Slutrapport: Framtidens biobaserade byggande och boende

Marie Johansson, Anders Gustafsson, Jörgen Olsson, Peter Ylmén, RISE
Tomas Nord, LIU
Michael Dorn, LNU
Eva Frühwald Hansson, Erik Serrano, LTH
Olof Broman, Gustav Jansson, Dick Sandberg, LTU
Mattias Brännström, Renewinn

RISE Rapport 2019:18

© RISE Research Institutes of Sweden

Slutrapport: Framtidens biobaserade byggande och boende

Marie Johansson, Anders Gustafsson, Jörgen Olsson, Peter Ylmén, RISE
Tomas Nord, LIU
Michael Dorn, LNU
Eva Frühwald Hansson, Erik Serrano, LTH
Olof Broman, Gustav Jansson, Dick Sandberg, LTU
Mattias Brännström, Renewinn

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Abstract

Final report: Biobased building and living for the future

Key words: Joinery industry, Wood manufacturing, Timber Building, Product development, Process development

The aim of the project “Biobased building and living for the future” was to create conditions for increased use of bio-based products and services in the construction sector in Sweden and Europe and to increase the competitiveness of the Swedish timber manufacturing industry. The project has shown ways to develop E-commerce, parts of the production where increased digitalization leads to increased capacity and quality, as well as solutions for development of floor systems, external walls and tall timber buildings. The project has shown development opportunities to increase the use of bio-based products that implemented will increase competitiveness.

The project has been divided into eleven sub-projects to study the various aspects of external factors, market conditions and business models, process development and product development. Within each sub-project, several workshops have been carried out to jointly evaluate results and decide the next step in the sub-project. Through joint workshops, the partners have also been able to meet and share results across the sub-projects and spread knowledge and create networks within the industry. The last part is perceived as very valuable by both the companies and the academy / institute.

For the joinery value chain, a current situation analysis has been carried out and shown how the development of E-commerce platforms must be combined with process development in order to have a large effect. The results will be utilized in the companies' strategy work ahead. For the timber building value chain, demonstrators have shown development opportunities for both process and product development. The next step for the companies is to evaluate the various solutions linked to their own production conditions.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2019:18
ISBN: 978-91-88907-44-8
Växjö 2019

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll

Abstract 1
Innehåll 3
Förord 5
Sammanfattning 6
1 Syfte och mål med projektet 9
2 Projektupplägg 9
3 Projektets bidrag till en biobaserad samhällsekonomi 12
4 Projektets resultat och påverkan på området 15
5 Resultatens effekter och potential 21
6 Extern synlighet 23
7 Publikationer 26
8 Delprojekt 1.1 –Beslutsstöd för upphandling av gröna byggprojekt 35
9 Delprojekt 1.2 - Miljö- och affärsmässig nytta med biobaserade byggnader i ett livscykelperspektiv 40
10 Delprojekt 2.1 –E-handel 43
11 Delprojekt 2.2 - Kundpreferenser för synligt trä på olika marknader 48
12 Delprojekt 3.1 – Renoveringsprocess 53
13 Delprojekt 3.2 – Informationsflöden för produktionssystem 55
14 Delprojekt 3.3 – Informationsflöden i värdekedjorna 62
15 Delprojekt 4.1 – Tunnare, effektivare bjälklag 70
16 Delprojekt 4.2 – Effektiva klimatskal 78
17 Delprojekt 4.3 - Biobaserade skivmaterial 86
18 Delprojekt 4.4 – Höga flervåningshus i trä 90

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Förord

Projektet ***Framtidens biobaserade byggande och boende*** är ett Innovationsprojekt inom det strategiska innovationsprogrammet BioInnovation finansierat av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Denna rapport innehåller en sammanfattning av det arbete som bedrivits inom projektet med dess 11 delprojekt och ger översikt över de resultat som tagits fram och vilken betydelse dessa kan komma att få för utvecklingen inom området Konstruktion & Design inom BioInnovation. Rapporten är uppdelad i två delar där del I beskriver innovationsprojektet i dess helhet och del II beskriver varje delprojekt för sig.

Projektet har bedrivits under perioden 2015-11-15 – 2018-12-31 med parter från 46 olika organisationer med syfte att öka användningen av biobaserade produkter och tjänster använda i framförallt byggnadssektorn i Sverige och Europa och öka konkurrenskraften i den svenska trämanufakturindustrin.

Jag vill rikta ett varmt tack till alla deltagare för entusiasm och god samverkan i projektets alla delar. Med detta projekt har vi lagt grund för en fortsatt god utveckling av området.

Växjö februari 2019

Marie Johansson

RISE

BioInnovation

BioInnovation är ett strategiskt innovationsprogram grundat av Skogsindustrierna, IKEM och TEKO. Programmet finansieras av Vinnova, Energimyndigheten och Formas samt de intressenter från näringsliv, akademi, institut och offentlig sektor som deltar. Målet är att öka förädlingsvärdet och konkurrenskraften i den svenska biobaserade sektorn genom att skapa bästa möjliga förutsättningar för att ta fram nya biobaserade material, produkter och tjänster. http://www.bioinnovation.se/

Med stöd från:
VINNOVA Sveriges innovationsmyndighet
Energimyndigheten
FORMAS
Strategiska innovations-program

© RISE Research Institutes of Sweden

Sammanfattning

Målet för projektet var att skapa förutsättningar för ökad användningen av biobaserade produkter och tjänster använda i byggnadssektorn i Sverige och Europa och öka konkurrenskraften i den svenska trämanufakturindustrin. Projektet har visat sätt att utveckla E-handel, delar av produktionen där ökad digitalisering leder till ökad kapacitet och kvalitet samt visat lösningar för utveckling av bjälklag, klimatskal och höga hus i trä. Projektet har visat på utvecklingsmöjligheter för att öka användningen av biobaserade produkter vilka implementerade ger ökad konkurrenskraft.

Projektet har varit uppdelat i elva delprojekt för att studera de olika aspekterna omvärldsfaktorer, marknadsförutsättningar och affärsmodeller, processutveckling och produktutveckling. Inom varje delprojekt har ett flertal workshops genomförts för att man tillsammans ska kunna utvärdera resultat och besluta nästa steg i delprojektet. Genom gemensamma workshops har man också kunnat mötas och ta del av resultat tvärs delprojekten och sprida kunskap och skapa nätverk i branschen. Den sista delen upplevs som mycket värdefull både av företagen och akademi/institut.

För snickerivärdekedjan har man genomfört en nulägesanalys och visat hur utveckling av en E-handelsplattform måste kombineras med processutveckling för att få stor effekt. Resultaten kommer att utnyttjas i företagens strategiarbete framåt. För träbyggvärdekedjan har man genom demonstratorer visat på utvecklingsmöjligheter för både process- och produktutveckling. Nästa steg för företagen är att utvärdera de olika lösningarna kopplat till produktionsförutsättningar.

© RISE Research Institutes of Sweden

Del I - Innovationsprojektet

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

1 Syfte och mål med projektet

Målet för projektet var att skapa förutsättningar för att öka användningen av **biobaserade produkter och tjänster** använda i framförallt byggnadssektorn i Sverige och Europa och **öka konkurrenskraften i den svenska trämanufakturindustrin**. Ett av de allra viktigaste syftena med projektet är att åstadkomma implementering av de forskningsresultat som framkommit i reella produkter/processer i industrin. De specifika målen med projektet beskrevs som:

- Nya affärslösningar för snickeriindustrin för att öka kundvärdet hos biobaserade produkter.
- Effektivisering av upphandling och produktion av flervåningshus med stomme av biobaserade produkter som klarar nya krav på energieffektivitet och hållbarhet.
- Utveckling av effektivare bjälklag och slankare väggar/klimatskal för nybyggnation och renovering som klara de nya energikrav som kommer 2021.
- Process för uppmätning och tillverkning av biobaserade produkter för renovering av det befintliga fastighetsbeståndet.

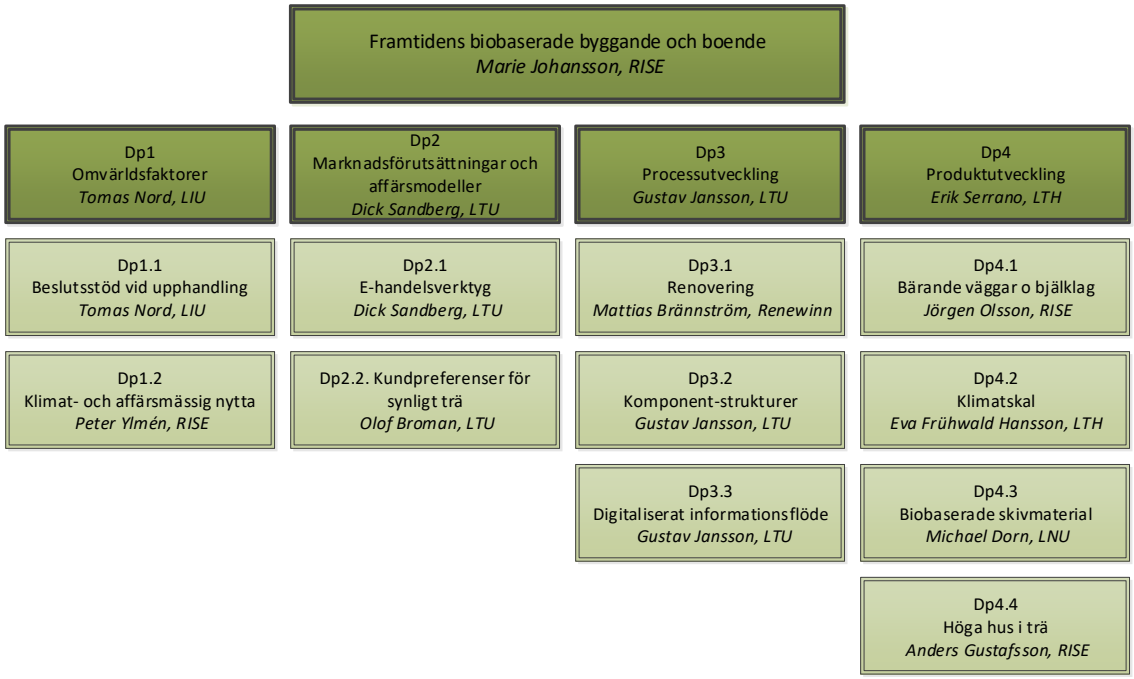
2 Projektupplägg

Projektet koncentrerade sig på tre värdekedjor, snickeriprodukter, nybyggnation och renovering, se Figur 1. Många av frågorna av vikt i värdekedjorna är dock gemensamma tvärs dessa såsom till exempel: behovet av nya IT-stödsystem och kopplingen till den industriella produktionen, beslutsmodeller som tar hänsyn till kund- och hållbarhetsaspekter och behov av nya slankare och energieffektivare biobaserade konstruktioner.

Figur 1. Projektets tre värdekedjor och de olika processtegen delprojekten är samlade inom.

© RISE Research Institutes of Sweden

För att få struktur i genomförandet av projektet var det uppdelat i 11 olika delprojekt samlade inom fyra olika delområden, se Figur 2.



Figur 2. Projektstruktur med fyra huvudområden och totalt 11 delprojekt inkl. namn på projektledarna för de olika delprojekten.

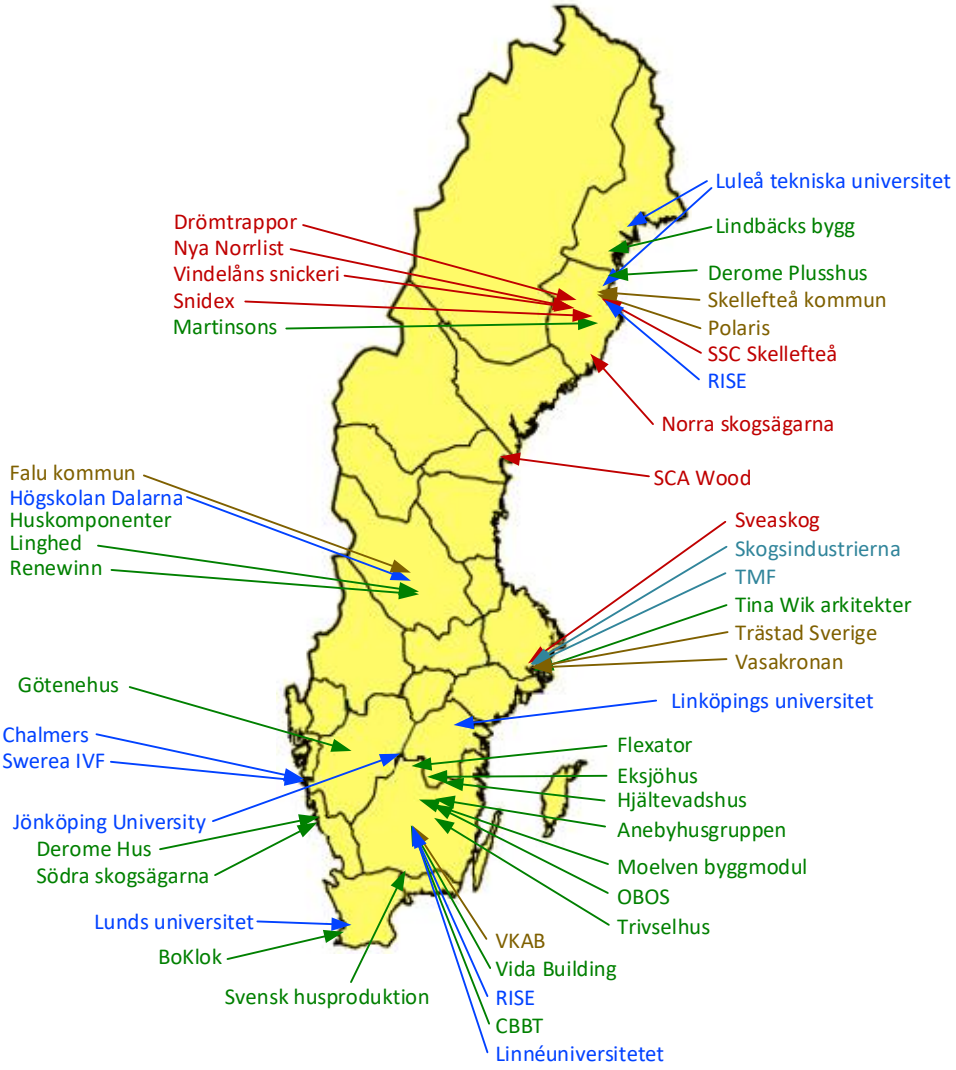
Den största delen av arbetet har bedrivits inom de enskilda delprojekten där ett flertal möten genomförts med parter inom respektive delprojekt. En beskrivning av genomfört arbete i de enskilda delprojekten finns i del 2 av denna rapport.

Projektet startade den 15 november 2015 och avslutades den 31 december 2018. Den totala projektbudgeten var på 27 500 000 Sek från Vinnova och 27 880 000 Sek från parterna. Totalt deltog 46 parter, varav

- Sex parter från fastighetsägare/offentliga organisationer
- Åtta parter kopplade till snickerindustrin
- Tjugoen parter kopplade till trähusproduktion
- Två branschorganisationer
- Nio forskningsutförare

En geografisk fördelning av dessa parter finns i Figur 3.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 3. Deltagande parter i projektet, offentliga organisationer och fastighetsägare i brunt, snickeriföretag i rött, trähusindustri i grönt, industriorganisationer i ljusblått och forskningsutförare i blått.

© RISE Research Institutes of Sweden

3 Projektets bidrag till en biobaserad samhällsekonomi

Samhället står inför ett antal stora utmaningar under de närmsta åren/decennierna som BioInnovation skall bidra till att lösa. Samhällsutmaningarna är också kopplade till en del av FNs globala mål. De utmaningar som projektet Framtidens biobaserade byggande och boende arbetat med beskrevs i ansökan som:

- **Utnyttja svensk förnybar biobaserad råvara för att skapa en bioekonomi.** Den svenska skogen är en viktig faktor om vi skall kunna skapa en resurseffektiv ekonomi grundad på förnybara biologiska resurser. *Kopplat till globalt mål 9 – Hållbar industri, innovationer och ekonomisk tillväxt och mål 12 Hållbar konsumtion och produktion.*
- **Antalet arbetstillfällen – speciellt med fokus på arbetstillfällen i glesbygd.** Sektorn trärelaterade produkter omsätter 98 miljarder kronor och har 44 000 anställda, många av dessa i relativt små företag på landsbygden. *Kopplat till globalt mål 8 - Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt.*
- **Minska bostadsbristen – med fokus på städer.** Sverige har, efter låg nybyggnadstakt under 25 år, siktet inställt på att öka bostadsbyggandet från 15.000 lägenheter per år till 50.000 lägenheter per år. *Kopplat till globalt mål 11 - Hållbara städer och samhällen.*
- **Minska energianvändningen och utsläppen av koldioxid.** Nya lågenergibyggnader och energirenovering av det befintliga fastighetsbeståndet kan minska energiåtgången under brukarskedet med 50-70% för en enskild byggnad. Byggande av trä med mer biobaserade material har visat sig ha en positiv inverkan på koldioxidbalansen. *Kopplat till globalt mål 13 – Bekämpa klimatförändringen.*
- **Öka exportvärdet på produkter tillverkade i Sverige.** Produkter baserade på svensk skogsråvara utgör en stor del av den svenska exporten. För sågade trävaror utgörs en stor del fortfarande av varor med lågt förädlingsvärde medan en stor andel av de förädlade träprodukterna stannar i landet.

Resultaten från de enskilda delprojekten kan ses i del 2 av denna rapport men nedan beskrivs hur det samlade projektet bidragit till att lösa samhällsutmaningarna och att lösa FNs mål för hållbar utveckling.

© RISE Research Institutes of Sweden

Tabell 1. Bidrag till definierade samhällsutmaningarna för projektet.

