

Ansøgning om støtte til
forsknings- og udviklingsprojekt

Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering

Danmarks Tekniske Universitet

I samarbejde med
Teknologisk Institut og COWI



TEKNOLOGISK
INSTITUT

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

COWI

Ansøgning om støtte til forsknings- og udviklingsprojekt - Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering.

Der søges hermed om fondsmidler til gennemførelse af forskningsprojekt – "Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering".

Projektets idé og målsætning

Målsætningen med projektet er at finde en eller flere tilstrækkelig robuste metoder til at isolere indvendigt på eksisterende massivt murværk, typisk i danske etageejendomme med træbjælkelag, hvor der forekommer træ indlagt i ydervæggene som var typiske op til 1930'erne.

Mens udvendig isolering af eksisterende bygninger er hyppigt anvendt, er der en række forhold af teknisk og praktisk art, som komplicerer og taler mod anvendelse af indvendig isolering. Den væsentligste årsag til den mindre brug af indvendig isolering skal findes i de mere komplicerede bygningsfysiske forhold, denne løsning medfører. Der er mange eksempler på, at der er udført indvendig isolering, som senere viser sig ikke at fungere korrekt og er årsag til indeklimagener som oftest er fugtrelaterede som f.eks. skimmelsvampeangreb. Endvidere er der risiko for at der kan opstå en række byggeskader såsom frostskafer i murværket, samt trænedbrydende svampe hvor der er træ tilstede.

Selvom en udvendig efterisolering er at foretrække grundet, de fugtmæssige risici der er ved indvendig efterisolering, er der nogle gange ingen anden rimelig løsning end at anvende et indvendigt isoleringssystem.

Det er projektets idé at anvende indvendige isoleringsmaterialer, som opbygges uden anvendelse af dampspærre. Det vil sige, at der anvendes et isolerende materiale som bliver en "forlængelse" af den eksisterende mur, samt er et hydrofilt ("vandvenligt") materiale, som på samme måde som den eksisterende mur tillader vanddamp at bevæge sig gennem hele konstruktionen.

I projektet ønskes det, at der undersøges en række forskellige materialetyper, bl.a. skumbeton, letbeton, mineralulds facadebatts og kalciumsilikatholdige isoleringsplader. Umiddelbart ønskes følgende 4 forskellige materialetyper undersøgt:

- Skumbeton produceres af cement og flyveaske tilsat skum som ligeledes gør betonen porøs og isolerende. Der er flere eksempler på, at skumbeton kan laves, men udfordringen er hvor lav varmeledningsevne der kan opnås, uden at pladen bliver for porøs.
- Letbeton produceres p.t. med en varmeledningsevne på ca. 0,040 W/mK ved at tilføre yderligere luft til den traditionelle letbeton (gasbeton). Luften gør den mere porøs og isolerende.
- Mineralulds facadebatts der produceres med en varmeledningsevne på 0,034 W/mK med tværstillede fibre anvendes i dag til udvendig isolering.
- Kalciumsilikat isoleringsplader, bestående af en kombination af et højisolerende skummateriale med et kanalsystem fyldt med kalciumsilikatholdigt materiale der bevirker en kapillærsugende effekt gennem skum materialet. Den samlede varmeledningsevne for denne isoleringsplade er på ca. 0,030 W/mK.

State-of-the-art

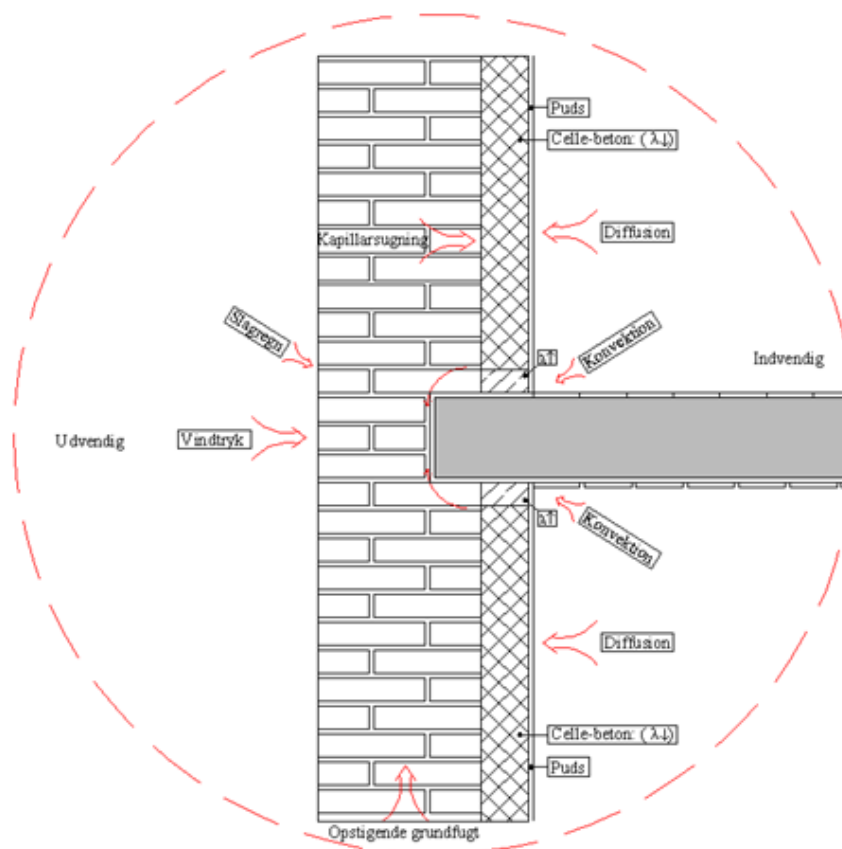
Realiseringen af regeringens mål om, at energiforsyningen i Danmark skal dækkes af vedvarende energi, forudsætter en øget energieffektivisering, som minimerer energispildet og energiforbruget i alle sektorer. Klima-, energi- og bygningsminister Martin Lidegaard nedsatte den 5. september 2012 seks netværksgrupper for energirenovering. Netværksgruppernes arbejde er mundet ud i et Grundkatalog af initiativer til fremme og forbedring af energirenoveringsindsatsen. Et af initiativerne 2.16 i Grundkataloget er, at der skal udvikles en sikker løsning til indvendig isolering.

