



## Handout om forskning i Indvendig Isolering på DTU december 2013 til juni 2019

Den beskrevne forskning i Indvendig Isolering foregik fra december 2013 til juni 2019. Forskningen skete med deltagelse og finansiering af foruden DTU bl.a. af GI, RealDania, EU (Ribuild), TI, Xella, Cowi m.fl. Forskningen har givet anledning til publicering af flere videnskabelige artikler og rapporter samt tre specialer (heraf et på dansk) om robustheden af isoleringsmaterialer. Derudover er der produceret en film og afholdt et symposium.

*Projekt: "Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering"* blev bevilget af GI i april 2014 og afsluttedes 1. juni 2019. Der opsamles fortsat data fra forsøgsopstillingen på DTU. Projektet har gennem forsøgsperioden genereret store mængder data.

*Ansøgning med projektbeskrivelse til "Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering"*

[http://orbit.dtu.dk/files/165598600/Ans\\_gning\\_om\\_midler\\_til\\_forskningsprojekt\\_om\\_Invendig\\_Isolering\\_06022014.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/165598600/Ans_gning_om_midler_til_forskningsprojekt_om_Invendig_Isolering_06022014.pdf)

*Projekt mappe til "Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering"*

[https://orbit.dtu.dk/en/projects/anvendeligheden-og-robustheden-af-indvendig-isolering\(ee6124c2-86f0-4276-b38d-84a0cbb5978f\).html](https://orbit.dtu.dk/en/projects/anvendeligheden-og-robustheden-af-indvendig-isolering(ee6124c2-86f0-4276-b38d-84a0cbb5978f).html)

*Videnskabelig artikel: "Hygrothermal assessment of internally insulated solid masonry walls fitted with exterior hydrophobization and deliberate thermal bridge"*

Denne artikel undersøgte brugen af Multipor isoleringssystemet fra Xella til indvendig isolering af facader med massivt murværk. Studiet kombinerede brugen af indvendig isolering med udvendig imprægnering, samt en tilsigtet termisk bro indbygget foran den indlejrede trærem. Ud over det eksperimentelle forsøg blev der udført et lille simuleringsstudie for at bestemme effekten af styring af den indendørs luftfugtighed.

Nickolaj Feldt Jensen, Søren Peter Bjarløv, Carsten Rode og Tommy Riviere Odgaard

Offentliggjort september 2018 i Ernst & Sohn, Wiley (betalingsartikel).

[https://orbit.dtu.dk/files/185410097/Hygrothermal\\_assessment\\_of\\_internally\\_insulated\\_solid\\_masonry\\_walls\\_Fitted\\_with\\_Exterior\\_hydrophobization\\_and\\_deliberate\\_thermal\\_bridge.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185410097/Hygrothermal_assessment_of_internally_insulated_solid_masonry_walls_Fitted_with_Exterior_hydrophobization_and_deliberate_thermal_bridge.pdf)

*Kandidatspeciale: "Experimental and theoretical investigation of Interior insulation of solid brick walls with foam concrete and another silicate based material"*

Specialet undersøgte brugen af to isoleringssystemer til indvendig isolering af facader med massivt murværk (diffusionsåbne – uden dampspærre). Det ene system var en skumbetonløsning designet af DTU, og det andet et isoleringsmateriale af autoklaveret porebeton af mærket Ytong Multipor fra Xella. Studiet inkluderede test af materialer, et kølekammerforsøg med isoleret murværk, samt stationære og dynamiske fugtsimuleringer.

Daniel Dysted og Hasse Sandholdt, DTU-Byg, marts 2015.

[https://orbit.dtu.dk/files/185174245/Experimental\\_and\\_theoretical\\_investigation\\_of\\_Interior\\_insulation\\_of\\_solid\\_brick\\_walls\\_with\\_foam\\_concrete\\_and\\_another\\_silicate\\_based\\_material.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185174245/Experimental_and_theoretical_investigation_of_Interior_insulation_of_solid_brick_walls_with_foam_concrete_and_another_silicate_based_material.pdf)



*Diplomspeciale: "Undersøgelse af robusthed af indvendig isolering"*

Specialet undersøgte robustheden af fem isoleringsmaterialer til indvendig brug. Dette inkluderede udtræks- og forskydningsforsøg i forhold til ophæng af hylder og lignende, samt kugleforsøg for robusthed i forhold til stød og slag. Ud over dette blev der udført forsøg vedr. effekten af indvendig maling, samt et fugtteknisk mikroklimaforsøg i forhold til placering af f.eks. møbler og billeder i direkte kontakt med isoleringssystemerne. Specialet undersøgte følgende isoleringssystemer: Ytong Multipor, IQ-Therm, SkamoPlus kalciumsilikat, en isoleringspuds designet af Teknologisk Institut, samt en skumbetonløsning designet af DTU.