Samhällsutmaning	Projektets bidrag
Utnyttja svensk förnybar biobaserad råvara för att skapa en bioekonomi	Genom att visa hur man i några kommuner framgångsrikt arbetat med långsiktiga strategier för ett ökat träbyggande så har man kunnat skapa ett beslutstöd för andra kommuner i deras arbete med träbyggnads-strategier. (Dp1.1) Arbete med livscykelanalyser (LCA) för kontor har visat på klimatnyttan av biobaserade material men också pekat på andra faktorer som är viktiga att arbeta med. Medverkande företag har fått underlag för sitt fortsatta arbete med strategier kring biobaserade material. (Dp1.2) Marknadsstudier i Europa har visat att för konsumenter är miljöfrågan viktig när man väljer produkter liksom att detta kan öka betalningsviljan. Företagen utnyttjar detta i sin produktutveckling och marknadsföring. (Dp2.2) Effektivare produktion och processer ger en kostnadsbild som gör träbyggandet mer attraktivt. (Dp3.2 och 3.3) Kvalitetssäkring och gemensam uppfattning om att de tekniska lösningarna fungerar som förväntat ökar förtroendet för biobaserat byggande och ger större trygghet för slut-användare (i detta projekt främst energi, ljud och stabilitet). (Dp4.1, 4.2 och 4.4)
Antalet arbetstillfällen – speciellt med fokus på arbetstillfällen i glesbygd	Marknadsundersökning och kartläggning av digitaliserings-behov stärker marknadspotentialen och effektivisering hos den träbearbetande industrin vilket ger goda möjligheter till fortsatt hög konkurrenskraft. (Dp2.1 och 2.2) Marknadsundersökningar ger snickeriindustrin verktyg att utveckla sina produkter och sina försäljningskanaler vilket möjliggör inte bara lokal försäljning utan också export till ett flertal länder i Europa. (Dp2.2) Effektivisering av produktion genom digitalisering ger möjlighet för en ökad konkurrenskraft för trähusindustrin vilket stärker möjligheter till expansion. (Dp3.2 och 3.3) Teknisk utveckling hos industrin ger möjlighet att locka välutbildad personal till kvalificerade och attraktiva arbeten i glesbygd. (Dp2, Dp3 och Dp4)
Minska bostadsbristen – med fokus på städer	Effektiv industriell produktion med ett plattformskoncept inom byggandet av flervåningshus i trä ger en möjlighet till ökad resurs- och produktionseffektivitet. (Dp3.2 och 3.3) Förenklade, standardiserade lösningar för energi, vibrationer, ljud och stabilitet ger resurs- och kostnads-effektivisering. (Dp 4.1, 4.2 och 4.4)
Minska energianvändningen och utsläppen av koldioxid	Biobaserade byggnader har i LCA studier visat sig ha lägre CO_2 utsläpp i produktionsfasen. Resultaten ökar medvetenhet hos företag och deras kunder om LCA och påverkar deras långsiktiga hållbarhetsarbete. (Dp1.2) Energieffektivisering av byggnaders klimatskal ger en

© RISE Research Institutes of Sweden

	minskad energianvändning i brukarfas. (Dp4.2) Studier rörande biobaserad isolering ger en ökad förståelse och på längre sikt ökad användning av mängden biobaserade material i byggnader och därmed ett lägre klimatavtryck per m^2 väggyta. (Dp4.2)
Öka exportvärdet på produkter tillverkade i Sverige	Marknadsundersökningar i Europa ger snickeriindustrin ökad möjlighet till produktutveckling mot rätt segment och kundgrupper. (Dp2.2) Digitalisering och ökad E-handel ger svenska företag en ökad exponeringsmöjlighet mot kunder i utlandet. (Dp2.1) Ökat tekniska kunnande inom träbyggnadssegmentet ger högre konkurrenskraft på en europeisk marknad för svenskt träbyggande. (Dp 4.1, 4.2 och 4.4)

© RISE Research Institutes of Sweden

4 Projektets resultat och påverkan på området

Projektet satte i starten upp fyra huvudsakliga mål kopplade till trävärdekedjan. Mål 1 berörde främst snickerivärdekedjan. Mål 2 och 3 berörde främst processer och teknik för den träbyggande värdekedjan. Mål 4 handlade om möjligheten att använda biobaserade material för renovering av befintliga fastigheter.

- *Mål 1: Nya affärslösningar för snickeriindustrin för att öka kundvärdet hos biobaserade produkter.*
- *Mål 2: Effektivisering av upphandling och produktion av flervåningshus med stomme av biobaserade produkter som klarar nya krav på energieffektivitet och hållbarhet.*
- *Mål 3: Utveckling av effektivare bjälklag och slankare väggar/klimatskal för nybyggnation och renovering som klara de nya energikrav som kommer 2021.*
- *Mål 4: Process för uppmätning och tillverkning av biobaserade produkter för renovering av det befintliga fastighetsbeståndet.*

Mål 1 till 3 har till stor del uppnåtts och nedan beskrivs vilka tekniska projekt som genomförts, förändring i TRL[1], MRL[2] och SRL[3] index med motivering och hur resultaten kommer att tas vidare bland aktörerna.

4.1 Nya affärslösningar för snickeriindustrin för att öka kundvärdet hos biobaserade produkter

Inom projektet har man genomfört djupintervjuer och workshops med de deltagande snickeriföretagen vilket gett att dessa nu har en bra blick över möjliga digitaliseringslösningar och sina egna behov av digitaliseringslösningar. På basis av dessa resultat har analys av de deltagande företagens nuvarande E-handelssidor genomförts vilket leder till utvecklingsplaner för respektive företag. Studien innebar att företagen fick insikt i att digitalisering i en vidare mening också är av stor vikt för en framgångsrik utveckling.

Ett flertal av företagen har genomfört förändringar i sina processer utgående från nulägesanalysen. Detta har resulterat i förändringar internt i företagen där en ökad andel av offertarbetet sker direkt av kund via företagens nätportaler. Projektet har också lett till ett ökat fokus på digitalisering av kopplingen mellan offert/order och produktionen vilket leder till följdprojekt internt i företagen men också i samverkan med akademi och samverkansorganisationer.

Parallellt har en kartläggning av handelsmönster genomförts vilken också kompletterats med en analys av befintliga och nya affärsmodeller. En enkätstudie bland olika användare av interiöra träprodukter har genomförts som kommer att ligga till grund för hur man visualiserar trävaror i digital miljö. Enkätstudien med 1000 svarande i vart och ett av sju länder i Europa visar på delvis olika kundpreferenser.

[1] Technology Readiness Level.
[2] Market Readiness Level.
[3] Sustainability Readiness Level

© RISE Research Institutes of Sweden

Studien visar också att miljö/klimat frågan är viktig vid val av produkt liksom att det finns en ökad betalningsvilja för produkter med positiv miljö/klimat inverkan.

Tabell 2. Förändring i TRL, MRL och SRL nivå för Mål 1: Nya affärslösningar för snickeriindustrin för att öka kundvärdet hos biobaserade produkter

Index	Förändring	Motivering
TRL	5 -> 6	Delprojektet är främst en nulägesanalys kring digitaliseringssystem inom snickerindustrin och ger förslag på förändringar företag bör genomföra rörande teknikutveckling. Företagen kommer i nästa skede att förändra sin process/produktion vilket kommer att ge en förändring i teknik där systemen kommer att operationaliseras.
MRL	1 -> 3	Marknadsundersökningen med testmiljöer/produkter har genomförts och visat positiva resultat. Resultaten kommer att tas till marknaden av snickeriindustrin, i första hand av Träbransch Norrs medlemmar men också övrig Svensk snickeriindustri.
SRL	-	Projektet handlar främst om en ökad marknad för existerande produkter som inte utvecklas i stor utsträckning rörande hållbarhet. Marknadsundersökningarna visar dock att dokumenterade hållbarhetskriterier är viktiga vid försäljning av produkterna.

4.2 Effektivisering av upphandling och produktion av flervåningshus med stomme av biobaserade produkter som klarar nya krav på energieffektivitet och hållbarhet

Projektet har dokumenterat ett antal genomförda träprojekt för att se framgångsfaktorer för dessa. Studierna visar att man på lokal/regional nivå har nytta av att underhålla marknaden för att få kunniga beställare och entreprenörer. Resultaten av denna studie har använts för att ta fram ett beslutsstöd för kommuner i deras arbete med hållbarhetsfrågor kopplat mot byggande. Resultatet kommer att användas av Trästad Sverige för att genomföra workshops som ett led i kommunernas arbete med träbyggnadsstrategier.

Livscykelanalys (LCA) har genomförts för en kontorsfastighet där man jämfört träbyggande med betongbyggande. Inom projektet har man visat på system för att samla in data på ett systematiskt sätt för att kunna genomföra en LCA analys. Denna LCA analys har genomförts parallellt med projektering och produktionsfasen vilket lett till att man fått en unik tillgång till data i realtid. Resultaten visade att trä i stommen ger ett minskat CO_2 avtryck för denna fastighet. Resultaten visade också att installationer står för en stor del av klimatavtrycket för denna typ av byggnad, vilket ger att utveckling behövs på installationsområdet framöver. Resultaten kommer att tas in i de medverkande företagens fortsatta arbete kring hållbarhetsstrategier.

© RISE Research Institutes of Sweden

Ett flertal test&demo projekt har genomförts för att koppla ihop informationsflödet i värdekedjorna och produktionen trähusföretag.

- Ett system för koppling mellan projektering av enskild byggnad/byggnadsdel och maskinstyrning av regel- och spikportaler via designautomation testats.
- Hos ett trähusföretag och deras underleverantör har ett test&demo projekt genomförts för att låta ett objekt (i detta fall ett högben för en takstol) bära information för CNC-styrning för urtag och snedkapning liksom märkning med bläckstråleskrivare och ritsning för markering av infästning av fästdon.
- Hos två andra trähusföretag har test&demo genomförts för att visa hur man kan visualisera informationsflödet genom Standard operations blad, vilket gör att man kan få en säkrare informationsöverföring från projektering till produktion.
- Ytterligare ett trähusföretag har deltagit i ett test&demo projekt kring objektstrukturer som kan föras mellan CAD och affärssystem så att den modellorienterade informationen kan hanteras mellan projektering och materialhantering för lager, produktionsberedning och transport.
- Genom en uppbyggd VR-simulator har man visat på produktionsflödet i industrin för att tydligt visualisera var man har flaskhalsar i produktionen och hur detta påverkar flödet. Denna VR-simulator har testats för två trähusföretags produktionssystem.

Övriga deltagande företag har medverkat vid workshops och studiebesök för att lära mer om tekniken och se hur den kan implementeras i deras egen produktion. Resultaten kommer att användas i företagen vid utveckling av deras produktionssystemen. Då företagen har nått olika långt i utvecklingen av i sina produktionssystem så kommer implementeringen att vara olika i respektive företag.

Tabell 3. Förändring i TRL, MRL och SRL nivå för Mål 2: Effektivisering av upphandling och produktion av flervåningshus med stomme av biobaserade produkter som klarar nya krav på energieffektivitet och hållbarhet

Index	Förändring	Motivering
TRL	4 -> 6(7)	Systematisering av arbetet med datainsamling för LCA har testats på ett verkligt projekt där man också kunnat se hur man behöver uppdatera analyserna baserat på förändringar under byggskedet för att få en rättvisande analys. Demonstratorerna utvecklade för utveckling av digitaliseringsprocesserna har testats på verkliga industri-processer dock ännu inte i aktiv produktionsprocess.
MRL	1 -> 2	Hypoteserna för kund- och marknadsbehov kring digitaliseringslösningar har visats i demonstratorer och testats hos potentiella kunder i trähusindustrin. Resultaten kommer att tas till marknad av både industriella trähusbyggare men också av företag som levererar IT-system till trähusindustrin.
SRL	1 -> 3	Den systematiska livscykelanalys som gjorts av byggsystemen visar på att träbyggsystemen som använts i den aktuella byggnaden har lägre klimatavtryck än det betongsbyggsystem som användes i en del av byggnaden.

© RISE Research Institutes of Sweden

4.3 Utveckling av effektivare bjälklag och slankare väggar/klimatskal för nybyggnation och renovering som klara de nya energikrav som kommer 2021

Framtagna State-of-the-art om träbjälklag gav deltagande parter en bild av forskningsläget, effekter av olika åtgärder för förbättringar av stegljud, standarder, omfattande sammanställning av formler och data för konstruktioner, möjliga tekniker och konsekvenser av att bygga tunnare bjälklag. Den i projektet framtagna beräkningsmodellen för ljudtransmission har använts för en parameterstudie för att se effekten av olika utförande av bjälklaget på stegljud. För parameterstudien för ljudtransmission användes ett dubbelt regelbjälklag av den typ och konfiguration som normalt används i volymhusbyggande. Parameterstudien för bjälklaget visade på viktiga parametrar att förändra för att åstadkomma rätt ljud- och vibrationsegenskaper för bjälklaget, där man kan se att den mest effektiva åtgärden för att minska ljudöverföring är att öka massan. En beräkningsmodell för bjälklag tillverkade av sandwichelement har använts för att ta fram en optimal geometri för ett fanerbjälklag med korrugerat liv. Bjälklagsystemet kan klara en spännvidd på 10 meter med avseende på hållfasthet och vibrationskrav.

Rörande klimatskal har man studerat egenskaperna hos tre olika väggtyper, en ”standardvägg”, en vägg med biobaserad isolering och en innovativ vägg med få skikt. Tester och beräkningar för egenskaper hos dessa väggar har gett resultat både rörande väggarna men också kring mätmetoder. Detta har bland annat lett till att man tagit fram en försökuppställning för att bestämma isolerförmågan för väggkonstruktioner med hjälp av ett klimatskåp, inklusive kalibrering av försöksuppställningen. Skillnaden mellan framtagen försöksuppställning och en klassisk HotBox metod är att uteklimatet kan styras i mycket högre utsträckning. För biobaserade material så har variationen i fuktförhållanden visat sig har stor inverkan på isolerförmågan hos materialet vilket den utvecklade metoden ger möjlighet att mäta.

Resultatet från beräkningsmodeller för höga träbyggnaders dynamiska egenskaper visar att avsaknaden av bland annat massa gör att det är svårt att bygga högre än cirka 14 våningar helt i trä för en byggnad med byggytan 22x22 m^2. Genom att ändra byggnadens byggyta samt delvis ta in andra material kan högre byggnader byggas med trä. Arbetet har även belyst dagens norm och hantering där det har visat sig att de föreskrivna approximationerna ska användas med försiktighet. Inom robusthet har det tydliggjorts att nuvarande regler kan skapa problem för trähus och speciellt för modulbyggare. Tydliga och enkla föreskrifter har tagits fram för att projektörer skall känna sig förtroliga med slutresultatet.

© RISE Research Institutes of Sweden

Tabell 4. Förändring i TRL, MRL och SRL nivå för Mål 3: Utveckling av effektivare bjälklag och slankare väggar/klimatskal för nybyggnation och renovering som klara de nya energikrav som kommer 2021.

Index	Förändring	Motivering
TRL	4 - > 6	De olika typer av klimatskal som testats i laboratoriemiljö i relevant klimat visar att de biobaserade systemen fungerar i denna miljö rörande ljud, fukt och energi. Beräkningar visar dock på detaljer som måste tas hänsyn till vid konstruktionsutformning. Beräkningsmodellerna för stegljud har jämförts med laboratorieförsök i relevant miljö och visat sig fungera. Utvecklade bjälklagstyper har också visat sig fungera i laboratoriemiljö i enlighet med beräknade värden. Beräkningar för stabilitet i höga hus i trä visar att det med dagens teknik är möjligt att bygga 12-14 våningar höga hus. Högre hus kräver en utveckling av byggsystemen som ännu endast finns testat i några få demobyggnader i världen.
MRL	1 -> 2	Projektet har som främsta fokus att visa på validerade generella lösningar för att etablera en branschstandard som accepteras av marknaden. De gemensamma lösningar som visats för klimatskal, bjälklag och höga hus i trä ger företagen utrymme att på egen hand utveckla sina produkter i rätt riktning för att vinna marknadsandelar. Resultaten kommer att tas till marknaden av i första hand den trähusbyggande industrin men också av arkitekter och tekniska konsulter.
SRL	1 -> 2	Projektet har genomfört LCA analyser och visat på att produkter med bättre hållbarhetsvärden är möjliga att ta till marknad.

4.4 Process för uppmätning och tillverkning av biobaserade produkter för renovering av det befintliga fastighetsbeståndet

Inom detta delprojekt så har man tagit fram prototypelement för renovering. Dock har man på grund av svårighet att få fram ett bra demonstrationsexempel i befintlig fastighet blivit tvungen att avsluta delprojektet innan man nått fram till fullskalig demonstrator. Projekt av detta slag ger svårigheter kopplat till Lagen om Offentlig Upphandling då det är svårt för en enskild privat aktör att utveckla ett system tillsammans med en offentlig aktör. Detta kräver god kunskap om upphandlings principer innan projektet startar.

© RISE Research Institutes of Sweden

Tabell 5. Förändring i TRL, MRL och SRL nivå för Mål 4: Process för uppmätning och tillverkning av biobaserade produkter för renovering av det befintliga fastighetsbeståndet.

Index	Förändring	Motivering
TRL	2 -> 4	Ett biobaserat koncept för biobaserade renoveringsväggar togs fram och testades i ett initialt test i labmiljö.
MRL	1 -> 1	Hypotes om kund- och marknadsbehov finns.
SRL	1 -> 1	Det finns en hypotes om hur produkten kan användas för att bidra till ökad hållbarhet och översiktlig analys har genomförts. Dock avbröts delprojektet innan fullständig hållbarhetsanalys kunde genomföras.

© RISE Research Institutes of Sweden

5 Resultatens effekter och potential

Projektet kommer långsiktigt att påverka både den träbearbetande industrin och byggindustrin generellt.

5.1 Nya affärslösningar för snickeriindustrin

Snickeriindustrin har genom detta projekt fått stöd för både sin framtida produktutveckling och affärssystem. Detta kan ses genom:

- Företagen kommer att utnyttja kunskapen när de utvecklar nästa generations produkter med olika inriktning för olika marknader, de kommer också att veta vilka aktörer som är viktigast att påverka.
- Företagen förändrar sina processer med ett ökat inslag av digitalisering - kan betyda förändringar av nätportaler men kan också förändra processerna i produktionen med modern tekniska utrustning.
- Profilen på framtida nyanställningar kommer att inkludera mer kunskap kring IT-system och digitalisering.

Arbetet kommer att fortsätta inom projekt som drivs av Träbransch Norr såsom det av Tillväxtverket finansierade projektet ”Utmana Urbaniseringen”.

5.2 Effektivisering av upphandling

Rörande upphandling och livscykelanalyser så kommer detta att påverka beställare och beslutsfattare såsom:

- Fler kommuner med strategier för omställning till ökat biobaserat byggande
- Vasakronan tar med sig arbetet i sitt fortsatta strategiarbete kring miljöfrågor. Har beslutat genomföra bygget av Magasin-X i Uppsala, Sveriges första kontorshus i trä.
- Förändringar kopplat till krav på hållbarhetsdeklarationer för nybyggnation att påverka marknaden. Detta projekt har bidragit med ett sätt att systematiskt ta fram data för de kommande hållbarhetsdeklarationerna.
- Standardisering av allmänt accepterade tekniska lösningar kommer att ge beställare större säkerhet vid upphandling av biobaserade byggnader – osäkerheter kring prestanda och tekniker betraktas idag som ett av de stora hindren för ett ökat träbyggande.

Denna del av projektet tas vidare av Trästad Sverige via en workshopsserie där man kommer att medverka i framtagande av träbyggnadsstrategier i flera kommuner. Arbetet kommer också att utnyttjas i det Vinnova finansierade projektet Timber on Top där man kommer arbeta för att ta fram industriellt tillverkade, biobaserade, cirkulerbara påbyggnader i samarbete med kommuner.

5.3 Produkt- och processutveckling för träshusindustrin

För trähusindustrin så har projektet gett stöd för utveckling av både processer men också för produktutveckling:

© RISE Research Institutes of Sweden

- Projektet kommer att påverka företagen i deras val av utveckling inom digitalisering, de har sett nya möjligheter.
- Skifte i kraven för nyanställningar vilka kommer att vara större inslag av kompetens för digitalisering.
- Företagen får ett hjälpmedel för att utveckla nya bjälklag och därmed få en produkt med högre prestanda.
- Företagen har fått större kunskap kring egenskaper hos klimatskal där speciellt kopplingen till en högre grad av biobaserade material kommer att driva på produktutveckling.
- Projektet har visat att det är möjligt att fram biobaserade skivmaterial för användning i byggsammanhang, dock är marknaden ännu inte redo prismässigt för produkterna.
- Företagen vet hur man ska bygga byggnader upp till 12-14 våningar som klarar kraven.
- Generellt så har möjligheten till högre grad av modellering under produktutvecklingsfasen visats i flera av delprojekten – ger möjlighet att testa fler varianter i simuleringar innan praktiska försök genomförs.

Generellt så nämner också företagen fördelen med stora gemensamma projekt där man skapar nätverk och ny samverkan med varandra och akademin/instituten som en stor fördel med projektet.

Fortsättning på arbetet kommer att ske i ett flertal projekt såsom projektet ”Uppkopplad byggplats” inom Smart Built Environment men också genom digitaliseringsansatser inom det Vinnova finansierade projektet Timber on Top där man kommer arbeta för att ta fram industriellt tillverkade, biobaserade, cirkulerbara påbyggnader.

Arbetet kring höga hus kommer att fortsätta inom det ERA-Net finansierade projektet "Dyna-TTB" där man i ett flertal länder kommer att mäta och modellera höga trähus för att följa upp de delvis teoretiska resultaten med fullskalemätningar.

