



Invändig tilläggsisolering av ytterväggar



Invändig tilläggsisolering av ytterväggar

Slutrapport

Jesper Arfvidsson
Akram Abdul Hamid

Avdelningen för byggnadsfysik
LTH
Lunds universitet



Energimyndighetens projektnummer: P2018-90034

E2B2



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 21 december 2022

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



Sammanfattning

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 tilläggsisolera ytterväggar på insidan förknippas ofta med stora risker för omfattande fuktskador med dålig inomhusmiljö som följd. I detta projekt visar vi att det är fullt möjligt att tilläggsisolera ytterväggar.

Genom att på ett systematiskt sätt analysera förutsättningar och risker, genomföra mätningar och beräkningar kan man radikalt minska risken för oönskade konsekvenser. Med hjälp av ett antal fallstudier i verkliga byggnader på olika platser i Sverige utarbetas i detta projekt ett arbetssätt, en metodik tydliggör vad olika typer av förändringar i en befintlig byggnad innebär.

Metodik bygger på olika steg. I det första steget sker en statusbestämning av den befintliga byggnaden. Här tar man reda på de olika materialens och byggnadsdelarnas skick och funktion, kartlägger skador, gör mätningar och beräkningar till dess att man får en klar bild över skick och funktion samt hur byggnaden fungerar byggnadsfysikaliskt, d.v.s. hur värme, fukt och luft transporteras

I nästa steg tas förslag på åtgärder fram. Har man genomfört en gedigen statusbestämning är det ofta ganska självklart vad som behöver göras. Föreslagna åtgärder analyseras och riskbedöms med hjälp av beräkningar och riskkurvor för mögeltillväxt.

I det sista steget följer man hela processen genom fortlöpande mätningar av temperaturer och fuktigheter i de punkter och skikt man genom riskbedömningen bedömt som viktigast att kontrollera.

En metodik som hjälper en genom hela denna process har utarbetats och presenteras i denna rapport. Nästa steg är att börja tillämpa metodiken på fler objekt och efterhand förbättra och förfina såväl metodik som hjälpmedel.

Nyckelord: Invändig tilläggsisolering, energi, fukt, renovering, statusbestämning



Summary

One of the EU's goals is to reduce the global environmental burden. Reducing energy use in our buildings is an important part of achieving this goal. Since most of the housing stock is existing, it is important to find solutions to energy update these buildings in a correct way.

Insulating external walls on the inside is often associated with major risks of extensive moisture damage with a poor indoor environment as a result. In this project, we show that it is possible to additionally insulate external walls on the inside.

By systematically analyzing conditions and risks, carrying out measurements and calculations, you can radically reduce the risk of unwanted consequences. With the help of a number of case studies in real buildings at different locations in Sweden, this project develops a working method, a methodology that makes clear what different types of changes in an existing building entail.

The methodology is based on different steps. In the first step, a status determination of the existing building takes place. Here you find out the condition and function of the various materials and building parts, map damage, make measurements and calculations until you get a clear picture of the condition and function as well as how the building works concerning, i.e. how heat, moisture and air are transported.

In the next step, proposals for measures are drawn up. If a solid status assessment has been carried out, it is often quite obvious what needs to be done. Proposed measures are analyzed, and risk assessed using calculations and risk curves for mold growth.

In the last step, the entire process is followed through continuous measurements of temperatures and humidity in the points and layers deemed most important to control through the risk assessment.

A methodology that helps one through this entire process has been developed and presented in this report. The next step is to start applying the methodology to more objects and gradually improve and refine both methodology and aids.

Keywords: Internal insulation, energy, moisture, renovation, status determination



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE OCH MÅL	8
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	9
1.4	ÖVERGRIPANDE PROJEKTPLAN	9
2	GENOMFÖRANDE	10
2.1	STUDIEOBJEKT	10
2.1.1	BYGGNAD I GÖTEBORG	10
2.1.2	BYGGNAD I FINSPÅNG	11
2.1.3	BYGGNAD I UPPSALA	12
2.2	STATUSBESTÄMNING AV BEFINTLIG BYGGNAD	13
2.3	UTREDNING AV LÄMPLIG TILLÄGGSISOLERING AV YTTERVÄGG	14
2.4	FRAMTAGANDE AV METODIK	16
2.5	SPRIDNING AV RESULTAT	17
3	RESULTAT	18
3.1	SKADERISK PGA. INVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING	18
3.2	FÖRSLAG PÅ METODIK	21
4	DISKUSSION	23
5	SLUTSATSER	26
6	PUBLIKATIONSLISTA	27
7	REFERENSER	28





1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

För att nå miljömål krävs minskad energianvändning i Europas byggnadsbestånd, vilket kan uppnås genom energieffektiviseringsåtgärder (European Commission 2010; Abdul Hamid m.fl. 2018). Den största potentialen för denna energireduktion finns i de äldsta byggnaderna, det vill säga de byggnader som har högst energianvändning (Femenias m.fl. 2017). I Sverige utgör byggnader uppförda före slutet av andra världskriget cirka 30% av totala byggnadsbeståndet, och innehåller många kulturhistoriskt värdefulla byggnader (Holm & Sandö 2016). Vid renovering av dessa byggnader är det viktigt att bevara deras historiska värden (Eriksson 2021). Dock kan felaktigt utförda energieffektiviseringsåtgärder leda till fuktskador och sämre inomhusmiljö (Antretter m.fl. 2013; Harrestrup & Svendsen 2015; Abdul Hamid 2019; Johansson m.fl. 2021).

I en studie från Boverket bedömer antikvarier möjligheten att isolera ytterväggar på utsidan av flera byggnader och samtidigt bevara kulturhistoriskt värdefulla egenskaper (Boverket 2010). Studien visar att detta inte är möjligt för 24 % och tveksamt för 13 % av de inkluderade byggnaderna. Bland termiska förbättringar av ytterväggar i kulturbyggnader kan invändig isolering vara det enda alternativet på grund av krav på bevarande av kulturvärden (Morelli m.fl. 2012). Eftersom sådana byggnader vanligtvis är gamla är de också dåligt isolerade, vilket framgår i ett uppslagsverk (Björk m.fl. 2013). Detta innebär att även en liten mängd isolering kan minska värmeförlusterna genom klimatskalet avsevärt. Invändig isolering är dock förknippad med flera risker för skador på grund av minskningen av den befintliga väggens hygrotermiska prestanda, men sådana risker kan minskas genom val av lämplig teknisk lösning och tilläggsåtgärder såsom hydrofobisering (Zhang m.fl. 2012; Abdul Hamid & Wallentén 2017; Jensen N. F. m.fl. 2021; Jensen Nickolaj Feldt m.fl. 2021).

För en byggkonsult kan det vara svårt att avgöra om en isoleringsåtgärd är lämplig för en yttervägg eftersom många alternativ och faktorer påverkar resultatet (Abdul Hamid & Wallentén 2017). En metod för valet av teknisk lösning kan därför vara till nytta för att minska risken för fel och överväga tillgängliga alternativ, vilket bör minska riskerna för skador (Mukhopadhyaya m.fl. 2005). Därmed kan en metodik för detta underlätta för byggkonsulter i den svenska byggbranschen.

1.2 Syfte och mål

Det övergripande målet med projektet är att kunna genomföra tilläggsisolering av ytterväggar på insidan av befintliga klimatskal utan att kompromissa avseende fuktsäkerheten. För att uppnå detta krävs utveckling av en metodik för förbättrad riskbedömning av invändig tilläggsisolering.

Delmålen inkluderar att tillsammans med deltagande BeBo-företag i verkliga projekt planera, genomföra och följa upp energieffektiviserande åtgärder för olika typer av ytterväggskonstruktioner. Invändig tilläggsisolering utgör en av flera potentiella energibesparande åtgärder i befintliga byggnader. Dessa åtgärder inkluderar fältmätningar, laboriemätningar och beräkningar.

