



Superisolerande puts för renovering och nybyggnation



Superisolerande puts för renovering och nybyggnation

Chalmers tekniska högskola



Energimyndighetens projektnummer: 46822-1

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. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Superisolerande puts för renovering och nybyggnation är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Chalmers tekniska högskola.

Projektet har vidareutvecklat lösningar med puts som innehåller aerogelpartiklar som är en ny typ av superisolerande puts som kan ha en avsevärd effekt på byggnadens energianvändning. Byggnadens U-värde kan minska med 70 procent med ett fem till sex centimeter tjockt putslager. Projektet har tagit fram rekommendationer för hur isolerande aerogelputs kan användas i Sverige

Stockholm, 29 december 2021

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



Sammanfattning

Putsade fasader tillhör den vanligaste typen av fasadmaterial i flerfamiljshus i Sverige motsvarande 27 % av fasadarean. Bristande energiprestanda och inomhusklimat är bland de vanligaste anledningarna till renovering av dessa byggnader. I detta projekt studeras olika kommersiella putsblandningar med aerogelpartiklar. Gemensamt för dessa är att de når en värmeledningsförmåga på 0,028–0,048 W/(m·K). Fokus i projektet har varit på att ta fram data för att kunna göra hygrotermisk riskbedömning (kopplad fukt och värme), med fokus på den hygrotermiska prestandan, långtidshållbarhet och kompatibilitet mellan aerogelputs och andra material i murade tjockputskonstruktioner. Planering för pilotstudier av vattenbesprutning (för att simulera regn) och uttorkningsförsök av väggprototyper i laboratorium är genomförd och försöken är pågående. Vidare påbörjades fältförsök under hösten 2021 baserat på hygrotermiska beräkningar. En yttervägg isolerades med 4 cm utvändig aerogelputs. Utomhusklimatet och fuktnivåerna i aerogelputsen mäts kontinuerligt genom givare monterade på strategiska platser. Dessa resultat ska sammanställas för att, tillsammans med resultat från beräkningar och försök i laboratorium, ge underlag till rekommendationer och riktlinjer för typiska väggkonstruktioner.

Puts, aerogel, renovering, vägg, beräkning, labbförsök, fältförsök



Summary

Plastered façades belong to the most common type of façade material in multi-family buildings in Sweden, corresponding to 27% of the façade area. Low energy performance and insufficient indoor climate are the most common reasons for renovating these buildings. In this project, different types of commercial aerogel-based coating mortars are investigated. The advantage of aerogel-based coating mortars is that uneven surfaces can be insulated with low thickness compared to systems with conventional insulation materials. Common for all commercial aerogel-based coating mortars is that they reach a thermal conductivity of 0.028–0.048 W/(m·K). The focus of this project has been to produce data to be able to make hygrothermal risk assessment (coupled moisture and heat transfer), with a focus on the hygrothermal performance, long-term durability and compatibility between aerogel-based coating mortars and other materials in masonry constructions. Pilot studies of water spraying (to simulate rain) and drying experiments of wall prototypes in the laboratory have been carried out and experiments are ongoing. Field experiments began in the autumn of 2021 based on hygrothermal calculations. An exterior wall was insulated with 4 cm of external aerogel-based coating mortar. The outdoor climate and moisture levels in the aerogel-based coating mortar are continuously measured by sensors mounted in strategic locations. These are to be compiled, together with results from calculations and experiments in the laboratory, to provide a basis for recommendations and guidelines for typical wall constructions.

Coating mortar, aerogel, renovation, wall, calculation, lab experiment, field experiment



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	SYFTE OCH MÅL	7
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	8
2	GENOMFÖRANDE	9
3	RESULTAT	10
3.1	ERFARENHETER FRÅN TIDIGARE FÄLTFÖRSÖK	10
3.2	POTENTIAL FÖR HELA BYGGNADSBESTÅNDET	10
3.3	RESULTAT FRÅN LABORATIVA FÖRSÖK	11
3.4	RESULTAT FRÅN HYGROTERMISKA BERÄKNINGAR	12
3.5	RESULTAT FRÅN FÄLTFÖRSÖK	13
4	DISKUSSION	16
5	SLUTSATSER	17
6	PUBLIKATIONSLISTA	18
6.1	VETENSKAPLIGA PUBLIKATIONER	18
6.2	EXAMENSARBETEN	18
6.3	OPUBLICERAD RAPPORT	19
7	REFERENSER	20



