Rapport 2017:24

Superisolerings-material i byggnader

Superisoleringsmaterial i byggnader

Rekommendationer från IEA EBC Annex 65

Bijan Adl-Zarrabi, Chalmers tekniska högskola
Pär Johansson, Chalmers tekniska högskola

Energimyndighetens projektnummer: 40798–1

E2B2

Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggentreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Projektet syftar till att öka acceptansen för superisoleringsmaterial. Nya superisolerande material utvecklas kontinuerligt och dessa behöver utvärderas baserat på vetenskapliga metoder för att vi ska få kunskap om prestanda och livslängd. Genom att utvärdera hur materialen fungerar på lång sikt, sprida kunskap från tidigare genomförda projekt samt ta fram underlag för standardisering och rekommendationer för användning ska projektet öka acceptansen för superisoleringsmaterial.

Rekommendationer för superisoleringsmaterial i byggnader är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av *Chalmers tekniska högskola AB* och har genomförts i samverkan med *Powerpipe Systems AB* och *BASF AB*.

Stockholm, 19 december 2017

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

En betydande minskning av energianvändningen per capita kan uppnås genom en kombination av effektivare värme-, ventilations- och kylsystem samt förbättrad termisk prestanda av byggnadens klimatskal. Energibesparingspotentialen har uppskattats vara nära energiförbrukningen inom transportsektorn. Den nuvarande utmaningen är att göra denna potential till en verklighet.

I de flesta industrialiserade länder kommer nya byggnader stå för mellan 10 % och 20 % ökning av energianvändningen för uppvärmning till 2050. Samtidigt står det befintliga byggnadsbeståndet för 80 % av sektorns energianvändning. Renovering av byggnader har därför hög prioritet i många länder.

Högpresterande isoleringsmaterial (superisoleringsmaterial, SIM) kan i hög grad bidra till att lösa denna utmaning om tillförlitlig data (egenskaper och hållbarhet) och säkra implementerings-tekniker tillhandahålls genom hela leverantörskedja (designers, ingenjörer och byggare).

EBC (Energy i Buildings and Communities) är ett program under IEA (International Energy Agency) för att möjliggöra forsknings- och utvecklingssamarbete mellan de 24 medlemsländerna. Annex 65 *"Long-Term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components & Systems"* är ett projekt under EBC. Syftet är att samla och analysera tillgänglig information om högpresterande isolerings-material för att:

- synliggöra ett decennium av utvecklingsarbete för applikationer inom byggsektorn,
- utveckla experimentella och numeriska verktyg för att tillhandahålla tillförlitliga data (egenskaper och hållbarhet) för slutanvändarna av SIM,
- skriva riktlinjer för säker installation,
- stödja standardiserings- och bedömningsförfaranden,
- förbättra kunskapen och förtroendet hos användaren med hänsyn till hållbarhetsfrågor.

Resultaten av projekten kommer att publiceras under 2018. Denna rapport sammanfattar den mer omfattande huvudrapporten till IEA EBC programmet.

Bland slutsatserna kan nämnas att värmeledningsförmågan hos SIM är mellan 2–5 gånger lägre än för konventionella isoleringsmaterial som vanligtvis har en värmeledningsförmåga på 0,028-0,032 W/(m·K). Detta betyder att värmeförluster genom byggnadens klimatskal kan reduceras med mellan 50–80 % om tjockleken på SIM är i samma storleksordning som de konventionella isoleringsmaterialen. Teoretiska överväganden och första praktiska tester visade att vakuumisoleringspaneler (VIP), särskilt de med kiseldioxidkärna, förväntas uppfylla kraven på hållbarhet vid byggnadstillämpningar i mer än 50 år. Både VIP och Avancerade porösa isoleringsmaterial (APM) har framgångsrikt installerats under de senaste 15 åren i byggnader. Mätningar och erfarenhet från praktiska tillämpningar sträcker sig emellertid upp till 15 år för VIP och mindre för APM.

Nyckelord: högpresterande isoleringsmaterial, superisolering, SIM, vakuumisoleringspaneler, VIP, avancerade porösa isoleringsmaterial, APM, aerogel, livscykelanalys, hållbarhet

Summary

A significant reduction of energy use per capita can be achieved through a combination of more efficient heating, ventilation and cooling systems, and by improved thermal performance of the building envelope. The energy saving potential has been estimated to be close to the energy use in the transportation sector. The current challenge is to make this potential a reality.

In most industrialized countries, new buildings will contribute with between 10% and 20% additional energy use for space heating and domestic hot water by 2050 while the existing building stock accounts for 80% of the energy use in the sector. Therefore, renovation of the existing buildings has high priority in many countries. Super Insulation Materials (SIM) can greatly contribute to this challenge if reliable data (properties and durability) and secure implementation technologies are provided through the entire supply chain (designers, engineers and builders).

EBC (Energy in Buildings and Communities) is a program initiated by the International Energy Agency (IEA) to enable research and development cooperation between the 24 member states. Annex 65 *'Long-term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components & Systems'* is a project under the EBC umbrella for collecting and analyzing the available information on SIM with the aim of

- visualizing a decade of research and development for building applications,
- developing experimental and numerical tools to provide reliable data (characteristics and sustainability) for end users,
- writing guidelines for a secure installation,
- supporting standardization and assessment procedures,
- improving knowledge and confidence of the user with regard to sustainability issues.

The results of the projects will be published during 2018. This report will provide a sample of the comprehensive main report of the IEA EBC program.

Among the conclusions are that the thermal conductivity of SIM is between 2-5 times lower than for conventional insulating materials with a heat conductivity of 0,028-0,032 W/(m·K). This means that the heat losses through the building envelope can be reduced by between 50% - 80% if the thickness of the SIM is the same as for the conventional insulation materials. Theoretical considerations and first practical tests showed that vacuum insulation panels (VIP), especially those with silica core, are expected to meet the sustainability requirements for building applications for more than 50 years. Both VIP and Advanced Porous Insulation Materials (APM) have been successfully installed over the past 15 years in buildings. Measurements and experience from practical applications, however, extends to up till 15 years for VIP and even less for APM.

Keywords: high performance insulating materials, superinsulation material, SIM, vacuum insulation panels, VIP, advanced porous insulation material, APM, life cycle analysis, sustainability

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 7

2 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT 9
- 2.1 VÄRMEÖVERFÖRING I ISOLERINGSMATERIAL 9
- 2.2 AVANCERADE PORÖSA MATERIAL (APM) 9
- 2.3 VAKUUMISOLERINGSPANELER (VIP) 10

3 STANDARDISERING 12
- 3.1 STANDARDISERING AV APM 12
- 3.2 STANDARDISERING AV VIP 12

4 MATERIALKARAKTERISERING I LABORATORIUM 14
- 4.1 MATERIALPARAMETRAR AV INTRESSE 14
- 4.2 VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA 15
- 4.3 INRE TRYCK 16
- 4.4 ÅLDRINGSBETEENDE 16
- 4.5 RESULTAT FRÅN OLIKA MATERIALPROVNINGSLABORATORIER 16

5 PRAKTISKA APPLIKATIONER – FULL SKALA 17
- 5.1 ANVÄNDNINGSOMRÅDEN OCH FALLSTUDIER 17
- 5.2 ERFARENHETER FRÅN LÅNGTIDSPROVNING I SVERIGE 18
- 5.3 REKOMMENDATIONER FÖR PRAKTISK ANVÄNDNING 20

6 HÅLLBARHET – LCC, LCA 21

7 DISKUSSION 22

8 PUBLIKATIONSLISTA 24
- 8.1 TIDSKRIFTSARTIKLAR 24
- 8.2 KONFERENSARTIKLAR 24
- 8.3 ANDRA INTERNATIONELLA PUBLIKATIONER 24
- 8.4 POPULÄRVETENSKAPLIGA PRESENTATIONER 25

9 REFERENSER 26

BILAGOR 28

1 Inledning och bakgrund

Målet att uppnå 50 procent mindre energianvändning (kWh per kvm uppvärmd areaenhet) jämfört med 1995 års nivå kan uppnås genom både en omfattande renovering av befintliga byggnader och välisolerad nybyggnation. Den termiska prestandan på byggnaders klimatskal är ett av de prioriterade områdena för att uppnå målen om energikraven för både nybyggnation och renoveringar. Högpresterande isoleringsmaterial (superisoleringsmaterial, SIM) kan i hög grad bidra till minskad energianvändning i byggnader om tillförlitliga data (materialegenskaper) och säker implementeringsteknik tillhandahålls till arkitekter, konstruktörer och byggare.

