



Litteraturgenomgång om sprayad PUR-isolering och SIPs

Annika Ekstrand-Tobin

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Litteraturgenomgång om sprayad PUR- isolering och SIPs

Annika Ekstrand-Tobin

Abstract

In this report, information of Structural Insulated Panels (SIPs) and sprayed PUR insulation is collected and referred from references such as research papers, theses, standards and articles in scientific and popular magazines. The report reflects the majority of aspects that are of importance in comparison with traditional insulation. The literature referenced reproduces primarily conditions in North America as the presented products have their origin in this part of the world. This makes it difficult to draw conclusions on both technical and economic advantages compared to Swedish conditions as Sweden do not have the same problems with insect infestations in structures as in other parts of the world. The problem with moisture, odors and the presence of mold in buildings is not emphasized as in Scandinavia. Here, the Swedish building regulations more strict approach.

The thesis written by Essen-Möller and Robertshaw is often quoted in this report. In this, it is suggested that the following would be useful for entrepreneurs in the choice of insulation:

- A survey of sorptionskurvor for different foam types would enable more detailed simulations of moisture in constructions with PUR foam.
- A study of adhesion properties which focus on adhesion to different substrates, adhesion when the foam is applied to the wood studs at different moisture levels and whether adhesion properties of the PUR foam is affected by fatigue.
- Measurement of shear properties of PUR foam with closed cells and calculations of to what degree PUR foam with closed cells amplifies a wooden frame construction.
- The elaboration and testing of type designs with respect to fire safety, moisture protection and heat transfer resistance

As for all building materials, material properties needs to be confirmed with detailed testing for both prefabricated building elements with SIPs panels and for building components where in-situ sprayed polyurethane insulation is included. The results can then be used as input for requirement specifications and quality assurance as well as in the calculation and dimensioning relating for example to acoustics, energy, moisture transport, financial optimization and LCA.

Key words: SIPs, Structural Insulated Panels, panel, sandwichelement

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2015:76
ISBN 978-91-88001-97-9
ISSN 0284-5172
Borås 2015

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Syfte	7
2 In-situ sprayad PUR-isolering	8
2.1 Inledning	8
2.2 Konstruktion och produktion	8
2.2.1 Tak och vind	8
2.2.2 Ytterväggar	9
2.2.3 Innerväggar och mellanbjälklag	10
2.2.4 Källare och krypgrund	10
2.3 Märkning, regler och standarder	10
2.4 Produktegenskaper	11
2.5 Brandegenskaper	12
2.6 Energiaspekter	12
2.7 Fördelar och nackdelar	13
2.8 Miljö- och hälsoaspekter	13
2.9 Fuktsäkerhet	13
2.10 Alternativa produkter	14
3 SIPs - Structural Insulation Panels	15
3.1 Inledning	15
3.2 Konstruktion och produktion	15
3.3 Regler och standarder	15
3.4 Produktegenskaper	16
3.5 Brandegenskaper	16
3.6 Energiaspekter och LCA	16
3.7 Fördelar och nackdelar	17
3.8 Miljö- och hälsoaspekter	19
3.9 Alternativa produkter till SIPs	19
3.9.1 BioSIPs	19
3.9.2 CSIPs	19
4 Referenser	21

Förord

Arbetet med att ta fram material och skriva denna rapport är genomfört på initiativ av Eva-Lotta Kurkinen, Hållbar Samhällsbyggnad, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås. Projektet är finansierat genom anslag från SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

Rapporten innehåller utdrag ur ett examensarbete utfört av My Essen-Möller och Benjamin Robertshaw, studerande vid institutionen för byggvetenskaper/ Byggnads-material vid Lunds Universitet med titeln In-situ sprayad Polyuretansskum-isolering under Svenska förhållanden – En forskningsöversikt (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) samt en del med presentation och utdrag ur referenser om forskning och information om SIPs paneler gjorda på internet, via SCOPUS och ScienceDirect.

Projektsamordnare var Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier och projektledare Eva-Lotta Kurkinen. Övriga medarbetare i projektet var Stefan Elfborg, SP och Annika Ekstrand-Tobin, SP.

Borås november 2015

Annika Ekstrand-Tobin

Sammanfattning

I denna rapport har information samlats in och hänvisningar gjorts ur dryga dussinet referenser som exempel forskningsrapporter, examensarbeten, standarder, artiklar i vetenskapliga tidningar och populärpress. Rapporten är inte någon heltäckande faktasammanfattning men återspeglar flertalet aspekter som är av betydelse i jämförelse med traditionell isolering. Litteraturen som refereras återger främst förhållanden i Nordamerika då dessa produkter har sin upprinnelse i denna del av världen. Detta gör det svårt att dra slutsatser om både tekniska och ekonomiska fördelar gentemot svenska förhållanden. Vidare har vi i Sverige inte samma problem med insektsangrepp i konstruktioner som i andra delar av världen. Problematiken med fukt, lukt och förekomst av mögel i byggnader betonas inte som i Skandinavien. Här har svenska byggregler mer strikt förhållningssätt.

I examensarbetet som Essen-Möller och Robertshaw gjort och som ofta är citerat i denna rapport, föreslås att följande skulle vara användbart för entreprenörer vid val av isolering:

- En undersökning av sorptionskurvor för olika skumtyper skulle möjliggöra mer detaljerade fuktsimuleringar på konstruktioner med PUR-skum.
- En undersökning av vidhäftningsegenskaper där fokus läggs på vidhäftning mot olika underlag, vidhäftning då skummet appliceras mot träreglar vid olika fukthalter och huruvida vidhäftningsegenskaperna hos ett PUR-skum påverkas av utmattning
- Mätning av skjuvegenskaperna hos PUR-skum med slutna celler samt beräkningar på till vilken grad ett skum med slutna celler genom skivverkan förstärker en träregelkonstruktion
- Framtagande och testning av typkonstruktioner med avseende på brandsäkerhet, fuktsäkerhet och värmegenomgångsmotstånd

Egenskaperna hos både prefabricerade byggnadselement som SIPs-paneler och byggnadsdelar där in-situ sprayade PUR-isoleringar ingår behöver som andra byggprodukter deklarerars genom ingående provning för varje enskild produkt. Resultaten från dessa provningar kan sedan användas som indata vid kravspecifikationer och kvalitetssäkring samt i beräkningar och dimensioneringar som till exempel avser akustik, energi, fukttransport, ekonomisk optimering och LCA.

