

Invändig tilläggsisolering av äldre flerbostadshus

Förprojekt

Version: 1.0

Alla BeBo-rapporter finns att hitta på www.bebostad.se

2017_4 / 2018_21

Jesper Arfvidsson, Lars-Erik Harderup, Sven Fristedt

Lunds tekniska högskola,

2018-12-19

Innehåll

Förord.....	1
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund.....	3
1.2 Syfte.....	4
1.3 Avgränsningar.....	4
2. Metod.....	5
2.1 Litteraturstudie.....	5
2.2 Intervjuer	5
2.3 Mail-utskick med frågor	6
3. Resultat.....	6
3.1 Resultat från litteraturstudier.....	6
3.2 Resultat från intervjuer.....	35
3.3 Resultat från mail-utskick med frågor.....	45
4. Diskussion.....	48
4.1 Litteraturstudie.....	49
4.2 Intervjuer	52
4.3 Internationellt.....	52
5. Förslag till huvudprojekt	53
6. Slutsatser	55
7. Referenser.....	56
Bilaga 1.1.....	58
Bilaga 1.2.....	59
Estland.....	59
Tyskland.....	62
Kanada	63
USA	64
Ryssland.....	65
Kazan	67
Danmark	68
Kirgizstan.....	69
Tajikistan	70
England.....	71
Belgium.....	72
Finland.....	73
Japan.....	75
Korea.....	78
Bilaga 2. Förslag till ansökan.....	80

Förord

BeBo (Beställargrupp Bostäder), Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus har funnits sedan 1989 och är ett nätverk av fastighetsägare och med Energimyndigheten som huvudfinansiär. BeBos aktiviteter ska genom en samlad beställarkompetens leda till att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten ska visa på goda exempel med effektiv energianvändning samtidigt som funktion och komfort inte försämras utan snarare förbättras.

Denna förstudie har genomförts av LTH baserat på diskussion inom Fördjupningsområde Varsam ombyggnad.

BeBo-verksamheten har som huvudinriktning att bidra till att minska beroendet av energi i flerbostadshus och arbetar därför både med byggnads- och installationstekniska åtgärder för att nå uppsatta mål. BeBo har gjort en studie av möjligheterna att genomföra tilläggsisolering av fasader inom olika typer av bostadsbestånd från olika tidsepoker och skilda orter. Genom denna studie, publicerad 2015, som innefattade ett flertal av BeBo:s medlemsföretag, kunde man konstatera att yttre tilläggsisolering inte på något sätt var en självklarhet att kunna genomföra, vare sig det gällde byggnadsantikvariskt klassade byggnader eller sådana som inte var formellt skyddade. Detta inte minst beroende på synen på bevarandefrågorna som något som berör alla byggnader i någon grad och som kommit till uttryck i Plan- och bygglagen.

För att kunna nå energisparmålen och samtidigt garantera hyresgästerna en god komfort återstår möjligheten till invändig tilläggsisolering. I fastighetsbranschen råder en skeptisk inställning till denna typ av isolering. Rädsla för att göra fel och åstadkomma frysskador och mögelproblem. BeBo frågade sig om det inte med nyare beräkningsmetoder och kunskaper om hur skador uppstår skulle vara möjligt att ange riktlinjer för rimligt riskfri metod för tillämpning av invändig isolering. BeBo beställde i juli 2017 därför en undersökning av förutsättningarna för invändig tilläggsisolering från LTH Byggnadsfysik. Denna förstudie skulle undersöka och analysera befintlig kunskap i Sverige och övriga världen inom detta forskningsområde. Denna har nu genomförts och resultatet är sammanställt i föreliggande rapport och inkluderar ett förslag till huvudstudie.

En arbetsgrupp bestående av Jesper Arfvidsson (projektledare), Lars-Erik Harderup och Sven Fristedt har genomfört studien och författat rapporten. Den har bland annat baserat sig på inventering av ledande internationella byggnadsfysikers syn på frågan genom en enkät till ett stort antal universitet och tekniska institut. Författarna är mycket tacksamma för de snabba och engagerade svaren från de tillfrågade.

BeBo:s medlemmar har också tillfrågats om erfarenheter och vi är tacksamma för all support som BeBo-företagen ställt upp med. Särskilt tack skall riktas till Mattias Wester, Stena Fastigheter AB och Tomas Nordqvist, Uppsalahem som deltagit i intervjuer och kreativt bistått projektet. Detsamma gäller representanter för Danmarks Tekniske Universitet som öppet redovisat sina forskningsresultat på ett mycket tidigt stadium, vilket tillfört mycket aktuell kunskap.

Likaså varmt tack till Tomas Berggren, Energimyndigheten och Göran Werner som varit drivande för projektets tillkomst och som stöttat arbetet under gång

Jesper Arfvidsson Lars-Erik Harderup Sven Fristedt

1. Introduktion

I äldre byggnader vill man ofta bevara den yttre karaktären på exteriören. Detta innebär att invändig tilläggsisolering ofta är den enda möjligheten att energieffektivisera ytterväggar. Tidigare studier, både i Sverige och i andra länder med liknande klimat, visar att invändig tilläggsisolering kan leda till ett antal negativa konsekvenser både ur värme- och fuktsynpunkt. För att undvika, eller åtminstone reducera, dessa negativa effekter måste tydliga riktlinjer för lämpliga väggkonstruktioner utarbetas, grundade i nyare forskningsresultat.

1.1 Bakgrund

Ett av EU:s mål är att minska miljöbelastningen globalt. Att minska energianvändningen i våra byggnader är en viktig del i att nå detta mål. Eftersom större delen av bostadsbeståndet är befintligt är det viktigt att hitta lösningar för att energiuppdatera dessa byggnader på ett korrekt sätt.

Att bygga ett nytt energieffektivt hus kräver hög kompetens inom en rad områden. Att genomföra åtgärder, i energibesparande syfte, på befintliga byggnader kräver ofta ännu mer. Tjockare värmeisolering, intermitterent uppvärmning, andra uppvärmningskällor, nya typer av byggnadsmaterial samt reducerad eller modifierad ventilation påverkar byggnaders termiska och hygroskopiska egenskaper, och därmed också risken för fukt- och mögelskador. Tyvärr är det oftast så att känsligheten och därmed risken för t.ex. fuktskador ökar med dessa åtgärder. Ett antal konstruktioner, som vi vet är fuktkritiska, kommer att bli ännu känsligare och nya delar av byggnaden, som tidigare fungerade väl, kommer att bli känsliga. Vi har många exempel på detta i byggnader med kryppgrund eller oinredda vindar som åtgärdades på 1970-talet.

Ur byggnadsfysikalisk synvinkel är utvändigt tilläggsisolering att föredra, detta gäller hela klimatskalet. Beträffande ytterväggar önskar man dock ofta, ur arkitektonisk och antikvarisk synvinkel, att bevara den ursprungliga karaktären. Detta medför att invändig tilläggsisolering ofta är det enda återstående alternativet för att förbättra de termiska egenskaperna. Exempelvis kan nämnas att detta har studerats i ett BeBo-projekt i Örebro.

Invändig tilläggsisolering kan medföra oacceptabla risker om det sker på fel sätt, exempelvis bör följande fenomen beaktas:

- Yttre delarna av ytterväggen blir kallare och därmed ökar risken för frostsador. T.ex. kan tegel som fungerat utmärkt i över hundra år plötslig få allvarliga skador genom frostsprängning.
- Kallare och därmed också fuktigare ytor leder till större risk för mikrobiell tillväxt.
- Anslutningar i form av mellanbjälklag, innerväggar och fönsternischer kommer att utgöra tydligare köldbryggor.
- Köldbryggor medför lägre yttemperatur på invändiga ytor som leder till termodiffusion, vilket betyder att tunga partiklar i luften, dvs. smuts och damm, får en högre koncentration på de kallare ytorna.
- Det är ofta svårt att uppnå tillräcklig lufttäthet vid invändig tilläggsisolering. Om varm fuktig inneluft transporteras in mellan kall befintlig vägg och tilläggsisolering ökar risken för mögelskador markant på träbaserade material
- Eldosor och andra installationer i yttervägg kommer att hamna kallare och fuktigare och därmed äventyra elsäkerheten.
- Upplagen för mellanbjälklagens träbalkar kommer att hamna kallare och fuktigare vilket ökar risken för röta.

Tanken med detta förprojekt är att undersöka och sammanställa befintlig kunskap och erfarenheter avseende invändig tilläggsisolering av befintliga byggnader av olika ålder, transformera internationell kunskap till svenska förhållanden samt bedöma åtgärdernas lämplighet avseende framtida klimat i Sverige.

Ur ekonomisk synvinkel är det också väsentligt att påpeka att invändig tilläggsisolering av ytterväggarna leder till mindre invändig area och därmed också till lägre hyresintäkter.

1.2 Syfte

Målet med ett framtida huvudprojekt är att ta fram ett kunskapsunderlag som medger att man på ett säkert sätt ska kunna tilläggsisolera på insidan av klimatskalet. Härvid måste en metodik utvecklas för bättre riskbedömning av invändig tilläggsisolering.

Syftet med detta förprojekt är att undersöka förutsättningarna för en huvudstudie-med denna målsättning.

1.3 Avgränsningar

Denna förstudie är kraftigt avgränsad både i urval av studieobjekt och omfattning av empiriska fall. Arbetsmaterialet är sålunda inte heltäckande utan ska mer ses som exempel på förhärskande uppfattningar i byggbranschen, problemformuleringar inom forskningen och bedömningar av konstruktioner ur lämplighets- och risksynpunkt. Resultaten från arbetet ska enbart ses som indikationer, som dock avses vara tillräckliga för bedömning av nyttan av en fortsättning i en huvudstudie.

2. Metod

Fokus i detta förprojekt inriktas på att undersöka förutsättningarna för att utarbeta en metodik med avseende på invändig tilläggsisolering, baserad på tillgänglig kunskap, nationellt och främst internationellt.

2.1 Litteraturstudie

1. Sökningen över relevant information har begränsats och inriktats på följande av författarna identifierade områden:
2. Sökning efter aktuella artiklar publicerade av europeiska universitet och institut
3. Sökning i äldre svensk byggforskningslitteratur som behandlar invändig tilläggsisolering.
4. Visa exempel på beräkningar från Akram Abdul Hamids licentiatavhandling (Hamid Abdul, 2017) från avdelning Byggnadsfysik, LTH, med titeln ”Method for evaluation of renovation measures with regard to moisture and emission loads - based on risk assessments”, TVBH-3067.
5. Översiktligt beskriva metodik för fuktsäker metodik för invändig tilläggsisolering av befintliga ytterväggar för några vanliga situationer.
6. Följa det doktorandprojekt vid DTU som pågår inom projektiden och som handlar om invändig tilläggsisolering av danska byggnader.
7. Redovisa erfarenheter från ombyggnaden av riksmuseet i Amsterdam, (Grünwald, 2006).

2.2 Intervjuer

Två intervjuer med företrädare för svenska fastighetsbolag har genomförts, dessa gjordes med representanter för medlemsföretag i Bebo. Intervjuerna var av semistrukturerad art med öppna frågor kring främst följande aspekter:

- Ser ni ett behov av invändig isolering om den kan utföras på ett riskfritt sätt?
- Vilka fördelar ur bevarandesynpunkt anser ni att ni kan nå?
- Kan tillgången till säkra metoder för invändig tilläggsisolering gynna dialogen med antikvariska myndigheter?
- Om ni har erfarenhet av invändig isolering har ni då upptäckt skador på grund av genomförda åtgärder?
- Vilka fördelar kan invändig isolering innebära för företaget och dess hyresgäster?
- Hur bedriver företaget strategisk underhållsplanering och utgör val av isoleringstyp en del av denna planering?

2.3 Mail-utskick med frågor

Förfrågan per mail till ett 20-tal olika länder där vi har bitt om svar på följande frågor:

- Använder ni invändig tilläggsisolering i befintliga byggnader i ditt hemland?
- Om svaret är ja:
 - > Vad är den normala tjockleken på tilläggsisoleringen, vilket typ av isoleringsmaterial använder ni och hur är den ursprungliga respektive nya delen av väggen vanligtvis konstruerad?
 - > Vad är era erfarenheter av dessa väggar före respektive efter åtgärder?
 - > Under hur lång tid har ni använt invändig tilläggsisolering av ytterväggar I ditt land?
 - > Brukar ni kombinera invändig tilläggsisolering med andra åtgärder?
- Om svaret är nej:
 - > Varför använder ni inte invändig tilläggsisolering i ditt hemland?
 - > Har du några andra kommentarer?

3. Resultat

Resultaten från förprojektets tre olika delar redovisas nedan.

3.1 Resultat från litteraturstudier

Studier har dels gjorts med avseende på internationella artiklar främst från Europa, dels har en inventering gjorts av tidigare svenska studier, dels från i Danmark nyligen genomförda studier och därvid har projektet likaså fått insyn i pågående dansk forskning på området genom att få ta del av ännu inte publicerat material.

3.1.1 Aktuella studier, forskning och utveckling inom europeiska universitet och forskningscentra

En inventering har gjorts av aktuella publicerade artiklar inom europeiska länder utanför Norden som berör invändig tilläggsisolering. Artiklarna har i hög grad sin härkomst från tyska universitet och forskningsinstitut, inte minst Dresdens Tekniska Universitet. De nedan refererade artiklarna har kunnat återfinnas på internet. Även från de baltiska länderna finns en rad artiklar. Dessa refereras dock inte här utan under redovisningen som gäller den internationella enkät som genomförts, de flesta är tyvärr inte översatta från de nationella baltiska språken.

3.1.1.1 Dresdens Tekniska Universitet

Dresdens Tekniska Universitet (TU-Dresden) har i hög grad inriktat sin forskning inom institutionen för byggnadsfysik åt frågor kring invändig isolering av ytterväggar och publicerat artiklar och läroböcker i ämnet. Dr. Ing. Rudolf Plagge var föreståndare för det byggnadsfysikaliska forsknings- och utvecklingslaboratoriet vid TU-Dresden och ägnade sin forskning åt studier avseende invändig tilläggsisolering i befintliga byggnader. I en intervju från 2015 (Publicerad i *Die intelligente Alternative; Innendämmung von Sto*) framhåller han att sedan 40 år tillbaka har vid tyska tekniska högskolor det så kallade *Glaserschemat* använts för beräkning av isoleringsåtgärder. Denna metod får betraktas som förenklad och ger föga positiva resultat för invändig isolering. Först med nya vetenskapliga datorstödda metoder har det blivit möjligt att beskriva de hygrotermiska förhållandena på ett byggnadsfysikaliskt korrekt sätt. Därmed ges en annan bild av invändig tilläggsisolering som en funktionsduglig möjlighet. Plagge räknar med att i Tyskland så mycket som 40% av ytterväggarna i det befintliga byggnadsbeståndet endast kan tilläggsisoleras inifrån av bevarandeskäl. Därför är det av stor vikt att utveckla tillförlitliga isoleringssystem för att bidra till de europeiska energisparmålen och kunna fortsätta att nyttja det befintliga byggnadsbeståndet med krav på modern komfort. Man kan enligt Plagge inte bortse från möjligheten till isolering på insidan. Antalet tekniska system för invändig isolering har ökat starkt under de senaste tio åren i Tyskland.

Rudolf Plagge och John Grünewald, den senare är föreståndare för institutionen för byggnadsfysik vid TU-Dresden, har tillsammans med flera forskare inom institutionen behandlat hygroskopiska egenskaper hos byggnadsmaterial. Exempelvis i artiklar som; Häupl, P.: *Zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von kapillar-porösen Baustoffen (2004)* Plagge, R.; Meissner, F.; Grünewald, J. Den sistnämnde har vidare lett ett utvecklingsprojekt som behandlat isolering inifrån med tillämpning av kalciumsilikat: *Entwicklung eines diffusionsoffenen Innendämmsystems auf der Basis von kapillaraktivem Calciumsilikat, (03/2000 – 10/2003)*.

Grünewald har varit projektledare för ett projekt som inriktat sig på data för byggnadsmaterial som tillämpats i äldre byggnader och som kommer till användning vid renoveringar: *Materialdaten für die energetische Altbausanierung – MASEA (01/2003 – 12/2005)*. Projektets mål har varit att bestämma de hygrotermiska materialparametrarna i de viktigaste materialen som vanligen använts i äldre byggande. Framtagna värden har lagrats i en materialdatabank som ska kunna användas som mjukvara för datasimuleringar.

Enligt Plagge skiljer man på ångspärrande, ångbromsande och diffusionsöppna system för isolering inifrån. Vid ångspärrande system blir kondensatmängden inom den kalla zonen av en vägg begränsad. Men den invändiga ångspärren medför samtidigt att uttorkningen av utifrån kommande fukt avsevärt minskar. I motsats härtill möjliggör de diffusionsöppna egenskaperna hos en inifrånisolering med en kapillärfunktion en

långtidsverkande uttorkningseffekt inte minst vad gäller tidigare fuktskadade byggnadsdelar. Den hygroskopiska lagringsegenskapen hos en diffusionsöppen, invändig isolering dämpar över tiden variationerna i ånghalt i inomhusluften och bidrar till utjämningen av inomhusklimatet. De kapilläraktiva skikten sörjer för en snabb och utbredd fördelning av fukten i isoleringen under vinterperioden. Härigenom kan uttorkningen snabbas på och isoleringseffekten förbättras. Skivor av det vulkaniska materialet *Perlit* har studerats av Plagge för angivna ändamål. Främst gäller hans studier tilläggsisolering av murar av tegel och/eller natursten. (Perlit består ca 75% kiseldioxid, ca 15% aluminiumoxid och en mindre mängd soda)

Andra material med fuktbuffrande effekt som kan användas i fråga om ytterväggar av tegel, natursten eller trä har studerats. Inom TU-Dresden har man gjort jämförelser mellan olika kombinationer av material för uppbyggnad av isolersystem för isolering inifrån på en befintlig vägg av tegel:

1. EPS Polysterol
2. Kalciumsilikat i plattor
3. Glasull med ångspärr mot insidan mot rum i kombination med s.k. Vario KM Duplex UV (Duk med ångbromsande effekt)

Testet visar att alla tre systemen klarar att hålla sig under den kritiska fuktnivåer

TU-Dresden har gjort beräkningar med utgångspunkt i flera platser i Europa. I en huvudstudie för svenska förhållanden bör beräkningar och simuleringar på motsvarande sätt göras med antaganden om klimat som gäller för specifika, svenska orter.

3.1.1.2 Fraunhofer Institutet, Tyskland

Fraunhoferinstitutet i Holzkirchen, Tyskland har också ägnat sig åt frågan om invändig isolering. Institutet har utvecklat simuleringsprogrammet WUFI (Wärme Und Feucht Instationär), avsett för att beräkna fukt- och temperaturförlopp i byggnadskonstruktioner och hur dessa varierar med tiden, som med fördel kan användas för att beräkna händelseförlopp vid invändig isolering.

3.1.1.3 Berner Fachhochschule, Schweiz

Berner Fachhochschule har beräknat funktionen av andra isoleringar på motsvarande tegelvägg. Nämligen med följande material:

1. Cellulosabaserad isolering
2. Plattor av träspån med buffrande effekt för vattenånga
3. Glasull i kombination med ångbromsande skikt med buffrade funktion

Resultatet av studien som gjordes med hjälp av ovan nämnda simuleringsprogram WUFI visar att alla tre varianterna på uppbyggnad av vägg klarar sig bara man inte gör ett tjockare isoleringsskikt än 80 mm. Då överskrides enligt beräkningarna den relativa luftfuktigheten 95% inte i någon zon i väggarna.

Dessa och andra försök och beräkningar som de tyska och schweiziska utgår från klimatbetingelserna som råder på respektive ort, i det schweiziska fallet väderleksstatistik för Zürich.

Anmärkning: Den kritiska relativa fuktigheten (RF_{krit}) för mögeltillväxt vid lång sammanhängande exponeringstid anses vara 75-80%.

3.1.1.4 Saint-Gobin, Schweiz

Bolaget Saint-Gobins utvecklingsavdelning inom Isover AG för byggnadsteknik i Schweiz har studerat applikationer av sina produkter för användning gällande invändig isolering. Firman ställer upp ett antal villkor för tillämpningen av sina produkter på ett sätt som sägs leda till en rimligt riskfri väggkonstruktion vid invändig tilläggsisolering.

Utifrån beräkningar med programmet WUFI kan visas, att uppbyggnader med ISOVER-glasullsisolering är fukttekniskt funktionsdugliga för orter med inlandsklimat om följande kriterier uppfylls;

- Att ett fuktvariabelt ångbromsande skikt används för ångbromsande/lufttätande funktion (Firman anger sina produkter VarioKM Duplex eller Vario Xtra som lämpliga i sammanhanget),
- Att ingen påtaglig fuktbelastning utifrån (slagregn) eller underifrån (t. ex. kapillärt uppstigande fukt) äger rum,
- Att i gränsskiktet mellan befintlig vägg och inre isolering finns en absorberande kapillärledande fuktlagringsfunktion,
- Att inga hålrum finns mellan tilläggsisolering och befintlig vägg,
- Att ingen kapillärledande kontakt finns mellan träreglar och befintlig vägg utan undviks genom isolering dessa element emellan.

I de typexempel som firman anger vid tillämpning av deras produkter finns resultat som visar att man kan använda gipsplattor för färdig vägg mot tilläggsisolerat rum.

3.1.1.5 Politecnico di Milano, Italien

Inom ramen för ett forskningsprojekt finansierat av EU-kommissionen (EASEE-projektet) har Masera, G. et al. studerat möjligheten att för invändig isolering använda en textilbaserad tapet. Redovisning har skett i en artikel: *Development of a super-insulating, aerogel-based textile wallpaper for indoor energy retrofit of existing residential buildings, 2016.*

Man har testat en textilmatta som impregnerats med aerogel som fästs eller spänns upp på väggen. Materialet är av ånggenomsläpplig och brandhämmande polyester, ca. 6 mm tjockt. Aerogelen är ett silikatbaserat, nanoporöst material med låg värmeledningsförmåga, ca. 15mW/mK. Aktuell vägg från försöken visade en sänkning av U-värdet efter åtgärder från 1,069 W/m² K till 0,829 W/m² K.

Man visar på möjligheten att med materialet isolera partiellt under bjälklag och över golv för att minska värmegenomgång vid bjälklagets anslutning till yttervägg.

För projektet ställdes följande kriterier upp för invändig isolering:

- relativt hög isoleringsförmåga (U-värde 0,2 W/m²K för tilläggsisolering inklusive existerande vägg);
- konkurrenskraftigt pris i förhållande till andra invändiga produkter för invändig isolering på marknaden;
- begränsad tjocklek för tilläggsisolerande lager, max 8 cm;
- beständighet mot eld;
- lätt att installera;
- lätt att transportera och lagra;
- tilltalande utseende, varierat ytskikt.

3.1.1.6 Leuvens Katolska Universitet, Belgien

Vereecken, E. et al. har 2015 redovisat en metod för att med sannolikhetsanalys bedöma invändiga isoleringar: Interior insulation for wall retrofitting – a probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks.

Författarna framhåller att för man ska kunna få ut full möjlig energibesparing genom invändig isolering och samtidigt undvika hygrotermiska problem är det viktigt att göra tillförlitliga riskbedömningar. Detta kräver ett angreppssätt baserat på sannolikhetskalkylering. Eftersom de parametrar som påverkar beräkningarna är så osäkra att de kan leda till stor variation i resultatet. Än så länge menar man att det saknas en metodik att välja isoleringssystem och tjocklek hos isolerande material, vilka ger den bästa balansen mellan minskad energianvändning och risker som uppstår på grund av fukt- och temperaturförhållanden. Artikeln som presenteras bygger på tillämpning av en så kallad Monte Carlo - analys.

I studien tar författarna upp såväl ångtäta som kapilläraktiva system till bedömning. Det generella resultatet av studien kan sammanfattas som att ångtäta system är att föredra för byggnadsstrukturer som är motståndskraftiga mot frostsador. För byggnader som är känsliga för frost och när man måste ta hänsyn till balkändar med upplag i väggen kan kapilläraktiva system visa sig ha fördelar. Det gäller system som minskar fuktlagringen i väggkonstruktionen genom att tillåta en inåtriktad uttorkning.

3.1.2 Sammanfattning av några rapporter från Sverige och Danmark

I detta avsnitt redovisas sammanfattningar från ett antal äldre svenska rapporter som anses vara av intresse även idag. Även resultat från en nyligen publicera artikel från Sverige samt ett antal från Danmark redovisas och kommenteras.