Under 2013/2014 träffades forskare och industrirepresentanter från olika länder för att undersöka samarbetsmöjligheter kring frågor rörande superisoleringsmaterial. Dessa diskussioner lede till att "*IEA EBC Annex 65: Long-Term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components & Systems*" initierades vid slutet av 2014. Målet var att samla och analysera den tillgängliga informationen om SIM.

Samarbetet syftade till att:

- synliggöra ett decennium av utvecklingsarbete för applikationer inom byggsektorn,
- utveckla experimentella och numeriska verktyg för att tillhandahålla tillförlitliga data (egenskaper och hållbarhet) för slutanvändarna av SIM,
- skriva riktlinjer för en säker installation,
- stödja standardiserings- och bedömningsförfaranden,
- förbättra kunskapen och förtroendet hos användaren med hänsyn till hållbarhetsfrågor.

Det var inte möjligt att täcka alla möjliga SIM med avseende på alla tekniska funktioner. Därför bestämdes att arbetet skulle begränsas till två huvudtyper av SIM nämligen vakuumisoleringspaneler (VIP) och avancerade porösa isoleringsmaterial (APM). De egenskaper som valdes var isoleringsprestanda, karakterisering av egenskaper, installationsmetoder och materialens hållbarhet.

Arbetet delades in i fyra arbetspaket och varje arbetspaket tilldelades en ledare. Forskare från Chalmers tekniska högskola ledde arbetspaket 3 (Bijan Adl Zarrabi i samarbete med Pär Johansson) och arbetspaket 4 (Holger Wallbaum i samarbete med Jun Kono) och har medverkat i de andra arbetspaketen.

De fyra arbetspaketen är:

1. Kunskapsläge och praxis: material, komponenter och fallstudie
2. Materialkarakterisering i laboratorium
3. Praktiska applikationer - full skala
4. Hållbarhet LCC och LCA

De deltagande länder var Belgien, Frankrike, Grekland, Italien, Japan, Kanada, Kina, Norge, Tyskland, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige, Sydkorea och Turkiet.

Gruppen har träffats 2 gånger årligen för att harmonisera aktiviteterna i arbetspaketen. Dessa möten har ägt rum i München, Nanjing (2015), Turin, Göteborg (2016) och Osaka, Paris (2017).

Daniel Quenard, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment/The Scientific and Technical Center for Building), Frankrike, var ansvarige ledare gentemot IEA EBC organisationen.

Rapporten från Annex 65 har inte publicerats ännu. I följande avsnitt försöker författarna av denna rapport återspegla en kort version av de uppnådda resultaten utan att alltför mycket föregå den nära förestående publiceringen.

2 Genomförande och resultat

Isoleringsmaterial klassificeras normalt som porösa material. Porerna är luftfyllda där den stillastående luften ger en extremt bra isoleringsförmåga i jämförelse med andra fasta material. Därför är densiteten hos isoleringsmaterial låg. Den termiska konduktiviteten (värmeledningsförmågan) för stillastående luft vid 20°C är 0,026 W/(m·K).

Hur högpresterande isoleringsmaterial, superisoleringsmaterial (SIM), ska definieras är inte fastställt. Det finns ett antal förslag som exempelvis innebär att värmeledningsförmågan ska vara lägre än luftens värmeledningsförmåga. Det vill säga under 0,026 W/(m·K). Ett annat förslag är att värmeledningsförmågan för SIM ska vara lägre än 0,020 W/(m·K).

2.1 Värmeöverföring i isoleringsmaterial

Värmeöverföring påbörjas när det finns en temperaturskillnad. Värme överförs huvudsakligen via följande transportmekanismer: ledning, konvektion och strålning. Värmeledning definieras som energiöverföringen mellan närliggande atomer eller molekyler i fast, flytande eller gasform. Konvektiv värmeöverföring sker genom en rörelse i en vätska eller gas, till exempel luft. Värmeöverföring via strålning är långvågig elektromagnetisk strålning som utsänds från alla ytor och därmed sker ett utbyte mellan ytor på grund av deras temperatur.

Utveckling av SIM baseras på att minska den konvektiva värmeöverföringen i materialet. Detta uppnås antingen genom att minimera porstorleken i isoleringsmaterialen, och därmed förhindra luftrörelser i materialets porer, eller genom att byta ut luften i materialets porer till en annan (tyngre) gas med bättre isoleringsförmåga. Ett annat sätt är att evakuera gasen från materialets porer d.v.s. skapa vakuum.

I detta arbete har fokus varit på två typer av SIM:

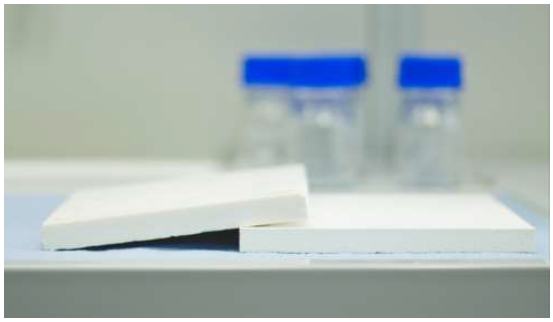
- Avancerade porösa material (APM), där värmeöverföring via gasen i porer hindras signifikant av de fina porerna (porstorlek mindre än 1 mikrometer).
- Vakuumisoleringspaneler (VIP), där bidrag av värmeledning i gasen reduceras via att gasen evakueras.

2.2 Avancerade porösa material (APM)

Avancerade porösa material (APM) med låg värmeledningsförmåga är baserade på användning av material såsom aerogel eller syntetisk kiseldioxid. Värmeledningsförmågan för olika typer av APM vid 20°C är:

- granulat kiselaerogel 0.014 till 0.020 W/(m·K),
- kiselaerogelkompositer 0.015 till 0.020 W/(m·K),
- organiska aerogeler 0.009 till 0.040 W/(m·K),
- syntetisk amorf kiselbaserad skiva 0.016 till 0.020 W/(m·K).

Dorcheh och Abbasi (2008) har presenterat en översikt över kiselaerogelens egenskaper och Wei et al. (2011) har studerat de termiska egenskaperna hos kiselaerogel.

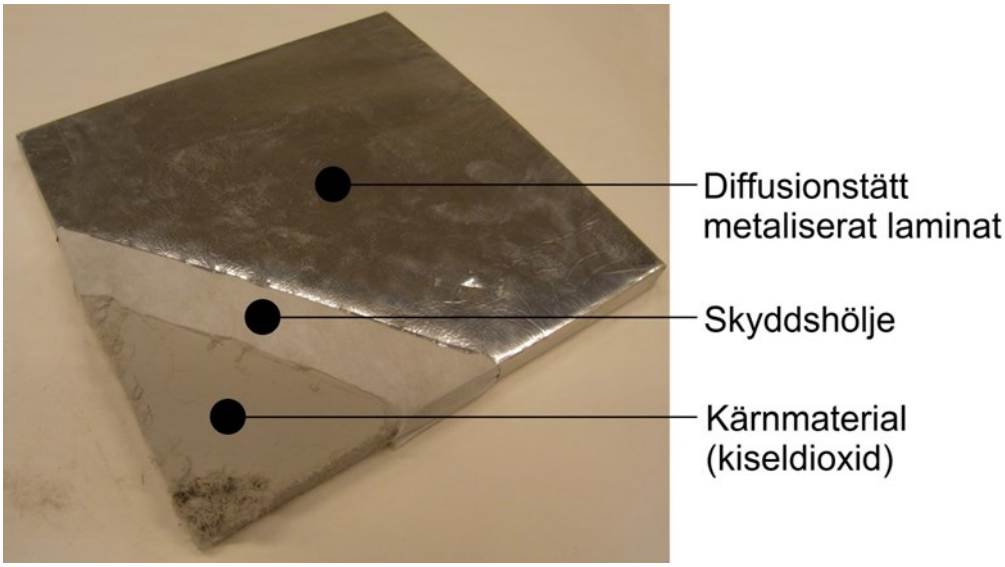


Figur 1: En skiva av organisk aerogel (polyuretan) (© BASF).

