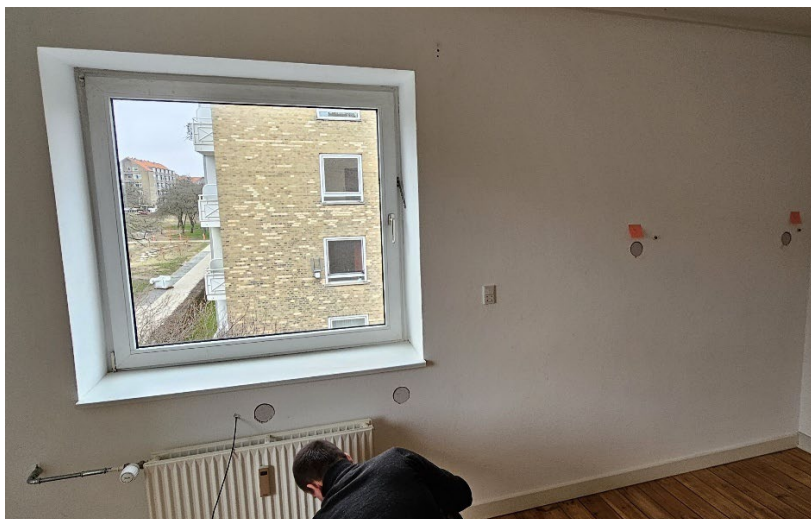
Case	Isoleringssystem	Teoretisk skimmelvurdering er baseret på
Case A	Mineralske plader af porebeton	Kalibrerede simuleringer
Case B	Mineralske plader af porebeton	Kalibrerede simuleringer
Case C	Celleglas	Monitorerede forhold
Case C	Mineralske plader af porebeton	Monitorerede forhold
Case C	Hampebeton	Monitorerede forhold
Case C	Aerogel	SØ: Monitorerede forhold NV: Kalibrerede simuleringer
Case D	Polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat	Kalibrerede simuleringer

3.2 Den faktiske fugttechniske ydeevne

Den faktiske fugttechniske ydeevne er baseret på fysiske, herunder destruktive, undersøgelser i casebygningerne med fokus på grænsefladen mellem murværk og isolering.

For at kunne gennemføre et større antal destruktive indgreb på en effektiv og systematisk måde, blev der udviklet og testet en prøvningsmetode, som dannede grundlag for den endelige testprotokol vedlagt i bilag. Testprotokollen indeholder alle faser af de fysiske undersøgelser, og indeholder aspekter som kontakt til beboere/udlejere/bygningsejere, visuel vurdering af overflader både inde og ude, selve den destruktive prøvning inklusive udtagning af skimmelprøver, og analyse af resultaterne.

Disse feltundersøgelser blev gennemført i februar 2024 (Case B og D), marts 2024 (Case A) og januar/februar 2025 (Case C). Undersøgelserne var bevidst lagt i den kolde periode for at observationerne kunne afspejle vinterforhold.



FIGUR 10. a) Udboring af kerneprøver med et 80 mm hulbor og b) typisk placering af borehuller i en væg. Se også placering af de små huller for måling af korttidsmåling af temperatur og relativ fugtighed bag den indvendige efterisolering med Rotronic sensorer.

Bestemmelse af skimmelvækst og pH

Den destruktive prøveudtagning blev udført ved at bore kerneprøver af det indvendige isoleringssystem (inklusive limmørtel og indvendig puds) ved hjælp af et 80 mm hulbor uden forbor. Hulsaven blev desinficeret med 96% ethanol mellem boringerne for at undgå kontaminering. Der blev boret 3 – 4 repræsentative steder i en væg, se FIGUR 10.

Kerneprøverne blev opdelt i puds, limmørtel og isoleringslaget. Alle dele blev pakket i separate plastikposer og taget til laboratoriet for senere bestemmelse af fugtindhold (alle tre dele) og pH (kun for puds og limmørtel).

Umiddelbart efter udboring af kerneprøverne blev der taget to forskellige prøver til bestemmelse af skimmelvækst, se FIGUR 11:

- Kvantitativ vurdering af svampebiomasse: Svab med en steril vatpind gennem en skabelon med et overfladeareal på 9 cm² for en Mycometer test
- Kvalitativ vurdering af skimmelvækst: Aftryk på agar for dyrkning og identifikation.

Skimmelprøvetagningen blev udført på limmørtel på den side der vender mod den oprindelige væg, typisk i skillelaget mod puds. Der blev først taget to Mycometer-overfladeprøver fra hver borekerne mellem indvendig puds og limmørtel. Derefter blev der taget to aftryk fra hver borekerne på: et på DG18- og et andet på V8-agarmedium.

For systemet uden limmørtel (case C, hampebeton) blev skimmelp prøverne taget ved at svabe den indvendige side af det oprindelige murværk og ved at tilføje noget af løsfyldmaterialet tættest på muren på agarpladerne.



FIGUR 11. Udtagning af prøver for bestemmelse af skimmelvækst: a) Svab med en steril vatpind for Mycometer test. b) Aftryk på agar (DG18 og V8) for dyrkning og identifikation.

Den kvantitative vurdering af mængden af svampebiomasse (både levende og død) blev gennemført ved hjælp af Mycometer-testen i henhold til producentens retningslinjer, se FIGUR 12a. De opnåede Mycometer-værdier (MSV) blev evalueret som:

- Kategori A (grøn), normalt baggrundsniveau: $MSV \leq 25$
- Kategori B (gul), over normalt baggrundsniveau: $25 < MSV < 450$
- Kategori C (rød), et højt niveau af svampe: $MSV > 450$



FIGUR 12. a) Mycometer test i laboratoriet. b) pH-test i laboratoriet.

Den kvalitative vurdering af skimmelvæksten blev udført ved dyrkning på DG18- og V8-agarmedier i Petri skåle inkuberet ved 22 °C i 7 dage i mørke i laboratoriet. Svampekolonier, herunder svampearter, blev identificeret under stereo- og lysmikroskop. Antallet af svampekolonier er angivet som **CFU**: kolonidannede enheder (Colony Forming Units). En koloni på en Petri skål repræsenterer mindst én spore, da flere sporer sommetider klistrer sammen, men kun giver ophav til én koloni. CFU-tallet er derfor en mindsteværdi for antallet af levedygtige sporer på et prøveareal.

Da skimmelvækst også forventes at være afhængig af det kemiske miljø, blev pH-værdien af de udtagne puds- og limmørtelprøver målt i laboratoriet straks efter feltbesøget. Prøverne blev knust til pulver, og 5 g pulver blev blandet med 12,5 ml demineraliseret vand. Prøverne blev rystet i 60 minutter ved 300 o/min, efterfulgt af en bundfældningsperiode på 10 minutter før testning. pH-målinger blev udført ved hjælp af et Sension+ PH3-måler, se FIGUR 12b. Derudover blev prøverne også testet ved hjælp af pH-indikatorpapir.

Måling af aktuelle fugtforhold ved prøvetagning

For at kunne bestemme en sammenhæng mellem den forventede og den faktiske skimmelvækst, var det afgørende at kende forholdene – især temperatur- og fugtforhold – bag den indvendige efterisolering. Kun for case C rakte foregik de destruktive undersøgelser samtidig med monitoreringen af fugtforhold med sensorer.

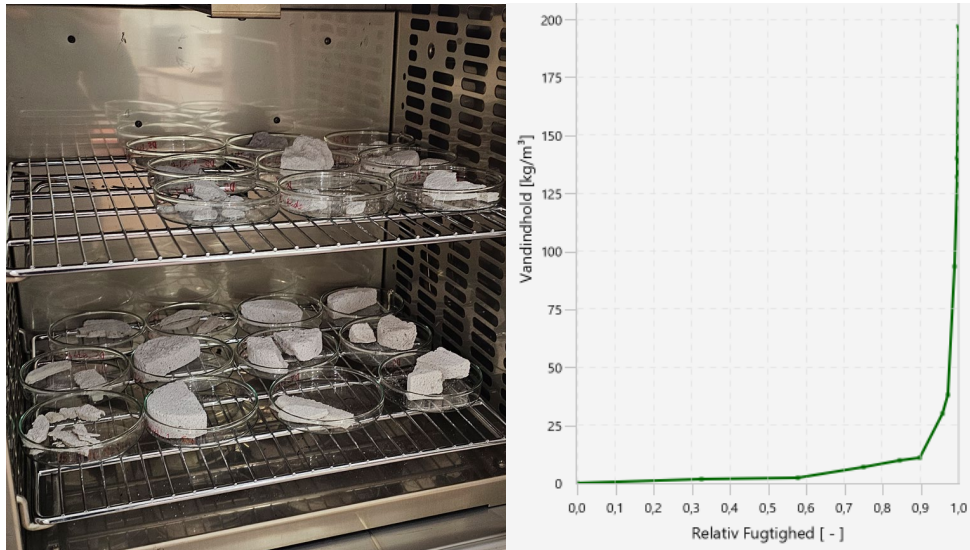
Eftersom denne type målinger er behæftet ved en betydelig usikkerhed, op til 10 %RF når RF > 80%, blev der udført punktmålinger af forholdene på prøvetagningstidspunktet for at kvalificere monitoreringsresultater yderligere. De kunne også anvendes ved kalibrering af simuleringer af forholdene, beskrevet i afsnit 3.1.

Som en af de første aktiviteter ved feltforsøgene, blev der boret et lille hul hele vejen gennem isoleringen og der indførtes en temperatur- og fugtsensor (Rotronic HC2A-S-sensor) i hullet, som igen blev forsegleet. Efter nogle timer opstod der en ligevægt i hullet, og temperatur- og fugtforhold bag isoleringen kunne aflæses. Sensoren blev installeret i nærheden af hvert sted, hvor kernepróverne blev boret ud, se FIGUR 10b.

Fugtindholdet af de udtagne prøver af indvendige puds, klæbemørtler og de yderste 10-15 mm af isoleringslaget blev også bestemt ved hjælp af såkaldt veje-tørre-veje-metode, som er en direkte og pålidelig metode til at bestemme fugtindhold i porøse materialer. De våde materialeprøver blev vejnet og derefter placeret i en ovn ved 105 °C og tørret indtil der ikke blev observeret nogen ændring i vægten mellem vejninger, se FIGUR 13a. Efter at konstant masse var opnået, blev fugtindholdet u [vægt%] beregnet:

$$u = \frac{\text{masse af våd prøve} - \text{masse af tør prøve}}{\text{masse af tør prøve}} \cdot 100$$

Dette beregnede fugtindhold blev derefter omsat til relativ fugtighed ved hjælp af sorptionsisoterm for materialet og materialets densitet, se FIGUR 13b. Til både sorptionsisotermen og densiteten er brugt værdier fra materialebibliotekerne i simuleringsprogrammerne DELPHIN og WUFI.



FIGUR 13. a) Udtørring af materialeprøver i laboratoriet. b) Eksempel på en sorptionsisoterm, der viser sammenhæng mellem fugtindhold i et porøst materiale (kg/m³) og den relative luftfugtighed. Den viste isoterm er for mineralsk plade af porebeton.

Andre observationer ved prøvetagning

Som en del af feltundersøgelserne blev der udført og registreret visuelle observationer, taget fotodokumentation samt udført termografering, som udspecificeret i testprotokollen:

Forholdene bag den mineralske plade blev i forbindelse med prøveudtagningen vurderet også visuelt; herunder om der er synlige tegn på skimmel, og om der kan konstateres fuld vedhæftning til bagvæggen. Den indvendige, synlige overflade af den efterisolerede væg blev gennemgået for eventuelle tegn for skader eller effekt af kuldebroer. Forhold relevant for indeklima, ventilation og beboeradfærd blev registreret. Også den udvendige overflade af muren blev inspiceret for at kunne identificere eventuelle revner, frostskafer eller lign. der kan gøre murværket mere sårbart over for ydre påvirkninger, fx slagregn.

Beboerne i de undersøgte boligenheder blev bedt om at udfylde et kort spørgeskema vedr. indeklima og beboeradfærd, se bilag for spørgeskema. Derudover fik de afleveret to små digitale dataloggere til registrering af indeklima, se FIGUR 14. Disse målere skulle lægges fx på en reol i det rum, hvor der var blevet efterisoleret, men uden at der var direkte sol på. Efter minimum 14 dages måling, hvor temperatur og relativ fugtighed blev registreret hver time, blev målere indsamlet og aflæst.



FIGUR 14. Easylog digital datalogger for registrering af temperatur og relativ fugtighed som timeværdier.

3.3 Afgrænsning

Projektet var afgrænset til at omhandle massive murede facader opført inden ca. 1960 og indvendig efterisolering af disse med mineralske isoleringsplader. I løbet af projektet blev undersøgelserne udvidet til cases isoleret også med andre isoleringssystemer, da viden om disse blev vurderet vigtigt for forståelsen af de parametre der afgør, om en indvendig efterisoleringsløsning er fugtteknisk robust eller ej.

Fugtteknisk robusthed vurderes i projektet ud fra risikoen for skimmelsvampevækst bag den indvendige efterisolering. Skimmelsvampevæksten bag den indvendige efterisolering er kun én blandt flere potentielle fugttekniske svigt i en efterisolereret muret ydervæg, men er i dette projekt valgt som en indikator for den fugttekniske ydeevne. Andre potentielle og relevante svigtmekanismer ved indvendig efterisolering er risikoen for frostskafer og algevækst på den udvendige overflade samt risikoen for nedbrydning af bjælkeender af træ, hvis sådanne findes i konstruktionen.

I de nærværende undersøgelser er disse øvrige problemer blevet vurderet som sekundære i sammenligning med risiko for skimmelvækst bag isoleringen, som i værste fald kan forringe indeklimaet, og bliver ikke yderligere omtalt i denne sammenhæng.

The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, flowing patterns that curve around the central text.

4

RESULTATER

4 RESULTATER

Her præsenteres de væsentlige resultater som danner grundlag for konklusion og anbefalinger for vurdering af metoder for indvendig efterisolering. Yderligere resultater samt detaljer om dem findes i bilag samt i videnskabelige papers publiceret i forbindelse med projektet. Navngivningen af de undersøgte cases, som vil være gennemgående i præsentationen af resultaterne, samt nogle centrale oplysninger om cases er samlet i **TABEL 5**.

TABEL 5. Oversigt med de undersøgte cases. Navngivning, murtype, isoleringssystem- og tykkelse samt orientering af muren.

Case	Murtype	Isoleringsystem	Isolerings-tykkelse [mm]	Orientering
Case A1_AAC	Massivt gult murværk: 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Nord (imprægneret)
Case A2_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Syd (imprægneret)
Case A3_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Nord
Case A4_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Syd
Case B1_AAC	Murværk af gule mangelhulssten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton	80	Nord
Case B2_AAC	Murværk af gule mangelhulssten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton	80	Nord
Case B3_AAC	Hulmur, faste bindere, gule mangelhulssten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton	80	Nord
Case C_CG_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Celleglas	100	Nordvest
Case C_CG_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Celleglas	100	Sydøst
Case C_AAC_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton	100	Nordvest
Case C_AAC_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton	100	Sydøst
Case C_HL_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Hampebeton	150	Nordvest
Case C_HL_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Hampebeton	150	Sydøst
Case C_AG_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Aerogel	10	Nordvest
Case C_AG_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Aerogel	10	Sydøst
Case D_PUR	Murværk af gule mangelhulssten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat	Gavl 80 Façade 50	Gavl: Vest Façade: Syd

4.1 Forventet fugtteknisk ydeevne som beregnet skimmelrisiko

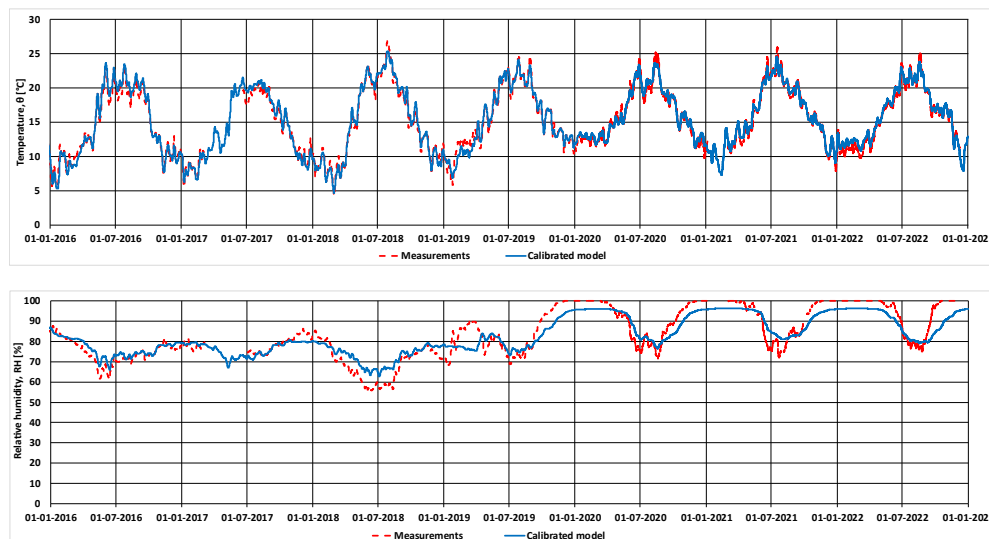
I dette afsnit præsenteres den beregnede, teoretiske skimmelrisiko, jf. beskrivelsen i afsnit 3.1. Til beregningen af skimmelrisikoen er brugt enten målte eller simulerede temperatur- og fugtforhold bag den indvendige efterisolering. Disse omsættes til en risiko for skimmelvækst ved hjælp af modellen for skimmelindeks (FinMould Index), som i dette projekt er brugt som definitionen af *den forventede fugttekniske ydeevne*.

Til beregning af skimmelindeks er brugt standardindstillinger for de indgående materia- lers forventede sårbarhed for skimmelvækst som resistent (celleglas), medium resistent

(aerogel og PUR m/CaSi) eller sensitiv (minerale plader af porebeton og hampebeton) jf. FIGUR 8. Koefficienten for såkaldt tilbagegang er ligeledes sat på standardindstillingen 0,5.

Den sensitive materialeklasse er valgt som sårbarhed for skimmelvækst for minerale plader af porebeton, fordi det er blevet påvist at den tilhørende limmørtel indeholder organiske fibre, selvom selve materialet er uorganisk. Hampebeton forventes ligeledes at indeholde organisk materiale.

Et eksempel på et kalibreringsforløb er vist i FIGUR 15 hvor der kan ses en sammenligning af målte og simulerede temperatur- og relativ fugtighedsforløb. Formålet med disse kalibrerede simuleringer var at kunne forudsige forholdene bag isoleringen for de tilfælde, hvor monitoreringen var afsluttet længe før de destruktive undersøgelser.

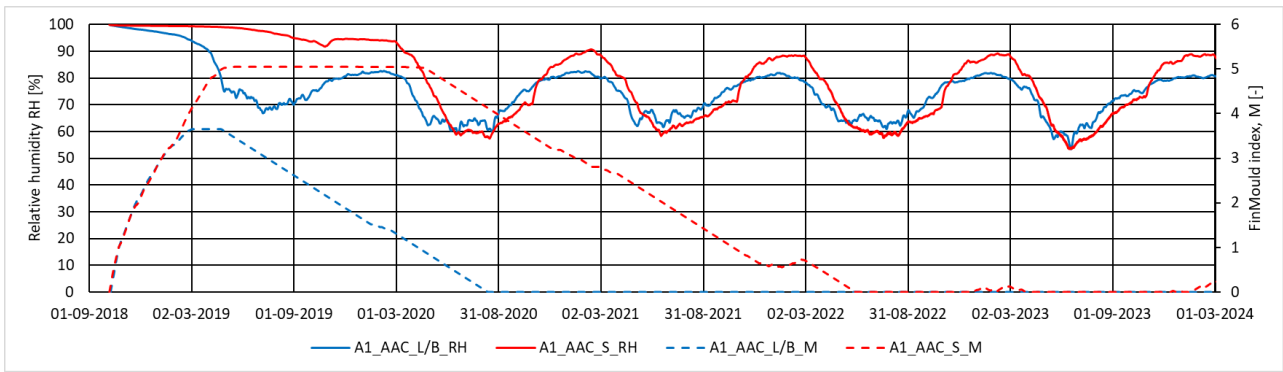


FIGUR 15. Kalibreret simuleringsmodel (blå) sammenlignet med målinger bag indvendig efterisolering (rød). Øverst temperatur, nederst relativ fugtighed. Case B1_AAC_B (soveværelse).

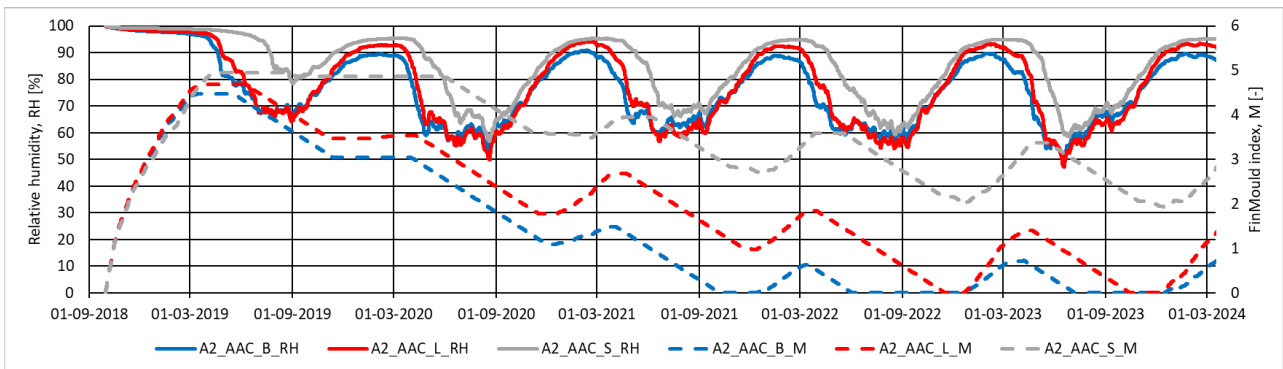
Målte eller simulerede forløb for bestemmelse af skimmelindeks

De følgende figurer (FIGUR 16 - FIGUR 27) viser udviklingen i relativ fugtighed samt den beregnede skimmelrisiko i form af skimmelindeks bag indvendig efterisolering siden isoleringen blev installeret og frem til tidspunktet for de destruktive undersøgelser. Temperaturforløbet er ikke vist, men indgår i beregningen af skimmelindeks.

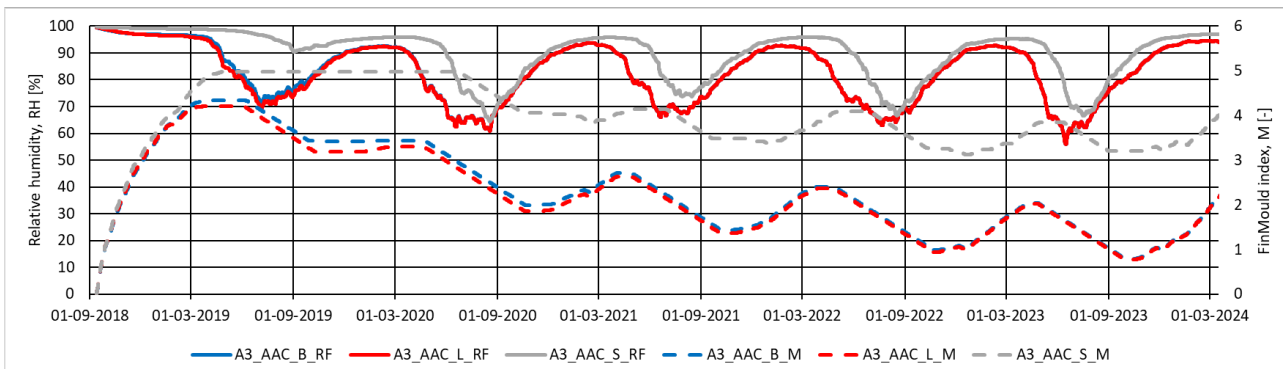
Det resulterende skimmelindeks er den sidst beregnede værdi, men for bestemmelse af den forventede ydeevne indgår også en vurdering af, hvordan udviklingen har været. For eksempel skyldes et højt skimmelindeks i det første års tid som regel byggefugt. Falder værdien derefter, er der mindre risiko for skimmelvækst end hvis værdien stiger i løbet af forløbet, især hvis systemet kan forventes at have en høj pH værdi i starten. Derfor angives også en *skønnet* risiko for skimmelvækst som den samlede vurdering af *forventet fugtteknisk ydeevne*. Disse er samlet for alle cases i TABEL 6.