1 Inledning och bakgrund

Puts används traditionellt som fasadens vattenavledande skikt och skyddar konstruktionen. Putsade fasader tillhör den vanligaste typen av fasadmateriäl i flerfamiljshus i Sverige med cirka 41 miljoner kvadratmeter, motsvarande 27 % av fasadarean. Bristande energiprestanda och inomhusklimat är bland de vanligaste anledningarna till renovering av dessa byggnader. Därmed finns en stor potential att använda nya och mer effektiva isolerlösningar för putsade byggnader. Superisolerande puts (aerogelputs) framställs på samma sätt som vanlig puts, med skillnaden att sanden i ballasten ersätts delvis eller helt med aerogelpartiklar. Kiselbaserad aerogel framställdes första gången på 1930-talet och tillverkas genom att en gel torkas under superkritiska förhållanden (høgt tryck och temperatur). Detta leder till att vätskan som finns bunden i gelens porösa struktur avdunstar utan att strukturen förstörs. Resultatet blir ett mycket poröst material som till största delen består av små luftfyllda porer. Materialet behöver förstärkas och blandas med andra material (till exempel puts) för att vara praktiskt användbart. Putsbasen kan vara kalk- eller cementbaserad och innehåller även andra tillsatser beroende på användningsområdet för produkten.

1.1 Bakgrund

Renoveringssektorn är i behov av en snabb och effektiv modernisering. Den omsätter redan idag större summor än nybyggnadssektorn. I det äldre byggnadsbeståndet är ofta väggens tjocklek en begränsande faktor. Det kan vara estetiska eller byggnadstekniska skäl som begränsar hur tjock isoleringen får vara. Forskningen inom området superisoleringsmaterial har gjort att det idag finns kommersiellt tillgängliga material med omkring 3-4 gånger högre isoleringsförmåga än konventionella isoleringsmaterial (Heinemann et al., 2020). Detta innebär att ett tunnare isoleringsskikt kan användas för att uppnå god isoleringsförmåga. Dessa material är tillverkade i form av skivor och filter vilket kräver en slät yta före installationen. De är också känsliga mot mekanisk påverkan och fuktförhållandena i konstruktionen. I detta projekt studeras kommersiella putsblandningar med aerogelpartiklar. Fördelen med detta är att ojämna ytor kan isoleras utan någon speciell förbehandling. Däremot kommer materialblandningarna att behöva optimeras för en tillräckligt bra prestanda ur fukt- och värmetekniskt hänseende för att användas i svenskt klimat och med svenska byggnadstekniker. Med en superisolerande puts kan en avsevärd effekt fås på byggnadens energianvändning där U-värdet teoretiskt kan minskas med 70 % med ett 5-6 cm tjockt putslager (Ghazi Wakili et al., 2018; Stahl et al., 2017).

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att utveckla kunskap och ta fram rekommendationer för hur aerogelputs kan användas i Sverige. Experimentella och numeriska verktyg utvecklas för att tillhandahålla tillförlitlig data om materialegenskaper och livslängd. Påverkan av temperatur, luftfuktighet, alkalinitet och mekanisk belastning studeras i projektet. Karaktärisering av material och komponenter sker i laboratorium vilka ger information till numerisk modellering av fukt- och värmeprestanda i hela byggnadskomponenter. Genom praktiska tillämpningar i fält definieras användningsområden och vilka krav de ställer på aerogelputs.



Målen för projektet var att ta fram:

- utvecklade experimentella och numeriska verktyg för att tillhandahålla tillförlitliga data (materialegenskaper, livslängd) för byggbranschens aktörer,
- bedömningar av effekten av temperatur, luftfuktighet, alkalinitet och mekaniska belastningar på livslängden hos aerogel, förbättrad värmeledningsförmåga med 50% jämfört med konventionell puts,
- ökad kunskap om fukt- och värmeegenskaper i olika typer av aerogelputs anpassade för byggnader i svenskt klimat, samt
- rekommendationer för hur aerogelputs kan används för att utnyttja dess potential maximalt (70% lägre U-värde).

1.3 Omfattning och avgränsningar

Trots de stora internationella forskningsinsatserna på aerogelputs, saknas fortfarande en komplett och tillförlitlig uppsättning av hygrotermiska och mekaniska egenskaper för aerogelputs. Det är ett nytt material som har andra egenskaper än konventionell puts. Inom ramen för projektet har olika standardiserade testmetoder studerats ingående och anpassats för att kunna användas på ett tillförlitligt sätt.

Superisolerande material är nya produkter på marknaden. Det är av stor betydelse att användaren känner till materialen och är säkra på att de nya materialen uppfyller de uppställda tekniska kraven. Därför är det viktigt att tidigt kommunicera forskningsresultaten med byggherrar, konsulter, tillverkare och forskare inom energiområdet för att förkorta tiden mellan forskning och tillämpning.



2 Genomförande

Fokus i projektet har varit att ta fram data för att kunna göra hygrotermisk riskbedömning (kopplad fukt och värme), med fokus på den hygrotermiska prestandan, långtidshållbarhet och kompatibilitet mellan aerogelputs och andra material i murade tjockputskonstruktioner. Litteraturstudie, semi-strukturerade intervjuer, numeriska energiberäkningar och hygrotermiska beräkningar, studiebesök, laboratorieförsök och fältförsök är de metoder som använts i projektet.