Den bedste løsning ud fra et bygningsfysisk synspunkt er at isolere udvendigt på eksisterende bygninger. Udvendig isolering er imidlertid ikke egnet til en lang række ejendomme bl.a. ud fra en bygningskulturel vurdering. Ved et betragteligt segment af disse ejendomme kan det måske accepteres, at der isoleres indvendigt, således at disse ejendomme får et indeklima og en komfort der i højere grad lever op til moderne krav. Et typisk eksempel er historiske og bevaringsværdige bygninger, hvor bevarelse af oprindelige arkitektoniske træk af facaden er et krav.

Ved indvendige isoleringssystemer er der to ulemper som må accepteres, 1) at kuldebroer ikke helt elimineres, og 2) at der sker en reduktion af den indendørs plads. Endvidere er der en række fugtrelaterede udfordringer, der skal adresseres, kan her nævnes:

- Sænkning af temperaturen i ydervæggen, og dermed risiko for frostsprængninger i den yderste del af muren, samt sænkning af temperaturen omkring bjælkeender i muren, som kan medføre nedbrydning af træet.
- Risiko for, at varm fugtholdig inde luft vil diffundere igennem efterisoleringen og kondensere på den eksisterende ydervæg, og dermed risiko for mikrobiologisk vækst. Systemet skal kunne klare den fugt/vandmængde, der udefra trænger eller presses/suges ind igennem murstens porøse overflader og mørtelfugerne bl.a. ved slagregn. Desuden er der nogle praktiske udfordringer her kan nævnes:
 - Den indvendige overflade skal være tilstrækkelig robust til at der kan monteres forskellige elementer på væggen.
 - Kuldebroer ved skillevægge og i vinduesnicher skal reduceres f.eks. med en tyndere isolering end resten af væggen.
 - Indvendige vægge skal kunne tåle malerbehandlinger.

En traditionel standard løsning med indvendig efterisolering består i anvendelsen af en mineraluldsisolering opsat i et lægtesystem med en dampspærre, f.eks. polyætylen folie, mellem den inderste gipsplade og isolationslaget, så både isolationslaget og den eksisterende ydermur er beskyttet mod vanddamp. Risikoen for denne konstruktion er bl.a., at folien ikke bliver opsat med tilstrækkelig tæthed fra starten, eller at den efterfølgende bliver mekanisk beskadiget. Dette bevirker, at der er risiko for at der trænger fugtig luft i efterisoleringssystemet og dermed forekommer en fugtophobning i systemet. En anden risiko ved denne løsning er, at der trænger vand/fugt ind udefra som også ophobes i konstruktionen bag dampspærren.



Principtegning visende de forhold der gør sig gældende ved indvendig isolering

Mikrobiologisk vækst heriblandt skimmel forekommer i mange tilfælde pga. kondensering på den koldere eksisterende mur. I mange eksisterende mure forekommer der træ som f.eks. de eksisterende bjælkeender i muren ved etageadskillelsen. Når temperaturen ved bjælkeenden sænkes, er der en øget risiko for, at der sker nedbrydning af træet grundet den eventuelle fugtophobning omkring bjælkeenden. Dette kan imødegås på forskellige måder, f.eks. ved at undlade isolering omkring bjælkeenden hvormed temperaturen sænkes i en mindre grad eller ved at hæve temperaturen omkring bjælkeenden f.eks. ved indføring af varmeledende materialer med forbindelse til indeklimaet. Ved indvendig efterisolering forekommer der bl.a. kuldebroer, hvor tværvægge møder den eksisterende ydermur.

Der er flere eksempler på isoleringssystemer, hvor en dampspærre enten udelades eller erstattes af et lag der reducerer fugttransport uden at forhindre det. Der er en række studier, der tester hydrofile materialer med gode resultater. Der er imidlertid behov for at teste nogle af disse materials anvendelighed til indvendig isolering under de klimatiske forhold vi har i Danmark - set i en holistisk kontekst hvori der indgår påvirkning fra slagregn, fugt indefra, påvirkning af træ i muren og materialets robusthed og egnethed som indvendig vægoverflade i en bolig.

Der er gennemført projekter med kalciumsilikatplader for at løse nogle af ovennævnte problemer, men kalciumsilikatplader har en dårligere varmeledningsevne end tilsvarende mineraluldsisolering. Letbeton fermstilles i dag med en ledningsevne på ca. 0,040 W/mK og skumbeton kan produceres i samme størrelsesorden. Dette gør dem interessante at teste med henblik på at finde en egnet løsning til indvendig isolering.

Projektbeskrivelse

Hypoteser

Projektet tager udgangspunkt i følgende hypoteser:

1. Hvis regeringens mål om, at energiforsyningen i Danmark skal dækkes af vedvarende energi, er der også et behov for at energiforbedre den del af den eksisterende boligmasse der ikke kan isoleres udvendigt
2. Isoleringssystemer med et hydrofilt isoleringsmateriale uden anvendelse af dampspærre er mere sikre overfor skadelig fugtphobning i konstruktionen
3. Metoder til indvendig isolering kan forbedres, så de i højere grad kan imødekomme de praktiske og bygningsfysiske udfordringer, som anvendelse af indvendig isolering skaber

Projektets overordnede mål er at udvikle en eller flere sikre metoder for implementering af indvendige isoleringssystemer i den del af det eksisterende bygningssegment, hvor udvendig isolering ikke er en mulighed, herunder særligt ejendomme, typisk fra før 1930'erne, med etagedæk af træbjælkelag.

Årsagen til initiativet er den store skepsis, der er i rådgiverbranchen og blandt professionelle bygherre overfor anvendelsen af indvendige isoleringsmetoder.