Andra egenskaper som kan vara av intresse, exempelvis materialets brand-, fukttransports-, hygroskopiska och mekaniska egenskaper, kommer att presenteras i den slutliga rapporten av Annex 65 "Long Term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components and Systems". http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-65/

2.3 Vakuumisoleringspaneler (VIP)

En vakuumisoleringspanel (VIP) består av ett poröst kärnmaterial (vanligen kiseldioxid eller glasfiber) omsluten av ett tunt skyddshölje (cellulosafibrer) och en luft- och ångtät barriär (metalliserat plastlaminat eller aluminiumfolie), se Figur 2.



Figur 2: En vakuumisoleringspanel består av kärnmaterial, skyddshölje och diffusionstät barriär (Chalmers).

Kärnan har en öppen porstruktur för att tillåta evakuering av luften för att skapa vakuum. Barriären skall vara luft- och ångtät för att panelen ska hålla sina värmeisoleringsegenskaper över tiden.

Värmeledningsförmågan för en VIP varierar med typen av kärnmaterial och luft- och ångtät barriär. Dessutom skapas köldbryggor vid kanterna av panelen som försämrar isoleringsförmågan på grund av att barriären är ett metalliserat plastlaminat eller en metallfolie. Den negativa effekten av köldbryggor är större ju mindre panelen är.

Värmeledningsförmågan i mitten av en VIP kan vara så låg som 0,002-0,004 W/(m·K), beroende på kärnmaterialets egenskaper. Värmeledningsförmågan med hänsyn till effekten av köldbryggor och åldring (25 år) kan hamna i intervallet mellan 0,007 och 0,008 W/(m·K) för VIP med kiseldioxidkärnor. Fricke et al. (2008) och Kalnaes och Jelle (2014) ger en översikt av vakuumisoleringsprodukter.

Vakuumisoleringspaneler åldras och värmeledningsförmågan försämras. Det är viktig att veta hur länge en VIP kan uppfylla sin funktion som isoleringsmaterial. En fördel med VIP är att även om trycket i panelen efter lång tid (cirka 90 år) blir lika med atmosfärstrycket (1 bar) är panelens värmeledningsförmåga fortfarande lägre än luftens värmeledningsförmåga.

Andra egenskaper som kan vara av intresse, exempelvis materialets brand-, fukttransports-, hygroskopiska och mekaniska egenskaper, kommer att presenteras i den slutliga rapporten av Annex 65 ”Long Term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components and Systems”. http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-65/

3 Standardisering

Byggnadsverk (material och komponenter) som uppförs ska, under förutsättning av normalt underhåll och under en ekonomiskt rimlig livslängd, uppfylla de grundläggande tekniska egenskaperna. Generellt ska ett byggnadselement eller material uppfylla ett antal tekniska egenskaper nämligen krav på vind-, luft-, och fukttäthet, isoleringsförmåga, bärförmåga, mekanisk påverkan, säkerhet i händelse av brand, säkerhet vid användning och samt lämplighet för det avsedda ändamålet.

Konstruktion av byggnader och tillhörande komponenter grundas på ”funktionsbaserad dimensionering”. Detta betyder att alla typer av material och kombinationer därav är tillåtna att användas så länge de uppfyller de avsedda tekniska egenskaper.

För typgodkända material och komponenter användas i Europa CE-märkning (Conformité Européenne) som tecken på att produkten uppfyller de avsedda tekniska egenskaper. För nyutvecklade material och komponenter, ska tillverkaren (produktägaren) påvisa att material och komponenter uppfyller ställda krav via beräkning eller provning.

För att använda SIM behövs mätmetoder, karakteriseringsstandarder och certifieringsstandarder. En kort beskrivning av mätmetoder presenteras i kapitel 4.

Sverige deltar i internationell standardisering genom bland annat, SIS, Swedish Standards Institute. SIS är medlem i de internationella standardiseringsorganisationerna CEN (europeisk) och ISO (global).

3.1 Standardisering av APM

Avancerade porösa material består av olika typer av material. Aerogelfiltar är bland de senaste superisoleringsmaterialen. ASTM C1728: ”Standard Specifikation för Flexibel Aerogelisolering” täcker användningen av isolering med aerogelfiltar.

3.2 Standardisering av VIP

I Europa författade CENs tekniska kommitté TC 88 (värmeisoleringsmaterial och produkter), arbetsgrupp WG 11 (vakuumisoleringsprodukter - VIP), ett utkast till standard för fabriksbyggda vakuumisoleringspaneler VIP för byggnadstillämpningar. Utkastet till standard är nu under omröstning av de nationella standardiseringsorganen i Europa. I nästa steg kommer de eventuella kommentarerna från de nationella standardiseringsorganen analysera, adressera och starta en ny undersökningsomgång eller fortsätta med publiceringen av standarden i dess nuvarande utförande

Under 1990-talet accelererade utvecklingen av VIP och det har lett till att ett antal produkter redan finns på marknaden. För att kunna använda VIP har respektive land författat sin egen standard. Ett par exempel på nationella standarder beskrivs nedan.

3.2.1 Tyskland, Frankrike och Schweiz

I Tyskland har VIP-gruppen för GSH (en neutral och oberoende europeisk sammanslutning av värmeisoleringsproducenter) ansvarat för utarbetandet av kvalitets- och provningsreglerna för RAL (German Institute for Quality Assurance and Labelling). De har författat RAL VIP till fyra VIP

applikationer; kylskåp och frysar, bygg och anläggning, varmvattensbehållare, temperaturstyrda lådor och behållare.

Utvecklingen i Frankrike och Schweiz är ganska lik den i Tyskland med mindre avvikelser.

3.2.2 Kina

2014 utfärdade ministeriet för *Bostads och Urban-Rural Utveckling* standarden JG/T 438-2014 ”Vakuumisoleringspaneler för Byggnader”.

3.2.3 Nordamerika

American Society for Testing and Materials (ASTM) har utfärdat ASTM C 1484 – 10: ”Standard Specifikation för vakuumisoleringspaneler”. Denna standard är inte särskilt formulerad för byggnadskomponenter utan täcker allmänt användningen av VIP.

4 Materialkarakterisering i laboratorium

För alla typer av material krävs tillförlitliga värden på deras prestanda som kontrolleras under förutbestämda och jämförbara förutsättningar. Detta är viktigt för att säkra ett framgångsrikt marknadstillträde och en fortsatt tillförlitlig användning i byggnadsarbeten och energieffektivitetsberäkningar. Konventionella isoleringsmaterial som har varit etablerade i åratal är väl beprövade på detta sätt och erbjuder därför en trygghet för användaren. För nya material, med egenskaper som skiljer sig från traditionella material, kan nya mätmetoder behöva utvecklas. Anledningen är att de nödvändiga testmetoderna har utvecklats under många år och är etablerade i harmoniserade standarder, så att laboratoriearbetet för testning är jämförbart över hela Europa.

Leveranserna från projektet ska bidra till rekommendationer för hur SIM ska karakteriseras med tanke på termiska egenskaper och hur tillförlitliga resultat baserat på artificiell accelererad åldring genomförs för meningsfull livslängdsbedömning för olika produkter samt ge input till CEN/TC 88/WG 11 som beskrivits i kapitel 3.

4.1 Materialparametrar av intresse

För en viss tänkt användning av ett material krävs kännedom om ett antal materialparametrar. Vissa av dessa utvärderas under extrem klimatpåfrestning och accelererande åldring, medan andra kräver mer normala förutsättningar. Inom detta projekt har ett antal olika materialparametrar diskuterats och specifikt har fokus varit på att utvärdera egenskaper som är specifika för superisoleringsmaterial:

- Värmeledningsförmåga (VIP och APM),
- Linjär köldbryggekoefficient (VIP med olika tjocklek och foliedesign),
- Inre tryck (VIP),
- Åldringsbeteende (VIP och APM).