Under hösten 2019 genomfördes ett studiebesök i Schweiz som samordnades av Samuel Brunner på forskningsinstitutet EMPA. En putstillverkare och en återförsäljare besöktes samt ett flertal byggnader där aerogelputs installerats utvändigt på fasader.

Litteraturstudien av olika material, dess egenskaper och erfarenheter från beräkningar och försök i laboratorium och fält i Europa publicerades i en vetenskaplig tidskrift [1] och en konferensartikel [6].

Intervjuer har genomförts med olika aktörer i branschen. Byggnadsantikvariska och arkitektoniska aspekter har diskuterats med Maria Ros, Kristoffer Roxbergh och Jens Hansson från White Arkitekter, praktiska produktionsaspekter med Charlotte Svensson Tengberg från Skanska Teknik och Mats Pettersson från Murbiten AB. Dessa har sammanställts i två publikationer [3, 5]

En referensgrupp följde projektet genom diskussioner på två möten i april 2020 respektive oktober 2021. Gruppen bestod av Johan Sundkvist (MölnDala Fastighets AB), Maria Ros (White), Magnus Kamstedt (ROCKWOOL Nordics), Kristin Balksten (Uppsala Universitet), Miklos Molnar (Lunds tekniska högskola), Petra Eriksson (Uppsala Universitet), Henrik Carlsson (WSP Byggprojektering), Maria Alm (Lokalförvaltningen, Göteborgs Stad).

Numeriska energiberäkningar och hygrotermiska beräkningar har presenterats genom en publikation [5] och två examensarbeten [7, 8] där potentialen på byggnadsbeståndsnivå undersökts samtidigt som den hygrotermiska prestandan studerats i ett antal fallstudier med olika typkonstruktioner.

En kombination av uttorknings- och uppfuktningsförsök i klimatkammare (kapillärsugning), koppförsök (ångdiffusion) och mätningar i TPS (värmeledningsförmåga, termisk diffusivitet och specifik värmekapacitet) har genomförts. De uppmätta materialparametrarna för aerogelputs (värmeledningsförmåga med fokus på rikttingsberoende egenskaper) har publicerades i en konferensartikel [2].

Planering för pilotstudier av vattenbesprutning (för att simulera regn) och uttorkningsförsök av aerogelputsade väggprototyper i laboratorium är genomförd och försöken är pågående. Det finns även opublicerade resultat från hygrotermiska beräkningar. Dessa ska sammanställas för att, tillsammans med resultat från pågående försök i laboratorium och i fält, ge underlag till rekommendationer och riktlinjer för konstruktionslösningar för typiska väggkonstruktioner.



3 Resultat

Idag finns det ett antal kommersiella aerogelputs på marknaden i Europa. Utöver kommersiella produkter har olika blandningar utvecklats på forskningsnivå. Till exempel har en forskargrupp i Frankrike utvecklat en aerogelputs med cementbaserat bindemedel. Gemensamt för alla dagens aerogelputs är att de når en värmeledningsförmåga på 0,028–0,048 W/(m·K). Detta ska jämföras med traditionell puts som har en värmeledningsförmåga kring 0,5 W/(m·K). I detta kapitel presenteras resultat från projektet baserat på metoderna som presenterats översiktligt under genomförande.

3.1 Erfarenheter från tidigare fältförsök

Mer än 200 byggnader har putsats med aerogelputs, i framförallt Schweiz, med totalt 100 000 m² fasadyta. Ett exempel är en byggnad från 1400-talet i Sissach, Schweiz, där fasaderna renoverades med 5–6 cm aerogelputs. Fasaderna bestod ursprungligen av kalksten täckt av ett 5–6 cm tjockt cementbaserat putslager. Vid renoveringen ersattes det yttersta putslagret med aerogelputs, förstärkt med ett armeringsnät. Mätningarna visade att U-värdet på fasaden reducerades med 63–71 % efter att den hade tilläggsisolerats. Dessutom konstaterade forskarna att tilläggsisoleringen med aerogelputs hade resulterat i en förbättrad värmekomfort inomhus samtidigt som riskerna för mögelpåväxt på den invändiga väggbeklädnaden hade minskat avsevärt då ytemperaturen ökade (Stahl et al., 2017).