Det finns också stort intresse för att fortsätta arbetet med både klimatskal och bjälklag från företagen. På dessa områden pågår ansökningsarbete, dock finns ännu inget beviljat projekt.

© RISE Research Institutes of Sweden

6 Extern synlighet

6.1 Presentationer – seminarier – workshops

Under projektets gång så har ett antal presentationer av projektet och dess resultat till en allmän publik gjorts vid följande tillfällen:

2016

- Januari. Presentation vid COST Action FP1303 anordnade under titeln ”Designing with bio-based building materials – Challenges and opportunities”
- 23 februari. Projektpresentation. IVA , Stockholm ca 100 deltagare.
- 18 maj. Projektpresentation vid General Assembly BioInnovation, ca 100 deltagare.
- 26 augusti. Presentation vid Trähussafari med kommunföreträdare från Södra Sverige, ca 30 deltagare.
- 7 september. Projektpresentation bygg- och trähandelsdagen, ca 60 deltagare.
- 24 november., Växjösamtalet, Växjö. Ca 100 deltagare.
- Oktober 2016, mars 2017, september 2017. Tidningsartiklar och projektet i tidningen Norran (Västerbotten).

2017

- 20 februari. Presentation om bjälklagsprojekt. Möte med CBBT företagen, ca 10 deltagare.
- 1 mars. Workshop snickeriindustri. (1) E-handel för det stora och lilla företaget (2) BIM ur ett föreskrivarperspektiv, (3) BIM ur ett producentperspektiv, (4) Handelsmönster för snickeriprodukter och (5) kundpreferenser för interiört trä. Ca 20 deltagare.
- 13 mars. Klimatskal. Trähusdagar, ca 150 deltagare.
- 20 april. Projektpresentation vid General Assembly BioInnovation, ca 100 deltagare.
- 24 april. Årsmöte Byggdialog Dalarna med ett 60-tal deltagare.
- 15 maj. Styrelsemöte CBBT. 10 deltagare.
- 30 maj. Arbetsgrupp vid Samhällsbyggnadsenheten i Skellefteå inklusive inbjudna gäster. Ca 25 deltagare.
- 13 juni. industriworkshop ”Nybyggnation i trä” så fokuserades arbetet på Effektivare produktion – nya IT-system, Höga hus i trä, Effektiva klimatsjkal, Innovativa bjälklag och biobaserade skivor. Ca 30 deltagare
- 4 juli. Växjö kommuns seminarium ”Varför ska en kommun bygga med trä” vid Almedalen med ett 60-tal deltagare.
- 15 augusti. Presentation vid internkonferens om Hållbart byggande, Lejonfastigheter, Linköping. Ca 15 deltagare.
- 7 september. Hållbart byggande hos LINK Arkitektur i Lidköping. Ca 20 deltagare.
- 7 november. Presentation av preliminära resultat vid Wood Building Summit i Skellefteå. Omkring 100 deltagare.
- 16 november. Presentation av resultat vid BioInnovations årsmöte i Stockholm.
- 6 mars. Presentation och workshop med Samhällsbyggnadsenheten i Skellefteå kommun. Ett trettiotal deltagare.

2018

- 13 mars. Klimatskal. Trähusdagar, ca 150 deltagare.

© RISE Research Institutes of Sweden

- 12 april. Två separata presentationer av slutresultat för VKABs VD-grupp samt styrelse.
- Maj. Presentation vid konferens i Kemi, Artic Wood Building and Circular Economy Forum, ca 100 deltagare.
- 1 juni. Workshop kring CLT hos Södra skogsägarna, ca 10 deltagare.
- Augusti. Presentation Höga hus i trä. Sweco Structures AB Höga hus grupp, ca 10 deltagare
- Augusti. Intern presentation och dialog med dynamik/akustikspecialist på Tyréns, ca 10 deltagare.
- Augusti. Intern presentation och kontinuerlig dialog med konstruktör på Sweco Norge AS, ca 10 deltagare.
- 12 september. Trä, hälsa och bygg. HM Konungen och Landshövdingen i Västerbotten. Rundtur i Skellefteå med ett 40-tal deltagare.
- 13 september. Regional trästrategi i Jönköping. Klimatrådet Jönköping. Omkring 25 deltagare.
- 27-28 september. Monter i utställning och tre föredrag. Digitalization allows a production flow for customized wooden houses, Tall timber buildings – findings from R&D projects TTB and FBBB, Combining testing and calculation for low frequency sound and vibrations in buildings.
  Wood Building Nordic i Växjö, ca 300 deltagare.
- 16 oktober. Digitalisering i snickeriindustrin - så kundanpassar du sälj- och offertarbetet (Slutrapportering från projektet Framtidens Byggande och Boende FBBB), Digitala trähusindustrier ger skräddarsydda produkter från underleverantörer (Slutrapportering från projektet Framtidens Byggande och Boende FBBB). Träkvalitetsdagen med omkring 50 deltagare.
- 17 oktober. Framtidens ytterväggar och bjälklag – bättre och tunnare än idag (Slutrapportering från projektet Framtidens biobaserade byggande och boende), Höga hus i trä – rätt byggsystem för rätt byggnadshöjd (Slutrapportering från projektet Framtidens biobaserade byggande och boende). Stora trähusdagen med ca 100 deltagare.
- 23 oktober. Trä möjliggör en cirkulär bioekonomi. Fyrbodals kommunförbund med ett 60-tal deltagare.
- 25 oktober. Seminarium om träbyggande med Trästad Sverige i Skellefteå inför ett 25-tal deltagare.
- 19 november. Workshop snickerindustri. (1) Snickeriindustrins behov av råvara. (2) Jämställdhetsarbete för att nå framgång, (3) Handelsmönster för snickeriprodukter och förändrade affärsmodeller, (4) Preferenser för interiört trä i olika länder *dvs resultat studie 2*, (5) Nya affärsmöjligheter med digital kommunikation, (6) Affärsmöjligheter genom export samt (7) Kompetensförsörjning inom branschen. Ca 20 deltagare.
- 28 november. Träbyggnadsstrategi i Eksjö. Presentation av resultat till ett 50-tal deltagare.
- 19 december. Akustik och vibrationer i bjälklag presentation för deltagare i projekt ”Tall Timber Buildings”, ca 15 deltagare.

© RISE Research Institutes of Sweden

Därutöver har presentationer och workshops genomförts inom de olika delprojekten vilka finns beskrivna under respektive delprojekt. Under 2019 kommer också resultaten av projekten att presenteras vid ett stort antal tillfällen.

6.2 Demonstratorer

I de olika delprojekten har ett antal demonstratorer tagits fram och presenterats för de medverkande parterna men de har också visats upp vid mässor/utställningar.

- PLM-demonstrator för visualisering av produktionsinformation och simulerade produktionsflöden
- Demonstrator som utnyttjar VR-teknologi för att simulera och visualisera informationsflöde.
- Demonstrator för PLM-system mot industriellt husbyggande.
- En prototyp på 2 x 2m av den fanérbaserade sandwichpanelen.
- Ett tvärsnitt på ett högpresterande träbjälklag med avseende på stegljud är under utveckling och kommer färdigställas efter projekttidens slut.
- Tre demonstrator-väggar. Väggarna har samma u-värde men olika tjocklek, pga val av isolermaterial. Väggarnas storlek i plan är anpassad så att de har samma klimatavtryck, dvs väggarna visar hur många kvadratmeter vägg (med visst u-värde) man kan bygga för en viss CO2-förbrukning.
- Demonstratorer för biobaserade skivor finns i flera varianter: från första tillverkningsserien finns plana element från tre tillverkningssätt; från andra omgången finns fri-formade element.

© RISE Research Institutes of Sweden

7 Publikationer

7.1 Peer-reviewed artiklar

Atashipour, S.R. and Al-Emrani, M (2017). A realistic model for transverse shear stiffness prediction of composite corrugated-core sandwich elements. *International Journal of Solids and Structures, 129*, pp. 1-17.

Edskär, I. & Lidelöw, H. (2018) *Dynamic properties of timber buildings – the effects of openings*. European Journal of Wood and Wood Products, submitted December 2018

Edskär, I. & Lidelöw, H. (2018) *Dynamic properties of timber buildings – the effects of asymmetrical floor plans*. European Journal of Wood and Wood Products, submitted December 2018

Edskär, I. & Lidelöw, H., (2018) *Dynamic properties of cross-laminated timber and timber truss building systems*. Engineering Structures, submitted 2018-07-06, revised version December 2018

Edskär, I., & Lidelöw, H. (2017) *Wind-Induced Vibrations in Timber Buildings-Parameter Study of Cross-Laminated Timber Residential Structures*. Structural Engineering International, 27(2), 205–216.

Fröjd K. and Hellström A. *Innovative bio-composite sandwich element as floor system for multi-storey timber buildings*. Master's Thesis 2017:66, Chalmers university of technology. Gothenburg, Sweden.

Huber, J. A. J., Ekevad, M., Girhammar, U. A., & Berg, S. (2018) *Structural robustness and timber buildings - a review*. Wood Material Science & Engineering. Epub ahead of print.

Huber, J.A.J. et al. - *Alternative load path mechanisms in a platform-framed cross-laminated timber building* (prel titel)

Huber, J.A.J. et al. - *Numerical and experimental analysis of a floor-to-wall joint under collapse in a platform cross-laminated timber building* (prel titel)

Hugosson and Nord (2018) Strategic client capabilities and municipal buildings projects – some evidence from a Swedish case study. In: The Connectivity of lnnovation in the Construction lndustry. (Eds). Havenvid, M., Linnè, Å., Bygballe, L., and Harty C.

Jansson, G., Viklund, E., Olofsson, T. (2018) Artistic and Engineering Design of Platform-Based Production Systems; A Study of Swedish Architectural Practice, *Journal of Buildings, volume (8), Special Issue Aesthetics and Design Review: Managing Design Outcomes*. doi:10.3390/buildings8020034

Mukkavaara, J., Shadram, F., (2017) An Integrated BIM-based framework for the optimization of the trade-off between embodied and operational energy, *Journal of Energy and Buildings, volume (158) 1189-1205*.

Olsson J., Linderholt A (2018) Low frequency range response function; force to sound pressure, measurements using a modified tapping machine on timber floor structures. Paper submitted to Engineering structures.

© RISE Research Institutes of Sweden

7.2 Konferensartiklar

Ebadzadeh S., Nord, T. and Carlborg, P. (2017) *Business model innovation – cases from the wood products industry*. Paper and presentation at IUFRO conference in Vancouver June 2017.

Ebadzadeh Semnani, S and Nord, T (2017) *The relational factors affecting the transition from old to new business models*. Paper and presentation at 2nd International Conference on New Business Models - Exploring a changing view on organizing value creation: Developing New Business Models. Graz, Austria, June 2017

Ebadzadeh, S and Nord, T (2018) *Business Model Dynamics in Swedish Wood Construction & Manufacturing Industry*. Paper and presentation at Scandinavian Society of Forest Economics biannual conference in Helsingör, DK, May 2018.

Huber, J. A. J., Ekevad, M., & Girhammar, U. A. (2017). *Review of Robustness in Timber Buildings*. Presented at the World Multidisciplinary Civil Engineering - Architecture - Urban Planning Symposium, Prague, June 12-16, 2017.

Huber, J. Ekevad, M., Berg, S., Girhammar, U., (2018) *Assessment of Connections In Cross-Laminated Timber buildings Regarding Structural Robustness*. WCTE World Conference on Timber Engineering, Augusti 2018. Seoul, S Korea.

Huber, J. Ekevad, M., Berg, S., Girhammar, U., (2018) *Structural Robustness of Timber Buildings*. WCTE World Conference on Timber Engineering, Augusti 2018. Seoul, S Korea.

Huber. J, Ekevad. M, Girhammar. U, Berg. S (2018) *A Review of Structural Robustness with Focus on Timber Buildings*. 40t IABSE Symposium, Nantes, France.

Hugosson and Nord, T. (2017) *Customer perceived value and emerging business models in the wood building components industry – learnings from Swedish public building projects*. Presenterad vid 24rd Nordiska Företagsekonomiska Föreningens (NFF) konferens, Bodö, Norge

Jansson, G. (2016), *Flow-Oriented Contracting in Industrialized House-Building*, Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management 2016, Edmonton, Canada.

Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson T. (2018) *Interactive visualization for information flow in production chains: Case study industrialised house-building*. Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany, 2018, pp. 235-242

Lidelöw, H., Jansson, G., (2017). *The effect of pre-engineering on design management methods*, Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2017, Heraklion, Greece.

Linderholt A. and Olsson J (2017). *A simulation based study of low frequency transient sound radiation from floors – a concrete vs. a hybrid floor*. In: 24th International Congress on Sound and Vibrations 23-27th of July, London, UK.

Mukkavaara, J., Jansson, G., Olofsson, T. (2018) *Structuring information from BIM: A glance at bills of materials*. Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany, 2018, p. 362-368

© RISE Research Institutes of Sweden

Mukkavara, J., Shadram, F. (2017). *A BIM-based method for analyzing the trade-off between embodied- and operational energy*, Proceedings of the 2017 International Conference on Construction and Real Estate Management 2017, Guangzhou, China.

Ranefjärd, Rosenkilde, Frühwald Hansson (2019). *Development Of A Hot-Box Test Setup With Dynamic Outdoor Climate*. Buildings XIV, december 2019, Florida, USA. (Submitted)

Ranefjärd, Rosenkilde, Frühwald Hansson. (2019) *Parametric Study Of Mould Risk In The Climate Envelope Of Timber Buildings Using Hydrothermal Simulations*. Buildings XIV, december 2019, Florida, USA. (Submitted)

Sandberg, M., Gerth, R., Lu, W., Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson, T. (2016). *Design automation in construction: An overview*, Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016, Brisbane, Australia.

Shadram, F., Mukkavaara, J., Schade, J., Sandberg, M., Olofsson, T. (2017). *A BIM-based method for analyzing the trade-off between embodied- and operational energy*, Proceedings of the 2017 International Conference on Construction and Real Estate Management, Guangzhou, China.

Viklund, E., Sandberg, M., Lidelöw H. and Jansson G. (2016) *Modularization based on commonalities in house-building requirements*, Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management 2016, Edmonton, Canada.

7.3 Rapporter

Broman, O., Markström, E., Johansson, J., Ebadsadeh, S. Nord, T., Dedye Apelgren, C. (2017) *Web-enkätundersökning om trä för interiöra ändamål - Människors uppfattningar, kunskaper och åsikter*. Luleå tekniska universitet, Skellefteå.

Dorn, M., Tuvendal, H., Oxfall, H., Serrano, E., (2018). *FBBB 4.3 Biobaserade skivmaterial – Experimentella undersökningar*. Projektrapport, Linnéuniversitetet.

Hugosson and Nord, T. (2018) *Beslutsstöd för upphandling av gröna byggprojekt*. Delprojektets slutrapport finns tillgänglig på LiUs och HDs hemsida från och med Q1 2019.

Johansson M., Gustafsson A., Landell P., Pousette A., Sandin Y. m.fl.*: Best Practice Guide – Höga hus i trä*, RISE rapport, publiceras 2019

Markström, E., Broman, O., Nord, T., Ebadsadeh, S., Nordin, B., Carlsson, C. (2019) *Trä i hemmet – en undersökning i sju europeiska länder om inredningsstilar och intresset för svenska interiöra furuprodukter till hemmet*. Svenskt Trä, Stockholm Sverige.

Pousette A.: Robusthet höga trähus, informationspaket. RISE rapport, publiceras 2019.

Schweigler, M., Bolmsvik, Å., Dorn, M. (2018). Static and dynamic properties of connections in timber-frame structures. Projektrapport, Linnéuniversitetet.

Ylmén, P., Peñaloza, D. Schade, J. 2018: *Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion*, RISE Rapport 2018:76, ISBN 978-91-88907-26-4

© RISE Research Institutes of Sweden

7.4 Interna rapporter (ej offentliga):

Anon (2018): Nulägesanalys Snidex AB, Nulägesanalys Vindelåns Snickeri AB, Nulägesanalys Nya Norrlist AB, Nulägesanalys SSC Skellefteå, Nulägesanalys Drömtrappor AB

Anon. (2019) *Försäljning på internet - Ett stöd för företag med tankar på uppstart av e-handel*. Kommer att göras tillgänglig för medlemmar i TräbranschNorr via dess hemsida.

Atashipour, S.R. and Al-Emrani, M (2016). *Innovative timber floor (state-of-the-art)*. Chalmers university of technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, Gothenburg, Sweden.

Bolmsvik Å. Sjökvist L.G. (2016) *State of the art – Kring flanktransmission*, Linneuniversitetet, Fakulteten för teknik.

Edskär, I. (2018) *Finite element modelling of high-rise timber buildings: dynamic analysis*. Technical Report, Division of Industrialized and Sustainable Construction, Luleå University of Technology.

Nord, T. et al. (2019) *Struktur, konkurrenskraft och utveckling i snickerisegment*. Luleå tekniska högskola, Skellefteå.

Olsson J., Johansson M. (2017*). State-of-the art kring direkttransmission – Med tyngdpunkt på stegljud*. SP / RISE – Research Institutes of Sweden, Department of building technology, Sweden.

Ranefjärd, O. Fruhwald Hansson, E. (2016). *Litteraturstudie/State-of-art om nya/innovativa isolermaterial*. Projektrapport, Lunds tekniska högskola.

7.5 Avhandlingar/examensarbeten

7.5.1 Examensarbeten

Gren Bernhäll, O., Nilsson, A., 2017. *Bestämning av mekaniska egenskaper för ett bio-kompositmaterial*. Exjobbsarbete (byggteknik, högskoleingenjör), Linnéuniversitetet.

Hosseini Moghadam, S. M., Al-Shihabi, M., 2016. *Mechanical behavior of a bio-based composite – Influences of production conditions*, Exjobbsarbete (byggteknik, magisterprogram), Linnéuniversitetet.

Hussamadin, R. (2018). *Distribuerad förstärkt verklighet för att stödja kommunikation mellan arkitekt och beställare*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Häggström R.: Olsson P.: *Byggbara höga modulhus*. Examensarbete Luleå tekniska universitet, 2019.

Larsson M. and Mayor H (2016). *Innovative timber floor - Development of a timber sandwich structure*. Master's Thesis BOMX02-16-109, Chalmers university of technology. Gothenburg, Sweden.

© RISE Research Institutes of Sweden

Lindberg A.: *Dynamisk dimensionering av hög träbyggnad med horisontalstabiliserande kärna av KL-trä och prefabricerade volymelement*. Examensarbete Luleå tekniska universitet, 2018.

Nilsson K., Sörnmo D.*: Extern vindstabilitet för flervåningshus i trä. Examensarbete Luleå tekniska universitet*, 2018.

Saade, A (2017). *VR som arkitektoniskt kommunikationsverktyg: Realtidsvisualisering i designprocessen*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

7.5.2 Licentiate/doktorsavhandlingar

Edskär I.: *Modal Analysis, Dynamic Properties, and Horizontal Stabilisation of Timber Buildings*, Avhandling Luleå tekniska universitet, 2019.

Mukkavaara, J. (2018). *Structures for supporting BIM-based automation in the design process*. Licentiate thesis, Luleå University of Technology.

Olsson J. (2016). *Low Frequency Impact Sound in Timber Buildings – Simulations and Measurements*. Licentiate thesis ISBN: 978-91-88357-46-5. Linnaeus University, Växjö, Sweden.

Ebadzadeh S. kommer att försvara sin doktorsavhandling under hösten 2019 med den tentativa titeln ” *Study of Patterns of BM Change in a Mature Industry*”, där stora delar av empiri kommer från deltagandet/intervjuer i delprojekt 2.1.