Tillgängliga metoder måste anpassas och i vissa fall måste nya utvecklas för att materialparametrarna ska kunna mätas på ett standardiserat sätt. Därför genomfördes en s.k. round robin där flera materialprovningslaboratorier medverkade och applicerade sina specifika mätprotokoll på de fyra parametrarna ovan på en och samma provkropp. Skillnader i uppmätt prestanda analyserades och kritiska delar i metoderna identifierades för senare bearbetning inför standardiserade provningsförfaranden.

För att utvärdera avvikelser mellan materialprovningslaboratorierna i studien gjordes en skattning av hur stora avvikelser olika mätprotokoll uppgav på den uppmätta prestandan för de standardiserade provningsmetoderna plattapparat (guarded hot plate, GHP) och värmeflödesmätare (heat flow meter, HFM). Avvikelserna jämfördes med storleken på motsvarande för konventionella isoleringsmaterial.

Eftersom det är svårt, om inte omöjligt, att prova material under naturlig åldring genomfördes mätningar före och efter en påskyndad artificiell åldringsprocess. Den provningsprocedur som utvecklats i förslaget till ISO-standard för VIP användes. I denna lagras provkroppen i 50°C och 70 % relativ fuktighet och mäts efter 30, 60, 90 och 180 dagar. APM lagras istället vid 60°C och 80 % relativ fuktighet med samma mätintervall. Värmeledningsförmåga mäts för VIP och APM. För VIP mättes även

det inre trycket och jämfördes för de olika åldringstiderna och mellan de olika materialprovnings-laboratorierna.

Särskilt för VIP förväntas en tids- och klimatberoende åldring baserad på det oundvikliga läckaget av torra gaser och vattenånga genom folien. En svårighet med de existerande mätmetoderna är att kunna separera den totala permeabiliteten för de torra gaserna och vattenånga. Därför jämfördes olika metoder för att bestämma foliens permeabilitet. Resultaten beskrivs i rapporten från arbetspaket 2. Dessutom beskrivs metoder för modellering av foliens permeabilitet och andra kopplade egenskaper baserade på teoretiska antaganden och experimentella erfarenheter. Folien består av flera olika skikt med olika material och egenskaper. I modellerna används därför gaspermeabiliteten för varje skikt tillsammans med en faktor för permeabiliteten genom foliens svets som ger foliens totala permeabilitet. Denna kopplas sedan till fukt- och termiska egenskaper för kärnmaterialet för att beräkna värmeledningsförmågan. Ingångsdata baseras på olika klimatbelastningar och är utvecklade baserat på analyser av värmeledningsförmåga från olika fallstudier i Tyskland. Resultaten jämfördes med artificiell accelererad åldring i laboratoriemiljö.

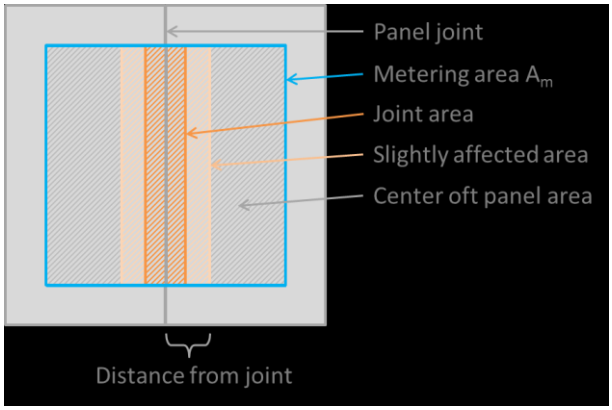
På komponentnivå mäts dessutom linjär köldbryggekoefficient eftersom SIM saluförs i form av paneler eller på rulle där randeffekter kan få stor inverkan på komponentens prestanda. Speciellt stor effekt får köldbryggorna på SIM där den ostörda värmeledningsförmågan är jämförelsevis låg.

4.2 Värmeledningsförmåga

Den metod som med stor repeterbarhet vanligtvis används är plattapparat (guarded hot plate, GHP). Energiåtgången för att hålla en given temperaturdifferens mäts och ger värmeledningsförmågan uttryckt i enheten W/(m·K). Metoden kräver plana ytor och fyrkantiga provkroppar, vilka monteras mellan den varma och kalla sidan av plattapparaten. Mätområdet är isolerat från omgivningen för att inte mätresultatet ska påverkas av randeffekter och värmeflöden som inte går endimensionellt genom provkroppen. Provningen pågår till stationära förhållanden uppnås och sträcker sig från timmar till dagar. Provningstiden bestäms av provkroppens egenskaper liksom storlek och tjocklek. Metoden beskrivs i ett flertal standarder: ISO 8302:1991, EN 1946-2:1999, EN 12667:2001, EN 12664:2001, ASTM C1045-07(2013) och ASTM C177-13.

En annan vanlig metod är värmeflödesmätare (heat flow meter, HFM) där temperatur och värmeflöde mäts med ett antal termoelement i ett nätverk. Metoden är lämplig för komponenter som består av homogena materialskikt orienterade vinkelrätt värmeflödet. Jämfört med GHP är HFM en metod som går snabbare men innebär större mätosäkerheter kopplat till kalibreringen av de olika delarna av provningsutrustningen. Metoden beskrivs i ett flertal standarder: ISO 8301:1991, EN 12664:2001, EN 12667:2001, EN 1946-3:1999, ASTM C1045-07(2013), ASTM C518-15 och ASTM C1667-15.

Linjär köldbryggekoefficient mäts genom att värmeflödet genom en komponent med och utan köldbryggor jämförs. Köldbryggor uppstår vid alla geometriska avvikelser (t.ex. hörn) och skillnader i material (t.ex. material med olika värmeledningsförmåga i kontakt med varandra). För VIP är det framförallt köldbryggor vid panelens rand och i mellanrummet som uppstår mellan panelerna som skiljer sig från den ostörda värmeledningsförmågan. För jämförelse mellan mätning och numeriska beräkningar finns en standardiserad metodik beskriven i ISO 10211:2007. Vidare presenteras resultat och en metodik i (Sprengard, 2016). En definition av de olika områdena som påverkas av randeffekterna visas i Figur 3. Mer detaljerad information finns i rapporten från arbetspaket 2.



Figur 3: Områden som påverkas olika mycket av randeffekterna mellan två VIP (FIW München).

4.3 Inre tryck

Det finns en mängd olika metoder för att bestämma det inre trycket i en komponent. De flesta av dessa metoder kan enbart utföras i laboratoriemiljö då de kräver en anslutning mellan provkroppen och mätinstrumentet. För VIP har därför två olika mätmetoder utvecklats; folielyftmetoden och indirekta metoder baserade på andra parametrar såsom värmeledningsförmåga. Då det ofta saknas kunskap om förhållandet mellan inre tryck och värmeledningsförmåga föredras folielyftmetoden. Denna metod baseras på att VIP placeras i en vakuumkammare där trycket sänks tills folien lyfter från kärnmaterialet. Förloppet följs med hjälp av laser som ger tillräckligt hög precision för att bestämma det inre trycket. Skillnader i kärnmaterialets sammansättning och svetsarnas placering på folien påverkar dock metodens tillförlitlighet.

4.4 Åldringsbeteende

Alla material åldras vilket innebär att materialspecifika egenskaper förändras med tiden. Med hjälp av s.k. Arrheniuskurvor kan åldringsbeteendet för ett material utvärderas i en påskyndad artificiell åldringsprocess. För en mer detaljerad beskrivning av VIP och APM åldringsbeteende hänvisas till rapporten från arbetspaket 1. I arbetspaket 2 genomfördes detaljerad modellering av foliens permeabilitet och defekta zoner i folien med syfte att beskriva gaspermeabiliteten av folien under olika klimatbelastningar i olika konstruktioner. Resultaten från dessa redovisas i rapporten från arbetspaket 2.