Den videnskabelige baggrund for projektet er forskningen i indeklimaets indflydelse på mennesker og forskningen i bygningers energiforbrug samt de bygningsfysiske lovmæssigheder omkring indvendig isolering. Herigennem er det fastlagt, at kvaliteten af indeklimaet har en indflydelse på menneskers helbred. Det ligger ligeledes fast, at det nuværende energiforbrug i den eksisterende bygningsmasse ikke er bæredygtigt, og at der skal findes metoder til at nedbringe det. Således arbejdes der overalt i verden på at gøre bygningerne mindre energikrævende, herunder yderligere at afskærme indeklimaet fra påvirkninger fra omgivelserne gennem energireovering.

Den første af de overordnede hypoteser hævder, at der er et behov for at energiforbedre den del af den eksisterende boligmasse, der ikke kan isoleres udvendigt. To faktorer gør sig særligt gældende her: På den ene side det moderne menneskes krav til et acceptabelt indeklima uden kolde ydervægge og træk, og på den anden side samfundets krav til et reduceret energiforbrug. Kan postulatet ikke afvises, er yderligere forskning i sikre indvendige isoleringssystemer berettiget og nødvendigt.

Den anden af de overordnede hypoteser postulerer, at isoleringssystemer med et hydrofilt isoleringsmateriale uden anvendelse af dampspærre anses for at være mere sikker overfor skadelig fugtphobning i konstruktionen. Det dominerende indvendige isoleringssystem, der anvendes i dag, består i montering af et lægtesystem med isolering på den indvendige side af den eksisterende mur samt en dampspærre under en indvendig byggeplade, typisk af gips. Kan det eftervises, at montering af et hydrofilt materiale som f.eks. gasbeton eller skumbeton på den indvendige side, ikke forårsager opfugtning til et kritisk niveau i tilstrækkelig lang tid til at der kan opstå mikrobiologisk vækst, samt at løsningen er tilstrækkelig robust, er det en stærk indikator for værdien af metoden. Herudover vil arbejdet med vidensproduktion om indvendig varmeisolering have en generel værdi for både forskningsfeltet bygningsenergi og indeklima.

Den tredje af de overordnede hypoteser postulerer, at metoder til indvendig isolering kan forbedres, så de i højere grad kan imødekomme de praktiske og bygningsfysiske udfordringer som indvendig efterisolering skaber. Kan postulatet ikke afvises, er det grundlag for et videre arbejde med indvendige isoleringssystemer og deres muligheder og begrænsninger. Resultatet af arbejdet, hvor de fundne forbedringer og begrænsninger holdes op mod eksisterende indvendige isoleringssystemer, vil også have værdi i formidlingssammenhænge, hvor et grundigt arbejde vil kunne styrke argumentet for anvendelsen af de fundne dokumenterede metoder.

Det fremgår, at hvis de overordnede hypoteser ikke kan afvises, så vil der være et solidt grundlag for at markedsføre en indvendig isoleringsmetode, baseret på anvendelsen af et uorganisk hydrofilt materiale med en rimelig lav ledningsevne som et gyldigt alternativ til eksisterende metoder. Kan en eller flere af hypoteserne afvises, vil projektet fortsat have værdi, om end værdien så vil ligge i at bidrage til et beslutningsgrundlag for, at andre veje må udforskes for at løse de energitekniske og indeklimamæssige problemer, som findes i et stort segment af boligmassen i dag.

DTU vil udføre følgende:

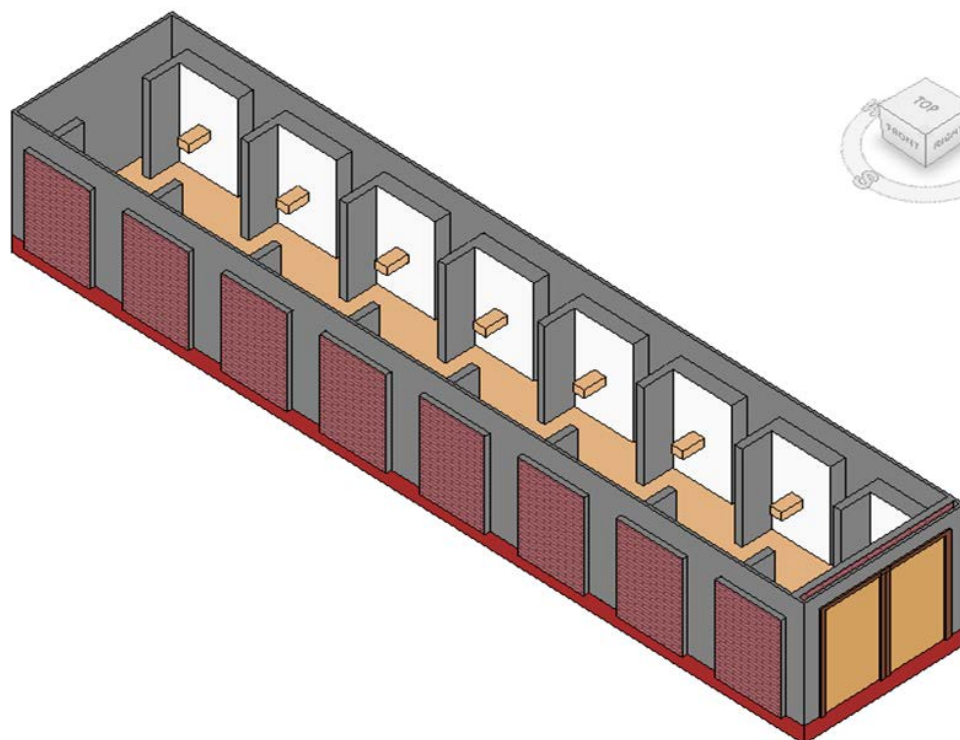
Den første af de overordnede hypoteser postulerer, at, hvis regeringens mål om, at energiforsyningen i Danmark skal dækkes af vedvarende energi, skal nås, er der et behov for at energiforbedre den del af den eksisterende boligmasse der ikke kan isoleres udvendigt. Til at teste hypotesen vil DTU udføre følgende:

- a) Litteraturstudier af den eksisterende boligmasse med henblik på at finde arten og størrelsen af det aktuelle segment
- b) Litteraturstudier med henblik på at opstille de aktuelle forskellige bygningstyper
- c) Teoretiske casestudier i effekten af efterisolering af det aktuelle segment

På baggrund af studierne beskrives det aktuelle bygningssegment og dets andel af energibesparelspotentialet, de forskellige bygningstyper, materialer samt dets særlige kendetegn og de begrænsende faktorer. Denne beskrivelse vil være en vigtig del af en eventuel markedsanalyse.