Invändig användning av aerogelputs provades i en byggnad från 1920 i Torino, Italien, där en del av väggarna renoverades. De befintliga väggarna bestod av två lager tegel med en luftspalt emellan, täckta av puts på insidan och utsidan. Vid renoveringen applicerades 1,5 cm aerogelputs på insidan av väggen, ovanpå det befintliga putslagret. Mätningresultaten från studien visade att tilläggsisoleringen med 1,5 cm aerogelputs ledde till ett minskat U-värde på väggarna med cirka 27 % jämfört med innan renoveringen. Samtidigt hade ytemperaturen på väggarna ökat med 1,5 °C. I just denna studie, och för den specifika aerogelputs, visade mätningarna att minst 2 månaders torkningstid krävdes för att få bort den initialt höga vattenhalten i lagret av aerogelputs (Fantucci et al., 2018).

Det saknas sorptionsisotermerna för att kunna genomföra hygrotermiska beräkningar (kopplad fukt och värme) för flertalet av materialen som finns på marknaden idag. Långtidsegenskaper har provats i ett fåtal fallstudier där accelererad åldring använts och viss naturlig exponering i olika klimat. Därför är det svårt att dra slutsatser för aerogelputs och dess egenskaper på lång sikt. De resultat som finns från flera års mätningar visar dock inte på någon signifikant åldring eller förändrade egenskaper med tiden. Den hygrotermiska och mekaniska kompatibiliteten för olika material i en konstruktion som putsats med aerogelputs har inte heller studerats på en generell nivå. Det saknas därför anvisningar och praktiska riktlinjer för hur aerogelputs ska kombineras i olika typer av byggnader [1, 6].

3.2 Potential för hela byggnadsbeståndet

Omkring 27% av Sveriges flerfamiljshus har idag en putsad fasad. Många av dessa byggnader har en bristande energiprestanda och problem med inomhuskomforten pga. drag och kalla ytor. Genom att beräkna hur mycket energi som kan sparas i ett antal typbyggnader har denna skalats upp på nationell nivå för att ge en fingervisning om hur mycket energi som kan sparas på hela byggnadsbeståndet.



Energibesparingen har också räknats om till hur mycket växthusgasutsläpp som kan minskas uttryckt i koldioxidekvivalenter.

Genom att utgå från ett typiskt område från 1950-talet med putsade byggnader i Torpa i östra Göteborg, se Figur 1, kvantifierades energibesparingen. Byggnaderna är uppförda i tre plan med totalt 600 lägenheter fördelade på 29 byggnadskroppar. I 15 av de 29 byggnaderna består ytterväggarna av putsade lättbetongblock. Området är klassat som ett område av riksintresse vilket gör det komplicerat att göra större energieffektiviserande åtgärder på byggnaderna. Tre tjocklekar av aerogelputs modellerades i studien; 5 cm, 10 cm och 15 cm. En förenklad energimodell (Mata et al., 2013) baserad på en klumpmodell (dvs. byggnaden modelleras som en zon med samma inomhustemperatur) användes för att uppskatta energibesparingen i Göteborg och Stockholm [3, 5].



Figur 1. Vänster: Fasadritning på referensbyggnad i Torpa i östra Göteborg (Arkitektbyrå AB). Höger: En av byggnaderna i Torpa (Foto: Annika Danielsson).

Beräkningarna visar att energianvändningen kan minska med mellan 28 och 48 kWh/m², år beroende på ort och aerogelputsens tjocklek. Med antagandena att (1) 60% av den lägre energibesparingen är möjlig att uppnå på beståndsnivå, (2) det genomsnittliga U-värdet är 0,4 W/m²K på alla byggnader, och (3) 10% av alla putsade byggnader är möjliga att putsa med aerogelputs, blir energibesparingen 74±48 GWh årligen. Detta kan jämföras med den totala energianvändningen som är 132 TWh (2016) för uppvärmning av alla Sveriges byggnader. Med antagandet att växthusgasutsläppen är 13 gCO₂/kWh blir de minskade utsläppen 1000±600 ton CO₂-ekvivalenter årligen på beståndsnivå [5].

3.3 Resultat från laborativa försök

Ett antal olika försöksmetoder har använts i projektet, vilka kräver olika konditionering och provningsstorlekar. En sammanställning av de olika försöken finns i Tabell 1.

Tabell 1. Lista över genomförda laborativa mätningar och använda provstorlekar. Gravimetrisk mätmetodik går ut på att provkroppens massa bestäms vid ett antal givna tidsintervall.

Mätmetodik	Studerad materialegenskap	Provstorlekar
Transient plane source (TPS)	Värmeledningsförmåga (W/(m·K))	Kuber 100x100x100 mm
	Termisk diffusivitet (m ² /s)	"
	Specifik värmekapacitet (J/(kg·K))	Cylinder D: 20 mm, H: 5 mm
Koppförsök (gravimetrisk)	Ångpermeabilitet (m ² /s)	Cylinder D: 100 mm, H: 20 mm



Kapillärsugning (gravimetrisk)	Kapillär vattenabsorption (kg/m ² , min ^{0,5})	Prismor 40x40x160 mm
Klimatkammare (gravimetrisk)	Sorptionsisoterm (kg/m ³)	Prismor 100x100x15 mm

TPS visar en värmeledningsförmåga mellan 0,039-0,049 W/(m·K) vilket är i det övre spannet för aerogelputs. Resultaten visar en liten anisotropi, mindre än 6,5 % för värmeledningsförmåga [2]. Aerogelputsen uppvisar liknande isoleringsförmåga som konventionella material såsom mineralull.