Jonas Skov Jacobsen og Kent Helmann Dabelsteen, DTU-Byg, juni 2016.

[https://orbit.dtu.dk/files/185174253/Undersøgelse af robusthed af indvendig isolering.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185174253/Undersøgelse%20af%20robusthed%20af%20indvendig%20isolering.pdf)

*Videnskabelig artikel: "Influence of hydrophobation and deliberate thermal bridge on hygrothermal conditions of internally insulated historic solid masonry with built-in wood"*

Artiklen undersøgte effekten af at kombinere indvendig isolering med udvendig imprægnering mod slagregn, samt en tilsigtet termisk bro indbygget foran den indlejrede trærem. Studiet inkluderede undersøgelser af effekten af slagregn på facader med massivt murværk med indvendig isolering samt sammenholdt brugen af digitale sensorer og elektrisk modstand målt i indbyggede træ- og gipsdyvler. Som indvendig isolering var anvendt Multipor fra Xella.

Tommy Riviere Odgaard, Søren Peter Bjarløv, og Carsten Rode

Offentliggjort i Energy & Buildings, Elsevir. 15. august 2018 (betalingsartikel).

[https://orbit.dtu.dk/files/185409935/Influence of hydrophobation and deliberate thermal bridge on hygrothermal conditions of internally insulated historic masonry walls with.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185409935/Influence_of_hydrophobation_and_deliberate_thermal_bridge_on_hygrothermal_conditions_of_internally_insulated_historic_solid_masonry_walls_with.pdf)

*Film: "Forsøg med indvendig efterisolering"*

Filmen giver en kort introduktion til projektet.

Produceret af Grundejernes Investeringsfond, januar 2015.

<https://www.youtube.com/watch?v=9dFB0-MbSyE&lc=z13txrtr1sf3jza1r235tt2r3vnay1zcp.1546678830653875>

*Kandidatspeciale: "Hygrothermal modelling of internal insulation to solid masonry walls"*

Specialet omfatter et simuleringsstudie, der undersøgte brugen af autoklaveret porebeton til indvendig isolering af facader med massivt murværk. Studiet brugte simuleringsmodeller, som blev valideret mod måleresultater fra DTUs containerforsøg. Studiet undersøgte følgende parametervariationer: effekten af udvendig imprægnering, samt alternative lokationer, hvor udeklimaer i København, Aalborg og Esbjerg blev undersøgt.

Peter Ian Otiv, DTU-Byg, 30. juni 2016.

[https://orbit.dtu.dk/files/185174246/Hygrothermal modelling of internal insulation to solid masonry walls.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185174246/Hygrothermal_modelling_of_internal_insulation_to_solid_masonry_walls.pdf)



*Projekt: Europæisk forskningsprojekt - RIBuild "Robust Internal Thermal Insulation of Historic Buildings"*

I dag udgør historiske bygninger 30% af det europæiske bygningsmasse med et betydeligt potentiale for energibesparelser. Historiske bygninger tegner sig for mere end en tredjedel af det samlede energiforbrug af bygninger i EU. Derfor er det vigtigt at reducere deres energiforbrug. Potentialet for energibesparelser i historiske bygninger er 15-20%. Imidlertid kan installation af indvendig isolering være en vanskelig opgave, hvor der er en vis risiko for fejl og store omkostninger. Bygningsejere og praktikere i byggebranchen har brug for viden og retningslinjer for, hvordan man håndterer indvendig isolering i historiske bygninger på en effektiv og sikker måde. RIBuild har sat sig for at udfylde dette hul. RIBuild vil grundigt undersøge, hvordan og under hvilke forhold indvendig isolering kan anvendes. Forskningsaktiviteterne omfatter on-site case studier samt simuleringer og laboratoriemålinger af materialer. RIBuild-projektet vil resultere i omfattende retningslinjer for, hvordan man installerer indvendig isolering i historiske bygninger. Ribuild er et 5 årigt projekt som afsluttes 31-12-2019.