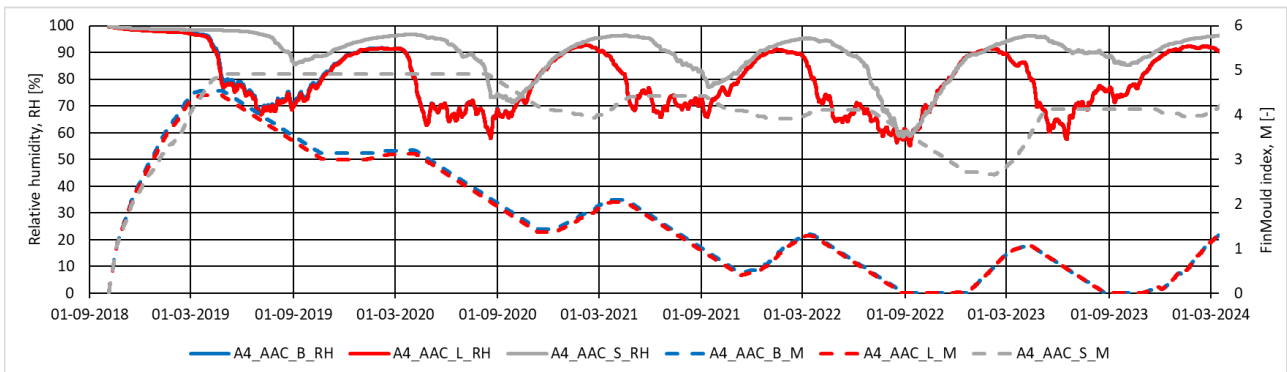
FIGUR 16. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case A1_AAC**. Muren vender mod nord og er imprægneret. Fugtbelastningklasse er forudsat at være FBK 1. L= stue, B=soveværelse, S=brystning



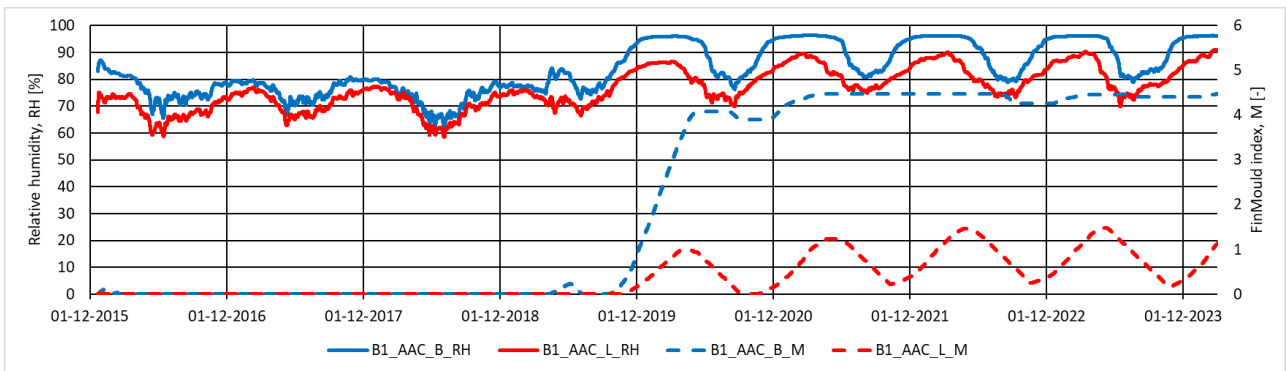
FIGUR 17. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case A2_AAC**. Muren vender mod syd og er imprægneret. Fugtbelastningklasse er forudsat at være FBK 2 for soveværelse og FBK 2 i den høje ende for stue og brystning. L= stue, B=soveværelse, S=brystning



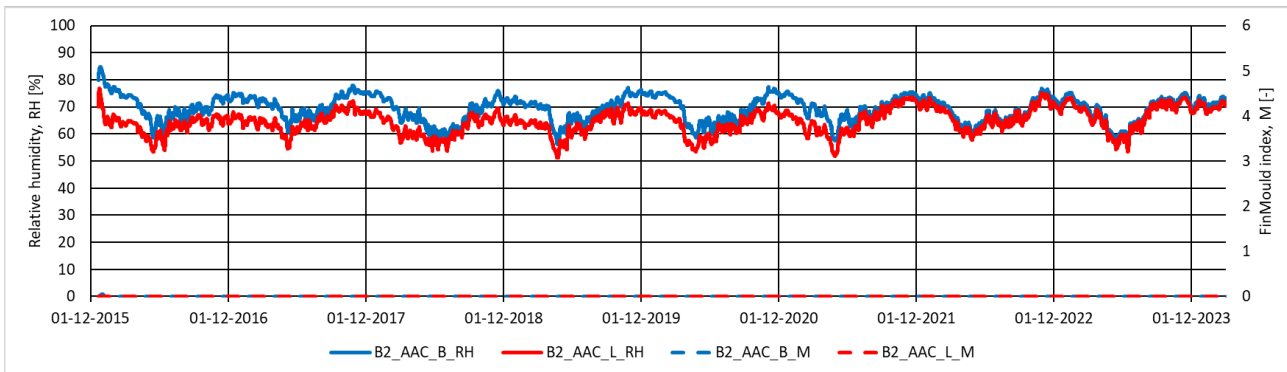
FIGUR 18. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case A3_AAC**. Muren vender mod nord. Fugtbelastningklasse er forudsat at være FBK 2. L= stue, B=soveværelse, S=brystning



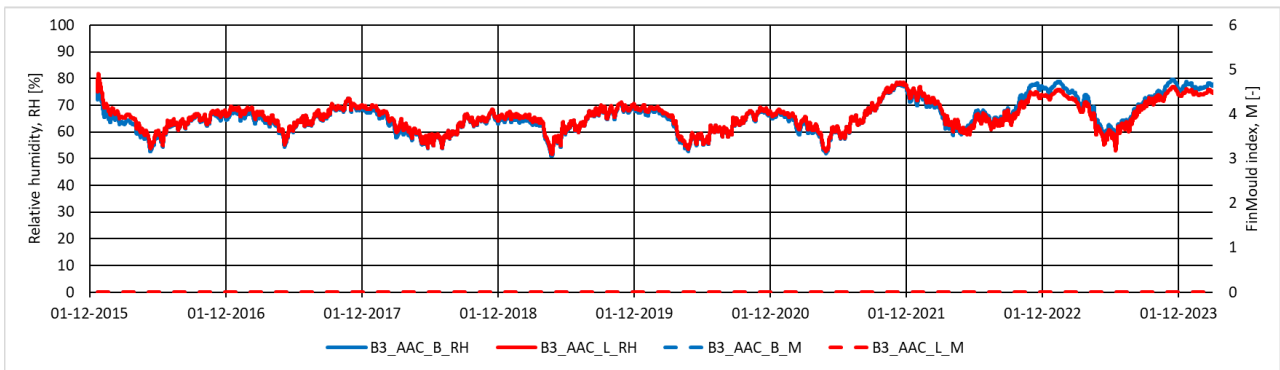
FIGUR 19. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case A4_AAC**. Muren vender mod syd. Fugtbelastningsklasse er forudsat at være FBK 2. L= stue, B=soveværelse, S=brystning



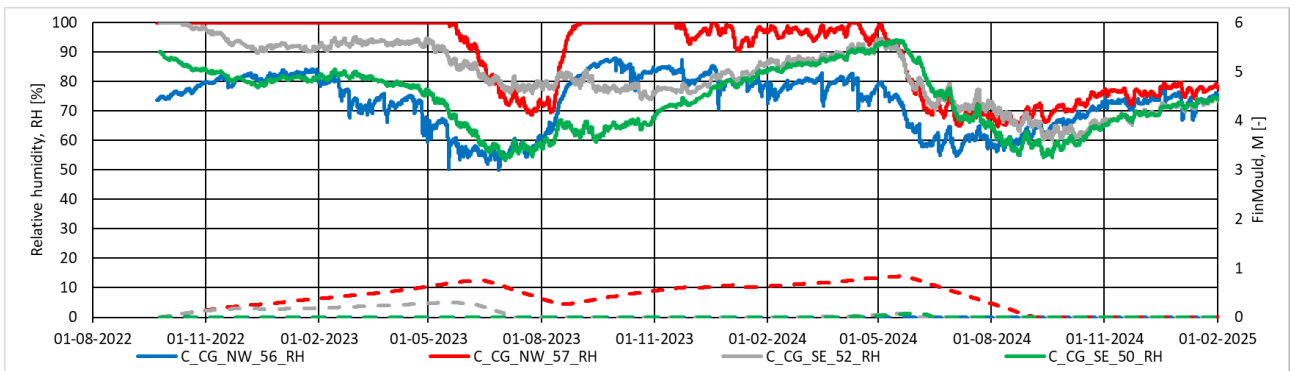
FIGUR 20. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case B1_AAC**. Muren vender mod nord. Fugtbelastningsklasse for soveværelse er forudsat at være FBK 1 indtil april 2019 og derefter FBK 5. For stuen tilsvarende FBK 2 indtil april 2019 og derefter FBK 3. L= stue, B=soveværelse.



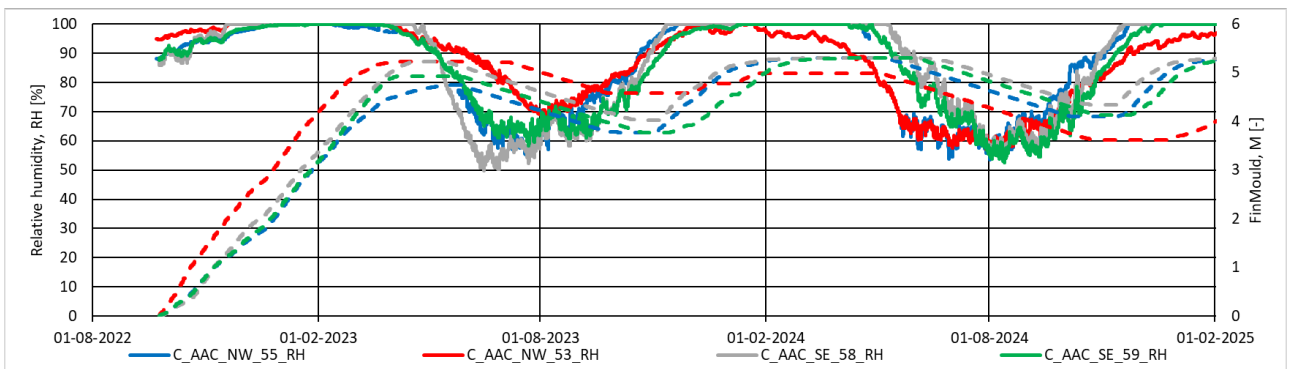
FIGUR 21. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case B2_AAC**. Muren vender mod nord. Fugtbelastningsklasse er forudsat at være FBK 1. L= stue, B=soveværelse.



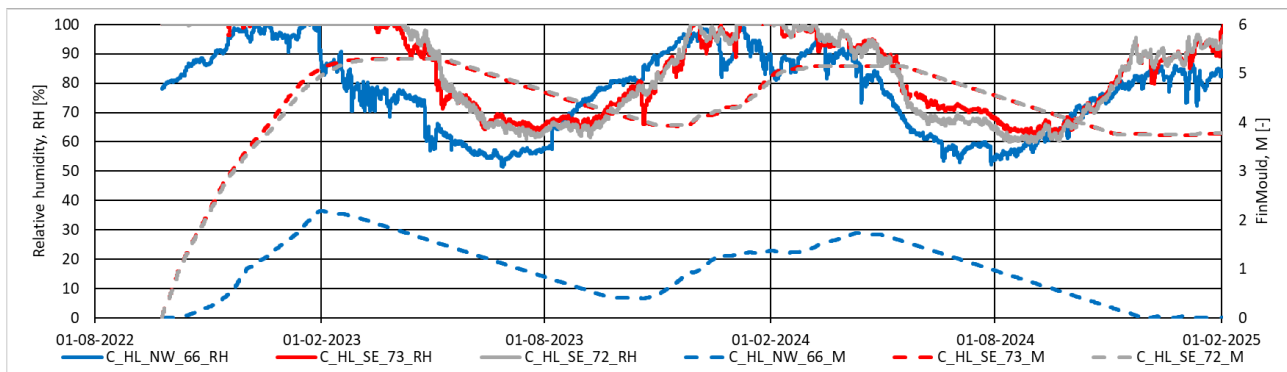
FIGUR 22. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case B3_AAC**. Muren vender mod nord. Fugtbelastningklasse er forudsat at være FBK 1. L= stue, B=soveværelse.



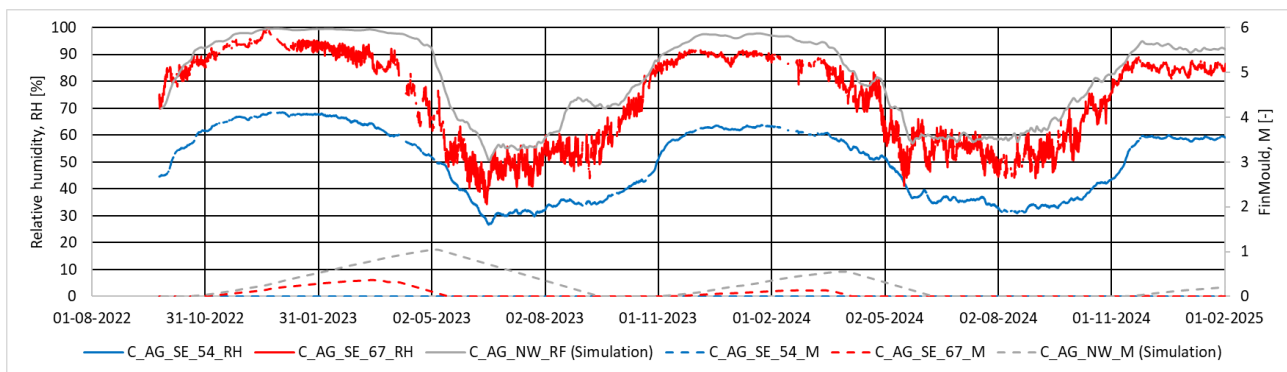
FIGUR 23. : Målt relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M, stiple) bag isoleringen for **Case C.CG**. Muren vender mod nordvest (NW) eller sydøst (SE). Fugtbelastningklasse er målt til FBK 1-2. Der er to målepunkter per orientering.



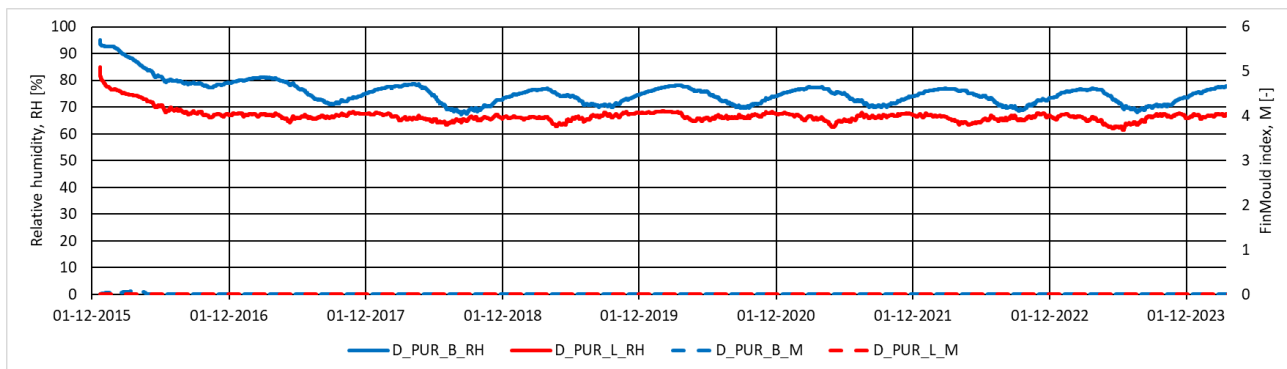
FIGUR 24. : Målt relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M, stiple) bag isoleringen for **Case C.AAC**. Muren vender mod nordvest (NW) eller sydøst (SE). Fugtbelastningklasse er målt til FBK 1-2 (nordvest) og 2 (sydøst). Der er to målepunkter per orientering.



FIGUR 25. : Målt relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M, stiple) bag isoleringen for **Case C_HL**. Muren vender mod nordvest (NW) eller sydøst (SE). Fugtbelastningklasse er målt eller anslået til FBK 2. Der er to målepunkter mod sydøst og én mod nordvest.



FIGUR 26. : Målt eller simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M, stiple) bag isoleringen for **Case C_AG**. Muren vender mod nordvest (NW) eller sydøst (SE). Fugtbelastningklasse er målt til FBK 2-3 (SE) eller anslået til FBK 2 (for NW). Der er to målepunkter mod sydøst. Målingen mod nordvest var gået tabt.



FIGUR 27. : Simuleret relativ fugtighed (RH) og beregnet skimmelindeks (M) bag isoleringen for **Case D_PUR**. Muren (gavl) vender mod vest. Fugtbelastningklasse er forudsat at være FBK 2. Lejligheden har mekanisk, balanceret ventilation L= stue, B=soveværelse.

Det beregnede skimmelindeks, som er baseret på de viste temperatur- og fugtforhold fra enten kalibrerede simuleringer eller monitorering af forhold bag indvendig efterisolering, er brugt til at bestemme den forventede fugttekniske ydeevne, som en skønnet risiko for skimmelvækst. Resultaterne i **TABEL 6** viser, at risikoen for skimmelvækst forventes at være lav i de undersøgte cases, hvor celleglas, aerogel eller PUR m/CaSi er brugt som isoleringssystem. I nogle tilfælde er risikoen også lav, hvis mineralske plader af porebeton er blevet brugt som isoleringssystem, mens der er overvejende høj risiko for skimmelvækst for isoleringssystemer med hampebeton.

Resultatet er som sådant ikke overraskende, da der til beregningen af skimmelindeks er anvendt *forventet sårbarhed* for skimmelvækst, som i store træk stemmer overens med resultatet, angivet i parentes i nedenstående forklaring:

- Celleglas er helt uorganisk og dermed ikke sårbar for skimmelvækst (resistant)
- Aerogel og PUR m/CaSi forventes også at være overvejende uorganiske og dermed kun begrænset sårbare for skimmelvækst (medium resistant)
- Mineralske plader af porebeton er i sig selv uorganiske, men forventes at have organiske fibre i limmørtlen, som gør systemet sårbar for skimmelvækst (sensitiv), hvis og når den beskyttende høje pH falder med tiden
- Hampebeton består af organiske fibre samt af uorganisk bindemiddel med høj pH, hvilket gør systemet sårbar for skimmelvækst (sensitiv), hvis og når den beskyttende høje pH falder med tiden

Resultaterne viser dog også at risikoen for skimmelvækst i isoleringssystemer med mineralske plader af porebeton kan være både lav, middel eller høj, afhængig af casen. Ovenstående forudsætning om forventet sårbarhed for skimmelvækst kvalificeres, når den forventede ydeevne sammenlignes med den faktiske ydeevne i afsnit 4.2. og betydning af yderligere parametre ved hjælp af simuleringer undersøges, som beskrevet i afsnit 4.4.

TABEL 6. Beregnet skimmelindeks og forventet ydeevne for alle undersøgte cases. Beregnet skimmelindeks er bestemt ud fra de præsenterede forløb på fire måder: 1) Som det højeste skimmelindeks M for de første 2 år, 2) som det højeste skimmelindeks M for hele perioden, 3) som det resulterende skimmelindeks M på datoen for undersøgelsen, og 4) som det gennemsnitlige skimmelindeks M for hele perioden. Den forventede ydeevne er bestemt som en skønnet risiko for skimmelvækst ud fra de beregnede skimmelindeks. L= stue, B=soveværelse, S=brystning.

Case, konstruktion	Isoleringsystem	Beregnet skimmelindeks M				Forventet ydeevne
		Første 2 år, Højest M	Hele perioden, Højest M	Resulterende, M på dato	Hele perioden, gennemsnitlig M	
A1_AAC_B/L	Mineralske plader af porebeton	3.7	3.7	0.0	0.7	Lav
A1_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	5.0	5.0	0.2	2.0	Middel
A2_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	4.5	4.5	0.6	1.4	Lav
A2_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	4.7	4.7	1.2	2.0	Middel
A2_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	4.9	4.9	2.7	3.5	Høj
A3_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	4.3	4.3	1.8	2.3	Middel
A3_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	4.2	4.2	1.8	2.3	Middel
A3_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	5.0	5.0	3.7	4.0	Høj
A4_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	4.5	4.5	1.3	1.7	Lav
A4_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	4.4	4.4	1.3	1.6	Lav
A4_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	4.9	4.9	4.1	4.1	Høj
B1_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	0.1	4.5	4.5	2.2	Høj
B1_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	0.0	1.7	1.1	0.4	Lav
B2_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
B2_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
B3_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
B3_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
C CG_NW_56	Celleglas	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
C CG_NW_57	Celleglas	0.4	0.8	0.0	0.8	Lav
C CG_SE_52	Celleglas	0.1	0.3	0.0	0.3	Lav
C CG_SE_50	Celleglas	0.0	0.1	0.0	0.1	Lav
C_AAC_NW_55	Mineralske plader af porebeton	4.2	5.3	5.3	5.3	Høj
C_AAC_NW_53	Mineralske plader af porebeton	4.2	5.2	4.0	5.2	Høj
C_AAC_SE_58	Mineralske plader af porebeton	4.4	5.3	5.3	5.3	Høj
C_AAC_SE_59	Hampebeton	4.2	5.3	5.2	5.3	Høj
C_HL_NW_66	Hampebeton	2.2	2.2	0.0	0.9	Lav
C_HL_SE_73	Hampebeton	4.3	5.3	3.8	5.3	Høj
C_HL_SE_72	Hampebeton	4.3	5.3	3.8	5.3	Høj
C_AG_NW_Simulation	Aerogel	0.3	1.0	0.2	1.0	Lav
C_AG_SE_54	Aerogel	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav
C_AG_SE_67	Aerogel	0.1	0.4	0.0	0.4	Lav
D_PUR_B	PUR m/CaSi	0.1	0.1	0.0	0.0	Lav
D_PUR_L	PUR m/CaSi	0.0	0.0	0.0	0.0	Lav

Grøn: M < 2 udtrykker en lav risiko for skimmelvækst

Gul: 2 < M < 3 udtrykker en middel risiko for skimmelvækst

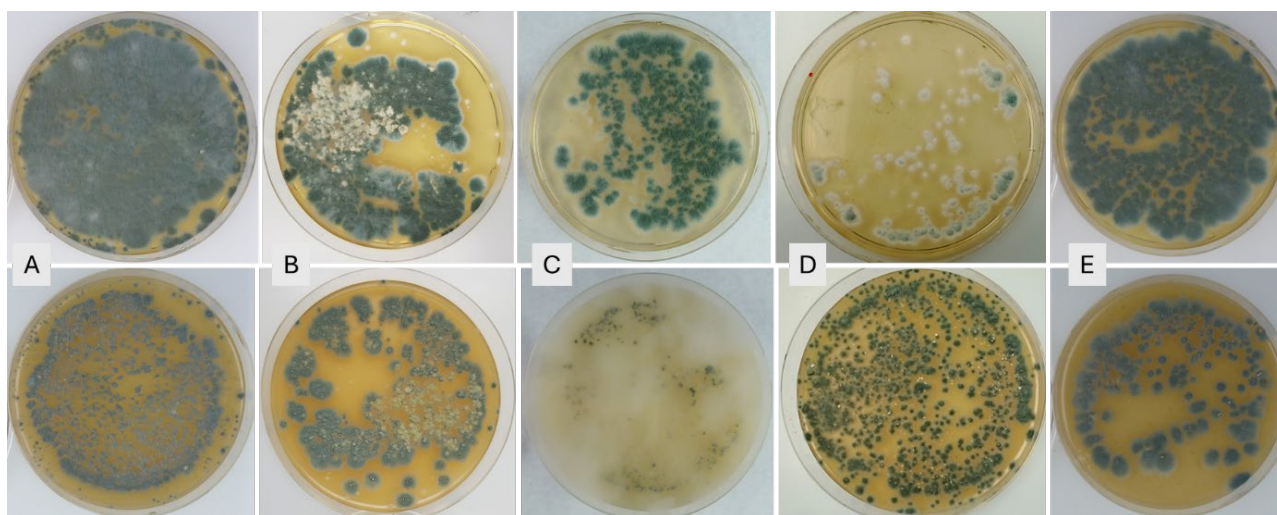
Rød: M > 3 udtrykker en høj risiko for skimmelvækst

4.2 Faktisk ydeevne ud fra destruktive undersøgelser

Det primære resultat fra de destruktive undersøgelser er den observerede skimmelvækst, som præsenteres i dette afsnit. De øvrige undersøgelser bruges til at både forstå og at kvalificere resultaterne for observeret skimmelvækst, og at finde eventuelle forklaringer for det observerede. Kun udvalgte af disse øvrige undersøgelser er taget med i rapporten, men resultaterne kan findes i de videnskabelige artikler. Der blev udtaget og analyseret 46 prøvekerner fra i alt 16 forskellige lejligheder eller boenheder. Skimmelvæksten er bestemt både kvantitativt og kvalitativt som beskrevet i afsnit 3.2.

Kvantitativ og kvalitativ vurdering af observeret skimmelvækst

Eksempler for resultaterne fra dyrkningen af aftryksprøver på DG- og V8-agarplader er vist i FIGUR 28, hvor udvalgte foto af aftryksplader fra borekerner med mineralske isoleringsplader af porebeton er vist, og i FIGUR 29, hvor tilsvarende foto fra borekerner af polyurethan skum med kanaler af kalciumsilikat (PUR m/CaSi), celleglas, aerogel og hampebeton er vist. I alt 2 x 92 aftryksplader er blevet analyseret. Fotoeksemplerne er valgt ud fra at de viser en repræsentativ variation af den kvalitative vurdering af resultater. De kvalitative resultater findes i TABEL 7. I tabellen vises også resultaterne for den kvantitative vurdering af skimmelvækst med Mycometer-værdierne, som også omtales i forbindelse med fotoeksemplerne.