En förutsättning för tillförlitliga resultat från koppförsök är att sidoytorna på proverna är helt diffusionstäta. Proverna vägs vid två tillfällen då vikten ska vara konstant. För konventionella material används oftast paraffinvax eller butylband som tätning. På grund av dammet från aerogelputsen går det inte använda någon av dessa lösningar. Här används istället epoxilim med butylband runt proverna. Avslutningsvis används aluminiumtejp och vulktejp, se Figur 2, för att säkerställa tätningen.



Figur 2. Tätning av prover med aerogelputs i koppförsök med epoxilim kombinerad med butylband och vulktejp.

Genom mätning i olika klimat i klimatkammare har en sorptionsisoterm för fuktinnehåll vid olika relativ fuktighet tagits fram för aerogelputs. Numerisk modellering av aerogelputsens värmeledningsförmåga har visat god överensstämmelse med de uppmätta värdena för varierande aerogelinnehåll [9].

3.4 Resultat från hygrotermiska beräkningar

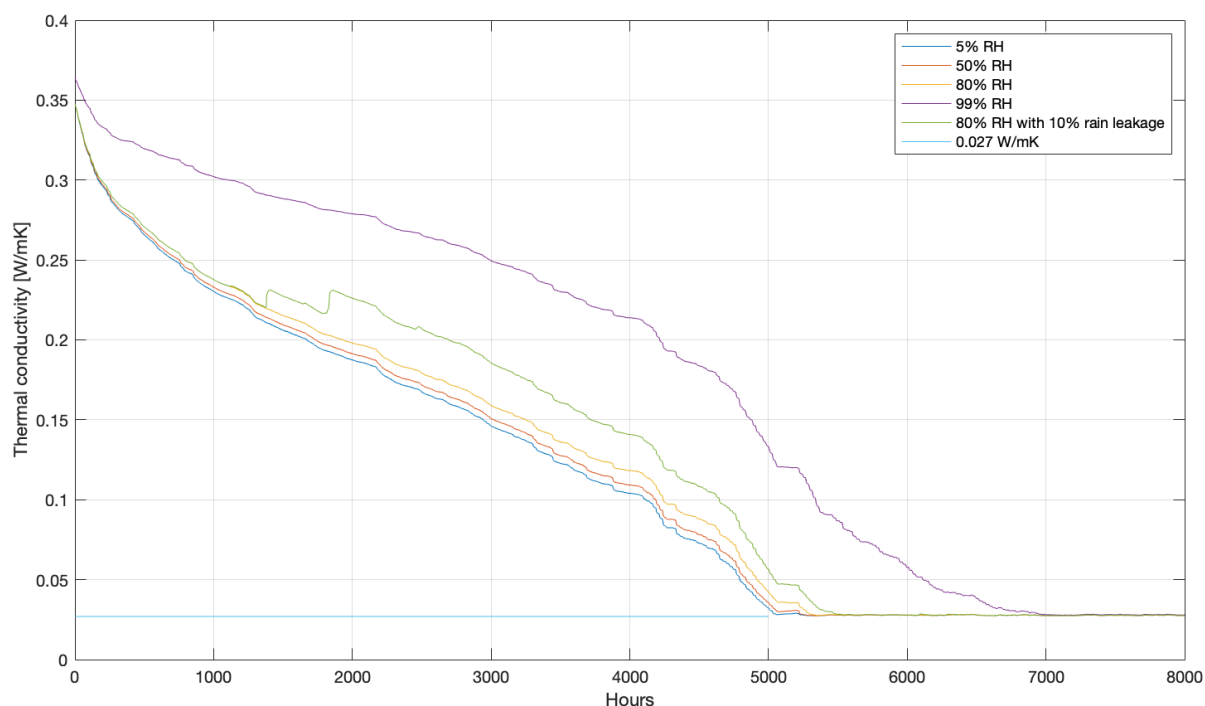
Som komplement och förstudie till fältförsök undersöktes en byggnad genom hygrotermiska simuleringar av olika typkonstruktioner [8]. Fokus var framförallt på uttorkning av putsen och dess påverkan på omkringliggande material. Genom att definiera en fuktsäker konstruktion som (1) en konstruktion med stabil eller minskande fuktinnehåll, (2) låg risk för frostsador pga. fryscykler och (3) liten risk för mögelpåväxt på invändiga ytor, kvantifierades konstruktionernas prestanda.