Den anden af de overordnede hypoteser postulerer, at isoleringssystemer med et hydrofilt isoleringsmateriale uden anvendelse af dampspærre er mere sikkert overfor skadelige fugtophobninger i konstruktionen. Til at teste hypotesen vil DTU udføre følgende:

- d) Litteraturstudie af indvendige isoleringsmetoder og deres virkning.
- e) En mock-up med forskellige tykkelser med hydrofil indvendig isolering, samt en konventionel mineraluld isolering til sammenligning, der opsættes på 16 stk. ca. 1x2 m 1½ stens mure bygget ind i en isoleret container på DTU's prøveareal.
- f) Der eksperimenteres med forskellig relativ fugtighed inde i mock-up'en.
- g) Der eksperimenteres med forskellige mængder af "slagregn" på de udvendige mure.
- h) Der udføres målinger af fugt og temperaturforhold i de forskellige elementer af forsøgsopstillingen.
- i) Der udføres materialeforsøg med hydrofile isoleringsmaterialer i 8 klimakamre.
- j) Der udføres matematiske modeller i 2d og 3d fugtmodelleringsprogrammer som COMSOL Multiphysics, WUFI, Delphin, Match o.a..



Mock-up med 16 forskellige test-vægge med træbjælkeende udført i 1x2m huller i en isoleret container med et kontrolleret indeklima

De indsamlede data fra mock-up'en, 1-2 lejlighed(er) med fuldskalaforsøg (se nedenfor under T1) og klimakammeret vil blive sammenholdt med de matematiske modeller for hvert enkelt forsøg. Analyserne af de indsamlede data forventes jf. indledende beregninger i WUFI at dokumentere, at slagregn og graden af facadens tæthed vil have en afgørende indflydelse på isoleringssystemets egnethed. Den indvendige efterisolerede væggs diffusionsåbenhed forventes ligeledes at have en væsentlig indflydelse på fugtbalancen i væggen.

Den tredje af de overordnede hypoteser postulerer, at metoder til indvendig isolering kan forbedres, så de i højere grad kan imødekomme de praktiske og bygningsfysiske udfordringer som anvendelse af indvendig isolering skaber. Til at teste hypotesen vil DTU, ud over de under den anden hypotese nævnte tiltag, udføre følgende:

- k) Der udføres forsøg med at indføre "kuldebroer", af tilsvarende materiale som isoleringsmaterialet, men med mindre luft i den indvendige isolering omkring træbjælkelaget med henblik på at dæmpe temperatursænkningen i træbjælkeenderne i den eksisterende mur.
- l) Der udføres forsøg med armeret puds på indersiden af den indvendige porøse isolering for at skabe en tilstrækkelig robust overflade.
- m) Der udføres forsøg med beslag og med den indvendige puds' styrke og tykkelse, så der kan ophænges elementer på den porøse indvendige væg.
- n) Der eksperimenteres med tyndere indvendige isoleringsplader i vinduesnicher og på den første del af indvendig skillevægge hvor disse møder ydervæggen.
- o) Der udføres forsøg med imprægnering af den udvendige side af ydermuren.
- p) Der udføres forsøg med malerbehandling af indervægge.

Med udgangspunkt i de indsamlede data fra forsøgene sammenholdes resultaterne fra de afprøvede hydrofile materialer med den gængse mineraluldsløsning. Træbjælkeenderne i muren forventes opfugtet på grund af nedsættelse af temperaturen ved isolering hvorfor der i forsøgsopstillingen udføres den

under punkt k) nævnte "kuldebro" i passende højde både over og under bjælkelaget. Da det forventes, at udefra kommende vand/fugt har en stor betydning for resultaterne, indgår der i forsøgsrækken forsøg med imprægnering af murværket på mock-up'ens ydervæg.

Indervæggens diffusionsåbenhed forventes også at have en væsentlig betydning, hvorfor der foregår forsøg med malerbehandlinger med forskellig diffusionsåbenhed på indervæggene. Det undersøges også, hvilke konsekvenser en "diffusionslukket" overfladebehandling har på fugtbalancen.

Beregning af de forskellige løsningsmodeller sammenlignet med måleresultaterne fra forsøgsopstillingerne forventes at give et væsentligt bedre og sikrere fundament for de konklusioner der nås frem til. Udførte beregningsmodeller vil inkludere de samme scenarier som dem, hvorpå der foretages målinger, men vil ikke begrænse sig til disse. Resultater fra målinger og beregninger skal danne grundlag for opstillingen af klare krav til udformning af et eller flere sikre indvendige isoleringssystemer.

Det forventes ikke, at der kan nås frem til løsninger, som dækker alle typer ejendomme. Det må f.eks. forventes, at nogle ejendomme har et så utæt massivt murværk, at det ikke vil være forsvarligt at påføre indvendig isolering, ligesom murværk, hvor f.eks. opstigende grundfugt opfugter muren, først skal udbedres og udtørres, før der kan opsættes isolering.

Det er hensigten at udvikle enkle metoder til at kunne bedømme, om en ejendom kan efterisoleres eller ej.

TI vil udføre følgende:

Der udføres måling af fugt og temperaturforhold i en (eller flere) prøveejendomme med indvendig isolering med udvalgte isoleringsmaterialer.