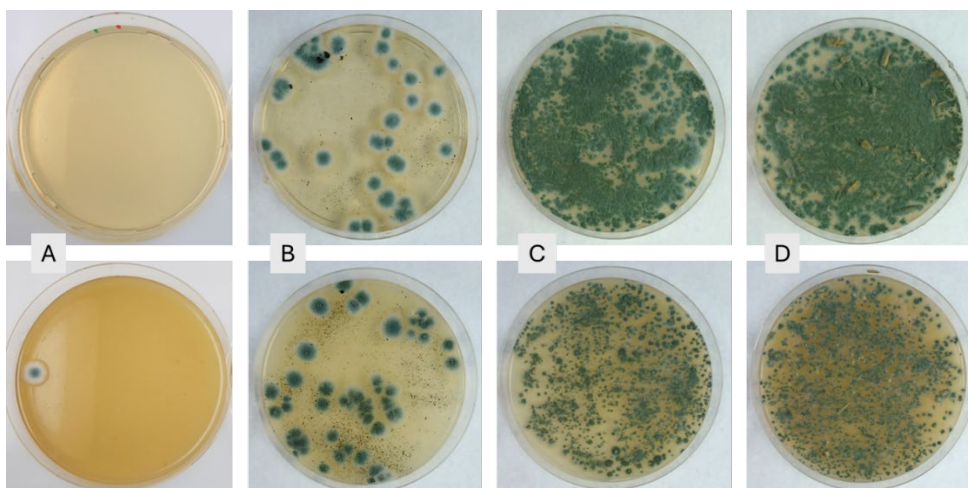


FIGUR 28. Petriskåle med vækst fra borekerner af **mineralske plader af porebeton** fra forskellige ejendomstyper. A: Case A3, prøvekerne taget midt på væggen i stuen, B: B1, prøvekerne taget midt på væggen i soveværelset, C: Case C_AAC_SE, prøvekerne taget midt på væggen i værelset mod sydøst, D: Case A2 prøvekerne taget tæt på skillevæggen i stuen, og E: Case A4, prøvekerne taget tæt på skillevæggen i stuen. Øverste række er DG18 agarplader og nederste række er V8 agarplader. Mycometer-værdien er høj for A, middel for B og C og lav for D og E, mens det totale antal skimmelkolonier på DG18 og V8 (CFU/2 plader) er højt for alle kerner.

I case C var *Penicillium chrysogenum* den mest dominerende skimmelart og blev fundet bag alle isoleringsmaterialer. I de øvrige cases var *Aspergillus sydowii* dominerende, men der blev også fundet *A. versicolor* og sterilt mycelium, der ikke kunne artsbestemmes. For hampebeton blev der endvidere fundet *Scopulariopsis brevicaulis*, *S. candida* og *Aspergillus versicolor*.

Aspergillus sydowii og *A. versicolor* er før blevet fundet som levedygtige sporer uden at være i vækst i skillelaget (Jensen et al, 2021b), da sporerne kan overleve høje pH-værdier. *Penicillium chrysogenum* and *A. versicolor* er de to mest almindelige skimmelarter i fugtige og vandskadede bygninger (Andersen et al, 2011) og kan stamme fra eksisterende

skimmelvækst i boligerne. *Scopulariopsis* arterne er før blevet fundet i hampematerialer og stammer sandsynligvis fra hampen (Andersen & Rasmussen, 2025).



FIGUR 29. Petri skåle med vækst fra borekerner med forskellige isoleringstyper. A: **PUR m/CaSi**, Case D, prøvekernerne taget tæt på hjørnet på facadevæggen i stuen mod syd, B: **Celleglas**, Case C_CG_SE, prøvekernerne taget midt på væggen i værelset mod sydøst, C: **Aerogel**, Case C_AG_SE, prøvekernerne taget midt på væggen i værelset mod sydøst, og D: **Hampebeton**, Case C_HL_NW, prøvekernerne taget midt på væggen i værelset mod nordvest. Øverste række er DG18 agarplader og nederste række er V8 agarplader. Mycometer-værdien er lav for A og B, middel for C og høj for D, mens det totale antal skimmelkolonier på DG18 og V8 (CFU/2 plader) er lav for A, middel for B og højt for C og D.

Der er brugt følgende kriterier for en samlet fortolkning af skimmelobservationer i **TABEL 7**:

- Hvis Mycometer-værdierne er høje (røde) er det et tegn på vækst (mycelium og nye sporer). Alle prøver med høje Mycometer-værdier viste altid høje CFU-tal (røde).
- Hvis Mycometer-værdierne er middel (gule) er der enten tegn på begyndende vækst eller store spore-mængder. Alle prøver med middel Mycometer-værdier gav høje CFU-tal (røde).
- Hvis Mycometer-værdierne er lave (grønne), men CFU-tallet er højt (røde) kan det være fordi der ikke er vækst, men at der er mange levedygtige sporer, der blot er i dvale fordi betingelserne (fx høj pH eller lav RF) ikke tillader vækst.
- Hvis både Mycometer-værdierne og CFU-tallene er lave (grønne), er der stor sandsynlighed for at der hverken er vækst eller levedygtige skimmelsporer.
- Der er flere kolonier på pladerne efter dyrkning (CFU) end hvad Mycometer værdierne siger, da Mycometer ikke er følsom nok til at give udslag, hvis der kun er sporer. Hvis sporerne ikke er levedygtige, kommer der ikke skimmelvækst i skillelaget uanset om pH falder og RF stiger. Endvidere burde sporer i dvale i skillelaget ikke udgøre et indeklimaproblem, da de kun producere flygtige stoffer og nye sporer, når sporerne har dannet mycelium.

De samlede observationer i tabellen er sammenfattet til vurderingen af den faktiske eksistens af skimmelsvampevækst bag indvendig efterisolering på følgende skala, som i dette projekt er defineret som den faktiske fugttechniske ydeevne af indvendig efterisolering.

- Grøn = **Lav risiko for vækst**: Ingen vækst og ingen levedygtige sporer
- Gul = **Risiko for vækst**: Ingen vækst men levedygtige sporer
- Rød = **Vækst**: Skimmelsvampevækst

TABEL 7. Observeret skimmelvækst for alle undersøgte borekerner. Kvantitative resultater (Mycometer tal), kvalitative resultater (aftryk på V8 og DG18), samt den målte pH i skillelaget og målt relativ fugtighed (RH) og temperatur (T) i skillelaget med Rotronic føler. Samlet vurdering af den faktiske eksistens af skimmelsvampevækst er sket ud fra de kvantitative og kvalitative resultater, suppleret med de øvrige målinger. Bemærk at alle resultater – bortset fra Mycometer-værdierne – er dubletter i tabellen, da der altid er taget to Mycometer prøver fra én borekerne, mens de andre resultater er per borekerne. Måling af relativ fugtighed og temperatur er foretaget i et separat borehul tæt på borekernen, men ikke ved alle borekerner.

Case	Kvantitativ skimmelvækst	Kvalitativ skimmelvækst		Andre målinger i skillelaget				Faktisk ydeevne, Eksistens af skimmelsvampevækst
	Mycometer	V8	DG18	pH puds	pH lim	RH	T	
A1_AAC_L	*	100	100	8,7	8,6	64	11,0	Risiko for vækst*
A1_AAC_L	*	100	100	8,7	8,6	64	11,0	Risiko for vækst*
A1_AAC_L	0	100	100	8,7	8,6	67	10,1	Risiko for vækst
A1_AAC_L	0	100	100	8,7	8,6	67	10,1	Risiko for vækst
A1_AAC_S	0	100	100		8,8	73	8,9	Risiko for vækst
A1_AAC_S	6	100	100		8,8	73	8,9	Risiko for vækst
A1_AAC_S	0	100	100		8,7			Risiko for vækst
A1_AAC_S	0	100	100		8,7			Risiko for vækst
A2_AAC_L	0	100	100	9,4	10,4	72	12,3	Risiko for vækst
A2_AAC_L	0	100	100	9,4	10,4	72	12,3	Risiko for vækst
A2_AAC_L	0	10	10	9,3		74	11,5	Risiko for vækst
A2_AAC_L	0	10	10	9,3		74	11,5	Risiko for vækst
A2_AAC_S	0	*	*	9,4	10,4			Risiko for vækst*
A2_AAC_S	0	*	*	9,4	10,4			Risiko for vækst*
A2_AAC_S	0	100	100	8,9		91	6,6	Risiko for vækst
A2_AAC_S	0	100	100	8,9		91	6,6	Risiko for vækst
A3_AAC_L	584	100	100	8,4	8,5	84	12,7	Vækst
A3_AAC_L	541	100	100	8,4	8,5	84	12,7	Vækst
A3_AAC_L	429	100	100	8,1	8,6	79	14,3	Vækst
A3_AAC_L	327	100	100	8,1	8,6	79	14,3	Vækst
A3_AAC_S	194	100	100	9,0	9,0	97	4,7	Vækst
A3_AAC_S	102	100	100	9,0	9,0	97	4,7	Vækst
A3_AAC_S	176	100	100		9,0	97	6,7	Vækst
A3_AAC_S	172	100	100		9,0	97	6,7	Vækst
A4_AAC_L	5	100	100		9,4	72	13,4	Risiko for vækst
A4_AAC_L	5	100	100		9,4	72	13,4	Risiko for vækst
A4_AAC_L	4	100	100		10,4	90	10,1	Risiko for vækst
A4_AAC_L	8	100	100		10,4	90	10,1	Risiko for vækst
A4_AAC_S	23	100	100		9,0	95	9,0	Vækst
A4_AAC_S	27	100	100		9,0	95	9,0	Vækst
A4_AAC_S	7	100	100		8,8	66	15,0	Risiko for vækst
A4_AAC_S	9	100	100		8,8	66	15,0	Risiko for vækst
B1_AAC_B	208	100	100	8,7	9,3	90	11,4	Vækst
B1_AAC_B	137	100	100	8,7	9,3	90	11,4	Vækst
B1_AAC_B	119	100	100	8,8	9,1	83	12,9	Vækst
B1_AAC_B	60	100	100	8,8	9,1	83	12,9	Vækst
B1_AAC_B	87	100	50	8,5	8,7	86	12,3	Vækst
B1_AAC_B	131	100	50	8,5	8,7	86	12,3	Vækst
B1_AAC_L	0	100	100	8,7	10,1			Risiko for vækst
B1_AAC_L	0	100	100	8,7	10,1			Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	90	70	8,3	9,9	73	13,3	Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	90	70	8,3	9,9	73	13,3	Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	30	30	8,9	9,6	80	12,1	Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	30	30	8,9	9,6	80	12,1	Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	5	13	8,4	8,3	77	12,4	Risiko for vækst
B2_AAC_B	0	5	13	8,4	8,3	77	12,4	Risiko for vækst
B3_AAC_B	0	50	100	8,7	10,1	72	16,0	Risiko for vækst
B3_AAC_B	0	60	60	9,6	11,0	71	16,9	Risiko for vækst
B3_AAC_B	0	60	60	9,6	11,0	71	16,9	Risiko for vækst
B3_AAC_B	0	50	100	8,7	10,1	72	16,0	Risiko for vækst
B3_AAC_B	0	30	10	9,2	11,1	67	18,2	Risiko for vækst

B3_AAC_B	0	30	10	9,2	11,1	67	18,2	Risiko for vækst
C CG_NW_1	10	12	8	9,7	11,2			Risiko for vækst
C CG_NW_1	9	12	8	9,7	11,2			Risiko for vækst
C CG_NW_2	5	2	0	11,4		86	15,1	Lav risiko for vækst
C CG_NW_2	2	2	0	11,4		86	15,1	Lav risiko for vækst
C CG_SE_1	5	8	10	9,6	11,0	71	12,5	Risiko for vækst
C CG_SE_1	1	8	10	9,6	11,0	71	12,5	Risiko for vækst
C CG_SE_2	3	41	34	9,9	11,3			Risiko for vækst
C CG_SE_2	2	41	34	9,9	11,3			Risiko for vækst
C_AAC_NW_1	67	100	100	8,9	8,4			Vækst
C_AAC_NW_1	27	100	100	8,9	8,4			Vækst
C_AAC_NW_2	2	1	0	12,6	10,3	78	13,4	Lav risiko for vækst
C_AAC_NW_2	0	1	0	12,6	10,3	78	13,4	Lav risiko for vækst
C_AAC_SE_1	60	100	100	8,8	8,8	85	12,1	Vækst
C_AAC_SE_1	57	100	100	8,8	8,8	85	12,1	Vækst
C_AAC_SE_2	71	100	100	8,6	8,5			Vækst
C_AAC_SE_2	65	100	100	8,6	8,5			Vækst
C_HL_NW_1	76	200	200					Vækst
C_HL_NW_1	70	200	200					Vækst
C_HL_NW_2	457	200	200			73	12,8	Vækst
C_HL_NW_2	395	200	200			73	12,8	Vækst
C_HL_SE_1	319	100	100			70	13,4	Vækst
C_HL_SE_1	253	100	100			70	13,4	Vækst
C_HL_SE_2	56	70	70					Vækst
C_HL_SE_2	30	70	70					Vækst
C_AG_NW_1	19	6	11		10,48			Risiko for vækst
C_AG_NW_1	11	6	11		10,5			Risiko for vækst
C_AG_NW_2	16	1	0	10,8				Lav risiko for vækst
C_AG_NW_2	13	1	0	10,8				Lav risiko for vækst
C_AG_SE_1	13	20	35		7,2			Risiko for vækst
C_AG_SE_1	10	20	35		7,2			Risiko for vækst
C_AG_SE_2	10	100	100		7,4			Risiko for vækst
C_AG_SE_2	9	100	100		7,4			Risiko for vækst
D_PUR_B	0	0	1	8,2	10,3	74	12,1	Lav risiko for vækst
D_PUR_B	0	0	1	8,2	10,3	74	12,1	Lav risiko for vækst
D_PUR_L	0	1	0	8,6	9,5	41	17,1	Lav risiko for vækst
D_PUR_L	0	6	0	9,2	10,7	56	14,1	Lav risiko for vækst
D_PUR_L	0	1	0	8,6	9,5	41	17,1	Lav risiko for vækst
D_PUR_L	0	6	0	9,2	10,7	56	14,1	Lav risiko for vækst

*) Prøven er ikke blevet vurderet for både kvantitativ og kvalitativ skimmelvækst.

Resultaterne viser, at der kun i få af de undersøgte cases blev vurderet lav risiko for skimmelvækst (ingen vækst og ingen levedygtige sporer). Undtagelsen er case D, hvor alle borekerner viser lav risiko for skimmelvækst. Case D har lav fugtbelastning indefra på grund af mekanisk, balanceret ventilation, isoleringssystemet er uorganisk og rimeligt diffusions-tæt, og målingerne i skillelaget viser at der er middel høj pH og forholdsvis lav relativ fugtighed. Forklaringen på den lave skimmelrisiko ligger sandsynligvis i en kombination af alle disse parametre.

Enkelte borekerner fra case C udviser også lav risiko for vækst. Undtagelsen er hampeton, hvor der er vækst i alle borekerner, formentligt på grund af stort indhold af organisk materiale. Borekernerne med lav risiko for vækst har det tilfælles at muren vender mod nordvest, som alt andet lige giver en lavere fugtbelastning udefra, og at pH er relativ høj.

Der blev observeret tydelig skimmelsvampevækst for de cases med mineralske plader af porebeton (AAC), hvor der var observeret høj indendørs fugtbelastning og lav pH i skillelaget bag isoleringen. En enkelt borekerne med AAC havde høj pH værdi i skillelaget og blev vurderet med lav risiko for vækst.

Mens resultaterne, der viser vækst, er ret entydige – fordi der er observeret vækst – skal ydeevnen af cases med risiko for vækst (gule) i højere grad vurderes som *risiko*: Der blev ikke observeret vækst af betydning, men der er levedygtige sporer til stede, som vil spire og danne mycelium, når forholdene bliver gunstige: Når pH falder og hvis relativ fugtighed stiger, og hvis der er organisk materiale til stede, så væksten understøttes. Resultatet understreger vigtigheden af grundig afrensning af den oprindelige mur, samt at kun systemer med ingen indhold af organisk materiale kan forventes at kunne udvise *lav risiko for skimmelvækst*.

Opsummeres resultaterne, er det afgørende for at undgå skimmelsvampevækst bag et indvendigt isoleringssystem, at fugtbelastningen indefra er begrænset – især for diffusions-åbne systemer – og at der ikke indbygges nogen form for organisk materiale i isoleringssystemet. En høj pH i skillelaget er en fordel, men effekten aftager med tiden. En lav fugtbelastning udefra er ligeledes en forudsætning, som dog ikke har spillet en stor rolle i de undersøgte cases, da fugtbelastningen indefra forklarer de høje fugtforhold.

4.3 Sammenligning af forventet og faktisk ydeevne

Resultaterne fra den teoretiske vurdering af risiko for skimmel præsenteret i afsnit 4.1. er sammenstillet i TABEL 8 med resultaterne fra de destruktive undersøgelser med den observerede skimmelvækst præsenteret i afsnit 4.2. Formålet med denne sammenligning er at se om det er muligt at forudsige skimmelvækst med den teoretisk tilgang med beregnet skimmelindeks, så risikoen kan vurderes forud, for eksempel i forbindelse med planlægningen af en konkret sag om efterisolering.

Sammenligningen viser at den forventede ydeevne med en nogenlunde sikkerhed kan forudsige den faktiske ydeevne i de fleste tilfælde:

- Når den teoretiske risiko for skimmel er høj (rød), viste observationer også overvejende vækst (rød)
- Når den teoretiske risiko for skimmel er middel (gul), viste observationer enten risiko for vækst (gul) eller vækst (rød)
- Når den teoretiske risiko for skimmel er lav (grøn), viste observationer enten lav risiko for vækst (grøn) eller risiko for vækst (gul).

Resultatet bekræfter således at man får et fornuftigt skøn på skimmelrisikoen ved at bruge de definerede "sårbarhedsklasser" i *FinMould Index* som er brugt til beregningerne i afsnit 4.1. Sammenligningen bekræfter også at antagelsen om at isoleringssystemerne med

mineralske plader af porebeton og hampebeton tilhører i sårbarhedsklassen "sensitiv" og dermed er sårbare for skimmelvækst på grund af indholdet af organisk materiale.

TABEL 8. Sammenligning af forventet og faktisk fugttechnisk ydeevne for de undersøgte cases. Den forventede ydeevne er bestemt som en skønnet risiko for skimmelvækst ud fra de beregnede skimmelindeks mens den faktiske ydeevne er bestemt som observeret skimmelvækst. Ydeevnen er bestemt ud fra risikoen for skimmelvækst i skillelaget mellem den oprindelige mur og efterisoleringen. Kun cases hvor både den forventede og faktiske ydeevne er bestemt, er vist.

Case	Isoleringsystem	Forventet ydeevne Teoretisk risiko for skimmel	Faktisk ydeevne Observeret skimmelvækst
A1_AAC_B/L	Mineralske plader af porebeton	Lav	Risiko for vækst
A1_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	Lav*	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Middel	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Middel*	Risiko for vækst
A2_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	Middel	Risiko for vækst
A2_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	Middel*	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Høj	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Høj*	Risiko for vækst
A3_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	Middel	Vækst
A3_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	Middel*	Vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav	Vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav*	Vækst
A4_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	Middel	Risiko for vækst
A4_AAC_S	Mineralske plader af porebeton	Middel*	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Høj	Vækst
	Mineralske plader af porebeton	Høj*	Risiko for vækst
B1_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	Høj	Vækst
B1_AAC_L	Mineralske plader af porebeton	Høj*	Vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav*	Risiko for vækst
B2_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	Lav	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav*	Risiko for vækst
B3_AAC_B	Mineralske plader af porebeton	Lav	Risiko for vækst
	Mineralske plader af porebeton	Lav*	Risiko for vækst
C CG_NW_56	Celleglas	Lav	Risiko for vækst
C CG_NW_57	Celleglas	Lav	Lav risiko for vækst
C CG_SE_52	Celleglas	Lav	Risiko for vækst
C CG_SE_50	Celleglas	Lav	Risiko for vækst
C_AAC_NW_55	Mineralske plader af porebeton	Høj	Vækst
C_AAC_NW_53	Mineralske plader af porebeton	Høj	Lav risiko for vækst
C_AAC_SE_58	Mineralske plader af porebeton	Høj	Vækst
C_AAC_SE_59	Mineralske plader af porebeton	Høj	Vækst
C_HL_NW_66	Hampebeton	Lav	Vækst
C_HL_SE_73	Hampebeton	Høj	Vækst
C_HL_SE_72	Hampebeton	Høj	Vækst
C_AG_NW_Sim	Aerogel	Lav	Lav risiko for vækst
C_AG_SE_54	Aerogel	Lav	Risiko for vækst
C_AG_SE_67	Aerogel	Lav	Risiko for vækst
D_PUR_B	PUR m/CaSi	Lav	Lav risiko for vækst
D_PUR_L	PUR m/CaSi	Lav	Lav risiko for vækst

*) Disse cases er ikke beregnet men de er medtaget som sammenligning til de flere borekerner. Resultaterne er identiske med dem ovenover.

4.4 Andre observationer fra feltarbejdet

En række observationer under feltarbejdet og fotodokumentation af undersøgelserne fra alle cases er samlet i *Bilag 3 Dokumentation af feltundersøgelser*.

Observationer vedrørende den isolerede væg

Visuelle inspektioner af de indvendigt efterisolerede ydervægge gav et generelt indtryk af at væggene var i god stand og virkede efter hensigten. Men i enkelte lejligheder blev der observeret skimmel eller tegn på afvasket skimmel på den indvendige overflader i hjørner og kanter, hvor den isolerede gavlvæg mødte en uisoleret facadevæg eller en etageadskillelse/tagkonstruktion, se **FIGUR 30**. Skimmelforekomsten følger et forventet mønster af kombineret kuldebroeffekt og høj fugtbelastning i indeklimaet, som resulterer i høj relativ fugtighed på de kolde overflader, som muliggør skimmelvækst.

Der blev ikke observeret nogen ekstraordinære tegn på slid og skader selv i cases der var blevet isoleret 9 år tidligere (cases B og D). Der blev kun fundet enkelte, små huller på overfladen af den isolerede væg som typisk stammede fra opsætning af gardinstænger, lamper eller billeder. I nogle lejligheder havde lejerne malet væggen flere gange med uautoriseret – men sandsynligvis akrylmaling – mens væggen i andre lejligheder stadig havde den originale og godkendte diffusionsåbne maling selv efter 5 år.



FIGUR 30. a) Billedet viser et koldt hjørne, hvor den efterisolerede gavlvæg til venstre møder uisoleret facadevæg til højre. Der er tydelige tegn af afvasket skimmelvækst samt afskalninger på den uisolerede væg. b) Indeklimaet i denne lejlighed virkede meget varmt og fugtigt. Billedet viser dug på vinduet og sort skimmelvækst langs vinduesrammer.

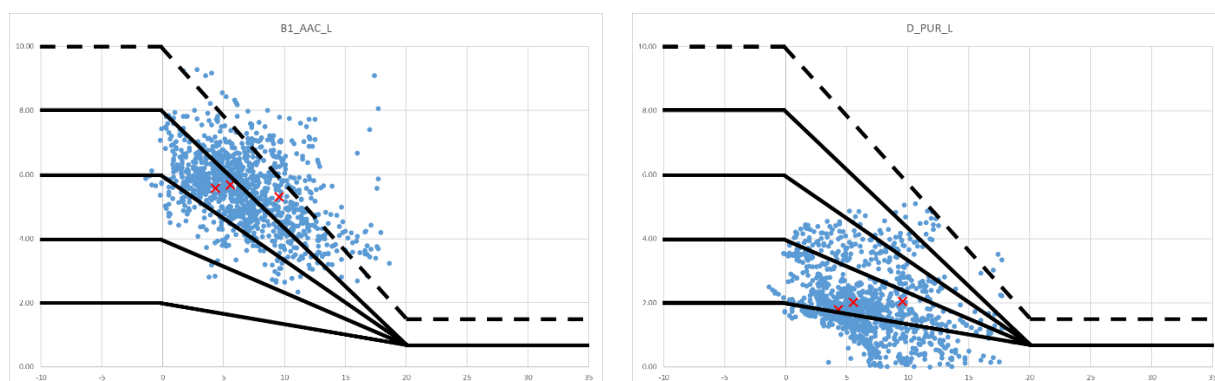
Observationer og målinger vedrørende indeklima

Feltarbejdet foregik i vintermåneder, og i mange lejligheder følte luften fugtig ved besøget. I nogle af disse lejligheder blev der observeret overfladeskimmel som beskrevet overfor, som et tegn på høj fugtighed i indeklima.

Kun i en enkel lejlighed – case D – var der etableret mekanisk balanceret ventilation. I andre lejligheder og boenheder skulle man selv lufte ud. Vinduerne i case C var skiftet ud i forbindelse med isoleringsarbejdet og disse var forsynet med udluftningsventiler.

Som en del af undersøgelserne fik beboerne i alle cases afleveret to små indeklimatestere (se **FIGUR 14**) med henblik på at kunne få et billede af fugtbelastningen i indeklima.