Huber J. kommer att presentera sin licentiatavhandling under 2019 som delvis kommer att vara baserad på arbete utfört i delprojekt 4.4

Markström, E. kommer att presentera sin doktorsavhandling under 2021 där delar av delprojektet 2.2 kommer vara en delmängd.

Olsson J. kommer att presentera sin doktorsavhandling under hösten 2019 vilken delvis baseras på arbete i delprojekt 4.1.

Ranefjärd O. kommer att presentera sin licentiatavhandling under sommaren 2019. Avhandlingen kommer att vara en sammanläggningsavhandling som innehåller en kappa samt två artiklar baserade på arbete i delprojekt 4.2.

7.6 Undervisning

Resultaten har använts som kursmaterial i doktorandkursen ”Product Platforms” som examineras av JTH, och kursen ” Platforms, Configuration and Optimization” på avancerad nivå inom masterprogrammet, Sustainable BIM, som även den examineras vid JTH.

Resultat har också presenterats inom ProWood forskarskola och de företag som är med där informeras om de aktiviteter som pågår inom bl.a. detta projektet. Bland annat har beräkningsmodellerna för bjälklag presenterats på Work-in-Progress seminarie.

© RISE Research Institutes of Sweden

Resultaten från projektet har även presenterats inom kursen Byggsystem på Väg- och vattenbyggnadsprogrammet på LTH inom gästföreläsningar om träbaserade byggsystem (2017, 2018) och därmed spridits till framtida aktörer inom byggsektorn.

I utbildningssammanhang presenterades de framtagna skivmaterialen i kursen ”Stål- och Träkonstruktion” på Linnéuniversitetet för årskurs 3 under nyckelordet ”andra träbaserade produkter”.

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Del II - Rapporter för delprojekten

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

8 Delprojekt 1.1 –Beslutsstöd för upphandling av gröna byggprojekt

8.1 Mål och syfte med delprojektet

Delprojektets syfte är att skapa en beslutskatalog för upphandling av långsiktigt hållbara (miljömässigt, socialt och ekonomiskt) byggnadsprojekt.

Förväntat resultat är en beslutskatalog för upphandling av byggnadsprojekt där hållbarhetsaspekter utgör en viktig del och hur värde för slutkunden skapas. Beslutskatalogen innebär en processmodell för kartläggning, sammanställning och tillvägagångssätt för att hantera olika omvärldsfaktorer och dess påverkan på genomförandet ur ett livscykelperspektiv. Delprojektet förväntas ge exempel på tekniska lösningar och affärskonstellationer för identifierade omvärldsfaktorer med effekten ökade möjligheter att välja ett träbaserat alternativ vid nybyggande, påbyggnad/ombyggnad och renovering.

Utförargrupp:

Tomas Nord	Linköpings universitet
Mårten Hugosson	Högskolan i Dalarna
Britt-Inger Olofsson	Skellefteå Kommun
Mats Dahlström	Falu kommun
Johan Thorsell	Växjö Kommun (ersatt Hans Andrén som var med från början)

Företagsrepresentanter:

Britt-Inger Olofsson	Skellefteå Kommun
Mats Dahlström	Falu kommun
Johan Thorsell	Växjö Kommun (ersatt Hans Andrén som var med från början)

Intressenter med naturlig koppling till projektet:
Medlemmar i Trästad Sverige.

8.2 Genomförda aktiviteter

Vid projektstart beslöts i samråd med styrelsen och projektgrupp för projektupplägget enligt följande:

1. Beslut om projekt att studera och fastställande av frågor
2. Genomförande av intervjuer och resultatsammanställning
3. Analys och spridning av resultat

- *Projekt att studera samt frågeformulär*
  Diskussion om omfattning och inriktning av byggprojekt att studera resulterade i totalt 10 stycken byggprojekt fördelade 4 st i Skellefteå, 3 st i Falun och 3 st i Växjö. Beslut också om att ha en bredd i typ av byggprojekt istället för samma typer samt att det skulle vara typiska och någorlunda i närtid.

© RISE Research Institutes of Sweden

Frågeformuläret beslutades fokusera på personers uppfattning av genomförandet samt att respondenterna ska vara direkt inkopplade i byggprojektet. Tidplan för genomförandet beslutades.

- *Genomförande av intervjuer och sammanställning*
  Genomförandet av intervjuerna gjordes vid två tillfällen. Ett första under hösten 2016 där Skellefteå, Växjö och Falun besöktes i tur och ordning. En andra omgång genomfördes under våren 2017 där resterande intervjuer samt vissa kompletteringar skedde.
  En första resultatsammanställning gjordes efter första omgångens intervjuer vilken presenterades vid Växjösamtalet i november 2016.

- *Analys av insamlad data och spridning av resultat*
  Analys av insamlad data har skett löpande och diskuterats i projektgruppen vid ett antal olika tillfällen. En framtagen analysmodell som utgår från hur förändringar i processer kan studeras har använts och anpassats till detta projekt.
  Spridning av resultat har planerats ske löpande, både för att visa vad som sker och att få stöd i analysen. Det fanns inget uppsatt mål för antal tillfällen för spridning utan det har skett efter behov.
  Mot slutet av projektet har diskussioner uppstått om hur resultatet inte bara sprids muntligen utan även praktiskt. Samtal har initierats med olika organisationer för att ”ta resultatet vidare”, vilket också skett till slut.

8.3 Resultat från genomförda aktiviteter

1. *Projekt att studera samt frågeformulär*

   Information om 10 stycken olika träbyggprojekt finns sammanställt och tillgängligt för vem som helst att ta del av på LiU: s och HD: s hemsida. Denna information utgör en bra kunskapsbank rörande genomförande av upphandling och även teknisk och processuell beskrivning av projekten som sådana.

   Frågeformuläret har utvecklats under gång och utgör även det en kunskapskälla för hur frågor kan ställas och till vilka för att få fram rätt information om byggprojekt ur ett processperspektiv.

2. *Genomförande av intervjuer samt resultatsammanställning*

   Intervjuerna tog mellan 30 och 120 minuter att genomföra beroende på omfattning av projektet samt respondentens möjliga tid. De genomförda intervjuerna finns transkriberade för den efterföljande analysen. Totalt har 90 % av intervjuerna genomförts där de två entreprenadföretag inte hörts direkt utan enbart från övriga i byggprocessen.

   Resultatsammanställning har gjorts för de tre olika nivåerna – politik, beställare och entreprenadföretag, och efter rubrikerna strategi, process och genomförande.

© RISE Research Institutes of Sweden

3. *Analys och resultatspridning*

   Analysen av de ingående byggprojekten visar vikten av en tydlig, målsatt strategi och användning av strategin i upphandling av träbyggprojekt. En kommunal träbyggnadsstrategi skapar:

   - Kunskapsuppbyggnad av projektkunskap internt
   - Tydlig kommunikation internt och externt
   - Varumärkesbyggande i respektive organisation
   - Stödja andra kommuner och organisationer i utvecklande av träbyggnadsstrategier

Slutresultatet av projektet är beslutskatalog, en processmodell, för kartläggning, sammanställning och tillvägagångssätt för att hantera olika omvärldsfaktorer och dess påverkan på genomförandet av upphandlingen. Katalogen visar ordning och genomförande av processen för att öka möjligheten till mer trä i byggandet.

Spridning av resultatet har skett vid ett flertal tillfällen (se nedanstående punkt) och är kanske det viktigaste bidraget av projektet. Deltagande kommunrepresentanter har ökat utbyte av information mellan sig för att på så sätt utveckla strategier och aktiviteter, men även att organisationerna har byggt upp en organisation för att aktivt delta i spridning av sina kunskaper och kompetenser till externa parter. Spridning till andra personer och organisationer vid seminarier och konferenser har ökat kunskapen om träbyggande generellt och upphandling specifikt.

Avslutningsvis har en plan fastställts för hur resultaten av projekten sprids på permanent bas via Trästad Sverige. Trästad Sverige kommer att erbjuda sina medlemmar stöd med att utarbeta träbyggnadsstrategier samt bidra med kunskap om träbyggande och upphandling.

8.4 Effekter av slutresultat

Effekter av projektet är:

- Ökad kunskap i deltagande om hur upphandling av träbyggprojekt kan ske
- Ökad kunskap hos träbyggintresserade kommuner OCH byggherrar OCH byggföretag om hur trä kan användas i byggande
- Lättillgänglig information om hur process med träbyggnadsstrategi kan ske
- Lättillgänglig information om tio (10) träbyggprojekt
- Trästad Sverige har upphandlat och genomför seminarier om hur träbyggnadsstrategier kan skapas och genomföras. Kommer att ske under 2019 och framåt.

8.5 Resultatspridning

Spridning av resultatet från studien har skett löpande under projektets gång. Presentationer och spridning har varit en del i syftet med projektet samt också fungerat som informationsinsamling och analys. Drygt 600 personer har fått resultat från projektet direkt medan den indirekta spridningen förstås är större tack vare tidningsartiklar, hemsidedelningar och så vidare.

© RISE Research Institutes of Sweden

Nedan följer kronologisk ordning av genomförda presentationer samt datainsamlingstillfällen.

2016

24 november 2016, Växjösamtalet, Växjö. Ca 100 deltagare.
Oktober 2016, Mars 2017, September 2017. Tidningsartiklar och projektet i tidningen Norran (Västerbotten).

2017

24 april . Årsmöte Byggdialog Dalarna med ett 60-tal deltagare.
15 maj Styrelsemöte CBBT. 10 deltagare.
30 maj Arbetsgrupp vid Samhällsbyggnadsenheten i Skellefteå inklusive inbjudna gäster. Ca 25 deltagare.
4 juli . Växjö kommuns seminarium ”Varför ska en kommun bygga med trä” vid Almedalen med ett 60-tal deltagare.
15 augusti. Presentation vid internkonferens om Hållbart byggande, Lejonfastigheter, Linköping. Ca 15 deltagare.
7 september Hållbart byggande hos LINK Arkitektur i Lidköping. Ca 20 deltagare.
7 november . Presentation av preliminära resultat vid Wood Building Summit i Skellefteå. Omkring 100 deltagare.
16 november Presentation av resultat vid BioInnovations årsmöte i Stockholm.
6 mars Presentation och workshop med Samhällsbyggnadsenheten i Skellefteå kommun. Ett trettiotal deltagare.

2018

12 april. Två separata presentationer av slutresultat för VKABs VD-grupp samt styrelse.
12 september. Trä, hälsa och bygg. HM Konungen och Landshövdingen i Västerbotten. Rundtur i Skellefteå med ett 40-tal deltagare.
13 september. Regional trästrategi i Jönköping. Klimatrådet Jönköping. Omkring 25 deltagare.
23 oktober. Trä möjliggör en cirkulär bioekonomi. Fyrbodals kommunförbund med ett 60-tal deltagare.
25 oktober. Seminarium om träbyggande med Trästad Sverige i Skellefteå inför ett 25-tal deltagare.
28 november. Träbyggnadsstrategi i Eksjö. Presentation av resultat till ett 50-tal deltagare.

Samtliga deltagare i projektet har löpande fått information om hur arbetet fortskrider.

8.6 Leverabler

Peer-reviewed artiklar

Hugosson and Nord (2018) Strategic client capabilities and municipal buildings projects – some evidence from a Swedish case study. In: The Connectivity of lnnovation in the Construction lndustry. (Eds). Havenvid, M., Linnè, Å., Bygballe, L., and Harty C.

© RISE Research Institutes of Sweden

Konferensartiklar

Hugosson and Nord, T. (2017) Customer perceived value and emerging business models in the wood building components industry – learnings from Swedish public building projects. Presenterad vid 24rd Nordiska Företagsekonomiska Föreningens (NFF) konferens, Bodö, Norge

Rapport

Beslutsstöd för upphandling av gröna byggprojekt. Delprojektets slutrapport finns tillgänglig på LiUs och HDs hemsida från och med Q1 2019.

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 5 → TRL 7 Budget: 1 110 000 SEK Partners: Falu Kommun, Skellefteå kommun, Växjö kommun, Högskolan i Dalarna och Linköpings universitet (Tomas Nord projektledare).

© RISE Research Institutes of Sweden

9 Delprojekt 1.2 - Miljö- och affärsmässig nytta med biobaserade byggnader i ett livscykelperspektiv

9.1 Mål och syfte med delprojektet

Syftet med projektet var att analysera den långsiktiga miljöpåverkan av olika byggnadsmetoder med alternativa projekterings- och produktionsalternativ samt materialval och byggplatssystem. I ett andra steg att bedöma ekonomiska konsekvenser av olika konstruktionslösningar. Målet var att ta fram enkla men robusta metoder för bedömning av miljö- och affärsnytta av produkter och system. Under projektet förtydligades målet till att:

- bidra med råd och anvisningar hur olika materialval, konstruktions-lösningar och monteringssätt kan användas utifrån dess miljöpåverkan och kostnader
- hitta de faktorer som har störst miljöpåverkan i byggprocessen.
- bidra med värdefull kunskap och erfarenhet för utveckling av metodiken kring genomförande av LCA och LCC i byggprojekt.
- jämföra skillnader mellan konstruktioner i trä och betong.

Utförargrupp:

Peter Ylmen	RISE
Diego Penalosa	RISE
Jutta Schade	RISE

Företagsrepresentant

Ayata Kubra	Vasakronan

9.2 Genomförda aktiviteter

- 8 st. arbetsmöten
- Arbetat fram mall för datarapportering
- Det samlas löpande in data från byggprojektet.
- Utifrån data från mark- och bottenplatta har det utförts en testberäkning för att säkerställa att den data som rapporteras är tillfredsställande.
- Utifrån den nya insamlade data under perioden har det utförts en revision av tillgängliga data och behov för komplettering som har skickats till Peab och Vasakronan.
- Kompletterat med data som uppkommit i byggprojektet.
- Skapat program för att beräkna LCC.
- Uppdaterat arbetsmetodiken för hur byggnadsdata ska hanteras i LCA.
- Genomfört LCA-beräkning för hel byggnad.
- Påbörjat arbetet med att jämföra olika byggnadstekniker
- Sammanställt första utkastet på rapporten.
- Fått återkoppling på utfört arbete från industripartnerna.
- Genomfört LCA och LCC för jämförelse av olika byggnadstekniker.

© RISE Research Institutes of Sweden

- Sammanställning och analys av sista resultaten.
- Färdigställande av slutrapport.

9.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Resultaten från studien visar vilka delar i livscykeln av en kontorsbyggnad som har stor miljöpåverkan. Att energianvändning och produktion har stor påverkan har påvisats i andra studier och var ett förväntat resultat. Ett anmärkningsvärt resultat var däremot att VVS har en markant påverkan i tre av fem miljö-påverkanskategorier. Tidigare har det varit svårt att ta med VVS i livscykelstudier då det ofta saknas tillräckligt med data. Detta visar att det krävs större fokus av dessa produkter för att sänka den totala miljöpåverkan av byggnader. Det var komplext att få full kunskap om hur transporter sker till och från byggarbetsplatsen. Däremot visar resultaten att transporter står för en liten del av byggnadens totala miljöpåverkan.

I rapporten beskrivs metodik för hur man kan göra LCA för en hel byggnad samt vid jämförelse mellan olika alternativ. Den visar även på områden där det krävs vidare utveckling av metoder, bland annat data för användarfasen och metodik vid jämförelse mellan alternativ.

Vid jämförelse mellan betong- och träkonstruktion för den aktuella byggnaden visade det sig att fokus för betong bör vara att minska emissioner från produktionen medan trä istället bör fokusera på användarfasen och sluthantering. För träkonstruktionen härrör många av utsläppen från andra material än trä, men som krävs för att uppfylla byggnadskraven i en träkonstruktion. Det kan därmed vara gynnsamt att studera hur man kan förbättra dessa produkter.

9.4 Effekter av slutresultat

Vasakronan har tagit del av resultaten och har för avsikt att utifrån dessa uppdatera sitt miljöarbete vid produktion och drift av byggnader, t. ex. genom att öka mängden återbruk, minska mängden spill och minska avfallet. De har även visat intresse för vidare forskning hur man ska beakta hela livscykeln vid olika materialval för att minska mängden farliga ämnen andra viktiga miljöaspekter.

I studien demonstrerades metoder och verktyg för LCA/LCC som kan användas för utvärdering av olika designalternativ vid projektering av byggnader.

Resultaten visar vad som bör prioriteras av kommuner/fastighetsägare för att kunna beställa fastigheter med större andel biobaserade material och därmed mindre klimatavtryck.

Studien ger även underlag för fortsatt forskning för att minska miljöpåverkan av byggnader.

9.5 Resultatspridning

Studien beskrivs i en öppen teknisk forskningsrapport som finns publicerad på Diva: Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion.

© RISE Research Institutes of Sweden

Då resultaten precis är färdiga har de ännu inte presenteras utåt. Avsikten är att förutom rapporten sprida resultaten via öppna seminarier och ta med som exempel vid utbildningar rörande livscykelstudier av byggnader.

9.6 Leverabler

Rapport

Ylmén, P., Peñaloza, D. Schade, J. 2018: Livscykelstudie av kontor med kombinerad betong- och träkonstruktion, RISE Rapport 2018:76, ISBN 978-91-88907-26-4

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 5 → TRL 7 Budget: 2 942 001 SEK Partners: Vasakronan, RISE, Linköpings universitet, Högskolan Dalarna

© RISE Research Institutes of Sweden

10 Delprojekt 2.1 –E-handel

10.1 Mål och syfte med delprojektet

Delprojektets mål har varit att identifiera hur E-handel och digitalisering påverkar snickeriindustrins affärsmöjligheter och vilka resurser och förmågor som skall utvecklas för att nå den nationella och internationella marknaden.

Projektets aktiviteter tillsammans med snickeriföretagen inom TräBransch Norr har avsett att kunskapsmässigt stödja och skapa förutsättningar att komma in på e-handelsförsäljning och därmed öka förutsättningen att bredda sin marknad och öka möjlighet att nå nya kunder.

Utförargrupp:

Olof Broman	Luleå tekniska universitet
Tomas Nord	Linköpings universitet
Sarah Ebadzadeh	Linköpings universitet
Lars Engman	Träbransch Norr (projektledare)

Företagsrepresentanter:

Dan Magnusson	SSC Group, Skellefteå
Samuel Jakobsson	Vindelåns Snickeri AB, Rusksele
Johan Jonsson	Drömtrappor AB, Norsjö
Anton Israelsson	Nya Norrlist AB, Rusksele
Bengt-Åke Lundberg	Snidex AB, Burträsk

Intressenter med naturlig koppling till projektet:
Övriga Träbransch Norr-företag (bestående av ca 100 träindustriföretag i regionen)

10.2 Genomförda aktiviteter

Vid projektstart beslöts i samråd med styrelsen att projektets arbete skulle fokuseras på följande aktiviteter:

A1. Nulägesanalys – Behov av ökad digitalisering inom snickeriföretag

Besök gjordes i flera omgångar vid samtliga företag i referensgruppen där ledningen intervjuades om företagens syn avseende deras behov av digitalisering och renodlad e-handel nu och i framtiden. Fokus låg på behovet av digitalisering till stöd för kundernas behov och företagets egna försäljnings- och marknadsföringsarbete. Intervjuerna sammanställdes i företagsspecifika rapporter vars innehåll också muntligt presenterades vid respektive företag.

A2. Handelsmönster för ett antal viktiga snickeriprodukter

För att öka snickeribranschens kunskap om trender och utveckling samt konkurrensförhållanden gjordes en databasgenomgång samt sammanställning av statistik avseende handelsmönster för tre viktiga snickerisegment, fönster, innerdörrar och trappor. För perioden 2010 – 2017, gjordes analys av ekonomiska företagsdata från ingående segment. Ingående nyckeltal var omsättning, vinstmarginal, räntabilitet,

© RISE Research Institutes of Sweden

antal anställda och kapitalomsättningshastighet. Nästa del var insamling och sammanställning av omvärldsinformation påverkande de ingående segmenten. Viktig information kom från industriernas branschorganisation och delgrupper inom Trä- och Möbelföretagen. Omvärldsinformationen grupperades efter industrinära, kunder, konkurrenter, substitut, nya aktörer och leverantörer samt digitaliseringstrender.