3.1.2.1 Adamson, Bo, 1971. Yttertemperaturer och värmeförluster vid betongbjälklag i fasadvägg

Anmärkningar:

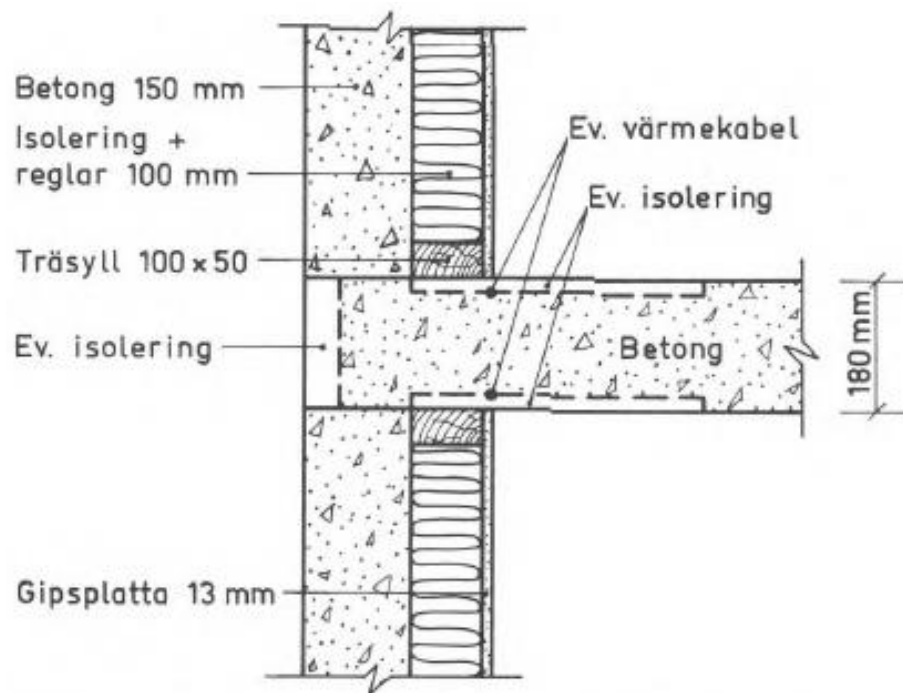
Rapporten har endast tagits med för att ge exempel på vanligt förekommande anslutningar mellan ytterväggar och mellanbjälklag i byggnader som var vanliga i slutet av 1960-talet.

Det kan också vara värt att nämna författarens syfte med rapporten, se nedan, och tänka på att den skrevs för nästan 50 år sedan.

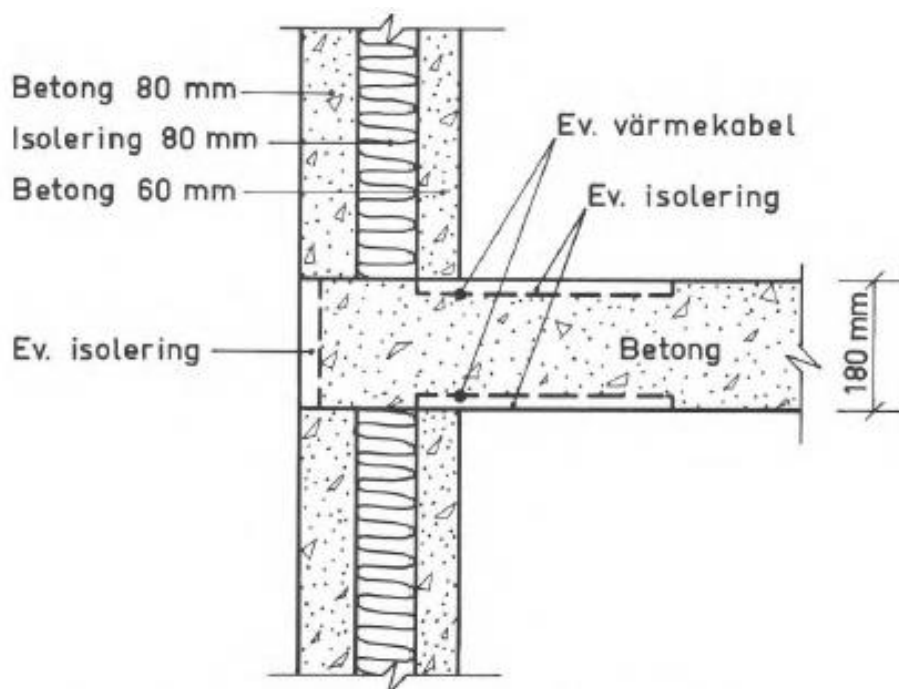
Både utseendet på konstruktionerna, skälen till utseendet och problemen som man försökte lösa är viktiga att komma ihåg när vi idag ska energieffektivisera våra ytterväggar.

Följande påståenden är citat från rapporten:

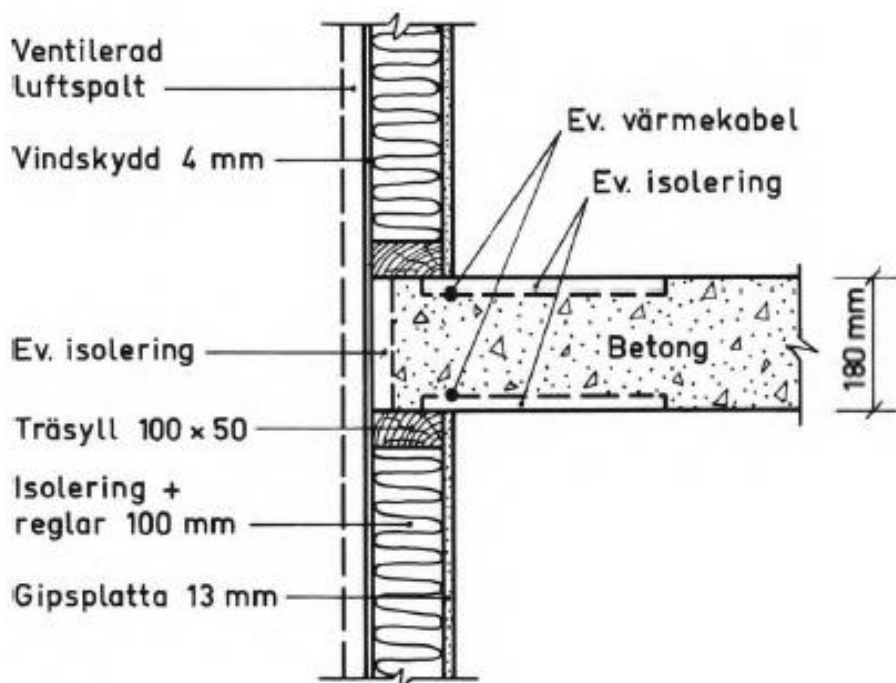
- Anslutningen mellan bjälklag och yttervägg ger ofta upphov till byggnadstekniska problem. Av olika skäl önskar man ofta föra ett betongbjälklag ända ut i fasaden.
- Vid konstruktioner enligt figur 1-3 och liknande konstruktionsalternativ är man tvungen att vidtaga speciella åtgärder för att inte ytterväggens insida och bjälklagets yta skall få för låg yttertemperatur under vintern. Låga yttertemperaturer kan nämligen resultera i ytkondens och fuktskador.
- Även om ytkondens ej skulle inträffa kan låga yttertemperaturer ge upphov till nedsmutsning. Vid en bjälklagsgenomföring ut i fasad kan en sådan nedsmutsning bli högst påtaglig och resultera i höga underhållskostnader.
- Av hygieniska skäl är det även motiverat att undvika låga yttertemperaturer. Detta gäller framför allt golv, som är den enda ytan i ett rum med vilken kroppen är i kontakt under lång tid.



Figur 1. Konstruktionsalternativ vid yttervägg med bärande betong. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.

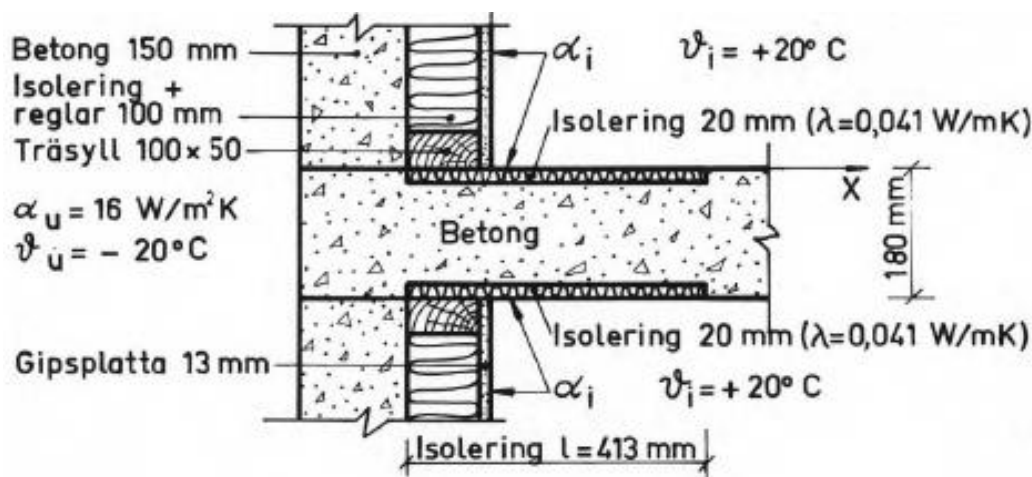


Figur 2. Konstruktionsalternativ vid yttervägg av sandwichtyp med ut- och invändig betong. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.



Figur 3. Konstruktionsalternativ vid yttervägg med regelstomme och luftat yttre fasadmaterial. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.

En vanlig åtgärd för att undvika låga ytemperaturer i hörnet mellan yttervägg och golv respektive tak är att bjälklagets ovansida och undersida förses med en tunn värmeisolering. Denna bör då dragas in i väggen som visas av figur 4.



Figur 4. Bjälklagets ovansida och undersida bör förses med en tunn värmeisolering för att undvika låga ytemperaturer i hörnet mellan yttervägg och golv respektive tak.

3.1.2.2 Andersson, Ann-Charlotte, 1978. Köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar

Rapporten behandlar effekterna av de köldbryggor som finns, och i vissa fall uppstår, vid tilläggsisolering av ytterväggar, i första hand invändigt. De köldbryggor som behandlas här är anslutningar mellan yttervägg och innervägg eller bjälklag, anslutningar vid balkongplatta, fönstersmygar samt ytterväggshörn.

De konsekvenser som studerats är inverkan på värmeförlusterna genom ytterväggarna, samt risk för kondensation på invändiga ytor. De studerade konstruktionerna har valts ut enligt kriteriet att de skall vara vanligt förekommande i flerbostadshus från perioden 1900 - 1950 med tyngdpunkten på senare delen av denna period. Följande ytterväggstyper har valts:

1. 1½-stens tegelvägg, invändigt putsad
2. 1-stenstegelvägg, invändigt isolerad med 5 cm träullsplatta
3. 250 mm gasbetongmurverk
4. 15 cm betongvägg, utvändigt isolerad med 10 cm lättbetong.

Tendensen är, för de flesta av de beräknade köldbryggorna, att det extra värmeflödet p.g.a. köldbryggan ökar markant vid invändig tilläggsisolering med tjocklekar upp till 7 cm. Det extra värmeflödet ökar sedan långsammare, och sjunker i vissa fall igen vid

isolertjocklekar omkring 12 - 15 cm. Detta beror delvis på den definition som det extra värmeflödet har.

Vid invändig tilläggsisolering med 10 cm mineralull är köldbryggornas andel av totala värmeflödet genom de betraktade ytterväggssnitten av storleksordningen 50%. Resultat från rapporten visar tydligt att köldbryggornas inverkan på värmeförlusterna får en *relativt* sett starkt ökande betydelse då tilläggsisoleringens tjocklek ökar. Man kan därför dra slutsatsen att lönsamheten för kraftig invändig tilläggsisolering är dålig.

Beräkningarna av yttemperaturer vid köldbryggorna visar att fönstersmygarnas innerytor är ställen där ytkondensation i vissa fall kan förväntas inträffa. Anslutningen av isoleringen till smygen har stor betydelse för yttemperaturen.

I rapporten exemplifieras kondensrisken med ett par diagram som för något alternativ visar vilken maximal relativ fuktighet ineluften kan ha innan kondensation börjar, vid olika utetemperaturer.

Konsekvenser av köldbryggor vid invändig tilläggsisolering

1. I rapporten visas att en invändig tilläggsisolering av ytterväggarna i ett äldre hus medför att vissa köldbryggor, som bjälklagsanslutningar, får ökad inverkan på olika sätt. Utvändig tilläggsisolering av väggarna minskar inverkan av innerväggs- och bjälklagsanslutningar på värmeförlusterna, men det s.k. extra värmeflödet vid balkongplatt genomföringar och vid fönstersmygar ökar. I slutet av rapporten ges en allmän genomgång av effekterna efter en invändig tilläggsisolering.
2. Den i verkligheten erhållna energibesparingen blir betydligt mindre för invändig tilläggsisolering än för utvändig av samma tjocklek. Att försumma effekterna av köldbryggor vid bedömning av energibesparingen med invändig tilläggsisolering ger fel i storleksordningen 100%.
3. Ytterväggarnas, takens och golvens temperatur blir ojämna jämfört med förhållandena vid utvändig isolering. Även om ytterväggarnas invändiga yttemperaturer stiger, sjunker temperaturen vid själva köldbryggorna i flera fall. Detta medför
 - a. Dålig komfort. De kalla ytorna påverkar totalupplevelsen av klimatet. Det nämns ofta att man efter en tilläggsisolering kan sänka innetemperaturen eftersom omgivande ytor blir varmare. En sänkt innetemperatur ger en besparing eftersom både transmissions- och ventilationsförluster minskar. Denna effekt är svårbedömbär, men det är tydligt att komforten blir sämre jämfört med en utvändig isolering. Hur inverkan blir i förhållande till tillståndet före isoleringen är svårt att säga.
 - b. Nedsmutsning av invändiga ytor. Genom s.k. termodiffusion, som bl.a. innebär att partiklar snabbast avsätts på ytor med låg temperatur, kommer ytorna att se

smutsiga ut snabbare ju mera ojämn temperaturfördelningen är. Detta leder till ökade underhållskostnader på grund av att tapetsering och målning måste göras oftare än vad som annars skulle varit fallet.

4. Risk för ytkondensation. Eftersom temperaturen på vissa ytor i rummet blir lägre efter en invändig tilläggsisolering kan man förmoda att risken för kondensation, eller relativa fuktigheter större än de kritiska (RF_{krit}), på dessa ytor ökar. De ytor som är mest aktuella är fönstersmygar, där utförandet av isoleringen är väsentlig för ytornas temperatur. Problemet är att det oftast inte finns plats att sätta någon extra isolering i själva smygen. Redan en ganska tunn skiva förbättrar emellertid förhållandena väsentligt.

3.1.2.3 Andersson, Ann-Charlotte, 1979. Invändig tilläggsisolering. Köldbryggor, fukt, rörelser och beständighet.

Doktorsavhandlingen behandlar inverkan av tilläggsisolering på temperatur- och fuktförhållanden i befintliga byggnadsdelar och härav orsakade tekniska konsekvenser. De huvudsakliga problem som behandlas är inverkan av köldbryggor på värmeförluster och ytkondensation, kondensationsrisk i byggnadsdelar, eventuellt ökad risk för frostsador på grund av den invändiga isoleringen samt rörelser och spänningar, orsakade av temperatur- och fukthaltsvariationer.

Den typ av köldbryggor som behandlas är bjälklags- och innerväggsanslutningar, anslutningar mellan yttervägg och betongplatta, fönstersmygar samt i någon mån ytterväggshörn. Efter tilläggsisolering får köldbryggorna ökad inverkan på värmeförlusterna, relativt sett. I ogynnsamma fall kan värmeförlusterna på grund av köldbryggor uppgå till hälften av värmeförlusterna genom ett ytterväggsfält. Den stora relativa effekten beror delvis på att redovisningen är gjord med väggens yttermått som jämförelsestorhet. I rapporten ges även rekommendationer för hur värmeförluster genom liknande köldbryggor kan uppskattas.

Beträffande risk för ytkondensation, som en följd av den invändiga tilläggsisoleringen, är det i första hand fönstersmygar som måste beaktas. Den generella slutsatsen är dock att trots att temperatursänkningen i fönstersmygen kan bli ganska stor efter invändig tilläggsisolering, är risken för ytkondensation liten vid normala klimatförhållanden. Risken för höga relativa fuktigheter ($>RF_{krit}$) som kan ge upphov till mögel eller andra olägenheter diskuteras dock inte i hennes rapport.

I avhandlingen diskuteras också eventuella fuktproblem orsakade av diffusion från inomhusluften. Kondensationsrisk anses föreligga i en befintlig konstruktion om den tilläggsisoleras invändigt utan nytt ångtätt skikt på insidan. Störst risk för fuktproblem erhålls i de fall då den befintliga konstruktionen har ett ångtätt skikt. För konstruktioner med starkt hygroskopiska material kan det beräkningsmässigt ta lång tid innan en fukthaltsökning av betydelse äger rum. I rapporten rekommenderas att

ångspärr generellt används vid invändig tilläggsisolering av ytterväggar. Kombination av fuktutbyte med insidan och samtidigt slagregn från utsidan har dock inte undersökts i denna rapport.

I rapporten redovisas även resultat från laboriemätningar av temperatur- och fuktförhållanden i 1½-stens tegelvägg och 250 mm gasbetongvägg. Noggrannheten för fuktgivarna anses dock vara ganska dålig.

Kondensation i befintliga elledningar anses vara ett allvarligt problem om anslutningen mellan nya eluttag och befintliga ledningar görs genom isoleringen, och inneluft kan passera in i den gamla ledningen.

Datorberäkningar har genomförts för att undersöka effekten av slagregn för några olika fall. Beräkningsresultaten i rapporten tyder på att en invändig tilläggsisolering i de flesta fall påverkar uttorkningshastigheten relativt lite, jämfört med många andra faktorer. Vid kraftiga upprepade slagregn finns det dock risk för att fukthalten i den invändigt tilläggsisolerade väggen succesivt ökar mer än i den ursprungliga.

Beträffade frost och risken för skador har detta undersökts med beräkningar. Invändig isolering har troligen en viss inverkan på frostskaferisken, men inverkan av värmetransporten inifrån anses ha marginell betydelse jämfört med fasadmaterialets egenskaper och klimatpåverkan utifrån.

Avslutningsvis redovisas också resultat från beräkningar avseende temperatur- och fuktrelaterade spänningar i ytterväggar med och utan tilläggsisolering. Beräkningarna tyder på att temperaturspänningarna är av större betydelse än fuktvariationerna.

3.1.2.4 Sandin, Kenneth, 1991. Skalmurskonstruktionens fukt och temperaturbetingelser

I slutet av 1980-talet ansågs skalmurskonstruktionen ha drabbats av ett ökande antal fuktbetingade skador. Dessa skador visade sig främst som frostsprängning i murverket och mögelbildning i den bakomliggande konstruktionen. I debatten om orsakerna till skadorna ågnades stort utrymme åt luftspalt och isolertjocklek.

För att i detalj studera fuktbetingelserna, och hur dessa kan påverkas, utfördes omfattande mätningar i fält och i ett för ändamålet uppfört provhus. I provhuset studerades ett 20-tal olika kombinationer av klimatpåfrestningar och väggkonstruktioner under en 3-årsperiod. Faktorer som varierats är bland annat regn- och solbelastning, luftspaltens bredd, luftspaltens ventilationsöppningar, vindskyddsskiva, isolertjocklek (enbart mineralull användes), ångspärr och utvändigt ytbehandling.

De mätningar som utfördes avsåg främst uteklimat, solstrålning mot fasaderna, slagregnsbelastning mot fasaderna, luftomsättning i luftspalten samt fukt- och temperaturtillstånd i tegelskal, luftspalt, isolering och regler.

När det gäller frostsador är det givetvis förhållandena under den kalla årstiden som är intressanta. Mätningarna visade entydigt att fukt- och temperaturtillståndet i tegelmurverket i stort sett är oberoende av den bakomliggande konstruktionen. I södra och västra Sverige är den normala situationen att tegelmuren på någon fasad, främst mot söder eller väster, blir kapillärmättad någon gång under höst/vinter/vår. Sker frysning/tining vid denna tidpunkt utsätts fasaden för en hård frostpåfrestning. Detta sker sannolikt i de flesta fasader. Frågan är bara hur ofta. I vissa fasader sker det säkerligen många gånger per år. I andra fall sker det kanske en gång vart 50:e år. För att fasaden med säkerhet skall klara sig måste sålunda material som ingår i fasaden tåla frysning/tining i kapillärmättat tillstånd!

Den enda byggnadstekniska åtgärden som kan påverka förhållandena väsentligt enligt rapporten är en utvändigt ytbehandling. En vattenavvisande impregnering kan till exempel minska fuktinnehållet till mycket låga nivåer. Även en traditionell tjockputs sänker det maximala fukttillståndet. Detta får dock inte användas som argument för att använda fasadmaterial med sämre frostbeständighet. Det finns många exempel där en olämplig ytbehandling har medfört accelererande frostsador.

När det gäller lukt- och mögelproblem i regelväggen är det främst förhållandena under den varma årstiden som är avgörande. En grundläggande förutsättning för att inga problem skall uppstå är att direkt kapillärsugning undviks från tegelmuren och in till regelväggen. Detta löser man normalt med en luftspalt eller ett kapillärbrytande isolermaterial utanför regelstommen. Även om väggen konstrueras på traditionellt sätt med en 20 mm luftspalt finns dock risk för mycket höga fukttillstånd i regelväggen enligt resultat från mätningarna. Under ogynnsamma betingelser kan kondensation ske på utsidan av ångspärren. En förutsättning för detta är att en fuktig skalmur utsätts för solbestralning. För syd och västfasader i södra och västra Sverige är denna situation troligen relativt vanlig. Genom att placera en kapillärbrytande mineralullsisolering hindras både bruksspill i luftspalten och kapillär transport från skalmuren till den bakomliggande väggkonstruktionen via brukstuggor. Mot denna lösning har det anförts att man då kan få "omvänd kondens" (sommarkondens). Detta kan inträffa om en blöt skalmur utsätts för kraftig solbestralning. Solstrålningen medför att skalmurens temperatur höjs kraftigt. Detta medför i sin tur att ånghalten i skalmuren höjs och blir väsentligt högre än vid ångspärren. Eftersom mineralullen hindrar ventilationen i luftspalten sker då en fukttransport in i bakväggen, med åtföljande kondensrisk. Den enda säkra lösningen skulle då vara att ha en bred luftspalt som rensas från allt bruksspill. Detta anses dock vara svårt (omöjligt enligt många) att genomföra i praktiken.

Liksom för frostsador har den utvändiga ytbehandlingen stor betydelse avseende risk-
en för lukt- och mögelproblem i ytterväggen. Lyckas man hålla tegelskalet torrt med en
vattenavvisande impregnering finns inga förutsättningar för att fukt skall transporteras
inåt i väggen. Bortsett från denna ytbehandling har den invändiga ångspärren en avgör-
ande betydelse. Finns ingen ångspärr kan fukten fritt transporteras in i rummet, vilket
resulterar i ett lägre fuktillstånd i regelväggen. Att lösa problemet med att avlägsna
ångspärren är dock inte realistiskt, eftersom vissa invändiga ytor ofta är täta, till ex-
empel badrumsväggar.

En annan åtgärd som har en gynnsam inverkan på fuktillståndet är en bred luftspalt
(cirka 50 mm) med stora ventilationsöppningar (var 4:e sten utbytt mot galler). En 20
mm luftspalt med var 4:e stötfog öppen har obetydlig inverkan på fuktillståndet.
Isolertjockleken innanför luftspalten och normala vindskyddsskivor saknar helt
praktisk betydelse enligt författaren.

En åtgärd som kan ha betydelse för att reducera effekten av sommarkondens är att
använda cellplast som isolering. Även kulören på fasaden torde ha stor betydelse. En vit
fasad torde vara väsentligt gynnsammare än en mörk. Dessa faktorer har dock inte
studerats inom projektet.

Kommentar: Cellplast som isolering i en ventilerad luftspalt måste anses som en
mycket riskabel konstruktion ur brandsynvinkel.