Mätbara indikatorer kan vara minskning av energianvändning som kan tillskrivas invändig tilläggsisolering, antal genomförda projekt och variationen av behandlade ytterväggskonstruktioner.



1.3 Omfattning och avgränsningar

Inom projektets ramar har en metodik för genomförande av invändig tilläggsisolering av ytterväggar tagits fram. Metodiken har efterhand utvecklats genom att statusbestämningar, hygrotermiska beräkningar och mätningar genomförts på en rad byggnader, av olika ålder, på olika platser i Sverige.

Resultaten från projektet avgränsas till att gälla ytterväggar i byggnader, byggda under de senaste två hundra åren i Sverige, i svenskt klimat

1.4 Övergripande projektplan

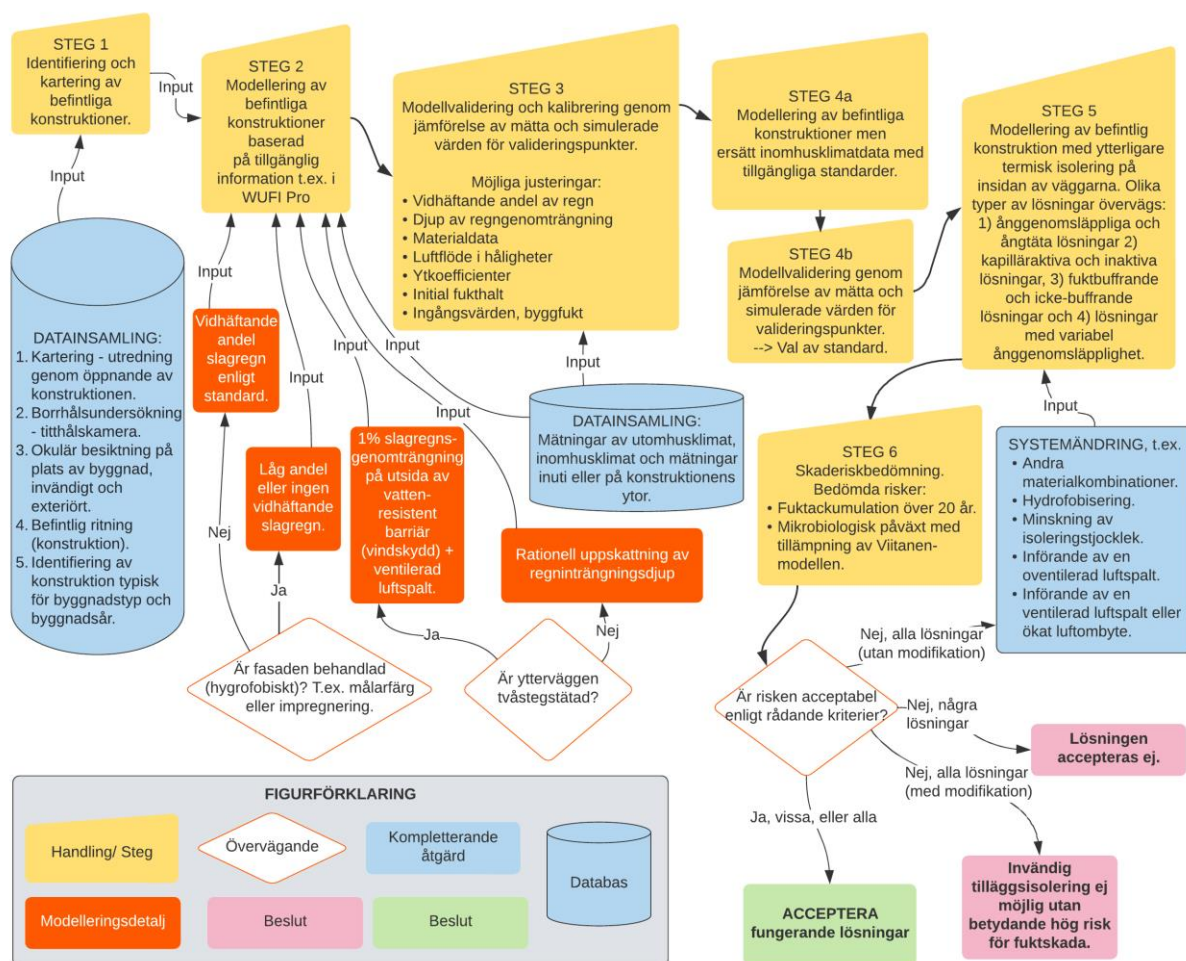
Projektet genomfördes som ett samarbete mellan LTH och deltagande företag inom BeBo. Projektet delades upp i följande faser:

1. Val av verkliga objekt som skulle inkluderas i studien.
2. Statusbestämning av befintlig byggnad.
3. Förslag på olika metoder för tilläggsisolering av befintlig yttervägg.
4. På plats följdes och dokumenterades arbetet samt mätningar och metoder utvärderades kontinuerligt.
5. Alla erfarenheter, mätningar och beräkningar sammanställdes och analyserades, och en metodik utarbetades för invändig tilläggsisolering av ytterväggar.
6. Resultaten spreds.

Genomförandet av dessa faser beskrivs närmare i avsnitt 2.



2 Genomförande



Figur 1: Arbetsflöde vid utredning av invändig tilläggsisolering i denna studie. Finns även i (Abdul Hamid m.fl. 2022).

2.1 Studieobjekt

Valet av verkliga objekt som ska inkluderas i studien har gjorts i samråd med deltagande företag med målsättningen att kunna genomföra hygrottermiska mätningar före, under och efter åtgärd.

2.1.1 Byggnad i Göteborg

Göteborg, Älvsborgsgatan 12



Figur 2: Bild på byggnad i Göteborg, från Google Maps.

Enligt ägaren byggdes huset 1918, och väggen är ungefär lika tjock som en fönsterkarm, kanske 12-15 cm. Med hjälp av ägaren, samt "Så byggdes husen" bestämdes ytterväggarnas komposition utifrån och inåt:

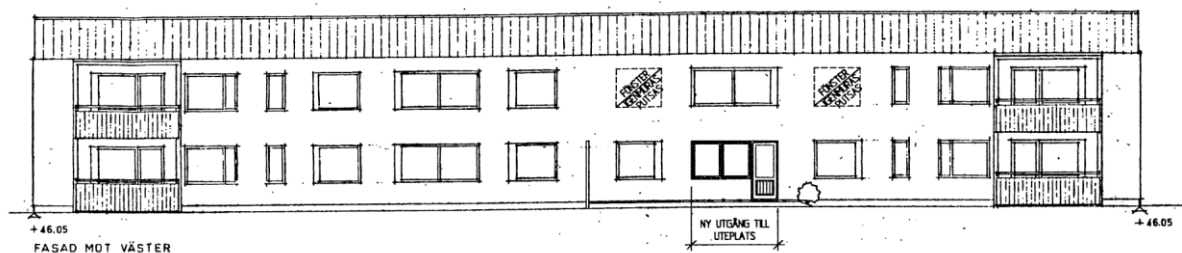
- Fasadfärg
- 25 mm (1 tum) träpanel, lockläkt
- Vindtät impregnerad papp
- 76 mm (3 tum) liggande plank (Furu), bärande stomme
- Invändig tjärpapp
- 25 mm (1 tum) liggande plank
- 25 mm (1 tum) stående plank
- Tapet

2.1.2 Byggnad i Finspång

Finspång, Hårstorsområdet



Figur 3: Bild på byggnad i Finspång, tagen av Lars-Erik Harderup.