A3. Behov av förändrade affärsmodeller

Med resultaten från aktivitet A1 som bakgrund gjordes ytterligare intervjuer med samma företag, här med fokus på företagens behov av/syn på förändrade affärsmodeller som en följd av ökad digitalisering och e-handel. Affärsmodellen definieras som det ramverk som beskriver hur företag skapar, levererar och fångar värde, och består generellt av fyra delar: Marknadsposition, Erbjudande, Operativ plattform och Vinst- och tillväxtmotor. Detta arbete har skett longitudinellt dvs. i början och i slutet av projektet för att visa på förändring i agerande. Intervjuerna är klara och resultaten återkopplade till respektive företag. En mer djuplodande granskning fortsätter även efter projekttiden och kommer vara en viktig del i ett doktorsarbete vid LiU.

A4. *Workshops och kunskapsdelning med företagsintressenterna*

En första gemensam workshop för delprojekt 2.1 och 2.2 genomfördes den 1 mars 2017. Drygt 20 företag inom trämanufaktur deltog. De ämnen som behandlades var:

(1) E-handel för det stora och lilla företaget (2) BIM ur ett föreskrivarperspektiv, (3) BIM ur ett producentperspektiv, (4) Handelsmönster för snickeriprodukter och (5) kundpreferenser för interiört trä, dvs resultat från studie 1. Intresset och engagemanget var stort bland deltagande företag.

En andra med delprojekt 2.2 gemensam workshop genomfördes den 19 november 2018. Drygt 20 personer inom trämanufakturföretag deltog. Programinnehåll:

(1) Snickeriindustrins behov av råvara. (2) Jämställdhetsarbete för att nå framgång, (3) Handelsmönster för snickeriprodukter och förändrade affärsmodeller, (4) Preferenser för interiört trä i olika länder dvs resultat studie 2, (5) Nya affärsmöjligheter med digital kommunikation, (6) Affärsmöjligheter genom export samt (7) Kompetensförsörjning inom branschen.

10.3 Resultat från genomförda aktiviteter

A1. Nulägesanalys – Behov av ökad digitalisering inom snickeriföretag

Företagen har av nulägesanalyserna fått ett underlag för hur de skall gå vidare i sina planerade aktiviteter mot att skapa förutsättningar att sälja och synas via e-handel. Utifrån de medverkande företagen, som är allt från små till medelstora, så har de i dagsläget hunnit olika långt i processen att marknadsföra och sälja delar av sitt sortiment via e-handel.

Förutom de företagsspecifika rapporterna har projektarbetet också resulterat i ett stödjande dokument (råd). Försäljning på internet riktat till snickeriföretag som tänker sig starta processen mot ökad digital kommunikation och e-handel. Mervärde och resultat kan även ses i utförargruppens ökade kunskap och erfarenhet inom digitalisering och e-handel.

© RISE Research Institutes of Sweden

A2. Handelsmönster för ett antal viktiga snickeriprodukter

Sammanställt och analyserat omvärldsinformation med specifik företagsinformation för att visa konkurrensfördelar för ingående företag.

A3. Behov av förändrade affärsmodeller

Visat hur företagens affärsmodeller ser ut, hur de utvecklats över tid, samt vilka dimensioner i affärsmodellen som haft störst påverkan. Analyserat hur digitalisering som begrepp har påverkat ingående dimensioner och därmed skapat arketyper för affärsmodellsförändring.

A4. Workshops och kunskapsdelning med snickeriföretag och intressenter

De två workshops som genomförts har främst gett en ökad medvetenhet och kunskap om e-handelns möjligheter i att öka företagets försäljning, nå nya kunder och bredda sin marknad. Respektive workshops program planerades att inte bara innehålla resultat från projektet utan även andra för snickeriindustrin relevanta ämnen:

<u>Workshop 1</u>	
Hur används BIM i föreskrivande led	Iréne Granlund, Collage Arkitekter
BIM för tillverkare	Anders Hjalmarsson, Inwido AB
E-handel för det lilla och stora företaget	Roger Wikström, TR Reklambyrå
Handelsmönster	Olof Broman, LTU
Kundpreferenser för interiört trä	Olof Broman, LTU
<u>Workshop 2</u>	
Snickeriindustrins behov av råvara	Bror Sundqvist, TCN
Jämställhetsarbete för att nå framgång	Maria Nilsson, Experto Crede AB
Handelsmönster för snickeriprodukter och förändrade affärsmodeller	Tomas Nord, Liu
Preferenser för interiört trä i olika länder	Olof Broman, Ltu
Nya affärsmöjligheter med digital kommunikation	Olof Broman, Ltu
Affärsmöjligheter genom export	Aurora Pelli, Reg. Västerbotten Katharina Saalo, Business Sweden
Branschens kompetensförsörjning	Henrik Smedmark, TMF Tomas Andersson, GS-facket
Visning av T2 College	Olov Hultdin, T2 College

10.4 Effekter av slutresultat

Projektets arbete har berett jorden för att fler inom svensk snickeriindustri skall kunna ta steget mot ökad digital kommunikation med kund dvs E-handel. En ökad digitalisering förändrar också företagens kundbas och möjligheter till att nå nya marknader. Företag som tidigare ej exporterat sina produkter kan med digitaliseringens hjälp mycket väl finna nya kunder utanför landets gränser bara genom sina erbjudanden exponerat via nätet. De företag som tar steget och vidareutvecklar sin digitala affärskommunikation ändrar samtidigt osökt sina affärsmodeller. Undersökta företag har fått en dokumenterad bild av sin verksamhet, behov av

© RISE Research Institutes of Sweden

digitaliseringslösningar samt förändrade affärsmodeller. Deltagande företag har erbjudits och erhållit specifik affärsrådgivning baserat på forskningsresultaten, vilket skapar förutsättningar för ökad konkurrenskraft.

Under projektets gång har projektets resultat i form av snickeribranschens behov av ökad digitalisering förts vidare till ett projekt – *Utmana urbaniseringen* som drivs av LTU och TräBransch Norr. Där är 33st företag inom Träbransch Norr med och aktivt arbetar med utvecklingsfrågor inom snickeriindustrin. E-handel och ökad digitalisering är två av flera aktiviteter inom detta projekt.

10.5 Resultatspridning

Resultatspridning sker genom nätverken BioInnovation, TräbranschNorr, TräCentrumNorr samt via universiteten LTU och LiU. Mer specifikt har resultaten presenterats vid de två workshops med företag som genomförts i projektet, se ovan.

Resultaten från nulägesanalyserna A1 har inte bara presenterats vid respektive företag utan presenterades även vid NTTs, Träkvalitetsdag i Stockholm den 16 oktober 2018 med titeln:

Digitalisering i snickeriindustrin - så kundanpassar du sälj- och offertarbetet (Slutrapportering från projektet Framtidens Byggande och Boende FBBB)

Projektets resultat i form av snickeribranschens behov av ökad digitalisering används inom projektet *Utmana urbaniseringen* som drivs av LTU och TräBransch Norr.

Projektets resultat får även spridning internationellt genom det doktorandarbete som knutits till projektets resultat, se konferensartiklar.

10.6 Leverabler

Konferensartiklar

Ebadzadeh S., Nord, T. and Carlborg, P. (2017) *Business model innovation – cases from the wood products industry*. Paper and presentation at IUFRO conference in Vancouver June 2017.

Ebadzadeh Semnani, S and Nord, T (2017) *The relational factors affecting the transition from old to new business models*. Paper and presentation at 2nd International Conference on New Business Models - Exploring a changing view on organizing value creation: Developing New Business Models. Graz, Austria, June 2017

Ebadzadeh, S and Nord, T (2018) *Business Model Dynamics in Swedish Wood Construction & Manufacturing Industry*. Paper and presentation at Scandinavian Society of Forest Economics biannual conference in Helsingör, DK, May 2018.

Rapporter

Struktur, konkurrenskraft och utveckling i snickerisegment kommer finnas tillgänglig den 8 januari 2019 på BioInnovations hemsida.

Försäljning på internet - Ett stöd för företag med tankar på uppstart av e-handel. Kommer att göras tillgänglig för medlemmar i TräbranschNorr via dess hemsida.

© RISE Research Institutes of Sweden

Företagsspecifika rapporter:

Nulägesanalys Snidex AB

Nulägesanalys Vindelåns Snickeri AB

Nulägesanalys Nya Norrlist AB

Nulägesanalys SSC Skellefteå

Nulägesanalys Drömtrappor AB

Avhandlingar/examensarbeten

Ebadzadeh, S. kommer att försvara sin avhandling under hösten 2019 med den tentativa titeln ” *Study of Patterns of BM Change in a Mature Industry*”, där stora delar av empiri kommer från deltagandet/intervjuer i delprojekt 2.1.

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 5 → TRL 7 Budget: 7 039 358 SEK Partners: Träbransch Norr, Nya Norrlist AB, SSC Skellefteå AB, Snidex AB, Trätrappor Norsjö AB, Vindelåns snickeri AB, Luleå tekniska universitet (projektägare), Linköpings universitet

© RISE Research Institutes of Sweden

11 Delprojekt 2.2 - Kundpreferenser för synligt trä på olika marknader

11.1 Mål och syfte med delprojektet

Huvudmål är att identifiera olika marknaders krav och förväntningar på svenskt furuvirke för olika applikationer, främst interiöra produkter för byggande och boende. Målet är också att dessa studier skall ge snickeriindustrin anvisningar för hur furuprodukter skall anpassas för såväl olika marknader som olika produkter samt behovsbilden avseende teknisk specifikation, information, visualisering m.m. vid E-handel.

Utförargrupp:

Olof Broman	Luleå tekniska universitet
Tomas Nord	Linköpings universitet
Jonas Johansson	SCA
Emilia Markström	Luleå tekniska universitet
Charlotte Dedye Apelgren	Svenskt Trä

Företagsrepresentanter

Mikael Eliasson,	Svenskt Trä,
Lars Engman	TräBransch Norr
Dan Magnusson	SSC Skellefteå AB,
Roger Johansson	Sveaskog
Henrik Dahlbom	SCA
Erik Eliasson	Norra Skogsägarna

Intressenter med naturlig koppling till projektet:
Övriga Träbransch Norr - företag (bestående av ca 100 snickeriföretag i regionen)

11.2 Genomförda aktiviteter

I projektet har arbete utförts inom följande huvudområden:

1. *Undersökningar av slutkunders preferenser för synligt trä, främst furu.*

   Aktiviteten består av två preferensundersökningar där resultatet från den första påverkade den efterföljande undersökningens utformning.

   Studie 1. I samråd med styrelsen beslöts att designa och genomföra en övergripande enkätstudie i Sverige med fokus på människors åsikter och förutfattade meningar om trämaterial som interört material. Studien hade en för ändamålet speciell metodik där påståenden om trä i interiöra miljöer där respondenterna fick svara huruvida de höll med eller ej.

   Allt arbete gjordes av utförargruppen avseende frågebatteri, enkätstudiens design, förintervjuer samt utskick. Studiens webenkät distribuerades ut via mail i december -16 och avslutades i slutet på januari 2017. Ca 260 personer svarade. Rapport finns

© RISE Research Institutes of Sweden

tillgänglig på BioInnivations hemsida. Återkoppling till snickeriindustrin av studiens resultat gjordes vid workshop 1.

Studie 2. I samråd med styrelse beslöts att återstående del av projektet skulle fokuseras på att genomföra en stor internationell studie med många länder undersökta för att tydliggöra likheter och skillnader för interiört trä/furu i hemmiljö i Europa. Frågorställningar som täcktes var:

- Vilka inredningsstilar dominerar och hur passar interiört trä in i dessa stilar?
- Var i hemmet vill konsumenterna ha trä?
- Vilka preferenser gällande utseende av träprodukter finns?
- Vad är viktigt vid köp av heminredningsprodukter?

Studien genomfördes som en enkätstudie i sju europeiska länder; Sverige, Norge, Storbritannien, Polen, Tyskland, Frankrike och Spanien.

Utförargruppen gjorde allt arbete avseende frågebatteri, enkätstudiens design och förintervjuer. Upphandlingar gjordes av följande tjänster:

- Heminredning, stilanalys samt renderade miljöbilder: Visualisera AB, Malmö.
- Språk/översättning: Semantix AB, Stockholm
- Datainsamling och sammanställning/rapportering: Mantap Global AB, Norrköping.

Enkäten innehöll 41 frågor och där så var lämpligt baserad på miljöbilder där respondenterna fick uttrycka sin preferens för interiört trä i ett sammanhang.

Drygt 1000 svarande per land samlades in och resultaten har sammanställts. Resultatet består i 7 landrapporter samt en rapport där alla länders resultat jämförs. Rapporterna är på svenska och engelska. Varje rapport är 150 sidor och en svensk sammanfattning tillika pressrelease är klar (utskick januari 1019 via Svenskt Trä i samarbete med BioInnovation).

2. *Workshops och kunskapsdelning med företagsintressenterna*
En första gemensam workshop för delprojekt 2.1 och 2.2 genomfördes den 1 mars 2017. Drygt 20 företag inom trämanufaktur deltog. De ämnen som behandlades var:

(1) E-handel för det stora och lilla företaget (2) BIM ur ett föreskrivarperspektiv, (3) BIM ur ett producentperspektiv, (4) Handelsmönster för snickeriprodukter och (5) kundpreferenser för interiört trä*, dvs resultat från studie 1*. Intresset och engagemanget var stort bland deltagande företag.

En andra med delprojekt 2.1 gemensam workshop genomfördes den 19 november 2018. Drygt 20 personer inom trämanufakturföretag deltog. Programinnehåll:

(1) Snickeriindustrins behov av råvara. (2) Jämställdhetsarbete för att nå framgång, (3) Handelsmönster för snickeriprodukter och förändrade affärsmodeller, (4) Preferenser för interiört trä i olika länder *dvs resultatstudie 2*, (5) Nya affärsmöjligheter med digital kommunikation, (6) Affärsmöjligheter genom export samt (7) Kompetensförsörjning inom branschen.

© RISE Research Institutes of Sweden

11.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Huvudresultat från projektet är de två preferensstudiernas resultat i rapportform, se Leverabler. Resultaten uppfyller de mål som sattes upp vid projektstart.

Mervärde och resultat är också följande:

- Utförargruppens ökade kunskap och erfarenhet i att genomföra preferensundersökningar med vad allt därtill hör.
- Framtida resurs i form av två färdiga preferensstudier som med lätthet kan återanvändas/repeteras för andra marknader/länder av t.ex. branschorganisationen Svenskt Trä.
- Genomförda workshops och resultatspridning har gett en ökad medvetenhet och kunskap bland träproducerande företag om preferenser och inställning till trä i interiöra miljöer tack vare genomförda studier.
- Rådata, som kommer att användas för forskarstudier

11.4 Effekter av slutresultat

Snickeriindustrin har fått tillgång till och kunskap av resultaten i de två genomförda konsumentstudierna. Det ger dem kvalitativ input hur de skall vidareutveckla sina produkter för interiöra ändamål, både för den svenska marknaden men också för export. Konsumentstudierna är stora och generella vilket borde gagna alla storlekar på snickeriindustriföretag. Resultaten ger också indikationer till hur och vad som ger mervärde för kunderna. Projektets arbete har berett jorden för att Svensk snickeriindustri skall ha förutsättning att även i framtiden kunna utveckla attraktiva produkter för den europeiska marknaden.

11.5 Resultatspridning

Rapporterna (på svenska och engelska) från de två konsumentstudierna kommer innan projektet är slut att vara klara och distribueras till svenska snickeriföretag genom BioInnovation FBBB's nätverk men framförallt genom branschorganisationen Svenskt Trä. En pressrelease och en sammanfattning är förberedd och kommer att presenteras i januari 2019 genom branschorganisationen Svenskt Trä i samarbete med BioInnovation. Spridning kommer också ske genom nätverken Skogsindustrierna, TräbranschNorr, TräCentrumNorr, universiteten LTU och LiU. Resultaten har presenterats vid de workshops med företag som genomförts i projektet.

Den stora spridningen av resultaten sker sålunda efter projekttidens utgång. Företag intresserade av specifika länder skall enkelt kunna hitta/nå dessa rapporter via Svenskt Trä's hemsida.

11.6 Leverabler

Peer-reviewed artiklar

Från studie 2, den stora internationella jämförelsen, finns stora mängder rådata som kommer att studeras vidare av Emilia Markström, doktorand vid LTU Träteknik. Målet är att resultaten från studien skall ingå i hennes doktorsarbete och generera 1-2

© RISE Research Institutes of Sweden

vetenskapliga artiklar i ämnet. Då vi fått tillgång till rådata sent i projektet faller detta arbete/resultat utanför projekttiden men kan tillskrivas projektet.

Konferensartiklar

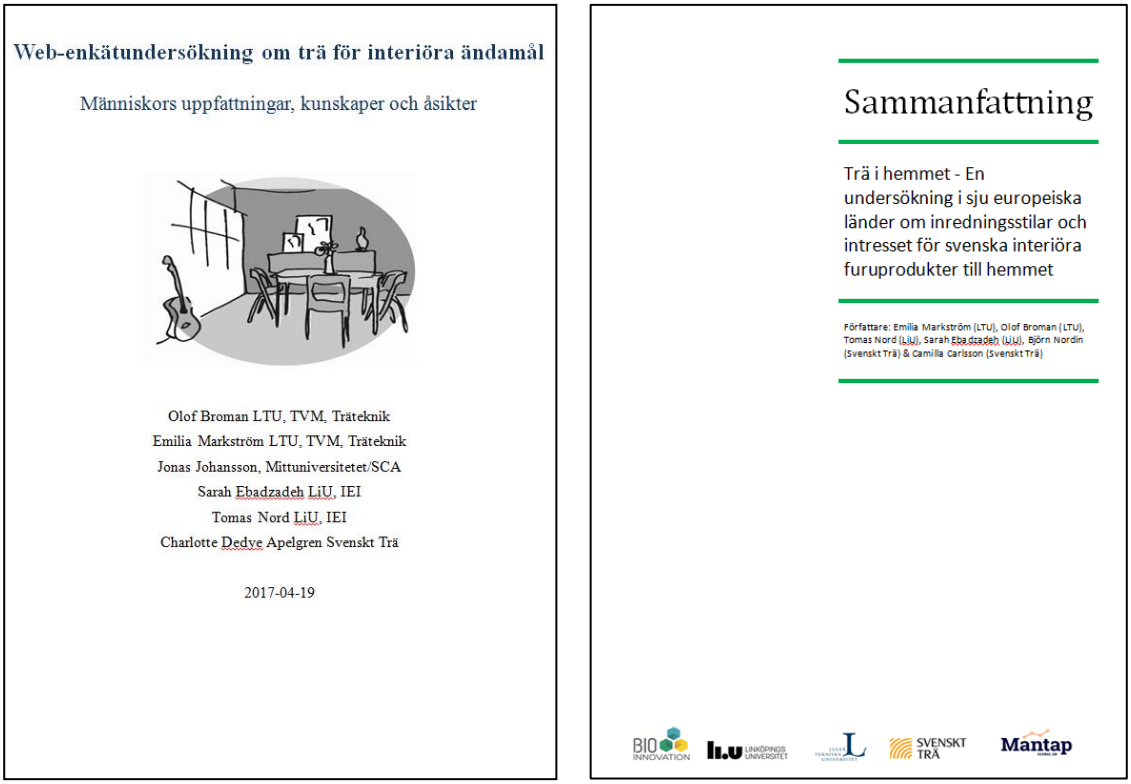
Se ovan. När så är lägligt skall ovan beskrivna doktorandarbete presenteras i form av konferensartiklar och presentationer.