1 Syfte

Det finns många aspekter som bör beaktas inför ett eventuellt val av in-situinstallerad skumisolering och sandwichelement med skumisolering. Exempelvis om skumisoleringen är så pass tät att den kan fungera som diffusionsspärr. Om skummade produkter emitterar hälsofarliga kemiska ämnen eller om brandskyddet är tillräckligt.

Syftet med rapporten har varit att samla in och gå igenom information om byggnadsfysikaliska egenskaper och annat för PUR-skumisolering och SIPs paneler. De nyckelord och begrepp som behandlats är:

- isoleringsvärde
- lufttäthet
- diffusionstäthet
- LCA värdering
- beständighet
- emissioner
- akustik
- återvinningsmöjligheter
- brandegenskaper
- hälsorisker
- fördelar och nackdelar

2 In-situ sprayad PUR-isolering

2.1 Inledning

Skumisolering är en relativt ny produkt i Sverige. Produkten har sitt ursprung i USA och Kanada där den upptar en betydande del av marknaden och har funnits i snart 30 år. Återförsäljarna i Sverige menar att produkten kan användas med mindre tjocklek än traditionell mineralullsisolering tack vare att den är lufttät.

Försäljarna menar också att den med slutna celler kan användas som diffusionsspärr och då med fördel appliceras i t.ex. kryppgrunder eller som tilläggsisolering på vindar. Rykten talar också om att produkten ska vara helt emissionsfri samt att det finns någon form av helt ofarligt biologiskt brandskydd som går att spraya/blanda i isoleringen. Huruvida dessa försäljningsargument är riktiga eller inte är dåligt utträtt.

I examensarbetet ”In-situ sprayad Polyuretansskumisolering under Svenska förhållanden – En forskningsöversikt” av My Essen-Möller och Benjamin Robertshaw går man igenom PUR-isolering avseende olika typer av produkter och många av dess egenskaper. Flertalet av hänvisningarna här i kapitel 2 är gjorda till detta arbete och för ytterligare informationinhämtning om in-situ sprayad PUR-isolering rekommenderas granskning av denna.

På svenska marknaden finns idag flera återförsäljare, det säljs minst 15 olika produkter från sex tillverkare och åtminstone 12 installatörer och återförsäljare. Endast ett fåtal företag koncentrerar sig dock på att sälja enbart sprayisolering. Det finns en intresseförening i Sverige PUR-gruppen som arbetar med polyuretan (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

2.2 Konstruktion och produktion

Skumisolering är ett tvåkomponents polyuretanbaserat skum som appliceras på plats med hjälp av en spruta. Produkten finns med både öppna och slutna celler. Som det beskrivs i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) en härdplast som framställs genom en exotermisk reaktion mellan flytande alkohol (polyol) och difenylmetan-diisocyanat (MDI).

Praxis vid installation är att installatören bär heltäckande skydd och skyddsmask med friskluftstillförsel via ett filter. Filtret sitter baktill på kroppen för att minimera risk för igensättning (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

I (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) beskrivs användandet av sprayad PUR-skum för tak och vind, ytterväggar, innerväggar och mellanbjälklag samt källare och kryppgrund med följande formuleringar i diskussionskapitlet:

2.2.1 Tak och vind

För tak och vind finns tre generella möjligheter. Utvändig isolering av taket, invändig isolering av taket och isolering av vindsbjälklaget.

Vid utvändig isolering är materialets brandegenskaper inte så negativa som i många andra applikationsområden då rökgaser ventileras bort och därför inte bidrar till övertändning i en brandsituation. Man skulle kunna tänka sig att de giftiga gaser som uppstår inte heller når skadliga koncentrationer av samma anledning även om vi inte hittat stöd för det. Materialets tålighet vid exponering för vatten tolkar (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) vara ett stöd för att ett sammanhängande utvändigt isolerskikt är en fördelaktig lösning

även med avseende på vatten- och mögelskador. En nackdel med denna typ av installation är att den blir väderberoende - om det blåser mycket är det svårt att installera utvändigt. Kyla och fukt kan också vara problematiska vid installationstillfället. Å andra sidan är en välventilerad arbetsplats en stor fördel ur arbetsmiljösynpunkt. Det arkitektoniska uttrycket hos byggnaden kan dock komma att förändras vid tilläggsisolering då takets profil ökar i tjocklek.

Invändig isolering av taket kan vara estetiskt tilltalande då man kan installera det mellan existerande bjälkar. Att materialet kan installeras så tunt att bjälkarna lämnas synliga anses eftersträvansvärt. En sådan installation skulle dock även kunna ses som något negativt då fuktvandring tillåts igenom de synliga träbjälkarna och kondens bildas inuti konstruktionen då det är kallt ute och varmt inne. Viss kanadensisk forskning på uppreglade ytterväggar tyder dock på att detta kanske inte är ett problem. Läckage i utanpåliggande delar av takkonstruktionen döljs av det täta isoleringsskiktet, och upptäcks antagligen inte innan omfattande skador uppstått. Eftersom vidhäftningen mot ett vattenskadat trämaterial fortfarande är ganska god föreställer sig (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) att det kan vara svårt att byta ut enstaka delar av en skadad konstruktion. Ur brandsynpunkt är det högst oklart om man kan täcka materialet med gips och förvänta sig att de brandfarliga gaser som bildas vid ett normalt brandförlopp inte ska bidra till övertändning. Ur arbetsmiljösynpunkt är det viktigt att ventileras utrymmet väl vid installation.

Vid isolering av vindsbjälklag begränsas uppträngning av fukt ifrån ett eventuellt nedanförliggande boendetrymme. Detta, om bara vindsluckor eller andra uppgångar är täta nog, skulle vara positivt då det motverkar påväxt i vindsutrymmet. Å andra sidan blir vindsutrymmet kallare vid en sådan tilläggsisolering, så en ventilerad vindslösning kan fortfarande leda till invändig kondens då taket under klara nätter kan få en lägre temperatur än uteluften. Konstruktionen har liknande problem med rökgaser och arbetsmiljö som de som listats i paragrafen om invändig takisolering ovan. I motsats till invändig isolering av taket så döljs dock inte bakomliggande takkonstruktioner och det skulle bli lättare att både hitta och åtgärda eventuella skador som uppstår.