3.1.2.5 Odgaard T, Bjarlov S P, Rode C, Vesterløkke M, 2015. Building renovation with interior insulation on solid masonry walls in Denmark – A study of the building segment and possible solutions

De danska flerfamiljshusen från perioden 1850-1930 är unika på så vis att de alla är
byggda på ungefär samma sätt. Det standardiserade sättet att bygga innefattar också att
de bärande delarna av ytterväggarna i varje våningsplan har olika tjocklek, med de
tjockare väggarna längst ned. Under varje fönster är tjockleken däremot alltid 1 sten, då
dessa delar inte är bärande. Ovanför varje fönster är vägg tjockleken däremot
densamma som för de bärande delarna på respektive våningsplan. Gavlarna är i
allmänhet utan fönster och sammanbyggda med grannhuset, varför värme flödet genom
dessa väggar anses försumbart.

Tabell 1: Antal flerfamiljshus och lägenheter i Danmark. Datautdrag från 2014-03-28.

Sorteringskriterier		3-vån	4--vån	5-vån	6+ vån	Summa
Flerfamiljshus, tegelfasad, 1851-1930	Byggnader	5883	2966	5348	635	14832
	Lägenheter	47559	37636	115284	18723	219902
Flerfamiljshus, tegelfasad, 1931-1950	Byggnader	4148	1114	1408	168	6838
	Lägenheter	81604	25470	52289	10436	169799
Samtliga flerfamiljshus	Byggnader	18614	7372	7927	1857	35770

Tabell 2: Ökning av värmeflödesreduktion, från delvis isolering under fönster till fullständig invändig isolering.

Isoleringstjocklek	10 mm	25 mm	50 mm	100 mm
2D-flödesreducering, från delvis till full isolering	26 %	24 %	21 %	19 %
3D-flödesreducering, från delvis till full isolering	149 %	138 %	118 %	104 %

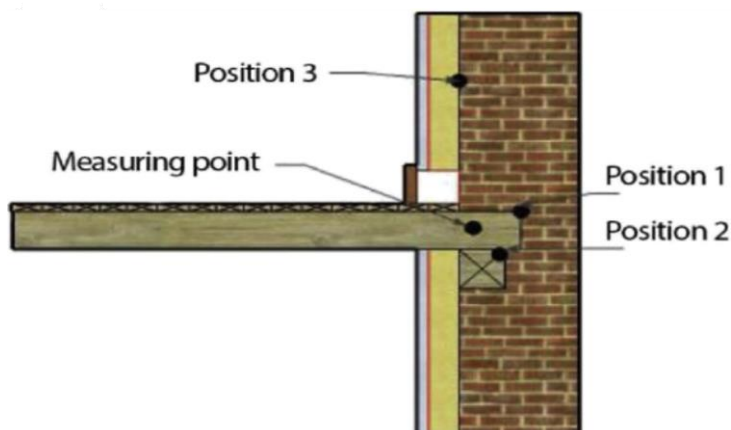
Resultaten från tabell 2 visar att 2D-beräkningar endast visar en måttlig reduktion i värmeflöde då man går från delvis isolerad (endast under fönster) till fullt isolerad insida av ytterväggen. Med 3D simuleringar blir resultatet helt annorlunda. Dessa visar att reduktionen i värmeflöde kan bli fördubblad eller mer, genom att gå från delvis isolerad till fullt isolerad.

Den stora skillnaden mellan 2D- och 3D-beräkningar beror, enligt författarna, på att många fler detaljer inkluderas i 3D-beräkningarna. Författarna drar slutsatsen att 3D-beräkningar är nödvändiga för att få realistiska resultat.

3.1.2.6 Harrestrup M, Svendsen S, 2016. Internal insulation applied in heritage multi-storey buildings with wooden beams embedded in solid masonry brick façades

Projektet handlar om ett flerfamiljshus i Köpenhamn byggt i början av 1900-talet. I samband med renovering undersöktes tre olika system för invändig tilläggsisolering av de homogena tegelytterväggarna.

1. Isolering på alla invändiga ytor.
2. 200 mm utan isolering ovanför samtliga mellanbjälklag.
3. 200 mm utan isolering både ovanför och under mellanbjälklagen.



Figur 5. Sektionsskiss över konstruktionen med 200 mm isolerat område ovanför bjälklaget. Position 1-3 visar var beräkningar skedde med Delphin.

Isoleringen består av 40 mm isolerande material som är en blandning av aerogel och mineralull med värmeledningsförmågan $0,019 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Isoleringsmaterialet har ett så högt ångmotstånd att det anses motsvara en traditionell ångspärr. Mellan isolering och inneluft finns en 10 mm gipsskiva. Temperatur- och RF-sensorer installerades nära bjälklagsändarna. Resultat från mätningarna jämfördes med beräkningar utförda med Delphin Software 5.8. Vid beräkningarna användes material och materialegenskaper från Delphins materialdatabas. Som inomhusklimat användes det uppmätta inom projektet och utomhus användes data från en närliggande klimatstation som tillhör DMI.

Enligt författarna visar jämförelser mellan beräknade och uppmätta resultat god överensstämmelse.

Då 2D-beräkningar genomförs med Delphin, med "elaka" randvillkor får man genomgående högre mögelindex på bjälklagsändar som är orienterade mot norr, jämfört med den mer slagregnsutsatta västra fasaden. Enligt författarna beror detta på mindre solstrålning mot norr. Flertalet beräkningar visar också en ökande trend beträffande mögelindex vilket tyder på att mögeltillväxten ackumuleras från år till år. I allmänhet noteras också mer mögel på vintern än på sommaren. Slutsatsen enligt författarna är att den norra fasaden inte bör tilläggsisoleras på insidan.

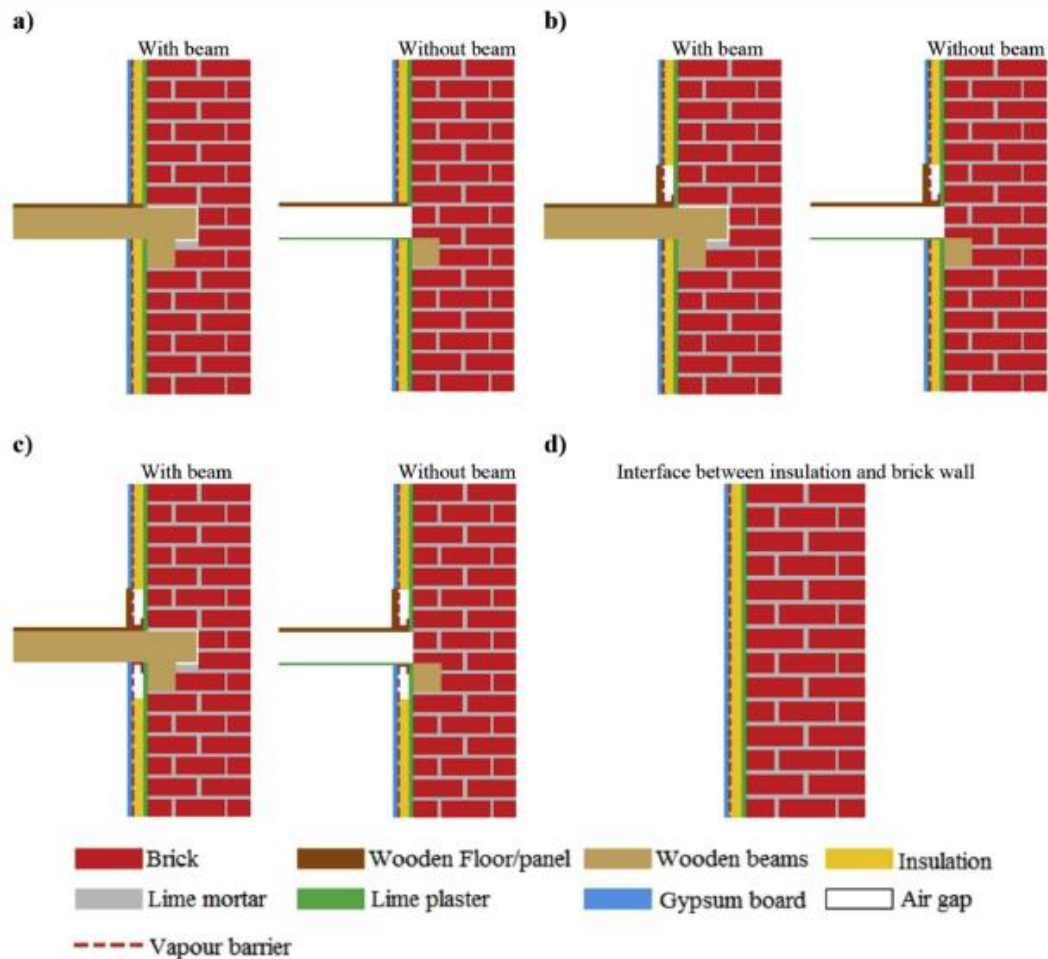
Avsiktlig köldbrygga ovanför bjälklaget reducerar risken för mögel. Om detta kombineras med en avsiktlig köldbrygga även under bjälklaget reduceras mögelrisken ytterligare. För alla beräkningarna bör det noteras att dessa är tvådimensionella vilket betyder att träbalkarna blir kontinuerliga i modellen, medan de i verkligheten har ett centrumavstånd på cirka en meter. Resultaten anses därför konservativa, dvs. risken för mögel överskattas. Resultaten visar tydligt att risken för mögel på bjälklagsändarna ökar med ökad slagregnsbelastning.

Utvärderingen av beräkningarna visar också att det är mycket viktigt att åstadkomma en god lufttätning i de fall då det finns avsiktliga köldbryggor intill bjälklaget. Med avsiktliga köldbryggor finns det även risk för termodiffusion vilket innebär att tunga partiklar i inomhusluften såsom damm och sot samlas på de kallare ytorna och leder till missfärgningar. Jämförelser mellan 40 mm och 80 mm tjock tilläggsisolering ($\lambda=0,019$ W/(m·K)) visar att mögelrisken ökar med ökad tjocklek på isoleringen. Författarna rekommenderar därför att tjockleken för denna typ av isolering bör begränsas till 40 mm.

Beträffande mögelindex visar beräkningar med Delphin att detta blir högre och ökar snabbare för fasader orienterade mot norr, även om slagregnsindex är så lågt som 0,1. Slagregnsindex 0,1 betyder att 10 % av den fria slagregnmängden träffar fasaden. Väggar orienterade mot väster fick också påtaglig mögelpåväxt, enligt beräkningarna, om de utsattes för mycket slagregn (høgt slagregnsindex). Vid jämförelse mellan tegelväggar med tjockleken 1½-sten och 2-sten blir mögelrisken något högre för den tunnare tegelväggen. Enligt författarna beror detta på att den tunnare väggen blir mer påverkad av slagregnet.

Baserat på resultaten i denna och andra undersökningar föreslår författarna följande framtida forskningsbehov inom området.

- Vetenskapliga undersökningar av andra nya isoleringsmaterial, såsom kapillärt aktiva och diffusionsöppna material utan ångspärr.
- Reducera inverkan av slagregn mot fasaden genom att impregnera väggens utsida med ett beständigt material som har lågt ånggenomgångsmotstånd.
- Det bör också undersökas om det går att acceptera viss mögelpåväxt inuti väggen så länge som det inte påverkar inomhusmiljön.



Figur 6. Simuleringsfall som användes vid beräkningarna med Delphin.

Tidigare undersökningar i Danmark av Morelli et al. har visat att det är möjligt att spara upp till 62 % av energibehovet genom att samtidigt tilläggsisolera ytterväggarna invändigt, isolera taket samt byta fönster. Morelli & Svendsen har genomfört beräkningar som visar att slagregn har stor inverkan på risken för röta på bjälklagsändar av trä som ligger på tegelytterväggar i danskt klimat. Andra undersökningar har resulterat i skiftande slutsatser, ibland tycks slagregnet ha stor betydelse, medan andra projekt tyder på liten inverkan från slagregn.

För att minimera risken för mögelpåväxt mellan ursprunglig vägg och invändig isolering är det viktigt att noggrant rengöra den befintliga väggen från allt organiskt material.

Enligt ett arbete utfört av Scheffler och Grunewald kan kapillärt aktiva isoleringsmaterial absorbera kondens och förflytta det till insidan där det kan torka mot inneluften. Laboratorieförsök utförda av Vereecken & Roels visar å andra sidan att kapillärt aktiva isoleringsmaterial ackumulerar mer vatten i gränsskiktet mellan ursprunglig vägg och tilläggsisolering än ett traditionellt system med ”vanlig” isolering och ångspärr på insidan.

Warren et al. installerade värmerör mellan golvkonstruktion och invändig isolering. Åtgärden resulterade i att RF sjönk med 10-14 %.

Anmärkning: Vid beräkning av mögel antogs $RF_{krit}=85\%$

3.1.2.7 Finken G R, Bjarløv S P, Peuhkuri R H, 2016. Effect of impregnation on feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory – A hygrothermal simulation study

I många fall har man använt invändig isolering i kombination med en traditionell ångspärr. Vid oavsiktlig håltagning eller dåligt arbetsutförande kan luftläckaget genom ångspärren orsaka betydande problem då fuktig inomhusluft kyls av på den kalla sidan av isoleringen. Den traditionella ångspärren förhindrar även uttorkning av fukt från utsidan. I en del fall har man försökt åtgärda detta genom att ersätta ångspärren med en smart ångbroms som har lågt ångmotstånd då den relativa fuktigheten är hög.

Ett relativt nytt koncept som provats under de senaste decennierna är att använda en kapillärt aktiv isolering som transporterar kondens från den kalla sidan av isoleringen till inomhusluften. En förutsättning för att detta ska fungera är förstås att det inte finns något som hindrar avdunstningen, såsom inredning eller täta ytbehandlingar. Lösningar av denna typ leder givetvis också till att vattenånga från inomhusluften enkelt kan transporteras genom isoleringen. Enligt författarna utgörs kapillärt aktiva isoleringar ofta av kalciumsilikat (CaSi), autoklaverad lättbetong (AAC) eller andra material såsom PUR-isolering med tunna kanaler av murbruk. Under senare år har intresset också ökat för biologiska isoleringsmaterial såsom fårull, hampa, jute och lin. Alla dessa material är i viss omfattning också kapillärt aktiva. Förespråkarna för dessa produkter hänvisar gärna till lyckade exempel som Rijksmuseum Amsterdam och byggnaden på Tallstrasse i Dresden. I båda fallen applicerades en relativt tunn invändig isolering av CaSi på de tjocka ytterväggarna. Huset i Dresden har väggar som består av 435 mm tegelmurverk och 150 mm sandsten, medan Rijksmuseum i Amsterdam har väggar som utgörs av 480 mm tegel och 120 mm klinker. Författarna ifrågasätter om dessa erfarenheter direkt kan översättas till danska förhållanden där ytterväggarna är betydligt tunnare, i vissa fall endast cirka 350 mm tjocka (1½-sten). Under fönster är väggarna ännu tunnare med en tjocklek av 228 mm (1-sten). De tunnare väggarna leder till ett större fuktflöde från slagregn, vilket ökar mängden kondens mellan ursprunglig vägg och isolering. Undersökningar utförda av Künzle visar att upp till 70% av slagregnet som träffar fasaden kan absorberas av porösa material. En kombination av

tunn ursprunglig vägg och tjock invändig isolering bedöms som extra farlig av författarna.

Författarna har även hittat en referens (WTA Merkblatt 6-4-09/D: Innendämmung nach WTA 1: Planungsleitfaden, 2010) där det hävdas att existerande byggnader bara får förses med invändig isolering om fasaden är skyddad mot slagregn. Enligt författarna betyder detta att i de fall då fasaden inte är skyddad av omgivningen, av konstruktivt skydd som takfot etc. så måste den impregneras.

Rapporten redovisar resultat från simuleringar med WUFI-Pro 5.3 samt resultat från en fallstudie i Borch sovsalshus byggt 1825 och beläget i Köpenhamn.

Tre olika isoleringsmaterial undersöktes vid simuleringarna; 1) autoklaverad lättbetong (ACC); 2) Kalciumsilikat (CaSi); 3) PUR-isolering med 4 mm genomgående kanaler fyllda med murbruk (IQ-Therm). Tjockleken på isoleringen varierade mellan 30-100 mm. Simuleringarna utfördes med eller utan utvändig impregnering. Tegelväggens tjocklek är konstant 228 mm (1-sten). Vid samtliga simuleringar antas väggen vara orienterad mot väster, som har den högsta slagregnsbelastningen. Väderdata från Lund användes vid simuleringarna då klimatdata för Köpenhamn saknas i WUFI. Fukttillskottet antogs som normalt enligt EN15026.

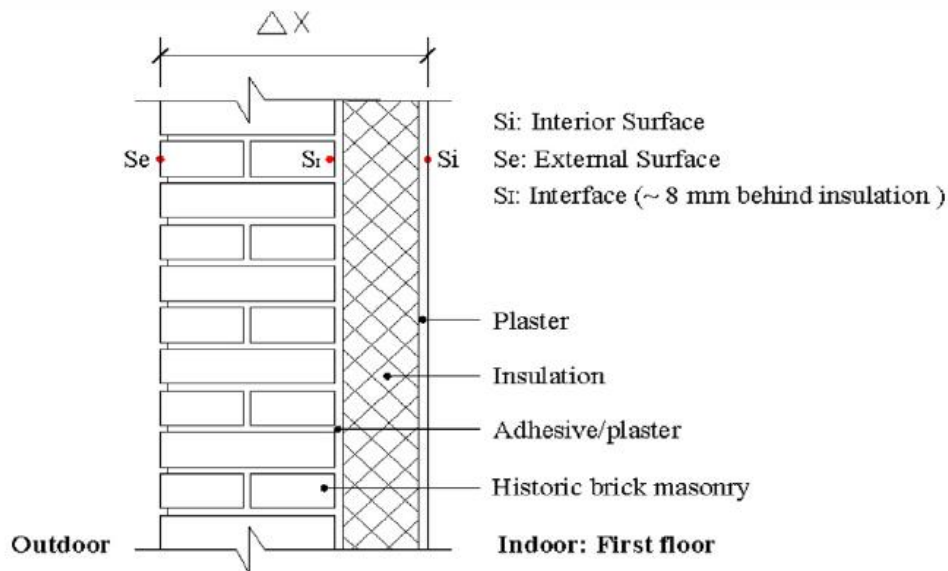
Resultat från simuleringarna med WUFI visar att samtliga fall med invändig tilläggsisolering ger hög maximal risk för mögelpåväxt (Mögelindex=6 enligt en skala mellan 1-6, där 6 betyder högst mögelrisk) mellan isolering och ursprunglig vägg ($RF > 80\%$). Med autoklaverad lättbetong blev RF högre mellan isolering och ursprunglig vägg, jämfört med referensfallet utan isolering. Isolering med CaSi gav en mögelrisk på 3,2 respektive 3,8 på insidan av den nya väggen, medan övriga testade material gav mögelrisken noll.

Författarna spekulerar om de använt för hårda randvillkor vid simuleringarna (byggnadens höjd, orientering mot maximal slagregnbelastning, $RF_{krit} = 80\%$).

Alla system med invändig isolering ger tydlig reduktion av det endimensionella värme-flödet, höjer den invändiga yttemperaturen och sänker den utvändiga yttemperaturen. För att uppfylla nu gällande krav på U-värde i Danmark krävs minst 150 mm isolering om IQ-Therm används. Enbart utvändig fasadimpregnering ger en avsevärd höjning av den lägsta invändiga yttemperaturen, från 9,2 °C till 14,5 °C.

Beträffande livslängden för impregnering av fasader visar tyska erfarenheter att den i vissa fall är >30 år medan den skyddande förmågan har försvunnit redan efter några få år i andra objekt. I uppsatsen har man även undersökt när på året impregneringen bör

ske. Enligt simuleringarna ger impregnering i mars eller juni den kortaste uttorkningstiden. Künzle och Kieβl har kommit till slutsatsen att bäst resultat erhålls om impregneringen utförs en tid före applicering av invändig isolering.



Figur 7. Sektionsskiss över ytterväggen med invändig tilläggsisolering. Se, St samt Si visar de punkter där simuleringar utförts med 1D versionen av WUFI. Den ursprungliga väggen utgörs från utsidan räknat av 1-stens tegelmurverk samt puts.

Den viktigaste slutsatsen från undersökningen är att kapillärt aktiva invändiga isoleringar inte bör användas utan en kompletterande fasadimpregnering på utsidan av den ursprungliga tegelmuren. Detta är speciellt viktigt i byggnader med tunna tegelmurar och hög slagregnsbelastning. Innan impregnering utförts är det viktigt att täta eventuella sprickor och åtgärda dåliga fogar för att reducera mängden inträngande vatten från slagregn. Även med traditionellt utförd invändig tilläggsisolering med mineralull och invändig ångspärr anser författarna att impregnering bör utföras.

Anmärkning: I inledningen nämns att fallstudie i ett äldre hus i Köpenhamn ska jämföras med beräknade resultat. I uppsatsen nämns dock inget om fallstudien, förutom att den ursprungliga väggens tjocklek är densamma som i den aktuella byggnaden.

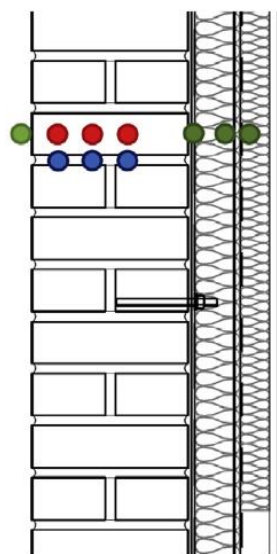
Samtliga simuleringar har utförts med den endimensionella versionen av WUFI.

3.1.2.8 Abdul Hamid A, Wallentén P, 2017. Hygrothermal assessment of internally added thermal insulation on external brick walls in Swedish multifamily buildings

Uppsatsen beskriver två fallstudier, ett fall med och ett utan invändig isolering på en homogen fasadtegelmur.

Mätningar i byggnad utan isolering skedde i 1½-stens tegelväggar i V-byggnaden, Lund. Totalt 26 sensorer för att mäta RF och temperatur installerades mot olika väderstreck och på olika djup i tegelväggarna. Även RF och temperatur inomhus registrerades under de sex månader som mätningarna pågick. Kortfattat visar resultaten från mätningarna i Lund att den norra väggen är kallare och fuktigare än ytterväggar exponerade mot andra väderstreck. Specialstudium av mätningarna under den kallaste månaden visar att väggarna som väntat är blötare ju närmare utsidan man kommer. Studium av den varmaste månaden visar att solstrålning och slagregn har stor betydelse. Trots att den södra fasaden belastas av mest slagregn är det den torraste väggen under sommarmånaden, vilket kan förklaras med att solstrålningen är störst mot söder. Enligt författarna tyder resultaten på att fukt transporteras inåt under sommaren pga. solstrålningen, vilket dock inte går att bevisa med de mätningar som står till buds.

I Örebro renoverades ett område med flerbostadshus 2013-2016. En av åtgärderna i samband med ombyggnaden var att tilläggsisolera ytterväggarna enligt figur 8. Utomhusklimatet hämtades från SMHI:s klimatstation i Örebro. Däremot finns det inga mätningar av inomhusklimatet under mätperioden då hyresgästerna inte tillät att sådana mätningar utfördes i deras lägenheter. Beträffande mätresultaten i tegelfasaderna överensstämmer dessa i huvudsak med resultaten från Lund. Till skillnad mot Lund är det dock mindre temperaturdifferenser på olika djup i tegelskalet. Detta beror sannolikt på att värmeflödet från insidan blir kraftigt reducerat som en följd av den invändiga isoleringen. Det finns även märkbara skillnader i RF mellan plan tre och fem, med högre RF på plan fem. Detta beror troligen på att det högre belägna våningsplanet utsätts för mer slagregn. I det område där mätningarna genomfördes fanns stålreglar mellan de invändiga skivorna av mineralull. Om stålreglarna varit av trä hade fukttransporten under sommaren från utsidan gett upphov till hygrotermiska förhållanden gynnsamma för mögel under flera dagar i följd. Det är därför mycket viktigt att undvika träbaserade material samt noggrant rengöra alla ytor innan en invändig tilläggsisolering appliceras.



From the outside in:

- 1 stone (250 mm) SBM
- 15 mm cavity
- 70 mm mineral wool between steel studs
- 0.2 mm vapor barrier (PE-foil)
- 45 mm mineral wool between wooden studs
- 12 mm OSB
- 13 mm gypsum board

Figur 8. Sektionsskiss över de norra och södra ytterväggarna i Örebro efter utförd tilläggsisolering. Placering av sensorer i väggarna: röd – tegel, blå – murbruk, grön – luft-/mineralull. Sensorerna i tegelväggen är placerade cirka 90, 150 och 200 mm från insidan.