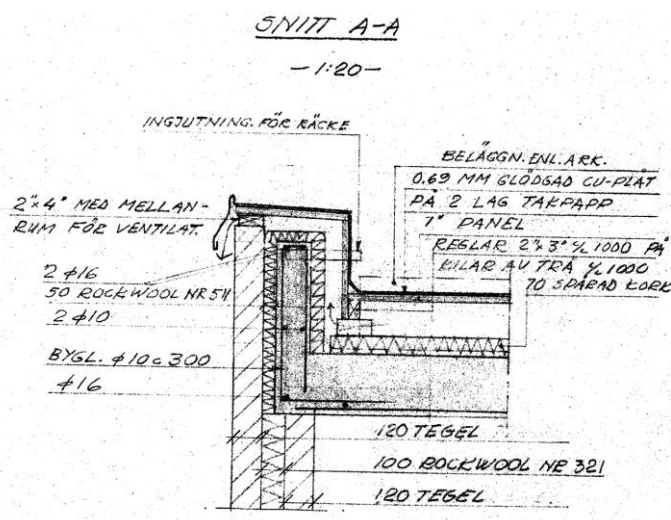
Figur 4: Ritning av byggnad i Finspång, tillhandahållen av kommunen.

Husen byggdes på 1970-talet. Ytterväggarnas komposition har identifierats baserat på referensverk (Björk m.fl. 2013) då ritningar ej fanns och möjlighet till kartering ej fanns:

- ½-sten (120 mm) fasadtegel
- 25 mm luftspalt (oventilerad)
- 95 mm mineralull mellan träreglar
- Ångspärr (gammal, antagen $sd=1m$)
- 13 mm gipsskiva
- Tapet

2.1.3 Byggnad i Uppsala

Uppsala, Kv. Rackarberget, Rackarbergsgatan 33



Figur 5: Byggnad i Uppsala (vänster), ritning på konstruktion (höger). Bild tagen av Lars-Erik Harderup, ritning tillhandahållen av ägaren.



Husen byggdes på 1960-talet.

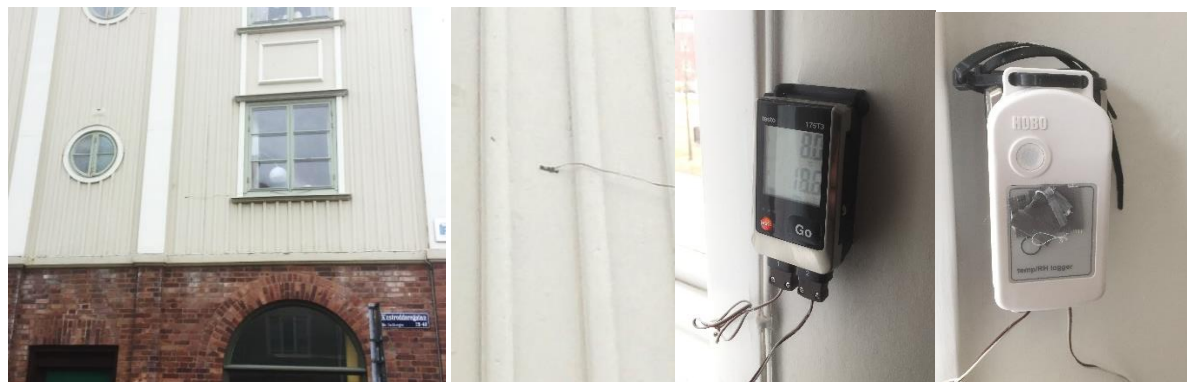
- Fasadfärg
- 44 mm (1,7 tum) Ytterputs
- 120 mm (4,7 tum) Massiv tegelmurning 2
- 100 mm (3,9 tum) Stenull **
- 120 mm (4,7 tum) Massiv tegelmurning
- 25 mm (1 tum) Puts
- Tapet

2.2 Statusbestämning av befintlig byggnad

Målet var att genomföra statusbestämningar för samtliga valda objekt. Modeller i programvara för hygrotermiska beräkningar framställdes för att bedöma hur den befintliga byggnaden fungerar ur värme- och fuktsynpunkt före genomförandet av åtgärder.

Mätningar har utförts i flera månader (minst) innan implementeringen av den invändiga isoleringen, som ännu inte har utförts. Mätningar utfördes i Göteborg mellan 2020-07-01 och 2021-03-24, Uppsala mellan 2019-10-31 och 2020-02-19, samt Finspång mellan 2019-10-31 och 2020-02-19. Temperatur och relativ luftfuktighet mättes var 20:e minut, med minst en logger placerad i ett vardagsrum eller sovrum med en vägg riktad mot det väderstreck med den högsta frekvensen av slagregn för det geografiska läget.

Mätningar av temperatur och relativ luftfuktighet utfördes med HOBO MX2032A ($T \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{RH} \pm 2,5 \%$) (Anon. 2021), placerade i inom- och utomhusluften. Mätningar av yttemperaturer utfördes med termoelementet Testo 175T3 loggrar ($T \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) (Nordtec Instrument AB 2022), på ytterväggarnas yttre och inre ytor. Dessa mätningar utfördes bl.a. för att validera modeller av väggarna i WUFI Pro för ytterligare bedömning av inverkan av invändig isolering på risken för skador. Anledningen till att mäta på ytorna var att undvika att skada väggarnas ytor. Dessutom skulle installation av sensorer genom borrhål modifiera vägguppsättningen, vilket påverkar mätningarna. Utöver detta skulle kablar för de installerade sensorerna sannolikt fungera som köldbryggor som överför värme till mätpunkten och påverka mätningarna.



Figur 6: Bilder på givare för mätningar på ytterväggar, Göteborg. Från vänster: fasad, termoelement på utvändiga ytor, termoelement på insidan, T- och RF-sensor för inomhusluft.



Figur 7: Bilder på givare för mätningar på ytterväggar, Finspång. Från vänster: termoelement på utvändiga ytor, termoelement på insidan. Dessa bilder visas även i ett konferensbidrag (Abdul Hamid m.fl. 2022).



Figur 8: Bilder på givare för mätningar på ytterväggar, Uppsala. Från vänster: T & RF sensor för uteluft, termoelement på insidan.

2.3 Utredning av lämplig tilläggsisolering av yttervägg

Modellerna av väggarna baserades på bestämning av väggkonstruktionerna genom inspektioner på plats när möjligt, befintliga ritningar och jämförelser av bilder tagna på plats med typiska svenska konstruktioner som beskrivits i referensverk (Björk m.fl. 2013). För varje byggnad genomfördes mätningar och simuleringar i väderstrecket med högst frekvens och intensiteten av slagregn – baserat på WUFI-analyser av utomhusklimatdata. Regninträngning genom brister i fasaden och vid anslutningar i ytterväggen beaktades genom att placera 1% slagregn i konstruktionen i enlighet med ASHRAE Standard 160 (ASHRAE 2021).



Bedömningarna tillämpade uteklimatdata hämtade från METEONORM (Remund m.fl. 2013; Meteotest 2022), som ger normaliserade klimatdata baserade på mätningar från befintliga väderstationer på varje plats, kompletterat med interpolerade data enligt en statistisk algoritm. Valet att tillämpa data från Meteonorm beror på att mätningar är begränsade till en viss tid och kan därför inte anses vara statistiskt representativa för byggnaden eller platsen. Av samma anledning tillämpades en standard för inomhusklimatet. I denna studie valdes EN15026 för analyserna, baserat på validering (Abdul Hamid m.fl. 2023).