2.2.2 Ytterväggar

Vid träregelkonstruktion sker isolering av ytterväggar mellan reglarna. (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) har hittat forskning som tyder på att dessa system presterar väl ur fuktsynpunkt. Samtliga undersökta system hade luftspalt och författarna insisterade på att de behövdes. Vissa försäljare påstår att luftspalt inte behövs, men (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) har inte hittat någon forskning på sådana konstruktioner. Då materialet ofta marknadsförs som både lufttätning och ångspärr är vidhäftningen mellan skum och regler kritisk, men den forskning om vidhäftningsegenskaperna som vi hittat har inte gett oss tillräckligt med information för att kunna bedöma om de är tillräckliga för att hålla mot termiska rörelser och sättningar. (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) påpekar dock att vid dragprovning av ett specifikt PUR-skum skedde brott först efter 23.1% töjning vilket tyder på att skummet mycket väl skulle klara sådana rörelser.

Utvändig isolering av ytterväggar verkar vara ett fall där PUR-skum presterar precis som man skulle önska sig. Byggnaden blir fuktsäker, lufttät, temperaturstabil och välisolerad utan att behöva ett alltför tjockt lager isolering. Utvändigt sprayskum plus skalmur skulle kunna vara precis det som behövs för att energieffektivisera gamla flerbostadshus från miljonprogrammet. Utvändig applicering har nackdelen att installationen är starkt väderberoende. Väggen får inte vara för blöt eller för kall och det får, av självklara skäl, inte blåsa för mycket vid appliceringstillfället. Ur arbetsmiljösynpunkt är utvändig applicering att föredra just för att arbetsplatsen blir välventilerad. En fråga som återstår för denna slags lösning är om den skulle klara svenska brandkrav.

2.2.3 Innerväggar och mellanbjälklag

PUR-skum med öppna celler marknadsförs som ljudisolering för att användas i regelväggar och mellanbjälklag. Trots att skum med öppna celler har relativt goda ljudabsorptionsegenskaper så vill (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) argumentera för att det inte lämpar sig som ljudisolering i dessa konstruktioner. Detta beror på att skummet måste täckas av skivor för att klara brandklassning och därför inte fungerar som absorbent, samt att det inte förbättrar ljudisoleringsegenskaperna då det tillför väldigt lite massa om det sprayas in i en vägg och kan föra vidare stomljud eftersom det är styvt i relation till luft. En reduktion av ljudtransmission mellan rum och våningsplan kan uppnås men detta sker mest genom att tätta springor. Då det gäller brand och arbetsmiljö vill (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) argumentera att samma nackdelar som för andra inomhusapplikationer gäller.

2.2.4 Källare och kryppgrund

Applicering på utsidan av källarväggar verkar vara en bra idé, liksom annan utvändigt isolering enligt (Essen-Möller and Robertshaw, 2015). Nergrävd blir risken för brand minimal, och den forskning de har läst tyder inte på några andra problem vid jordkontakt då materialet verkar okänsligt för vatten. Visserligen hittade de forskning som tyder på att skummet drar åt sig en mindre mängd vatten vid upprepade frys- upptiningscykler men är materialet nergrävt reduceras temperaturvariationer. Källarväggarna verkar bli varmare och torrare. Handlar det om en renovering så innebär det dock, liksom all utvändigt källarisolering, stora markarbeten kring byggnaden.

Invändig kryppgrundsisolering såg (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) utföras på två olika sätt: antingen genom isolering av trossbotten eller genom isolering av mark och väggar. Om inget organiskt material används i kryputrymmet kan det fungera mycket bra att applicera direkt på trossbotten, annars finns det en risk för mögel och röta då den relativa fuktigheten ökar när huset inte längre läcker värme ner i kryppgrunden. Själva trossbotten hamnar dock på den varma sidan och skyddas på så sätt mot påväxt. Kryppgrunden i det här alternativet kan utan problem vara ventilerad. I de kryppgrundsinstallationer där mark och väggar isoleras förhindras ångtransport från marken in i utrymmet samtidigt som hela utrymmet värms av huset ovanför. De hittar ingen forskning som säger att det är att föredra, men tror ändå att vid den här sortens installation stängs all ventilation helt, och ger en sluten, oventilerad och varm kryppgrund som slutresultat.

Då det kommer till arbetsmiljö är det kanske ännu viktigare än vid andra invändiga isoleringsutföranden att mekanisk ventilation av utrymmet nyttjas under installationsskedet. Detta dels då utrymmet brukar vara väldigt litet, och eftersom det under applikationens gång blir lufttätt. Slutligen menar (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) att det inte framkommit någon information som ger möjlighet att argumentera för eller emot installation i kryppgrund ur brandsäkerhetsperspektiv.

2.3 Märkning, regler och standarder

Byggvarubedömningen BVD är en bedömning som utförs med hjälp av dokumentation som tillhandahålls av tillverkaren, i detta sammanhang ett säkerhetsdatablad. Bedömningen utförs utifrån sju kriterier - dels utifrån kemiskt innehåll, dels utifrån ett livscykelperspektiv. Det är i denna kategori av märkningar som vi hittar ett antal av de produkter som kartlagts.

Återförsäljarna har spontant uttryckt en frustration med märkningen Sunda Hus. Detta grundar sig i att märkningen tittar på produkten som levereras till byggarbetsplatsen, och

inte på slutprodukten. Detta innebär att en polyuretanskiva som levereras till arbetsplatsen får en bättre klassning än ett in-situ sprayat skum. Detta upplevs framför allt som ett problem då det kommer till emissioner i den färdiga produkten (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

För de värmeisoleringsprodukter med öppen cell som inkluderas i Essen-Möller och Robertshaws granskning finns ingen harmoniserad standard, och en CE-märkning blir då frivillig. För de värmeisoleringsprodukter med sluten cell som inkluderas i Essen-Möller och Robertshaws granskning görs bedömningen enligt standarden EN 14315-1:2013 (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

Inför en eventuell CE-märkning ska en prestandadeklaration DoP (Declaration of Performance) finnas som grund. I denna kartläggs nio olika materialegenskaper för den sprayade isoleringen. Dessa materialegenskaper och respektive testmetoder är:

Tabell 1. Erforderliga provningar inför CE-märkning av PUR-produkt Enligt (Essen-Möller and Robertshaw, 2015)