Simuleringarna utfördes med 1D-versionen av WUFI Pro. Då materialdata saknas för de verkliga materialen utfördes initialt beräkningar för att finna de tegel- och bruk i WUFI:s materialdatabas som gav bäst överensstämmelse med mätresultaten. De inledande beräkningarna visade att det blev relativt stora skillnader mellan olika tegelarter, speciellt i närheten av utsidan. De efterföljande simuleringarna visade överlag god överensstämmelse med de uppmätta resultaten. För vissa materialkombinationer blev överensstämmelsen god under vissa månader, medan differenserna var relativt stora under andra månader. Enligt författarna är den enskilt mest betydelsefulla faktorn för att reducera risken för mögelpåväxt på organiska material och armeringskorrosion i teglet att reducera mängden slagregn som belastar fasaden. En sådan reduktion kan åstadkommas med en ångöppen och vattenavvisande impregnering av silan eller siloxan.

I tabellen nedan framgår de olika system som användes vid simuleringarna.

Tabell 3: Isoleringssystem som används vid simuleringarna med WUFI Pro.

Fall	System	Isoleringstyp
1	Kalcium silikat (CaSi) ($\lambda=0,05$ W/(mK), $d=0,149$ m)	Kapillärt aktivt, diffusionsöppen
2	EPS ($\lambda=0,04$ W/(mK), $d=0,115$ m)	Ångtät
3	- Mineralull - PE-film - Mineralull ($\lambda=0,04$ W/(mK), $d=0,115$ m)	Diffusionsöppen Ångtät Diffusionsöppen
4	3 + vattenavvisande medel	Diffusionstät + ångtät+vattenavvisande

För att undersöka vilket svenskt klimat som gav de sämsta förutsättningarna, dvs. störst risk för fuktproblem, testades ett antal orter tillgängliga via SMHI. Klimatdatafilen från Malmö gav störst risk för mögel med de givna förutsättningarna, medan klimatdata från Norrköping visade störst risk för mögel om hänsyn togs till absorption av slagregn.

En mögelmodell (MRD = Mould Resistance Design) används för att bedöma risken för mögel. Simuleringarna visar att det finns risk för märkbar mögelpåväxt om fukten drivs inåt av sol mot en blött fasad. Om det finns biologiska material uppstår det enligt författarna risk för mögel mellan isolering och ursprunglig vägg samt på den kalla sidan av en ny ångspärr mot en tilläggsisolering.

Risken för armeringskorrosion undersöktes också. Resultat från simuleringarna visar att korrosionsrisken är störst på djupen 30 mm och 90 mm från utsidan. Det finns risk för armeringskorrosion både med och utan invändig isolering. Isolering som vanligen används, dvs. mineralull tycks öka risken något för korrosion, medan kapillärt aktiva isoleringsprodukter fungerar bättre ur denna synvinkel.

Faktorer som anses ha stort inflytande på resultatet vid simuleringar är bl.a. fuktproduktion, utomhusklimat, väderstreck, byggnadens höjd i förhållande till omgivningen, byggnadsmaterial samt solstrålning och slagregn.

3.1.2.9 Odgaard, T., Bjarløv, S. P., Rode, C., 2018. Interior insulation – Experimental investigation of hygrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry façades in a listed building

Uppsatsen redovisar resultat från fältmätningar i ett sovsalshus i Köpenhamn uppfört 1823. Mätningarna påbörjades i november 2014 och pågick i 2 år och 8 månader. Syftet med projektet var att undersöka i vilken omfattning som en invändig diffusionsöppen isolering påverkade risken för frostsador, mögel och röta på trä i bjälklaget. Väggen där försöken utfördes ligger i skyddat läge i förhållande till den dominerande slagregnsriktningen från väster. De ursprungliga ytterväggarna är byggda av homogent rött tegel med kalkputs på både in- och utsida. Vid försökets början fanns inga synliga sprickor i fasaden.

Under ett fönster placerades 100 mm diffusionsöppen isolering av ”Ytong Multipor Mineral Insulation Boards”. Isoleringen placeras dikt an mot den ursprungliga väggen och försågs med ett tunt lager murbruk mot rummet. I ett angränsande rum genomfördes jämförande mätningar på ett ursprungligt väggparti.

Anmärkning: I uppsatsen nämns inget om eventuell ytbehandling på insidan av tilläggsisoleringen.

Frostrisk: Väggen med invändig isolering blev våtare än referensväggen. Inga synliga frostsador kunde noteras under och efter experimentet. Försöksväggarna var exponerade mot innergården vilket gav skyddade förhållanden, vilket bland annat medförde att temperaturen aldrig var under noll under försöksperioden.

Vid simuleringar för att bedöma risken för mögel och röta har författarna använt modeller från VTT i Finland. Det bör också nämnas att fuktillskottet var relativt måttligt vilket innebär att det ligger mellan klimatklass 1 och 2 enligt EN-ISO 13788.

Mögel: Ingen mögelpåväxt noterades, vare sig via simuleringarna eller via okulära besiktningar. Detta gäller både för den tilläggsisolerade väggen och för referensväggen.

Röta: Bedömningen av röta avser de upplag av trä som finns i bjälklagen. Simuleringarna visar ingen risk för röta.

3.1.2.10 Odgaard, T., Bjarløv, S. P., Rode, C., 2018. Interior insulation – Characterization of the historic, solid masonry building segment and analysis of the heat saving potential by 1d, 2d, and 3d simulation

Uppsatsen redovisar att 41 % av alla flerfamiljshus i Danmark har solida tegelytterväggar byggda under perioden 1851-1930. Dessa byggnader uppfördes i princip efter samma regelverk. Ytterväggarna från 1851-1930 var i allmänhet uppförda med massivt tegel, med eller utan puts, och med upplag av trä för bjälklagen. Tjockleken på väggarna varierar från 1½-sten längst upp till 3½-sten för källarväggarna i ett hus med sju våningar, inklusive källaren. Fönster placerades mellan dessa bärande tegelpelare och tjockleken på tegelpartier under fönster är alltid 1-sten (228 mm), oberoende av våningsplan.

Under perioden 1930-1950 introducerades skalmurar samt betong och stål i flerbostadshusen. Byggnadernas geometri var däremot i stort sett oförändrad. Under denna period uppfördes 19 % av samtliga flerbostadshus i Danmark. Detta innebär att under perioden 1850-1950 uppfördes 60 % av alla flerfamiljshus i Danmark med mer än två våningar.

Det genomsnittliga energibehovet för uppvärmning och varmvatten för danska flerfamiljshus byggda 1850-1950 uppskattas till 150-155 kWh/m². I förhållande till det totala energibehovet för uppvärmning och varmvatten i samtliga danska flerfamiljshus motsvarar detta 38,3% respektive 20,7%.

I likhet med Sverige har nästan alla byggnader från perioden 1850-1950 fasader som är skyddsvärda, varför utvändigt tilläggsisolering är ett otänkbart alternativ.

Liksom i Sverige har man identifierat ett antal negativa konsekvenser med invändig tilläggsisolering som måste beaktas vid energieffektivisering av dessa byggnader: 1) En

del köldbryggor som inte går att eliminera; 2) Den uthyrningsbara arean reduceras; 3) Förändringar av de invändiga ytorna; 4) Risk för ökat fuktinnehåll i de ursprungliga materialen; 5) En avsevärd temperaturreduktion i några av de ursprungliga delarna av fasaden.

Simuleringar i 1D, 2D respektive 3D visar stora skillnader. Med beräkningar i en dimension kan effekten av köldbryggor inte beaktas på ett tillfredsställande sätt. Beträffande den beräknade skillnaden mellan beräkningar utförda i 2D och 3D för den aktuella byggnaden visar resultaten att 2D simuleringen överskattar effekten av köldbryggorna i det oisolerade fallet medan 2D-beräkningarna underskattade det resulterande U-värdet med 55-57 % i fallet med 100 mm invändig isolering.

Med en invändig isolering som täcker alla möjliga ytor reduceras det genomsnittliga U-värdet med 45 % för det specifika fallet.

I uppsatsen har man med 3D-simuleringar också undersökt alternativet att enbart isolera den tunna väggdel som finns under samtliga fönster i denna byggnadstyp. Att enbart isolera denna begränsade area skulle för danska förhållanden reducera transmissionsförlusterna med 33-40 %, jämfört med att isolera hela den synliga delen av ytterväggens insida.

Anmärkning: Författaren diskuterar inte att det finns radiatorer under åtminstone vartannat fönster och hur denna omständighet påverkar de ekonomiska och tekniska förutsättningarna.

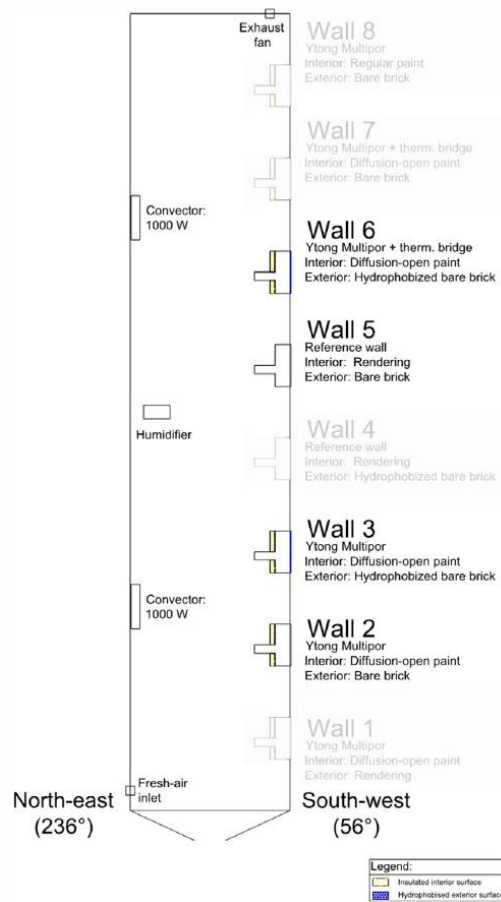
3.1.2.11 Odgaard, T., Bjarløv, S. P., Rode, C., 2018. Influence of hydrophobation and deliberate thermal bridge on hygrothermal conditions of internally insulated historic solid masonry walls with built-in wood

Åtta stycken 1 × 2 m testväggar av homogena murverkskonstruktioner med anslutande trädetaljer installerades i en isolerad container. Insidan av väggarna isolerades med 100 mm lättbetong (AAC= Autoclaved Aerated Concrete). Några av väggarna kompletterades med en utvändig hydrofobering, medan någon försågs med en avsiktlig köldbrygga. Relativ fuktighet och temperatur mättes under 2 år i tio olika positioner. Mängden slagregn mättes hela tiden, liksom fuktillskottet inuti containern. Storleken på fuktillskottet motsvarar den högsta klassen för lägenheter!

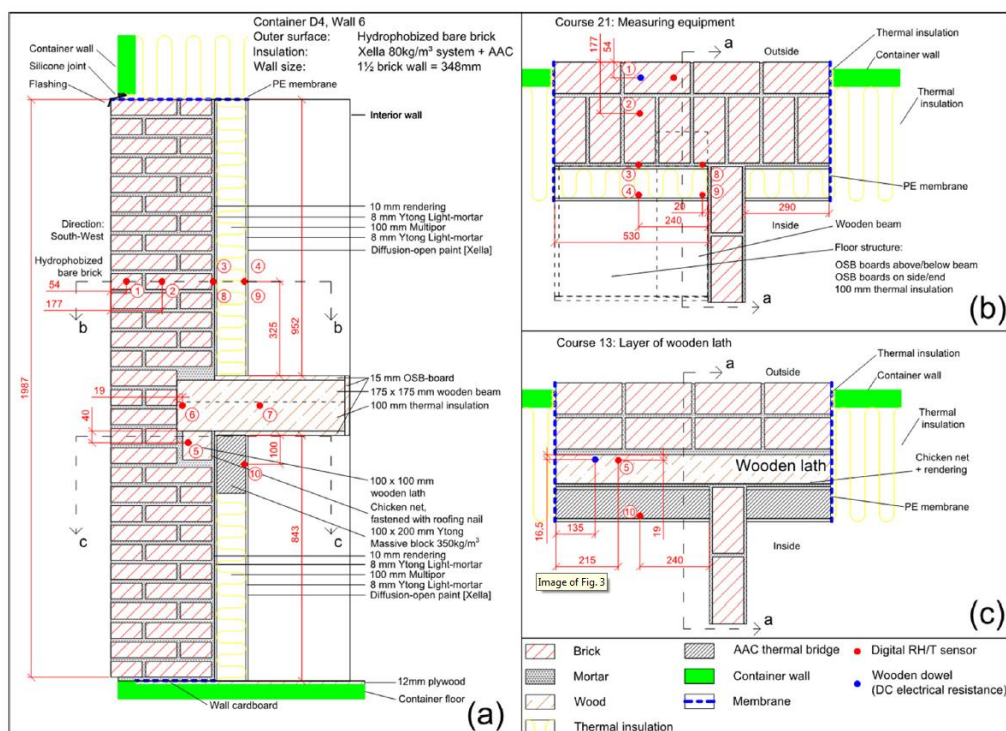
Fältförsöken utfördes i en container med fasaden riktad mot sydväst för att få maximal mängd slagregn och även mycket solstrålning som kan ge en inåtriktad fukttransport under soliga dagar. I containern sågades 8 hål för montering av 8 identiska tegelväggar inklusive ett anslutande mellanbjälklag med träbalkar upplagda inuti tegelväggen.

Efter uttorkning instrumenterades väggarna. Samtliga sensorer kalibrerades individuellt innan de byggdes in i konstruktionerna. Inuti containern styrdes klimatet med två värmekällor och en befuktare. Möjlighet att kyla och avfukta luften fanns inte. Containern är också försedd med en fläkt som kan ge 0,5 oms/h i utrymmet. Under sommartid användes den också för att reducera temperatur och relativ fuktighet inuti containern. Klimatet utomhus registrerades av DTU via en lokal klimatstation 160 m från byggnaden. Slagregn uppmättes lokalt under den senare delen av mätperioden. Under övrig tid beräknades slagregnet med en matematisk modell. Mätningarna pågick från 2015-05-01 till 2017-05-01. Under mätperioden försökte man följa en standard för fuktillskottet som innebär att det är 6 g/m³ då temperaturen är under 0 °C och avtar linjärt till 0,75 g/m³ vid 20 °C.

I nedanstående figur framgår vilka väggar som ingår i denna studie. Totalt fyra väggar ingår varav en referensvägg och övriga tre med invändig isolering av "Ytong Multipor". På insidan av de tre väggarna med lättbetong applicerades en diffusionsöppen färg. Två av tegelväggarna är hydrofoberade (på utsidan). I Wall 6 finns en avsiktlig köldbrygga. Läget av denna framgår av figur 10a.



Figur 9. Översikt över de undersökta väggarna i denna studie. Endast resultat från Wall 2, 3, 5 och 6 redovisas i denna uppsats.



Figur 10. Illustration över väggarna och placeringen av mätpunkterna.

Mögelmodellen visade risk för mögel på ytan mellan isoleringen av lättbetong och det ursprungliga murverket. Mätningarna visar att kombinationen av reducerat värmeflöde och diffusionsöppen invändig isolering är ofördelaktigt under vintern vilket kan resultera i kondens på denna yta. Med hydrofobering blir situationen bättre. Hydrofobering av väggens utsida reducerade den relativa fuktigheten i väggen då den var exponerad för typiskt danskt klimat, trots att den ökade under vintern på grund av minskad uttorkningspotential mot utsidan.

Tidigare studier har visat att hydrofobering reducerar fukttinnehållet i väggarna och reducerar värmeflödet genom väggen. Tidigare danska studier av Engel har visat att "Funcosil FC" med 10-60 % aktiva ingredienser ändrar egenskaperna beträffande kapillär uppsugning medan diffusionen i stort sett förblev oförändrad. Ett från början blött material fick försämrade uttorkningsmöjligheter efter applicering av det hydrofoberande medlet.

Däremot fanns ingen risk för mögel på invändiga ytor enligt beräkningarna. Under vintern var RF högst på den oisolerade väggytan. Lägst RF på den invändiga ytan under sommaren hade den icke-hydrofoberade väggen.

Modelleringen visade också risk för röta i trädetaljer, för både oisolerad och isolerad vägg. I referensväggen (Wall 5) fanns risk för röta under perioden maj-juli. I väggen med invändig tilläggsisolering utan hydrofobering (Wall 2) finns risk för röta under perioden april-juli. Invändig isolering kombinerad med hydrofobering (Wall 3) reducerar RF så pass mycket att ingen beräkningsmässig nedbrytning av träet förekommer. Med avsiktlig köldbrygga (Wall 6) ökar temperaturen under vintern och risken för röta reduceras ytterligare jämfört med Wall 3.

Fuktkällor som i huvudsak påverkar den yttre ytan av en fasad är uteluftens relativa fuktighet och slagregn. Tidigare erfarenheter visar att slagregn har stor inverkan på fuktnivåerna i en vägg med invändig tilläggsisolering. Resultat från mätningarna i detta projekt visar att kraftiga slagregn under sommaren endast leder till temporär ökning av RF i bjälklagsändarna av trä. Under vintern har slagregnen ganska liten betydelse för RF i de utsatta trädelarna. Under vintern är däremot RF generellt högre än under sommaren.

Risken för mögel och röta har beräknats med hjälp av en modell baserad på finska mätningar utförda vid VTT.

Anmärkning: Fukttillskottet som används vid försöken är mycket högt för normala bostäder, 6 g/m³ då utomhustemperaturen är under 0 °C. Höga fukttillskott kan förekomma i utrymmen med låg ventilationsintensitet. Det är därför viktigt att kontrollera ventilationen i samband med energieffektiviseringar av detta slag.

3.2 Resultat från intervjuer

De två medlemsföretag i Bebo som utvaldes för intervjuer om användning av invändig tilläggsisolering var Uppsalahem och Stena Fastigheter AB. De valdes på grund av att det ena företaget förra fallet tillämpat invändig isolering och i båda fallen framhållit ett behov av denna typ av isolering vid planeringen av renoveringsåtgärder såväl i enskilda fall som i långsiktig strategisk planering. Denna hållning från företrädarna för företagen hade redan framkommit, när ett större antal Bebo-företag intervjuades om varsam ombyggnad inom ramen för ett tidigare Bebo-projekt, Fristedt S. och Högdal K.; Varsamhet vid ombyggnad för energieffektivisering av flerbostadshus, 2015.

Uppsalahem redovisade där att de tillämpat invändig isolering vid renovering av två bostadsområden. Uppgiftslämnare till detta projekt var Uppsalahems dåvarande byggnadschef och projektledare inom bolaget. Den nu aktuella intervjun med bolaget skedde med dess energiansvarige som i sin tur hämtade uppgifter från förvaltarna för respektive område.

Stena Fastigheter AB valdes på grund av att bolagets energi- och miljöchef tidigare intervjuats inom ramen för ovan nämnda Bebo-projekt, då han innehade motsvarande

befattning inom fastighetsaktiebolaget Poseidon. Inom det senare bolaget hade man tagit upp frågan om val mellan invändig och utvändig isolering med avseende på den strategiska planeringen för kommande renoveringar av hela bostadsområden, där bevarandefrågor aktualiserats. Respondenten kunde i detta fall lämna synpunkter från de båda dessa fastighetsbolag då han driver motsvarande frågeställningar inom Stena Fastigheter som inom Poseidon AB.

3.2.1 Uppsalahem

Som exempel på objekt med tillämpning av invändig tilläggsisolering tas här två exempel från Uppsalahem, som är medlemsföretag i BeBo. Uppgifterna kommer främst från Uppsalahems energiansvarige och projektchef energi, Tomas Nordqvist.

3.2.1.1 Kvarteret Gröna Gatan

Uppsalahem påbörjade 2009 ett projekt för renovering av bostadsbyggnader i kvarteret Gröna Gatan 2 med adress Johannesbäcksgatan 2 i Uppsala. Projektet innebar en renovering av ett bostadsområde från tidigt 1950-tal byggt som en slingrande men sammanhängande byggnadskropp, sammantaget 1,8 kilometer lång. Befintliga ytterväggar bestod av slammat 1-stens tegel, 70 mm träullsplattor och invändig puts. Balkongpartier i vardagsrum bestod av 20 mm träpanel, 50 mm kartong med luftspalter, förhydningspapp och 13 mm gipsskiva. Fönster var kopplade tvåglasfönster. Inga träullsplattor fanns bakom radiatorer. Byggnadstekniska åtgärder som gjorts för att minska energianvändningen är följande:

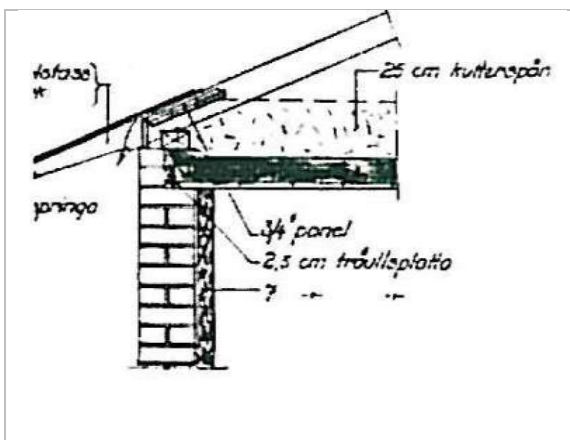
- 400 mm lösull på vindsbjälklag (gammal isolering borttagen)
- Utfackningsväggar i vardagsrum isoleras på insidan med 175 mm mineralull mellan reglar och 13 mm gipsskiva utan plastfilm
- Invändig tilläggsisolering av yttervägg i radiatornischer under fönstren i sovrum och kök med 70 mm mineralull mellan reglar, 13 mm gipsskiva, utan plastfilm.
- Invändig tilläggsisolering av ytterväggar i f.d. lokaler med 70 mm mineralull mellan reglar, 13 mm gipsskiva, ingen plastfilm.
- Befintliga fönster har kompletterats med isolerglasruta i befintlig innerbåge, till $U=1,25 \text{ W/m}^2$.

Till detta kommer ventilationsåtgärder i form av installation av FTX-system och att värmesystemets samtliga radiatorer har bytts ut. (1)



Figur 11. Fasad efter renovering kv. Gröna Gatan, Uppsala. Foto: Uppsalahem

(1) Levin, P., Jakobsson, N., 2011. Demonstrationsprojekt för energieffektivisering i befintliga flerbostadshus från miljonprogramstiden: Slutrapport för Johannesbäcksgatan 48 A-B – Uppsalahem. BeBo. (Tillgänglig via <http://www.bebostad.se/projekt/bygg-renoveringsprojekt/groena-gatan-uppsalahem-utvaerderad-renovering/>)



Figur 12. Sektion vid takfot inom kv. Gröna gatan som detaljen var före åtgärder.



Figur 13. Gröna gatan efter renovering. Foto: Uppsalahem

Som framgår av bifogad ursprunglig detaljsektion tagen vid takfot så har byggnaderna inom kv. Gröna gatan från uppförandet varit invändigt isolerade. Materialet är 70 mm träullsplatta utan plastfilm men invändig puts.

Isoleringen har vid den senaste ombyggnaden kompletterats med tilläggsisolering i radiatornischer och utfackningsväggar i vardagsrum.

Den ursprungliga och nu bibehållna träullsisoleringen har hygroskopiska egenskaper.

3.2.1.2 Kvarteret Kvarngärdet

Samtliga lägenheter inom en etapp av ombyggnadsprojektet för kvarteret Kvarngärdet har tilläggsisolerats invändigt. Detta på grund av hela kvarteret har givits ett högt bevarandevärde trots att det formellt inte är kulturskyddat; men anses i princip vara i paritet med riksintresse genom att det representerar miljonprogramssatsningen på 1960- och -70 talen. Denna del av kvarteret är byggt under tidigt 1960-tal. Arkitekter var Ancker, Gate, Lindegren och konstruktör var uppsalafirman Bjerking's Ingenjörbyrå.

Kraven på U-värde vid ombyggnaden sattes till $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$. Befintligt U-värde var cirka $0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lägenhet med yttervägg i husgavel med uppskattat befintligt U-värde på $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ har efter utförd tilläggsisolering $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.