<https://www.ribuild.eu/denmark>

*Rapport: Etape 1 af projektet "Xella – indvendig efterisolering"*

Den nærværende delrapport præsenterer resultaterne fra en række projekter med fokus på indvendig isolering af facader med massivt murværk med Ytong Multipor.

Projektresultaterne indikerer i forhold til skimmelvækst og andre fugtrelaterede problemer, at hydrofobering af de udvendige overflader har en overvejende positiv effekt på fugtbalancen i murværket.

[http://orbit.dtu.dk/en/projects/xella--interior-insulation--stage-1\(77a2e5e2-eb21-49a0-8638-f9e2f8783875\).html](http://orbit.dtu.dk/en/projects/xella--interior-insulation--stage-1(77a2e5e2-eb21-49a0-8638-f9e2f8783875).html)

*Projekt: Etape 2 af projektet "Xella – indvendig efterisolering"*

Rapporten drejer sig om et forsøgsprojekt i fuld skala der bliver udført i fire gavljlejligheder. Indvendig Multipur 100mm isolering opsættes i to rum i hver af disse fire gavljlejligheder. For at kunne jævnføre til mock-up (containerforsøg) er to gavle orienteret mod sydvest (dominerende retning for slagregn) og to mod nordøst (retning med mindst sol-påvirkning). Lejlighederne mod hver deres orientering udføres henholdsvis med og uden imprægnering. Projektet forventes afsluttet 1. januar 2020 og udføres i samarbejde mellem Xella Danmark, DTU BYG, Intro Flex og AKB.

[http://orbit.dtu.dk/en/projects/xella--interior-insulation--stage-2\(9719af77-1aee-490d-994a-ae0868bd5e1d\).html](http://orbit.dtu.dk/en/projects/xella--interior-insulation--stage-2(9719af77-1aee-490d-994a-ae0868bd5e1d).html)

*Videnskabelig konferenceartikel: "Retrofit with Interior Insulation on Solid Masonry Walls in Cool Temperate Climates – An Evaluation of the influence of Interior Insulation Materials on Moisture Condition in the Building Envelope"*



Indvendig isolering kan være løsningen for at forbedre indeklimaet og reducere varme tab ved historiske bygninger, hvor en ændring af den ydre facade ikke er mulig, men dette kan også medføre fugtproblemer med kondens i facadevæggen. Kapillaraktive/hydrofile isoleringsmaterialer er blevet foreslået til at afhjælpe disse fugtproblemer. Der er udført en række beregninger, som viser, hvilke udfordringerne der er med indvendig isolering i køligt tempereret klima.

Beregningerne viste bl.a., at det i områder med høj nedbør som i Danmark kan forekomme, at kapillaraktiv isolering ikke er mulig uden yderligere beskyttelse af facaden mod slagregn.

Søren Peter Bjarløv, Gholam Reza Finken og Tommy Riviere Odgaard. Offentliggjort i Energy Procedia, Elsevier, november 2015

[https://orbit.dtu.dk/files/186073963/Retrofit\\_with\\_Interior\\_Insulation\\_on\\_Solid\\_Masonry\\_Walls\\_in\\_Cool\\_Temperate\\_Climates.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/186073963/Retrofit_with_Interior_Insulation_on_Solid_Masonry_Walls_in_Cool_Temperate_Climates.pdf)

*Videnskabelig artikel: "Effect of Façade Impregnation on Feasibility of Capillary Active Thermal Internal Insulation for a Historic Dormitory - A Hygrothermal Simulation Study"*

Artiklen undersøgte brugen af Multipor, Kalciumsilikat og IQ-Therm til indvendig isolering af facader med massivt murværk. Studiet er baseret på dynamiske computersimuleringer, og undersøgte effekten af at kombinere forskellige tykkelser af indvendig efterisolering med udvendig imprægnering. Der blev desuden simuleret "revner" i den udvendige imprægnerede overflade, hvor effekten blev undersøgt. Slutteligt blev risikoen for skimmelvækst, råd, kondens og frostskafer undersøgt ved brug af en matematisk model.