4.5 Resultat från olika materialprovningslaboratorier

Ett provningsprogram utvecklades med mål att undersöka hur väl olika laboratorier klarar av att reproducera mätresultat för olika VIP och APM från olika tillverkare. Noggranna instruktioner och Excelbaserade datainsamlingsmallar utvecklades inom projektet. Totalt testades 6 olika typer av VIP (4 kisel och 2 mineralull) och 2 olika typer av APM (1 granulat och 1 skiva). Ostörd värmeledningsförmåga (före och efter åldring), köldbryggekoefficient och inre tryck provades vid 20 olika laboratorier utspridda över hela världen. Chalmers deltog genom att utföra mätning av värmeledningsförmåga och inre tryck på 2 VIP i värmeflödesmätare och med en indirekt tryckmetod.

5 Praktiska applikationer – full skala

En byggnads livslängd är normalt 25–100 år. Under denna tidsperiod ställs krav att de material och komponenter som ingår i konstruktionen har en känd livslängd så att reparationer alternativt ersättning kan räknas in i projektets livscykelkostnad. För SIM som utvecklats och börjat användas mer aktivt i byggnader under de senaste årtiondena saknas delvis denna information. Tidigare undersökningar i laboratorium och i fält har visat att VIP väntas klara 50 års normalt användande utan att prestandan förändras avsevärt (Binz et al., 2005; Simmler et al., 2005). De erfarenheter som finns för byggnader baseras på erfarenheter på upp till 15 års användande (Johansson, 2012). Under denna tid har produktionsteknik och materialkompositionerna förändrats vilket gör att de erfarenheterna inte kan översättas direkt på de produkter som finns på marknaden idag. Därför behöver kontinuerlig utvärdering göras av de praktiska applikationer som finns i full skala idag.

I Annex 65 har Chalmers samordnat insamlingen av erfarenheter från praktiska applikationer av SIM i byggnader och system. Syftet har varit att kartlägga de användningsområden som finns (komponenter och byggnadsdelar), hur prestandan är på byggnadsnivå (experiment och beräknad) och erfarenheter med specifikt fokus på renoveringsapplikationer. Prestandan kopplas till hur materialen i konstruktionen är exponerade för olika temperaturnivå, fuktbelastning och hur de varierar med tiden. För prestandan på byggnadsnivå är det också viktigt med kunskap om hur materialen ska lagras, hanteras och monteras. Riktlinjer och rekommendationer har tagits fram inom Annex 65.

5.1 Användningsområden och fallstudier

SIM har använts inom i princip alla typer av konstruktioner, i olika klimatzoner och olika belastningar. Fullskalig provning i fältförsök ger kompletterande information för hur SIM kan användas i verkliga projekt och även i fullskalig kommersiell implementering under flera års användning. Praktiska och tekniska svårigheter kan identifieras som tillsammans med långtidsmätning av prestandan ger underlag till uppskattning av materials livslängd. APM har använts sedan 1930-talet och i större kommersiell omfattning sedan tidigt 2000-tal (Aegerter, 2011; Baetens et al., 2011; Cuce et al., 2014; Koebel et al., 2012). VIP har hittills mest använts i kyl- och transportindustrin och de första exemplen på användning i byggnader är från 1990-talet (Binz et al., 2005; Heinemann and Kastner, 2010). För att tillförlitliga slutsatser ska kunna dras krävs dessutom kontinuerlig utvärdering och uppföljning av de data som samlas in från fallstudierna. Dessvärre är det enbart i undantagsfall som projekt följs upp och avvikelser från projekterad prestanda dokumenteras i ännu färre fall.

Inom Annex 65 har totalt 32 fallstudier samlats in och presenterats. De fördelas på 7 fallstudier med aerogelfilt (2 600 m^2), 3 med silikabaserade skivor och 22 med VIP (91 000 m^2). Vissa av fallstudierna har följts upp genom att sensorer för temperatur, relativ fuktighet och/eller värmeflödesmätare installerats i konstruktionen. Få av dem har utvärderats av en tredje part som är oberoende av materialproducent eller byggnadens ägare. Fallstudierna finns utspridda över 12 länder på 3 kontinenter, se Figur 4.

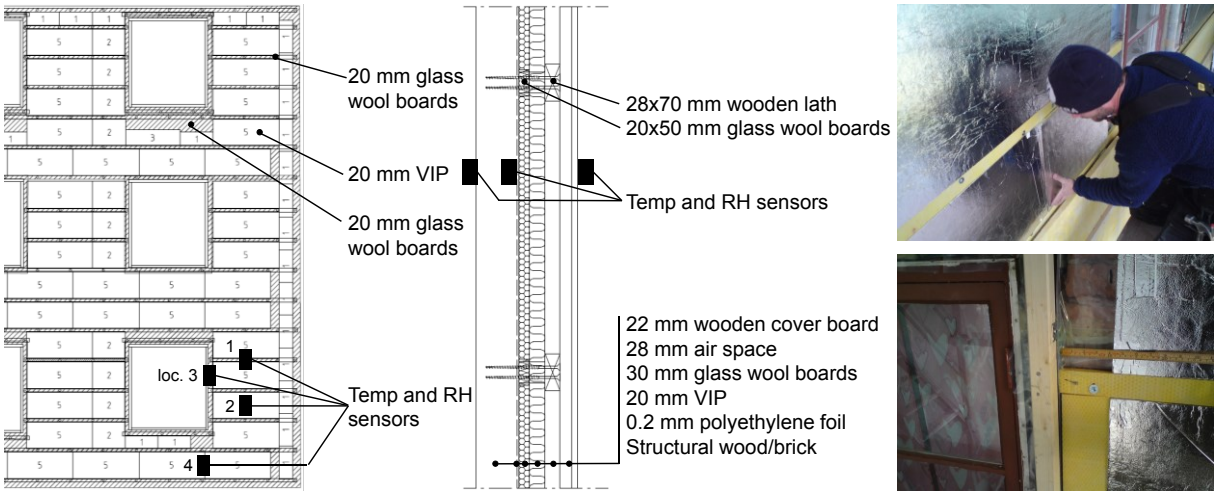
Figur 4: De 32 fallstudierna med SIM spridda över 12 länder på 3 kontinenter.

Slutsatser från fallstudierna med aerogelfiltar visade bland annat att de passar bra för konstruktioner som inte är helt plana, att den höga ångpermebiliteten medförde en fortsatt uttorkningsmöjlighet genom konstruktionen och att de går att använda i upp till 5 lager (50 mm) utan större svårigheter. För silikabaserade skivor visade erfarenheterna att köldbryggor mellan skivorna kan behöva genomarbetas mer, att användningen inte behöver leda till en minskad ångtransport genom konstruktionen, samt att väggens fuktbuffrande förmåga ökade. Flera fallstudier med VIP demonstrerade hur invändig uthyrningsbar golvyta kunde finansiera den ökade kostnaden samt att byggnadens karakteristik kunde bevaras efter en tilläggsisolering. De resultat från långtidsmätning och uppföljning som finns för 4 av fallstudierna (Kanada, Schweiz och Sverige) rapporterar om små förändringar i prestandan efter flera års användning. En av nackdelarna med VIP visade sig vara att de inte kan anpassas i efterhand på byggarbetsplatsen. Därför har särskilda planeringsverktyg som optimerar varje panels storlek och placering tagits fram av materialproducenterna. En mer detaljerad genomgång av fallstudierna och slutsatser från dem finns i rapporten från arbetspaket 3.