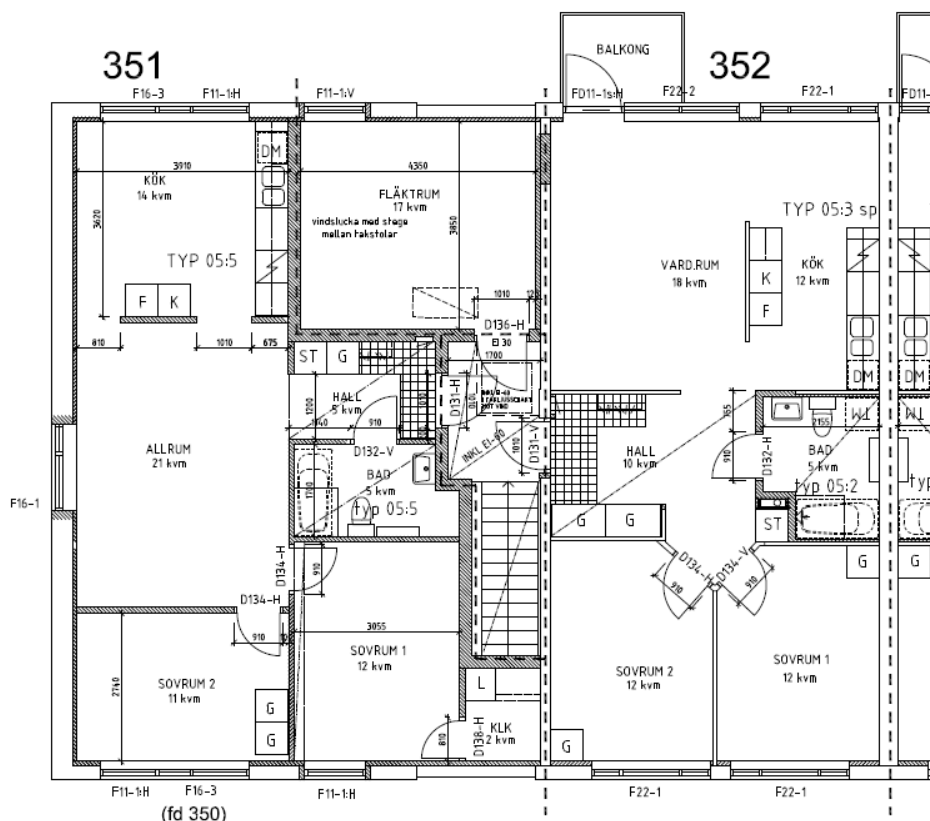
Samtliga ytterväggar har tilläggsisolerats men inte lägenhetsskiljande väggar eller väggar i trapphus.

Isoleringen har skett med 50 mm mineralull, plåtreklar, gipsskivor med plastskikt innanför. Komplettering av vindsisolering har utförts likaså har isolering skett vid anslutning mot nya balkonger. Nya fönster, nya entrédörrar och FTX-system har installerats.

Efter invändiga fasadåtgärder och installation av FTX- ventilation har man nått från $180 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ till $90 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$. Inga skador på fasaderna har observerats efter det att tilläggsisoleringen genomförts.



Figur 14. Fasader som visar utseendet efter ombyggnad av del av kvarteret Kvarngärdet i Uppsala. Fasaden är i allt väsentligt oförändrad tack vare invändig isolering. Foto: Uppsalahem



Figur 15. Plan avseende ombyggnad av Kvarteret Kvarngärdet i Uppsala, Den visar bland annat utsträckningen av den invändiga tilläggsisoleringen. Markering av invändig tilläggsisolering har skett med kryssad skraffering längs ytterväggar.

3.2.2 Stena Fastigheter AB

Stena Fastigheter AB som är medlem av BeBo-gruppen har valts ut för att ge synpunkter och erfarenheter från fastighetsägar- och förvaltarsidan vad gäller metoder för tilläggsisolering och i synnerhet vilken nytta man skulle kunna ha av säkra metoder för invändig tilläggsisolering.

Representant för Stena Fastigheter har varit firmans energi- och miljöchef, Mattias Westher. Han har även erfarenheter från ett annat BeBo-företag nämligen Bostads AB Poseidon, där han var verksam som energiansvarig innan han övergick till Stena Fastigheter. Den diskussion som förts med honom har gällt främst hans erfarenheter från det senare bolaget. Han tog upp ett antal exempel från bolagets verksamhet, där frågan om invändig isolering aktualiserats i planeringen. Men eftersom samtalen avsett en generell bedömning av nytta och risker med invändig isolering har hans erfarenheter även inom Poseidon kommit väl tillpass.

3.2.2.1 Byggnader från tidigt 1900-tal inom stenstaden

Stena Fastigheter förvaltar utöver sitt eget bestånd även fastigheter som ägs av Förvaltnings AB Rödsten som inriktat sig på att bygga upp ett bestånd med högklassiga byggnader från tidigt 1900-tal, främst sådana som är centralt belägna i Göteborg och är byggda av rött tegel. En för orten karaktäristisk typ av bebyggelse med högkvalitativ arkitektur och gediget byggnadshantverk. Husen är uppförda i massivtegel med mycket tjocka murar i de lägre våningarna och slutar i de övre våningarna med 1½-stens tegelmurar. (Enligt Göteborgs Stads Byggnadsordning från 1874 skulle hus med fyra våningar i fasad ha 2½ sten i första våningen, 2 sten i andra och tredje och 1½ sten i fjärde.) I det aktuella beståndet av tegelbyggnader kan hushöjder ända upp till sex våningar förekomma.

Bostäderna i dessa byggnader har höga hyresnivåer. Hyresgästerna ställer erfarenhetsmässigt höga krav på komfort och boendestandard. En för de boende känslig fråga är att man riskerar att uppfatta drag från kalla väggar. Därför bör man överväga att tilläggsisolera fasaderna. Någon förändring av fasadernas yttre är inte att tänka på, då deras arkitektoniska värde därmed skulle förstöras och själva kärnan i deras kvalitet försvinna. Inte heller utvändig isolering på gårdsfasader bör göras i dessa arkitektoniskt högvärdiga områden, där enhetlighet bör eftersträvas. Däremot bör en tilläggsisolering med hygroskopiska egenskaper som väl samverkar med tegelmaterialet kunna komma ifråga, i varje fall i de övre våningarna med tunnare tegelmurar och som är mest utsatta för påverkan från väder och vind. Dessa åtgärder skulle göras för att åstadkomma högsta möjliga boendekomfort. Stena Fastigheter, tillika med Förvaltnings AB Rödsten kan i sådana lägen marknadsföra vad man kallar pluslägenheter, där stor vikt läggs vid boendekomfort och hög bevarandegrad av befintliga värden hos bostaden. Man arbetar även med att minska storleken på de idag ofta överstora lägenheterna genom att dela upp dessa i mindre enheter.

3.2.2.2 Funktionalism

De funktionalistiska byggnader som Stena Fastigheter förvaltar har som regel höga U-värden. De kan ofta upplevas som dragiga och är knappast energisnåla. De är ofta högt klassade ur bevarandesynpunkt och ändringar i fasad är vanligen otänkbara, i varje fall vad gäller utvändig isolering. Även fönsterbyten eller kompletteringar av befintliga fönster är något som helst inte bör genomföras utan stor varsamhet. Här menar man från Stena Fastigheters sida att invändig isolering kan komma ifråga. I synnerhet som väggarna vanligen är murade av tegel: trots sitt industriella uttryck representerar de ett hantverksmässigt utförande. I kombination med ett isoleringsmaterial med hygroskopisk verkan bör man med ganska ringa tjocklek på en inre tilläggsisolering kunna nå aktuella mål för komfort och även bidra till energisparande.

3.2.2.3 1940- och 1950-tal

Stena Fastigheter, och även Poseidon, har i sitt bestånd ett stort antal byggnader från 1940- och 1950-talen. De har ofta fasader av antingen rött eller gult tegel. Väggarna är uppbyggda av tegel och någon form av granulat eller lättbetong utan luftspalt. Det har visat sig att dessa väggar drar åt sig fukt i det klimat som är förhärskande i Göteborgsområdet. Särskilt påtagligt är problemet i gavlarna. På insidan av dessa fönsterlösa fasaddelar saknas givetvis radiatorer som skulle kunnat kompensera för det kallras som upplevs på grund av den riktade operativa temperaturens verkan. Det finns fall där fukt och mögel ansamlats bakom bokhyllväggar som står mot gavelväggar.

Inte sällan bedöms dessa byggnader som värda att bevara med avseende på fasadernas utformning, varför yttre tilläggsisolering inte kan komma ifråga. Invändig isolering borde kunna tänkas, men endast under förutsättning att utifrån kommande fukt, inte minst slagregn, kan avväjas genom någon form av hydrofobering i form av ett halvgenomsläppligt skikt kan appliceras på fasaderna. Inom Poseidon har man erfarenhet av att hydrofobera fasader, vilket skett i stor utsträckning i Kallebäcksområdet. Inga negativa effekter av detta förfarande har konstaterats där.

Mattias Wester frågar sig om man inte med invändig isolering skulle kunna reducera radonhalten från väggar som innehåller blåbetong. Ett byggnadsmaterial som är vanligt förekommande i de båda fastighetsbolagens byggnadsbestånd. Mätningar har visat på förbättringar av värdena för radon genom detta förfarande.

Mattias Wester konstaterar att invändig isolering har allmänt sett den fördelen att den kan utföras successivt med hyresgästerna kvarboende och att man inte behöver utsätta dem för den risk det innebär ur stöldsypunkt att sätta upp ställningar mot fasad och fönster.

3.2.2.4 Landshövdingehus

De så kallade landshövdingehusen byggdes i Göteborg från slutet av 1800-talet fram till 1940-talet. Dessa hus har en våning av tegel eller stenmaterial och två av trä. De tillkom trots gällande byggnadsordning som endast medgav tvåvåningars hus av trä, detta på grund av brandrisken. Göteborgs byggnadsnämnd avslog ansökan om byggnadslov för denna typ av byggnad. Men vid överklagande till länsstyrelsen revs nämndens beslut upp av dåvarande landshövdingen 1875, därav beteckningen. Bottenvåningen betecknades i detta fall som en ersättning för källarvåning. I viss utsträckning användes denna nedersta våning som utrymme för butiker, verksamheter, tvättstugor med mera. Men i hög grad förekom att lägenheter inrymdes här och så är det fortfarande. Bottenvåningarna uppfördes med den värmeisolering som gavs av 1½-stens tegel. Detta får anses klart otillräckligt idag.

Ovanvåningarna av trä har ofta en god fasadutformning som inte gärna låter sig ersättas vid renovering. Träfasaderna behöver dock kompletteras för att fylla dagens krav på isolering i rimlig grad. Därför bör det kunna övervägas att tilläggsisolera från insidan både i bottenvåning och ovanvåningar. Eftersom landshövdingehusen omfattar så stora områden - år 2001 fanns det 1380 landshövdingehus i Göteborg - och från så långa och skilda epoker, bör fastighetsföretag med ett sådant bestånd skaffa sig en strategi för hur de ska omhändertas på ett varsamt sätt. Detta inte minst som områdena faktiskt har en hög utnyttjandegrad av marken. Det fastighetsbolag som har det allra största innehavet av landshövdingehus är Familjebostäder i Göteborg.

3.2.3 Exempel på invändig isolering: Renovering av Riksmuseet i Amsterdam

Riksmuseet i Amsterdam är ett av världens främsta museer för konst och historia med ett innehav av bland annat en stor mängd av målningar från nederländska konstens gyllene tidsålder under 1600-talet; med Rembrandt, Vermeer, van Dyck med flera konstnärers verk representerade i riklig omfattning. Riksmuseibygnaden färdigställdes 1885 och byggdes i holländsk neoklassisk stil med nygotiska element i form och dekorationer. Arkitekt var Petrus Cuypers.



Figur 16. Rijksmuseum Amsterdam

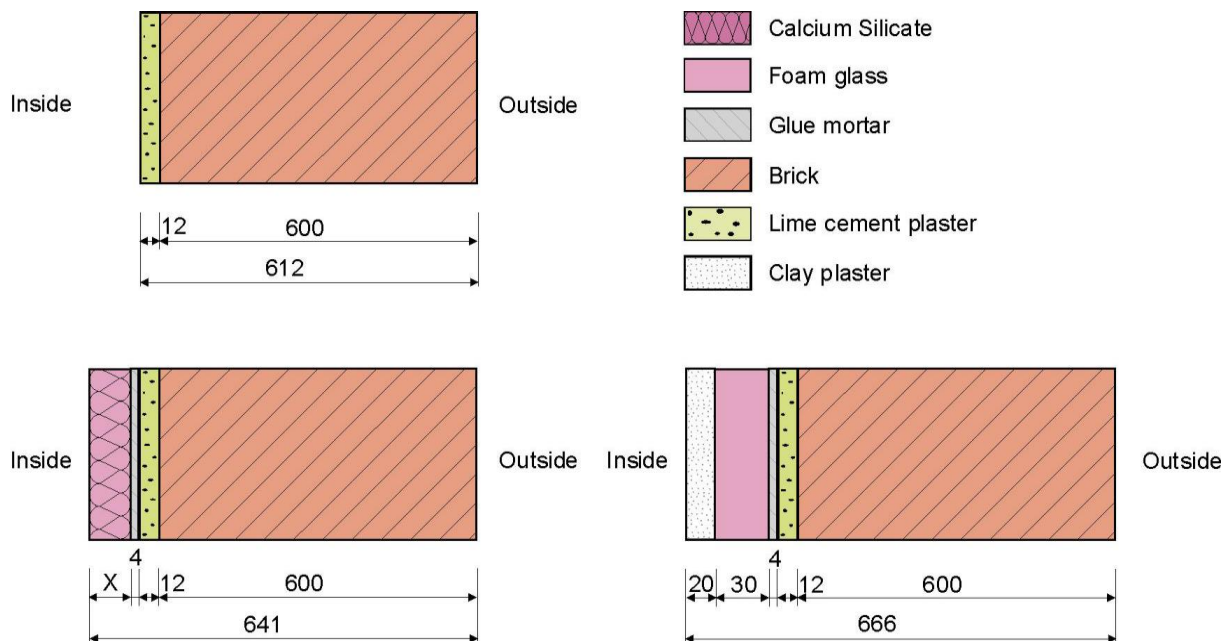
Museet har ca. 2,5 miljoner besökare om året, vilket innebär en besöksmängd på över 10 000 personer dagligen periodvis. Museet inrymmer ca. 1 miljon föremål, vilka kräver förvaring som ställer krav på inomhusklimatet. Byggnaden, som totalt omfattar omkring 40 000 kvadratmeter hade inte i väsentlig grad renoverats under tiden fram till början av 2000-talet. Byggnaden uppfyllde då inte kraven på en modern museibygnad med hänsyn till säkerhet, belysning, ventilation, inomhusklimat avseende museiföremålen och hade inte heller rätt struktur för att ta emot den aktuella mängden av besökare. Beslut fattades om en radikal renovering av hela byggnadskomplexet varvid en tio år lång period av planering och genomförande vidtog. Museet återinvigdes 2013.

Följande framställning bygger på en artikel från 2005 av P. Häupl, J.Grunewald & U. Ruisinger vid *Technische Universität Dresden, Institut für Bauklimatik, Dresden* publicerad i WIT Transactions on The Built Environment, Vol 83, WIT Press.

Under planeringsperioden för ombyggnadsprojektet gjordes mätningar av fukthalten i ytterväggarna, som är av tegel med en tjocklek av 600 mm samt ett 12 mm tjockt skikt puts på insidan. Mot utsidan av de 600 mm tjocka murarna utgörs 120 mm av högbränt tegel/klinker. Betydande fuktinträngning, ibland med full mätnadsgrad, kunde konstateras genom mätningar. De flesta fönstren beslutade man byta av säkerhetsskäl/inbrott, krav på grund av konservering av museiföremålen samt önskan om minskade energiförluster. Nya fönster skulle innebära högre temperatur på insidan av fönsterglasen. Det finns också risk för kondensation på insidan av ytterväggarna om de inte isolerades och som en följd av detta kunde mögelpåväxt befaras, i synnerhet om inte relativa fuktigheten på väggarna kunde hållas under 80%. Som en slutsats av detta beslöt man sig för att åstadkomma en lämplig invändig isolering av ytterfasaderna. Två möjligheter diskuterades, nämligen:

- 30 mm glasull, fastsatt med ett 4 mm limskikt och med 10 mm putslager som ytskikt,
- Kalciumsilikat, vars tjocklek man inte bestämde från början, fastsatt med ett 4 mm limskikt och med ett tunt kalkcementputslager som ytskikt.

Jämförelse skulle göras med ett alternativ med oisolerad vägg. Den analys som gjordes tillämpade simuleringsmjukvaran DELPHIN4 som utvecklats vid TU-Dresden.



Figur 17. Två alternativa utförande av tilläggsisolering till yttervägg i Riksmuseet Amsterdam (Efter Häupl, J. et al. 2005)

De programmässiga förutsättningarna angavs av konstruktionsfirman Arup till; sommar 23°C/54% RH, vinter 20°C 54% RH, tolerans +/- 2K/ 5% RH. Den konstanta relativa luftfuktigheten är fastställd med hänsyn till museiföremålens bevarande. Likaså kan höga relativa luftfuktighetshalter uppkomma genom det höga besökarantalet.

En timbaserad databas för Amsterdam användes för en beskrivning av de externa väderförhållandena. Databasen innehöll temperatur, relativ luftfuktighet, strålning och vind över ett år. Största regnmängden kom mot den västra fasaden. Förhållandena där antogs i beräkningen gälla för alla fasader, för säkerhets skull. I den befintliga väggkonstruktionen visade sig att den relativa luftfuktigheten i hörnlaggen kan uppgå till 87,5% och mögel har kunnat konstateras. Högt vatteninnehåll i konstruktioner gynnar nedbrytning av byggnadsmaterial genom frost, kemiska och biologiska skador. Fuktinträning måste därför begränsas till under en viss nivå. Denna nivå överstigs i det fall man skulle tillämpat isolering med cellglasisolering (foamglas). I kontrast till kalciumsilikat saknar cellglasskivor förmågan att transportera vatten i flytande form och likaså begränsade möjligheter att transportera vattenånga. En sådan konstruktion kan led till att vatten ackumuleras mot insida vägg, vilket leder till mögel och utfall av vattenfläckar. Cellglasisoleringen sluter inne vattnet genom att det inte kan diffundera igenom materialet. Vid tillämpning av cellglasisolering kan fuktinnehållet enligt beräkningarna uppgå till 14 kg/m² medan i fallet med kalciumsilikat den maximala

siffran är 9 kg/m². Kalciumsilikatet är i sin tur öppet för diffusion av vatten och vattenånga, varför uttorkning kan ske inåt.

Enligt Häupl et al. ger tillämpning av cellglasisolering en hög temperatur och låg relativ luftfuktighet vid ytterväggarnas inre ytor. Men leder till en höggradig fuktgenomträngning av den befintliga konstruktionen orsakad av slagregn och att uttorkning inte är möjlig mot innerytorna. Härigenom är det högst sannolikt att frostsador kommer att uppträda.

Med kalciumsilikat kan vatteninnehållet och fuktavgivning hållas på en rimlig nivå. Tillräckligt höga temperaturer och låga relativa fuktighetshalter på inre väggytor kommer att förhindra mögelpåväxt och kondensation mot inre ytor. Hög vattenledningsförmåga och litet motstånd mot ångtransport möjliggör upptorkning mot insidan och reducerar risken för utslag av vattenfläckar, mögelpåväxt och kondensation. Beroende på kalciumsilikatplattornas tjocklek kan värmeförlusterna reduceras med 29% vid 25 mm tjocklek upp till 44% med 50 mm tjocklek. I den valda konstruktionen är kalciumsilikatskivorna 40 mm tjocka motsvarande $U=0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med den valda väggupbyggnaden blir vatteninnehållet i den ursprungliga väggen väsentligt lägre än för cellglas, men värmemotståndet blir i stort sett densamma.

Fuktinnehållet av kondenserat vatten vid -5°C på utsidan av väggen har med programmet COND2002 beräknats till 0,362 kg/m²vilket låter sig absorberas och successivt avges i kalciumsilikatskiktet. Utan kapilläraktivt skikt på insidan skulle den kondenserade mängden vatten i muravsnittet varit 1,11 kg/m² enligt motsvarande beräkning.

3.3 Resultat från mail-utskick med frågor

Sammanlagt skickades ca 20 mail ut med frågor enligt bilaga 1.1. Av dessa erhöles 17 svar. I tabell 1 nedan har en sammanställning av inkomna svar gjorts. Korta sammanfattningar av erhållen information från de olika länderna ges nedan. Samtliga inkomna svar återfinns i Bilaga 1.2.

3.3.1 Belgien

Invändig värmeisolering används traditionellt inte i Belgien men förekommer mer och mer vid renovering. Ett ramverk för kvalitetskontroll, som byggnaden måste uppfylla, finns utarbetat. Se länk i bilaga 1.2.

3.3.2 Danmark

Invändig tilläggsisolering används i Danmark. Ny metod sedan fem år tillbaka, bygger på mer diffusionsöppna system. Isolertjocklekar på 50-100 mm vanliga.

Konstruktionen är känslig och forskning pågår inom flera projekt för att hitta en mer robust konstruktion.

3.3.3 England

Arbete pågår på UCL med att utveckla en metod för tilläggsisolering. Ett antal rapporter bifogades.

3.3.4 Estland

Erfarenhet beträffande invändig tilläggsisolering av byggnader finns i Estland. Man kombinerar ofta dessa åtgärder med förbättrad lufttäthet av byggnadsskalet samt förbättrad ventilation. En rad studier finns tillgängliga, se bilaga 1.2.

3.3.5 Finland

Invändig tilläggsisolering har använts sedan 60-talet, speciellt i källarytterväggar. Tidigare användes isoleringstjocklekar på upp till 250 mm. Fuktskador har noterats. Man verkar idag vara överens om att 50 mm tilläggsisolering är den maximala tjocklek som bör användas i Finland. Konstruktionen anses som känslig för fuktpåverkan. Rapporter och beräkningar finns men bara på finska.

3.3.6 Japan

Tilläggsisolering av väggar sker i mycket begränsad omfattning. På senare tid har dock tunna skikt, 30 mm, av högisolerande material använts. Det är ännu för tidigt att dra några slutsatser från dessa objekt. Ett väggsystem för renovering, med 30-50 mm värmeisolering att anbringa på insidan, finns på marknaden.

3.3.7 Kanada

Invändig isolering, 100-400 mm förekommer men är inte en utbredd konstruktion. Man önskar mer kunskap inom området.

3.3.8 Kirgizistan

Invändig tilläggsisolering appliceras genom att polyuretanskum sprutas på insidan. Första lagret anges till 40-60 mm med ytterligare lager kan anbringas. Metoden rekommenderas för tegelväggar men anses olämplig för träkonstruktioner. Tekniken är ny och långtidserfarenhet saknas. Man är medveten om vikten av att försöka undvika fuktproblem. Artiklar saknas.

3.3.9 Ryssland

Invändig isolering av ytterväggar rekommenderas inte i Ryssland, enda undantaget är tilläggsisolering av historiska byggnader i de fall utvändigt isolering inte kan tillåtas. Tjockleken på den invändiga värmeisoleringen är vanligen 100-150 mm. Invändig

isolering förekommer trots allt ibland i nyare byggnader. Erfarenhet av fuktskador och frostsador finns i denna typ av konstruktion. Forskning inom området pågår.

3.3.10 Sydkorea

Invändig värmeisolering används i Korea. Fuktpblem förekommer framför allt vid väggar med tjockare invändig isolering, främst vid köldbryggor samt vid fönster och dörrar. Man har relativt lång erfarenhet av att använda invändig värmeisolering i Korea. Rapporter på koreanska bifogades.

3.3.11 Tadjikistan

Begränsad erfarenhet av invändig tilläggsisolering. I tre testhus har metoden provats. Isolertjockleken var 50 mm och utgjordes av mineralull eller EPS mellan aluminiumreglar. Ingen feedback finns tillgänglig ännu så länge, ingen har klagat. Inga artiklar tillgängliga.

3.3.12 Tyskland

Invändig isolering förekommer i Tyskland. Vanliga isolertjocklekar är numera 40-100 mm och alla olika typer av isoleringsmaterial används. Man är medveten om risken för fuktskador och har ett pågående projekt med inriktning att förbättra fuktsäkerheten i denna typ av konstruktioner. Exempel finns på lyckade projekt med invändig isolering.

3.3.13 USA

Invändig värmeisolering förekommer men mycket sparsamt. Inte så mycket information har givits.