Fugtbelastningsklassen (FBK) blev bestemt ud fra disse indeklimate målinger, se eksempler i FIGUR 30. Der ses en tydelig forskel mellem en lejlighed uden mekanisk ventilation B1_AAC, hvor fugtbelastningsklassen er bestemt til FBK 5 og én med mekanisk balanceret ventilation, hvor fugtbelastningsklassen er bestemt til FBK 2. Lave fugtbelastningsklasser blev dog også set i nogle lejligheder uden mekanisk ventilation, hvis beboerne har været opmærksomme på at lufte ud. For case C fandtes også langtidsmålinger af indeklimate som på samme måde blev brugt til bestemmelse af indeklimate. De bestemte indeklimate forhold er brugt til de kalibrede simuleringer.



FIGUR 31. Bestemmelse af indeklimateklasse ud fra indeklimate målinger. Eksempler for cases a) B1_AAC og b) D_PUR. Fugttilskuddet, dvs forskellen mellem fugtindhold i indeklimate og udeklimate [g/m^3], er plottet som funktion af udetemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]. De røde krydser er fugttilskud bereget fra månedsmiddelværdier for ude- og indeklimate forhold, som anvendes til bestemmelse af fugtbelastningsklassen. Fugtbelastningsklassen for B1_AAC er FBK 5 mens det for D_PUR er FBK 2. Måleperioden er ca. 27. februar til 15. april 2024.

Opsummering fra spørgeskemaer og dialog med beboerne

Der blev kun modtaget fem udfyldte spørgeskemaer, hvilket begrænser anvendeligheden af disse svar. Nogle beboere havde boet i lejlighederne allerede længe inden efterisoleringen og kunne godt mærke effekten af isoleringen, men var stadig ikke helt tilfredse med komforten. De beboere der var flyttet ind i de efterisolerede lejligheder, var mere tvivl om effekten af isoleringen. Flere klagede over indeklimate og at det var et vedvarende problem med skimmelvækst på de kolde overflader, selv om stort set alle skrev at de luftede kraftigt ud dagligt. Men samtidigt gav nogle beboere udtryk for, at det var svært at lufte nok ud, især om vinteren på grund af træk.

Ingen klagede over de tabte kvadratmeter. De fleste vidste, at de skulle behandle væggen med en vis forsigtighed, da den isolerede væg ville være mere skrøbelig end det gamle murværk. Derfor havde næsten ingen forsøgt at hænge malerier eller lignende op, og der blev ikke gjort forsøg på at hænge tunge ting op. Væggens skrøbelighed blev accepteret, men det blev også set som en ulempe ved isoleringen.

4.5 Simulering af parametre med betydning for den fugttekniske ydeevne

Simuleringsmodeller blev i dette projekt opbygget og kalibreret primært med det formål at kunne vurdere temperatur- og fugtforhold bag indvendig efterisolering i de undersøgte cases. Resultatet af simuleringerne blev brugt til bestemmelse af den teoretiske skimmelindeks, som er den forventede fugttekniske ydeevne præsenteret i afsnit 4.1, hvor også resultaterne af simuleringerne findes.

Men simuleringerne med de kalibrerede modeller blev også brugt til at undersøge betydningen af en række centrale parametre med henblik på at kunne vurdere effekten af disse for ydeevnen af indvendig efterisolering. I denne rapport er medtaget de mest relevante resultater som belyser betydningen af

- Indeklimaets fugtbelastningsklasse: FBK 2, FBK 3 eller FBK 4
- Isoleringstykkelse: 50, 100 eller 220 mm
- Orientering af muren: Nord, Syd, Øst, Vest og Sydvest

Alle simuleringer er udført med mineralske plader af porebeton (AAC) som isoleringssystem med tilhørende limmørtel og puds. Orientering mod sydvest indgår, da denne orientering erfaringsmæssigt har den største slagregnsbelastning, hvilket er relevant for ydeevne af efterisolering af massivt murværk. De fire forskellige murtyper som projektets cases har, er simuleret, se **TABEL 9**. De forskellige isoleringstykkelser for de fire murtyper betyder at sammenligning af resultaterne skal ske med omhu. Der henvises til (Jensen & Peuhkuri 2026) for yderligere detaljer om modeller, forudsætninger samt resultater.

TABEL 9. Beskrivelse af de fire forskellige murtyper der er blevet simuleret, med angivelse af hvilken case og isoleringstykkelse simuleringsmodellen er kalibreret med. Alle kalibrerede modeller har orientering mod nord. Den udvendige side af murværket for Case A1 er blevet imprægneret.

	Murtype	Case	Murtykkelse	Isoleringstykkelse
a	Massivt gult murværk	Case A1	1½ sten (350 mm)	100 mm
b	Massivt gult murværk	Case A1 brystning	1 sten (230 mm)	220 mm
c	Murværk af gule mangelhulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton	Case B2	1½ sten (350 mm)	80 mm
d	Hulmur med faste bindere, gule mangelhulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton	Case B3	1½ sten (350 mm)	80 mm

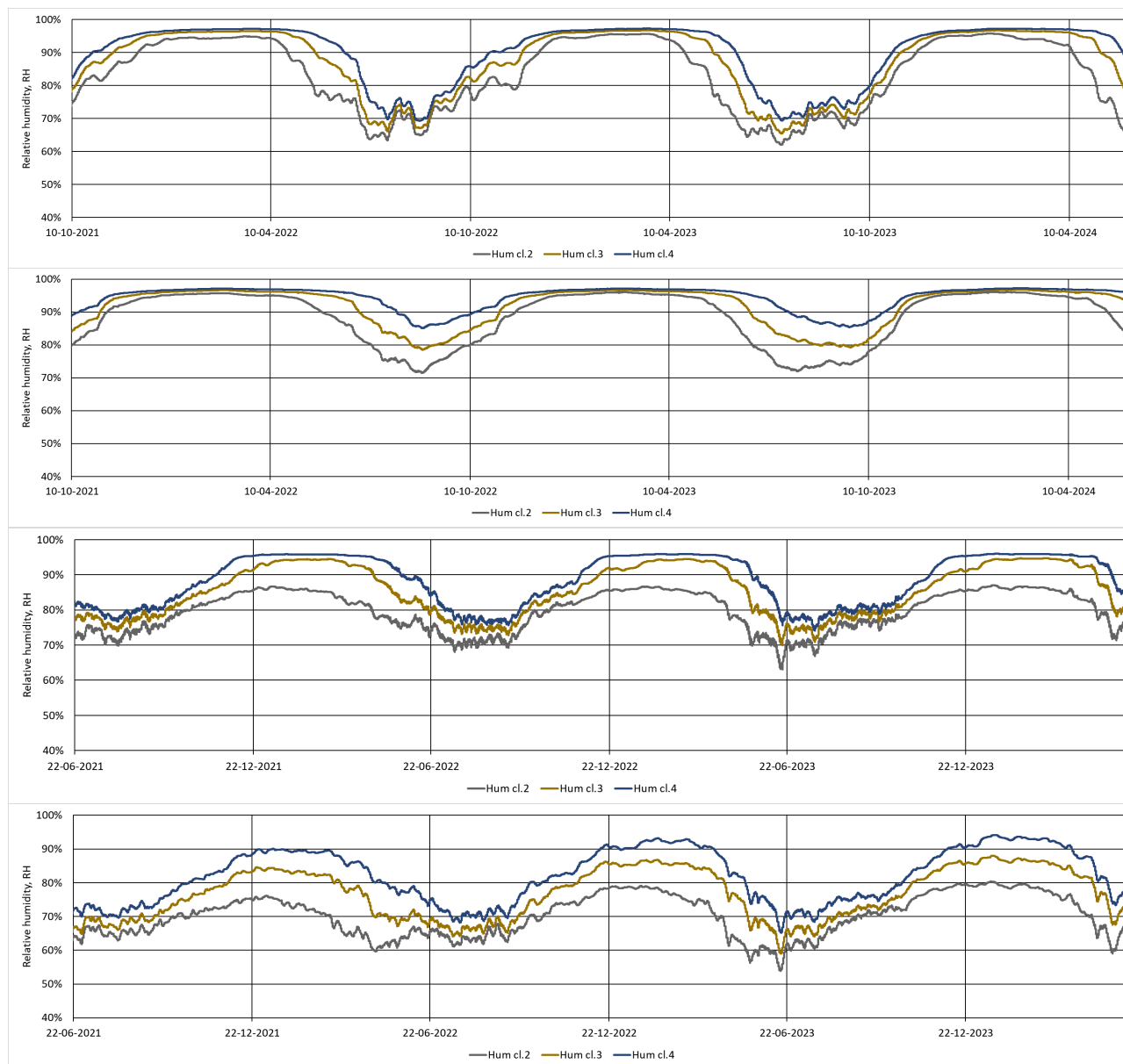
Betydning af indeklimaets fugtbelastningsklasse

FIGUR 30 viser at indeklimaets fugtbelastningsklasse har stor betydning for den fugttekniske ydeevne for alle de simulerede cases. Niveaueet for den relative fugtighed bag den indvendige efterisolering stiger markant for stigende fugtbelastningsklasse. Dette er forventeligt, da isoleringssystemet AAC er diffusionsåbent og tillader diffusion af fugtigt indeklima ind i konstruktionen i den kolde årstid.

De kalibrerede modeller for alle fire murtyper er baseret på cases med en meget lav fugtbelastning svarende til FBK 1. Derfor ligger forløb beskrevet i afsnit 4.1 for de samme cases generelt lidt lavere end de simulerede i dette afsnit, hvor fugtbelastningsklasse FBK 2 er den laveste.

Det skal bemærkes at alle simuleringer i **FIGUR 32** er udført for orientering mod nord, hvor fugtbelastning udefra forventes begrænset, se derfor også afsnit om betydning af murens orientering.

Simuleringsresultatet viser at en begrænset fugtbelastning indendørs er afgørende for den fugttechniske ydeevne af diffusionsåbent indvendig efterisolering, som mineralske plader af porebeton, når fugtbelastningen udefra er begrænset.

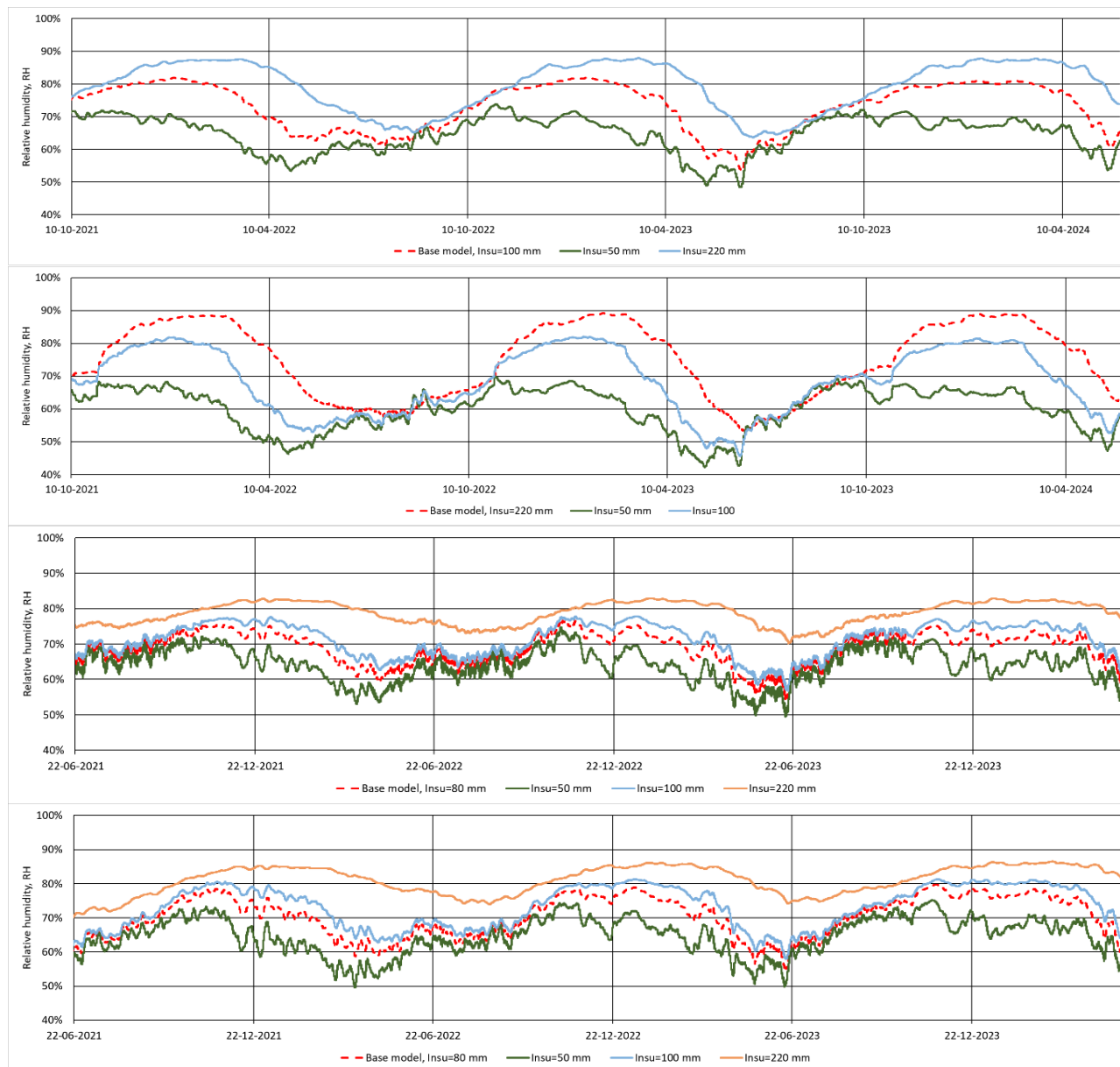


FIGUR 32. Betydning af indeklimaets fugtbelastningsklasse for fugtforhold bag den indvendige efterisolering for de fire forskellige murtyper. a) 1½ stens massivt murværk isoleret med 100 mm AAC, b) 1 stens massivt murværk isoleret med 220 mm AAC, c) murværk af gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 80 mm AAC og d) hulmur med faste bindere, gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 80 mm AAC. Alle mure vender mod nord. Hum cl.2 = FBK 2, Hum cl.3 = FBK 3 og Hum cl.4 = FBK 4.

Betydning af isoleringstykkelse

FIGUR 33 viser at den relative fugtighed bag den indvendige efterisolering stiger markant med isoleringstykkelsen for alle cases. Effekten af isoleringstykkelsen for den fugttechniske ydeevne, defineret som skimmelrisikoen bag indvendige efterisolering, spiller dog kun en mindre rolle (ikke vist her). Det skyldes at den indvendige side af den oprindelige mur bliver koldere ved stigende isoleringstykkelse og dermed mindre gunstig for skimmelvækst især i den kolde tid, hvor relativ fugtighed er højest. Skimmelrisikoen stiger, men ikke i takt med den stigende relative fugtighed.

Simuleringsresultaterne viser at en moderat isoleringstykkelser (80-100 mm) har næsten lige så god fugtteknisk ydeevne som en lille isoleringstykkelser på 50 mm. Ved større isoleringstykkelser stiger risikoen, se også afsnit 4.1. Bemærk at simuleringer her er udført for lav fugtbelastning både indefra (FBK 1) og udefra (nord orientering). En større fugtbelastning kan ændre billedet.



FIGUR 33. Betydning af isoleringstykkelser for fugtforhold bag den indvendige efterisolering for de fire forskellige murtyper. Den stiplede linje angiver basismodellen. a) 1½ stens massivt murværk isoleret med 50 mm, 100 mm (base model) og 220 mm, b) 1 stens massivt murværk isoleret med 50 mm, 100 mm og 220 mm (base model), c) murværk af gule mangesulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 50 mm, 80 mm (base model), 100 mm og 220 mm og d) hulmur med faste bindere, gule mangesulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 50 mm, 80 mm (base model), 100 mm og 220 mm. Alle mure vender mod nord. Fugtbelastningsklasse som i de kalibrerede modeller: FBK 1

Betydning af murens orientering

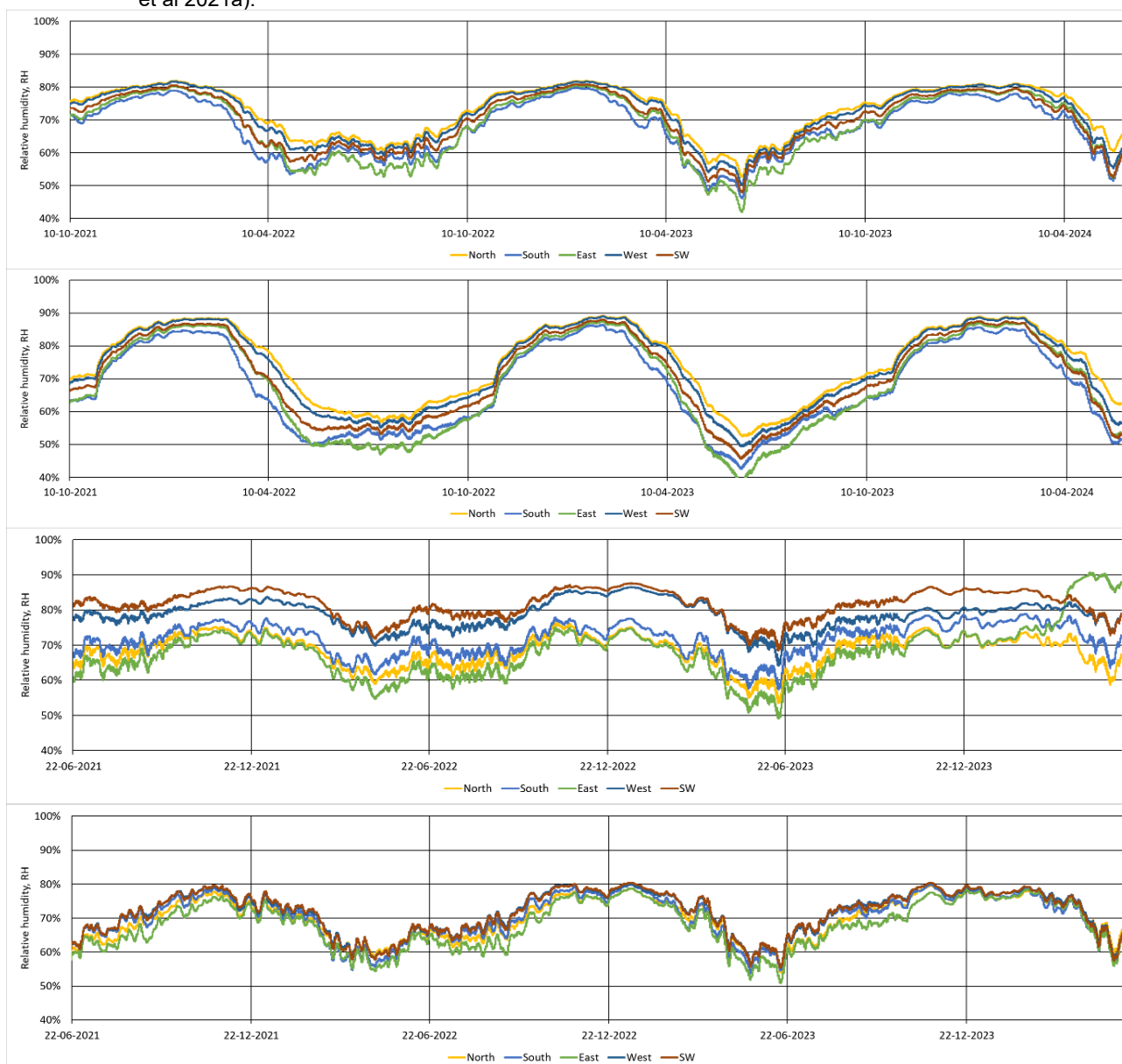
FIGUR 34 viser at orienteringen kun spiller en væsentlig rolle for massivt murværk som ikke er imprægneret (case c). Her resulterer orientering mod sydvest og vest i de højeste fugtforhold som forventet, da slagregnsintensiteten i denne orientering typisk er størst i Danmark.

Der er kun mindre forskel for de forskellige orienteringer for de imprægnerede mure (case a og b) og næsten ingen forskel for casen med hulmur (case d).

Slagregnsintensiteten kan dog variere meget afhængig af landsdel og bygningens beliggenhed og bør derfor undersøges i forbindelse med at der overvejes indvendig efterisolering af massivt murværk, medmindre der er tale om en meget tyk mur eller en hulmur.

Bemærk at simuleringer her er udført for lav fugtbelastning indefra (FBK 1). En større fugtbelastning indefra kan ændre billedet, da det så ikke er tydeligt, om fugtbelastningen kommer udefra eller indefra.

Selvom den positive effekt af imprægnering er tydelig i disse og tidligere simuleringstudier (Soulios et al 2021, Finken et al 2016), har det været svært at påvise nogen konkret effekt på monitorerede forhold i virkelige bygninger, se bl.a. (Pagoni et al 2024a). Dog er det påvist at imprægneringen har en positiv effekt for diffusionstætte isoleringssystemer (Jensen et al 2021a).



FIGUR 34. Betydning af murens orientering for fugtforhold bag den indvendige efterisolering for de fire forskellige murtyper. a) 1½ stens massivt murværk isoleret med 100 mm AAC, b) 1 stens massivt murværk isoleret med 220 mm AAC, c) murværk af gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 80 mm AAC og d) hulmur med faste bindere, gule mangehulssten som formur og bagmur af letklinkerbeton isoleret med 80 mm AAC. Fugtbelastningsklasse som i de kalibrerede modeller: FBK 1. Murværket for a og b er blevet imprægneret. Orientering: North = Nord, South = Syd, East = Øst, West = Vest, SW = Sydvest

4.6 Usikkerheder ved bestemmelse af den fugttekniske ydeevne

Usikkerhed omkring de hygrotermiske forhold

Skimmelvæksten er afhængig af en lang række faktorer: De rette temperatur- og fugtforhold, passende miljø og næring samt tilstrækkeligt tid før der opstår skimmelvækst. Derfor er det helt afgørende for at kunne bestemme den teoretiske skimmelrisiko at der findes tids-serier af disse faktorer. I dette arbejde var det derfor vigtigt at kunne estimere de hygrotermiske forhold i den kritiske skilleflade så godt som muligt, også når monitoreringen af fugtforhold bag den indvendige efterisolering ikke er faldet sammen med tidspunktet for de destruktive undersøgelser. Men uanset om aktuelle monitoreringsresultater var tilgængelige eller forholdene blev målt som punktmålinger, er denne type målinger altid forbundet med en betydelig usikkerhed (op til 10% RF), især ved høje relative fugtigheder. Fugtindholdet bestemt ved veje-tørre-veje metoden anses for den mest valide metode, men udfordringen her er at der kun opnås et øjebliksbillede.

Kalibrerede simuleringer blev brugt til bestemmelse af de hygrotermiske forhold i cases, hvor monitorering ikke foregik tæt på tidspunktet for prøvetagning. Simuleringsmodellerne er dog behæftet med en række usikkerheder og antagelser, da central information om de faktiske forhold mangler. Materialeparametre er baseret på informationer i DELPHIN's database, og mens materialeparametre for de fleste kommercielle isoleringssystemer findes i databasen, er der stor usikkerhed omkring de faktiske egenskaber af murværket. Kun for mursten i case C er en række centrale materialeparametre blevet bestemt i forbindelse med et tidligere forskningsprojekt (Pagoni et al, 2024b).

En væsentlig usikkerhed ligger også både i de benyttede vejrdata samt de estimerede indeklimaforhold for de kalibrerede simuleringer. Udeklimaet var desværre ikke blevet målt ved de aktuelle bygninger, og derfor blev DMI vejrdata hentet fra en målestation med en afstand på ca. 20 km med deraf følgende usikkerhed om de faktiske udeklimaforhold. Indeklimaet blev skønnet og justeret i forbindelse med kalibreringen for cases, hvor der ikke lå indeklimamålinger, og dermed er der også stor usikkerhed om denne variabel for cases A, B og D, samt enkelte cases i C. Som det ses i simuleringsanalyserne i afsnit 4.4, har indeklimaets fugtforhold en stor betydning for ydeevnen af diffusionsåbne indvendige efterisoleringssystemer.

Den teoretiske skimmelmodel tager ikke hensyn til alle vigtige forhold

De kendte teoretiske skimmelmodeller, herunder den benyttede FinMould Index, tager hensyn til de skiftende temperatur- og fugtforhold, som er til stede i konstruktionen. Men modellerne er begrænset til de forhold og de materialer, de er udviklet på. Der er derfor en stor usikkerhed om den faktiske følsomhed for skimmelvækst i de undersøgte cases, da den har vist sig at være produktspecifik og afhængig af faktorer som for eksempel det kemiske miljø (Andersen og Rasmussen, 2025).

KONKLUSION OG ANBEFALINGER

5 KONKLUSION OG ANBEFALINGER

I projektet er bestemt både den forventede og den faktiske fugttekniske ydeevne af 16 indvendigt efterisolerede ældre mure fordelt på fire forskellige bebyggelser i København. Murene er blevet efterisoleret i perioden 2015 til 2021 og har det tilfælles, at temperatur- og fugtforholdene bag isoleringen har været monitoreret i kortere eller længere perioder siden.