I simuleringarna undersöktes inverkan av 13 olika alternativ för invändig tilläggsisolering som valts ut genom en marknadsundersökning, se nedan tabell. U-värdena för de befintliga ytterväggarna har beräknats vara 0,64, 0,24 och 0,33 W/(m²K) för byggnaderna i Göteborg, Uppsala respektive Finspång. Lösningarnas tjocklek valdes så att alla resulterade i samma minskning av värmeförluster (transmissionsförluster) genom samma vägg (U-värde) med hälften. Analysen inkluderade isoleringsmaterial som visas i nedan tabell och som har olika fukttransportegenskaper: 1) diffusionsöppna och diffusionstäta lösningar, 2) kapillärt aktiva och inaktiva lösningar, 3) fuktbufferande och icke-bufferande lösningar, och 4) lösningar med variabel permeabilitet.

Analyserna fokuserade på lösningarnas inverkan på risken för mikrobiologisk påväxt i väggarna. Fokuspunkterna för varje vägg var de med potentiella material som riskerade mikrobiologisk påväxt: 1) biologiska material placerade i den kallaste delen av väggen, men inte bortom vatten- och vindbarriären, 2) biologiska material placerade bakom det första ångtäta materialet (från insidan), eller 3) biologiska material som på annat sätt indikerades vara utsatta för hög relativ luftfuktighet genom den initiala analysen av temperatur och den relativa luftfuktigheten i varje lager av väggen. Detta bygger på antagandet att mikrobiologisk påväxt i dessa punkter kan påverka den bärande konstruktionen eller inomhusmiljön.

Den mikrobiologiska påväxtrisen bedömdes först med hjälp av isopletdiagram som producerats i simuleringens programmet och därmed med hjälp av Sedlbauers modell (Sedlbauer 2002). Enkelt uttryckt visar isopletdiagram resulterande temperatur och relativ luftfuktighet för varje timme under en simulering, och Sedlbauer-modellen ger trösklar för den relativa luftfuktigheten vid olika temperaturer för mögel att växa, t.ex. tröskeln LIMBau1 kräver att den relativa luftfuktigheten överstiger 76 % vid rumstemperatur (20 °C) för att mögel ska börja växa. Risken för mikrobiologisk påväxt bestämdes sedan med hjälp av Viitanens modell för mögelriskbedömning (Viitanen 2007), för åtminstone en punkt där den största risken finns i väggen. Dessa analyser utfördes med WUFI Bio VTT.

Tabell 1

Bet.	Teknisk lösning	Diffusionsmotstånd, faktor, μ -värde [-]	Max. absorptionskoefficient [m ² /s]	Beskrivning av fuktegenskaper	Värme-konduktivitet [W/(mK)]
B	EPS Grey 032	57	0	Diffusionstät	0.032
C	ROCKWOOL Klemmrock 035 + vapour retarder (sd=100m)	1.3	0	Diffusionstät	0.035
D	ROCKWOOL Klemmrock 035	1.3	0	Diffusionsöppen	0.035
E	CaSi-Board	3.23	0.00002	Diffusionsöppen,	0.05



Bet.	Teknisk lösning	Diffusions- motstånd, faktor, μ -värde [-]	Max. absorptions- koefficient [m^2/s]	Beskrivning av fuktegenskaper	Värme- konduktivitet [$\text{W}/(\text{mK})$]
	(Lüneburg)			Kapillärt aktiv	
F	Perlite Board	3.09	0	Diffusionsöppen	0.038
G	Aspen Aerogels - Spaceloft Grey	4.7	$1.3 \cdot 10^{-11}$	Diffusionsöppen, Kapillärt aktiv	0.014
H	ISOVER VACUPAD Kontur VVP 007	1000000	0	Diffusionstät	0.009
I	Cellulose Fibre + vapour retarder (sd=100m)	1.5	0	Diffusionstät	0.04
J	Cellulose Fibre	1.5	0	Diffusionsöppen	0.04
K	Aerated Concrete YTONG South	9.9	0.000000174	Diffusionsöppen, Kapillärt aktiv	0.072
L	Spray-applied rigid polyurethane foam	85.8	0	Diffusionstät	0.022
M	Cork	10	0	Diffusionsöppen	0.04
N	ROCKWOOL Klemmrock 035 + ISOVER Vario KM Duplex	1.3	0	Variabel permeabilitet	0.035

2.4 Framtagande av metodik

Den utvecklade metoden har främst av allt grundat sig i de samlade erfarenheterna vid utredningar av lämplig tilläggsisolering i de inkluderade fallstudierna. Dessa utredningar har baserats på validerade hygrotermiska beräkningar (simuleringar) av på marknaden olika tillgängliga alternativ för tilläggsisolering. Dessa alternativ har valts med olika egenskaper för fukttransport i olika faser – vätska och ånga. Modellerna för ytterväggarna har validerats genom mätningar, i enlighet med beskrivning i föregående avsnitt, samt i artikel (Abdul Hamid m.fl. 2023). De samlade erfarenheterna från mätningar, valideringar, utredningarna och resultatet från dessa har legat till grund för den metodik som föreslås i denna rapport.

Den metod som utvecklats är i hög grad grundad på erfarenheter samlade från detaljerade utredningar om lämplig tilläggsisolering i de fallstudier som inkluderats i studien. Dessa utredningar har baserats på validerade hygrotermiska beräkningar (simuleringar) med olika alternativ för tilläggsisolering som finns tillgängliga på marknaden. Dessa alternativ har valts utifrån deras specifika egenskaper för fukttransport i olika faser, vätska och ånga.

För att säkerställa modellernas tillförlitlighet har de validerats genom jämförelser med noggranna mätningar. Denna process har utförts enligt de metoder som beskrivs i det föregående avsnittet och i en relaterad artikel. Denna kombination av empiriska mätningar och teoretiska valideringar har gett en djupare förståelse för inverkan av olika isoleringsmaterial på olika typer av ytterväggar.

De insamlade erfarenheterna från dessa mätningar och simuleringar, kombinerat med resultaten och insikterna från utredningarna, har varit avgörande för att utforma den metodik som föreslås i denna rapport. Denna metodik är avsedd att ge praktiska riktlinjer för hur tilläggsisolering kan utredas på



ett sätt som minimerar risken för fukt- och mögelskador. Den tar hänsyn till olika materialval och deras inverkan på olika ytterväggars byggtekniska och fuktrelaterade egenskaper.

2.5 Spridning av resultat

Två vetenskapliga artiklar har publicerats inom projektets ramar (Abdul Hamid m.fl. 2022 2023), dessa har presenterats vid konferenserna ASHRAE Buildings XV International Conference. Clearwater Beach 2022 samt vid 5th Central European Symposium on Building Physics I Bratislava 2023. Ytterligare en artikel har, med mindre ändringar, accepterats för publicering i av en tidskrift. Utöver detta har projektet presenterats vid medlemsmöten inom BeBo, BeSmå samt vid flertalet lokala och regionala workshops och möten inom ämnet.



3 Resultat

Resultat för valideringar av modeller och standarder tillämpade i analyserna finns presenterade i de publicerade artiklarna samt artikeln som är på väg att publiceras (Abdul Hamid m.fl. 2022 2023). I det följande redogörs för väsentliga resultat från de hygrotermiska analyserna som leder till slutsatserna. Dessutom presenteras det genom studien framtagna förslaget på metodik för utvärdering av inverkan av invändig tilläggsisolering med hänsyn till skaderisker.