Rapporter

Markström, E., Broman, O., Nord, T., Ebadsadeh, S., Nordin, B., Carlsson, C. (2019) *Trä i hemmet – en undersökning i sju europeiska länder om inredningsstilar och intresset för svenska interiöra furuprodukter till hemmet*. Svenskt Trä, Stockholm Sverige.

Broman, O., Markström, E., Johansson, J., Ebadsadeh, S. Nord, T., Dedye Apelgren, C. (2017) *Web-enkätundersökning om trä för interiöra ändamål - Människors uppfattningar, kunskaper och åsikter*. Luleå tekniska universitet, Skellefteå.

Rapporten från **studie 1**, se Bild 1 vänster, är på svenska och redovisar inte bara resultaten men också hur undersökningen gick tillväga. Rapporten är tillgänglig för alla på BioInnovations hemsida via länken: https://www.bioinnovation.se/nyheter/attityder-till-tra-i-inomhusmiljo/



Figur 4. Studie nr 1 (vä) och sammanfattning av landjämförelsen i studie 2 (hö).

Studie 2. Alla 16 rapporter (150sidor/rapport på svenska och engelska) samt en svensk sammanfattning kommer att vara tillgängliga via branschorganisationen Svenskt Trä's hemsida tillika BioInnovation.

© RISE Research Institutes of Sweden

Avhandlingar/examensarbeten

Om cirka två år kommer delar av projektets resultat (studie 2) vara en delmängd i ett doktorsarbete utfört av Emilia Markströms, doktorand LTU Träteknik.

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 5 → TRL 7 Budget: 5 332 818 SEK Partners: Svenskt Trä, Sveaskog, SCA, Norra Skogsägarna, Träbransch Norr, SSC Skellefteå AB, Linköpings universitet och Luleå tekniska universitet (Olof Broman, projektledare)

© RISE Research Institutes of Sweden

12 Delprojekt 3.1 – Renoveringsprocess

12.1 Mål och syfte med delprojektet

Målet med delprojektet var att utveckla en process för renovering av befintliga byggnader med hjälp av träbaserade prefabricerade element.

Utförargrupp:

Mattias Brännström	Renewinn
Tina Wik	Tina Wik Arkitekter AB
Urban Anjar	Huskomponenter Linghed AB
Yutaka Goto	Chalmers tekniska universitet
NN	Högskolan Dalarna
Lars Ringsby	Falu kommun
NN	Tyréns AB

12.2 Genomförda aktiviteter

Inom projektet utformades en första version av ett tekniskt system för en renoveringsvägg med en bas i KL-trä, se Figur 5. Första omgång försök med infästningar genomfördes för en initial demonstrator. Viss simulering av byggnadsfysikaliska egenskaper genomfördes.

Figur 5. Första prototyp av renoveringsvägg i fabrik.

12.3 Resultat från genomförda aktiviteter

De initiala försöken visade att prototypelementet har tekniska egenskaper som är värda att bygga vidare på. Den demonstratorbyggnad som var planerad för projektet var dock ej möjlig att använda. Svårigheter i att hitta en ersättningsbyggnad fastande i problem med Lagen om Offentlig Upphandling. Detta gjorde att projektet avbröts i förtid under 2016.

© RISE Research Institutes of Sweden

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 2 → TRL 4

Budget: 1 625 818 SEK
Partners: Tina Wik Arkitekter AB, Huskomponenter Linghed AB, Renewinn AB (Projektledare Mattias Brännström), Chalmers tekniska universitet, Falu kommun, Högskolan Dalarna, Tyréns AB.

© RISE Research Institutes of Sweden

13 Delprojekt 3.2 – Informationsflöden för produktionssystem

13.1 Mål och syfte med delprojektet

För att de industriella träbyggarna ska vara konkurrenskraftiga, krävs det effektivisering av produktionen i förhållande till övriga aktörer. En avgörande faktor för industriellt träbyggande är effektiv hantering av information mellan olika funktioner. Kommunikationsformat mellan systemen är inte standardiserat och det saknas standardiserade arbetsprocesser för att effektivt kommunicera information för produktionsberedning med underleverantörer. Felaktig information utifrån innehåll och mängd utgör risker i produktionen. Processen för att utveckla och producera trähus består av många parallella discipliner som alla är beroende av samma information; information om kundanpassade objekt är svåra att följa och hantera genom produktion. Automatisering av både benämning och bearbetning av dessa objekt är viktig för att minska belastning och stötta kvalitet på leveranser från projektering. Med hög grad av automatisering vid generering av modeller och information i CAD[4]-system, så kan komponenter skapas för varje orderspecifikt projekt. Utifrån denna beskrivning så har DP 3.2 arbetat med följande målbaserade syfte.

- Identifiera arbetssätt att använda CAD-system så att designautomation och maskinstyrning tillsammans ger en säkrare och snabbare uppdaterad informationsmängd i projekteringen och mot fabriksproduktion.
- Identifiera arbetssätt att använda CAD-system så att maskinstyrning och operatörsbeskrivning tillsammans resulterar i snabbare och mer måttsäker montering i produktion.
- Utveckla metoder och arbetssätt, där designautomation och maskinstyrning tillsammans kan skapa en snabbare uppdaterad och mer tillförlitlig informationsmängd i projektering och mot fabriksproduktion.

Tiden ska ge utrymme för att operatörer i projektering och produktion skall kunna säkerställa takten samt ge utrymme för erfarenhetsåterföring mellan projekt och tillbaka inom projekten till projektering, inköp, logistik och ledande funktioner. Delprojektet omfattade tre testfaser under projekttiden; *Länkade informationsflöden*, *Visualisering av informationsflöden* för industriellt byggande samt *Maskinstyrning* med sikte på kopplingen mellan maskinstyrning och operatörsbeskrivning av projektunika objekt från underleverantör. För att uppnå syftet och målet med projektet har följande frågeställningar formulerats:

- Hur kan maskinberedning utvecklas för att bättre överbrygga mellan projektering och produktion både internt och mot underleverantörer?
- Hur kan strukturer stötta informationsflödet med automatgenererade funktioner i BIM[5]-miljö?

[4] CAD - Computer Aided Design - Avser att arbeta med digitalt baserad design och skapande av ritningar.
[5] BIM - Building Information Modelling - Beskriver en arbetsmetod för att arbeta med information rörande en byggnad samlad i en digital modell.

© RISE Research Institutes of Sweden

- Hur kan ritningar ersättas för att kommunicera produktionsinstruktioner i fabrik?

Utförargrupp:

Gustav Jansson	Luleå tekniska universitet
Jani Mukkavaara	Luleå tekniska universitet

Företagsrepresentanter:

Ola Adolfsson	Flexator
P-O Landstedt	Derome Plusshus
Helena Lidelöw	Lindbäcks bygg

13.2 Genomförda aktiviteter

För att identifiera nya arbetssätt att använda informationen som skapas i CAD-system vid projektering och för att utveckla metoder inom produktionsberedning för informationsflödet mot produktionssystemen så har ett antal aktiviteter genomförts under projektet, se Tabell 6. Tillsammans med aktörer från delprojekt *3.3 Informationsflöden i värdekedjorna* har ett antal workshops genomförts. Representanter från akademi och industri diskuterade och analyserade olika temaområden som kopplade till frågeställningar, utmaningar och potentiella innovationer inom projekten. Kontinuerligt under projektet har möten genomförts mellan industripartners-akademi-konsulter. Delprojektet har haft en hög grad av tillämpning av olika systemlösningar där digitala demonstratorer testats och utvärderats utifrån frågeställningar och målsättningar. Kombinationen av konsulter och akademi har utvecklat dessa demonstratorer under projekttiden.

Tabell 6. Redovisning av genomförda aktiviteter.

Typ	**Inriktning**	**Deltagare**	**Plats**	**Tid**
Kick-off	Plattformar och informationsflöden	Industri Akademi	Nässjö	Feb16
Workshop	PLM[6] och informationsflöden	Industri Akademi	Nässjö	Nov16
Workshop	Effektivare produktion – nya IT-system	Industri Akademi	Växjö	Jun17
Omvärldsanalys	System för att koppla CAD mot olika produktionssytem	Akademi	-	Jan16-Jun17
Utveckling demonstrator	Testfas *Maskinstyrning* Revit MWF mot Randek och Weinmann	Akademi Lindbäcks Bygg	Öjebyn	Aug16-Jun18

[6] PLM - Product Lifecycle Management - En process för att hantera en produkt över dess hela livscykel inom IT-system.

© RISE Research Institutes of Sweden

		Konsult		
Utveckling demonstrator	Testfas *Maskinstyrning* designautomation Revit MWF+Dynamo för olika byggdelar	Akademi Lindbäcks Bygg Konsult	Öjebyn	Aug16-Jun18
Utveckling demonstrator	Testfas *Maskinstyrning* Revit mot Hundegger exemplet högben	Akademi Flexator Konsult	Anneberg	Nov16-Sep17
Kartläggning	Testfas *Länkade informationsflöden* mellan projektering och produktion, standardoperationsblad	Derome Plusshus Derome A-Hus Eksjöhus Lindbäcks Bygg	Platsbesök företag	Nov17 - Maj18
Utveckling demonstrator	Testfas *Visualisering informationsflöden* operationsblad	Derome Plusshus Lindbäcks Bygg	LTU	Nov17 – Jun18
Workshop och benchmarking	Industriellt byggande och informationsflöden	Industri Akademi Gäst (Emtunga)	Göteborg	Jun18
Utveckling demonstrator	Testfas *Visualisering informationsflöden* produktionssimulering	Derome Plusshus Lindbäcks Bygg	LTU	Juni18 – Sept18

13.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Huvudsyftet med delprojekt *3.2 Informationsflöde för produktionssystem* var att identifiera nya arbetssätt och utveckla metoder för designautomation, maskinstyrning och digitala produktionsinstruktioner. Målet var att effektivisera beredningsprocessen genom att ersätta manuella och ritningsbaserad informationshantering med digitala informationsflöden mellan projektering, produktionsberedning och produktion. Detta mål har bidragits till genom att från ovan beskrivna aktiviteter producera resultat mot tidigare ställda frågor.

© RISE Research Institutes of Sweden

Hur kan maskinberedning utvecklas för att bättre överbrygga mellan projektering och produktion både internt och mot underleverantörer?

Inom projektet har kunskap om att ta fram automation erhållits men även kunskap om det mänskliga gränssnittet som behöver hanteras vid överföring och kravställning av informationsutbyte. Ett standardiserat flöde inom en organisation kan inte skapa skaleffekter om inte omkringliggande leverantörsnät är analyserat utifrån effektivt informationsflöde. Inom testfasen *Maskinstyrning* utvecklades gränssnitt mellan projektering byggare till underleverantör, vilket beskrev hur automation kan effektivisera processen. Utvecklingen av automatisk maskinberedning beskriver ett motsvarande informationsflöde som verkstadsindustrin har beskrivit. För industriella byggare medför det begränsade utbudet av fleroperationsmaskiner att stegen kan automatiseras mellan CAD och CNC[7]-maskin. Steg mellan modellering (CAD-system) – geometrianalys (CAD-plugin) – kodgenerering (CAD-plugin) identifierades som väsentliga för utvecklingen av testmiljön vilket kan härledas till TRL 6 nivå.

Hur kan strukturer stötta informationsflödet med automatgenererade funktioner i BIM-miljö?

Projektet har bidragit till kunskap om hur information från BIM-modeller kan vidareförädlas och kopplas mot olika maskinstyrningar samt hantering av unika objekt inom flödet ska hanteras för maskinstyrning. Kunskap om hur designautomation genom geometrianalys och relationshantering kan tillämpas för effektivare generering av byggdelar, vilket har identifierats och presenterats för ingående aktörer. Detta utifrån vilken grad av fördefinition som de industriella byggarna har i sitt produkterbjudande. Bidrag inom vetenskapliga publikationer har analyserat fokusområden som inbyggd energi och baserat på den tillämpade kunskapen om design-automation, fördefinition på byggdelar och objektstrukturer inom projektet. Informationsstrukturer som styr maskinutrustning och det operativa arbetet som standardiserade arbetssätt (Standardoperationsblad, SOB[8]) genomfördes inom testfasen *Länkade informationsföden*. Genom att kartlägga flödet hos Lindbäcks Bygg, Derome Plusshus och Flexator har kunskap om och beskrivning av det operativa arbetet (processen) med koppling till byggdelar (produkten) identifierats och strukturerats till TRL 6 nivå. Kunskapen om strukturer för SOB:ar och strukturer för byggdelar har fungerat som underlag i den PLM-demonstrator som utvecklats för DP3.2 och DP3.3 inom FBBB.

Hur kan ritningar ersättas för att kommunicera produktionsinstruktioner i fabrik?

Testfaserna *Maskinstyrning, Länkade informationsflöden* och *Visualisering av informationsflöden* har inom projektet visat på flertalet exempel på hur ritningar kan ersättas med byggdelsdata, IT-system och med hjälp av spelmotorer. Analysen av de praktiska tillämpningarna med demonstratorer visar på att möjligheten att brygga information mellan CAD-system och produktionssystem kan tillämpas och kan ersätta det mellanled där information från ritningar ska tolkas och överföras manuellt. Den digitala produktionsberedningen visar också hur en ökad robusthet i informationsleveranserna kan ge en effektivare produktion som även ger beställarledet

[7] CNC - Computer Numerical Control - Avser ett datorsystem för att styra verkstadsmaskiner.

[8] SOB - StandardOperationsBlad - En standardiserad beskrivning av arbetsmoment i produktion.

© RISE Research Institutes of Sweden

fler frihetsgrader utan att anpassningar förloras i produktframtagningen. Beroende på den tågordning som gäller för utveckling inom byggandet så befinner sig de framtagna resultaten till TRL 5 och utvecklad tillämpning till TRL 6 med motivering att validering och demonstration ofta sammanfaller och görs simultant i faktiska projekt.

13.4 Effekter av slutresultat

Företagen som medverkat inom delprojekt FBBB 3.2 och 3.3 har alla lämnat positiv respons gällande vilka effekter som projektet och dess nätverk inneburit. Åtta av Sveriges framstående trähusbyggare, som tillverkar små- och flerbostadshus i fabrik, gavs möjlighet till nätverkande, kunskapsöverföring och ny kunskap som skapades i samband med träffar och workshops. Kunskap om konstruktionslösningar, produktionslösningar, inköpskanaler och studiebesök hos varandra är några av exemplen på effekter som projektet uppnått gällande nätverkande.

Testfasen *Maskinstyrning* tillämpades på två av företagen (Lindbäcks Bygg, Flexator). Lindbäcks Bygg gavs möjlighet att utvärdera nya tillämpningar med maskinstyrning för objektorienterade system. Genom att utmana både de befintliga programleverantörerna på marknaden och även utvärdera nya aktörer så har förståelse, strategier och nya system för hur informationsflöden utvecklas hos Lindbäcks Bygg i samband med uppstart av deras nya fabrik på Haraholmen. Konstruktionschef *Helena Lidelöw* berättar att Lindbäcks Bygg som till en början hade fokus på kopplingen mellan CAD och Maskinstyrning övergick till att även innefatta objektstrukturer och flödet för produktionsinformation. Parallellt med projektet har och pågår en utveckling av en så kallad supermatris som hanterar informationsflödet i värdekedjorna vilket är en effekt av slutresultaten ifrån projekten FBBB 3.2 och FBBB 3.3. Flexator har för närvarande fortsatt att utveckla flertalet funktioner för automatisk objekthantering i CAD-systemen. Verkställande direktör *Ola Adolfsson* beskriver att dubbelarbete har minskats genom effektivare informationshantering från CAD-systemen samt att produktionsarbetet har utvecklats genom inspiration från de simuleringar som genomförts inom testfasen *Visualisering för informationsflöde*. *Ola Adolfsson* beskriver även vikten av gott samarbete med akademin där rekrytering, utveckling, samverkan med andra företag, leverantörer, läroverk ger positiv input in i verksamheten. Kommunikation med leverantörsledet har fått högre beredningsgrad Flexator vilket inneburit att de anställt en produktionstekniker.

Företagen beskriver att projektet bidragit med kunskap om stödjande system för informationsflöden. Men enligt dem är närvaron och frågeställningar kring standardiserat arbetssätt det största bidraget för produktion. Effekter av projektet är att två av företagen har utvecklat egna IT-system för att stötta det operativa arbetet i fabrik samt att ett forskningsprojekt inom Smart Built Environment (Uppkopplad byggplats) genererats från projektet, vilket ger möjligheten till vidareutveckling för IT-stöd för byggplats. Simuleringen av produktionssekvensen inom testfasen *Visualisering informationsflöde* har lett till mer modellering med hjälp av spelmotorer i projektet *Uppkopplad Byggplats*. Planer finns också kring att flytta kunskaper från fabriksmiljö till byggplatsmiljö i fortsatta forskningsprojekt med akademin.

© RISE Research Institutes of Sweden

13.5 Resultatspridning

- Oktober 2018 Träkvalitetsdagen och Stora Trähus på Lidingö i oktober 2018
- Q4 2017 – Q2 2018 I samband med kartläggningen hos deltagande företag
- Juni 2017 industriworkshop ”Nybyggnation i trä” så fokuserades arbetet på Effektivare produktion – nya IT-system. Resultatet från workshoppen visar på behovet av objektstrukturer för att hantera ritningslös produktion. Montageinstruktioner med filmer eller VR/AR som underlag identifierades.
- September 2017 Akademisk workshop ”Objektstrukturer” genomfördes med syfte att definiera begrepp för informationsflöden inom industriellt husbyggande i trä. Baserat på utfallet från industriworkshoppen i juni diskuterades och analyserades olika objektstrukturer för projektering och produktion i benämningarna Bill-Of-Materials (BOMs).
- Resultaten har även blivit kursmaterial i doktorandkursen ”Product Platforms” som examineras av JTH, och kursen ” Platforms, Configuration and Optimization” på avancerad nivå inom masterprogrammet, Sustainable BIM, som även den examineras vid JTH.
- Projektet har uppmärksammas i media och spridits till över 10-talet tidningar. https://www.ltu.se/ltu/media/news/Dataspelsteknik-kan-hjalpa-trahusbyggare-1.180581?l=en

13.6 Leverabler

Demonstratorer

PLM-demonstrator för visualisering av produktionsinformation och simulerade produktionsflöden

Peer-reviewed artiklar

Jansson, G., Viklund, E., Olofsson, T. (2018). Artistic and Engineering Design of Platform-Based Production Systems; A Study of Swedish Architectural Practice, *Journal of Buildings, volume (8), Special Issue Aesthetics and Design Review: Managing Design Outcomes*. doi:10.3390/buildings8020034

Mukkavaara, J., Shadram, F., (2017). An Integrated BIM-based framework for the optimization of the trade-off between embodied and operational energy, *Journal of Energy and Buildings, volume (158) 1189-1205*.

Konferensartiklar

Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson T. (2018) Interactive visualization for information flow in production chains: Case study industrialised house-building. *Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany, 2018, pp. 235-242*

Mukkavaara, J., Jansson, G., Olofsson, T. (2018) Structuring information from BIM: A glance at bills of materials. *Proceedings of the 35th ISARC, Berlin, Germany, 2018, p. 362-368*

© RISE Research Institutes of Sweden

Mukkavara, J., Shadram, F. (2017). A BIM-based method for analyzing the trade-off between embodied- and operational energy, *Proceedings of the 2017 International Conference on Construction and Real Estate Management 2017, Guangzhou, China*.

Lidelöw, H., Jansson, G., (2017). The effect of pre-engineering on design management methods, *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2017*, Heraklion, Greece.