Egenskap	Metod
Brandegenskaper	EN ISO 11925-2
Vattenpermeabilitet	EN1609
Värmekonduktivitet	EN 12667 alt EN 12939 samt EN 14315-1:2013
Ångpermeabilitet	EN 12086
Kompressionshållfasthet	EN 826
Brandegenskaper m h t åldring	EN 14315-1:2013
Värmekonduktivitet m h t åldring	
Kompressionsstyrka m h t åldring	EN 14315-1:2013
Kontinuerlig glödbrand	

2.4 Produktegenskaper

Det finns cirka 15 olika produkter av PUR på svenska marknaden. Av dessa finns skum med ett brett spektra av densiteter från de med öppna celler på mer än 20 kg/m³ lägre än vad enligt vissa källor är normalt. I tabell 2 nedan listas densitetsindelning enligt en källa i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015):

Tabell 2. Densiteter hos PUR-isolering enligt Bomberg och Kumaran, 1999 hämtad ur (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

Benämning	Ungefärlig densitet
SHD Super high density	~ 56 kg/m ³
HD High density	~ 45 kg/m ³
MD Medium density	~ 37 kg/m ³
LD Low density	~ 20 kg/m ³
BSF Bead-applied foam sealant	~ 16 kg/m ³
OCF Open-cell foam	~ 8 kg/m ³

På den svenska marknaden kategoriserar föregåten själva sina produkter som *öppen-* eller *slutencellsisolering*, vilket motsvarar densiteter från 7 till 12 kg/m³ för öppen cell och 35 till 60 kg/m³ för sluten (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

Då produkter av PUR-skum ska användas i svenskt klimat och mot svenska byggregler menar (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) att fem materialegenskaper är relevanta. Dessa egenskaper är: Brand, vattenabsorption, ångpermeabilitet, värmekonduktivitet och kompressionsstyrka. I rapporten går man igenom dessa.

Det skrivs i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) om en undersökning där en fältstudie visat att två olika sprayskumprodukter som testats som utvändigt isolering av en källare hade efter drygt 2,5 år oförändrade egenskaper vad gäller värmegenomgångsmotstånd, kompressionsstyrka och fukthalt. Andra egenskaper som omskrivs i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) är att in situ-sprayad PUR har anisotropa egenskaper när den utsätts för mekanisk påfrestning.

Ytterligare egenskaper som författarna tar upp är vidhäftningen av PUR-skum mot underlaget. Bland annat redovisas ett projekt där fullskaliga experiment på fem hustak och provning av hundratalet provkroppar av PUR-skum med slutna celler mot trä diskuteras. Projektets mål var att undersöka huruvida fuktläckage påverkar vidhäftningen mellan sprayskum och tak, och hur väl taken står emot lyftkrafter som uppstår under stormförhållanden.

Resultaten visade att vid extremt läckage kunde träet uppnå väldigt höga fukthalter. Trots detta hade taken ett gott motstånd mot vindlyft. Dragstyrkan hos bindningen mellan träet och skummet i de små provkropparna hade fallit med så mycket som 54 % över en period på 16 veckor men höll ändå emot vindtryckskraven med en faktor på minst 3,75.

2.5 Brandegenskaper

Skummad PUR är en generellt lättantändlig och porös härdplast som inte verkar värmeisolerande i en brandsituation. PIR (polyisocyanuratskum) är ur brandsynpunkt bättre än PUR, men enligt P. Thuresson vid SP Fire Research skulle ett rum i en testsituation isolerat med PIR-paneler fortfarande vara övertänt inom tio minuter då man följer en standardiserad brandkurva. Det går i en sådan testsituation heller inte att "gömma" materialet bakom andra, brandskyddande material - rökgaser tränger ut genom springor i konstruktionen och skapar övertändning (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

Polyuretanisoleringens brandbeständighet är sämre än stenullisoleringens och beroende på användningen av flamskyddsmedel i polyuretanisolering varierar dess brandklass från B till E. Eftersom polyuretan är en termohärdad plast som förkolnar vid höga temperaturer så droppar aldrig materialet vid brand, vilket annars är ett vanligt problem för plastisolering. När polyuretan brinner bildas kolmonoxid och vätecyanid, vilket nämnts tidigare. Båda är giftiga och orsakar syrebrist hos organismer som utsätts för dessa gaser (Fredriksson et al., 2014).

2.6 Energiaspekter

Vid produktion och återvinning av polyuretanisolering sker en mindre energiåtgång än för stenullisolering, eftersom processen för polyuretantillverkning är en exoterm process samt att dess höga energiinnehåll gör materialet värdefullt att återvinna. På grund av att isoleringsvärdet för polyuretan är bättre än för stenull, kommer även en bostad med polyuretanisolering ha lägre energiläckage och därmed lägre uppvärmningskostnader än en bostad med stenullisolering (Fredriksson et al., 2014).

I olika artiklar som nämns i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) beskrivs isoleringsegenskaperna hos PUR-skummade väggar ge signifikant ökad prestanda jämfört med glasfiberisolerade väggar. Exempel på värmekonduktivitet för produkter med slutna struktur som marknadsförs som värmeisoleringsmaterial tillika ångspärr är 0,025 till 0,028 W/(m²K) enligt källor angivna i referensen. Utöver materialets isoleringsförmåga spelar lufttätningen stor roll vid uppskattning av energiförbrukning. Om isoleringen även

ska säljas med en funktion som lufttätning så behövs även ett mått på hur väl den färdiga produkten tätar (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

2.7 Fördelar och nackdelar

En nackdel med polyuretan är att det uppkommer kraftig rökutveckling när materialet brinner och då frisläpps kolmonoxid, vätecyanid och icocyanater (Fredriksson et al., 2014) som är direkt hälsovådliga.

I akustiksammanhang har PUR-skum inga goda egenskaper som ljudabsorbent. Däremot kan en ljudisolering av PUR-skum i form av tätning i oönskade luftspringor drastiskt reducera spridning av luftburet ljud (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

2.8 Miljö- och hälsoaspekter

Vid installationen av PUR, som måste utföras av fackman, är god ventilation mycket viktig på grund av de cancer- och astmaframkallande icocyanater som finns i det ohärdade skummet. Även efter utförd applicering är god ventilation viktig, och det sprutisolerade utrymmet ska hållas folktomt i 24 timmar (Fredriksson et al., 2014).

Polyuretancellplast framställdes från början med ozonlagernedbrytande gaser som drivmedel och kunde på så sätt få en extremt låg värmekonduktivitet. Idag används enligt luft och enligt en tidigare kartläggning från SBUF, koldioxid eller pentan (Clase & Lindén 2010). Dessa texter talar dock båda om PUR som levereras i skivformat.