3.1 Skaderisk pga. invändig tilläggsisolering

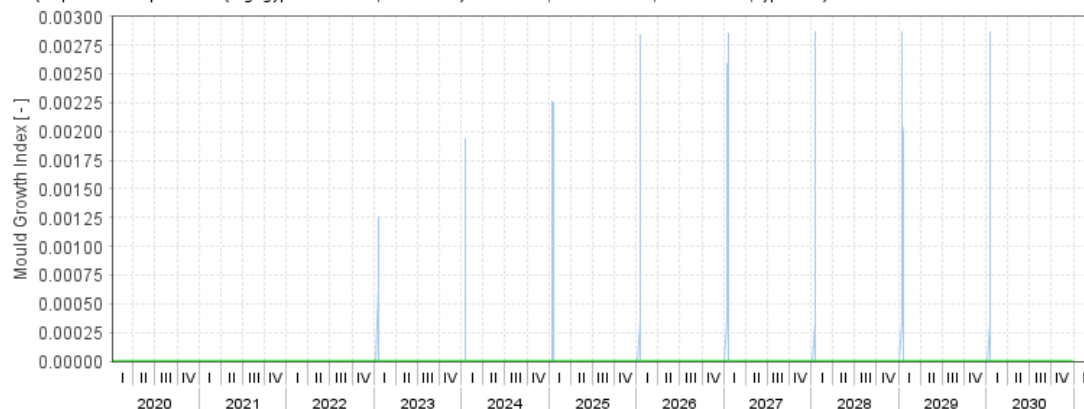
Resultaten som presenteras i Figur 9 visar att de alternativ för tilläggsisolering som undersökts i Göteborg inte innebär någon risk för mikrobiologisk påväxt i ytterväggen. Detta gäller både för tapeten på den inre ytan och träet bakom den pappen på utsidan. Dessutom indikerar resultaten att fukt ej ackumuleras i väggen, även om slagregn skulle tränga igenom den yttre pappen.

När det gäller väggen i Uppsala visar Figur 10 risken för mikrobiologisk påväxt på utsidan av den befintliga stenullen. Oavsett vald lösning tyder resultaten på en låg risk, eftersom index för mikrobiologisk påväxt (MGI) ej överstiger 1. Då MGI överstiger 1 går det att se mikrobiologisk påväxt under mikroskop. Även om det finns en liten skillnad i risk för mikrobiologisk påväxt mellan de olika alternativen, är skillnaden relativt obetydlig. Det är dock värt att notera att alternativet med högst risk ger ett MGI som är mer än dubbelt så högt (vid dess topp) jämfört med alternativet med lägst risk. Följaktligen innebär lösning G (aerogel) den högsta risken för påväxt, följt av lösningarna J, D, F, E, K, I, B, L, N, C och slutligen H (vacupad). Detta antyder att lösningar med lägre ångmotstånd medför en högre risk för skador, medan de med högre ångmotstånd medför en lägre risk. Lösning I kan anses vara ett diffusionstätt alternativ på grund av dess sammansättning - cellulosa öppenfiberisolering kombinerat med en diffusionstät polyetenfolie. Denna observation bör beaktas när man överväger en tjockare mängd tilläggsisolering, eftersom mer isolering skulle öka riskerna på grund av ytterligare försämring av den befintliga ytterväggens hygrotermiska prestanda.

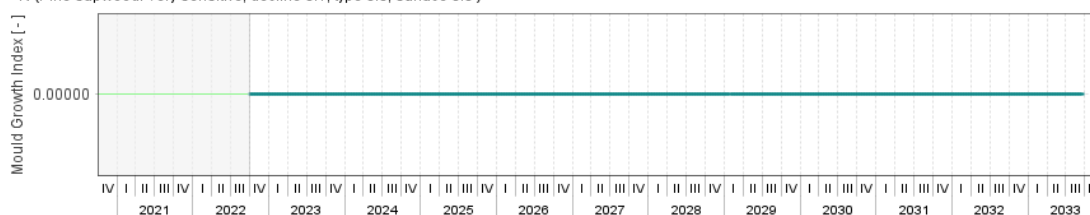
När det gäller väggen i Finspång visar Figur 11 risken för mikrobiologisk påväxt på reglarna som ligger längst från väggens insida. Oavsett typen av ytterligare värmeisolering som övervägs på insidan är risken betydande, och ingen av lösningarna anses vara godtagbara. Att särskilja mellan olika typer av isolering är också en utmaning i detta fall. Trots detta kan jämförelsen av alternativen klargöra den mest lämpliga lösningen för denna vägg. Lösningen med högst risk för skador är H (vacupad), följt av C, B, N, G, I, D, F, E, J och slutligen K (Luftbetong). Data tyder på att mer ångtäta alternativ något ökar risken, medan ångöppna och kapilläraaktiva alternativ något minskar den. Detta beror troligen på att fukten som tränger in från utsidan blir instängd i väggen med en ångtät insida. Resultaten visar dock att risken för skador är betydande även utan ytterligare isolering. Dessutom är det värt att notera att risken för skador kan elimineras genom att hydrofobisera fasaden och förhindra allt regninträngning, även med ett mycket ångtätt alternativ (C). Se tabell 4 för detaljer om de testade lösningarna.



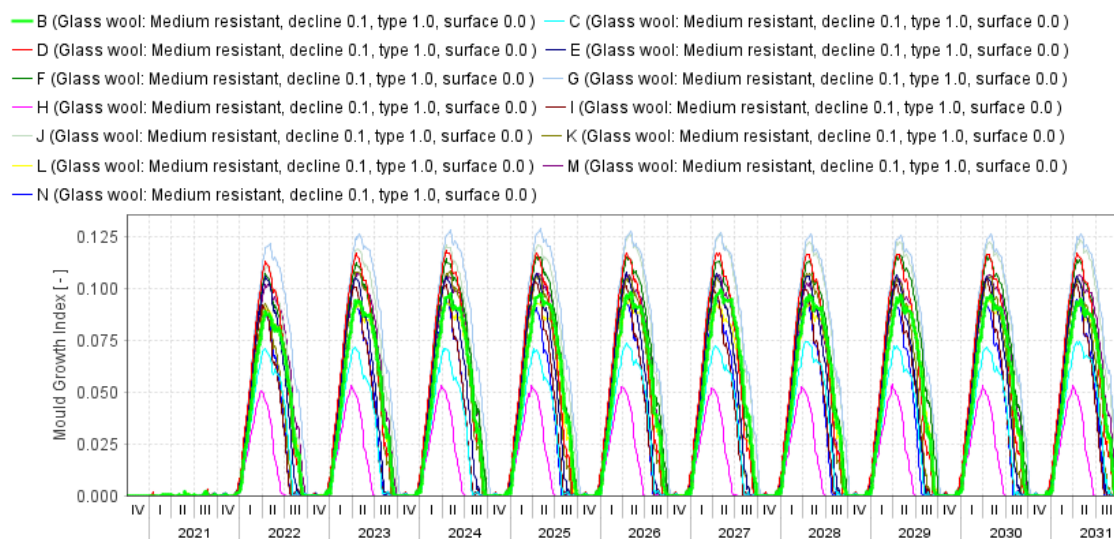
- B with rain behind barrier (Paper coated products (e.g. gypsum board, PU board): Sensitive, decline 0.25, surface 0.0, type 0.0)
- B (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- C (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- D (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- E (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- F (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- G (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- H (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- I (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- J (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- K (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- L (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- M (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, surface 0.0, type 0.0)
- N (Paper coated products (e.g. gypsum board, PU board): Sensitive, decline 0.25, surface 0.0, type 0.0)