Beräkningarna visade att uttorkningstiden ökar i samtliga fall med utvändigt aerogelputs och att tiden på året när putsen applicerats spelar stor roll för hur lång uttorkningstiden blir samt energiprestandan. Den optimala tidpunkten för applicering var i juni med en uttorkningstid på 97 dagar, medan en applicering under september gav en upp till dubbelt så lång uttorkningstid. Uttorkningstiden är viktig eftersom värmeledningsförmågan ökar med fukthalten. Figur 3 visar hur aerogelputsens värmeledningsförmågan förändras med tiden. Resultaten varierar med den initiala



fukthalten i en bärande tegelmur med invändig puts vid tiden för applicering av aerogelputs på väggens utsida. Aerogelputsen hade i samtliga fall initialt 99 % relativ fuktighet i beräkningarna [8].

W



Figur 3. Värmeledningsförmåga för olika fall av uttorkning baserat på den initiala fukthalten i konstruktionen [8].

Torr aerogelputs har en värmeledningsförmåga på 0,027 W/(m·K) vilken nås efter 218-292 dygn beroende på den initiala fukthalten i tegelmur och invändig puts. Resultaten visar att den initiala fukthalten inte har en avgörande betydelse på hur lång torktiden blir, förutom när muren är helt fuktmättad. Därmed kan det vara rimligt att anta en initial fuktnivå kring 80 % i konstruktionen [8].

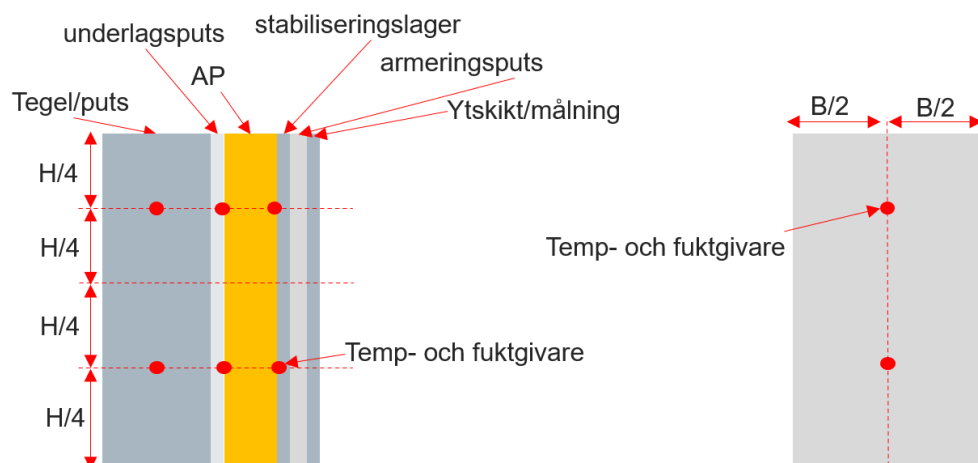
I studien jämfördes även sex typkonstruktioner hygrotermiskt genom att de simulerades med och utan aerogelputs. Resultaten visade att det totala fukttinnehållet i konstruktionerna höll sig på en låg nivå samtidigt som fryscyklerna var få i de yttre delarna av aerogelputsen. Det tredje kriteriet som handlar om invändig relativ fuktighet och risken för mögelpåväxt på ytan visade sig också understiga 75 % i samtliga analyserade väggkonstruktioner [8].

3.5 Resultat från fältförsök

I samarbete med MölnDala Fastighets AB har en yttervägg i en putsad byggnad från 1921 identifierats som lämplig för fältförsök. Baserat på beräkningarna ovan och mer detaljerade hygrotermiska beräkningar påbörjades fältförsök under hösten 2021. Väggen isolerades med 4 cm utvändig



aerogelputs samtidigt som utomhusklimatet och fuktnivåerna i aerogelputsen mäts kontinuerligt genom givare monterade på strategiska platser, se Figur 4.



Figur 4. Väggen uppbyggnad med aerogelputs (AP). Temperatur- och fuktgivarna markerade med fyllda cirklar.

Mätningarna i väggen som isolerats med aerogelputs utvändigt jämförs med mätningar i en närliggande vägg som putsats med konventionell puts i samma tjocklek. Baserat på beräkningsresultat och tillverkarnas anvisning har en monteringsanvisning tagits fram med specificerade torkningstider för varje lager, se Tabell 2. Putssystemet består av flera skikt som appliceras i separata omgångar. Varje lager ska torkas ut innan appliceringen av nästa lager.

Tabell 2. De olika lagren med respektive tjocklek och torkningstid, från befintlig väggyta och utåt.