2.9 Fuktsäkerhet

Fuktsäkerheten är en faktor som om den inte beaktas kan leda till fuktskador och ohälsosamt inomhusklimat. De byggregler som är relevanta för dessa materialegenskaper är sådana som hanterar inomhusklimat och fuktsäkerhet. Dessa byggregler återfinns i - BBR 6:5, ett underkapitel till *Hygien, hälsa och miljö* (Boverket 2015).

I detta sammanhang har materialets vattenabsorption och ångpermeabilitet och ånggenomgångsmotstånd betydelse för huruvida materialet kan ta upp fukt eller verka som ångspärr.

I (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) står om en undersökning som visat att PUR-skum med sluten cellstruktur kan dra åt sig fukt under upprepade frys-upptiningscykler. Vidare har (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) även refererat till en undersökning där man gjort fältmätningar kontrollerade klimatexperiment samt endimensionella hygrottemiska simuleringar på flera olika typkonstruktioner. Värt att notera är att de utgår ifrån att vägarna måste ha luftspalt. Rapporten drar de tre generaliserade slutsatserna:

1. Att vid 50 % RF inomhus kan sprayskumsisolering med sluten cellstruktur och en tjocklek på 50 mm fungera som ångspärr över nästan hela Kanada, eller närmare bestämt upp till 10 000 HDD. HDD står för Heating Degree Days, och är ett mått på hur mycket en bostad behöver värmas på ett år (uttryckt i vårt svenska mått gradtimmar blir detta 240000 °C h/år). Detta täcker även de nordligaste delarna av Sverige)
2. Att skum med öppna celler presterar tillräckligt i klimat som kräver mindre än 4500 HDD (<108000 °C h/år) men att en kontrollerad RF inomhus på 30 % eller

mindre skulle krävas under vintern i uppvärmningsområden 4500 - 5000 HDD (108000 - 120000 °C h/år)

3. Att träregelverk har tillräckligt högt ånggenomgångsmotstånd för att hålla säkra fuktnivåer i samverkan med båda typer av sprayskum även i de kallaste klimatet.

Slutsatsen författarna drar är att en slutencellsprayskumisolering ger tillräckligt med ånggenomgångsmotstånd för att hindra höga fukthalter under vintern. En hygrotermisk modell utförd i mjukvaran WUFI presenteras och bekräftas genom mätningarna som utfördes i ovan nämnda fältexperiment. Denna modell används sedan för att analysera fuktprestandan hos väggsystem i andra kanadensiska klimat, enligt citerade referenser i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015).

2.10 Alternativa produkter

Studier där mekaniska egenskaper hos soja-baserade polyuretanskum dokumenterats om-skrevs i (Essen-Möller and Robertshaw, 2015) med vad som händer med de termiska och mekaniska egenskaperna hos isoleringen vid addition av träfiber och vatten i blandningen av skummet. Där dras slutsatserna att temperaturen då skummet bryts ner kan höjas genom addition av träfiber eller genom ökad andel vatten i blandningen. Samtidigt stärks skummets kompressionsstyrka, men dess draghållfasthet försämras. I en annan studie refererad till i samma rapport har man dock kommit fram till motsatt slutsats.

3 SIPs - Structural Insulation Panels

3.1 Inledning

En produkt som är kopplad till skumisolering är de så kallade SIPs (Structural Insulated Panels). SIPs är sandwichpaneler som utgörs av ett bärande sandwichelement bestående av två skivor med mellanliggande isolering, oftast då skumisolering. Skivorna är oftast OSB, men kan även vara metall, plywood, armerad plast, cement eller magnesiumoxid-skivor och det mellanliggande isoleringsmaterialet brukar vara expanderad polystyren (EPS), extruderad polystyren (XPS), polyuretanskum eller organiska fiber som halm.

Vidare utgörs systemet med SIPs av en förbindande del mellan de olika panelerna vilket kan vara massivt trä men även isolerat, mekaniska lås, överlappning eller kompositmaterial. I USA och Canada är det vanligt att hela hus byggs med hjälp av systemet utan att något extra tätskikt eller tryckutjämnande ventilationsspalt vid fasaden används.

3.2 Konstruktion och produktion

I ett dokument (FAS, 2007) framtaget av Federation of American Scientists var ändamålet att presentera ett material och på ett begripligt upplysa expansionsbenägna företagare om värdet av SIP produkter och CSIP produkter (Cement Fiber Board).

I denna rapport görs en redovisning av vilka egenskaper EPS, XPS och PU monterat i SIP har. Man beskriver isoleringar, vidhäftningsmaterial, hur en anläggning ser ut, kostnader i grova drag och till vad panelerna används och hur de monteras. Certifiering diskuteras, produktionen/konstruktionernas svaga punkter och hur man undviker dem och i rapporten avrundar man med att lista åtta punkter med förslag på forskning inom området.

I Sverige har SIP används vid fasader en tid. Exempel på detta är en firma i Piteå som utvecklat ett nytt koncept för fasadrenovering (Björnfot A, 2011). I en kort artikel i Bygg & Teknik beskrivs hur man utvecklat en panel där man skriver att skumisoleringen är en blandning av XPS och EPS, vilket enligt utsago ger möjlighet att bemästra fuktvandring.

Den brännbara kärnan hindrar inte att man utformar en brandsäker konstruktion med en isolering utan avgivning av brännbara gaser. Fasadelementets ytskikt kan utgöras av något av flera olika material varav ett är värmebehandlat trä. Artikeln tar upp att det finns utvecklingsbehov kring anslutningar, skarvar, lastupptagning, infästningar och montage-teknik.

Sandwichprofiler enligt SIP-tekniken har länge använts inom fordons- och båtbranschen och intresset ökar inom byggsektorn enligt (Andersson U E, 2013). En av fördelarna med metoden är att väggelementen tillverkas inomhus i en fabrik och levereras färdiga till byggsplatsen. Rör det sig om en mindre byggnad som en arbetsbod kan hela monteringen ske inomhus.

3.3 Regler och standarder

ETA har givit ut en guideline i fyra delar (ETAG, 2003) för självbärande lättviktspaneler, utformad i fyra delar där man presenterade metoder för provning av paneler av varierande material, avseende olika aspekter som yttertak (del 2), väggar och fasader (del 3) och innerväggar och innertak (del 4).