Jansson, G. (2016), Flow-Oriented Contracting in Industrialized House-Building, *Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management 2016*, Edmonton, Canada.

Sandberg, M., Gerth, R., Lu, W., Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson, T. (2016). Design automation in construction: An overview, *Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016,* Brisbane, Australia.

Viklund, E., Sandberg, M., Lidelöw H. and Jansson G. (2016) Modularization based on commonalities in house-building requirements, *Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management 2016, Edmonton, Canada*.

Avhandlingar/examensarbeten

Saade, A (2017). *VR som arkitektoniskt kommunikationsverktyg: Realtidsvisualisering i designprocessen*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Hussamadin, R. (2018). *Distribuerad förstärkt verklighet för att stödja kommunikation mellan arkitekt och beställare*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 6 → TRL 7

Budget: 3 686 000 SEK
Partners: Luleå Tekniska Universitet (Gustav Jansson, projektledare), Lindbäcks Bygg, Plusshus Derome, Flexator

© RISE Research Institutes of Sweden

14 Delprojekt 3.3 – Informationsflöden i värdekedjorna

14.1 Mål och syfte med delprojektet

Världen står inför en klimatutmaning där koldioxidutsläpp och användandet av råvaror påverkar jordens framtid. Sverige utpekas som en nation om och med kunskap med lång erfarenhet av trähusbyggande för bostäder. Det industriella byggandet med trä som konstruktionsmaterial har pekats ut som en framkomlig väg för att minska påverkan vid byggnation och hantera utmaningen utifrån ett globalt perspektiv. För att denna del av branschen ska bli konkurrenskraftig så krävs det effektivisering av produktionen, som är det särskiljer denna typ av byggande i förhållande till övriga aktörer. En avgörande del för dessa företag är hanteringen av information mellan olika funktioner. Felaktig information utifrån innehåll och mängd utgör risker i produktionen. Utifrån denna beskrivning så har delprojekt 3.3 arbetat med följande målbaserade syfte:

- Utveckling av standardiserade strukturer för informationsflöde.
- Utveckling av BIM-metoder för industriellt byggande där CAD[9]-system och affärssystem tillsammans kan möta olika produktdefinitioner.
- Identifiera arbetssätt för att använda CAD-systemen med PLM[10]-system så den modellorienterade informationen kan hanteras mellan projektering och materialhantering för lagerhantering, produktionsberedning och transport.

När de industriella husbyggarna strävar efter högre nivåer av automation och ett sömlöst informationsflöde i värdekedjorna, ställs högre krav på hur information struktureras så att olika system har möjlighet att möta samma informationsmängd. För detta har ett antal frågeställningar identifierats och bearbetats under delprojektets gång:

- Hur kan informationsstrukturer möta produkterna hos industriella trähusbyggare?
- Vilka olika informationsstrukturer kan vara intressanta att nyttja sig utav?
- Hur kan olika informationsstrukturer användas för att brygga mellan olika IT-system?
- Hur kan befintliga CAD- och BIM[11]-system möta dessa informationsstrukturer?

Utförargrupp:
Gustav Jansson — Luleå tekniska universitet
Jani Mukkavaara — Luleå tekniska universitet
Martin Lennartsson — Jönköping University

[9] CAD - Computer Aided Design - Avser att arbeta med digitalt baserad design och skapande av ritningar.
[10] PLM - Product Lifecycle Management - En process för att hantera en produkt över dess hela livscykel inom IT-system.
[11] BIM - Building Information Modelling - Beskriver en arbetsmetod för att arbeta med information rörande en byggnad samlad i en digital modell.

© RISE Research Institutes of Sweden

Företagsrepresentanter:

Joachim Svedin	Anebyhus
Stefan Ferrari	BoKlok
Maria Caverö	Derome
David Norrman	Eksjöhus
David Ullinder	Götenehus
Leif Isacsson	OBOS

14.2 Genomförda aktiviteter

För att undersöka hur olika informationsflöden hanteras längs värdekedjorna för industriellt trähusbyggande har delprojektet valt att genomföra ett antal olika aktiviteter, se Tabell 7. Dessa aktiviteter inleddes med ett antal workshops där akademi och industri diskuterade och bearbetade ämnesområdet från olika infallsvinklar. Senare under delprojektets gång genomfördes kartläggningar hos företagen för att dels bygga en förståelse för nuläget men även för att samla in information för de två demonstratorer som utvecklats inom ramen för projektet.

Tabell 7. Redovisning av genomförda aktiviteter.

Typ	**Inriktning**	**Deltagare**	**Plats**	**Tid**
Kick-off	Plattformar och informationsflöden	Industri Akademi	Nässjö	Feb16
Workshop	PLM och informationsflöden	Industri Akademi	Nässjö	Nov16
Kartläggning	Test-fas *Länkade informationsflöden* Projektering till produktion	Anebyhus Konsult	-	Nov16 – Apr17
Workshop	Effektivare produktion – nya IT-system	Industri Akademi	Växjö	Jun17
Workshop	Test-fas *BOM-strukturer* Objektstrukturer och digitala system som ska stödja gränssnittet mellan projektering och inköp för produktion	Akademi	Jönköping	Sep17
Workshop	Test-fas *BOM-strukturer* Objektstrukturer och digitala system för gränssnittet mellan BIM-objekt för	Akademi	Luleå	Feb18

© RISE Research Institutes of Sweden

	produktion i fabrik			
Kartläggning	Test-fas *Länkade informationsflöden* Projektering till produktion	Derome Plusshus Derome A-Hus Eksjöhus Lindbäcks Bygg	Platsbesök företag	Nov17 - Maj18
Workshop och benchmarking	Industriellt byggande och informationsflöden	Industri Akademi Gäst (Emtunga)	Göteborg	Jun18
Omvärldsanalys	System för att koppla CAD mot olika affärssystem	Akademi	-	-
Utveckling demonstrator	Testfas *Visualisering av informationsflöden* Simulera och visualisera informationsflöde	Akademi Derome Plusshus Lindbäcks Bygg	-	Nov18-Jun18
Utveckling demonstrator	Testfas *Länkade informationsflöden* PLM-system mot industriellt husbyggande	Akademi Derome Plusshus Konsult	-	Nov18-Jun18

14.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Att bidra till skapandet av det sömlösa informationsflödet i värdekedjorna där en sammankoppling av olika informationsflöden kan bidra till att öka transparensen i system och tillhandahålla en uppdaterad informationsmängd nedströms för inköp, materialhantering och produktion. Genom detta har delprojektet 3.3 i huvudsak adresserat det övergripande målet för FBBB att bidra till en effektivare produktion av industriellt tillverkade flervåningshus med trästomme. Detta mål har stöttats genom att från ovan beskrivna aktiviteter producera resultat mot tidigare ställda frågor.

Hur kan informationsstrukturer möta produkterna hos industriella trähusbyggare?

Omvärldsanalysen och genomförda workshops inom testfasen *BOM-strukturer* gav insikter i att strukturer med stöd av Bills-of-Materials (BOM[12]) från den fasta industrin kan appliceras på objektbaserad information i värdekedjorna för att beskriva produkter och relationerna mellan en produkts delar under olika skeden av dess livscykel.

[12] BOM - Bills of Materials - Ett sätt att beskriva nedbrytningen av en produkt som kan användas inom IT-system för att organisera information.

© RISE Research Institutes of Sweden

Eftersom den fasta industrin alltmer behöver IT-system som hanterar sökbara objektstrukturer istället för artikelbaserade IT-system är teorier för objekthantering intressanta även för icke-artikelbaserade eller delvis artikelbaserade verksamheter såsom byggandet. Dessa informationsstrukturer för objektbaserad information skapar ett underlag för informationsflödet i värdekedjorna där gemensamma strukturer ger möjlighet för kommunikation av industriellt byggande, både inom företagen men även mot underleverantörer och konsulter. Genom utvecklingen av en demonstrator i testfasen *Visualisering av informationsflöden* så visades även att en visualisering av ett objektbaserat informationsflöde mellan projektering och produktion med dessa informationsstrukturer kan uppnås genom tillämpning av metoder där VR-miljöer appliceras.

Vilka olika informationsstrukturer kan vara intressanta att utnyttja sig utav?

Resultat från testfaserna *Länkade Informationsflöden* och *BOM-strukturer* visade att parallella aktörer inom processen är beroende av samma information. En utmaning med detta är att de olika aktörerna kan vara i behov av information med olika strukturer under olika skeden av en produkts livscykel. Inom ramarna för BOM så kan en mängd olika strukturer hanteras för att möta olika skeden av en produkts livscykel. För industriella byggare innebär detta bland annat att formen E-BOM[13] kan användas för projektering, M-BOM[14] för produktionssekvens och P-BOM[15] för produktion med ingående processer. Allteftersom en produkt färdas igenom de olika skedena så transformeras BOM-strukturerna för att bibehålla det sömlösa informationsflödet. Detta innebär bland annat att en E-BOM blir till en M-BOM och att en M-BOM blir till en P-BOM. Under utvecklingen av demonstratorn för PLM-system mot industriella byggare inom testfasen *Länkade Informationsflöden* testades dessa tre informationsstrukturer och deras transformationer. Resultatet från detta visade att produkter hos industriella byggare kan brytas ner i olika BOM-strukturer och att transformation mellan dessa kan ske men att en hög nivå av automation av informationshantering krävs för att uppnå effektivitet.

Hur kan olika informationsstrukturer användas för att brygga olika IT-system?

I testfasen *Länkade Informationsflöden* framgick det att företagen använder sig utav en mängd olika IT-system som kan behöva överbryggas för att mer effektivt kunna tillhandahålla en uppdaterad informationsmängd. Vidare framgick det att kommunikation mellan IT-systemen inte är stan-dardiserat. Ett resultat från delprojektet visar att kommunikation mellan IT-system kan åstadkommas genom att tillämpa metoder där mellanprogramvaror tillsammans med strukturer för objektbaserad information (t.ex. BOM) ansvarar för informationsöverföring. Genom detta arbetssätt kan man frångå att endast förlita sig på standardiserade format för informationsutbyte och istället bygga förutsättningar för flexibla gränssnitt mellan IT-system som möter kraven hos de industriella byggarna.

[13] E-BOM - Engineering BOM - En BOM avsedd för design eller projektering, visar på en funktionell nedbrytning.
[14] M-BOM - Manufacturing BOM - En BOM avsedd för tillverkning, visar på sekvensen för tillverkningen av en produkts delar.
[15] P-BOM - Production BOM - En BOM avsedd för produktion, inkluderar både sekvensen men även vilka processer som krävs.

© RISE Research Institutes of Sweden

Hur kan våra befintliga CAD- och BIM-system möta dessa informationsstrukturer?

Resultaten från testfasen *BOM-strukturer* visar att CAD- och BIM-systemen behöver ha funktionalitet där relationer mellan objekt måste kunna beskrivas på en nivå som skapar en produktrepresentation med god spårbarhet. Tillämpning av automatisk objektsbenämning i CAD-system baserat på regler från byggplattformar som metod minskar mängden av manuellt arbete samtidigt som det skapar förutsättningar för att arbeta med ett konsekvent benämningssystem vilket underlättar för integrationen av IT-system i värdekedjan.

Beroende på den tågordning som gäller för utveckling inom byggandet så befinner sig de framtagna resultaten i häradet TRL 5 och TRL 6 med motivering att validering och demonstration ofta sammanfaller och görs simultant i faktiska projekt.

14.4 Effekter av slutresultat

De medverkande företagen beskriver att projektet bidragit med kunskap om stödjande informationsstrukturer för informationsflöden. Begreppet Bills-of-Materials som behandlats och studerats under projektets gång har haft en central roll för att stödja olika faser av en kundorder. Effekten av detta kan ses hos Myresjöhus där *Leif Isacsson*, forskning- och utvecklingsansvarig, menar att deras medverkan i projektet gett underlag för att ”*välja en väg framåt som utvecklade implementeringen av ett nytt affärssystem med funktioner att hämta information från kundorderspecifika BIM-modeller*”. Parallellt med detta projekt har Lindbäcks Bygg implementerat ett system som arbetar med att koordinera några utav BOM-strukturerna inom organisationen. *Helena Lidelöw*, konstruktionschef, beskriver att, trots att det skett fristående från projektet, har ”*värdefulla erfarenheter kunnat utbytas*”. Hos Lindbäcks Bygg har även en person anställts som enligt Helena Lidelöw *”… arbetar på heltid med att organisera information till produktionen i vårt nya Manufacturing Execution System*”. *Maria Caverö*, systemansvarig för CAD på A-Hus anger att ingen nyanställning i dagsläget skett baserat på projektets resultat men lyfter att det på sikt kan leda till ”*förbättringar eller klokare val som leder till ökad konkurrenskraft och troligen fler medarbetare*”. Vidare anger Maria Caverö att, även fast inga konkreta förändringar har skett hos A-hus baserat på resultaten, att ”*med fortsatt utveckling kring området är det troligt*”.

Resultaten leder inte till några signifikanta förändringar i värdekedjan. Emellertid så kan det på sikt ske ett skifte i vilken typ av kompetens och arbetskraft som efterfrågas av företag för ett mer digitalt och semi-automatiskt informationsflöde. Historiskt sett har denna typ av förändringar stött på motstånd från de traditionella aktörerna i branschen, något som kan behöva bevakas i det fortsatta arbetet. I och med att det hittills endast genomförts initiala test så behövs det fler studier i större skala för att den utpekade riktningen ska få fullt genomslag. Tillämpningar från verkstadsindustrin öppnar upp för konsultföretag att erbjuda tjänster, men det kommer förmodligen att krävas ytterligare kartläggning av flöden och strukturer i respektive företag för att skräddarsy individuella lösningar.

Intresset från projektet och resultaten har bidragit till att flera utav de deltagande företagen fortsatt intresserat sig av vidare studier och projekt. *Maria Caverö* på A-Hus nämner ”*digitalisering och automation*” som viktiga områden samt att hon lyfter att de

© RISE Research Institutes of Sweden

kommer att i framtiden satsa vidare på projekt som vidareutvecklar mot att ”samma information används genom hela processen”. *Helena Lidelöw* berättar att Lindbäcks Bygg redan fortsatt att engagera sig i nya projekt (Uppkopplad Byggplats), där erfarenheter från fabrik ska tas till byggarbetsplatsen. Vidare nämner hon att utvecklingsfrågor som är viktiga framöver inkluderar att ”*bygga en professionell kompetensbas både på akademi och industri i gränssnittet mellan byggande och produktionsteknik*” samt ”*nya yrkesroller inom automation, programmering, konfigurering och BIM*”.

14.5 Resultatspridning

Genom projektets genomförande har ett antal aktiviteter genomförts löpande för att sprida de framkomna resultaten:

- Oktober 2018 Träkvalitetsdagen och Stora Trähus på Lidingö i oktober 2018.
- September 2018 I samband med Wood Building Nordic hade FBBB en monter där två representanter för 3.3 deltog samt att forskningsresultat presenterades under titeln ”Digitalization allows a production flow for customized wooden houses”.
- Juni 2018 Resultatspridning via workshop företag Göteborg både inom projektet men även till kollegor i motsvarande bransch för bostadsbyggande i offshore-industrin.
- Q4 2017 – Q2 2018 I samband med kartläggningen hos deltagande företag.
- Juni 2017 industriworkshop ”Nybyggnation i trä” så fokuserades arbetet på Effektivare produktion – nya IT-system. Resultatet från workshoppen visar på behovet av objektstrukturer för att hantera ritningslös produktion. Montageinstruktioner med filmer eller VR/AR som underlag identifierades.
- September 2017 Akademisk workshop ”Objektstrukturer” genomfördes med syfte att definiera begrepp för informationsflöden inom industriellt husbyggande i trä. Baserat på utfallet från industriworkshoppen i juni diskuterades och analyserades olika objektstrukturer för projektering och produktion i benämningarna Bill-Of-Materials (BOMs).
- Resultaten har även blivit kursmaterial i doktorandkursen ”Product Platforms” som examineras av JTH, och kursen ” Platforms, Configuration and Optimization” på avancerad nivå inom masterprogrammet ”Sustainable BIM”, som även den examineras vid JTH.
- Projektet har uppmärksammas i media och spridits till mer än tiotalet tidningar.

14.6 Leverabler

Demonstratorer

- Demonstrator som utnyttjar VR-teknologi för att simulera och visualisera informationsflöde.
- Demonstrator för PLM-system mot industriellt husbyggande.

© RISE Research Institutes of Sweden

Peer-reviewed artiklar

Jansson, G., Viklund, E., & Olofsson, T. (2018). Artistic and Engineering Design of Platform-Based Production Systems: A Study of Swedish Architectural Practice. *Buildings*, 8(2), 34.

Shadram, F., & Mukkavaara, J. (2018). An integrated BIM-based framework for the optimization of the trade-off between embodied and operational energy. *Energy and Buildings*, 158, 1189-1205.

Konferensartiklar

Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson T. (2018). Interactive visualization for information flow in production chains: Case study industrialised house-building. In *Proceedings of the 35th ISARC,* Berlin, Germany, pp. 235-242.

Mukkavaara, J., Jansson, G., Olofsson, T. (2018). Structuring information from BIM: A glance at bills of materials. In *Proceedings of the 35th ISARC,* Berlin, Germany, pp. 362-368.

Shadram, F., Mukkavaara, J., Schade, J., Sandberg, M., Olofsson, T. (2017). A BIM-based method for analyzing the trade-off between embodied- and operational energy, *Proceedings of the 2017 International Conference on Construction and Real Estate Management, Guangzhou, China*.

Lidelöw, H., Jansson, G., (2017). The effect of pre-engineering on design management methods, In *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2017*, Heraklion, Greece.

Jansson, G. (2016). Flow-Oriented Contracting in Industrialized House-Building, In *Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management,* Edmonton, Canada.

Sandberg, M., Gerth, R., Lu, W., Jansson, G., Mukkavaara, J., Olofsson, T. (2016). Design automation in construction: An overview. In *Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016,* Brisbane, Australia.

Viklund, E., Sandberg, M., Lidelöw H. and Jansson G. (2016). Modularization based on commonalities in house-building requirements. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Construction and Real Estate Management*, Edmonton, Canada.

Avhandlingar/examensarbeten

Saade, A (2017). *VR som arkitektoniskt kommunikationsverktyg: Realtidsvisualisering i designprocessen*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Hussamadin, R. (2018). *Distribuerad förstärkt verklighet för att stödja kommunikation mellan arkitekt och beställare*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Mukkavaara, J. (2018). *Structures for supporting BIM-based automation in the design process*. Licentiate thesis, Luleå University of Technology.

© RISE Research Institutes of Sweden

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 6 → TRL 7

Budget: 2 600 000 SEK
Partners: Luleå Tekniska Universitet (Gustav Jansson, projektledare), Jönköpings Tekniska Högskola, A-Hus, Anebyhusgruppen, Eksjöhus, Myresjöhus, BoKlok

© RISE Research Institutes of Sweden

15 Delprojekt 4.1 – Tunnare, effektivare bjälklag

15.1 Mål och syfte med delprojektet

Målet med delprojektet var att hjälpa industrin att ta fram effektivare bjälklag (lägre bygghöjd, längre spännvidd med bibehållen prestanda, förbättrad prestanda och bättre robusthet i utförande vid bibehållen bygghöjd/spännvidd).

Syftet med projektet var att:

- Ta fram beräkningsmodeller för att kunna prediktera ljudtryck i underliggande rum orsakat av stegbelastning ovan bjälklaget.
    - Verifiera beräkningsmodellen med hjälp av experiment.
    - Genomföra parameterstudier och design av nya effektivare bjälklag för att undersöka inverkan av olika faktorer såsom styvhet, massa och olika materialkombinationer.
- Undersöka upplagsförhållandenas styvhet för att ta fram indata för beräkningsmodeller.
- Undersöka möjligheten att optimera bjälklag med låg höjd och hög styvhet.
- Ta fram en prototyp för ett innovativt effektivt bjälklag.