De teoretiske cases og forsøgene i Muck-up'en bliver sammenlignet med en række praktiske fuldskalaundersøgelser, som en del af hypotese 2. Disse praktiske undersøgelser, af de valgte indvendige efterisoleringssystemer, implementeres i eksisterende bygninger fra den valgte periode. Perioden vælges ud fra undersøgelse fra den første hypotese, hvor art og størrelse på det aktuelle segment findes, forventeligt byggeri fra før 1960, eventuelt med fokus på byggeri med bjælkeender i muren ved etageadskillelser.

Til de praktiske fuldskalaundersøgelser vil et eller to relevante byggerier blive identificeret, hvor forskellige løsninger kan opbygges under sammenlignelige forhold.

De praktiske undersøgelser forstilles opdelt i følgende to kategorier; generel test af løsningsopbygninger og test af særligt udsatte områder i opbygningen.

Kategori 1: Generel test af løsningsopbygninger.

Den "simple" opsætning hvor de forskellige efterisoleringssystemer opsættes på en ydervægskonstruktion, og produktets reelle egenskaber og indvirkninger på den eksisterende ydervægskonstruktion undersøges. Materialet undersøges her som et indvendigt-efterisoleringssystem, uden påvirkning fra ydre faktorer såsom kuldebroer, fugtopsugning fra fundament o.l.

Denne kategori af undersøgelser skal give detaljeret viden om produkternes ydeevne under optimale forhold. Hvis der ikke opstår fugttekniske problemer i disse konstruktioner, så vil det efterfølgende være lettere at identificere eventuelle problemer i konstruktioner, hvor der kan konstateres f.eks. kuldebroer.

Kategori 2: Test af særligt udsatte områder i opbygningen.

Opsætning af efterisoleringssystemet på en ydervægskonstruktion ved en samling af en massiv skillevægskonstruktion og bjælkelagsender, hvor produktet og den eksisterende konstruktion udover den generelle påvirkning fra kategori 1, endvidere vil blive påvirket af samlinger såsom kuldebroer.

Endvidere er der samlinger og den generelle opbygning af efterisoleringen omkring vinduer, hvor det skal undersøges hvordan efterisoleringen påvirker fugtforholdene.

Denne kategori af undersøgelser vil give et billede af efterisoleringssystemernes sårbarhed overfor (uundgåelige) konstruktionsmæssige udfordringer.

Detaljer til kategori 1 og 2:

For alle kategorier er det vigtigt, at de forskellige efterisoleringssystemer, så vidt det er muligt, opsættes så hvert system er udsat for de samme påvirkninger og forhold. Det kan middelbart udføres ved at der, så vidt muligt, udvælges rum hvor de forskellige systemer kan opsættes i forlængelse af hinanden.

De praktiske undersøgelser forventes udført på bygninger, hvor det allerede er besluttet at skulle indvendigt efterisoleres. Her vil det anvendte måleudstyr blive indlagt i konstruktionerne i samme ombæring, som opsætning af efterisoleringen.

Der vil i hvert set-up blive indbygget en række målepunkter i konstruktionen. I disse målepunkter vil der løbende blive registeret temperatur og relativ fugtighed i de forskellige relevante konstruktionslag og -dele. Disse målepunkter, vil blive udvalgt i forhold til de teoretiske udførte temperatur- og fugtmodelleringer, samt ud fra erfaringsmæssige vurderinger, hvor der er risiko for opstående problemer. Målingerne vil løbende blive fulgt og vurderet. Det forventes, at målingerne vil strække sig over mindst et år, så konstruktionen vil blive udsat for en årsvariation. Ud fra den løbende vurdering af måleresultaterne vil det blive vurderet, om der er behov for destruktiv åbning af konstruktionen, for at udføre kontrol af mikrobiologisk vækst i konstruktionen.

TI's øvrige tiltag

Overordnet set vil TI deltage i undersøgelse af den anden og tredje hypotese med baggrund i årelang, praktisk erfaring med mikrobiologi, byggeteknik og skadesudredning.

Planlægning og detaljering af mock-up: I forhold til planlægning og detaljering af mock-up'en vil TI bidrage for at sikre, at erfaringer og viden bliver sat i spil allerede fra start i form af sparring om og granskning af planerne.

Ved opbygning af forsøgsopstilling vil TI deltage i forbindelse med granskning og sparring særligt i forhold til dataanalyse.

Vedr. hypotese tre vil TI bidrage med granskning og generelt at følge arbejdet. TI har omfattende erfaring med imprægnering af murværk i form af forsøg og cases. For at opnå de bedste resultater i nærværende projekt, vil TI bidrage med at frembringe state-of-the-art viden indenfor imprægnering samt medvirke til forsøgsplanlægning og sparring omkring udførelse af test af imprægnering udvendigt i forbindelse med mock-up forsøgene.

Med udgangspunkt i TI's kombinerede viden om mikrobiologi, byggeteknik og skadesudredning vil TI bidrage med udpegning af kritiske punkter i mock-up design og planlægning såvel som for in-situ målinger. TI har egne laboratorier, hvor der foretages analyser af skimmelsvampe og trænedbrydende svampe.

COWI vil udføre følgende:

COWI varetager sammen med DTU tilsynet med erhvervs-ph.d.'ens arbejde.

DTU, COWI og TI vil i fællesskab udføre følgende:

Afholde møder hvor projektet koordineres og detailplanlægges og TI og DTU og COWI's ekspertise bibringer projektet en synergieffekt

Deltage i symposium med videns personer fra branchen.

Resultater fra målinger og beregninger skal danne grundlag for opstillingen af klare krav til udformning af et eller flere sikre indvendige isoleringssystemer. TI, COWI og DTU vil søge at finde frem til anbefalinger som er videns baserede og robuste.

Materialevalg

4 forskellige materialetyper undersøges, letbeton, skumbeton, hård mineraluld med tværliggende fibre og kalciumsilikatholdige isoleringsplader. Materialerne vil blive testet på DTU og indbygget i en eller flere i lejligheder i fuldskalaforsøg.

Letbeton:

Der produceres i dag letbeton med en varmeledningsevne med en λ -værdi på ca. 0,040, ved at tilføre yderligere luft til den traditionelle letbeton (gasbeton). Dette gør den mere porøs og isolerende. Disse plader er afprøvet og anvendt i bl.a. Tyskland. Der foreligger forskellig dokumentation, men materialet er ikke testet i forhold til dansk byggeskik og klimaforhold.