I ETAG 016 finns nämnt metoder för att prova följande: brandegenskaper, luftkvalitet, fuktegenskaper, påverkan på yttre miljö, påverkan av mekaniska laster, påverkan av termiska laster, vatten och lufttryck, isoleringsegenskaper, lufttäthet och många fler.

Vad som saknas i denna guideline är förslag på metoder att prova motståndskraft mot mögel och kritiskt fuktillstånd hos materialen, egenskaper som våra byggregler kräver att man ska kunna redovisa. Exempel på sådan metod är SP Metod 4927 även publicerad som teknisk specifikation (SIS, 2013).

Bristen på byggnadsregler för SIP konstruktioner i USA gjorde att tillverkare utformade sina egna. För att bemöta detta utvecklade olika branschorganisationer i USA en normativ standard för konstruktion och användning av SIP väggar i bostadsbyggandet under 2006. Denna presenteras i (Yeh et al., 2008) och i denna anges materialkrav för tillverkning och föreslår rekommendationer för design och installation. I referensen presenteras även minimikrav för SIPs med OSB ytskikt och standardskumkärna vad avser olika mekaniska belastningar.

3.4 Produktegenskaper

I en vetenskaplig studie (Kermani and Hairstans, 2006) genomförd på Napier Universitet i Edinburgh testades hållfastheten på SIPs paneler i olika utföranden. Resultaten visade att panelerna var effektiva kompositmaterial med tillräcklig hållbarhet att stå emot nödvändiga laster såsom vertikala, transversala och pulserande laster. Man drar slutsatserna att SIPs är hållfasta och kostnadseffektiva alternativ till traditionella väggelement och att köldbrygorna minskar.

Det finns fler studier där hållfastheten har studerats på konventionella SIPs. I en studie från Kanada (Abbasi and Sennah, 2013) studerades sandwichelement med OSB-skivor och mellanliggande EPS. Resultaten bildar en databas som är tänkt att användas för att designa SIP väggar med olika belastningar. Resultaten pekar mot att de testade panelerna hållfasthetsmässigt jämförbara med konventionella utfackningsväggar i trä.

3.5 Brandegenskaper

I England har det utförts försök med brand på SIPs konstruktioner (Hopkin D J, 2011). Fyra stycken fullskaliga modellhus i två våningar utsattes för noggranna brandtest. Två av dem var uppbyggda av EPS i SIPs paneler medan två med PUR i SIPs paneler. I försöken framkom en rad svagheter i konstruktionerna som presenteras i artikeln.

3.6 Energiaspekter och LCA

I en artikel (Krarti and Hildreth, 2007) beskrivs en undersökning av termiska utförandet av olika väggkonstruktioner med SIP inkluderat, både med in-situ, laborietester och simuleringar. Syftet var att estimerat termiskt utförande av bostäder med SIPs i konstruktionen för olika platser i USA inför utvecklandet av ett verktyg att uppskatta energibesparing.

I en rapport från Storbritannien (Bonnett et al., 2008) beskrivs olika väggssystem som är kapabla att leverera ultralåga U-värden. Målvärdet är $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ – vilket är 36 % mindre än tyska passivhusens krav och 60-70% strängare än brittiska byggregler. Man går igenom positiva och negativa begrepp som väggjocklek, U-värden, energi, toxicitet, LCA och installation av olika system. I artikeln summeras olika fördelar och rekommendationer med varje system.

Inom bygg blir miljöfrågor allt viktigare, byggnader bli mer energieffektiva och energi-behoven för deras verksamhet minskar. Således får den energi som krävs för byggande och materiella produktionen, allt större betydelse.

I en forskningsstudie (Ramírez et al., 2012) utförd i en stad i Chile har man gjort en LCA-analys på fyra nybyggda hus uppförda med SIPs. Man presenterar en förenklad livscykel-analys avseende energiåtgång både i driftskedet och för den inbyggda energin, i syfte att kvantifiera energi i varje skede av byggsystemet.

För att kvantifiera den inbyggda energin för respektive material användes två databaser: Inventory of Carbon & Energy (ICE), 2008, University of Bath, Ingalterra and New Zealand Building materials embodied energy coefficients database. Volume II - Coefficients, 1998, Victoria University of Wellington. För att räkna på åtgång i tillverkningsprocessen för SIPs, transport och montage konsulterades ett datainsamlingsföretag med SIP som specialitet. Vad gällde energianvändning i driftskedet användes beräkningsmodeller utförda med Design Builder, allt beräknades för en livslängd på 50 år.

Resultaten visade att konstruktionsprocessen stod för 1,7 % av den inbyggda energiåtgången och denna totala inbyggda energi stod i sin tur för 11 % av totala energiåtgången under hela byggnadernas livscykel, resten 89 % var energi för driftskedet. Byggnader med SIPs som konstruktionsprincip genererar nära 60 % besparingar vad gäller energi jämfört med de i denna stad i Chile vanliga oisolerade murverkshusen.

Energieffektiviteten i en byggnad beror på klimatskalets prestanda. I ett forskningsprojekt vid University of Manitoba i Winnipeg, Kanada (Dick et al., 2015) studerade man fem testbyggnader med lite olika konstruktionsprinciper: två med träregelverk och glasfiber-respektive cellulosaisolering, en med PUR isolerad SIPs paneler samt två testbyggnader med olika isolerade betongelements-system. I övrigt hade alla lika utseende.

Lufttätheten bestämdes liksom värmegradienten över väggarna under mer än 200 dagar. De olika konstruktionernas energiåtgång jämfördes efter 209 dagar och man konstaterade att konstruktionen med PUR SIPs konsumerade lägst mängd energi.

En alldeles färsk avhandling från USA (Meis, 2015) gör en ekonomisk jämförelse mellan SIPs paneler och utfackningsväggar av trä för enfamiljsbostäder. Flera räkneexempel visar att bostäder med SIPs som ytterväggskonstruktion kan bli 10 % dyrare att bygga än om den är uppbyggd av träregelverk. I flera exempel beräknas totalkostnaderna vara ungefär 500 SEK/m² mer än konventionell träregelstomme.

Det finns dock fördelar enligt avhandlingen. SIPs konstruktioner är betydligt mer energieffektiva. Huruvida det kan bli total ekonomi i att bygga rakt igenom med SIPs är avhängigt många faktorer bland annat även kostnadseffektivisering vid tillverkningen, kostnaden på arbetskraft och byggplatsens lokalisering. I avhandlingen finns flertalet räkneexempel och ritningar på vanliga konstruktioner av enfamiljshus samt en gedigen litteraturlista i ämnet.