Den forventede fugttekniske ydeevne er bestemt som en beregnet, teoretisk risiko for skimmelvækst og er baseret enten på dynamiske hygrotermiske simuleringer og/eller målte og observerede hygrotermiske forhold bag isoleringen. Disse forhold er blevet brugt som input i den teoretiske skimmelmodel *FinMould Index*.

Den faktiske fugttekniske ydeevne er bestemt ud fra observationer og er baseret på destruktive undersøgelser bag isoleringen, hvor eksistensen af skimmelsvampevækst er testet med flere forskellige metoder, sammen med bestemmelse af pH, temperatur og relativ fugtighed.

Skalaen i **TABEL 10** er defineret i projektet og brugt til vurderingen af resultaterne. Tabellen giver også projektets anbefaling til en vurdering af, om en indvendig efterisolering kan bruges eller frarådes i konkrete projekter. Skalaerne fra den teoretiske vurdering af risiko kan ikke direkte overføres til den faktiske risiko, men er opstillet alligevel på denne måde for at gøre vurderingen overskuelig.

TABEL 10. Skalaer til vurdering af forventet henholdsvis faktisk fugtteknisk ydeevne i forhold til skimmelvækst bag indvendig efterisolering. Opdelingen i de tre grupper (markeret ved grøn, gul og rød) er defineret i projektet. Skalaerne er sammenstillet med en konsekvens for, om en indvendig efterisolering kan anbefales eller ej.

Forventet fugtteknisk ydeevne		Faktisk fugtteknisk ydeevne		Konsekvens for anvendelse af indvendig efterisolering
Beregnet skimmelindeks	Teoretisk risiko	Observeret skimmelvækst	Faktisk risiko	
0 – 2	Lav risiko for skimmelvækst	Ingen observeret vækst og ingen levedygtige sporer	Lav risiko for vækst	Kan som regel bruges
2 – 3	Middel risiko for skimmelvækst	Ingen observeret vækst men levedygtige sporer	Risiko for vækst	Kan måske bruges
> 3	Høj risiko for skimmelvækst	Observeret vækst	Vækst	Frarådes

5.1 Forventet fugtteknisk ydeevne

Til bestemmelse af den teoretiske risiko for skimmelvækst blev der beregnet et skimmelindeks for alle de undersøgte cases. Skimmelindekset blev beregnet ud fra dynamiske temperatur- og fugtforhold fra enten kalibrerede simuleringer eller monitorering af forhold bag indvendig efterisolering.

Resultaterne viste at risikoen for skimmelvækst forventes at være lav i de cases, hvor celleglas, aerogel eller polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat er brugt som isoleringssystem. I nogle tilfælde var risikoen også lav, hvis mineralske plader af porebeton blev brugt som isoleringssystem, men i andre tilfælde kunne denne risiko også være både middel

og høj, afhængig af fugtbelastningen af væggen. Isoleringssystemet med hampebeton viste overvejende høj risiko for skimmelvækst.

Resultatet er som sådan ikke overraskende, da der til beregningen af skimmelindekset er anvendt en *forventet sårbarhed* for skimmelvækst som i store træk stemmer overens med beregningsresultatet. Ved beregningen af skimmelindekset skal der tages stilling til, hvor sårbare for skimmelvækst materialerne i den undersøgte konstruktion er. Materialerne kan være *resistant*, *medium resistant*, *sensitive* eller *very sensitive*. Beregningerne viste – ikke overraskende – at cases, hvor der var valgt mindst sårbarhed for skimmelvækst, også resulterede i lav teoretisk risiko for skimmelvækst, mens materialer med hvor der var valgt en større sårbarhed for skimmelvækst resulterede i middel eller høj teoretisk risiko for skimmelvækst.

Forskelle i de undersøgte cases med det diffusionsåbne system med mineralske plader af porebeton kan bedst forklares med forskelle i fugtbelastningen i indeklimaet. Derfor er det afgørende for den teoretiske vurdering at der er brugt de rette forudsætninger om fugtbelastningsklasse.

De kalibrerede simuleringsskemaer blev også brugt til at undersøge betydningen af fugtbelastning indendørs, isoleringstykkelser og ydervæggens orientering med henblik på at kunne vurdere effekten af disse parametre for den fugttekniske ydeevne af indvendig efterisolering. Simuleringsresultaterne viser at

- en begrænset *fugtbelastning indendørs* er afgørende for den fugttekniske ydeevne af diffusionsåben indvendig efterisolering, når fugtbelastningen udefra er begrænset
- selvom relativ fugtighed bag den indvendige efterisolering stiger markant med *isoleringstykkelser*, stiger skimmelrisikoen ikke tilsvarende. Der er derfor ikke en væsentlig forskel i ydeevnen mellem en lille (50 mm) og en moderat (80-100 mm) isoleringstykkelser
- *orienteringen* spiller en væsentlig rolle for massivt, blankt murværk, hvor orientering mod sydvest og vest resulterer i de højeste fugtforhold, da slagregnsintensiteten i denne orientering typisk er størst i Danmark.
- orienteringen spiller kun en begrænset rolle for imprægnerede mure og næsten ingen rolle for hulmur.

Slagregnsintensiteten kan dog variere meget afhængig af landsdel og bygningens beliggenhed og bør derfor undersøges i forbindelse med at der overvejes indvendigt efterisolering af massivt murværk, medmindre der er tale om en meget tyk mur eller en hulmur.

5.2 Faktisk fugtteknisk ydeevne

Resultaterne fra de destruktive undersøgelser viser, at der kun i få af de undersøgte cases blev vurderet *lav risiko for skimmelvækst* (ingen vækst og ingen levedygtige sporer). Undtagelsen var case D med isoleringssystemet polyurethanskum med kanaler af kalciumsilikat (PUR m/CaSi), hvor alle borekerner viste lav risiko for skimmelvækst. Denne case er karakteriseret med lav fugtbelastning indefra på grund af mekanisk, balanceret ventilation, isoleringssystemet er uorganisk og rimeligt diffusionstæt, og målingerne i skillelaget viser at der er middelhøj pH og forholdsvis lav relativ fugtighed. Alle disse faktorer er velkendte i forhold til at gøre en konstruktion med indvendig efterisolering fugtsikker.

Der blev observeret *skimmelvækst* for de cases med mineralske plader af porebeton (AAC), hvor der var observeret høj indendørs fugtbelastning og lav pH i skillelaget bag isoleringen. Ligeledes blev der observeret *skimmelvækst* i alle borekerner med hampebeton, formentlig på grund af stort indhold af organisk materiale, indbyggede skimmelsporer og samtidig høj fugtbelastning indefra.

Resten af resultaterne, hvor der ikke blev fundet vækst af betydning selvom der blev fundet levedygtige skimmelsporer, blev vurderet med en *risiko for skimmelvækst*. Disse var cases med mineralske plader af porebeton, hvor indendørs fugtbelastning var lav, samt de fleste cases med celleglas og aerogel, som begge er uorganiske. Mens resultaterne, der viser vækst, er ret entydige – fordi der er observeret vækst – skal ydeevnen af disse cases med *risiko for vækst* i højere grad vurderes som *risiko*: Der blev ikke observeret vækst af betydning men der er levedygtige sporer til stede, som vil spire og danne mycelium, når forholdene bliver gunstige: Når pH falder og hvis relativ fugtighed stiger, og hvis der er organisk materiale til stede, så væksten understøttes. Resultatet understreger vigtigheden af grundig afrensning af den oprindelige mur samt at kun systemer uden indhold af organisk materiale kan forventes at kunne udvise *lav risiko for skimmelvækst*.

Med den nuværende viden udgør al skimmelvækst bag indvendig efterisolering et indeklimaproblem, da eventuelle flygtige forbindelser fra væksten kan diffundere gennem især diffusionsåbne indvendige efterisoleringssystemer. Der mangler dog viden om effekten af disse flygtige forbindelser for sundhed.

Sammenligning af forventet og faktisk ydeevne

Resultaterne for forventet og faktisk ydeevne blev også sammenlignet for at se om det er muligt at forudsige skimmelvækst med den teoretiske tilgang med beregnet skimmelindeks, så risikoen kan vurderes forud, fx i forbindelse med planlægningen af en konkret sag om efterisolering.

Sammenligningen bekræfter at man får et fornuftigt skøn på skimmelrisikoen med de teoretiske skimmelmodeller, når der bruges de rette sårbarhedsklasser. Især stemmer vurderingen, når den forventede ydeevne angiver høj risiko. Den største afvigelse blev fundet i situationer, hvor den forventede ydeevne viste lav risiko mens den faktiske viste risiko for vækst. Derfor skal man i den endelige risikovurdering være opmærksom på at kun systemer med absolut ingen organisk materialeindhold kan opnå den faktiske ydeevne *lav risiko for skimmelvækst*.

Sammenligningen bekræfter også antagelsen om at isoleringssystemerne med mineralske plader af porebeton og hampebeton tilhører i sårbarhedsklassen "sensitiv" og dermed er sårbare for skimmelvækst på grund af et tilstrækkeligt indhold af organisk materiale.

5.3 Anbefalinger og retningslinjer

Anbefalinger

Projektets resultater har bidraget med ny og kvalificeret viden om hvordan man kan undgå skimmelsvampevækst bag et indvendigt isoleringssystem. Disse kan opsummeres følgende:

- *Fugtbelastningen indefra* skal være begrænset – især for diffusionsåbne systemer som mineralske plader af porebeton – og skal for diffusionsåbne systemer ikke overstige fugtbelastningsklasse FBK2
- Isoleringssystemet skal *ikke indeholde noget organisk materiale* og derfor skal også alt organisk materiale fjernes fra vægoverfladen inden efterisoleringssystemet monteres
- En *høj pH* i puds og limmørtel i skillelaget beskytter mod skimmelvækst, men effekten aftager med tiden.
- *Isoleringstykkelsen* alene spiller kun en mindre rolle for risikoen for skimmelvækst, men store isoleringstykkelser bør undgås især for tynde mure.

En lav *fugtbelastning udefra* er ligeledes en forudsætning for at undgå skimmelsvampevækst bag isoleringen. Derfor bør indvendig efterisolering ikke opsættes på lokationer og

mod verdenshjørner, som er særligt udsatte for slagregn. Fugtbelastningen udefra har dog ikke spillet nogen stor rolle i de undersøgte cases i dette projekt: De ligger alle i Københavnsområdet, hvor slagregnsintensiteten er relativt begrænset. Derudover blev påvirkningen udefra i de undersøgte cases overskygget af fugtbelastningen indefra, som forklarer de høje fugtforhold bag de diffusionsåbne isoleringssystemer.

Retningslinjer

Projektets formål var også at kvalificere og opdatere retningslinjerne for fugtsikker energirenovering med indvendig efterisolering, som blev skrevet i forbindelse med et tidligere projekt i 2024 <https://vbn.aau.dk/da/projects/fugtsikker-energirenovering-af-bevaringsv%C3%A6rdige-murede-yderv%C3%A6gge/> og findes på <https://indvendigefterisolering.dk/>.

Projektets resultater har i store træk bekræftet de oprindelige retningslinjer og har alene givet anledning til følgende stramninger, for at risikoen for skimmelvækst kan forventes at være lav:

- *Fugtbelastningen indefra* må højst svare til fugtbelastningsklasse FBK 2 for diffusionsåbne materialer
- Isoleringssystemet skal *ikke* indeholde noget *organisk materiale*.

De opdaterede retningslinjer findes i bilag 4, som også beskriver en metode til hvordan retningslinjerne i en konkret byggesag kan bruges til en risikovurdering. I metoden skal man gennem følgende spørgsmål tage stilling til udsagn i retningslinjerne:

Er bygningen og muren egnet til at man kan overveje indvendig efterisolering?

- Fugtbelastning af væggen skal være begrænset
- Muren skal være velegnet og i god stand

Hvis ja, hvilket isoleringssystem giver det laveste risiko?

- Ved valg af isoleringssystem skal der tages hensyn til:
 - Murtype og -tykkelse, herunder om facaden er blank eller pudset
 - Fugtbelastning af facaden
 - Fugtbelastningsklassen
- Isoleringstykkelsen kan med fordel begrænses

Hvilke forhold skal være til stede ved udførelse for at risikoen forbliver lav?

- Væggene skal være omhyggeligt afrensede inden monteringen af isoleringen
- Monteringen skal udføres omhyggeligt og efter producentens anvisninger

Hvilke krav skal stilles til fremtidig drift for at risikoen forbliver lav?

- Både brugerne og driftsansvarlige skal være informerede og bevidste om begrænsningerne og mulighederne ved daglig brug og vedligehold
- Fugtbelastning af væggen skal forblive begrænset

REFERENCER

6 REFERENCER

*) publikationer fra dette projekt.

Andersen, B., Frisvad, J. C., Søndergaard, I., Rasmussen, I. S., & Larsen, L. S. (2011). Associations between fungal species and water-damaged building materials. *Applied and environmental microbiology*, 77(12), 4180-4188.

Andersen, B., & Rasmussen, T. V. (2025). Biobased building materials: Moisture characteristics and fungal susceptibility. *Building and Environment*, 275, Artikel 112720. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112720>

de Place Hansen, E., & Wittchen, K. (2018). Energy savings due to internal facade insulation in historic buildings. Proc. 3rd Int. Conf on Energy Efficiency in Historic Buildings 2018, Visby, Sweden, 22-31, <http://eehb2018.com/conference-report/>

Finken, G. R., Bjarløv, S. P., & Peuhkuri, R. H. (2016). Effect of façade impregnation on feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory - A hygrothermal simulation study. *Construction and Building Materials*, 113(15 June), 202-214. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.019>

Hansen, T. K., Bjarløv, S. P., & Peuhkuri, R. H. (2019). The effects of wind-driven rain on the hygrothermal conditions behind wooden beam ends and at the interfaces between internal insulation and existing solid masonry. *Energy and Buildings*, 196, 255-268.

Hansen, T. K., Bjarløv, S. P., Peuhkuri, R. H., & Harrestrup, M. (2018). Long term in situ measurements of hygrothermal conditions at critical points in four cases of internally insulated historic solid masonry walls. *Energy and Buildings*, 172, 235-248.

Hansen, T. K., & Peuhkuri, R. H. (2023). *Slutrapport – Vurdering af fugtforhold bag indvendig efterisolering efter flere års målinger: Demonstrationsprojekt om indvendig efterisolering i 3B's afdelinger Druehaven 5 og Folehaven 75*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2023 Nr. 19 <https://vbn.aau.dk/da/publications/slutrapport-vurdering-af-fugtforhold-bag-indvendig-efterisolering/>

Harrestrup, M. & Svendsen, S. (2016). Internal insulation applied in heritage multi-storey buildings with wooden beams embedded in solid masonry brick façades. *Building and Environment* 99: 59-72.

Jensen, N. F., Bjarløv, S. P., Rode, C., Andersen, B., & Møller, E. B. (2021a). Hygrothermal performance of six insulation systems for internal retrofitting solid masonry walls. *Journal of Building Physics*, 44(6), 539-573. <https://doi.org/10.1177/1744259120988745>

Jensen, N. F., Bjarløv, S. P., Rode, C., Andersen, B., & Møller, E. B. (2021b). Laboratory-based investigation of the materials' water activity and pH relative to fungal growth in internally insulated solid masonry walls. *Indoor Air*, 31(4), 1252-1266. <https://doi.org/10.1111/ina.12796>

Jensen, N. F., Møller, E. B., Hansen, K. K., & Rode, C. (2024). Hygrothermal assessment of three bio-based insulation systems for internal retrofitting solid masonry walls. *Journal of Building Physics*, 48(2), 244-280. <https://doi.org/10.1177/17442591241265503>

- * Jensen, N.F. & Peuhkuri, R.H. (2026) Mould growth risk of internal insulation systems – Predicted performance (*Forventes publiceret i 2026*)
- * Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H. & Andersen, B. (2026) Mould growth risk of internal insulation systems – Verified performance with destructive investigations. (*Forventes publiceret i 2026*)
- * Jensen, N. F., Peuhkuri, R. H., de Place Hansen, E. J., Pagoni, P., & Møller, E. (2024b). The effect of interior paint treatments on the hygrothermal conditions in internally insulated solid masonry walls. I U. Berardi (red.), *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 3: Building Systems and HVAC Technologies* (s. 438-444). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8313-7_61
- * Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026a) Hygrothermal Performance of Internally Insulated Solid Masonry Walls: Impact of Radiator Placement Adjacent to the Interior Surface. In proceedings: 14th Nordic Symposium on Building Physics NSB2026, Tampere, Finland (*Forventes publiceret i 2026*)
- * Jensen, N.F., Peuhkuri, R.H., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026b) Hygrothermal Performance of Internally Insulated Walls Under Future Climate Scenarios. In proceedings: 17th International Conference on the Durability of Building Materials and Components DBMC 2026. Montreal, Canada (*Forventes publiceret i 2026*)
- Odgaard, T., Bjarløv, S. P. & Rode, C. (2018) "Interior insulation—Characterisation of the historic, solid masonry building segment and analysis of the heat saving potential by 1d, 2d, and 3d simulation," *Energy Build.*, vol. 162, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.008.
- Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, J., Salminen, K. (2010). Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials. In: Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference. ASHRAE. Clearwater, Florida, USA. <https://vbn.aau.dk/da/publications/mold-growth-modeling-of-building-structures-using-sensitivity-classes-of-materials>
- Pagoni, P., Møller, E. B., & Peuhkuri, R. (2024a) Decisive parameters for moisture safe internal insulation of masonry - long time monitoring in inhabited dwellings. *Energy and Buildings*, 312, Artikel 114180 <https://vbn.aau.dk/da/publications/decisive-parameters-for-moisture-safe-internal-insulation-of-masonry>
- Pagoni, P., Møller, E. B., Peuhkuri, R.H. & Jensen, N.F. (2024b) Evaluation of the performance of different internal insulation systems in real-life conditions - A case study. *Journal of Building and Environment*, Volume 267 (Part C), Artikel 112319. <https://vbn.aau.dk/da/publications/evaluation-of-the-performance-of-different-internal-insulation-systems>
- Peuhkuri, R. H., & Jensen, N. F. (2024). *Udvalgte danske cases med indvendig efterisolering: Opsummerede resultater og erfaringer*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2024 Nr. 15 <https://vbn.aau.dk/da/publications/udvalgte-danske-cases-med-indvendig-efterisolering-opsummerede-resultater-og-erfaringer>
- * Peuhkuri, R. H., Jensen, N. F., de Place Hansen, E. J., Pagoni, P., & Møller, E. (2024a). Retrofitting facades of modern/industrial era from inside – Hygrothermal performance. I U. Berardi (red.), *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 1: Moisture and Materials* (s. 495-501). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8305-2_70

* Peuhkuri, R.H., Jensen, N.F., de Place Hansen, E. J. & Møller, E. B. (2026) Guidelines for Moisture-proof Energy Renovation of Conservation-worthy Masonry Walls. In proceedings: 14th Nordic Symposium on Building Physics NSB2026, Tampere, Finland (*Forventes publiceret i 2026*)

SBi Anvisning 277 Fugt i bygninger – Teori, beregning og undersøgelse. 2023. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. <https://www.anvisninger.dk/anvisninger/p-anv277-fugt-teori-beregning-og-undersogelse>

Soulios, V., de Place Hansen, E. J., & Peuhkuri, R. H. (2021). Hygrothermal performance of hydrophobized and internally insulated masonry walls - Simulating the impact of hydrophobization based on experimental results. *Building and Environment*, 187(January), 1-13. Artikel 107410. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107410>

Sukop, L & Ostrý, M. (2025), Hygrothermal performance of structures with diffusion-open and semi-diffusion-open internal insulation systems: A literature review, *Journal of Building Engineering*, Volume 108, 2025, 112954, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.112954>.

Viitanen, H., Krus, M., Ojanen, T., Eitner, V., Zirkelbach, D. (2015). Mold risk classification based on comparative evaluation of two established growth models. *Energy Procedia* 78, 1425–1430.

The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, flowing patterns that curve around the central text.

7

BILAG

7 BILAG

BILAG 1: Testprotokol

BILAG 2: Spørgeskema

BILAG 3: Udvalgt dokumentation fra feltundersøgelser

BILAG 4: Risikovurdering og retningslinjer for fugtsikker indvendig efterisolering

Forskningsprojekt VURDERING AF INDVENDIG EFTERISOLERING

Testprotokolskema

Inspektion af forhold bag indvendig efterisolering

Inden besøget

Ok?	Aktivitet	Ansvarlig	Kommentar
	Beskrivelse af inspektionen, Indeklima loggere, samtykkeerklæringer og spørgeskemaer sendes til beboerne		2-3 uger før besøget.
	Erstatningsborekerner klargøres		Antal? Tjek tykkelse og materiale i bygningen
	Glaspertriskåle vejes og nummereres, også poser		Antal? Til veje-tørre prøver Antal til skimmelprøver?
	Evt tilstandsrapport for ejendom fremskaffes		Hjælp til vurdering af øvrige forhold

Testprotokol for observationer og prøvetagning lejligheden

Ok?	Aktivitet	Kommentar
	Hils beboere	Fortæl hvad der skal foregå
	Samtykkeerklæring, spørgeskema og indeklimaloggere samles eller udleveres	Sørg for underskrift og snak om spørgeskema og beboers erfaringer
	Placering af Rotronic til måling af RF og Temperatur i skillefladen	Der skal bores for, forsegles og tændes for loggere. Husk inddækning og støvsugning
	Visuelle observationer af den indvendige overflade, inkl foto	Se separat skema Skimmel, misfarvninger, andet?
	Termografering	Omfanget af kuldebroer og registrering af indvendige overfladetemperaturer. Husk Post-It
	Udboring indtil skilleflade, ved 4-6 kerner	80 mm bor, støv støvsuges
	fotodokumentation af limmørtels vedhæftning i skillefladen	Husk Post-It
	2 stk. Mycometer surface test mellem indvendig puds og limmørtel	Obs på hvor prøven skiller
	Borekerne nedstikkes på V8 og derefter på DG18 agar plader	Petriskåle i zip-lock poser
	Prøver til veje-tørre test udtages	I zip-lock poser
	Resterende dele af borekernen føres ned zip-lock poser	
	Rotronic sensorerne aflæses og udtages	
	Alle hullerne lukkes med borekerner	
	Tak og Opfølgning om at malere kommer og afslutter	
	Visuelle observationer af den udvendige overflade, inkl foto	Se separat skema Orientering? Synlige fugtkilder Noter hvor, husk foto og termografering
	Evt. Måling af overfladetemperatur	
	Evt. Måling af overfladefugt med indstiksmåler/kapacitativ føler	
	Evt. Skimmelprøver af indvendige overflader	Swab, husk at notere/foto, hvor prøver tages fra

Observationer af den indvendige overflade og indeklima, inkl foto

Ok?	Aktivitet	Kommentar
	Observationer vedr indeklima	Mange planter, "fugtigt", etc?
	Anvendte materialer	
	Tilstand af eksisterende puds og samlinger	
	Væggens jævnhed	
	Særlige konstruktive forhold	
	Oversigt (mapping) af fugtskader	
	Saltbelastning (saltindhold)	
	Mørke (fugtige) overflader	
	Udfældning af salt?	
	Skimmelsvampevækst?	
	Trænedbrydning?	
	Beskadiget maling/puds?	
	Deformation af konstruktionsdele?	
	Udvendige vægge/hjørner	
	Bag tunge møbler/gardiner op ad ydervægge	
	Træbaserede elementer	
	Kuldebroer	

Observationer udenfor og af den udvendige overflade, inkl foto

Ok?	Aktivitet	Kommentar
	Visuelle observationer af den udvendige overflade, inkl foto Se nedenfor	Orientering? Synlige fugtkilder Noter hvor, husk foto og termografering
	Generel tilstand af murværk	Fuger, frost, salt, alger? Overordnet indtryk
	Vandtæthed af murværk testes med Karsten tube	Afprøves 3-5 steder Tager xx min/måling Tjek på RIBuild rapport D2.3. om mursten
	Termografering	
	Orientering	
	Anvendte materialer	
	Tilstand af eksisterende puds og samlinger	
	Væggens jævnhed	
	Særlige konstruktive forhold	
	Synlige fugtkilder?	
	Oversigt (mapping) af fugtskader	
	Saltbelastning (saltindhold)	
	Intakte fuger?	
	Murværk uden revner o.l.?	
	Mørke (fugtige) overflader? (fx opstigende grundfugt eller utætte fuger)	
	Afskalning af murværk? (forårsaget af frost)	
	Afskalning eller misfarvning af maling?	
	Udfældning af salt?	
	Grønne overflader? (algevækst)	
	Beskadiget maling/puds?	

Efter besøget

Ok?	Aktivitet	Kommentar
	agar plader til dyrkning ved X grader i mørke i 7 dage. Aflæsning af dyrkningsprøver på dag 7 + 9	
	materialeprøver i petriskåle i en ovn ved 105 grader (og vægt aflæses dagligt indtil ligevægt).	
	Mycometer laboratorie arbejde	
	Analyse af pH prøver	
	Analyse af Indeklimamålinger	
	Sammenholdning af rotronic målinger og andre prøver	
	Samlet vurdering af tilstand og ydeevne, Også ift skimmelrisiko	Inkl observationer, termografering, karsten tube, simuleringer

Spørgeskema til forskningsprojekt om indvendig efterisolering Forår 2024



AAU-løbenummer (udfyldes af AAU)	
--	--

Boligens adresse

Gade/vej	Nummer	Etage	Postnummer og by

AAU-løbenummer (udfyldes af AAU)	
--	--

Baggrund for undersøgelsen.