Skumbeton:

Skumbeton produceres af cement og flyveaske tilsat skum som ligeledes gør betonen porøs og isolerende. Der er kun et beskedent kendskab til, at skumbeton er anvendt til indvendigt isoleringsmateriale på eksisterende mure. Der er imidlertid flere eksempler på, at skumbeton kan laves og anvendes som f.eks. blokke til opførelse af nybyggeri og til varmeisolerende lag på p-kælderdek, men udfordringen er at finde frem til en byggeplade der opnår en lav varmeledningsevne uden at pladen bliver for porøs.

Hård mineraluld med tværliggende fibre:

Hård mineraluld med tværliggende fibre anvendes i stor udstrækning i Danmark til udvendig isolering der fastgøres til den eksisterende facade og efterfølgende påføres et pudslag med et indlagt armeringsnet. På denne måde opnås en robust overflade som tåler det danske klima og de mekaniske påvirkninger. På baggrund af andre udenlandske undersøgelser tyder det på at denne metode også kan udføres indvendigt. Nogle tjekkiske forskere, bl.a. Zbysek Pavlík, offentliggjorde i 2009 en artikel "Hygrothermal performance study of an innovative interior thermal insulation system" og Jan Toman, Alena Vimmerova og Robert Černý offentliggjorde samme år en artikel "Long-term on-site assessment of hygrothermal performance of interior thermal insulation system without water vapour barrier" baseret på laboratorieforsøg og forsøg i en bygning fra 19 hundrede tallet med massive mure. Resultaterne er lovende og metoden efterprøves.

Kalciumsilikatholdige isoleringsplader:

Der er udviklet højisolerede plader til indvendig isolering, der anvender kalciumsilikat som transportvej for fugten i vægssystemet. Et nyere produkt af dette er IQ-Therm, bestående af en kombination af et kapillærsugende kanalsystem med kalciumsilikat materiale og et højisolerende skummateriale.

Der udføres en "sammenligning" af ovenstående løsninger med en traditionel indvendig efterisolering, med træ-/stålskelet, mineraluld, dampspærre og gipsbeklædning.

Tidsplan og faseopdeling

Projektet forløber over 3 år fra januar 2014 til december 2016. og er planlagt til at gennemløbe 4 faser.

Halvår	Fase	Aktiviteter
Forår 2014	1	Litteraturstudier som del af arbejdet med første hypotese (se Projektbeskrivelse). Opbygning af Mock-ups. Eksperiment lejlighed(er) lokaliseres. Måleprogram planlægges og opsætning af indvendig isolering projekteres. Teoretiske casestudier i effekten af efterisolering af det aktuelle segment.
Efterår 2014	1 2	Fortsat fra forrige halvår. Litteraturstudier af indvendige isoleringsmetoder og deres virkning. Der udføres forsøg med mock-up'en og lejlighed(er) som beskrevet under metode til anden hypotese (se Projektbeskrivelse). Der udføres matematiske modeller i fugtmodelleringsprogrammer som WUFI, Delphin, Match o.a. Første artikel: Building Renovation with Interior Insulation on Solid Masonry Walls – A Review of the Literature and Current Available Technology Artikel i fagblad, f.eks. Ingeniøren om "state of the art" vedr. indvendig isolering.
Forår 2015	2	De indsamlede data fra mock-up'en, lejligheden og klimakammeret sammenholdes med de matematiske modeller for hvert enkelt forsøg.
Efterår 2015	3	Der udføres forsøg med mock-up'en og materialer som beskrevet under metode til tredje hypotese (se Projektbeskrivelse) . Med udgangspunkt i de indsamlede data fra forsøgene i mock-up og cases sammenholdes resultaterne fra de afprøvede hydrofile materialer med den gængse mineraluldsløsning. Anden artikel: <i>A Critical Examination of interior Insulation methods on solid masonry walls – A Break from Demands of a Water Vapour Barrier</i> Artikel i fagblad, f.eks. Ingeniøren andre byggeblade om hydrofil indvendig isolering.
Forår 2016	3 4	Fortsat fra forrige halvår. Artikel i fagblad, evt. Ingeniøren om hydrofile materialer som indvendig isolering. Artiklen kan også publiceres online via InnoByg. Afholdelse af InnoByg gå-hjem-møde omkring hydrofile materialer til indvendig efterisolering. mposium med videnspersoner indenfor området hvor "state of the art" og de første resultater drøftes. På baggrund af de fundne resultater arbejdes der med en holistisk model til en sikker isoleringsmetode ved indvendig isolering. Tredje artikel: <i>Results of a Full-scale Experimental Setup with use of hydrophilic Interior Insulation on Solid Masonry Walls without Water Vapour Barrier</i>
Efterår 2016	4	Fortsat fra forrige halvår Fjerde artikel: <i>A Holistic Solution on Interior Insulation with Hydrophilic on Solid Masonry Walls.</i> Artikel i fagblad, evt. Ingeniøren og andre som henvender sig til entreprenører og håndværkere om en helhedsløsning på indvendig isolering med brug af hydrofile materialer på murede vægge.

Formidling

Som det fremgår af tidsplanen sker der løbende formidling gennem projektorløbet.

På ansøgningstidspunktet er der fire forskningsartikler under overvejelse. Hvorvidt artiklerne bliver publiceret i den form, de er beskrevet nedenfor, vil blive bestemt når det relevante materiale ligger klar. Et artikelemne kan derfor ændre titel, form eller blive forkastet som uinteressant alt afhængig af de opnåede resultater. Artiklerne vil danne et solidt grundlag for den faglige formidling til rådgivere og udførende. Hver forskningsartikel følges op af en artikel i et fagblad som f.eks. Ingeniøren eller Byggeindustrien.

I forbindelse med den første fase (se Faseopdeling af projektet) af projektet overvejes:

“Building Renovation with Interior Insulation on Solid Masonry Walls – A Review of the Literature and Current Available Technology.”