3.7 Fördelar och nackdelar

År 1997 (Greeley, 1997) presenteras egenskaper och utföranden för expanderad polystyren (EPS) som kostnadseffektiv isolering för tak och grunder. Då hade användandet precis utvecklats till att även användas till skummade konstruktionsdelar av betong och i form av SIPs.

Medina och hans kollegor (Medina et al., 2008) undersökte väggkonstruktioner där PCM (Phase change materials) integrerades i SIPs. Utöver att presentera hur dessa integrerade delar i SIPs panelerna påverkade den termiska massan i väggarna så beskrevs SIPs som enkla lättviktspaneler med energieffektivt utförande.

Oftast består utsidan av OSB-skiva (Oriented Strand Board) och det inre skiktet av expanderad polystyren, extruderad polystyren eller uretanskum. Författarna menar att dessa paneler har många fördelar mot traditionella väggar. Montaget behöver inget speciellt utrymme på byggarbetsplatsen, byggprocessen är snabbare, minskar byggavfallet, isole-ringsegenskaperna jämfört med konventionella utfackningsväggar är överlägset. Vidare påstås dessa väggar vara mer lufttäta än konventionella väggar, upp till 20 % mindre luftinfiltration än en utfackningsvägg.

I ett forskningsarbete utfört i Malaysia (Panjehpour M, 2013) görs en genomgång av hur SIPs använts i dåtid och nutid. Material och metoder som använts i panelerna och i produktionen beskrivs samt för- och nackdelar tillsammans med framtida behov av produkterna. Då SIP teknologin utvecklats tämligen snabbt har några bakslag uppdagats relaterat till de olika materialen i kärna och ytskikt, i fogar, vid reparationer och ombyggnad. Vidare har inte tillräcklig uppmärksamhet fokuserat på hur panelerna fungerar kring olika öppningar för dörrar och fönster.

Nedanstående tabell är hämtad från (Panjehpour M, 2013). Här är fördelar och nackdelar listade för några olika ytskikt.

Tabell 3. Fördelar och nackdelar för vanliga ytskikt hos SIP (Panjehpour M, 2013)

Typ av ytskikt	Fördelar	Nackdelar
OSB Oriented Strand Board	Kostnadseffektiv	Brännbar Mottaglig för insektsangrepp Fukt känslig Kräver brandsäker ytbehandling
Aluminium och stål	Icke brännbart Lättviktsmaterial	Skyddar ej kärnan från värme Kräver brandsäker ytbehandling Kräver estetisk komplettering av ytan
Cementskivor Kalciumsilikatskivor	Icke brännbart Värmeisolerar kärnan God axial tryckhållfasthet	Spröda brott vid tryckbelastning Går inte göra stora skivor
FRP Fiberförstärkt polymer	Lättviktsmaterial Motståndskraftig mot insektsangrepp Vattenfast	Potentiellt brännbar Dålig tryckhållfasthet Skyddar ej kärnan från värme Kräver brandsäker ytbehandling Saknar akustiskt motstånd

I referensen tar man vidare även upp det faktum att i och med att ett klimatskal av SIPs paneler resulterar i en lufttät konstruktion krävs att man installerar mekanisk ventilation för att säkerställa god luftkvalitet.

Ett svenskt forum, den internetbaserade informationssidan Miljönytta framtagen av Svenskt Näringsliv (Miljönytta, 2011) skriver att SIPs erbjuder många fördelar jämfört med konventionell teknik:

- Lägre energiförluster genom väggarna
- Tätt klimatskal med lägre risk för fuktskador
- Bättre kontroll av inomhusklimatet
- Rationell byggmetod med färre komponenter och kortare byggtid

Här skriver man då även att man uppskattar att ett tiotal småhus har byggts med SIPs och närmare 100 arbetsbodar. Miljönytta refererar till uttalanden från ett företag i Sverige som menar att bygga med SIPs i Sverige borde ha stor potential. Som exempel skriver de att med traditionella isoleringsmaterial och metoder motsvarar tio centimeters isolering ungefär U-värdet $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

För att sänka U-värdet till drygt 0,1 krävs 50 cm isolering av traditionell typ. Med företagets SIP-panel uppnås ett U-värde på 0,16 redan med 10 cm isolering. Kombinationen av material i sandwichkonstruktionen, skriver Miljönytta vidare, ger nästan dubbelt så bra isoleringsförmåga som traditionella isoleringsmaterial som glasull och mineralull.

3.8 Miljö- och hälsoaspekter

Det finns flera negativa sakförhållanden avseende konventionella SIPs. De innehåller cancerframkallande och giftiga ämnen såsom styren och formaldehyd, innehåller icke-förnybara petroleumprodukter och markerar slutet av en livscykel (Meis, 2015) då återanvändning av polystyren oftast hindras av svårigheten att utvinna materialet. Vid förbränning av produkterna krävs mycket höga temperaturer för att kemikalierna i EPS ska förbränna (mer än 1000°C) vilket oftast är betydligt högre temperatur än vad som är gängse.

3.9 Alternativa produkter till SIPs

3.9.1 BioSIPs

SIPs är lanserat som en ”grön byggnadsprodukt” och lanseras ofta som miljömässigt hållbar (McIntosh J, 2007) men i en artikel från Nya Zeeland ifrågasätts detta då vissa SIPs har stor miljöpåverkan, inte är nedbrytbara och innehåller hälsovådliga kemikalier. I referensen jämförs egenskaper för BioSIPs (biobaserad isolering) mot vanliga SIPs och man frågar sig om komponenter i SIPs kan identifieras och ändras med förbättrade miljömål. Material som presenteras i referens vilka kan ersätta den petrokemiskt baserade skummet med biobaserat skum är: sojabaserad, majsbaserad, pilbaserad, återanvänd cellulosa och halm.

Studien nämner hur väl SIP-byggnader stått emot olika naturkatastrofer och hur de snabba montagen är fördelaktiga både vid återbyggnad av drabbade områden och i ekonomier med höga arbetskostnader. Man fortsätter med att det sällan skrivs om SIPs nackdelar som att det förekommer formaldehydbaserade vidhäftningsprodukter med hög emission av kemiska gaser, svårigheterna för EPS att brytas ner i miljön efter demontering och avgivningen av tjock svart rök vid brand. BioSIPs innebär att man kommer ifrån dessa problem men som det nämns i rapporten så riskerar man istället nya som problem med gnagare, sämre väderbeständighet på ytskikt och ökad risk för fuktskador.