5.2 Erfarenheter från långtidsprovning i Sverige

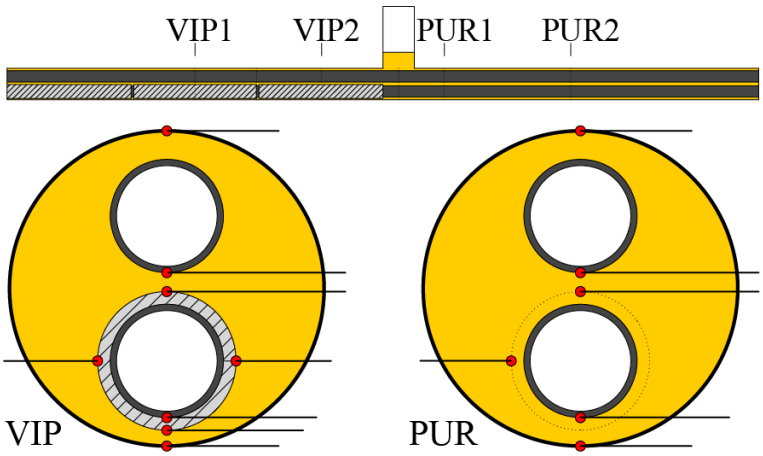
Två fallstudier i Sverige dokumenterades i projektet. En gäller en renoverad byggnad från 1930 i Göteborg (Figur 5) och den andra är fältmätning av hybridisolerade fjärrvärmerör i Varberg (Figur 6). Renoveringen genomfördes under hösten 2010 och har sedan dess utvärderats genom att temperatur och fuktflöden genom väggen beräknats och jämförts med mätresultat. Det har visat sig vara svårt att utvärdera prestandan av varje enskild panel i väggen eftersom en luftspalt på utsidan av isoleringen omöjliggör termografering med värmekamera. Därför har enbart indirekta metoder kunnat användas,

såsom utvärdering av temperaturprofilen i några olika snitt i väggen. Utvärderingen har inte påvisat några tecken på en förhöjd värmeledningsförmåga efter 5 års användning. Konstruktionen blev isolerad på utsidan vilket gav en förbättring när det gäller väggens hygrotermiska (fukt och värme) prestanda (Johansson et al., 2016; Johansson et al., 2014).



Figur 5: Vänster: Väggen efter tilläggsisolering med 20 mm VIP och 30 mm mineralullsskiva. Placering av sensorer för temperatur och relativ fuktighet markeras med de svarta rektanglarna; 1) bakom mineralull, 2) mitt bakom VIP, 3) vid fönsterkarm, 4) bakom anslutning mellan två VIP. Höger: Montering av VIP där mineralullen skapar en köldbrygga mellan panelerna och mellan paneler och fönster.

Totalt har 5 fältstationer undersökts där hybridisolerade fjärrvärmerör utvärderats kontinuerligt under 5 år. Den stora farhågan med att använda VIP i fjärrvärmerör gäller den höga temperaturen som kan vara upp mot 120°C. Det får två möjliga konsekvenser där temperaturen kan leda till att folien kring panelerna smälter och ökar den låga värmeledningsförmågan, eller att temperaturen leder till en påskyndad gastransport in i panelerna och därmed en ökad värmeledningsförmåga. I utvärdering monterades hybridisolerade fjärrvärmerör på en sträcka med 80°C vatten i nätet. Temperaturen mättes på ytan av VIP och i ett referensrör utan VIP. Mätningarna pågick under 2012-2015 och har hittills inte påvisat någon förhöjd värmeledningsförmåga (Berge et al., 2016).



Figur 6: Beskrivning av termoelementens placering för ett av rören i fältstationen i Varberg. Vänster: Sektion av hybridisolerad del. Höger: Sektion av referensrör med konventionell PUR isolering. Varje temperatur mättes på två platser längs med röret i fältstationen.

5.3 Rekommendationer för praktisk användning

I projektet har anvisningar och rekommendationer för hur SIM ska användas från olika materialproducenter (Aspen Aerogels, 2016; Cabot, 2015; Evonik, 2017; Kingspan, 2015; Porextherm, 2011; ZZ Wancor, 2016) och forskningsinstitut sammanställts (Acermi, 2014; BBSR, 2011). Syftet var att presentera generella rekommendationer och anvisningar för praktisk användning genom att utgå från kraven på förpackning, transport, lagerhållning och montering som finns i produkternas ETA (European Technical Assessment, dokument som innehåller information om produktens prestanda).

Efter tillverkning bör VIP lagras på ett kontrollerat sätt antingen genom att använda speciella förpackningar eller skyddande lager på panelernas yta. Vid leverans bör de inspekteras och det rekommenderas att de lagras inomhus. Panelerna bör inte belastas och de bör inte staplas på något annat sätt än vad som rekommenderas av producenten. Själva installationen bör utföras av utbildad personal som har information om hur VIP ska hanteras såsom att det inte är lämpligt att gå eller stå på panelerna. Direkt kontakt med vassa ytor bör undvikas, liksom kontakt med smuts, damm och andra partiklar. Panelerna bör inte böjas eller tryckas på plats. Om lim används ska det vara fritt från klorider, Ga, Ti, In, Sn och Pb då dessa kan skada folien. Panelerna bör inte heller installeras i direkt kontakt med betong, murbruk eller andra alkaliska material med pH över 8,5. Kontakt med lösningsmedel och syror bör undvikas.

APM innehåller generellt sett inte skadliga ämnen. Det damm som skapas vid arbete med produkterna kan dock leda till irriterad och uttorkad hud. Arbete bör utföras i väl ventilerade lokaler så att inandning undviks. Dammet är hydrofobt varför vatten inte är effektivt för att minska mängden damm.

6 Hållbarhet – LCC, LCA

Som en del av byggproduktförordningen (SFS2010:900), som trädde i kraft 2012 för nya produkter och 2013 för befintliga produkter, krävs produktspecifik information om miljö och hållbar användning av naturresurser som grundläggande tekniskt krav. För att uppfylla kraven är livscykelanalys (LCA) (ISO 14040) en metod som kan tillhandahålla sådan produktspecifik information.

När det gäller superisoleringsmaterial saknas fortfarande information om indata till LCA i offentliga och välkända kommersiella databaser med livscykelinventarier (LCI). Dock kan representativa data som kommer från materialtillverkare och byggnadskonstruktörer användas för att arbeta mot att minska en byggnads miljöpåverkan och dess ingående material och komponenter. I vissa fall publiceras informationen i så kallade miljövarudeklarationer (EPD, Environmental Product Declaration).

Det finns flera tidigare studier som har behandlat LCA av SIM, även om de flesta saknar LCI-detaljerna, vilket skulle vara nödvändigt för en transparent jämförelse mellan olika typer av isoleringsmaterial. I Annex 65 var målet att skapa en sådan öppen LCI genom samarbete med tillverkarna. På grund av olika orsaker, bland annat sekretessfrågor, misslyckades detta arbete. Detta ledde till att istället skapades databaser med livscykelinventarier (LCI) baserade på befintliga litteraturdata.

LCA-resultatet av den skapade LCI för VIP visade en god grad av samstämmighet med de av tillverkarna publicerade EPD (miljövarudeklarationer), som normalt inte innehåller transparent LCI-information. Resultatet skapar en solid grund för en jämförelse med konventionella isoleringsmaterial.

LCA-resultatet av den skapade LCI för aerogel visade stor skillnad mot de publicerade EPD. Detta kan bero på att den tillgängliga LCI-informationen endast representerade pilotskala. Även om en EPD representerar produktspecifika LCA-resultat, kan informationen som beskrivs i dokumentet inte alltid vara tillräcklig för att möjliggöra en rättvis jämförelse. Denna brist på transparens är fortfarande en utmaning för nya avancerade material.

I ett hypotetiskt renoveringsprojekt undersöktes användning av SIM med hänsyn till den ekonomiska (Life Cycle Costs – LCC) och miljömässiga återbetalningstiden i nordeuropeiska länder. Resultaten av undersökningen visar att det är svårt att nå en rimlig återbetalningstid i de flesta av de nordiska städerna. Placering av en byggnad i ett område med höga markpriser, höga energikostnader eller höga uppvärmningsbehov kan emellertid påverka konkurrenskraft för SIM, både ekonomiskt och miljömässigt. I verkligheten finns det olika begränsningar som kan påverka beslutet av val av isoleringsmaterial. Som exempel kan nämnas renovering av kulturmärkta byggnader där bevarandet av de arkitektoniska värdena leder till användning av SIM, eftersom konventionella isoleringsmaterial inte går att använda.

7 Diskussion

Användning av superisoleringsmaterial medför stora energibesparingar. Värmeledningsförmågan hos högpresterande isoleringsmaterial är mellan 2–5 gånger lägre än för konventionella isoleringsmaterial med en värmeledningsförmåga på 0,028-0,032 mW/(m·K). Detta betyder att värmeförluster via byggnadens klimatskal kan reduceras med mellan 50 % - 80 % om tjockleken på SIM är i samma storleksordning som för de konventionella isoleringsmaterialen.