En artikel skrevet på baggrund af litteraturstudierne gjort i første fase af projektet. Artiklen vil beskrive den aktuelle viden, der er om indvendig isolering og hvilke problemer, der kan afhjælpes og hvilke, der kan opstå i forbindelse med denne form for energirenoveringer samt hvilket segment af bygningsmassen der er tale om.

Artiklen følges op af en artikel i et fagblad, f.eks. Ingeniøren om ”state of the art” vedr. indvendig isolering.

I forbindelse med den anden fase af projektet overvejes:

“A Critical Examination of interior Insulation methods on solid masonry walls – A Break from Demands of a Water Vapour Barrier.”

En artikel skrevet på baggrund af et studie af matematiske modeller udført i fugtmodelleringsprogrammer som WUFI, Delphin, Match. Fugttransporten i indvendige isoleringsmaterialer af den art, der vil blive undersøgt i projektet, finder sted ved en vekselvirkning mellem dampdiffusion og kapillarsugning og under hensyn til de temperaturgradienter, der hersker. Omkring etageadskillelser og skillevægge er forholdene flerdimensionale, og der optræder kuldebroer, der har en indvirkning på fugtforholdene. Endelig kan tilsigtede og utilsigtede luftlommer føre til ophobning eller afledning/dræning af fugten, som der bør tages hensyn til. Artiklen skal redegøre for anvendelsen af den teoretiske viden om de koblede transportfænomener under de forhold, der mødes i praksis, og det forventes, at forbindelsen mellem teoretisk og praktisk viden vil være nyskabende og have forskningsfaglig interesse. De matematiske modeller forventes at dokumentere, at hydrofile materialer som letbeton og skumbeton har egenskaber, der i langt de fleste tilfælde vil gøre dem egnede til anvendelse ved indvendig isolering af massive murstensmure under danske klimaforhold.

Artiklen følges op af en artikel i et fagblad, f.eks. Ingeniøren, Byggeindustrien eller andre byggeblade om hydrofil indvendig isolering.

I forbindelse med den tredje fase af projektet overvejes:

“Results of a Full-scale Experimental Setup with use of hydrophilic Interior Insulation on Solid Masonry Walls without Water Vapour Barrier”

En artikel skrevet på baggrund af de resultater, der er hentet fra Mock-up'en, der er opstillet på DTU's prøveareal. Artiklen vil beskrive de eksperimenter der vil blive udført gennem ca. 2 år. Resultaterne fra de indbyggede fugt og temperaturmålere vil blive analyseret bl.a. med henblik på, om fugtforholdene gennem forløbet har været kritiske, således at skimmel og trænedbrydende svampevækst vil være mulig. Succes vil blive vurderet på baggrund af hvorvidt de designmæssige tiltag der er taget ved opbygning af mock-up'en, som f.eks. de bevidst indførte kuldebroer omkring træbjælkerne, har en gunstig indvirkning på resultatet.

Der afholdes et symposium med videns personer indenfor området hvor ”state of the art” og de første resultater drøftes.

I forbindelse med den fjerde fase af projektet overvejes:

“A Holistic Solution on Interior Insulation with Hydrophilic on Solid Masonry Walls”

En artikel skrevet på baggrund af arbejdet, der er udført i forbindelse med udviklingen af tekniske løsninger til implementering af hydrofile isoleringstyper som letbeton, skumbeton og hårde mineralulds facadeplader. Artiklen er en helhedsbetragtning af en isoleringsmetode til indvendig isolering og vil behandle de beskrevne resultater fra de foregående artikler sammenholdt med undersøgelserne af den udvendige murede overflades tæthed, overfladebehandlingen af den indvendige isolerede væggs diffusionsåbenhed, det anvendte isoleringsmateriales mekaniske robusthed og bæreevne for opsætning af emner etc. Artiklen vil ligeledes beskrive de betingelser der skal være til stede for at løsningen kan anvendes, og således også hvor den ikke kan anvendes.

Artikel i fagblad, evt. Ingeniøren og andre som henvender sig til rådgivere og udførende om en helhedsløsning på indvendig isolering med brug af hydrofile materialer på murede vægge.

TI vil herudover sørge for at undersøgelsesernes resultater bredes ud til mindre og mellemstore virksomheder, fx gennem brancheforeninger og eventuelt yderligere byggefagblade.

Generelt forventes det, at resultaterne fra disse undersøgelser vil bæres over i direkte anbefalinger til de udførende inden for byggebranchen, dvs. en enkel metode til at identificere hvorvidt bygningen kan indvendigt efterisoleres uden fugtrelaterede skader. Fx en opstilling af krav til materialerne, krav til den eksisterende mur og til opbygning af efterisoleringen. Disse anbefalinger ønskes formidlet bredt til byggebranchen, dvs. udover artikler vil TI udbrede projektresultaterne internt, på hjemmesider, i forbindelse med kurser mv., samt arbejde for at anbefalingerne bliver bragt ind på BYG-ERFA møder. InnoByg afholder jævnligt gå-hjem-møder og workshops for sine medlemmer, hvor projektresultater og -erfaringer kan udbredes gennem. Derudover kan disse også udbredes gennem InnoBygs nyhedsbrev og deres LinkedIn-gruppe.