Din/jeres lejlighed er blevet indvendigt efterisoleret for nogle år siden i forbindelse med et demonstrationsprojekt. Forskere fra Aalborg Universitet har fulgt med i demonstrationsprojektet gennem et måleprogram, hvor forhold bag den indvendige isolering er blevet monitoreret.

For at blive klogere på hvor godt isoleringen i virkeligheden fungerer i rigtige boliger, vil forskerne spørge om din/jeres erfaringer med den efterisolerede væg og indeklimaet i din bolig i øvrigt.

1. Husstandens størrelse og sammensætning.

	Permanent	Delebasis
Antal voksne		
Antal børn under 18 år		
Hvornår flyttede du/I ind i boligen?	År:	

2. Indeklimavaner i boligen

	Dagligt/ hver gang	En gang i mellem	Sjældent/ aldrig
Hvor ofte tørrer du/I større mængder vasketøj indendørs?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvor ofte er der dug indvendigt på vinduerne, når det ikke er frostvejr?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvor ofte lufter du/I ud med gennemtræk på 3-5 min.?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Indeklima efter isoleringen

	Ja	Nej	Ved ikke
Boede du i lejligheden inden efterisoleringen 2018-19? Hvis nej, gå direkte til spørgsmål 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du mærket nogle ændringer i indeklimaet siden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvilken slags ændringer?			
Er det blevet nemmere at holde på varmen i de rum der er blevet efterisoleret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Om vinteren er temperatur typisk (hvis du har målt den) _____ grader i stuen og _____ grader i soveværelset			
Føles gavlvæggen varmere end før renovering?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du/I malet/fået malet væggen efter 2018-19?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvilken maling blev der brugt (hvis du ved det)? <input type="checkbox"/> Akrylmaling <input type="checkbox"/> Silikatmaling <input type="checkbox"/> Ved ikke <input type="checkbox"/> Andet:			
Har efterisoleringen ændret på den måde du/I bruger rummet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skriv hvordan:			
Har du/I ændret på den måde du lufter ud?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Er du/I generelt tilfreds med indeklimaet i boligen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja, skriv hvorfor:			
Hvis nej, skriv hvorfor:			

4. Indeklima efter isoleringen hvis du er flyttet ind efter 2018-19

	Ja	Nej	Ved ikke
Er det nemt at holde på varmen i de rum der er blevet efterisoleret?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Om vinteren er temperatur typisk (hvis du har målt den) _____ grader i stuen og _____ grader i soveværelset			
Føles gavlvæggen varm nok?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du/I malet/fået malet væggen efter at du er flyttet ind?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvilken maling blev der brugt (hvis du ved det)? <input type="checkbox"/> Akrylmaling <input type="checkbox"/> Silikatmaling <input type="checkbox"/> Ved ikke <input type="checkbox"/> Andet:			
Påvirker væggenes temperatur på den måde du/I bruger rummet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skriv hvordan:			
Er du/I generelt tilfreds med indeklimaet i boligen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja, skriv hvorfor:			
Hvis nej, skriv hvorfor:			

5. Praktisk omkring den efterisolerede væg

	Ja	Nej	Ved ikke
Har du fået nogen information om hvordan du "bruger" den efterisolerede væg? (I de næste punkter spørges til hvilken slags information)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information om hvordan man hænger billeder, hylde m.m. op?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information om hvordan man tørrer af/vasker væggen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information om hvordan væggen skal males?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anden information eller vejledning? Hvilken:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du prøvet at hænge/fastgøre noget på væggen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja: Var det nemt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis det ikke var nemt, beskriv problemet:			
Har du oplevet at væggen nemt får "buler" eller afskaller?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja, uddyb her hvordan:			
Er du/I generelt tilfreds med den efterisolerede væg?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skriv her hvorfor du er tilfreds:			
Skriv her hvorfor du ikke er tilfreds:			
Ville du anbefale andre at få efterisoleret en kold (gavl)væg?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TAK FOR DIN HJÆLP!

Bilag 3: Dokumentation af feltundersøgelser

Her er samlet foto, termografibilleder samt andre observationer fra feltundersøgelserne.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
A1_AAC	Massivt gult murværk: 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton 100 Brystning 220	Nord (imprægneret)



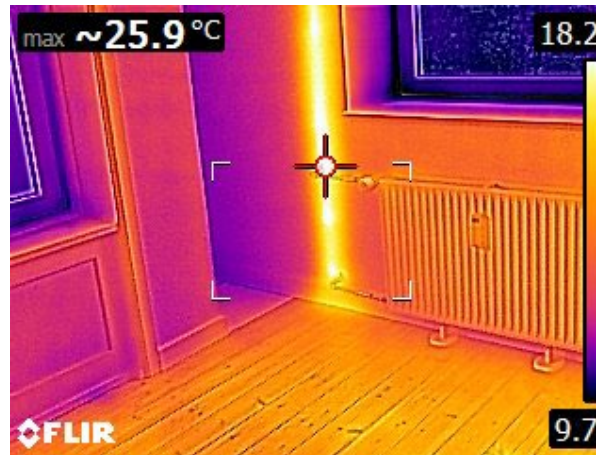
Lejligheden var fraflyttet. Der blev ikke observeret nogen skader eller kritiske forhold ved den efterisolerede væg. Der havde været en gardinstang, tilsyneladende uden problemer.



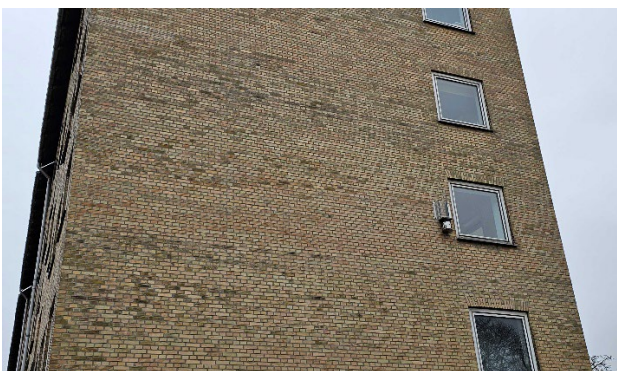
Illustration af placering af prøvekerner samt Rotronic måling af temperatur- og relativ fugtighed bag isoleringen.



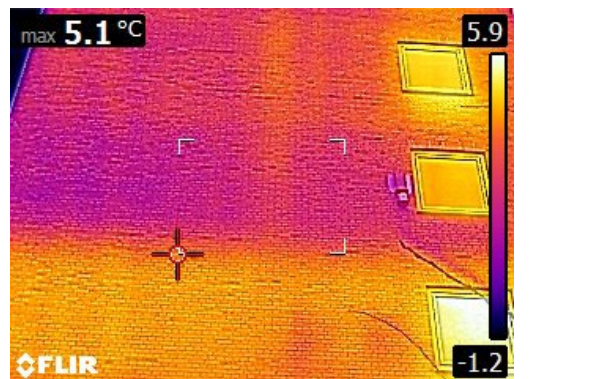
Varmerør til radiator var skjult inde i isoleringen.



Termografibilledet viser varmerøret inde i isoleringen.



Udvendigt ser murværket vedligeholdt ud med intakte fuger. Muren vender mod nord og er imprægneret. Udstyret ved siden af vinduet skulle måle slagregn i forbindelse ved et tidligere forskningsprojekt.

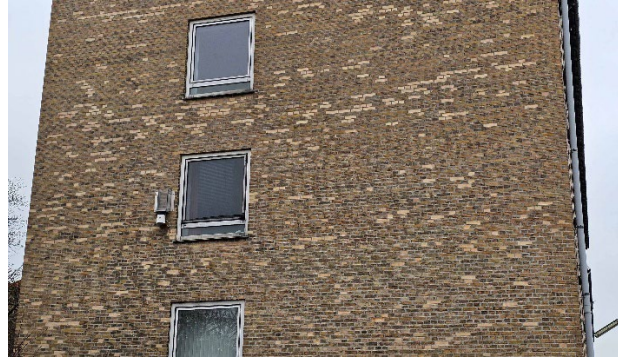


Termografibillede udefra afslører at kun denne prøvelejlighed er isoleret.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]		Orientering
A2_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Syd (imprægneret)



Der blev ikke observeret nogen skader eller kritiske forhold ved den efterisolerede væg.
Indeklimaet virkede fugtigt selvom beboeren siger at der bliver luftet meget ud.



Udvendigt ser murværket vedligeholdt ud med intakte fuger. En del sten er lysere og er måske udskiftet. Muren vender mod syd og er imprægneret.
Udstyret ved siden af vinduet har målt slagregn i forbindelse ved et tidligere forskningsprojekt.

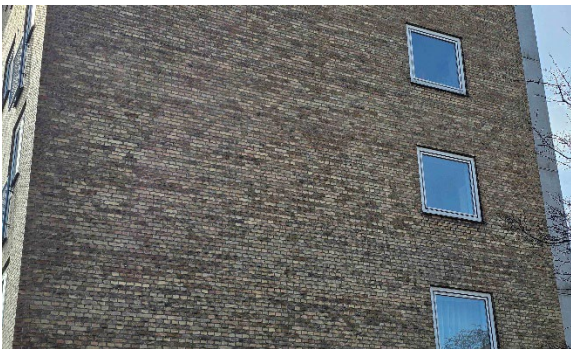
Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
A3_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton 100 Brystning 220	Nord



Overfladen af den efterisolerede væg var i meget fin stand, og havde måske den oprindelige maling. Der hang ikke noget på væggene.
Den yderste del af den 220 mm tykke efterisolering i brystningen virkede meget skørt og faldt fra hinanden, da borekernen blev trukket ud.



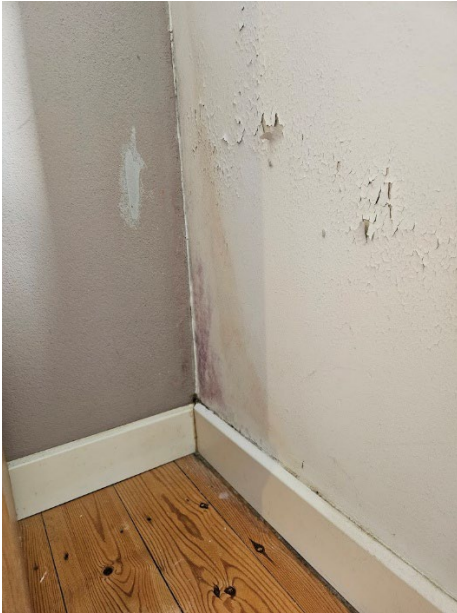
Indeklimaet virkede meget varmt og fugtigt, og der var dug på vinduer og sort skimmelvækst langs vinduesrammer og ved kuldebrodetaljer. Beboerne syntes at det var svært at lufte ud, når der var koldt udenfor.
Sort skimmelvækst ved kuldebrodetaljer, ved uisoleret væg.



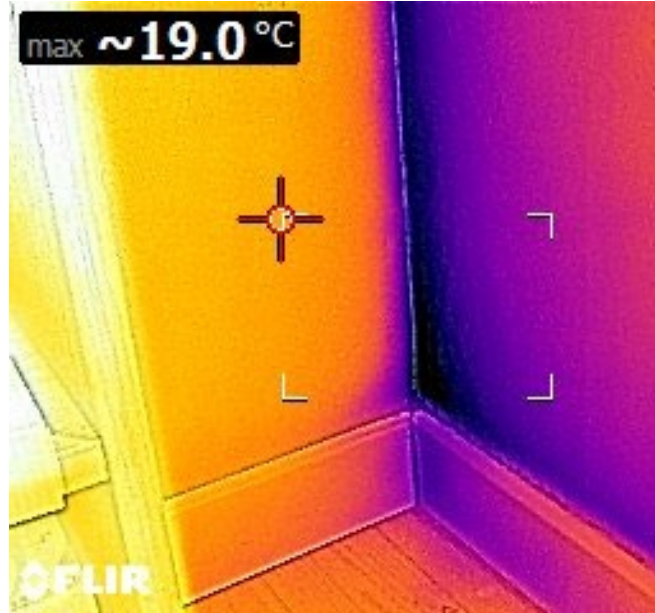
Udvendigt ser murværket vedligeholdt ud med intakte fuger. Muren vender mod nord.



Termografibillede udefra afslører at kun denne prøvelejlighed er isoleret.



Billedet viser her et koldt hjørne, hvor den efterisolerede gavlvæg møder uisoleret facadevæg. Der er tydelige tegn af afvasket skimmelvækst samt afskalninger på den uisolerede væg



Termografi af samme detalje, hvor der er en tydelig forskel på efterisoleret og uisoleret ydervæg.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]		Orientering
A4_AAC	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm), brystning: 1 sten (230 mm)	Mineralske plader af porebeton	100 Brystning 220	Syd



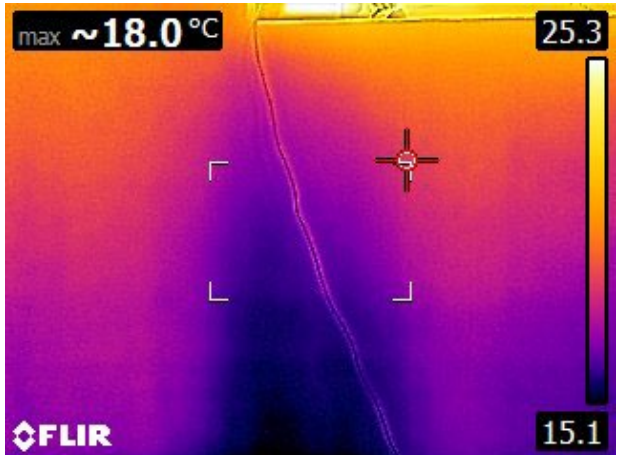
Indeklimaet virkede varmt og fugtigt, men der var ikke dug på vinduer eller tegn på skimmelvækst



Der blev ikke observeret nogen skader eller kritiske forhold ved den efterisolerede væg.



Termografien afslørede et koldt område ved brystningen, hvor der enten mangler isolering eller muren er utæt for vindpåvirkning.



Termografibillede af det kolde område i brystningen.



Billedet viser at vedhæftningen er god mellem mursten og puds samt puds, limmørtel og isolering.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
B1_AAC	Murværk af gule mangehulsten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton 80	Nord



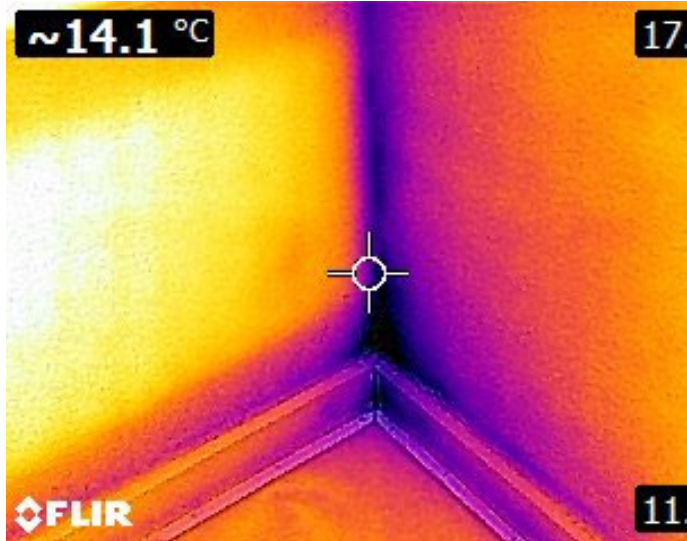
Indeklimaet virkede meget fugtigt, og der var dug på vinduer og sort skimmelvækst langs vinduesrammer og ved kuldebrodetaljer. Der var opsat gallerilister på væggen men disse blev ikke brugt. Der hang ikke noget på væggene.



Borekernen afslørede at limmørtlen kun hang i isoleringen og væg stedvis (tandspartel)



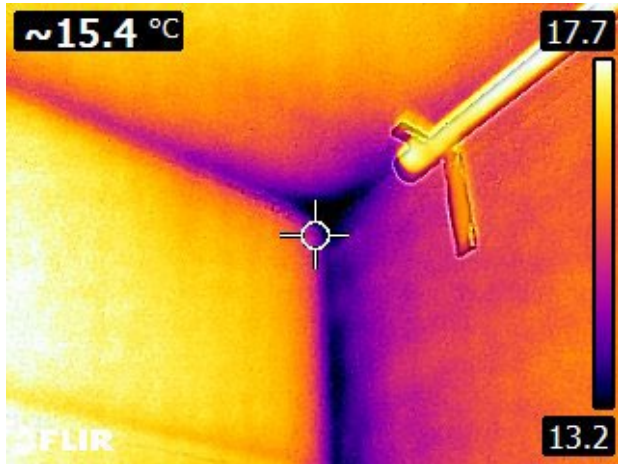
Der blev ikke observeret nogen skader på den efterisolerede væg, men der var synlige tegn på afvasket skimmel langs væggenes ydre kanter mod de uisolerede væg og dæk.



Termografibilledet af detaljen hvor isoleret gavl møder uisoleret facade og etagedæk.



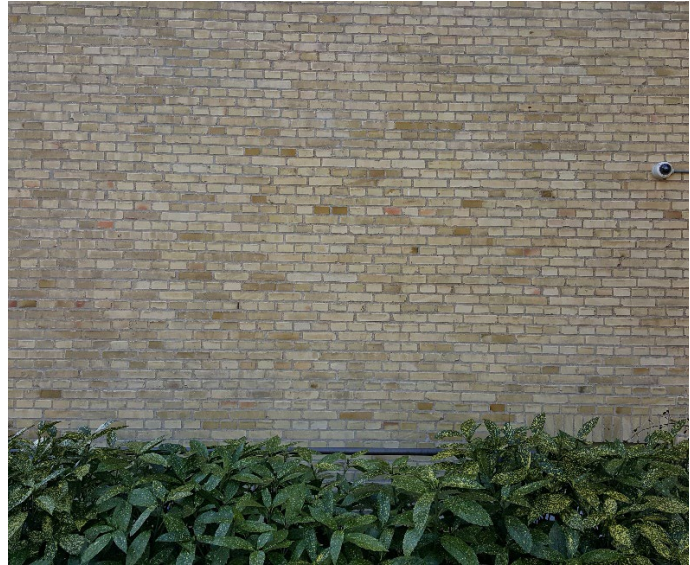
Skimmelproblemet var større på den uisolerede væg. Beboere fortalte at væggene var blevet malet adskillige gange i de 5 år de havde boet i lejligheden for at dække på skimmel.



Termografibilledet af detaljen

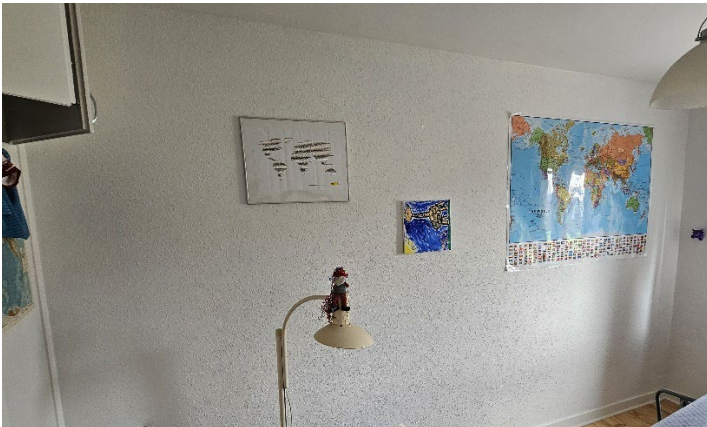


Der blev taget overfladeprøver af skimmel og disse viste høje Mycometer værdier

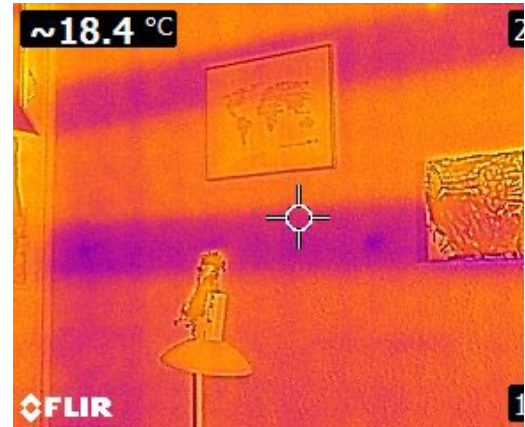


Udvendigt ser murværket fint ud. Muren vender mod nord.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
B2_AAC	Murværk af gule mangehulsten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton 80	Nord



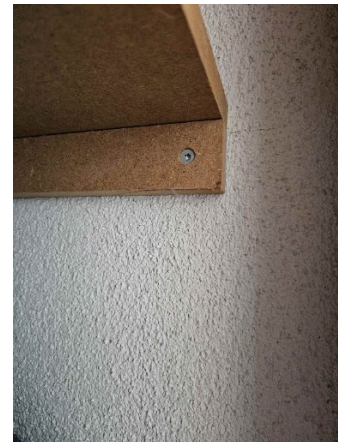
Der blev ikke observeret nogen skader på den efterisolerede væg. Der var opsat lette billeder og plakater på væggene, tilsyneladende uden problemer. Overfladen havde fået savsmuldstapet og maling.



De opsatte gallerilister var blevet fjernet. På dette termografibillede ses kuldebrotteffekten af de felter af porebeton som gallerilister var monteret på.

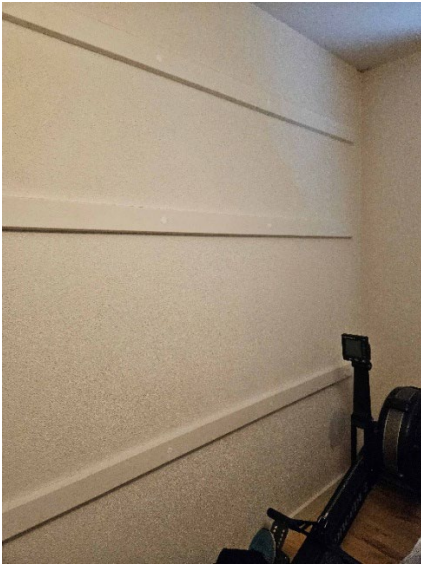


Indeklimaet virkede tørt, vinduet stod åbent. Der var ingen tegn på skimmel, heller ikke bag møbler i de koldeste hjørner, her mod den uisolerede facade.

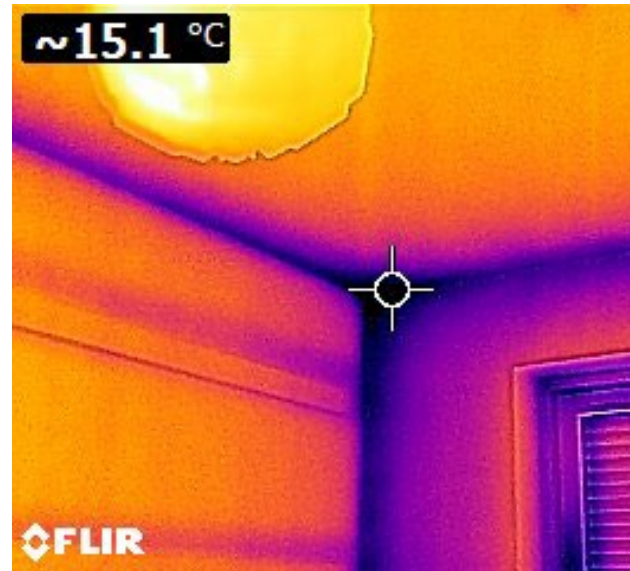


Billedet er fra det faste klædeskab som også har fået indvendig efterisolering. Hylden er skruet på "som man plejer".

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
B3_AAC	Hulmur, faste bindere, gule mangehulsten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton 80	Nord



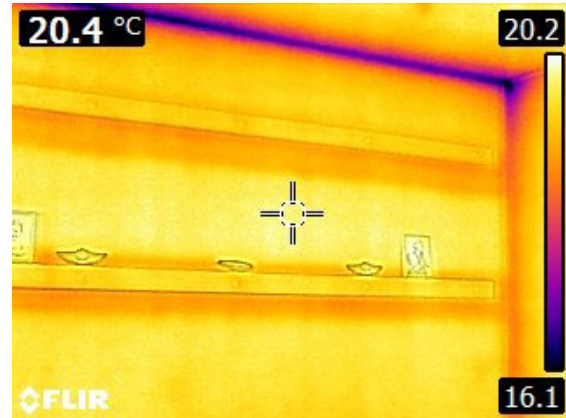
Der blev ikke observeret nogen skader på den efterisolerede væg.



Indeklimaet virkede fugtigt i soveværelset og her var tegn på skimmelvækst i den øverste, kolde hjørne.