Under arbetet i Annex 65 har flera frågor angående tekniska egenskaper, mätmetoder i laboratoriet och fält, och standarder för användning av SIM i byggnadsverk identifierats, diskuterats och analyserats.

Fyra huvudutmaningar identifierades:

1. Kunskap hos arkitekter och konstruktörer om användning av SIM

Vakuumisoleringspaneler (VIP) tillverkas i förbestämda mått och panelerna kan inte skäras på arbetsplatsen. Detta leder till att skräddarsydda VIP måste beställas i förväg. Planeringsprogramvara har utvecklats för sammansättningar där VIP paneler. Dessa CAD-baserade program minskar tröskeln för att använda produkten och förenklar designen.

Särskild omsorg är nödvändig under installationen eftersom VIP kan punkteras vid monteringen. Därför kan det finnas behov av certifiering av hantverkare och behov av särskild utbildning.

Indata (materialegenskaper) för högpresterande isoleringsmaterial skall vara tillgänglig i de kommersiella byggnadsfysikaliska designverktygen exempelvis WUFI. Detta bidrar också till att öka kunskapen bland arkitekter och designers.

2. Konservativ byggbransch

Byggbranschen är i allmänhet konservativ mot nya lösningar och material. Branschen regleras av många koder och standarder, och det tar lång tid att införa nya material och lösningar. Det pågående standardiseringsarbetet på material- och produktnivå kan accelerera lansering av byggkomponenter med integrerade SIM på marknaden.

3. Kostnad kontra prestanda

Superisoleringsmaterial är dyrare än konventionella isoleringsmaterial. Tillverkaren av SIM hoppas på att kunna erbjuda lägre priser för byggprodukter om beställningar till byggapplikationer ökar.

Ett SIM erbjuder samma isoleringsförmåga som ett konventionellt isoleringsmaterial dock med tunnare isoleringstjocklek. Det höga priset för SIM kan kompenseras med utökad boarea.

Det kan också finnas tekniska skäl att välja SIM, det vill säga när de konventionella isoleringsmaterialen inte är ett praktiskt alternativ eller av arkitektoniska skäl exempelvis minimering av effekten av köldbryggor i en konstruktion.

4. Långvarig prestanda för superisoleringsmaterial

Superisoleringsmaterial för byggnadstillämpningar har utvecklats under de senaste decennierna. Teoretiska överväganden och första praktiska tester visade att VIP, särskilt de med kiseldioxidkärna, förväntas uppfylla kraven på hållbarhet vid byggnadstillämpningar i mer än 50 år. Både VIP och APM har framgångsrikt installerats under de senaste 15 åren i byggnader. Mätningar och erfarenheter från praktiska tillämpningar sträcker sig emellertid som mest upp till 15 år för VIP och mindre för APM.

8 Publikationslista

8.1 Tidskriftsartiklar

Johansson, P., Adl-Zarrabi, B., Sasic Kalagasidis, A. (2016). Evaluation of 5 years' performance of VIPs in a retrofitted building façade. Energy and Buildings, 130 p. 488-494.

Berge, A., Adl-Zarrabi, B., Hagentoft, C-E. (2016). Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels. Renewable Energy, 87 (3) p. 1130-1138.

8.2 Konferensartiklar

Johansson, P., Wahlgren, P. (2017). Recreation of cultural historical values in buildings from before 1945: Inventory with focus on building physics performance. Proceedings of XIV DBMC 2017, May 28-31, 2017, Ghent, Belgium.

Berge, A., Adl-Zarrabi, B. (2016). Long term performance of vacuum insulation panels in hybrid insulation district heating pipes, Energy Procedia:15th International Symposium on District Heating and Cooling, 4-7 September, 2016, Seoul, South Korea, 116 p. 334-342.

Johansson, P., Adl-Zarrabi, B., Berge, A. (2015). Evaluation of long-term performance of VIPs, Energy Procedia: Proceedings of the 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, June 14-17, 2015, Torino, Italy, 78 p. 388-393.

Berge, A., Adl-Zarrabi, B., Hagentoft, C-E. (2015). Assessing the Thermal Performance of District Heating Twin Pipes with Vacuum Insulation Panels, Energy Procedia: Proceedings of the 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, June 14-17, 2015, Torino, Italy, 78 p. 382-387.

8.3 Andra internationella publikationer

Johansson, P. (2017). Results from real life performance assessment of aerogel blankets in buildings. Presentation at the Advanced Building Skins Conference, October 2-3, 2017, Bern, Switzerland.

Johansson, P., Wahlgren, P. (2017). Using SIMs to re-create cultural historical values in buildings from before 1945. Proceedings of the 13th International Vacuum Insulation Symposium, September 20-21, 2017, Paris, France.

Johansson, P., Adl-Zarrabi, B. (2017). Practical Applications of SIMs: Retrofitting at the Building Scale. Proceedings of the 13th International Vacuum Insulation Symposium, September 20-21, 2017, Paris, France. (Poster)

Johansson, P., Wahlgren, P. (2016). Interior Insulation Retrofit of a Brick Wall Using Vacuum Insulation Panels: Re-Creation of Cultural Historical Values in Buildings from before 1945, Proceeding of the International RILEM Conference Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016: Segment on Historical Masonry, August 22-24, 2016, Lyngby, Denmark. (Poster)

Johansson, P., Adl-Zarrabi, B., Berge, A. (2015). Long-term performance of vacuum insulations panels in buildings and building systems, Proceedings of the 12th International Vacuum Insulation Symposium, September 19-20, 2015, Nanjing, China. p. 136-139.

8.4 Populärvetenskapliga presentationer

'Superisolering i historiska byggnader', Byggnadsvårdens konvent (2017), Mariestad, 28 september, 2017

'Vakuumpaneler på historiska byggnader', SIRen workshop: Energieffektivisering i praktiken – antikvariska aspekter (2017), Riksantikvarieämbetet, Stockholm, 19 juni, 2017

'Tunn superisolering ger nya möjligheter', Seminarium Conservator: Renovera för framtiden (2016). Kalmar, 6 April, 2016

'Tilläggsisolering i hus med höga bevarandevärden', Workshop Superinsulation materials (2015). Chalmers, 2 December, 2015.

9 Referenser

Acermi. (2014). *Guidelines for the certification of thermal insulation products*. [Accessed 10 September, 2016] Available at: <http://www.acermi.com/doc/referentiels/general-guidelines.pdf>.

Aegerter, M. A., Leventis, N., & Koebel, M. M. (Ed.). (2011). *Aerogels Handbook*: Springer Science & Business Media.

Aspen Aerogels. (2016). *Technical Guidance Document, Spaceloft aerogel blanket insulation*. [Accessed 21 June, 2016] Available at: <www.aerogel.uk.com/spaceloft-tech-guide.pdf>.

Baetens, R., Jelle, B. P., and Gustavsen, A. (2011). Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings, 43*(4), 761-769.

BBSR. (2011). *Vakuumisolationspaneele in der Baupraxis*. Bonn, Germany: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung.

Berge, A., Adl-Zarrabi, B., and Hagentoft, C.-E. (2016). Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels. *Renewable Energy, 87*(3), 1130-1138.

Binz, A., Moosmann, A., Steinke, G., Schonhardt, U., Fregnan, F., Simmler, H., Brunner, S., Ghazi, K., Bundi, R., Heinemann, U., Schwab, H., Cauberg, J. J. M., Tenpierik, M. J., Jóhannesson, G. A., Thorsell, T. I., Erb, M., and Nussbaumer, B. (2005). *Vacuum Insulation in the Building Sector. Systems and Applications (Subtask B)*. IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation (HiPTI).

Cabot. (2015). *Safety data sheet*. [Accessed 16 March, 2017] Available at: <www.cabotcorp.com>.

Cuce, E., Cuce, P. M., Wood, C. J., and Riffat, S. B. (2014). Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34*, 273-299.