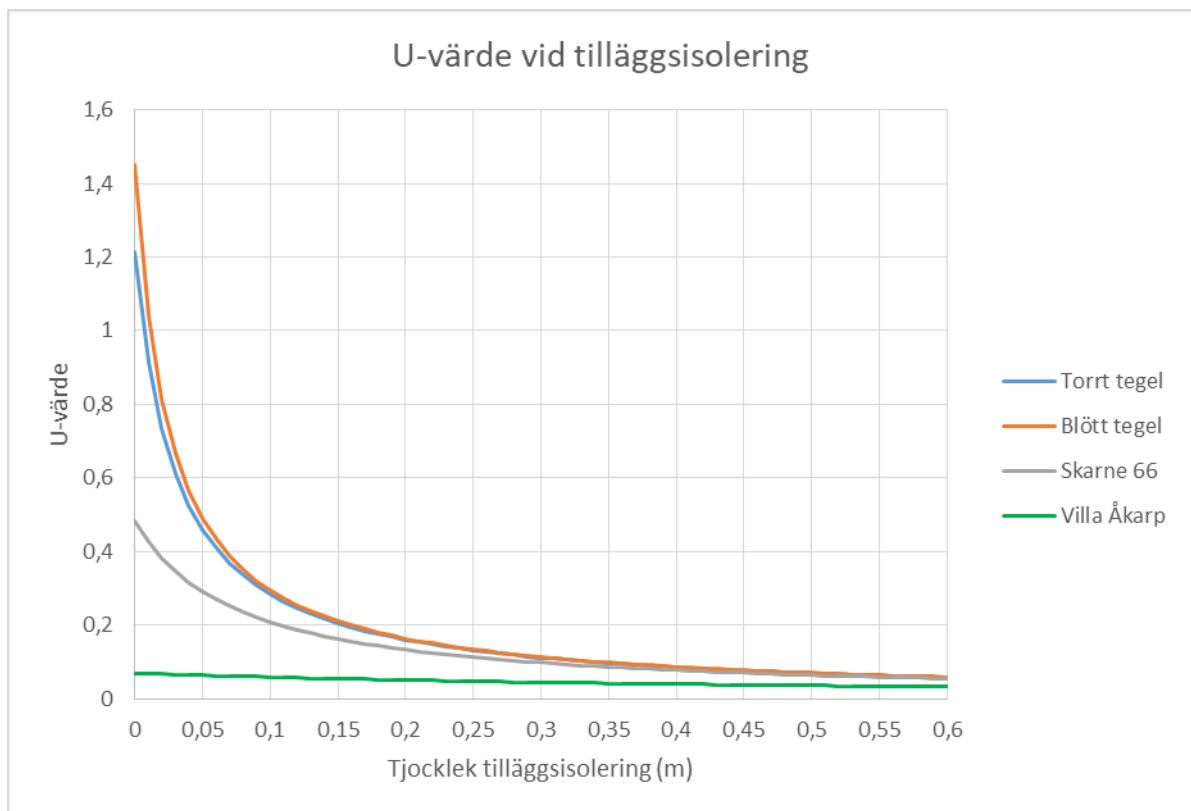
Tabell 4. Sammanställning av använda tjocklekar på värmeisolering i tillfrågade länder.

Land	Ja, används	Tjocklek (mm)
Belgien	x	
Danmark	X	50-100
England		
Estland	X	<50
Finland	X	<50
Japan	x	30-70
Kanada	X	90-300
Kirgizistan	x	40-60
Ryssland	X	50
Sydkorea	X	25-225
Tadjikistan	x	50
Tyskland	X	40-100
USA 2	X	

4. Diskussion

I det följande redovisas ett antal observationer och aspekter på invändig tilläggsisolering som framkommit under arbetet med projektet.

Frågeställningar som bör diskuteras och beaktas i enskilda renoveringsprojekt samt behandlas i kommande studier i ämnet. Nedanstående punkter utgör ett axplock av vad som bör ytterligare belysas i en huvudstudie och bör kunna utgöra en aktuell problemformulering som grundar sig på ny kunskap och inte på äldre föreställningar och beräkningsmetoder.



Figur 18. U-värde som funktion av tjockleken på tilläggsisoleringen.

Av figur 18 framgår tydligt att det är lönsammare att tilläggsisolera en vägg med högt ursprungligt U-värde jämfört med en vägg som från början har ett lågt U-värde. Skarne 66 syftar på ett av de vanligaste byggsystemen (Olsson och Skarne System 66) som tillämpades för flerbostadshus under miljonprogrammet. Villa Åkarp är klassat som ett plusenergihus, dvs. på årsbasis produceras mer energi än vad som används.

4.1 Litteraturstudie

I många länder med liknande klimat som i Sverige är frågan om invändig tilläggsisolering av befintliga ytterväggar i hög grad aktuell.

Olika typer av tilläggsisoleringar, traditionella träregel med mineralull har tillämpats vid invändig tilläggsisolering. Att använda träreglar är att döma av tillgängliga råd i litteraturen inte att rekommendera då fukt- och mögelproblem kan uppstå. I de fall som hänvisas till i denna rapport (Uppsalahem m. fl.) har man byggt upp isoleringen med mineralull, stålreglar, gipsskivor och fuktspärr mot insidan.

Problemet med köldbryggor kvarstår vid vägg- och bjälklagsanslutningar i fasad.

Isolering av yttervägg i kombination med isolering av en bit in under innertak och längs golv för att minska köldbryggor vid bjälklag finns angiven som en teknisk möjlighet i den äldre litteratur som inventerats (Adamsson, 1971). Att återuppta denna teknik kan vara en eventuell utvecklingsmöjlighet i dagens läge.

Efter invändig tilläggsisolering kommer bjälklagsändarna att hamna i ett kallare och fuktigare klimat, vilket i flera fall har lett till lokala rötskador. Ett intressant sätt att skydda dessa är att avsiktligt tillåta köldbryggor intill bjälklagsändarna. Erfarenheter från Danmark tyder på att det kan vara en framkomlig metod, om än inte så energieffektiv.

En konsekvens som måste beaktas är att den invändiga yttemperaturen sjunker i nära anslutning till mellanbjälklag, innerväggar och andra delar av klimatskalet som inte kan isoleras. Detta reducerar den termiska komforten intill dessa områden. Dessa negativa konsekvenser kan troligen reduceras i stor omfattning genom att exempelvis kombinera med avsiktliga köldbryggor, som beskrivs i föregående stycke.

En svårighet vad gäller god arkitektoniska utformning uppstår vid invändig tilläggsisolering i fönstersmygar. Konflikt uppstår lätt vid anslutning till fönsterkarmar. I sådana fall skulle det kanske vara möjligt att tillämpa mycket högvärdiga isoleringsmaterial av nyare typ. Om fönstrens placering förblir oförändrad kan man möjligen uppleva ett avståndet från väggens insida till fönstret blir för stort. Detta kan också leda till ökad risk för kallras då luftrörelserna intill rutans insida försämras.

Risken för frost ökar i de yttre skikten av de ursprungliga delarna av ytterväggarna efter invändig tilläggsisolering. Om detta automatiskt leder till mer frostsador är inte ordentligt utrett enligt den genomförda litteratursökningen. För att fasaden med säkerhet ska klara sig är det viktigaste att materialen har en god frostbeständighet.

Hydrofobering av utsidan av den ursprungliga väggen förespråkas i ett antal litteraturkällor. Rätt utförd leder åtgärden till en torrare vägg. Om åtgärden fungerar hindras också fukt från att transporteras inåt i väggen. Det är dock viktigt att väggen är torr vid appliceringen. Annars kan hydrofoberingen avsevärt fördröja uttorkningen. För att få ett bra resultat får det inte heller finnas för stora sprickor i fasadmaterialet.

En negativ effekt av invändig isolering som ofta framhålls är att den uthyrningsbara arean minskar, vilket leder till mindre hyresintäkter. Efter invändig tilläggsisolering stiger dock den invändiga ytemperaturen på en stor del av ytorna. Detta borde rimligen medföra att en större andel av golvarean får ett behagligt klimat utan störande strålningsdrag. Detta borde ge skäl till att höja hyran något per kvadratmeter.

Troligen förbättras även lufttätheten efter åtgärd vilket kan vara både positivt och negativt. Den positiva följden är att luftrörelserna genom klimatskalet blir mindre vilket ger mindre drag från oönskade luftrörelser. Utan att kombinera tilläggsisoleringen med förbättrad ventilation kan detta leda till högre fukttillskott och större risker för fuktskador på grund av ökad fuktdiffusion från insidan. Olika litteraturkällor framhåller dock att det kan vara svårt att i praktiken åstadkomma en god lufttäthet.

Beräkningarna av ytemperaturer visar att fönstersmygarnas innerytor är ställen där ytkondensation i vissa fall kan befaras inträffa. Anslutningen av isoleringen till smygen har stor betydelse för ytemperaturen och inomhusmiljön.

Placering av möbler, bokhyllor etc. med stort värmemotstånd leder också till låg ytemperatur på den bakomliggande väggen. Konsekvensen blir en hög relativ fuktighet som kan leda till mögel och andra olägenheter.

Om den befintliga byggnaden har skalmur eller kanalmur kan den dränerande funktionen ibland vara otillfredsställande. I många fall beror problemen på brukstuggor som helt eller delvis överbryggat luftspalten. Detta kan även leda till kapillärsugning direkt till bakomliggande material.

I många äldre flerbostadshus är väggen bakom radiatorerna tunnare än omgivande ytterväggar. I många hus är dessa väggpartier, åtminstone i Sverige och Danmark, dessutom icke bärande vilket betyder att de i motsats till övriga ytterväggar är lika tunna nedtill som upp till i huset. U-värdet för dessa partier är således högre än för omgivande väggpartier. Då radiatoren har högre temperatur än övriga väggytor blir temperaturdifferensen mellan in- och utsida större och därmed ökar också värmeflödet av denna anledning. Det är därför väsentligt att demontera radiatorerna och tilläggsisolera bakom dessa i samband med andra energireducerande åtgärder av klimatskalets insida.

Man kan i förstudien konstatera det råder en allmänt skeptisk inställning till invändig isolering inom byggbranschen i Sverige. Man föreställer sig att en förflyttning av daggpunkten i en väggkonstruktion överhuvudtaget är riskfylld ur frostska- och mögelsynpunkt. Vilket gör att invändig isolering sällan tillämpas och detta ger till följd att man får liten empirisk kunskap om metodens egentliga funktion med hänsyn till materialval och väggars varierande uppbyggnad. En förklaring till denna inställning kan bero på hittills gängse beräkningsmodell för att beskriva fukt- och värmeförloppen i väggkonstruktioner som bygger på den så kallade *Glasermetoden*. I denna betraktas nämnda förlopp ur endast ett endimensionellt perspektiv, där variationer över tid inte beaktas. Inte heller olika materials möjlighet till fuktupptagning och fuktavgivning tas med i beräkningen.

Idag finns datoriserade beräkningsmodeller som tar hänsyn till nämnda faktorer. Modellerna WUFI och Delphin är exempel på tillgängliga program för dessa beräkningsändamål och med vars hjälp man kan finna de ur mögel- och frostsynpunkt riskabla punkterna i en konstruktion.

Tillämpning av modellerna bör dock ske utifrån en god kunskap om i en konstruktion ingående materialegenskaper och dess tekniska uppbyggnad. En förbättring av kunskapsläget borde kunna ges genom genomförande av empiriska mätningar i konstruktioner som kompletteras med invändig isolering. De hygroskopiska egenskaperna som kan bedömas utifrån de nyare beräkningsmetoderna skulle därigenom kunna verifieras i en rad vanliga typfall. Likaså behöver de nämnda modellerna tillämpas med indata från de klimatiska förhållandena i Sverige. Detta bör avse både de befintliga klimatförhållandena och med hänsyn taget till en kommande klimatförändring, då man bör ta höjd för sådana i blivande ombyggnadsprojekt med tanke på dessa kan ha betydande livslängd.

WUFI (Wärme Und Feucht Instationär) som nämns ovan är ett transient beräkningsprogram för kombinerad värme- och fukttransport. Det började utvecklas på 1980-talet i Holzkirchen i Tyskland av Hartwig Künsel vid Fraunhofer Institut für Bauphysik och har sedan dess utvecklats till det dominerande beräkningsprogrammet för hygrottermiska beräkningar i Europa och USA. Fuktcentrum i Lund bestämde sig för att introducera just detta program i Sverige runt 2007. Programmet har sedan dess använts vid universitet och högskolor men också av konsulter och entreprenörer i Sverige. Programmet har, i bland annat i projekt vid LTH, verifierats för svenska förhållanden avseende materialdata och klimatdata. Rätt använt kan man med hjälp av WUFI prognostisera hur t.ex. ytterväggars temperatur och fuktförhållanden varierar i tiden utifrån uppbyggnad och klimatförutsättningar. Eftersom kombinerad fukt- och värmetransport är komplicerade icke linjära förlopp är denna typ av beräkningsverktyg nödvändiga för att skapa sig en bild över hur olika åtgärder i en byggnad påverkar värme- och fuktflöden, temperaturer och relativa fuktigheter och därmed även risken

för fukt och mögelskador.

4.2 Intervjuer

Ur intervjuerna kan man observera ett antal synpunkter som talar för en möjlighet att förändra bilden av invändig tilläggsisolering. Invändig tilläggsisolering efterfrågas för företagens affärsplanering för att förbättra fastighetsvärden, genom att åstadkomma bättre inomhusklimat samt bevara de totala kulturmiljövärdena för hela områden.

Fönster byts som regel idag men inga åtgärder görs på vägg – varför? Kunskap saknas och man ser det med den kunskap som finns inom företagen och konsultkåren som ett risktagande man inte vågar sig på.

Äldre tegelbyggnader uppförda med massiva tegelmurar är uppförda i enlighet med den byggnadsstadga som gällde vid byggnadstillfället. I enlighet med dessa krävdes två till två och en halvstens tegel i bottenvåningar men ju högre upp i byggnaden desto tunnare vägg. Detta kan leda till regngennomslag i de tunnare ytterväggarna genom själva läget med mer slagregn och högre vindhastigheter

4.3 Internationellt

Av de tillfrågade 14 länderna har samtliga någon form av erfarenhet av invändig isolering även om den tillämpas i mycket varierande grad och med olika typer av isoleringsmaterial. Inget lands svar tyder på att man ser invändig isolering som en olämplig teknisk metod. Det är mera en fråga om att välja rätt dimensionering, material och utförande för sådan. Merparten av de tillfrågade önskar mer upplysning och kunskap om möjligheterna till denna typ av isolering.

De tillfrågade länderna betraktar inte invändig isolering som enbart tillämpbar för historiskt värdefulla byggnader utan för hela byggnadsbestånd med en viss ålder. Som exempel kan nämnas England med sina vanligen förekommande byggnader med homogena tegelväggar byggda före 1919. Detta bostadsbestånd omfattar inte mindre än 6,5 miljoner byggnader som på ett annat sätt står inför renovering för att förbättra inomhusklimatet och undvika mögelpåväxt, vilket visats genom besiktningar för riskbedömningar.

Alla tillfrågade länder - utom USA - anger en begränsning i tjockleken hos invändig tilläggsisolering. Vanligen varierar tjockleken mellan 50 mm till 100 mm. Andra länder anger betydligt mindre dimensioner men tillämpar då andra isoleringsmaterial som till exempel polyuretanspray. Finland anger restriktioner genom att begränsa värmemotståndet till 1/4-del av hela väggens motstånd.

Länder som USA, Ryssland och Japan har ännu inte utvecklat eller tillämpar något specifikt system för invändig isolering.

Danmark och Tyskland är de länder som under de senaste fem åren sysslat med materialutveckling som syftar till användning av diffusionsöppna system.

Det bör vara fullt möjligt att tilläggsisolera på insidan av en yttervägg förutsatt att man tillämpar tillgänglig kunskap och har förståelse för hur den ursprungliga väggen fungerar fukt- och värmemässigt och hur föreslagna åtgärder förändrar denna funktion. Hygrotermiska beräkningar, inkluderande klimatdata och materialdata är en viktiga för att skapa denna förståelse.

De studier som genomförts inom detta förprojekt ger således vid handen, att det bör vara möjligt att tilläggsisolera på insidan. Detta påstående skulle sålunda kunna utgöra en hypotes för en kommande huvudstudie som syftar till att öka den tillgängliga kunskapen om hur man bedömer risker vid detta förfarande. Som i sin tur ska bidra till ett ökat energisparande av passiv art som inte är beroende av mekaniska installationer.

5. Förslag till huvudprojekt

Ett förslag till ansökan presenteras i bilaga Y.

Punkter som eventuellt kan platsa i en sammanfattning av resultat och förslag till innehåll i en huvudstudie (observera att det är endast skisser i form av "bullet points"):

- Vilken potential finns för energisparande om invändig tilläggsisolering användes som en vanlig metod för isolering när utvändigt av olika skäl inte kan tillämpas? Vilka basdata om bostadsbebyggelse finns tillgängliga att göra prognoser från? Vore bra om vi kan ange en ungefärlig uppskattning av den energisparmöjlighet som finns på nationell nivå. Det kan ju bidra till viljan att satsa forskningsmedel om där ryms en väsentlig besparing.
- Uppföljning av redan utförda invändiga tilläggsisoleringar. Exempelvis skulle detta kunna göras inom Uppsalahems bestånd.
- Fortsatt uppföljning och analys av exemplet i Vivalla, Örebro.
- Samverkan med projekt som avser invändig isolering inom Bebo-företag (Exempelvis Vallonbygden och Kopparstaden)
- Redovisning av studier och beräkningar avseende användning av hygroskopiskt verkande material.
- Efter beräkningar och studier av befintliga fall söka ställa upp enkla tumregler för tillämpning av invändig tilläggsisolering. Det vill säga enkla regler som bland annat angivits av Finland i vår enkät. Det finns även rekommendationer i den studerade

tyska litteraturen – där dock flertalet rekommendationer är företags- och produktbundna (Isover med flera märken).

- Frågor som ställts på kurser om varsam ombyggnad för energisparande gäller dels vilka färgmaterial man kan använda som ytskikt in mot rum och dels vilka medel som kan användas som ”semipermeabel” hinna för att undvika påverkan av slagregn på tegelfasader. Likaså vilka material man kan ha som täckskikt för invändiga isoleringsmaterial av olika slag. En fråga har gällt; kan man använda gipsplattor för ändamålet utan att förstöra den hygroskopiska effekten?
- Man har på nämnda kurser även ställt frågor om hur man bör förfara med fönstersmygar, anslutningar till golv och tak och vid mellanväggars anslutning till yttervägg. En möjlighet till besvarande av sådana frågor är att i huvudstudien genomföra ett demonstrationsexempel i vilket man kan utföra mätningar i kombination med WUFI-beräkningar.
- Samverkan med Danmarks Tekniske Universitet, DTU, med avseende på tester av olika väggtyper i laboratoriemiljö.
- Antikvariska frågor uppstår även vid invändig isolering;
- - Hur ska anslutning ske till befintliga fönsterfoder, eventuella taklister eller hålkäl i takvinkeln?
- Likaså hur görs anslutning till golvlister?
- Tilläggsisolering i fönstersmygar och anslutning till fönsterkarmar.
- Tilläggsisolering i radiatornisch under fönster.
- Lämpliga tillämpningsexempel på dessa utformningsfrågor bör sökas och utvärderas i samarbete med antikvariskt sakkunnig.
- Det finns anledning att framhålla vissa möjliga produktionstekniska fördelar med invändig isolering i förhållande till utvändig:
- Fönster behöver inte flyttas ut i ett nytt fasadliv, som när gestaltungsprinciperna ofta kräver detta vid utvändig tilläggsisolering.
- Takfot behöver inte byggas ut för bibehållande av existerande storlek på taksprång.
- Man undviker överhäng vid anslutning till grundmur.
- Sannolikt kan invändig tilläggsisolering i många fall genomföras med kvarboende hyresgäster/bostadsrättsinnehavare.
- Invändig tilläggsisolering kan tillämpas för att undvika vad man som brukare upplever som drag från väggar – det vill säga man märker av en skillnad i operativ temperatur – och efterfrågar/kräver en bättre komfort.
- Dessa spörsmål bör diskuteras i ett forum med Bebo-representanter.
- Ett slutresultat av huvudstudien kan utgöras av en handbok, i tryckt form respektive på internet, som samlar de råd som kan ges utifrån vetenskapliga studier och beprövad erfarenhet med avseende på tillämpning av invändig isolering.

5.1.1 Bedömningar och beräkningar av ett antal typiska väggkonstruktioner

För förvaltare och projektörer förefaller det angeläget att få klart för sig hur kompletteringar av väggar kan göras med inre isolering utan att risker för fukt- eller

frostskador uppstår. Studier skulle i en huvudstudie kunna göras som beräkningar med tillämpning av exempelvis beräkningsprogrammet WUFI med antagande av svenska klimatförhållanden.

De typer av väggar som kan vara aktuella är följande som kompletteras med invändig tilläggsisolering av hygroskopiskt material:

- Timmervägg med brädpanel på utsidan
- Plankvägg med brädpanel på utsidan,
- Plankvägg med revetering, rappning med bruk, på utsidan,
- Regelvägg med mineralullsisolering,
- Tegelvägg 1,5 sten med puts,
- Tegelvägg med yttre isolering och ytskikt,
- Tegelvägg av två skikt av halvstens tegel med mineralull emellan så kallad ”västkustvägg”,
- Putsad vägg av lättbetong,
- Vägg av betong med utvändigt isolering och ytskikt,
- Vägg av betongelement med mineralullsisolering inuti.

6. Slutsatser

Följande överordnade slutsatser kan dras av det material som samlats under förstudien och inom den diskussion som där skisserats:

- Det bör vara fullt möjligt att tilläggsisolera på insidan av en yttervägg förutsatt att man tillämpar tillgänglig kunskap och har förståelse för hur den ursprungliga väggen fungerar fukt- och värmemässigt och hur föreslagna åtgärder förändrar denna funktion.
- Hygrotermiska beräkningar inkluderande klimatdata och materialdata, samt fältmätningar i byggnader är viktiga för förståelsen för ursprunglig konstruktion, dess befintliga tillstånd och vilka åtgärder som är möjliga ur risksynpunkt.
- I befintliga oisolerade ytterväggar ger även en begränsad tjocklek på värmeisoleringen stor inverkan på U-värdet.
- Även vid invändig tilläggsisolering måste hänsyn tas till de arkitektoniska, rumsgestaltande och antikvariska värden som kan komma att skadas av åtgärderna.
- Man ska inte underskatta de risker som föreligger utan utveckla metoder och riktlinjer som hanterar dessa risker på ett tillfredsställande sätt.

7. Referenser

1. Abdul Hamid, Akram, Method for evaluation of renovation measures with regard to moisture and emission loads, Lund 2017.
2. Abdul Hamid A, Wallentén P, 2017. Hygrothermal assessment of internally added thermal insulation on external brick walls in Swedish multifamily buildings. *Building and Environment* 123 (2017), pp 351-362, Elsevier.
3. Adamson, Bo, 1971. Yttertemperaturer och värmeförluster vid betongbjälklag I fasadvägg. Rapport R26:1971, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
4. Andersson, Ann-Charlotte, 1978. Köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar. Rapport R46:1978, Bygg-forskningsrådet.
5. Andersson, Ann-Charlotte, 1979. Invändig tilläggsisolering. Köldbryggor, fukt, rörelser och beständighet. Rapport TVBH-1001, Lund 1979.
6. Finken G R, Bjarløv S P, Peuhkuri R H, 2016. Effect of impregnation on feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory – A hygrothermal simulation study. *Construction and Building Materials* 113 (2016), pp 202-214, Elsevier.
7. Fristedt, Sven; Högdahl, Katarina (2015). Varsamhet vid ombyggnad för energieffektivisering av flerbostadshus. Slutrapport. Bebo, Stockholm.
8. Grunewald, John, The Rijksmuseum Amsterdam - Hygrothermal analysis and dimensioning of thermal insulation, Dresden 2006.
9. Hagentoft, Carl-Eric, Annex 55, Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance and Cost, (RAP-RETRO): Stochastic Data, Göteborg 2015.
10. 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 (2016), pp 59-72, Elsevier.
11. Häupl, P.; Grunewald, J. & Ruisinger, U, 2005. Hygrothermal analysis of external walls within the reconstruction of the Rijksmuseum Amsterdam. *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture IX*. WIT Press.
12. Kautsch, P. et al. (2006). Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre. Untersuchungen zur grundsätzlichen Eignung aufgespritzter und verputzter Zellulosedämmschichten zur thermischen Gebäudesanierung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
13. Maserà, Gabriele; Wakilij, Karim, G.; Stahl, Thomas; Brunner, Samuel; Galliano, Rosanna; Monticelli, Carol; Aliprandi, Stefano; Zanelli, Alessandra; Elesawy. Development of a super-insulating, aerogel-based textile wallpaper for the indoor energy retrofit of existing residential buildings. *A Sustainable Built Environment Conference 2016*. Elsevier.
14. Odgaard, T., Bjarløv, S.P., Rode, C., Vesterlørkke, M. Building renovation with interior insulation on solid masonry walls in Denmark – A study of the building segment and possible solutions. 6th International Building Physics Conference, IBPC2015. *Energy Procedia* 78 (2015) 830-835, Elsevier.