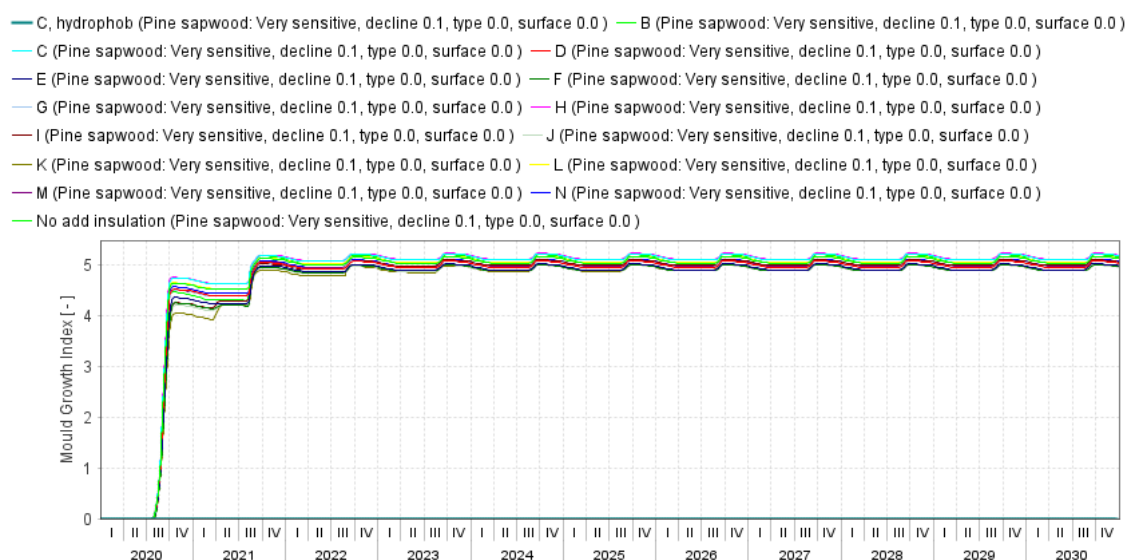
- B with rain behind barrier (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- B (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- C (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- D (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- E (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- F (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- G (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- H (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- I (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- J (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- K (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- L (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- M (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)
- N (Pine sapwood: Very sensitive, decline 0.1, type 0.0, surface 0.0)



Figur 9: Yttervägg i Göteborg. Mögelindex för undersökta isoleringslösningar. Övre: Risk för mögelpåväxt på insidan av den befintliga väggen (befintlig tapet). Undre: Risk för mögelpåväxt på vind- och vattenavvisande barriär (trä) insida. MGI>1 indikerar små mängder mögel på ytan (synligt mikroskop), initiala stadier av lokal tillväxt.



Figur 10: Yttervägg i Uppsala. Mögelindex för undersökta isoleringslösningar. Risk för mögelpåväxt på utsidan av glasullen. MGI>1 indikerar små mängder mögel på ytan (synligt mikroskop), initiala stadier av lokal tillväxt.

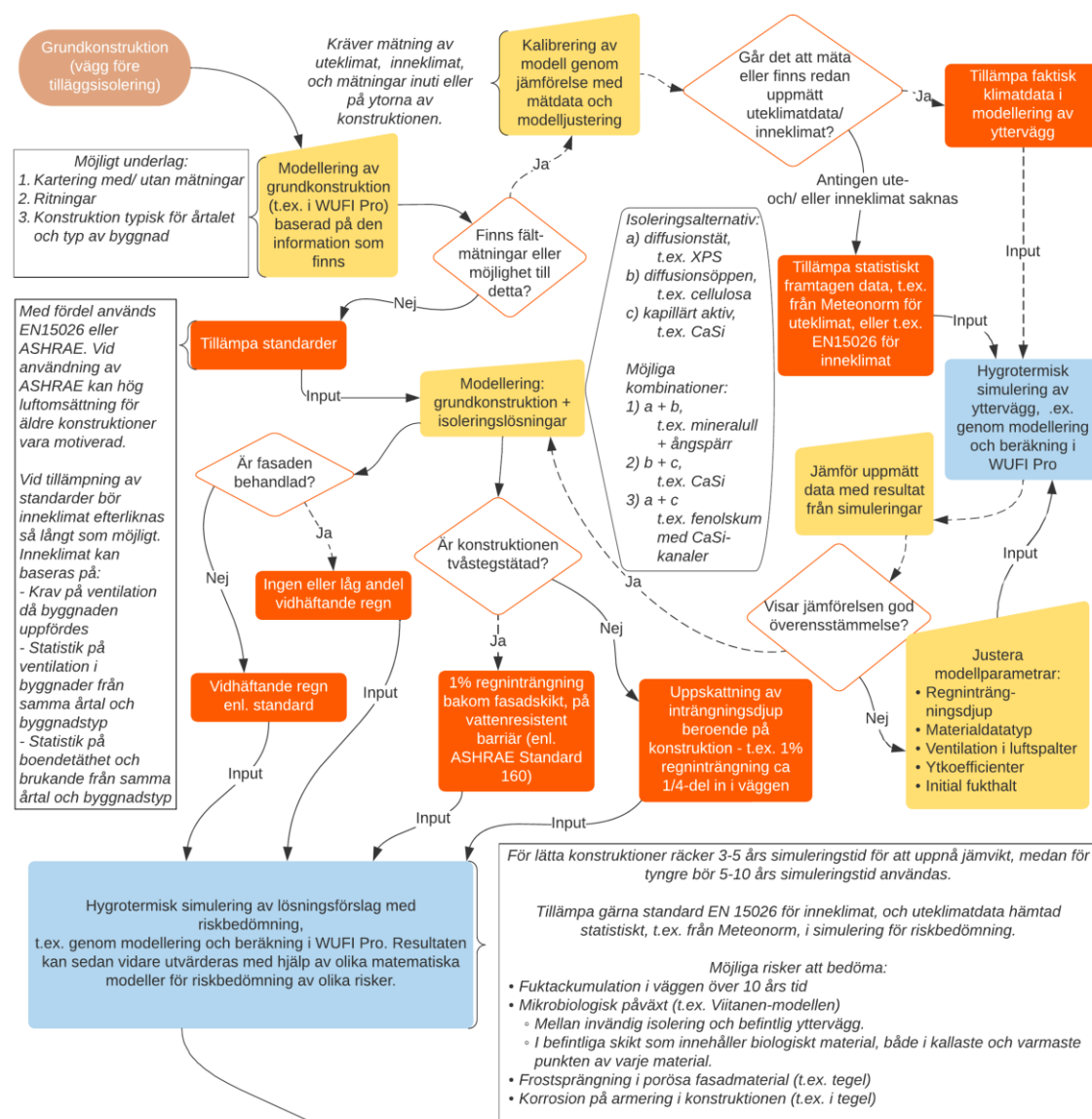


Figur 11: Yttervägg i Finspång. Mögelindex för undersökta isoleringslösningar. Risk för mögelpåväxt på utsidan av de befintliga träreglarna i väggen. MGI>1 indikerar små mängder mögel på ytan (synligt mikroskop), initiala stadier av lokal tillväxt.