Budget

Overordnet budget

		Omkostninger					Total	GI finansiering
		DTU	ErhvervsPhD COWI	Case-partner	InnoByg	TI		
1.00	Detaljer og planlægning af mock-up:	125.000	-	-	100.000	108.980	333.980	183.980
2.00	Opbygning af mock-up – materialer og udførelse:	295.560	-	-	-	-	295.560	295.560
3.00	Klimakammer:	128.400	-	-	-	-	128.400	128.400
4.00	Materialer, inkl. skumbeton:	96.000	-	55.000	-	-	151.000	96.000
5.00	Måleudstyr - data m.v.	204.000	-	-	-	135.000	339.000	339.000
6.00	Opbygning af forsøgsopstilling, programmering, indbygning af følere	138.000	-	-	100.000	197.775	435.775	245.775
7.00	Case: planlægning, opbygning, måleprogram, analyser	-	-	222.000	100.000	401.560	723.560	351.560
8.00	PhD - Tommy Odgaard	-	1.080.000	-	-	48.239	1.128.239	48.239
9.00	Forskningstimer	390.000	65.000	-	-	-	455.000	227.500
10.00	Honorar til følgegruppe, symposium, formidling	96.000	-	-	-	50.000	146.000	146.000
	Total	1.472.960	1.145.000	277.000	300.000	941.554	4.136.514	2.062.014
	Fordeling af finansiering							50%

Organisation

Projektet gennemføres i et samarbejde mellem DTU, COWI og TI. DTU varetager projektledelsen. COWI og DTU er i forening ansvarlig for en erhvervs-ph.d. som indgår i projektet med den væsentligste del af sin erhvervs-ph.d. I løbet af projektet gennemføres en række møder hvor DTU, COWI og TI deler deres viden indenfor emnet. Der indgår både "state-of-the-art" viden og diskussioner om hvordan projektet bedst gennemføres i detaljen, samt hvordan resultaterne kan tolkes og bruges fremadrettet.

Projektet vil blive gennemført af:

Søren Peter Bjarløv, arkitekt, lektor ved DTU BYG.(Projektleder)

Arbejder som lektor på DTU med forskning indenfor renovering og energi og med uddannelse af civilingeniører. Medlem af bestyrelsen for Dansk Selskab for Bygningsfysik.

Af tidligere ansættelser kan nævnes:

Associate ekspert i Nigeria for U.N.D.P. Byggechef i Københavns Amt. Teknisk chef i BvB, Byggeskade-fondens vedrørende Bygningsfornyelse.

I forbindelse med ansættelsen i BvB arbejdede Søren Peter Bjarløv med udviklingsprojekter herunder opgaver der var nært knyttet til udvikling af viden om tage, bl.a. projektet "GodeTage" og DUKO, Dansk Undertagsklassifikationsordning.

Carsten Rode er professor og leder af sektion for Bygningsfysik og Installationer på Institut for Byggeri og Anlæg, Tekniske Universitet Danmark. Uddannet civilingeniør, og ph.d. i opbygningen af fysik. Specialist i varme, luft og fugt transport i bygninger, herunder indeklima, og ekspert i bygningers energimæssige ydeevne. Har erfaring fra deltagelse i flere internationale forskningsprojekter, f.eks. i IEA, relateret til udførelsen af energieffektive bygninger. Formand for den internationale sammenslutning af Bygningsfysik og formand for Dansk Selskab for Bygningsfysik.

Tommy Odgaard, erhvervs-ph.d. studerende ved DTU BYG og COWI DK.

Uddannet diplom og civil ingeniør indenfor byggeri ved DTU.

Arbejder med et 3-årigt erhvervs-ph.d. projekt indenfor indvendig efterisolering af ældre muret byggeri. I løbet af projektet påregnes det at udvikle sikre og robuste metoder til udførsel af indvendig efterisolering, ud fra matematiske modeller og eksperimentelt arbejde.

Michael Vesterløkke, civilingeniør, senior specialist og sektionsleder indenfor renovering og byggeteknik i COWI.

Har i mere end de seneste 25 år arbejdet med renovering og bygningsundersøgelser, hvorunder der i en række renoveringsprojekter er indgået udvikling af nye metoder til renovering.

Har tidligere været udstationeret hos SBI, hvor han deltog i opbygningen af det mobile laboratorium til måling af bygningers kvalitet.

Michael har et omfattende netværk både internt i COWI og eksternt til DTU, SBI, TI, producenter og specialister i andre rådgivende ingeniørfirmaer.

Carsten Johansen, cand.scient. i biologi, tømrer. Seniorkonsulent ved Teknologisk Institut siden 1997.

Arbejder med energirenovering, samt skadesudredning, særligt med fokus på fugt og skimmel

Mange års erfaring som tømrer og byggeleder indenfor en lang række af byggeriets områder.

Særlige kompetencer:

- Omfattende erfaring med udredning og renovering af fugt- og skimmelskader i både eksisterende og nyt byggeri.
- Grundigt kendskab til fugtmåleinstrumenter og fugtmåling i materialer og konstruktioner.
- Grundigt kendskab til materialer og konstruktioners fugtmekanik, herunder kritiske grænser for fugt/vandindhold i forhold til risiko for udvikling af skimmelsvampevækst.
- Bred erfaring med afholdelse af kurser om fugt og skimmelproblematik.

Thor Hansen, bygningsingeniør, civilingeniør, DTU. Konsulent ved Teknologisk Institut siden 2013. Arbejder med energirenovring, samt skadesudredning, særligt med fokus på fugt og skimmel. Tidligere ansættelser: Selvstændig ingeniørvirksomhed, energimærkninger og tilstandsrapporter

Særlige kompetencer:

- Erfaring med at udfører beregninger af bygningers energiforbrug.
- Vurdering af eventuelle risici ved energirenovring.
- Kendskab til fugt- og varmetransport i byggematerialer.
- Rådgivning i forbindelse med energirenovring

Anne Pedersen, civilingeniør, energiretningen, DTU. Konsulent ved Teknologisk Institut siden 2012. Arbejder med energirenovring, samt skadesudredning, særligt med fokus på fugt og skimmel. Tidligere ansættelser: Lolland Kommune, ansættelse i afdeling for Udvikling og Erhverv med fokus på klima og energi

Særlige kompetencer:

- Projektledelse og fundraising
- Erfaring med energirenovring af svømmebade
- Erfaringer med projekter inden for energirigtig renovring i samarbejde med borgere og kommunale institutioner
- Udvikling af strategi og handleplaner for klima- og energisatsninger i kommuner
- International erfaring på klimaområdet, bl.a. fra arbejde på og samarbejde med danske ambassader i udlandet

Med venlig hilsen

Søren Peter Bjarløv
Arkitekt, lektor
Bygningsdesign