15. Odgaard, T., Bjarløv, S.P., Rode, C., 2018. Interior insulation – Experimental investigation of hydrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry facades in a listed building. *Energy and buildings* 129, Elsevier.
16. 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 and Buildings* 162, Elsevier.
17. Odgaard, T., Bjarløv, S. P., Rode, C., 2018. Influence of hydrophobation and deliberate thermal bridge on hygrothermal conditions of internally insulated historic solid masonry walls with built-in wood. *Energy and Buildings* 173, pp. 530-546 Elsevier.
18. Plagge, Rudolf, Intervju: Wichtige Fragen, kompetente Antworten, publicerad i *Die intelligente Alternative, Innendämmung von Sto, Bewusste Bauen*, utan uppgift om// datum och ort.
19. Plagge, Rudolf; Scheffler, Gregor A.; *Bauphysikalische Begleitung, Analyse und Berichterstattung zu öffnung der vor 15 Jahre ausgeführten Innendämmung mit Mineralewämmplatten*, Technische Universität Dresden, Dresden 2013.
20. Sandin, Kenneth, 1991. *Skalmurskonstruktionens fukt- och temperaturbetingelser. Rapport R43:1991*, Bygghorskningsrådet, Stockholm.
21. Scheffler, Gregor A., Schoch, Torsten; *Innendämmung mit diffusionsoffenen und kapillaraktiven Systemen; Baugewerbe* 10/2010.
22. Vereecken, Evy; Van Gelder, Liesje; Janssen, Hans & Roels, Staf , 2014. Interior insulation for wall retrofitting – A probabilistic Analysis of energy savings and hygrothermal risks. KU Leuven, Building Physics Section.

Bilaga 1.1

I denna bilaga visas det mail med frågor som skickades ut.

Dear X,

I hope everything is fine with you!

We have just started a pre-project about thermal insulation at the inside of outer walls and I would appreciate some input from you. We have had some moisture problems with this type of insulation but at the same time it would be great if we could find good solutions with insulation at the inside, for example in historical buildings this could be the only option. We are now checking the situation in a number of countries (20), to get a first overview, and would appreciate if you could give us 5 minutes to answer the questions below.

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
- If yes
 - > What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
 - > What are your experiences of this kind of walls?
 - > For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
 - > Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
- If no, why don't you use this kind of system?
- Do you have any other comments?

If you have any article or other information about this construction in your country, please send us a copy or a link to it.

Thank you for your help! We will of course send you the result from this request when we have enough answers.

Best regards

Jesper Arfvidsson, Lars-Erik Harderup and Sven Fristedt

Bilaga 1.2

I denna bilaga redovisas råmaterial från inkommande svar från internationella kontakter.

Estland

We have done several studies on internal insulation, for both: wooden log walls (Üllar Alev and Endrik Arumägi) and for brick walls (Paul Klõšeiko).

The typical thickness of the thermal insulation is up to 50mm depending on other parameters.

We have experiences of wooden log walls and brick walls?

Please find our main publications on this field:

- Klõšeiko, P.; Arumägi, E.; Kalamees, T. (2015). Hygrothermal performance of internally insulated brick wall in cold climate: A case study in a historical school building. *Journal of Building Physics*, 38 (5), 444–464. [10.1177/1744259114532609.https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/91243409-9deo-41c1-86bc-282596f8d411?name=Hygrothermal%20performance%20of%20internally%20insulated%20brick%20wall%20in%20cold%20climate%20A%20case%20study%20in%20a%20historical%20school%20building.pdf&type=application%2Fpdf](https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/91243409-9deo-41c1-86bc-282596f8d411?name=Hygrothermal%20performance%20of%20internally%20insulated%20brick%20wall%20in%20cold%20climate%20A%20case%20study%20in%20a%20historical%20school%20building.pdf&type=application%2Fpdf)
- Klõšeiko, P.; Kalamees, T. (2016). Case Study: In-situ Testing and Model Calibration of Interior Insulation Solution for an Office Building in Cold Climate. *CESB 2016 - Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future: Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future, CESB 2016; Prague; Czech Republic; 22 June 2016 through 24 June 2016*. Prague: Czech Technical University in Prague, 159–166. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/933306f4-412d-4763-bc1a-ebc648626926?name=CESB16_pk.pdf&type=application%2Fpdf
- Klõšeiko, P.; Kalamees, T.; Arumägi, E.; Kallavus, U. (2015). Hygrothermal Performance of a Massive Stone Wall with Interior Insulation: a In-Situ Study for Developing a Retrofit Measure. *Energy Procedia*, 78: 6th International Building Physics Conference (IBPC 2015), 14-17.06.2015. Elsevier, 195–200. [10.1016/j.egypro.2015.11.139. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018718](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018718)
- Klõšeiko, P.; Varda, K., Kalamees, T. (2017). Effect of freezing and thawing on the performance of “capillary active” insulation systems: a comparison of results from climate chamber study to HAM modelling. *Energy Procedia*, 132: 11th Nordic

Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.
 Ed. S. Geving and B. Time.

Elsevier, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348658>

- Alev, Ü.; Kalamees, T. (2016). Avoiding mould growth in an interiorly insulated log wall. *Building and Environment*, 105, 104–115. [10.1016/j.buildenv.2016.05.020](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.020). Alev, Ü.; Kalamees, T.; Arumägi, E.; Ilomets, S. (2012). Comparison of thermal performance of mineral wool and reflective insulation on internally insulated log wall. *Proceedings of Healthy Buildings 2012: Healthy Buildings 2012. Brisbane, Australia 8.-12. juuli 2012*. Brisbane, Australia: Queensland University of Technology, 1–6. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/171ee8d5-7650-4b94-81e1-059d5821c507?name=Fail_HB2012_Alev_Final.pdf&type=application%2Fpdf
- Alev, Ü.; Uus, A.; Teder, M.; Miljan, M.-J.; Kalamees, T. (2014). Air leakage and hygrothermal performance of an internally insulated log house. *NSB 2014 : 10th Nordic Symposium on Building Physics: NSB 2014 10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June 2014, Lund, Sweden*. Ed. Jesper Arfvidsson, Lars-Erik Harderup, Anders Kumlin, Bitte Rosencrantz. Lund, Sweden: Grafisk gruppen AB, 55–62. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/ca1dab6c-c6a7-42ec-a846-63cc4a5cb042?name=Fail_Air%20leakage%20and%20hygrothermal%20performance%20of%20internally%20insulated%20log%20house.pdf&type=application%2Fpdf
- Alev, Ü.; Uus, A.; Kalamees, T. (2015). Comparison of Mineral Wool, Cellulose and Reed Mat for Interior Thermal Insulation of Log Walls. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 2 (9), 938–947. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/b1c41bca-dff4-4ace-9f54-6299dcb06d67?name=Fail_Comparison%20of%20Mineral%20Wool%20Cellulose%20and%20Reed%20Mat%20for%20Interior%20Thermal%20Insulation%20of%20Log%20Walls.pdf&type=application%2Fpdf
- Arumägi, E.; Kalamees, T (2012). Validation of a Simulation Model for Hygrothermal Performance of Log Wall with Internal Thermal Insulation in Cold Climate. *Proceedings of 5th IBPC, Kyoto, Japan, May 28-31, 2012, 1: International Building Physics Conference, The Role of Building Physics in Resolving Carbon Reduction Challenge and Promoting Human Health in Buildings*. 45–352. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/cooed252-bc83-49e0-9171-179ff1a2e82b?name=Fail_Validation%20of%20a%20simulation%20model%20for%20hygrothermal%20performance%20of%20log%20wall%20with%20internal%20thermal%20insulation%20in%20cold%20climate.pdf&type=application%2Fpdf
- Arumägi, E.; Ilomets, S.; Kalamees, T.; Tuisk, T. (2011). Field Study of Hygrothermal Performance of Log Wall with Internal Thermal Insulation. *International Conference on Durability of Building Materials and Components. Proceedings: XII DBMC. International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal, 2011*. FEUP Edicoes, 811–819. <https://www.etis.ee/File/DownloadAuthorized/bf313082-a63d-4c05->

8775-

[f15503c57f4f?name=Fail_Field%20Study%20of%20Hygrothermal%20Performanc](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215017427)
[e%20of%20Log%20Wall%20with%20Internal%20Insulation.pdf&type=applicatio](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215017427)
[n%2Fpdf](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215017427)

- Arumägi, E.; Pihlak, M.; Kalamees, T. (2015). Reliability of interior thermal insulation as a retrofit measure in historic wooden apartment buildings in cold climates. *Energy Procedia*, 78. Elsevier, 871–876.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215017427>

Sometimes we combine extra thermal insulation with other measures (additional insulation of other building envelope parts, improvement of airtightness of building envelope, improvement of indoor climate, more efficient energy source, efficient ventilation system is always needed).

- Alev, Ü.; Eskola, L.; Arumägi, E.; Jokisalo, J.; Donarelli, A.; Siren, K.; Broström, T.; Kalamees, T. (2014). Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region. *Energy and Buildings*, 77, 58–66.
[10.1016/j.enbuild.2014.03.049. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814002692](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814002692)
- Eskola, L.; Alev, Ü.; Arumägi, E.; Jokisalo, J.; Donarelli, A.; Sirén, K.; Kalamees, T. (2015). Airtightness, Air Exchange and Energy Performance in Historic Residential Buildings with Different Structures. *International Journal of Ventilation*, 14 (1), 11–26. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/391beb52-3720-4f83-bb6d-ce9e90796341?name=Fail_Airtightness%2C%20Air%20Exchange%20and%20Energy%20Performance%20in%20Historic%20Residential%20Buildings%20with%20Different%20Structures%20IJV%20Vol%2014%20No%201%20June%202015.pdf&type=application%2Fpdf
- Alev, Ü.; Kalamees, T.; Eskola, L.; Arumägi, E.; Jokisalo, J.; Donarelli, A.; Siren, K.; Broström, T. (2015). Indoor hygrothermal condition and user satisfaction in naturally ventilated historic houses in temperate humid continental climate around the Baltic Sea. *Architectural Science Review*, 59 (1), 53–67.
[10.1080/00038628.2015.1038980. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/e6be4613-8aac-4f90-b0fo-ec54196dfefe?name=Indoor%20hygrothermal%20condition%20and%20user%20satisfaction%20in%20naturally%20ventilated%20historic%20houses%20in%20temperate%20humid%20continental%20climate%20around%20the%20Baltic.pdf&type=application%2Fpdf](https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/e6be4613-8aac-4f90-b0fo-ec54196dfefe?name=Indoor%20hygrothermal%20condition%20and%20user%20satisfaction%20in%20naturally%20ventilated%20historic%20houses%20in%20temperate%20humid%20continental%20climate%20around%20the%20Baltic.pdf&type=application%2Fpdf)
- Arumägi, E.; Kalamees, T.; Mändel, M. (2015). Method for assessment of energy retrofit measures in milieu valuable buildings. *Energy Procedia*, 78: 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Elsevier, 1027–1032.
<https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/29422b9b-094d-40c6-a367-9d038b97c198?name=1-s2.0-S1876610215017841-main.pdf&type=application%2Fpdf>

- Arumägi, E.; Kalamees, T.; Kallavus, U. (2015). Indoor climate conditions and hygrothermal loads in historic wooden apartment buildings in cold climate. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 64 (2), 146–156.
[10.3176/proc.2015.2.03.https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/03bc8739-42bd-4eff-9f7c-d188b93913ab?name=Indoor%20climate%20conditions%20and%20hygrothermal%20loads%20in%20historic%20wooden%20apartment%20buildings%20in%20cold%20climates.pdf&type=application%2Fpdf](https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/03bc8739-42bd-4eff-9f7c-d188b93913ab?name=Indoor%20climate%20conditions%20and%20hygrothermal%20loads%20in%20historic%20wooden%20apartment%20buildings%20in%20cold%20climates.pdf&type=application%2Fpdf)
- Arumägi, E.; Kalamees, T. (2014). Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates. Applied Energy, 115, 540–548.
[10.1016/j.apenergy.2013.10.041. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/fo296ab8-9ca0-4594-b565-e94ef22f08d1?name=Analysis%20of%20energy%20economic%20renovation%20of%20historic%20wooden%20apartment%20buildings%20in%20cold%20climates.pdf&type=application%2Fpdf](https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/fo296ab8-9ca0-4594-b565-e94ef22f08d1?name=Analysis%20of%20energy%20economic%20renovation%20of%20historic%20wooden%20apartment%20buildings%20in%20cold%20climates.pdf&type=application%2Fpdf)
- Kuusk, K.; Kalamees, T. (2016). Retrofit cost-effectiveness: Estonian apartment buildings. Building Research & Information, 44 (8), 920–934.
[10.1080/09613218.2016.1103117. https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/13de9e61-fc49-42c1-b05a-a0410eff82ce?name=Retrofit%20cost%20effectiveness%20Estonian%20apartment%20buildings-1.pdf&type=application%2Fpdf](https://www.etis.ee/File/DownloadPublic/13de9e61-fc49-42c1-b05a-a0410eff82ce?name=Retrofit%20cost%20effectiveness%20Estonian%20apartment%20buildings-1.pdf&type=application%2Fpdf)

Bifogade rapporter: 0

Tyskland

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country? YES
- If yes
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed? The thickness generally ranges from 40 to 100 mm. All kinds of insulation materials are used, e.g. Eps, MW, capillary active materials, Multipor from Xella (often applied), wood fiber board, insulating plaster sometimes with aerogel (good choice for uneven walls). The original walls are mostly masonry walls made of clay brick, lime silica brick, light-weight concrete, natural stone.
- What are your experiences of this kind of walls?

If it is done the right way it works fine. We are currently working on a project that defines the application limits for different product as function of indoor and outdoor climate, construction type, etc.

- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
For quite some time but sometimes with little success (subsequent moisture damage), therefore architects are wary of this kind of insulation. Our current project should provide more application safety.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
Yes, in case of a considerable driving rain load, the water absorption capacity of the exterior façade surface must be checked and in necessary improved otherwise moisture damage may not be ruled out.
- Do you have any other comments?
Interior insulation is often the only possibility to improve the thermal performance of a building. Therefore, it must become a viable option. In the case of intermittently operated buildings or rooms it may be more energy efficient than external insulation systems.

Bifogade rapporter: 0

Kanada

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country? YES
- If yes
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
Typical 3 1/2" to 12" for Passive House type projects, glass fiber and blown in cellulose or glass wool, new wall is typically wood stud with smart retarder (better) and drywall
- What are your experiences of this kind of walls?
Limited as new Codes require higher energy efficiency for new buildings, for new 1" thickness for Code to 2"+2" for Passive House projects, foam board or high density mineral wool on exterior with stud space filled with fiber glass
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
Not wide spread practice at present but growth is occurring due to climate change policies.

- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
Yes, air barrier system upgrading and moisture control.
- Do you have any other comments?
Would like to share and compare with cold climate countries the Top 5 exterior and Top 5 interior wall assemblies for mid-rise and high-rise buildings to identify better and best practices.
- If you have any article or other information about this construction in your country, please send us a copy or a link to it.
Have new construction information; but would like more retrofit information.

Bifogade rapporter: 0

USA

Illinois

Here is a recent article about practice in North America.

<http://www.greenbuildingadvisor.com/articles/dept/musings/rethinking-rules-minimum-foam-thickness> The article is behind a paywall, but if you enter the title “rethinking rules...” into google.com you should be able to get to the article.

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Very rarely. Typically, only for high rise buildings where you cannot modify the exterior façade. Moisture problems are not often an issue since these buildings are mainly made of steel and masonry.

Bifogade rapporter: 0

Oregon

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country? YES
- If yes
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?

- What are your experiences of this kind of walls?
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
- If no, why don't you use this kind of system?
- If you place the insulation inboard, the structural cladding will see more climate variations.
- Do you have any other comments?
Min uppfattning är att man ser lite genom fingrarna när det gäller energiförbättringar i historiska byggnader. Det finns garanterat städer, som Chicago, där man är av en annan uppfattning och faktiskt försöker energieffektivisera dessa byggnader också. Tyvärr har jag inget konkret exempel att dela med mig av. Jag tror även att resten av USA kommer att intressera sig mer för detta alternativ, men för närvarande är USA inte där norra Europa är i energitänkande.

Bifogade rapporter: 0

Ryssland

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Yes, thermal insulation is used, but only in some new buildings (new constructions), but not everywhere and that is not obligated (no special regulation). The optimal option for insulation of buildings is the placement of thermal insulation on the outside or in the middle of a multilayer outer wall.
- If yes
In new construction, this can be done by any method used in construction practice. When sanitation (reconstruction) of existing buildings, the main methods are "wet facade" (fastening of heat insulation with glue and dowels with subsequent coating with plaster layer) and a hinged ventilated facade, in which the insulation fixed to the facade structure is covered with appropriate facade material.
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
Since there are no highly effective thin (10-20 mm) heat-insulating materials yet. Installation of modern heaters takes away from the space of at least 50 mm (this thickness is not even enough by regulatory requirements) on each insulated wall.

The choice of material, technology of work is determined by the characteristics of the construction of the building, local climatic conditions, operational characteristics of the premises.

Materials which can be used are natural, synthetic loose, roll, sheet heat insulators. For the internal walls "native" material can be used. For concrete and brick walls - stone, brickwork, plaster, and for wood - wood.

On the inner perimeter of the apartment, the house - the walls are covered with brick, natural or artificial stone. It is necessary to reinforce the masonry with a binding to the old wall.

- What are your experiences of this kind of walls?

In the cold season, when the temperature regime in the apartment is different from the outside, under the wall after the installation of the insulation can appear condensation on the inner surface. The dew point according to the Construction Norms and Rules (SNiP) comes at a temperature of 10.7 ° C. Until the moment of thermal insulation it is inside the wall. And after the work, the condensate begins to move under the heater, leading to the appearance of dampness and mold, which adversely affects the health of the residents and requires the prompt resolution of the problem. Gradual destruction of the wall itself and deterioration of the qualities of the insulating layer due to the effect of moisture leads to even greater heat losses. If there are door and window slopes in the outer wall, they are also thoroughly insulated to prevent condensation. Freezing, water will increase all possible cracks. *Advantages:* Minimum costs when preparing the foundation - only thorough cleaning, if necessary, "treatment" and restoration; Complete absence of dew point problems; Improvement of technical characteristics of walls.

Disadvantages: the meters of living space are lost; an additional load on the overlap is created. Insulation from the inside takes a significant part of the internal area of the premises out of operation.

Other disadvantages of wall insulation from inside the premises include the exclusion of external walls from the climate control processes in the room (the heat capacity of the walls is not used), increased fire hazard in case of using combustible heaters, a decrease in the living space, a decrease in the "functionality" of the insulated surface in several cases (it is impossible to drill and hang something significant).

Thus, in addition to the direct costs of insulation and finishing, there is a need for costs of protection from condensation, additional ventilation and expensive square meters of housing.

- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
Sealing the cracks and reducing the infiltration of cold air – doors and windows.

- Do you have any other comments?
<http://www.e-institut.ru/internalinsulation>
<http://all-docs.ru/index.php?page=20&vi1=24478> – Building norms and rules of RK 3.02-29-2004 INSULATING AND FINISHING COATINGS/ SNiP RK 3.02-29-2004 -
Internal insulation of walls (warming of walls from inside of premises) can be applied in those cases when external placement of thermal insulation is impossible for one reason or another (eg historical buildings - monuments, structural features of enclosing structures).
The unwillingness of the internal insulation of the walls is primarily due to physical causes - the processes of heat and moisture transfer through the construction structure.
When the walls are insulated from the inside, as a rule, it is impossible to arrange a continuous thermal circuit due to the abutment of the ceilings and internal walls / partitions to the non-insulated outer walls. As a result, cold bridges are retained, the negative impact of which due to the heat engineering heterogeneity of the newly insulated structure can only increase, leading to the appearance of fungus and mold.

Bifogade rapporter: 0

Kazan

In our country, the standards do not recommend thermal insulation at the inside of outer walls. The exception is only for buildings in the conditions of historical reconstruction when insulation from the outside is impossible. At the same time, if usually the resistance to heat transfer is established for economic reasons (energy saving for heating) and the thickness of the insulation is about 100-150 mm, then the heat resistance from the inside is set according to hygienic requirements only, which is 2-3 times lower than in economic (in accordance with the current standards for thermal protection of buildings SP 50.13330). If it is necessary to insulate the walls from the inside, it is necessary to install a sufficient layer of vapor barrier also from the inside.

In our climate with low winter temperatures, insulation at the inside of outer walls has the following drawbacks:

- the load-bearing part of the wall is not heated by internal heat, experiencing large temperature changes and deformations from the outside air
- the plane of condensation (dew point) is displaced into the bearing part of the wall into the negative temperature range, which can cause its rapid destruction due to freeze-thaw processes.

Therefore, there isn't a lot of experience in insulating buildings from the inside.

And we did not set out the tasks of scientific research of such constructions.

Nevertheless, our institute has a large base for studying the processes of heat and mass transfer in the outer walls, there is a climatic chamber with temperatures up to -25. It would be interesting for us to take part in joint research on internal thermal insulation.

Our scientists have experience in research on the topic of heat protection: studies on the moisture regime of structures (work on the study of vapor permeability and thermal conductivity of materials, work on the condensation of water vapor), on the longevity and service life of insulation in external walls (the influence of external climatic factors on the aging of materials).

Bifogade rapporter: 0

Danmark

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Yes
- If yes
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
50mm to 100mm. Before it was mineral wool on studs with vapour barrier and gypsum boards, but last 5 years it is diffusion open systems like Multipor from Xella, IQ-Therm from Remmers and Phenolic Foams and PUR and PIR from Kingspan.
- What are your experiences of this kind of walls?
It is critical and we participate in several projects to find robust solutions.
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
The new methods around 5 years, People are skeptical because of many cases with the old method with mould growth.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
No, people just implement it. We think it is risky and that every case should be evaluated. The thickness should be reduced to cope with the risk of mould growth.
- Do you have any other comments?
We have 3 journal articles coming up soon and we send you some conference articles and one published journal article.

We will appreciate to receive the result of the survey.

Bifogade rapporter: 3

Kirgizstan

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Yes, we have some experience thermal insulation at the inside of outer walls in Kyrgyzstan. For example, outer four walls of an existing dacha home in the village Tash-Moinok (16 km from Bishkek city, on south side of it) were thermal insulated at the inside part of them. It was made (I think it is the most suitable technology for inside thermal insulation) the Polyurethane Foam insulation by using Spray technology. For having afterwards suitable interior surfaces used sheets of a plaster of Paris (in Russian Гипсокартон: gypsum cardboard)
- If yes
- What are the typical thickness of the thermal insulation
I think a first layer can be about 40-60 mm, but it can be made a second layer on it.
- What kind of insulation do you use?
See above: the Spray Polyurethane Foam.

and how is the original?

I think it should be brick wall with or without plaster on cement. But this technology not recommend if wall is made by wood construction.

and new part of the wall usually constructed of?

See above, but for maximum avoiding of thermal bridges effect the metal binding of a plaster of Paris must be isolated from a wall. Furthermore, for maximum avoiding of some moisture problems in a wall the metal bindings bases must be installed before spraying Polyurethane Foam. I do think that it is very important to have not destroyed surface of the Polyurethane Foam, because the destroyed surface part of it very sensitive for water.

- What are your experiences of this kind of walls?
Now days this kind of inside thermal insulation started using.
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
It is used as a new technology and its technical behavior not monitored yet in a long exploit time.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?

We have not much extra thermal insulation experience because this technology required a lot of measures to avoid moisture problems in a wall (which can destroy of wall materials and appearing of a mold and some unpleasant smell etc.)