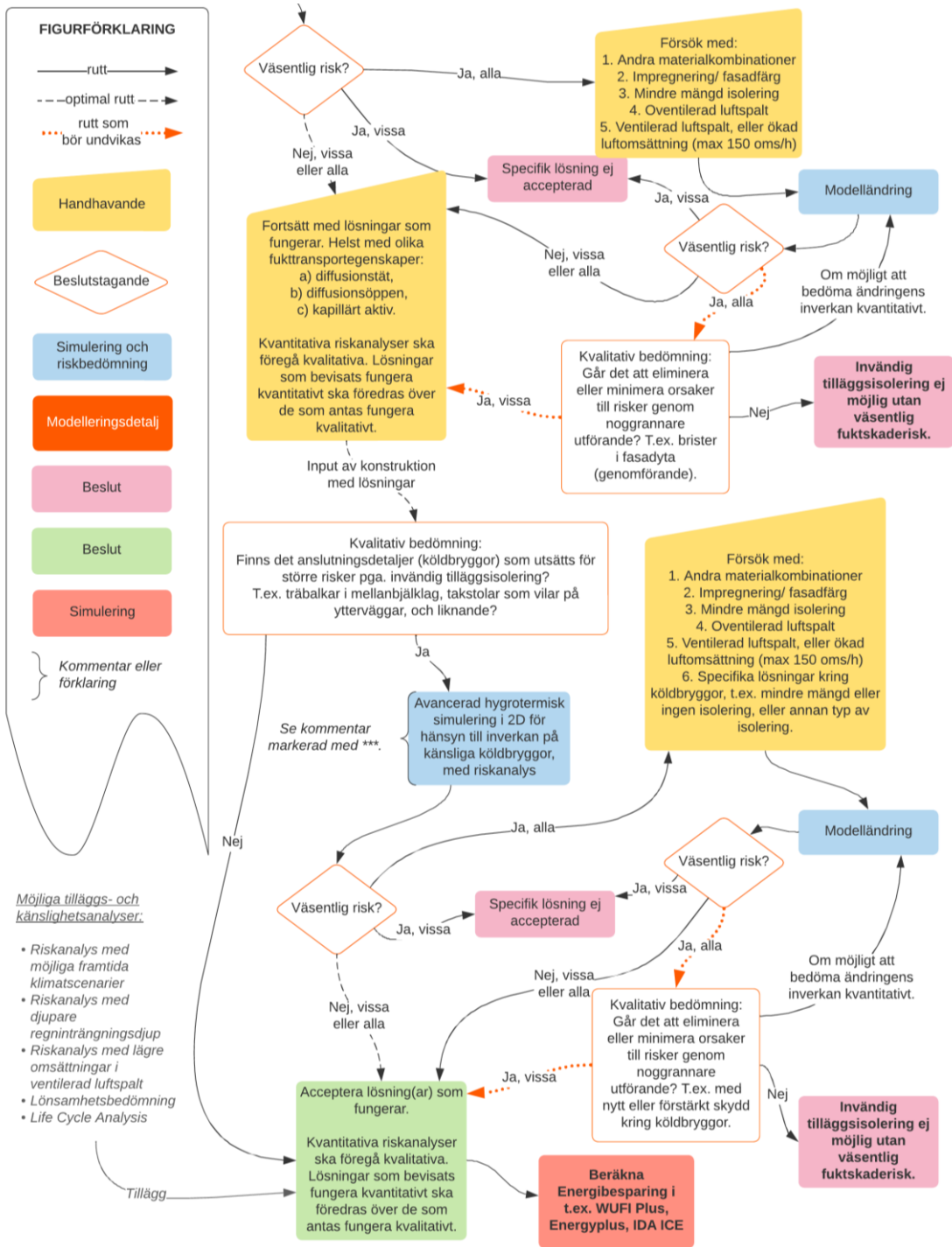


3.2 Förslag på metodik

I nedan figur presenteras förslag på en omfattande metodik för analys av inverkan av invändig tilläggsisolering på fuktskaderisken. Denna metodik är tänkt att tillämpas för val av lämplig lösning före implementering.



Figur 12: Förslag på metodik baserad på denna studie. Startpunkten är ovalen längst upp till vänster i figuren ovan "Grundkonstruktion (vägg före isolering) Figur 1 av 2.



Figur 13: Förslag på metodik baserad på denna studie. Figur 2 av 2.



4 Diskussion

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 vindar som åtgärdades på 1970-talet.

Ur byggnadsfysikalisk synvinkel är utvändig 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.

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 plötslig 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 lufttätethet vid invändig tilläggsisolering. Om varm fuktig inneluft transporteras in mellan kall befintlig vägg och tilläggsisolering ökar risken för mögelskador markant.

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.

Inom detta projekt har en nu metodik utarbetats som utnyttjar den potential som finns i att minska energianvändningen i byggnader med dåligt värmeisolerade ytterväggar i Sverige. Det är viktigt att notera att det inte finns någon standardlösning hur tilläggsisolering ska utföras, utan att det just är en metodik som har utarbetats.

Metodikens bygger på olika steg. I det första steget sker en statusbestämning av den befintliga byggnaden. Här tar man reda på de olika materialens och byggnadsdelarnas skick och funktion, kartlägger skador, gör mätningar och beräkningar till dess att man får en klar bild över skick och



funktion samt hur byggnaden fungerar byggnadsfysikaliskt, d.v.s. hur värma, fukt och luft transporteras

I nästa steg tas förslag på åtgärder fram, Har man genomfört en gedigen statusbestämning är det ofta ganska självklart vad som behöver göras. Föreslagna åtgärder analyseras och riskbedöms med hjälp av beräkningar och riskkurvor för mögeltillväxt.

I det sista steget följer man hela processen genom fortlöpande mätningar av temperaturer och fuktigheter i de punkter och skikt man genom riskbedömningen bedömt som viktigast att kontrollera.

Den hygrotermiska bedömningen av olika isoleringslösningar belyser betydelsen av den befintliga väggdesignen för att bestämma risken för skador. I dåligt isolerade väggar kan en mindre mängd tilläggsisolering uppnå en större relativ minskning av transmissionsförlusterna. I sådana väggar (t.ex. fallet Göteborg i denna studie) är det säkrare att lägga till små mängder (3-5 cm) isolering med en lägre risk för fuktskador. Studien drar också slutsatsen att två av de undersökta ytterväggarna effektivt kan isoleras inifrån utan väsentliga risker för fuktskador (Göteborg, Uppsala). Eftersom simuleringarna visar att den tredje väggen (i Finspång) troligen är skadad på grund av den ursprungliga utformningen, måste alla lösningar för tilläggsisolering ta hänsyn till detta. Den befintliga väggen bör först undersökas med avseende på eventuella fuktskador, och alla skadade material bör behandlas eller tas bort.

De hygrotermiska analyserna av olika isoleringsmaterial betonar vikten av att välja rätt lösning för en yttervägg. Diffusionstäta lösningar passar bättre för väggar med tvåstegstätning (som har ventilerad luftspalt) eller redan är behandlade (t.ex. fasadfärg). Om en vägg redan har ett diffusionstätt skikt är det viktigt att överväga risken för fuktackumulation mellan tilläggsisoleringen och det befintliga skiktet. För andra väggar kan diffusionstäta alternativ riskera fuktackumulation, men diffusionsöppna alternativ kan tillåta torkning inåt, även om de kan riskera hög relativ luftfuktighet eller kondens bakom isoleringen. I vissa fall kan denna risk minimeras med mindre mängder tilläggsisolering.

Vidare visar studien även vikten av hydrofobisering av fasader för att minska fuktskaderisken, dock kan sådan behandling behöva regelbundet underhåll. Dessutom bör fukt som kan orsaka ökad skaderisk få torka ut innan sådan behandling appliceras.

Baserat på det utförda arbetet föreslås en metodik för bedömning av tilläggsisoleringens inverkan på ytterväggar med hänsyn till fuktskaderisken. Framtida forskning bör inkludera bedömning av invändig tilläggsisoleringens inverkan på köldbryggor i anslutningar mellan t.ex. ytterväggar och bjälklag, tak samt grund, samt undersöka gränsförhållanden som kan påverka resultaten (klimatdata). Ytterligare mätningar bör inkludera temperatur- och luftfuktighet i bjälklaget mellan våningar, inomhusluftens luftomsättning, och mätningar av luftläcket genom klimatskalet och fukthalten i bjälklagsbalkar.