3.9.2 CSIPs

Ett förslag till nytt utförande av SIPs kallats CSIPs (antas stå för Composite Structural Insulated Panel) görs i forskarstudier från USA (Mousa and Uddin, 2011) och (Mousa and Uddin, 2012) bestående av prisvärda alternativet av ortotropt polypropenglas som ytskikt, där strukturerna har varierande hållfastegenskaper i olika längdriktningar och EPS som

kärna. Förslaget är tänkt att lösa problemen med termitangrepp, mögelangrepp och förosmutsning via luftinträning. I artiklarna beskrivs hur man testat tryckhållfastheten med olika knäckbelastningsfall hos sådana paneler. Resultaten visade sig att dessa hade något sämre hållfasthet än beräknat jämfört med isotropa ytskikt vilket resulterade i att man tog fram en teoretisk beräkningsmodell anpassad för detta.

Forskarlaget har i ytterligare en artikel (Uddin et al., 2013) beskrivit framställningsteknik, anslutningar och sammanbindningsteknik. Man fann genom experimentell undersökning att ultraljudsvetsning var den mest lämpade tekniken för att sammanfoga CSIPs.

I en polsk studie (Smakosz and Tejchman, 2014) provas CSIPs (antas här stå för Cementitious Structural Insulated Panel), där dessa istället definieras som paneler med ytskikt av komposit från glasfiberarmerade magnesiumcementskivor och kärna med EPS. Hållfastheten provades i olika avseenden och man konstaterade att denna typ av panel hade fördelar mot traditionella SIPs både vad gäller mekaniska och isolerande egenskaper. Man konstaterar att kvaliteten på kompositen kan variera stort vilket då kräver kvalitetssäkrad produktion.

4 Referenser

- Abbasi, H. & Sennah, K. Comparative structural behavior of insulated sandwich foam-OS B walls and floor with conventional timber stud panels in residential buildings. Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering, 2013. 3816-3825.
- Andersson U E, E. Ö., Fortkamp U 2013. Svenskt Näringsliv - Sandwichkonstruktion gör byggbranschen grönnare.
- Björnfot A, S. J., Larsson K 2011. Ökad energiprestanda med prefabricerade fasadelement. Bygg & Teknik, 8, 3.
- Bonnett, D. J., Paul, S., Bonell, J. & Vafea, M. 2008. Ultra low U-value walls for low-carbon-dioxide homes. Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy, 161, 175-185.
- Dick, K. J., Safavian, H. & Rayner, G. 2015. Power consumption comparison of five building envelopes in the northern prairie climate of Manitoba. Journal of Green Building, 9, 147-160.
- Essen-Möller & Robertshaw. 2015. In-situ sprayad Polyuretansskumisolering under Svenska förhållanden – En kartläggning Examensarbete, LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg.
- Etag 2003. GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of SELF-SUPPORTING COMPOSITE LIGHTWEIGHT PANELS.
- Fas 2007. Expanding the Scope and Market of SIP Technologies: A History of SIPs and CSIP Manufacturing, Construction, and Market Issues. . In: SCIENTISTS, T. F. O. A. (ed.) Construction, and Market Issues. Washington, DC.
- Fredriksson, A., Lång, L., Ro, A. & Hill, V. S. 2014. Polyuretanskumisolering i svenska enfamiljsbostäder - En jämförelse med stenullsisolering. Examensarbete för kandidatexamen, Chalmers Tekniska Högskola.
- Greeley, T. R. 1997. A review of Expanded Polystyrene (EPS) properties, performance and new applications. ASTM Special Technical Publication, 1320, 224-239.
- Hopkin D J, L. T., El-Rimawi J, Silberschmidt V 2011. Full-scale natural fire tests on gypsum lined structural insulated panel (SIP) and engineered floor joist assemblies. Fire Safety Journal, 46, 528-542.
- Kermani, A. & Hairstans, R. 2006. Racking performance of structural insulated panels. Journal of Structural Engineering, 132, 1806-1812.
- Krarti, M. & Hildreth, T. Comparative thermal analysis of structural insulated panels and wood frame walls for residential buildings. International Solar Energy Conference, 2007. 659-669.
- Mcintosh J, H. M. 2007. Bio-SIPs: a deeper shade of Green? Sustainable Building SB07. New Zealand.

Medina, M. A., King, J. B. & Zhang, M. 2008. On the heat transfer rate reduction of structural insulated panels (SIPs) outfitted with phase change materials (PCMs). *Energy*, 33, 667-678.

Meis, A. 2015. The True Cost of SIPs: A Comprehensive Tool for Comparing the Price of Residential Structural Insulated Panel and Stick Frame Construction. Undergraduate Honors Theses. Paper 817., University of Colorado.

Miljönytta, S. N. 2011. Sandwichkonstruktion gör byggbranschen grönare. Miljönytta, internetforum. <http://miljonytta.se/>.

Mousa, M. A. & Uddin, N. 2011. Global buckling of composite structural insulated wall panels. *Materials & Design*, 32, 766-772.

Mousa, M. A. & Uddin, N. 2012. Structural behavior and modeling of full-scale composite structural insulated wall panels. *Engineering Structures*, 41, 320-334.

Panjehpour M, A. A., Voo Y 2013. Structural Insulated Panels: Past, Present, and Future. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 3, 2-8.

Sis 2013. SS-EN ISO 13788:2013. Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods.

Smakosz, Ł. & Tejchman, J. 2014. Evaluation of strength, deformability and failure mode of composite structural insulated panels. *Materials & Design*, 54, 1068-1082.

Uddin, N., Vaidya, A., Vaidya, U. & Pillay, S. 2013. 12 - Thermoplastic composite structural insulated panels (CSIPs) for modular panelized construction. In: UDDIN, N. (ed.) *Developments in Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering*. Woodhead Publishing.

Yeh, B., Williamson, T. & Keith, E. Development of structural insulated panel standards. *Proceedings of the 2008 Structures Congress - Structures Congress 2008: Crossing the Borders*, 2008.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärtekniska forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

SP Rapport 2015:76

ISBN 978-91-88001-97-9

ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**