Putslager	Tjocklek	Torkningstid
1. Underskikt (grundning)	Ca 1-3 mm	2 dagar (1 dag per mm)
2. Aerogelputs	40 mm	28 dagar (7 dagar per cm)
3. Stabiliserande skikt	Ca 1-3 mm	1 dag (1 dag per mm)
4. Förstärkningsputs och armeringsnät	Ca 5 mm	5 dagar (1 dag per mm)
5. Yt-puts (förstärkningsputs)	Ca 3 mm	14 dagar (1 dag per mm)
6. Basfärg	Ca 1 mm	1 dag
7. Vattenavvisande färg (diffusionsöppen)		1 dag

Erfarenheterna från provmontage och putsning av väggytan visar att aerogelputsen i stort beter sig som konventionell puts. Den enda påtagliga skillnaden är densiteten som är betydligt lägre och ger en lättare puts. Under appliceringen ska putsen täckas över och skyddas från snabb uttorkning. Putsningen genomfördes i början av oktober 2021 vilket inte är optimalt och krävde att ett väderskydd



byggdes upp kring väggen. Mätningarna är pågående och förväntas ge resultat som kan användas för att ta fram generella rekommendationer för hur aerogelputs kan används i svenskt klimat.



4 Diskussion

Det finns en stor energibesparingspotential i att använda nya och mer effektiva isoleringslösningar för putsade byggnader. För att undvika liknande kostsamma erfarenheter som de enstegstätade putssystemen på träregelstomme gav upphov till är det viktigt att tidigt undersöka aerogelputsens hygrotermiska prestanda, långtidshållbarhet och kompatibilitet med andra material. Det har dock visat sig saknas en komplett och tillförlitlig uppsättning av hygrotermiska och mekaniska egenskaper för aerogelputs. Det är ett nytt material som har andra egenskaper än konventionell puts vilket krävt anpassning av standardiserade mätmetoder för att de ska kunna användas på ett tillförlitligt sätt.

Aerogelputsen är avsedd att användas som ett tjockputssystem på murverkskonstruktioner. Detta gör att risken för liknande problem som för de enstegstätade putssystemen är liten redan från början. I de senare systemen var det en tunnputs som applicerades på en träregelstomme med antagandet att putsytan skulle vara helt vattenavvisande. För optimal användning av aerogelputs bör det även vara ett krav att den är vattenavvisande på ytan men har en god ånggenomsläpplighet i det fall fukt kommer in i materialet. Utan dessa egenskaper kan fuktproblem på insidan av väggen ändå komma att uppstå.

För att undvika sprickor i fasad bör putsen armeras ytterst, då det motverkar spänningar i putsen som kan resultera i genomgående sprickor. Beroende på putsens tjocklek kan det även bli aktuellt att armera putsen i två lager, ett yttre och ett inre, som ger ett bättre skydd mot spänningar. Tjockleken på aerogelputsen gör att egenskaperna på även kringliggande material, såsom underlags- och ytputs, bör ha liknande mekaniska egenskaper för att undvika sprickbildning i förtid. Även lagning av putsen behöver undersökas vidare och t.ex. om det är möjligt att använda aerogelputs som lagning i fasader med konventionell puts.

För att aerogelputs ska kunna konkurrera som utvändigt isolermaterial i framtiden behöver den bidra med både sänkta uppvärmningskostnader samt ökade hyresintäkter. Detta kombinerat med ett lägre pris än idag skulle kunna skapa möjligheter för användning av materialet i större skala i Sverige. Det finns framförallt potential i områden med stora kulturvärden och i byggnader som har karaktärsbärande element som ska bevaras.

För att bekräfta prestandan, och för att motivera de högre investeringskostnaderna för aerogelbaserad puts, måste putsens långtidsegenskaper och kompatibilitet med andra byggmaterial undersökas ytterligare. Vidare bör miljöpåverkan under framställning och möjligheten till återanvändning eller återvinning studeras mer ingående för att kunna jämföra med konventionella isoleringsmaterial ur ett livscykelperspektiv.



5 Slutsatser

Projektet har undersökt kommersiell aerogelputs som typiskt har en värmeledningsförmåga på 0,028–0,048 W/(m·K). Putsbasen kan vara kalk- eller cementbaserad och innehåller även andra tillsatser beroende på användningsområdet för produkten. Erfarenheter från provmontage och putsning av en väggyta visar att aerogelputsen i stort beter sig som konventionell puts. Putssystemet består av flera skikt som appliceras i separata omgångar. Varje lager ska torkas ut innan appliceringen av nästa lager.

I projektet har en kombination av litteraturstudie, semi-strukturerade intervjuer, numeriska energiberäkningar och hygrotermiska beräkningar, studiebesök, laboratorieförsök och fältförsök använts. Långtidsegenskaper har provats i ett fåtal tidigare fallstudier där accelererad åldring använts och viss naturlig exponering i olika klimat. Det är därför svårt att dra slutsatser för aerogelputs och dess egenskaper på lång sikt.