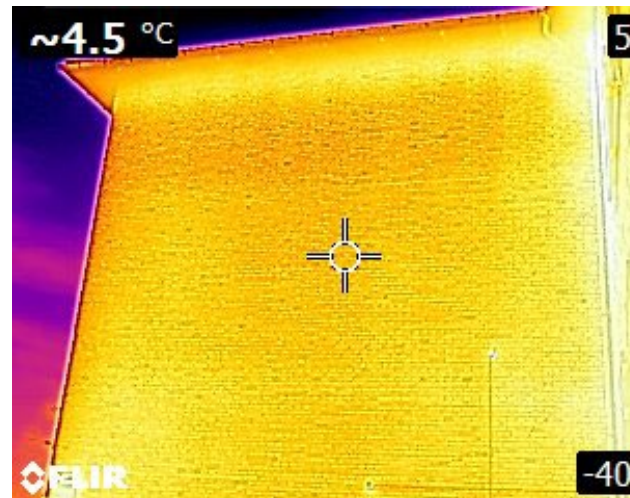
Borehullet afslørede at isoleringspladerne ikke var monteret med kontakt til hinanden.



Der er opsat gallerilister på væggen og disse blev brugt til "småting".



Udvendigt ser murværket fint ud. Muren vender mod nord.



Muren på denne øverste etage er hulmur med faste bindere, som det ses i termografibilledet. Hele gavlen er indvendigt efterisoleret.

Case C



Facaden mod nordvest.
Murværket så meget oprindeligt ud, men sten og mørtelfuger virkede rimeligt intakte.



Facaden mod sydøst.
Der var etableret en altan ud for et af værelserne (Case C_HL_SE)



Nærdetalje af facaden hvor der ses skader under vinduet. Muren var gennemgået inden efterisoleringen og den var vurderet til at være i god stand og derfor blev den ikke repareret.

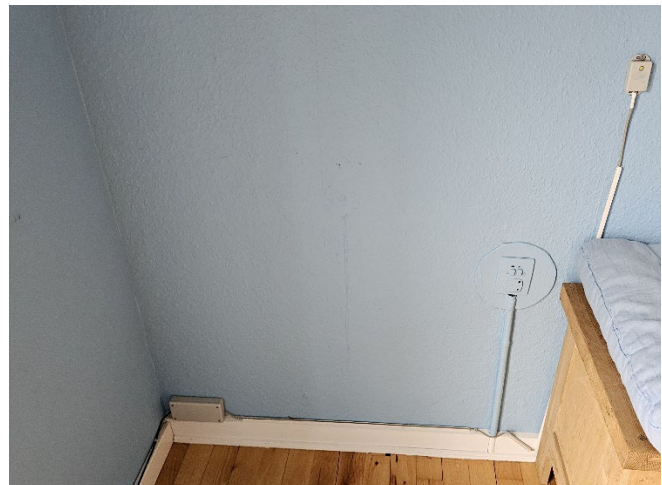


De fleste værelser har fået nye vinduer i forbindelse med efterisoleringen. Disse er med udeluftsventiler.

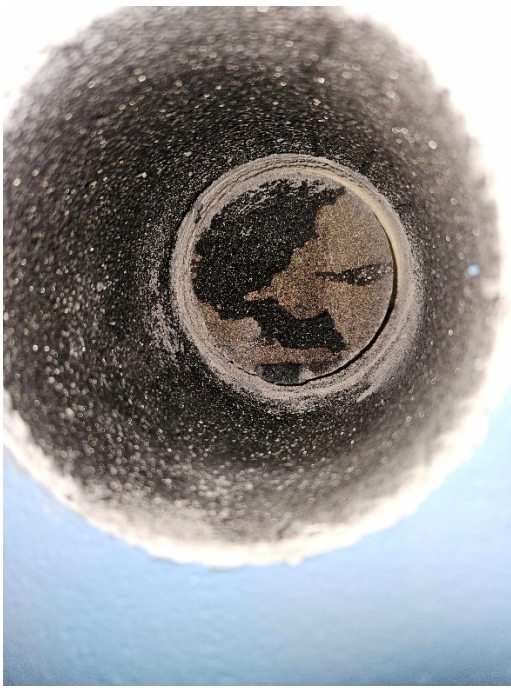
Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
C CG_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Celleglas 100	Nordvest



Overfladen af de efterisolerede vægge var helt uden skader. Den sorte afmærkning viser, hvor korttidsmåling af RF og T med Rotronic blev monteret. Borekernen blev taget ud lidt under dette sted.



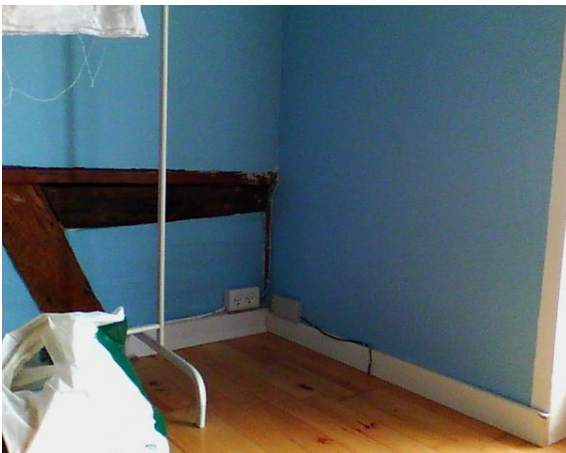
Indeklimaet virkede indelukket. Rummet bliver brugt som gæsteværelse. På billedet ses den faste indeklimaføler samt loggerboksen monteret på skillevæggen.



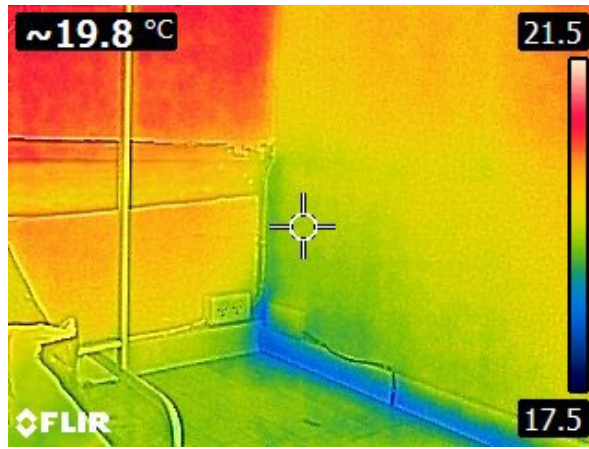
Borehullet viser en god vedhæftning til den pudsede overflade af muren.



Prøvetagning for Mycometer test.



Detalje hvor skillevæggen møder en isolerede ydervæg.



Termografibilledet viser at den indvendige overflade har en høj temperatur og at der er koldere ved fodlisten.



Detalje ved vinduet. Isoleringen fortsætter forbi vinduespladen.



Termografibilledet viser effekten af isoleringen i lysningen.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
C CG_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Celleglas 100	Sydøst



Rummet virkede kraftigt udluftet. Den sorte afmærkning viser, hvor korttidsmåling af RF og T med Rotronic blev monteret. Borekernen blev taget ud lidt under dette sted.



Den indvendige overflade var meget fin, bortset fra et enkelt hul i det yderste puds og sjusket afslutning til vinduesplade.



Borehullet viser murværket.



Borekernen viser at isoleringen har en god vedhæftning til den pudsede overflade af muren.



Limmørtlen er i "stiber".



Prøvetagning for Mycometer test.

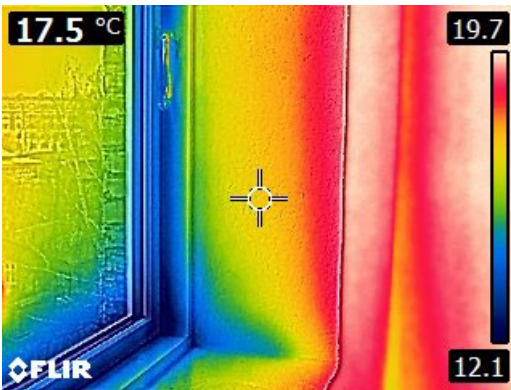
Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
C_AAC_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton 100	Nordvest



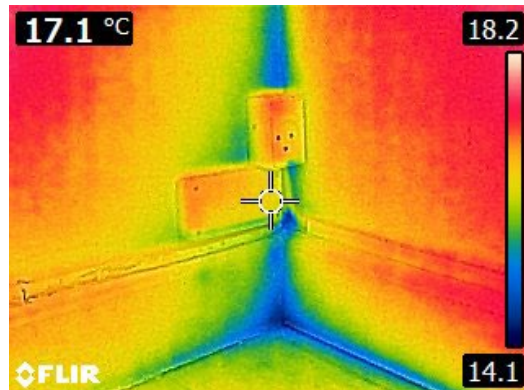
Overfladen af de efterisolerede vægge var helt uden skader. Indeklimaet virkede indelukket



Den faste indeklimasensor var placeret ca 10 cm fra et varmt radiatorrør.



Termografibilledet viser effekten af isoleringen i lysningen



Termografibilledet af hjørnedetaljen viser at kolde overflader.



Indeklimamålingen med Rotronic er i gang. Placeringen af borekerne ses også.



Det inderste af en borekerne, som viser, fra venstre, mursten, puds, limmørtel og isolering. Materialerne vedhæftning er god.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
C_AAC_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Mineralske plader af porebeton 100	Sydøst



Fraflyttet værelset med mange planter. Den sorte afmærkning viser, hvor korttidsmåling af RF og T med Rotronic blev monteret. Borekernen blev taget ud tæt på dette sted.



Den indvendige overflade af de efterisolerede vægge var fin, med enkelte små huller fra ophængning af billeder og lamper. Isolering og puds var ikke rigtig afsluttet mod gulv.



Det inderste af en borekerne, som viser, fra venstre, mursten, puds, limmørtel og isolering. Materialerne vedhæftning er god



Prøvetagning for Mycometer test.



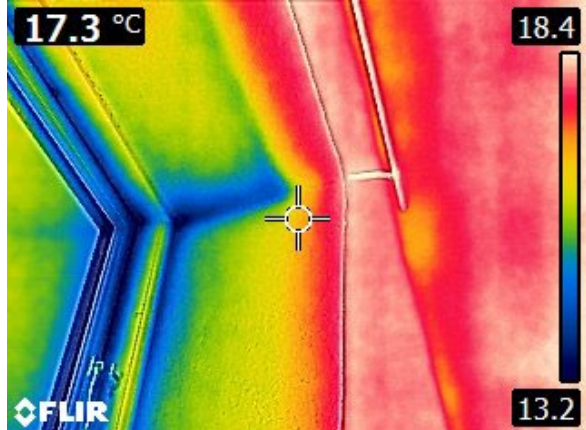
Den faste indeklimaføler er monteret på skillevæggen.



Termografi viser kolde overflader i kanten af væggen.



Vinduestlysningen.

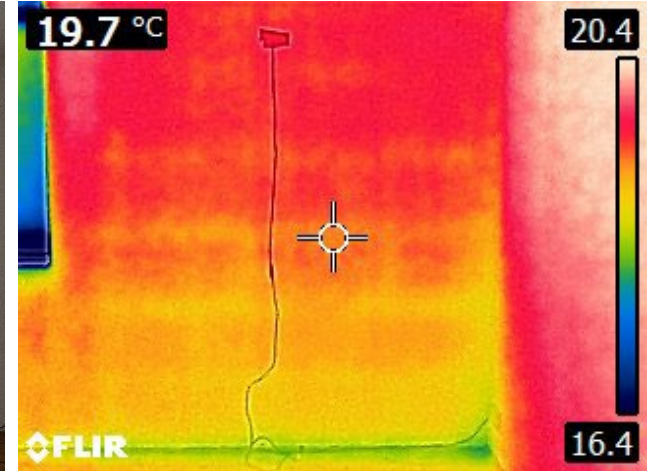


Termografi viser effekten af isoleringen i lysningen.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]		Orientering
C_HL_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Hampebeton	150	Nordvest



Værelset var fraflyttet. Den sorte afmærkning viser, hvor korttidsmåling af RF og T med Rotronic blev monteret. Borekernen blev taget ud tæt på dette sted.



Overfladen af de efterisolerede vægge var fin. Termografibilledet viser kontur af hampebetonblokkene.



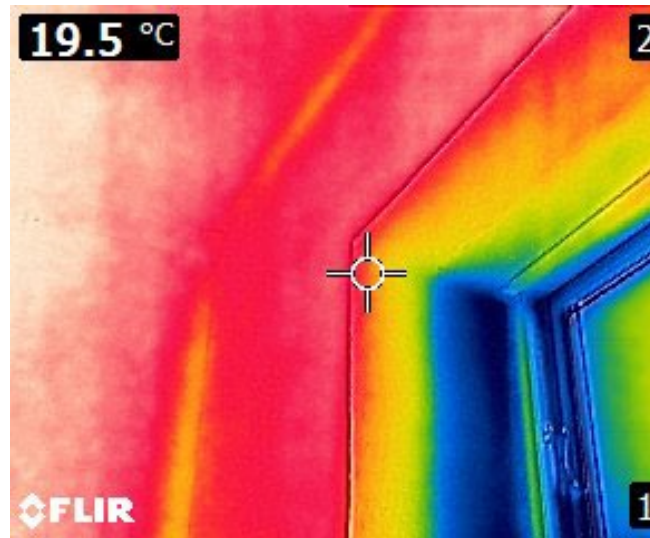
Isoleringsstykkelsen blev målt til ca 180 mm i stedet for det forventede 150 mm. Der var ikke noget puds på den indvendige side af muren.



Derfor skulle foregik prøvetagningen for Mycometer test ved at svabe den indvendige side af murværket.



Der var en synlig revne omkring vindueslysning, hvor isoleringen mødte muren.



Grænsefladen mellem isolering og mur ses tydeligt i lysningen. Der var synlig skimmelvækst nederst ved vinduet, hvor der typisk opstår skimmel pga kuldebro.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]		Orientering
C_HL_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Hampebeton	150	Sydøst



Den indvendige overflade af den isolerede væg var meget fin, men der var skader omkring altandøren. Indeklimaet i værelset virkede meget indelukket og der var en del planter.

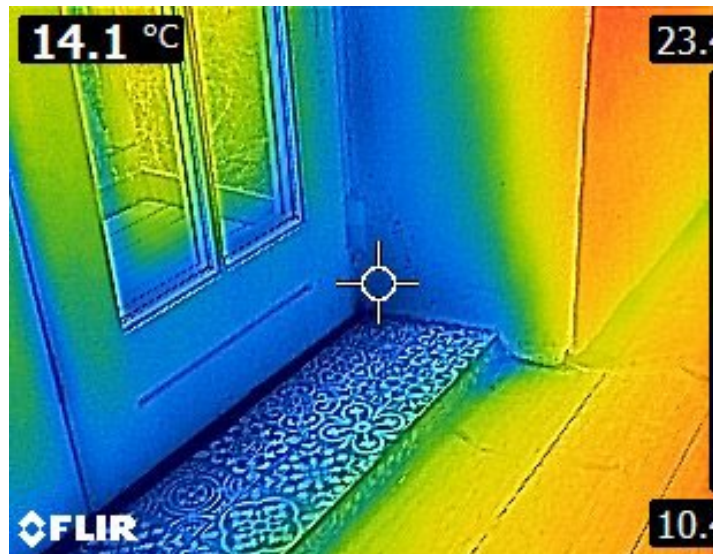
Den sorte afmærkning viser, hvor korttidsmåling af RF og T med Rotronic blev monteret. Borekernen blev taget ud tæt på dette sted.



Den yderste del af isoleringen virkede meget fugtig og smuldrede helt ved udboringen. Isoleringstykkelse er 150 mm, som forventet. Der var ikke noget puds på den indvendige side af muren.



Altanen og altandøren udgør en kuldebro og der var synlig skimmel der.



Termografibilledet viser kuldebroeffekten.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
------	---------	-----------------------------------	-------------

C_AG_NV	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)
---------	--

Aerogel	10
---------	----

Nordvest



Der var ingen skader på den indvendige overflade. Vinduerne i denne boenhed var ikke udskiftet i forbindelse med renoveringen. Borekernen blev udtaget i feltet midt i billedet.



Isoleringen efter de indvendige puds var fjernet. Isoleringmåtten sidder godt fast i væggen.



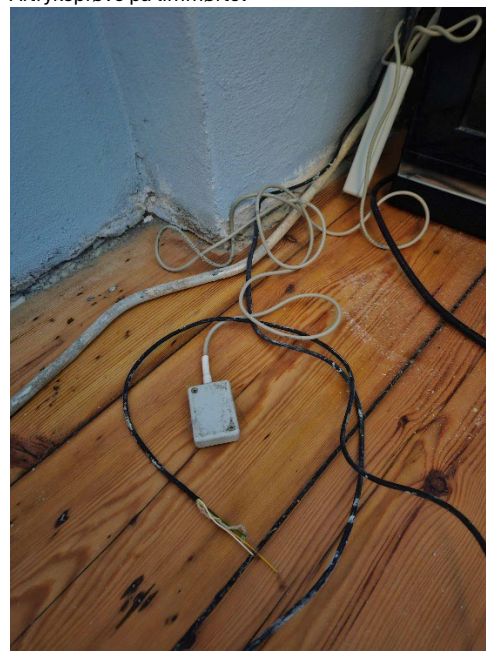
Prøvetagning for Mycometer test.



Aftryksprøve på limmørtel



Den indvendige overflade var ikke ordentligt afsluttet mod gulv.



Indeklimaføler og ledninger til langtidsmonitorering var afklippet.

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]	Orientering
C_AG_SE	Massivt gult murværk, 1½ sten (350 mm)	Aerogel 10	Sydøst



Den indvendige overflade af den efterisolerede væg virkede fin. Der var installeret en vinduesplade senere. Indeklimaet virkede indelukket.



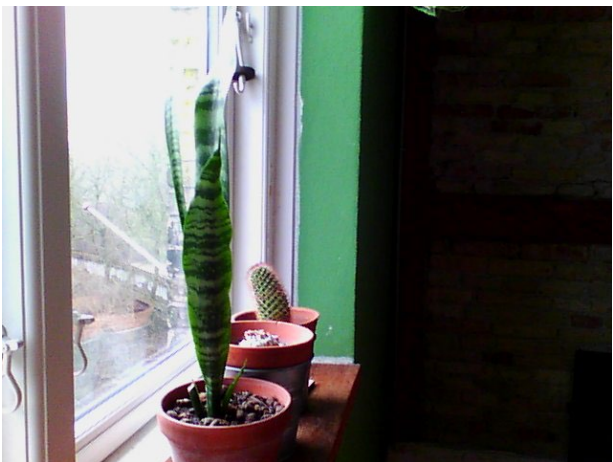
Udhugning af limmørtel. Der var ikke noget puds på den indvendige side af murværket.



Isolering efter udtagning fra væggen.



Prøvetagning på limmørtel for Mycometer test.



Lysningen var efterisoleret med wedi-plader.

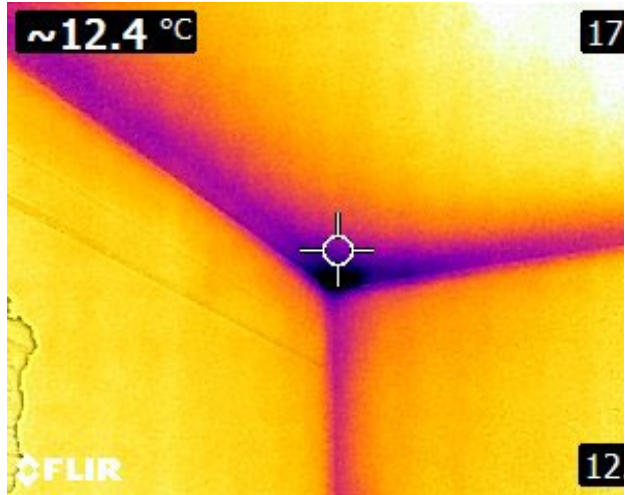


Det ses derfor at lysningen ikke er så kold som i andre værelser

Case	Murtype	Isoleringsystem og -tykkelse [mm]		Orientering
D_PUR	Murværk af gule mangehulsten, bagmur af letklinkerbeton, 1½ sten (350 mm)	Polyurethanskum med kanaler	Gavl 80 Façade 50	Gavl: Vest Façade: Syd



Der er opsat gallerilister på væggen og disse blev brugt til "småting".
Overfladen af de efterisolerede vægge var helt uden skader. Der var hængt gardiner op på facaden, helt uden problemer.



Der var ingen tegn på skimmel, selv om termografibillede viser typiske, lave temperaturer ved kuldebro. Lejligheden og hele opgangen har balanceret mekanisk ventilation, hvilket gjorde at indeklimaet var fin selvom der var mange beboere og planter i lejligheden.



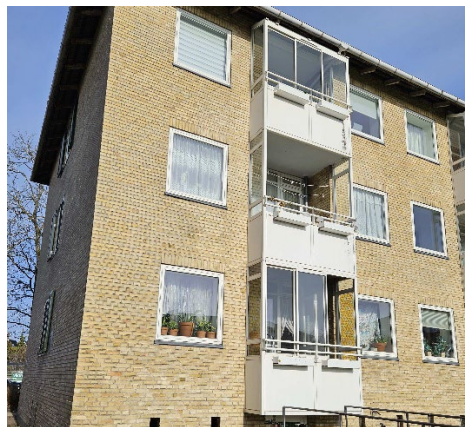
Borekerne afslørede at limmørtlen kun hang i isoleringen og væg stedvis (tandspartel). Bag limmørtlen er puds.



Den "ternede" limmørtel ses som huller i siden.



Borekerne hvor kanaler af CaSi er synlige.



Udvendigt ser murværket fint ud. Gavl vender mod vest og façade mod syd.



Vurdering af metoder til indvendig efterisolering

Risikovurdering af indvendig efterisolering

Oprindelig version maj 2024 baseret på tekst af Ruut Peuhkuri, Ernst Jan de Place Hansen, Eva B. Møller, Morten Ørsager, Nikolaj Feldt Jensen. Opdateret december 2025

I dette notat beskrives hvilke forhold er vigtige for at undgå fugtrelaterede skader i forbindelse med indvendig efterisolering og hvordan denne risiko kan vurderes og reduceres.

Indvendig efterisolering – Behov for risikovurdering

Efterisolering indefra er ofte den eneste mulighed for at forbedre varmeisoleringen af ældre bygninger med massivt murværk, da man ønsker at bevare udseendet af disse bygninger. En betydelig del af den danske bygningsmasse består af bygninger af denne type. Murede facader tegner sig for en meget stor del af det facadeareal, der er opført før 1950. Bevaring af disse bygninger, der giver karakter til bymiljøerne, kræver at murværket vedligeholdes og at bygningernes energi-, indeklimate- og komfortmæssig ydeevne bliver forbedret til at passe ind til fremtidens krav.

Ældre bygninger med massivt murværk har et stort energiforbrug til opvarmning og samtidigt lever indeklimaet sjældent op til dagens standard. Brugere oplever kuldenedfald og træk samt ofte også skimmelvækst på de indvendige overflader i kolde hjørner og omkring øvrige kuldebroer, hvilket giver forringet indeklimate og kan udgøre en sundhedsrisiko.

Der kan være mange gode grunde til at efterisolere en bygning. Når isoleringen skal etableres på indvendig side, er der flere ting man skal overveje:

Indvendig efterisolering kan føre til fugtrelaterede skader, fordi isoleringen ændrer temperatur- og fugtforholdene i den oprindelige ydervæg: Denne bliver koldere og mere sårbar for indtrængende fugt, som kan føre til skimmelvækst bag efterisoleringen, eller angreb af trænedbrydende svampe i bjælkeenderne i de gamle etagedæk. Endelig kan der opstå afskalning pga. frostsprængninger eller misfarvning af facaden pga. de ændrede temperatur- og fugtforhold. Derfor skal ønsket om at spare energi og øge komforten ses i sammenhæng med denne risiko samt hvilke andre faktorer der spiller ind.

Ved indvendig efterisolering skal der altid opereres med en vis risiko for især skimmelvækst bag den indvendige efterisolering. Retningslinjerne i det nærværende notat er bygget omkring at reducere denne risiko, som kan være lav, middel eller høj, se nedenfor. Risikoen er især afhængig af murtypen, slagregnsintensiteten på facaden, fugtbelastningsklassen indendørs og isoleringssystemet.