Gholam Reza Finken, Søren Peter Bjarløv og Tommy Riviere Odgaard

Offentliggjort i Construction & Building Materials, Elsevier. november 2016.

[https://orbit.dtu.dk/files/185409934/Effect\\_of\\_Façade\\_Impregnation\\_on\\_Feasibility\\_of\\_Capillary\\_Active\\_Thermal\\_Internal\\_Insulation\\_for\\_a\\_Historic\\_Dormitory\\_A\\_Hygrothermal\\_Simulation\\_Study.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185409934/Effect_of_Façade_Impregnation_on_Feasibility_of_Capillary_Active_Thermal_Internal_Insulation_for_a_Historic_Dormitory_A_Hygrothermal_Simulation_Study.pdf)

*Videnskabelig konferenceartikel: "Building renovation with interior insulation on solid masonry walls in Denmark - A study of the building segment and possible solutions"*

Artiklen undersøgte segmentstørrelsen af danske fleretages beboelsesbygninger fra perioden 1850-1930. Disse bygninger er konstrueret med en stor grad af gentagelse i geometrien og anvendte bygningsteknikker. Studiet undersøgte gennem computersimuleringer effekten af isolering af vinduesbrystninger mod fuld isolering af de indvendige overflader. Der blev udført 1D, 2D og 3D simuleringer for installationsmetoderne.

Tommy Riviere Odgaard, Søren Peter Bjarløv, Carsten Rode, og Michael Vesterlørkke

Offentliggjort i Energy Procedia, Elsevier. november 2015 (betalingsartikel).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021501735X>

*Videnskabelig artikel: "Interior insulation—Characterization of the historic, solid masonry building segment and analysis of the heat saving potential by 1d, 2d, and 3d simulation"*



Artiklen undersøgte segment størrelsen af danske flere-etages beboelsesbygninger fra perioden 1850-1930. Disse bygninger er konstrueret med en stor grad af gentagelse i geometrien og anvendte bygningsteknikker. Den geografiske fordeling af disse flere-etages beboelsesbygninger blev også kortlagt. Studiet undersøgte gennem computersimuleringer effekten af isolering af vinduesbrystninger i forhold til fuld isolering af de indvendige overflader. Der blev udført 1D, 2D og 3D simuleringer for installationsmetoderne, samt analyseret effekten af forskellige isolerings- og vægtykkelser.

Tommy Riviere Odgaard, Søren Peter Bjarløv og Carsten Rode

Offentliggjort i Energy and Buildings, Elsevier. 1. marts 2018 (betalingsartikel).

[https://orbit.dtu.dk/files/185409936/Interior\\_insulation\\_Characterisation\\_of\\_the\\_historic\\_solid\\_masonry\\_building\\_segment\\_and\\_analysis\\_of\\_the\\_heat\\_saving\\_potential\\_by\\_1d\\_2d\\_and\\_3d\\_simulation.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185409936/Interior_insulation_Characterisation_of_the_historic_solid_masonry_building_segment_and_analysis_of_the_heat_saving_potential_by_1d_2d_and_3d_simulation.pdf)

*Videnskabelig artikel: "Interior insulation – Experimental investigation of hygrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry façades in a listed building"*

Artiklen undersøgte effekten af at installere 100 mm Multipor isolering fra Xella på vinduesbrystningen i et kollegieværelse i en historisk fleretages bygning (Borchs Kollegium). Fugt og temperatur blev målt i kollegieværelset i næsten 3 år, og blev sammenholdt mod et ikke-isoleret kollegieværelse. Kollegieværelserne havde en normal fugtpåvirkning fra indeklimaet. Risikoen for skimmelvækst, råd og frostskeer blev evalueret med matematiske modeller samt ved visuel inspektion on-site. De undersøgte brystningsvægge havde en nordvestlig orientering. Brystningsvæggene havde ikke en radiator installeret foran væggen, af hensyn til at måle på en "worst case" løsning.

Tommy Riviere Odgaard, Søren Peter Bjarløv og Carsten Rode

Offentliggjort i Building and Environment, Elsevier. 1. februar 2018 (betalingsartikel).