De resultat som finns från flera års mätningar på aerogelputs visar inte på någon signifikant åldring eller förändrade egenskaper med tiden. Den hygrotermiska och mekaniska kompatibiliteten för olika material i en konstruktion som putsats med aerogelputs har inte studerats på en generell nivå. Det saknas därför fortsatt anvisningar och praktiska riktlinjer för hur aerogelputs ska kombineras i olika typer av byggnader.



6 Publikationslista

Projektet har mynnat ut i en licentiatuppsats [3], en vetenskaplig tidskriftsartikel [1], tre konferensartiklar [2, 5, 6], en populärvetenskaplig artikel [4] samt två examensarbeten [7, 8].

6.1 Vetenskapliga publikationer

- [1] Karim, A. N., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2021). Knowledge gaps regarding the hygrothermal and long-term performance of aerogel-based coating mortars. Construction and Building Materials, 314, Part A; <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125602>.
- [2] Karim, A. N., Adl-Zarrabi, B., Sasic Kalagasidis, A., Johansson, P. (2021). Experimental analysis of the anisotropic thermal conductivity of super insulation render- using transient plane source. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2069, 8th International Building Physics Conference (IBPC 2021) 25-27 August 2021, Copenhagen, Denmark.
- [3] Karim, A. N. (2021). Aerogel based plasters for renovation of buildings in Sweden: identification of possibilities, information deficiencies and challenges. Lic 2021:3, Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology.
- [4] Karim, A. N., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2020). Aerogelbaserad puts: Superisolering för framtiden. Husbyggaren nr. 6/2020.
- [5] Karim, A. N., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2020). Super insulation plasters in renovation of buildings in Sweden: energy efficiency and possibilities with new building materials. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 588, 1.11 – 1.14.
- [6] Karim, A. N., Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A. (2019). Long-term Performance of Silica Aerogel and Aerogel Based Composites: A Literature Review Highlighting Pathways for Further Studies. Proceedings of the 14th International Vacuum Insulation Symposium, September 19-20, 2019, Kyoto, Japan. (Extended abstract)

6.2 Examensarbeten

- [7] Andersson, A., Johansson, J. (2021) Aerogelputs som fasadmaterial vid renovering av flerbostadshus i Torpa. Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik, Chalmers tekniska högskola
- [8] Haugbak, E., Talic, A. (2021) Implementation of Aerogel-based plaster in Sweden: A hygrothermal parametric study on wall constructions in the Swedish building stock. Master's thesis in the Master's programme Structural Engineering and Building Technology, Chalmers tekniska högskola.



6.3 Opublicerad rapport

- [9] Karim, A. N., Hagentoft, C.-E. (2021). The effective thermal conductivity of two and three phase solid mixtures: Analytical and numerical solutions. Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology.



7 Referenser

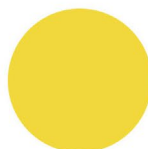
Fantucci, S., Fenoglio, E., Grosso, G., Serra, V., Perino, M., Dutto, M., and Marino, V. (2018). *Retrofit of the existing buildings using a novel developed aerogel-based coating: results from an in-field monitoring*. 7th International Building Physics Conference, IBPC 2018, Syracuse, NY, USA.

Ghazi Wakili, K., Dworatzky, C., Sanner, M., Sengespeick, A., Paronen, M., and Stahl, T. (2018). Energy efficient retrofit of a prefabricated concrete panel building (Plattenbau) in Berlin by applying an aerogel based rendering to its façades. *Energy and Buildings*, 165, 293-300. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.050>

Heinemann, U., Adl-Zarrabi, B., Brunner, S., Foray, G., Johansson, P., Kono, J., Küçükpinar, E., Milow, B., Quenard, D., Sprengard, C., Wallbaum, H., and Yrieix, B. (2020). *Annex 65, Long-Term Performance of Super-Insulating-Materials in Building Components and Systems. Report of Subtask I: State of the Art and Case Studies*. Retrieved from <https://research.chalmers.se/publication/515133>

Mata, É., Sasic Kalagasidis, A., and Johnsson, F. (2013). Energy usage and technical potential for energy saving measures in the Swedish residential building stock. *Energy Policy*, 55, 404-414. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.023>

Stahl, T., Ghazi Wakili, K., Hartmeier, S., Franov, E., Niederberger, W., and Zimmermann, M. (2017). Temperature and moisture evolution beneath an aerogel based rendering applied to a historic building. *Journal of Building Engineering*, 12, 140-146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.05.016>



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 koordinator.
Läs mer på www.E2B2.se.*