Lav risiko	Indvendig efterisoleringsløsning kan som regel bruges
Middel risiko	Indvendig efterisoleringsløsning kan måske bruges, men den specifikke case skal analyseres af en fugtsagkyndig
Høj risiko	Indvendig efterisoleringsløsning frarådes

Retningslinjer for fugtsikker indvendig efterisolering

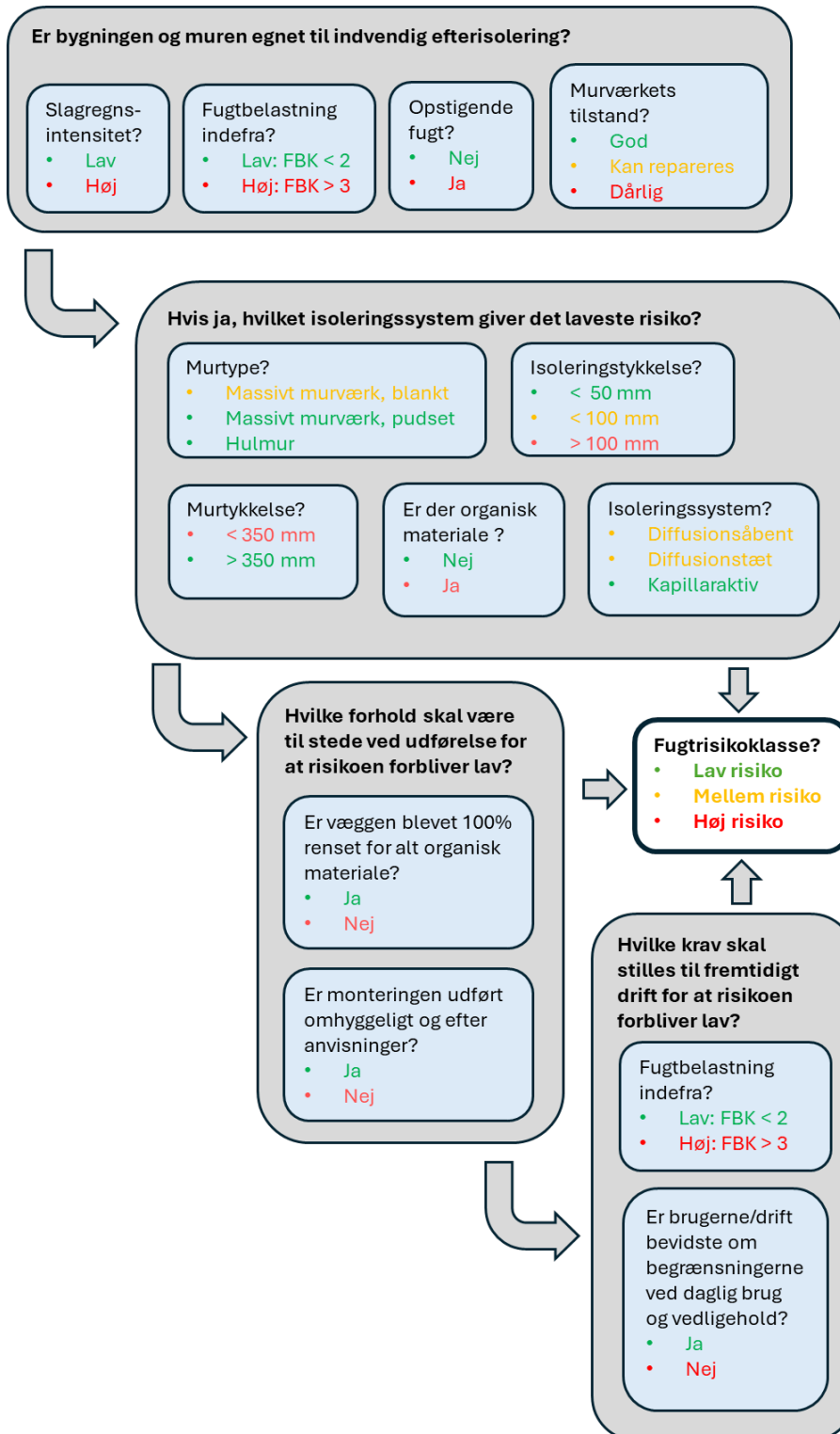
Den seneste viden og erfaring fra forsknings- og demonstrationsprojekter vedrørende indvendig efterisolering af ældre, primært massivt murværk er omsat til følgende retningslinjer som sikrer at indvendig efterisolering af en ydervæg er en mulighed med lav risiko for fugtrelaterede skader:

1. Fugtbelastning af væggen skal være begrænset
2. Muren skal være velegnet og i god stand
3. Ved valg af isoleringssystem skal der tages hensyn til
 - a. Murtype og -tykkelse, herunder om facaden er blank eller pudset
 - b. Fugtbelastning af facaden
 - c. Fugtbelastningsklassen indendørs
4. Isoleringstykkelsen kan med fordel være begrænset
5. Væggene skal være omhyggeligt afrenset inden monteringen af isoleringen
6. Monteringen skal udføres omhyggeligt og efter producentens anvisninger
7. Både brugerne og driftsansvarlige skal være informerede og bevidste om begrænsningerne og mulighederne ved daglig brug og vedligehold
8. Fugtbelastning af væggen skal *forblive* begrænset

I en konkret byggesag kan disse udsagn oversættes til følgende metode for risikovurdering, som i Figur 1 er illustreret simplificeret:

- Er bygningen og muren egnet til at man kan overveje indvendig efterisolering?
- Hvis ja, hvilket isoleringssystem giver det laveste risiko?
- Hvilke forhold skal være til stede ved udførelse for at risikoen forbliver lav?
- Hvilke krav skal stilles til fremtidigt drift for at risikoen forbliver lav?

Disse udsagn er på de følgende sider uddybet og detaljeret. Retningslinjerne findes i store træk også på hjemmesiden <https://indvendigeftersolering.dk/> oprettet i forbindelse med et tidligere projekt i 2024, men er her blevet kvalificeret og opdateret med resultaterne fra projektet hvor den faktiske forekomst af skimmelvækst bag indvendig efterisolering blev undersøgt destruktivt i en række cases, se <https://vbn.aau.dk/da/projects/vurdering-af-metoder-til-indvendig-efterisolering-af-kuldebroer-m/>



Figur 1: En simplificeret præsentation af metode til risikovurdering af indvendig efterisolering i en konkret byggesag. Farverne giver en indikation for om de enkelte forhold giver lav, middel eller høj risiko for fugtrelaterede problemer som for eksempel skimmelvækst bag isoleringen. En mellem risiko kan også være udtryk for at vurderingen skal detaljeres og uddybes.

1. Fugtbelastning af væggen skal være begrænset

Det er afgørende, at fugtbelastningen af den mur der påtænkes indvendigt efterisoleret, er begrænset, både inden og efter isoleringen. Fugtbelastningen kan komme indefra, udefra eller nedefra:

Indeklima og beboeradfærd

Fugt indefra stammer fra de aktiviteter, der foregår i boligen, fx madlavning. De indvendige efterisoleringssystemer fungerer generelt mest sikkert hvis indeklimaet ikke er for fugtigt (fugtbelastningsklasse 1 og 2). Høj luftfugtighed i boligen kan ødelægge selv en perfekt udført efterisolering og derfor skal opgradering af ventilationsforhold altid tænkes ind. Fugtbelastningsklassen bestemmes af fugtproduktionen indendørs og luftskiftet.

Har der været indeklimaproblemer med skimmel på indvendige overflader, især i kolde hjørner og bag møblerne, allerede inden der efterisoleres, er det typisk udtryk for at der er for fugtigt i boligen som en kombination af for stor fugtproduktion og for dårlig ventilation/udluftning. I de tilfælde bør der også sættes ind for at forbedre ventilationsforhold i boligen for at få fuldt udbytte af den kommende efterisolering i form af sundere indeklima.

Der skal enten etableres mekanisk udsugning med friskluftsventiler i alle rum samtidig med at beboere oplyses om vigtigheden af regelmæssig udluftning mindst et par gange om dagen, eller der skal etableres mekanisk behovsstyret eller balanceret ventilation.

Nedbør og slagregn

Fugt udefra stammer primært fra nedbør, som rammer murværket som slagregn på grund af vinden. Den typiske vindretning i Danmark er omkring sydvest og udsatte facader er derfor oftest facader med orientering fra vest over syd til sydøst. Der er store forskelle i intensiteten af denne slagregn afhængig af både landsdel og lokale forhold.

De fleste ældre mursten suger en stor del af slagregn som rammer facaden. Effekten af slagregnen bliver ofte forstærket af solstråling på den udvendige murens overflade, som driver fugt længere ind i muren især i facader mod sydøst-syd-sydvest. Er der tale om massiv mur med en begrænset tykkelse, når fugten isoleringen og kan skabe kritiske fugtforhold bag isoleringen, især hvis der er tale om diffusionstæt isolering. Er der tale om diffusionsåben isolering med dampspærre, kan fugten trænge ind gennem isoleringen og kondensere på ydersiden af dampspærren.

Med den nuværende viden frarådes indvendig efterisolering af massive mure når slagregnsintensitet overstiger ca. 400 mm/år, hvilket især gælder facader i kystnære områder i Vestdanmark mod den dominerende vindretning.

Murede facader kan beskyttes mod slagregn ved et passende udhæng, som skal være indtænkt fra start af, eller ved at imprægneres eller pudse og male murværket.

En pudset og malet facade – når pudsen er vedligeholdt – reducerer effektivt fugtbelastningen udefra, sammenlignet med blankt murværk. Pudsen gør at facaden ikke suger slagregn, og derfor opstår der heller ikke egentlig sommerkondens, selv om facaden skulle blive solopvarmet.

Facadepuds tillader diffusion af vanddamp – forudsat at den er malet med diffusionsåben maling – og fugten kan derfor diffundere gennem pudsen. Effekten af udvendig puds kan derfor sammenlignes med effekten af imprægnering, blot med større sikkerhed for reduktion af fugtbelastning, også over tid.

Selvom imprægnering af murværket reducerer opsugning af slagregn i murværket, er der stadig nogen usikkerhed om den direkte sammenhæng mellem målt slagregn på facaden og ændringer i fugtforholdene bag den indvendig isolering, med eller uden imprægnering.

Opstigende fugt

Fugt nedefra skyldes at fugt i jorden under bygningen trækker op i murværket, hvis muren ikke er beskyttet af en fugtspærre eller lignende og der ikke er fungerende omfangsdræn. I ældre bygninger er der sjældent hverken fugtspærre eller omfangsdræn.

Er der tegn på opstigende fugt i murværket – fx saltudblomstringer eller misfarvninger, skal man ikke efterisolere indvendigt i stueplan, medmindre der etableres fugtspærre og/eller omfangsdræn. Opstigende grundfugt hindrer ikke indvendig efterisolering i etager med en tilstrækkelig afstand fra den opstigende grundfugt.

2. Muren skal være velegnet og i god stand

De fleste typer murede ydervægge i god stand kan efterisoleres indefra. Der må ikke være opstigende grundfugt, frostsprængninger, nedbrudte mørtelfuger, afskallet maling/puds eller andet der peger på, at væggen er i dårlig stand.

Det samme gælder for hulmure. Som udgangspunkt skal man altid undersøge mulighederne for at isolere hulrummet i hulmuren, inden eventuel indvendig efterisolering.

Halvstensmure og bindingsværk bør som regel ikke isoleres indvendigt: de er ikke tætte mod slagregn og de solopvarmes hurtigt, hvilket øger betydeligt risikoen for at fugten fra slagregn trænger ind til isoleringsmaterialet.

Inden der tages en beslutning om indvendig efterisolering og inden arbejdet sættes i gang, er det nødvendigt at gennemgå bygningens facade for rent visuelt at få et indtryk af dens tilstand og hvor godt den er beskyttet. Vurderingen kan afsløre skader relateret til varme- og fugttekniske forhold og eventuelle risici,

allerede før bygningen renoveres. Skaderne skal udbedres før det kan komme på tale at installere indvendig efterisolering.

Tilsvarende skal den indvendige overflade gennemgås visuelt for at afdække eventuelle eksisterende fugtproblemer, som kan have indflydelse for ydeevne af den isolerede væg. Termografering (om vinteren) kan bruges til at estimere omfanget af kuldebroer og til at registrere indvendige overfladetemperaturer for dokumentation af forholdene inden efterisolering.

3. Ved valg af isoleringssystem skal der tages hensyn til murtype og -tykkelse, fugtbelastning af facaden og fugtbelastningsklassen

For at vurdere om en bygning er egnet til indvendig efterisolering – og i givet fald, hvilke løsninger vil kunne forventes at fungere bedst – skal man klarlægge en række forhold, herunder hvilken type mur der ønskes efterisoleret. Der er forskellige anbefalinger alt efter hvilken murtype der er tale om, også hvorvidt bygningens facade er pudset eller ej, og hvilket verdenshjørne facaden vender mod.

Når man isolerer indvendigt, behøver man ikke nødvendigvis at bruge samme løsning i alle vægge og der kan vælges forskellige løsninger efter orientering og andre forhold.

Murtype

Risikovurderingen beskrevet i dette notat kan bruges til to gængse murtyper som typisk har brug for at blive efterisoleret indvendigt: Massivt murværk og (uisoleret) hulmur.

Ældre muret byggeri med etagedæk af træ indtil ca. 1930 er typisk bygget med massivt blankt eller pudset mur.

Muret byggeri fra efter 1930 er ofte med støbte etageadskillelser og hulmur, især i gavle, men massivt murværk forekommer indtil ca. 1960, hvorefter hulmur, nu oftere med isolering, bliver mere almindeligt.

Murtykkelse

Murværkets tykkelse har betydning for valg af indvendigt isoleringssystem: Jo tyndere mur jo større bliver fugtbelastning udefra, især mod den dominerende vindretning, som de fleste steder i Danmark er sydvest.

I ældre etagebyggeri indtil ca. 1930 blev de bærende dele af massive ydermure (murpillerne) typisk bygget med en tykkelse på 1-1½ sten i øverste etage. I etagerne under stiger tykkelsen nedad med ½-sten enten etagevis eller pr. 2 etager og kan være 3½ mursten i de nederste etager. Mure i brystninger samt i gavle og i trapperum er typisk ikke bærende og dermed tyndere, typisk 1 sten, men også ned til ½ sten.

Hulmur er typisk 1½ sten tyk, hvor hulrummet svarer til en halv sten. I småhuse ses også hulmure, hvor hulrummet er mindre, ca. 80 mm.

Fugtbelastning af facaden

I Danmark er den dominerende vindretning fra sydvest, og regner det samtidigt, opstår der slagregn som rammer facaden. Op til 70% af slagregn kan opsuges i blankt murværk.

Skinner solen efterfølgende på den våde facade, kan vandet yderligere presses gennem murværket og ind til den indvendige efterisolering, hvilket kan give fugt- og skimmelskader. Denne så kaldte sommerkondens – en kombination af slagregn og solopvarmning af facaden – kan være en stor udfordring for fugtsikker efterisolering.

Facader uden solopvarmning vender mod nord, hvor omfanget af slagregn også typisk er begrænset og derfor betyder det også mindre hvis murværket er sugende. Udfordringen med denne orientering er at facaden, især når den bliver koldere på grund af indvendig efterisolering, er udsat for misfarvning fra algevækst mm

***Facade med lav fugtbelastning udefra:** Facaden er pudset **ELLER** den er ikke udsat for stor slagregnsintensitet, typisk ved mindre udsatte geografiske placeringer og/eller orienteringer mod verdenshjørnet nordvest-nord-nordøst-øst*

***Facade med høj fugtbelastning udefra:** Facaden er med blankt murværk **OG** udsat for stor slagregnsintensitet, typisk ved udsatte geografiske placeringer og ved orienteringer mod verdenshjørnet sydøst-syd-sydvest-vest*

Fugtbelastningsklassen

De indvendige efterisoleringssystemer fungerer som regel mest sikkert hvis indeklimaet ikke er for fugtigt (fugtbelastningsklasse 1 og 2). Dette gælder især for diffusionsåbne isoleringssystemer. Høj luftfugtighed i boligen kan ødelægge selv en perfekt udført efterisolering og derfor skal opgradering af ventilationsforhold altid tænkes ind. Fugtbelastningsklassen bestemmes af fugtproduktionen indendørs og luftskiftet.

Risikovurdering

Den viste risikovurdering er baseret på nuværende viden og en efterisoleringsstykkelse svarende til ca. 100 mm mineraluld. Fugtrisikoen falder med faldende isoleringstykkelse, men som regel kun marginalt i forhold til andre faktorer som fugtbelastning af muren både indefra og udefra.

Risikovurderingen er afhængig af om isoleringssystemet indeholder komponenter med organisk materiale, såsom lægter af træ, isoleringsmateriale eller mørtel med fibre af organisk oprindelse, også hvis der kun er tale om små mængder. Risikovurderingen forudsætter at væggen inden efterisolering er blevet fuldstændig rensat for al organisk materiale.



Risikovurdering for massivt murværk på ca. 1 sten						
Facade med lav fugtbelastning udefra Facaden er ikke udsat for stor slagregnsintensitet, orientering typisk NV-N-NØ-Ø ELLER Facaden er pudset						
Isoleringsystem	Diffusionsåbent		Diffusionstæt		Kapillaraktivt	
Fugtbelastningsklasse	2	3	2	3	2	3
Uorganiske materialer	Lav risiko	Middel risiko	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko	Middel risiko
Organiske materialer	Høj risiko	Høj risiko	Middel risiko	Middel risiko	Høj risiko	Høj risiko

Risikovurdering for massivt murværk på ca. 1 sten						
Facade med høj fugtbelastning udefra Facaden er udsat for stor slagregnsintensitet, orientering typisk SØ-S-SV-V OG Facaden er med blankt murværk						
Isoleringsystem	Diffusionsåbent		Diffusionstæt		Kapillaraktivt	
Fugtbelastningsklasse	2	3	2	3	2	3
Uorganiske materialer	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Middel risiko	Middel risiko
Organiske materialer	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko

Risikovurdering for massivt murværk på mindst 1,5 sten						
Facade med lav fugtbelastning udefra Facaden er ikke udsat for stor slagregnsintensitet, orientering typisk NV-N-NØ-Ø ELLER Facaden er pudset						
Isoleringsystem	Diffusionsåbent		Diffusionstæt		Kapillaraktivt	
Fugtbelastningsklasse	2	3	2	3	2	3
Uorganiske materialer	Lav risiko	Middel risiko	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko	Middel risiko
Organiske materialer	Middel risiko	Høj risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Høj risiko

Risikovurdering for massivt murværk på mindst 1,5 sten						
Facade med høj fugtbelastning udefra Facaden er udsat for stor slagregnsintensitet, orientering typisk SØ-S-SV-V OG Facaden er med blankt murværk						
Isoleringsystem	Diffusionsåbent		Diffusionstæt		Kapillaraktivt	
Fugtbelastningsklasse	2	3	2	3	2	3
Uorganiske materialer	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko
Organiske materialer	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko	Høj risiko

Risikovurdering for hulmur						
For hulmur er fugtbelastning udefra af mindre betydning og derfor spiller murtykkelsen, facade-puds eller fugtbelastning udefra i praksis ingen rolle.						
Isoleringsystem	Diffusionsåbent		Diffusionstæt		Kapillaraktivt	
Fugtbelastningsklasse	2	3	2	3	2	3
Uorganiske materialer	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko	Lav risiko
Organiske materialer	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko	Middel risiko

Myndighedskrav

Ved ombygning af bygningsdele, fx indvendig efterisolering, er der krav til U-værdi og linjetab i Bygningsreglement (BR18), der skal overholdes, hvis det er økonomisk rentabelt og fugtteknisk forsvarligt. Kravene fremgår af BR18 §279.

Typisk vil det være rentabelt at efterisolere, hvis bygningen er fra før 1979 og ikke tidligere er blevet efterisoleret. Hvis man efterisolere i mindre grad end svarende til efterisoleringkravet i BR18 i §279, skal man dokumentere, at det ikke er rentabelt - eller at der er risiko for fugtrelaterede skader ved – at efterisolere i det fulde omfang.

Brandsikring

Isoleringsmaterialer som er brandbare eller kan bidrage til brand kræver brandbeskyttelse med en (plade)beklædning der opfylder brandkravet for kombination med de respektive isoleringsmaterialer. Der gælder desuden mere omfattende krav for brandsikring af isolering der ikke opfylder materiale klasse d-s2, d2 for visse bygningstyper. Læs mere i SBI anvisning 280 "Varmeisoleringmaterialer og deres anvendelse" på <https://www.anvisninger.dk/>

4. Isoleringstykkelsen kan med fordel være begrænset

Isoleringstykkelsen spiller som regel kun en sekundær rolle i fugtsikkerheden. De første 50mm giver den største reduktion i klimaskærmens U-værdi og dermed energi- og CO₂ besparelse.

En højere indvendige overfladetemperatur af den efterisolerede væg reducerer kuldenedfald og risiko for skimmelvækst på vægoverfladen. Overfladetemperaturen skal om vinteren være mindst 13 °C i fugtbelastningsklasse 2, og mindst 16-17 °C i fugtbelastningsklasse 3 for at undgå skimmel. De første 50 – 75 mm efterisolering hæver den indvendige overfladetemperatur af væggen så komfort forøges og skimmel forebygges.

Vær opmærksom på at overfladetemperaturen ved kuldebroer og andre steder med mindre isolering vil være lavere og stille yderligere krav til at kontrollere indendørs fugtbelastning.

5. Væggene skal være omhyggeligt afrenset inden monteringen af isoleringen

For at indvendig efterisolering fungerer efter hensigten, er det vigtigt at den eksisterende indvendige vægoverflade er fuldstændig renses for al organisk materiale herunder tapet, lim osv. før efterisoleringen sættes op. Det skyldes at organisk materiale kan danne grobund for fx skimmel.

Mekanisk afrensning, som inkluderer fjernelse af det eksisterende pudslag, er den sikreste afrensningsmetode for at forhindre skimmelvækst. Med manglende afrensning vil der være næring til de skimmelsporer som altid er til stede i inde-

og udeluften. Tilsvarende skal tilstødende skillevægge, lofter og gulve være renset for al organisk materiale i det omfang disse bliver bygget ind i den nye isolering. Detaljerne især omkring de eksisterende gulvbrætter kræver at løsningen er tænkt godt igennem inden påbegyndelse af isoleringsarbejdet.

6. Monteringen skal udføres omhyggeligt og efter producentens anvisninger

Korrekt og omhyggelig opsætning af isoleringssystemer, herunder tilslutning til skillevægge, gulv, loft og vindueslysninger, efter producentens anvisninger er nødvendig for et holdbart resultat.

Diffusionstætte isoleringssystemer

Diffusionstætte systemer skal installeres luft- og damptæt, hvilket betyder, at også afslutninger mod tilstødende konstruktioner, vinduer og gennemføringer skal være lufttætte. Ved opsætning af de isoleringssystemer som har indbygget dampspærre skal man være opmærksom på at gøre samlingerne tætte mellem pladerne. Dette gælder også ved samlinger til indervægge, vinduer, loft og gulv, samt når pladerne fastgøres med skruer.

Hvis der bruges træstolper til en forsatsvæg med blød isolering og dampspærre, bør stolperne placeres med en afstand til den eksisterende mur for at reducere fugtbelastningen af disse.

Diffusionsåbne isoleringssystemer

Diffusionsåbne systemer med kapillaraktive egenskaber skal have god kontakt med den eksisterende væg og tillade udtørring indadtil. Da disse systemer typisk består af blokke, der limes eller pudses på, skal man sikre sig, at den eksisterende væg er pudset på ny og så plan som muligt, inden montering af isoleringen. Det vil gøre det lettere at sikre en god kontakt mellem eksisterende væg og isolering.

Øvrige isoleringssystemer

Øvrige systemer af stive isoleringsplader skal ligeledes limes eller pudses på et plant nyt pudslag og have god kontakt med den eksisterende væg for at undgå luftflommer.

Til fuldklæbning af stive isoleringsplader benyttes såkaldt floating-butteringsteknik, hvor limmørtel fordeles med en tandspartel både på pudsen og på isoleringspladen hvorpå pladen vrides på plads. Tilsvarende skal samlingerne mellem isoleringspladerne være fuldklæbede.

7. Både brugerne og driftsansvarlige skal være informerede og bevidste om begrænsningerne og mulighederne ved daglig brug og vedligehold

Den efterisolerede væg tåler almindeligt liv, især hvis den ikke bruges til ophængning af tunge ting. Ophængning af TV og andre tunge ting skal overvejes og for nogle isoleringssystemer løses inden der efterisoleres, fx ved at sikre sig, at beslag griber fat i den eksisterende ydervæg.

Det er vigtigt at brugeren kender til eventuelle begrænsninger ved brugen af væggen og hvilke ophængningssystemer kan bruges.

Den efterisolerede væg vil være varmere end den oprindelige væg og det vil derfor være mindre kritisk at stille møbler, fx skabe, tæt op ad den, end før den blev isoleret. Men det frarådes at montere fast inventar, fx køkkenskabe, på den efterisolerede væg.

Vedligehold af den efterisolerede væg

Udvendigt vedligehold af facaden skal foretages løbende og fx fuger og nedløbsrør mm skal repareres efter behov for at minimere fugtindtrængning udefra.

Indvendig malerbehandling af den isolerede væg skal stemme med isoleringssystemet og derfor bør kapillaraktive systemer kun males med diffusionsåben maling. Almindelig malerbehandling har dog ikke vist sig at ødelægge systemets virkemåde.

Diffusionstætte systemer skal forblive diffusions- og lufttætte og derfor skal tætheden ikke kompromitteres af brugeren til skruer/søm eller lignende for at opsætte tv, billeder, hylder osv. på væggen.

8. Fugtbelastning af væggen skal forblive begrænset

Fugtbelastning indefra skal holdes nede og svare til de forventede forhold.

Er der blevet etableret mekanisk udsugning med friskluftsventiler i alle rum, skal beboere samtidig oplyses om vigtigheden af regelmæssig udluftning mindst et par gange om dagen, eller der skal etableres mekanisk behovsstyret eller balanceret ventilation.

Hvis boligen ventileres mekanisk, skal man være opmærksom på om udsugningen ”kører”, og at udsugningsventiler holdes fri for støv og andet, der kan forhindre tilstrækkelig ventilation. Balanceret mekanisk ventilation skal ligeledes ”køre” for at fungere og der skal udskiftes filtre ifølge driftsplanen.