- If no, why don't you use this kind of system?
This kind of layers occupies some part of a room and connected with the fire-resistant problems of some kind of thermal insulation materials
- Do you have any other comments?
It can be explained and commented a lot of theoretical and practical basics and problems, for example, for concrete historical buildings inside thermal insulation system. Maybe, it is required for getting appropriate practical decisions to have on site measurement Investigations. Particularly, it will be very good measure to have pre-filling of a surface with some kind of appropriate chemical solution against mold etc.
- If you have any article or other information about this construction in your country, please send us a copy or a link to it.
I do not meet with appropriate articles in Kyrgyzstan. But, recently we have issued 3 scientific articles on site measurement Investigation of natural thermal regimes of Mausoleum which has no heating system. Now days it is not possible for it to have both an external and inside thermal insulation. So, we recommended having some conservation period of the Mausoleum in a winter time. As you see, these articles in fact not useful for you.

Bifogade rapporter: 0

Tajikistan

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
We do have some experience on extra wall insulation, but mostly for outer insulation and mostly in the rural areas for individual houses. We have done some inner insulation of the walls in the past as experiments (only 3 buildings).
- If yes
Hereinafter, I will talk about those experiments we have done so far.
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
The typical thickness is 5cm (this is enough for most part of Tajikistan, except GBAO), two type of insulation materials are used: mineral wool (imported from Kazakhstan) and EPS - expanded polystyrene (locally made). The way of construction: i) making structure from aluminium profiles ii) placing of insulation

material iii) covering the insulation material with vapor barrier layer iv)
installation of covering material (usually it is a gypsum board of 1 cm thick v)
finishing work (putty material as plaster and/or wallpaper).

- What are your experiences of this kind of walls?
We don't have feedback yet on them unfortunately, at least we don't have a negative feedback. But to be honestly, we didn't do any test yet. Theoretically when we calculated a condensation, it showed that this risk exists, but we are waiting when this problem will be appearing. We have asked our beneficiaries to inform us when something is wrong with the insulated walls (even when there is a bad smell in the room. It could be if there is a mould). So far, it is okay.
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
It was in 2011-2013.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
Sorry, didn't get your question. What do you mean by other measures?
- Do you have any other comments?
Within our past project (partnership with GIZ) we had a chance to work with German EE specialists, so they were very skeptic about inner insulation. According to them, there is no way to avoid moisture problem with inner insulation. Wall insulation goes well last 2-3 years in the cities with multi-store buildings, because it is compulsory according to the construction norms. But all of them outer insulation and two types: ventilated and non-ventilated facade. Within individual houses, this is a big obstacle yet. Very few people want to insulate their walls.

Unfortunately, here in Tajikistan nobody learnt this technique deeper, so there is no any article or other report available.

Bifogade rapporter: 0

England

I have attached some answers to your questions below. This is an area which I have been working on with researchers and government for several years, as it is extremely important to the historic building stock in the UK. We have about 25% solid wall buildings in the UK built before 1919 - that is about 6.5million homes, and many non-domestic properties.

Please also find the attached documents. The first two on IWI heat loss were undertaken for UK Government. The moisture risk assessment Bristol was undertaken for Bristol City Council which has 60,000 solid wall buildings to renovate. We

recommended a hybrid insulation approach, with IWI on the front of buildings and EWI at the back and sides, all as part of a whole building approach (explained in the fourth document, the Bristolian's guide to solid wall insulation). I summarized our approach in the fifth document Planning Responsible Retrofit of Traditional Buildings. Finally, there are three papers by my student Valentina Marincioni, based on some of this work.

Please note that not all of these have been made public, as some of them were for government. However, we do have other peer reviewed papers and conference findings based upon them, which I can send in due course. Please do not reference any of these documents without getting permission from me.

Our work is leading to significant new policy in the UK, which hopefully will reduce moisture risk as well as producing more energy efficient buildings.

Bifogade rapporter: 8

Belgium

Internal insulation is not the traditional way of insulating facades in Belgium.

It is however more and more applied in renovation projects where the existing walls are composed of a single masonry leaf, in case other possibilities like external insulation are not feasible because of architectural considerations or urban planning rules.

Nowadays the government and BBRI is promoting this type of insulation for the renovation market (subsidies) on the condition that it is installed within a quality control framework and that the existing building and wall meets a number of criteria, see guidelines attached and <http://ebl.vlaanderen.be/publications/documents/52236> for a more elaborate version (in Dutch however). The R-value of the interior insulation should be at least 2.0 m²K/W to receive subsidies. The guidelines contain more information about the possible systems and materials.

Also, BBRI has some guidelines for designers and contractors eg <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact55&art=838> (unfortunately also in Dutch).

During the last Nordic symposium there were also a number of papers by Belgian authors related to internal insulation systems.

Bifogade rapporter: 1

Finland

Helsingfors

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Yes, we have, but not much. For example, in some older buildings and partly below ground floors there can be only inside insulation layer on the warm side of the concrete foundation.
Also for renovation purposes there are PU-panels (<https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/kayttokohteet/vintit>) meant to be fixed on the inside of the old wall/ceiling.
Still the inside insulations are known to cause additional risks if not properly designed, dimensioned and installed.
- If yes
What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
As low thickness, as possible for the inside insulation (own/expert opinion).
Typically, max. thermal resistance about $\frac{1}{4}$ of the whole resistance of the (renovated) structure. This is a rule of a thumb, not regulation.
Insulations may vary from PUR/PIR, mineral wool, CFI boards, etc.
Also in some cases vacuum insulation is used in ceilings when renovating downtown upper storey apartments with sloped ceilings. Thin insulation saves the height and gives more living space area to be sold (there are height limitations for living spaces).
- What are your experiences of this kind of walls?
Theoretically should be avoided if possible, but with good design (Rinside/Rtot – kriteria, etc.) and installation can be made reasonably safe.
The old cellar walls were typically made vapour open to indoor air allowing some drying of the wall towards indoor air.
Nowadays the additional inside insulation is at least air tight, because convection can form a loop from indoor air – insulation boundary – indoor air bringing moisture into the structure.
Also vapour tightness is recommended, when there is no organic material between two vapour tight layers.
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
Old cellar walls are from 1960's or even older, renovation cases later and even still.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?

Typically, not even if some additional measures should be taken or at least instructions should be given (adequate indoor air change, indoor moisture loads should be kept low enough, etc.

- Do you have any other comments?

Tampere

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?

Yes, we use, but we know these moisture risks and thick interior side extra insulation is not suitable. Maximum suitable thickness is nowadays 50 mm, but I know that clearly thicker insulations are also used.

- If yes

What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?

We have used thicknesses between 50 and 250 mm – typically between 50 and 150 mm. Mineral wool and cellulose insulation are the most typical insulation materials. Also, polyurethane and EPS sheets have been used. Nowadays we use 50 mm interior side insulations in wood frame walls, because this insulation space can be used for installation of electrical tubes and components without creating holes through the vapour barrier. Earlier we used thicker interior side insulation also in new log walls, but it is not used so much anymore. Thicker interior side insulations have also been used in renovation like in masonry walls, log walls and wood frame walls. In concrete basements walls we have used EPS, XPS and polyurethane sheets as well as AAC and light-weight concrete.

Nowadays we have started to use more calcium silicate insulation in these interior side insulations when we renovate buildings.

- What are your experiences of this kind of walls?

Over 50 mm thicknesses should not be used – or if you want to use, you must analyze the moisture behavior of wall structure, and especially the connections very carefully. We have noticed mould and moisture problems in these walls, but many of them have also been worked well. Actually, we have noticed sometimes these problems also when only this 50 mm of interior side insulation has been used – typically in wall corners. The key factors are, what is the moisture excess of indoor air, what kind of wall structure is outer side of this insulation, and is there air holes through the vapour barrier (if you use open pore thermal insulation).

I am also quite worry about the interior side insulations which have been done by cellulose insulation, because typically there has not been used vapour barrier in interior side of the insulation. In practice, these walls can be work just because there is low moisture excess in indoor air and/or there is mould protective agent (boron) in this insulation material. However, I have heard that this boron can leave

from insulation material during longer time and if this happens we have more problems in future with these walls.

- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
I think that about 40 years.
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
- If no, why don't you use this kind of system?
This interior side extra insulation has been typically installed when the building has been generally renovated. Thus, there are typically many renovation measures at the same time in these buildings. For instance, HVAC-system can be updated and washroom and sauna can be done in houses.
- Do you have any other comments?
- If you have any article or other information about this construction in your country, please send us a copy or a link to it.
We have done some new simulations from these interior side insulations, but unfortunately the results have been presented in Finnish. We should write the article about these results, but we have not had time to do that.

Bifogade rapporter: 0

Japan

Kyoto

Regarding the inner insulation, I obtained the following information from my friends and colleagues.

1. Generally, thermal renovation of external wall is very limited. The renovation of window is more popular than the renovation of the wall insulation, and most of the window renovation is an addition of an inner window glazing.
2. Regarding the wall insulation, filling or packing an insulation material between inside finishing (usually plaster board) and exterior finishing (cladding) is very common. Therefore, it cannot be regarded as (pure) inside insulation.
 - a. The renovation process: the plaster board is tore off first, then the insulation material is filled into the void between inside and exterior finishing. In this case, outer air layer is formed (by making use outer part of the original void) to avoid condensation.)

- b. As an insulation material, glass fiber board of density 10 kg/m³ and thickness 50 or 75mm, or extruded and expanded polystyrene of thickness 50 to 70mm is usually used.
 - c. Since the thickness of the air void is usually 105mm in the Japanese style wooden wall, the thickness of the insulation is determined to guarantee the outer air layer of thickness about 20 mm.
 - d. Recently, thin insulation materials with high thermal performance have been prevailing, whose thickness is less than 30mm and is just attached to the inner surface of the wall.
 - e. Sekisui Chemical Co Ltd (phenolic foam 15mm + plaster board 12mm)
<http://ishome.jp/4574-entry.html>
 - f. LIXIL (vacuum insulation 12mm + plaster board 9.5mm)
http://www.lixil.co.jp/lineup/construction_method/cocoeco/outline/
3. Kyo-machiya as an example of traditional residences. The outer wall is made of mud (earthen wall), and the outer surface is required to be kept as its original appearance. Therefore, inside insulation is adopted in many cases.
- a. A foam heat insulating layer is sprayed to the inside of the mud layer. Insulation ICYNENE of thickness about 25mm is often used.
4. Kyo-machiya as an example of traditional residences (special case) Since in some cases, people want to keep the mud wall without insulation, an exception rule was specified in the Energy Conservation Law. In this case, the application of Law is exemplified (upper limit of energy consumption can be neglected).

As you can understand from the above mentioned, we do not have enough experience about this kind of renovation. I think it takes some time before any damages or problems occur.

Kobe

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
 A1(Building) : No.
 A2(Housing) : Yes.
 A3(Housing) : Yes.
- If yes
 What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
 A2(Housing): As a product of wall system for renovation (attachment of panel inside the wall), 30-50mm insulation are attached to the panel. In case of on-site

construction, glass wool or blown-based insulation material are used and the thickness is often 100 mm (if necessary, foundation reinforcement is done).

A3(Housing): It is up to the acceptable thickness of the exterior wall. In case of Japanese wooden house, it is possible to add 100mm insulation (glass wool) between wood columns (105mm x 105 mm) at the maximum. When inserting insulation to exterior wall, the material is fiber insulation for the reasons of construction. Extruded polystyrene (XPS) board is often used for the reason of construction period and cost. In this case, the XPS board is 15-20 mm.

- What are your experiences of this kind of walls?

A2(Housing): In our company, the experiences are few. It is important for the house owner to make a renovation with living there. So, renovation with residents is limited to window, ceiling and floor. (To add insulation to walls, finishing process is necessary also for window, ceiling and floor).

- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?

A2(Housing): The product of wall system for renovation (attachment of panel inside the wall): 2 years (for other companies, 10 years).

A3(Housing) : I don't know.

- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?

A3(Housing): Renovation of opening is best from the viewpoint of cost-effectiveness. Only the renovation of opening without addition of insulation to walls is usual.

- If no, why don't you use this kind of system?

A1(Building): It is because, in Japan, adequate insulation is generally put inside the exterior wall. Foamed-in-place spray rigid polyurethane foam* is often used for insulation. The thickness of it varies with the region (15-60mm).

The structure of the wall is "RC + insulation + air layer + gypsum board".

*Non-fluorocarbon on-site foaming system

<https://www.achilles.jp/english/company/business/industrial-materials/#industrial01>

- Do you have any other comments?

A1(Building): In a building made of RC, when necessary, it sometimes happens to add insulation from inside partly (for example, measures for condensation on floor). In that case, foamed-in-place spray rigid polyurethane foam is used.

Bifogade rapporter: 1

Korea

- Do you use extra thermal insulation at the inside of outer walls in existing buildings in your country?
Yes, most exterior walls in buildings are equipped with inside insulation in Korea.
- What are the typical thickness of the thermal insulation, what kind of insulation do you use and how is the original and new part of the wall usually constructed?
Insulations are being installed based on the regulations in Korea.
For example, the following shows the history of regulation evolution related to insulation thickness (location Seoul, exterior wall directly facing outdoor air, thermal conductivity of insulation 0.034[W/m² K])
 - > Installation of insulation became mandatory in 1979 (thickness 25 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 1980 (Thickness increased to 50 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 2001 (Thickness increased to 65 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 2010 (Thickness increased to 85 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 2013 (Thickness increased to 120 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 2015 (Thickness increased to 155 mm)
 - > Regulation related to insulation reinforced in 2018 (Thickness increased to 225 mm)

Composition of the exterior wall is as follows

Existing construction (Outdoor air + Conc 180~200 mm + Insulation(Var) + Air layer(Var) + Finishing material(Var)

Insulation: Installation of the new insulation with the thickness complying with the current regulation after the removal of old insulation

Finishing material: Ex 1) Gypsum board (9.5 mm) Double layer + wall paper (or paint) Ex 2) CRC board 4.5 mm + paint

Ex 3) Stone finishing

- What are your experiences of this kind of walls?
Considerations when installing inside insulation.
Insulations should be installed continuously without disconnection.
Whenever there is any disconnected part due to internal partition (Middle Fig. below), extra insulation to avoid condensation should be installed.
For the connection of two insulations, halving processing method should be adopted (Right Fig. below) since two insulations cannot be tightly connected especially when the thickness of insulations is thick.

2 liquefied urethane spray should be applied within 200 mm radius from the window because rectangular-shaped insulation cannot be applied (Left Fig. below) due to the existence of many ironware around windows.

- What are your experiences of this kind of walls?
- For how long have you used extra thermal insulation on the inside?
I have been working in the inside insulation field for 20 years, especially i Trouble and Shootingi± related to insulations
The main issue of inside insulation is related to condensation due to degradation of insulation performance around thermal bridge regions.
Those condensation problems usually occur in the following regions.
Thermal bridge (disconnection of different insulations).
Regions around windows and curtain boxes (rectangular-shaped insulation cannot be applied due to the existence of many ironwares).
Exterior walls surrounding un-heated zones (un-heated zones adjacent to heated zones can receive humidity from heated zones, causing condensation).
Rear part of interior furniture (furniture acts as insulation and thus there is a high risk of condensation in the rear part of furniture).
- Do you generally combine extra thermal insulation with other measures?
- If no, why don't you use this kind of system?
There are many cases in Korea that installed new installations after the removal of existing insulation.
When the existing insulation should not be removed, the new finishing material is installed after the installation of the insulation in the existing wall (overall wall thickness is increased in this case).
- Do you have any other comments?
Inside insulation is widely being used especially in high-rise buildings in Korea. Although outside insulation has better thermal performance than inside insulation, the reason for inside insulation being widely used is the reduced construction period and cost by 30%.
- If you have any article or other information about this construction in your country, please send us a copy or a link to it.
Here I attach the relevant articles, but they are all written in Korean.

Bifogade rapporter: 3

Bilaga 2. Förslag till ansökan

Projekttitel (på svenska): Invändig tilläggsisolering av äldre flerbostadshus.

Projekttitel (på engelska): Internal thermal insulation of older apartment buildings.

Sammanfattning (på svenska)

Detta projekt skall utveckla ett koncept för invändig tilläggsisolering av ytterväggar. Detta kommer att ske i samverkan med företag inom BeBo i form av pilotprojekt som noggrant kommer att planeras, beräknas samt följas genom kontinuerliga mätningar före, under och efter energibesparande åtgärder i byggnadsskalet. Erfarenheter i Sverige och övriga världen i kombination med analyser och slutsatser från projektet kommer att användas för att utarbeta en robust metodik för invändig tilläggsisolering av olika typer av ytterväggar.

Sammanfattning (på engelska)

This project will develop a concept for internal additional thermal insulation of exterior walls. This will be done in collaboration with BeBo companies in the form of pilot projects that will be carefully planned, calculated and followed up by continuous measurements before, during and after energy-saving measures in the building envelope. Experiences from Sweden and from the rest of the world combined with analyses from the project will be used to develop a robust method for internal additional insulation of different types of exterior walls.

Handläggare: Tomas Berggren

Datum för projektstart: 2019-01-01

Tidpunkt då projektet beräknas vara genomfört: 2021-09-30

Motivering

I äldre byggnader vill man ofta bevara den yttre karaktären på exteriören. Detta innebär att invändig tilläggsisolering ofta är den enda möjligheten att energieffektivisera ytterväggar. Tidigare studier, både i Sverige och i andra länder med liknande klimat, visar att invändig tilläggsisolering leder till ett antal negativa konsekvenser både ur värme och ur fuktsynpunkt. Emellertid finns i genomförd förstudie, indikationer på att tunnare invändig tilläggsisolering i vissa fall använts med framgång. Detta innebär att ett framgångsrikt projekt innebär en mycket stor potential avseende energibesparingar i befintlig bebyggelse i Sverige.

Bakgrund

Ett av EU:s mål är att minska miljöbelastningen globalt. Att minska energianvändningen i våra byggnader är en viktig del i att nå detta mål. Eftersom större delen av bostadsbeståndet är befintligt är det viktigt att hitta lösningar för att energiuppdatera dessa byggnader på ett korrekt sätt.

Att bygga ett nytt energieffektivt hus kräver hög kompetens inom en rad områden. Att genomföra åtgärder, i energibesparande syfte, på befintliga byggnader kräver ofta ännu mer. Tjockare värmeisolering, intermitterent uppvärmning, nya typer av byggnadsmaterial samt reducerad eller modifierad ventilation påverkar byggnaders termiska och hygroskopiska egenskaper, och därmed också risken för fukt- och mögelskador. Tyvärr är det oftast så att känsligheten och därmed risken för t.ex. fuktskador ökar med dessa åtgärder. Ett antal konstruktioner, som vi vet är fuktkritiska, kommer att bli ännu känsligare och nya delar av byggnaden, som tidigare fungerade väl, kommer att bli känsliga. Vi har många exempel på detta i byggnader med kryppgrund eller oinredda kalla vindar som åtgärdades på 1970-talet.

Ur byggnadsfysikalisk synvinkel är utvändigt tilläggsisolering att föredra, detta gäller hela klimatskalet. Beträffande ytterväggar önskar man dock ofta, ur arkitektonisk och antikvarisk synvinkel, att bevara den ursprungliga karaktären. För att öka den termiska komforten kan invändig isolering med fördel användas. Detta medför att invändig tilläggsisolering ofta är det enda återstående alternativet. Exempelvis har detta studerats i ett BeBo-projekt i Örebro.

Invändig tilläggsisolering kan medföra oacceptabla risker om det sker på fel sätt, exempelvis:

- Yttre delarna av ytterväggen blir kallare och därmed risken för frostsador. T.ex. kan tegel som fungerat utmärkt i över hundra år plötsligt förstöras genom frostsprängning.
- Kallare, fuktigare ytor leder till större risk för mikrobiell tillväxt.
- Anslutningar i form av mellanbjälklag, innerväggar och fönsternischer kommer att utgöra tydligare köldbryggor.
- Det är ofta svårt att uppnå tillräcklig lufttäthet vid invändig tilläggsisolering. Om varm fuktig inneluft transporteras in mellan kall befintlig vägg och tilläggsisolering ökar risken för mögelskador markant.
- Eldosor och andra installationer i yttervägg kommer att hamna kallare och fuktigare och därmed äventyra elsäkerheten.
- Upplagen för mellanbjälklagens träbalkar kommer att hamna kallare och fuktigare vilket ökar risken för röta.
-

Invändig tilläggsisolering, rätt utförd, innebär en rad fördelar, exempelvis:

- Möjlighet till energieffektivisering av byggnader utan att påverka fasaden.
- Även en måttlig tilläggsisolering på insidan av väggar som saknar värmeisolering ger förhållandevis stor påverkan på U-värdet.

- Antalet byggnader där invändig tilläggsisolering utgör ett möjligt alternativ är omfattande. Detta innebär att det finns en mycket stor potential att minska energianvändningen nationellt.

Tanken med detta projekt är att utveckla en metod för energieffektiv och fuktsäker tilläggsisolering av ytterväggar.

Forskargrupp

Vid LTH finns idag ett antal unika kompetenser samlade som kan bidra till att med ett helhetsperspektiv kunna hantera de komplexa frågeställningar som energibesparande åtgärder för med sig, t.ex:

Byggnadsfysik - Energieffektiva byggnader, fuktsäkerhet, byggnadsteknik, modellering, mätningar

Installationsteknik - Ventilation, installationer, energieffektiva byggnader

Byggnadsmaterial - Materialfrågor, mätningar.

Brandteknik – Brandsäkerhet.

Denna kompetens i samverkan med den erfarenhet som finns bland BeBo:s medlemsföretag borgar för att både teori och praktik kommer att beaktas.

Mål

Målet med projektet är att på ett säkert sätt kunna tilläggsisolera på insidan av klimatskalet. Härvid måste en metodik utvecklas för bättre riskbedömning av invändig tilläggsisolering.

Genomförande

Fokus i detta projekt ligger i att utarbeta en metodik med avseende på invändig tilläggsisolering, baserad på tillgänglig kunskap, nationellt och internationellt.

Hygrotermiska beräkningar samt riskanalys för olika alternativ avseende invändig tilläggsisolering kommer att genomföras vid Byggnadsfysik, LTH. De alternativa utföranden som kommer att analyseras tas fram i samråd med företagen inom BeBo.

Mätningar av ute- och inneklimat samt temperaturer och fuktigheter i ytterväggarnas olika material kommer att genomföras före, under och efter åtgärder på de objekt som de deltagande medlemsföretagen i BeBo väljer att arbeta med inom ramen för detta projekt.

Den metodik som ska utarbetas avses att ta fram, beroende på uppbyggnaden av befintlig vägg samt omgivande klimat, lösningar i form av invändig tilläggsisolering som innebär avsevärda energibesparingar utan att äventyra fuktsäkerhet och inomhusmiljö.

Resultaten kommer att redovisas efterhand för BeBo:s medlemsföretag samt i slutrapport till Energimyndigheten. Vetenskapliga och populärvetenskapliga artiklar kommer att publiceras efter hand under projektets gång.

Organisation och personal

Arbetsgrupp

Jesper Arfvidsson	Fuktcentrum, Professor i Byggnadsfysik
Lars-Erik Harderup	Föreståndare Fuktcentrum, Lektor i Byggnadsfysik
Sven Fristedt	Expert, arkitektoniska kvalitéer m.m.
N.N	Seniorforskare vid Byggnadsfysik, LTH
N.N, N,N, N,N	Deltagare från BeBo:s medlemsföretag.

	Kostnader		
	2019	2020	2021
Lönekostnader	1 500 000	1 500 000	750 000
Lab/Försök	100 000	100 000	50 000
Resor	100 000	100 000	50 000
Övriga kostnader (dator, tryckning)	25 000	10 000	5 000
Indirekta kostnader	850 000	840 000	420 000
TOTALT	2 575 000	2 525 000	1 275 000

Finansiering

	2019	2020	2021
Finansiär			
Energimyndigheten	2 275 000	2 275 000	1 100 000
Lunds universitet	50 000	50 000	25 000
BeBo-företagen	250 000	250 000	150 000

Resultatredovisning

- Avrapportering efterhand vid BeBo:s möten
- Slutrapport till Energimyndigheten
- Artiklar vid nationella och internationella konferenser
- Artiklar i branschtidskrifter

Nyttiggörande

- Utveckla koncept för invändig tilläggsisolering av byggnader, direkt användbart för aktörer inom byggbranschen.

Några exempel på litteratur inom området

- Hagentoft, Carl-Eric, Annex 55, Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance and Cost, (RAP-RETRO): Stochastic Data, Göteborg 2015.
- Grunewald, John, The Rijksmuseum Amsterdam - Hygrothermal analysis and dimensioning of thermal insulation, Dresden 2006.
- Abdul Hamid, Akram, Method for evaluation of renovation measures with regard to moisture and emission loads, Lund 2017.