[https://orbit.dtu.dk/files/185409937/Interior\\_insulation\\_Experimental\\_investigation\\_of\\_hygrothermal\\_conditions\\_and\\_damage\\_evaluation\\_of\\_solid\\_masonry\\_facades\\_in\\_a\\_listed\\_building.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185409937/Interior_insulation_Experimental_investigation_of_hygrothermal_conditions_and_damage_evaluation_of_solid_masonry_facades_in_a_listed_building.pdf)

*Symposium på DTU om indvendig isolering, den 23. maj 2019*

DTU afholdt den 23. maj 2019 et symposium om status på 5 års forskning i indvendig isolering med følgende indlægsholdere: Søren Peter Bjarløv (DTU), Tommy Odgaard (COWI), Tessa Kvist Hansen (SBI), Nickolaj Feldt Jensen (DTU) og Britt Haker Høegh (TI). Nickolaj Feldt Jensens præsentation vil blive lagt op, når den omhandlende artikel er accepteret.

[https://orbit.dtu.dk/en/activities/symposium-paa-dtu-23-maj-2019-om-indvendig-isolering\(8d635178-0055-4e2a-b31e-e538ac3cf33e\).html](https://orbit.dtu.dk/en/activities/symposium-paa-dtu-23-maj-2019-om-indvendig-isolering(8d635178-0055-4e2a-b31e-e538ac3cf33e).html)

*Videnskabelig artikel: "Hygrothermal assessment of diffusion open insulation systems for interior retrofitting of solid masonry walls"*



Artiklen undersøgte brugen af IQ-Therm (plastskum isolering med kalciumsilikat kanaler) med og uden udvendig imprægnering samt SkamoPlus kalciumsilikat isolering til indvendig efterisolering af facader med massivt murværk med indlejrede træelementer. Studiet bestod af et fuldskala eksperimentalt forsøg suppleret med dynamiske simuleringer med det formål at undersøge effekten af yderligere konstruktive tiltag.

Nickolaj Feldt Jensen, Søren Peter Bjarløv, Carsten Rode, Eva B. Møller og Tommy Riviere Odgaard Link til artiklen. Artiklen afventer offentliggørelse. Nærværende dokument vil blive opdateret med kildehenvisning, når artiklen er tilgængelig.

*Rapport:* DTU afsluttende rapport "GI – Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering" Rapporten præsenterer resultaterne fra en række projekter med fokus på indvendig efterisolering af facader med massivt murværk med Multipor AAC isolering fra Xella, SkamoPlus Kalciumsilikat, IQ-Therm fra Remmers, skumbetonisolering fra DTU samt isoleringspuds fra Teknologisk Institut. Rapporten behandler følgende problemstillinger: det historiske bygningssegment med facader af massivt murværk; skimmelvækst og andre fugtrelaterede problemer; systemets robusthed i forhold til ophæng af elementer og dets slagfasthed; samt undersøgelse af forskellige overfladebehandlinger (diffusions-åben og diffusions-tæt maling) på de indvendige overflader og dets påvirkning på murværkets fugtbalance ved brug af de forskellige isoleringssystemer. Yderligere undersøges, om indbygning af et materiale med en lavere isoleringsevne (termisk bro) foran træelementer i muren kan bruges som supplement i særlig krævende situationer, som f.eks. ved murværk med indlejrede træelementer.

[https://orbit.dtu.dk/files/187292747/Rapport fra DTU om indvendig efterisolering.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/187292747/Rapport_fra_DTU_om_indvendig_efterisolering.pdf)

*Rapport:* TI rapport om målinger fra containerforsøget – "GI – Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering"

Denne rapport omhandler dele af Teknologisk Instituts arbejde udført i forbindelse med forsøgscontaineren på DTUs forsøgsareal. Der er i rapporten angivet måleresultaterne udført med Troxler på de murede forsøgsvægge, samt laboratorieresultaterne for prøverne udtaget bag den indvendige isolering for vurdering af tilstedeværelsen af skimmelsvampe.

[https://orbit.dtu.dk/files/185174251/TI rapport om m linger fra containerfors og GI Anvendeligheden og robustheden af indvendig isolering.pdf](https://orbit.dtu.dk/files/185174251/TI_rapport_om_malinger_fra_containerfors_og_GI_Anvendeligheden_og_robustheden_af_indvendig_isolering.pdf)

Lektor Søren Peter Bjarløv

Kontakt: PhD stud. Nickolaj Feldt Jensen [nicf@byg.dtu.dk](mailto:nicf@byg.dtu.dk)