Dorcheh, A. S., & Abbasi, M. H. (2008), "Silica aerogel; synthesis, properties and characterization", *Journal of Materials Processing Technology, 199*(1-3), 10-26

Evonik. (2017). *CALOSTAT® Technical Information 1404*. [Accessed 17 April, 2017] Available at: <http://www.calostat.com/sites/lists/RE/DocumentsSI/TI-1404-CALOSTAT-EN.pdf>.

Fricke, J., Heinemann, U., & Ebert, H. P. (2008). Vacuum insulation panels - From research to market. *Vacuum, 82*(7), 680-690.

Heinemann, U. and Kastner, R. (2010). *VIP-PROVE: Vakuumisolationspaneele - Bewährung in der Baupraxis. Wissenschaftliche Begleitforschung. Schlussbericht Energieoptimiertes Bauen, ViBau Report ZAE 2-1210-11 (2010) (VIP-PROVE: Vacuum insulation panels - Testing in construction practice.*

Scientific evaluation. Final report energy optimized construction). [In German]. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. ZAE Bayern, Würzburg, Germany.

Johansson, P. (2012). *Vacuum Insulation Panels in Buildings: Literature Review* (Report 2012:1). Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Gothenburg, Sweden.

Johansson, P., Adl-Zarrabi, B., and Sasic Kalagasidis, A. (2016). Evaluation of 5 years' performance of VIPs in a retrofitted building façade. *Energy and Buildings, 130*, 488-494.

Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A., and Hagentoft, C.-E. (2014). Retrofitting of a listed brick and wood building using vacuum insulation panels on the exterior of the facade: Measurements and simulations. *Energy and Buildings, 73*(April 2014), 92-104.

Kalnaes, S. E., & Jelle, B. P. (2014). "Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways". *Applied Energy, 116*, 355-375.

Kingspan. (2015). Optim-R Delivery Notice Sticker A4 May 2015. *Kinspan Insulation Ltd*.

Koebel, M., Rigacci, A., and Achard, P. (2012). Aerogel-based thermal superinsulation: an overview. [journal article]. *Journal of Sol-Gel Science and Technology, 63*(3), 315-339.

Porextherm. (2011). *Important product- and handling instructions for Vacupor® and Vacuspeed®*. [Accessed 20 March, 2017] Available at: <http://www.porextherm.com/images/anhaenge/verarb_en.pdf>.

Simmler, H., Brunner, S., Heinemann, U., Schwab, H., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, P., Quenard, D., Sallee, H., Noller, K., Kücükpinar-Niarchos, E., Stramm, C., Tenpierik, M., and Cauberg, H. (2005). *Vacuum Insulation Panels - Study on VIP Components and Panels for Service Life Prediction in Building Applications (Subtask A)*. IEA/ECBCS Annex 39 High Performance Thermal Insulation.

Sprengard, C. (2016). Determination of linear thermal transmittance of vacuum insulation panels by measurement in a guarded hot-plate apparatus or a heat-flow meter apparatus. *Proceedings of the Buildings XIII*, 5 December 2016, Clearwater Beach, USA.

Wei, G. S., Liu, Y. S., Zhang, X. X., Yu, F., & Du, X. Z. (2011), "Thermal conductivities study on silica aerogel and its composite insulation materials", International *Journal of Heat and Mass Transfer, 54*(11-12), 2355-2366.

ZZ Wancor. (2016). *Vacuspeed Hochleistungswärmedämmung*. [Accessed 20 March, 2017] Available at: <http://zzwancor.ch/service/download-center>.

Bilagor

Workshop om Superisoleringsmaterial på CHALMERS, 2 december, 2015

Syftet med workshopen var att sprida kunskap från tidigare genomförda projekt inom området superisoleringsmaterial för byggnadskomponenter och -system. Workshopen lockade trettiotal personer som representerade entreprenörer, byggherrar, kontrollansvariga, programvaruföretag, tillverkare av fjärrvärmerör, konsulter och politiker. Dagen var indelad i två delar där 'Fjärrvärme i framtiden' avhandlades kl. 10-12 och 'Renovering och nybyggnation' avhandlades kl. 13-15.

Deltagare på workshopen i Chalmers Teknikpark.

Pär Johansson, Byggnadsteknologi, Chalmers

Dagen inleddes med kaffe och fralla och därefter hälsade Pär Johansson, Chalmers, välkommen till workshopen och berättade om syftet med dagen samt visade dagens agenda.

Thomas Lummi, Områdesansvarig Distributionsteknik, Svensk Fjärrvärme AB

Fjärrvärmens framtid och vilka utmaningarna är

Yoash Carmi, Senior Scientist (Physics), Hanita Coatings

Fundamentals of Vacuum Insulating Panels for Elevated temperatures. After introduction on the basic mechanisms of heat conductance in VIPs, the presentation dealt with the aspects related to their use at elevated temperature applications

Axel Berge, Doktorand, Byggnadsteknologi, Chalmers

Hybridisolerade fjärrvärmerör. Resultat från ett forskningsprojekt. Mätningar i labbmiljö och i fält.

Göran Johansson, Teknisk Chef, Powerpipe Systems AB

New hybrid preinsulated pipes in a production and customers perspective. Produktutveckling.

Holger Wallbaum, Professor, Byggnadsteknologi, Chalmers
Ekonomisk och ekologisk prestanda hos superisoleringsmaterial.

Kenneth Finnäs, Försäljningschef på Kingspan Insulation
Kingspan Insulation AB om erfarenheter och produkter på marknaden. Kingspan tillverkar och saluför flera högpresterande värmeisoleringsmaterial. Exempel på material är PIR med ett lambdavärde från 0,022 W/mK, fenolskumskiva med lambda från 0,020 W/mK och vakuumisolering med lambda från 0,007 W/mK.

Axel Berge, Byggnadsteknologi, Chalmers
Aerogels for building applications. Axel also presented typical building applications, a presentation prepared by Michael O'Connor Aspen Aerogels. Every participant got a sample of aerogel in a test tube.

Pär Johansson, Byggnadsteknologi, Chalmers
Tilläggsisolering i hus med höga bevarandevärden. Ett landshövdingehus från 1930 i Göteborg isolerades med VIP på utsidan av fasaden. Uppföljning av 5 års mätning av temperatur och relativ fuktighet har genomförts i väggen. Skillnader mellan förutsättningar för invändig och utvändig tilläggsisolering diskuteras baserat på labbförsök i samverkan med NTNU i Trondheim.

Bijan Adl-Zarrabi, Byggnadsteknologi, Chalmers
Långtidsegenskaper, riktlinjer, IEA Annex 65, goda exempel.

Bokbord med relevant och aktuell litteratur.

Workshop om Superisoleringsmaterial på CHALMERS, 20 september, 2016

I samband med att CHALMERS arrangerade det 4:e mötet inom IEA Annex 65 den 20-21 september, 2016, bjöds industrin in till en öppen workshop under mötets andra dag. Titeln på workshopen var ”How to introduce novel materials in the conservative sector” och lockade totalt 50 deltagare varav 16 var deltagare utanför Annex 65.

Deltagare på workshopen i Chalmersska huset.

Agenda

Holger Wallbaum (Chalmers) - Welcome to Chalmers and Area of Advance Energy

Daniel Quenard (CSTB), Operating Agent - Introduction to IEA Annex 65

Ulrich Heinemann (ZAE Bayern) - ST1 State of the Art on Materials & Components - Case Studies

Christoph Sprengard (FIW) – ST2 Characterization of materials & components - Laboratory Scale

Pär Johansson (Chalmers) – ST3 Practical Applications – Retrofitting at the Building Scale – Field scale

Holger Wallbaum (Chalmers) – ST4 Sustainability – LCC, LCA, EE – Risk & Benefit

Presentations

Anca Zanfir (Isover Saint-Gobain, France)

Kenneth Finnäs (Kingspan Insulation, Sweden)

Göran Johansson (Powerpipe Systems, Sweden)

Georg Gertner (Cabot Aerogel, Germany)

Dokumentation: https://Chalmersuniversity.box.com/s/ssay6w233y2n2dozyedd49iehoz2nftu

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 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

E2B2 C/O IQ Samhällsbyggnad | Drottninggatan 33 | 111 51 STOCKHOLM | info@E2B2.se | 070-645 16 40 | www.E2B2.se