Praktiskt sett kan resultatet ge värdefulla insikter för byggkonsulter i branschen. Studien betonar vikten av validerad modellering genom fältmätningar samtidigt som den visar på möjligheten att tillämpa nuvarande inomhusklimatstandarder som alternativ. Denna kunskap möjliggör för praktiker att fatta informerade beslut när de väljer simuleringmetoder baserade på tillgängliga data och resurser. Vidare visar studien att det kan vara lämpligt att överväga tunnare isoleringsmängder för att minska transmissionsförlusterna avsevärt i äldre byggnader. Dessutom indikerar forskningen vikten



av hydrofobisering av fasaden för att minska risker för fuktskador, särskilt i regioner med högre nederbörd eller kallare klimat.

Det är viktigt att notera att resultaten i denna rapport baseras på tre utvalda fallstudier, och att alla renoveringsprojekt som överväger invändig tilläggsisolering rekommenderas att inkludera en detaljerad bedömning av riskerna, utförd av en fuktsakkunnig.

För att metodiken ska få spridning och börja användas i stor skala krävs att den testas och utvärderas i ett antal objekt. Det som ligger närmast i tid avser en fortsättning av ett av objekten i nuvarande projekt, tilläggsisolering av ytterväggar i Landshövdingehuset i Göteborg. Planen är att starta med en byggnad som pilotprojekt, för att dra erfarenheter och utveckla kunskaper i de moment som krävs för genomförandet. Bland annat planeras ett arbetslag att läras upp i de hantverksmässiga processer som behöver utvecklas. Efter pilotprojektets genomförande planeras ett stort antal Landshövdingehuset att åtgärdas i form av invändig tilläggsisolering av ytterväggar.



5 Slutsatser

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. I detta projekt har en metodik för att undvika dessa negativa effekter utarbetats. Projektets resultat visar att det är möjligt att tilläggsisolera ytterväggar på insidan.



6 Publikationslista

Abdul Hamid, A., Arfvidsson, J. & Harderup, L.-E. (2022). Assessment on the Impact of Interior Insulation on Exterior Walls in Three Swedish Buildings. I *2022 Buildings XV International Conference*. Clearwater Beach: ASHRAE.

Abdul Hamid, A., Arfvidsson, J. & Harderup, L.-E. (2023). Choice of Indoor Standard in Hygrothermal Simulations of External Walls – Three Swedish Case Studies. I *AIP Conference Proceedings*. Bratislava: 5th Central European Symposium on Building Physics.



7 Referenser

- Abdul Hamid, A. (2019). *Field Measurements for Verification of the Impact of Renovation and Maintenance Measures on Buildings - regarding Energy Efficiency, Indoor Environment and Moisture Safety*. Lund.
- Abdul Hamid, A., Arfvidsson, J. & Harderup, L.-E. (2022). Assessment on the Impact of Interior Insulation on Exterior Walls in Three Swedish Buildings. I *2022 Buildings XV International Conference*. Clearwater Beach: ASHRAE.
- Abdul Hamid, A., Arfvidsson, J. & Harderup, L.-E. (2023). Choice of Indoor Standard in Hygrothermal Simulations of External Walls – Three Swedish Case Studies. I *AIP Conference Proceedings*. Bratislava: 5th Central European Symposium on Building Physics.
- Abdul Hamid, A., Farsäter, K., Wahlström, Å. & Wallentén, P. (2018). Literature review on renovation of multifamily buildings in temperate climate conditions. *Energy and Buildings*, 172 414–431. doi:10.1016/j.enbuild.2018.04.032.
- Abdul Hamid, A. & Wallentén, P. (2017). Hygrothermal assessment of internally added thermal insulation on external brick walls in Swedish multifamily buildings. *Building and Environment*, 123 351–362. doi:10.1016/j.buildenv.2017.05.019.
- Arfvidsson, J., Harderup L.-E., & Fristedt, S. (2018) Invändig tilläggsisolering av äldre flerbostadshus, Förprolekt. BeBo-rapport 10254838, 2018-10-07. www.bebostad.se
- Anon. (2021). *HOBO MX2301A Temp/RH*. <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx2301a/> [2021-02-24].
- Antretter, F., Kosmann, S., Kilian, R., Holm, A., Ritter, F. & Wehle, B. (2013). Controlled Ventilation of Historic Buildings: Assessment of Impact on the Indoor Environment via Hygrothermal Building Simulation. I *de Freitas V., Delgado J. (eds) Hygrothermal Behavior, Building Pathology and Durability. Building Pathology and Rehabilitation, vol 1*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ss.93–111.
- ASHRAE (2021). *Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*. ANSI/ASHRAE Standard 160-2021.
- Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L. (2013). *Så byggdes husen 1880-2000: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år*. Svensk byggtjänst.
- Boverket (2010). *Teknisk status i den svenska bebyggelsen*. 1.uppl. Karlskrona: Boverket.
- Eriksson, P. (2021). *Balancing Building Conservation with Energy Conservation*. University of Gothenburg, Gothenburg.
- European Commission (2010). Energy 2020. A strategy for competitive, sustainable and secure energy. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2020-energy-strategy>, 21. doi:COM(2010) 639.



- Femenias, P., Johansson, P., Thuvander, L., Wahlgren, P. & Mörk, K. (2017). Renoveringsbehov i äldre hus möjligheter för energieffektivisering och bevarande av kulturmiljö. *Bygg & Teknik*, (2), 32–37.
- Harrestrup, M. & Svendsen, S. (2015). Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture. *Building and Environment*, 85 123–133. doi:10.1016/j.buildenv.2014.12.005.
- Holm, D. & Sandö, P. (2016). *Energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader*. Stockholm.
- Jensen, N. F., Rode, C. & Møller, E. B. (2021). Hygrothermal assessment of internally insulated historic solid masonry walls with focus on the thermal bridge due to internal partition walls. I *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing Ltd.
- Jensen, Nickolaj Feldt, Bjarløv, S. P., Rode, C., Andersen, B. & Møller, E. B. (2021). Hygrothermal performance of six insulation systems for internal retrofitting solid masonry walls. *Journal of Building Physics*, 44(6), 539–573. doi:10.1177/1744259120988745.
- Johansson, D., Abdul Hamid, A., Bagge, H., Eriksson, P., Farsäter, K., Fransson, V. & Kristofersson, J. (2021). Prioritize the right energy measures in historic buildings – approach and measure selection. I *SBE21 Sustainable Built Heritage*.
- Meteotest (2022). *Meteonorm Version 8 - Meteonorm (en)*. <https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8> [2022-03-30].
- Morelli, M., Rønby, L., Mikkelsen, S. E., Minzari, M. G., Kildemoes, T. & Tommerup, H. M. (2012). Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a “nearly-zero” energy building based on experiences from a test apartment. *Energy and Buildings*, 54(2012), 395–406. doi:10.1016/j.enbuild.2012.07.046.
- Mukhopadhyaya, P., Kumaran, K., Nofal, M., Tariku, F. & Reenen, D. van (2005). Assessment of building retrofit options using hygrothermal analysis tool. *7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, (July), 1139–1146.
- Nordtec Instrument AB (2022). *Temperaturlogger testo 175 T3* |.
- Remund, J., Müller, S., Kunz, S., Hugenin-Landl, B., Schmid, C. & Schilter, C. (2013). Handbook Part I: Software. *Meteonorm Handbook*, (February), 55.
- Sedlbauer, K. (2002). Prediction of Mould Growth by Hygrothermal Calculation. *Journal of Building Physics*, 25(4), 321–336. doi:10.1177/0075424202025004093.
- Viitanen, H. (2007). Improved Model to Predict Mold Growth in. *VTT Technical Research*.
- Zhang, Z., MacMullen, J., Dhakal, H. N., Radulovic, J., Herodotou, C., Totomis, M. & Bennett, N. (2012). Enhanced water repellence and thermal insulation of masonry by zinc oxide treatment. *Energy and Buildings*, 54 40–46. doi:10.1016/j.enbuild.2012.07.030.



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.
Läs mer på www.E2B2.se.*