Utförargrupp:

Jörgen Olsson	RISE (Doktorand Linnéuniversitetet)
Andreas Linderholt	Linnéuniversitetet
Åsa Bolmsvik	Linnéuniversitetet
Michael Dorn	Linnéuniversitetet
Michael Schweigler	Linnéuniversitetet
Mohammad Al-Emrani	Chalmers tekniska högskola
Rasoul Atashipour	Chalmers tekniska högskola

Företagsrepresentanter:

Johan Blixt	CBBT
Anders Carlsson	Derome
Anders Persson	Midroc
Henrik Ödeen	Moelven byggmodul
Carl-Johan Sigfridsson	OBOS
David Norrman	Eksjöhus
David Ullinder	Götenehus

15.2 Genomförda aktiviteter

En första workshop genomfördes med deltagande parter inom projektet 2016-06-14 hos Derome, Anneberg. Inför detta möte hade visst underlag tagits fram med krav, innovationsmöjligheter inom byggtillämpningar, dvs. metoder och ny teknik som används inom andra branscher t.ex. farkostindustrier och / eller på andra platser i värden.

Under hösten 2016 togs State-of-the-art fram inom tre områden. Linnéuniversitets del behandlade flanktransmission, med avseende på ljud och vibrationer. RISE del berörde

© RISE Research Institutes of Sweden

direkttransmission av ljud i träbaserade bjälklag. Chalmers del berörde en omvärldsbevakning med avseende på innovativa konstruktioner med koppling till träbyggande, eller som potentiellt skulle kunna gå att använda i träbyggande. En andra workshop genomfördes 2017-01-25 på Linnéuniversitet då State-of-the-art presenterades och nästa steg i projektet diskuterades. Fyra delstudier planerades därefter:

- Framtagande av beräkningsmodell och verifierande provning av direkttransmission för bjälklag.
- Simulering av olika typer av bjälklag för att undersöka effekterna av massa, styvhet och dämpning samt för simulering av ett innovativt nytt bjälklag.
- Kartläggning av dynamiska egenskaper hos knutpunkter.
- Framtagande av optimerat bjälklag med avseende på lång spännvidd och vibrationskrav.

En modell för beräkning av lågfrekvent ljudisolering för steg på ovansida av bjälklag har tagits fram. Denna beräkningsmodell ger möjlighet att på ett snabbt sätt testa de akustiska egenskaperna för olika utformning av bjälklag. Under senhösten 2017 genomfördes mätningar av två olika varianter på ett modernt KL-träbjälklag på RISE stegljudslabb i Borås. Ett med stegljudsdämpande skikt med pågjuten avjämningsmassa, samt ett utan denna beläggning. Syftet var att få mätdata att kunna studera kvalitén för beräkningsmetodiken med avseende på jämförande beräkningar mellan bjälklag, samt att erhålla ett referensbjälklag. Vid lyckat utfall kan skillnaden i lågfrekvent stegljudsisolering beräknas för konstruktionsförbättringar genom att jämföras mot detta referensbjälklag, eller t.ex. för att bedöma och jämföra prestandan på helt nya bjälklagskoncept.

En parameterstudie rörande inverkan av styvhet, massa, dämpning och upplagsförhållanden på direkttransmissionen av ljud genom ett bjälklag har genomförts. Dessa beräkningar kan användas som utgångspunkt för hur man kan/bör förändra de bjälklags som används i dag för att få bättre akustiska egenskaper. För att genomföra detta framtogs också en pre-processor för att snabbt kunna modellera upp olika geometrier och materialegenskaper hos bjälklag.

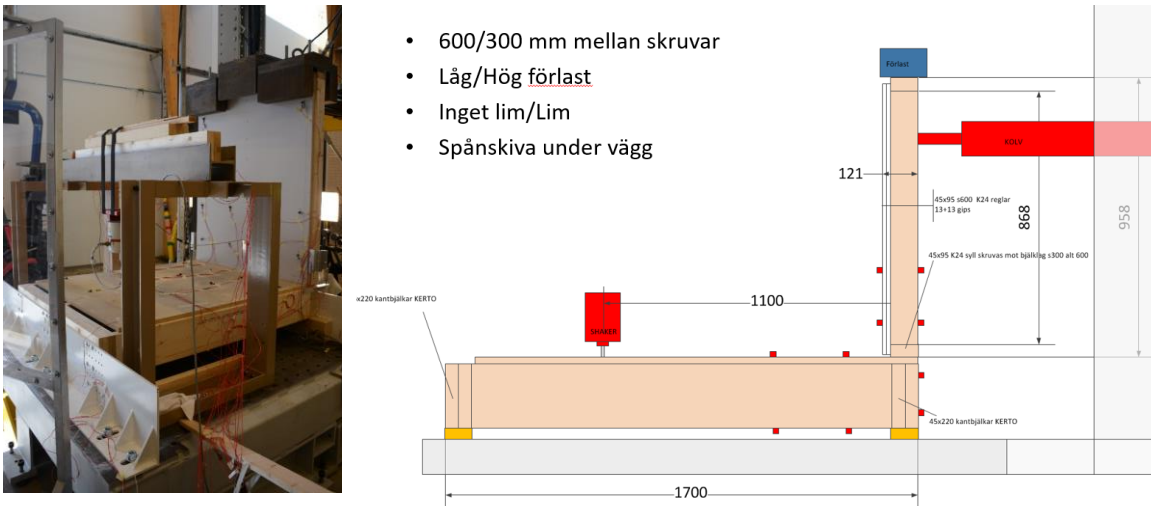
Under första halvan 2018 togs det fram koncept av innovativa konstruktioner för tunnare, effektivare bjälklag. De akustiska egenskaperna hos bjälklagen har därefter simulerats med beräkningsmodellen för att analysera prestanda. Resultaten från parameterstudie har bidragit med kunskap om vad som tycks fungera för att förbättra stegljudsprestanda, och vilka åtgärder som inte ger någon effekt eller till och med försämrar. Resultat från konceptsimuleringarna presenterades juni 2018. Slutgiltiga resultat från parameter och konceptstudierna presteras på avslutningsmöte inom projektet. Denna del av projektet har genomförts som en del i ett doktorandprojekt där Jörgen Olsson har gjort arbetet som industridoktorand antagen vid Linnéuniversitetet under handledning av Andreas Linderholt.

Chalmers har tagit fram en beräkningsmodell för optimering av ett strukturellt högpresterande sandwich-bjälklag baserat på en korrugerad fanérskiva i kombination med plana skivor, för att skapa en lätt och styv konstruktion för ett bjälklag eller t.ex. en takkonstruktion. Senare togs även en 2 x 2 m prototyp fram av samma koncept för verifierande tester av beräkningsmodell. Testerna var: 1 Statiska tester för verifiering av

© RISE Research Institutes of Sweden

styvhet, 2 Dynamiska tester, 3 Förstörande provning av tunna sektioner av prototypen för brottgränsmodell av konceptet. Resultatet finns endast rapporterat i form av presentationer vid det avslutande projektmötet.

I projektet studerade Linnéuniversitet knutpunkter i anslutningen mellan vägg och bjälklag i system med trä-regelstomme. De studerades utifrån mekanisk bärförmåga vid momentbelastning längs anslutningen samt vibrationsöverföring mellan elementen. Ett par olika varianter av element tillverkades av hustillverkarna. De olika varianterna som tillverkades var dels deras traditionella element samt element med mindre förändringar, detta för att säkerställa verkliga förhållanden. Under försöken testades de olika varianterna och i uppställningen varierades knutpunkten med t.ex. olika varianter av antal skruvar och pålastning. Detta ledde till att än fler varianter undersöktes. Både inhängda och upplagda system ingick i studien. Undersökningarna genomfördes hos LNU under perioden maj-juli 2018, se Figur 6.



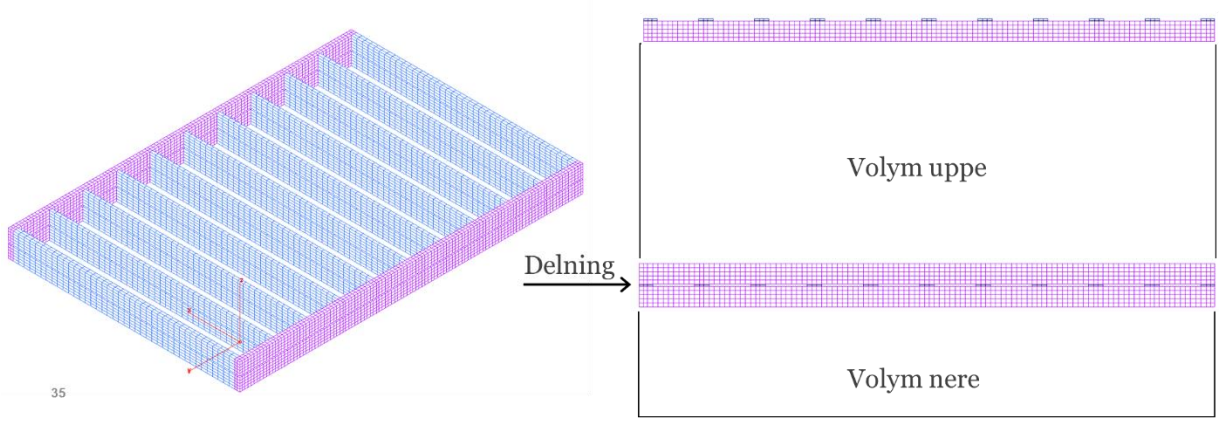
Figur 6. Försöksuppställning för mätning av knutpunktsegenskaper. Excitering sker på en sida av knutpunkten och mätning.

15.3 Resultat från genomförda aktiviteter

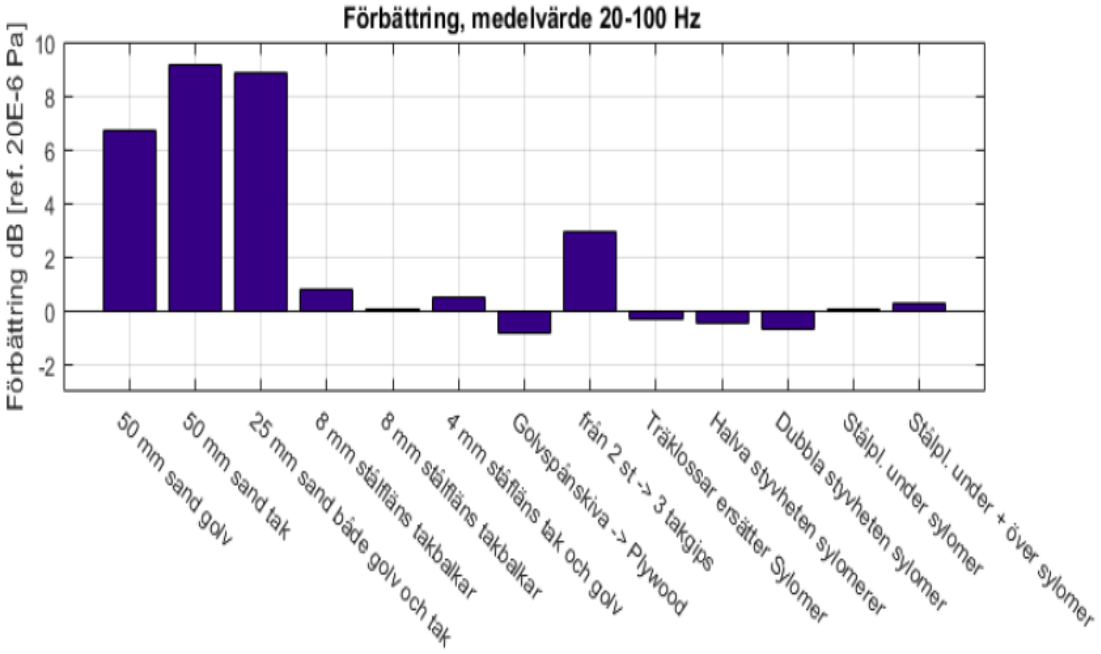
De framtagna State-of-the-art gav deltagande parter en bild av forskningsläget, effekter av olika åtgärder för förbättringar av stegljud, standarder, omfattande sammanställning av formler och data för konstruktion, möjliga tekniker och konsekvenser av att bygga tunnare bjälklag.

Den framtagna beräkningsmodellen för ljudtransmission har använts för en parameterstudie. För parameterstudien för ljudtransmission användes ett dubbelt regelbjälklag av den typ och konfiguration som normalt används i volymhusbyggande, se Figur 7. Parameterstudien för bjälklaget visade på viktiga parametrar att förändra för att åstadkomma rätt ljud- och vibrationsegenskaper för bjälklaget, där man kan se att den mest effektiva åtgärden för att minska ljudöverföring är att öka massan, se Figur 8.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 7. Referensbjälklag för parameterstudie av styvhet, massa och dämpning.



Figur 8. Resultat från parameter-studie där simuleringar används för prediktering av ljudsegenskaperna i träbaserade bjälklagen.

Resultaten från parameterstudien har visat på vilka parametrar som är av avgörande för att utveckla nya förbättrade bjälklag. Störst inverkan här visade sig att massan och hur den fördelas för hur den påverkar ljudtransmissionen. Tilläggsmassa (t.ex. grus) på undertak ger bättre resultat jämfört med att t.ex. placera samma massa direkt under ytan där man går. Motsvarande typ av simuleringar har också gjorts för KL-träbjälklag.

Arbete har lagts på att verifiera beräkningarna med data från KL-träbjälklagsmätningarna. Lite arbete återstår ännu men resultaten visar att det finns potential för relativa beräkningar i lågfrekvensområdet för modalbaserade överföringsfunktioner. Den potentiellt största begränsningen är att modellen och indata måste vara linjära. Approximativt linjära egenskaper för material är dock rimligt vid ingenjörsmässiga beräkningar.

De statiska testerna på knutpunkterna, som Linnéuniversitetet genomförde, visade att anslutningen mellan väggreglar och syll i upplagda system är en svag punkt. Det används spikar i vanliga fall men när de ersattes med skruvar så höjdes styvheten

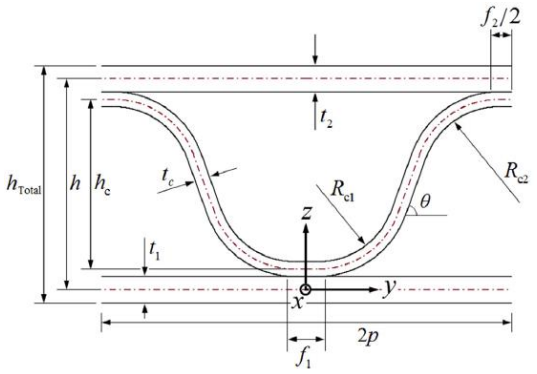
© RISE Research Institutes of Sweden

markant. Mindre skillnader upptäcktes om olika anordningar av skruvar mellan syll och bjälklaget studerades. Resultaten av de statiska tester är styvhet och hållfasthet av knutpunkten som kan användas t.ex. vid beräkning och dimensionering av hus.

De dynamiska undersökningarna resulterade i egenfrekvenser, dämpning, egenmoder och knutpunktsdämpning. Det visade sig att skillnaden mellan att använda olika knutpunktslösningar av samma system var mestadels obetydliga med undantag av varianten med och utan pålastning samt om ett lim användes eller inte i fogen mellan vägg och bjälklag. Det olika hustillverkarnas system skiljer dock mellan varandra, dvs de har t.ex. olika egenfrekvenser.

Sammanfattningsvis visade sig att de system som beter sig styvast i den statiska undersökningen visade mindre knutpunktsdämpning. Det tyder på att konstruktörer måste göra en avvägning mellan god styvhetsprestanda och en god ljudisolering.

Beräkningsmodellen för sandwichelementet har använts för att ta fram en optimal geometri baserat på minsta möjliga materialåtgång, se Figur 9. Bjälklagsystemet av typen nedan kan klara en spännvidd på 10 meter med avseende på hållfasthet och vibrationskrav.



Figur 9. Tvärsnitt på fanerbaserat biobaserat effektiv sandwich framtagen i arbetet vid Chalmers.

15.4 Effekter av slutresultat

State-of-the-art från de tre underområdena har presenterats och levererats till projektdeltagarna, där delar kan användas som handbok vid. En del av resultaten hålls inom projektet så att de industrideltagare som är med och bidrar till projektet främst gynnas.

Resultaten från parameterstudien med utgångspunkt i dagens bjälklag ger förslag på metoder som kan användas för förbättring av bjälklagens egenskaper. Resultaten ger deltagande industri förståelse för hur man kan förändra dagens bjälklag med relativt enkla åtgärder för att åstadkomma tystare bjälklag.

Utvecklingen av preprocessorn för modellering och beräkning av lågfrekvent stegljuds-isolering med hjälp av modalbaserade överföringsfunktioner gör att jämförande beräkning och tester av nya koncept och idéer går mycket snabbare än tidigare.

© RISE Research Institutes of Sweden

Parameterstyrning gör också att ev. optimering av konstruktioner med avseende på valda blir möjlig.

Vid presentation av konceptsimuleringarna 2018, så fick industrin information om hur en rad innovativa och traditionella koncept på bjälklag står sig mot varandra. Vid slutpresentation kommer ett vinnande bjälklagskoncept att presenteras samt tillverkas i ett demoexemplar.

Minst en industriell deltagare har initierat tester på sina egna produkter för att se om de kan bli bättre baserat på delprojektets resultat. Vid lyckat utfall så kan det bli ändringar av produkterna.

Chalmers arbete med en ny typ av träbaserad sandwichkonstruktion med korrugerad fanerkärna har skett främst i dialog med Derome. Konstruktionens tekniska egenskaper kan rent praktiskt beräknas och optimeras med hjälp av det arbete som Chalmers gjort. Bjälklaget är en bra utgångspunkt för att ta fram ett tunt bjälklag med lång spännvidd. Arbete återstår dock kring produktionsmetoder och kring lösningar för akustik.

15.5 Resultatspridning

Resultat av projektet har diskuterats vid en rad workshops internt i projektet antingen via fysiska träffar eller via skype:

- 2016-06-14 hos Derome/A-hus i Anneberg
- 2017-01-25 hos Linnéuniversitetet
- 2017-06-13 Halvtidsseminarium för delprojekt 1, 3 och 4 i Växjö
- 2017-11-07 Seminarium via Skype
- 2018-03-16 Seminarium via Skype
- 2018-06-28 Seminarium via Skype
- 2018-12-08 Seminarium via Skype
- 2019-03-20 Avslutningsmöte delprojekt 4.1 och 4.2 i Växjö

Inom andra forum som t.ex.

- Möte med CBBT företagen 2017-02-20
- ProWood forskarskola och de företag som är med där informeras om de aktiviteter som pågår inom bl.a. detta projektet. Bland annat har denna metoderna presenterats på Work-in-Progress seminarie 2016-08-30
- ProWood forskarskola RP II seminarie 2017-12-13
- Södra Workshop kring CLT, Värö. 2018-06-01
- Stora trähusdagen arrangerat av NTT Woodnet 2018-10-18
- Deltagare i Tall Timber build projektet 2018-12-19.

15.6 Leverabler

Demonstratorer

En prototyp på 2 x 2m av den fanérbaserade sandwichpanelen finns framtagen vid Chalmers.

© RISE Research Institutes of Sweden

Ett tvärsnitt på ett högpresterande träbjälklag med avseende på stegljud är under utveckling och kommer färdigställas efter projekttidens slut.

Peer-reviewed artiklar

Atashipour, S.R. and Al-Emrani, M (2017). A realistic model for transverse shear stiffness prediction of composite corrugated-core sandwich elements. *International Journal of Solids and Structures, 129*, pp. 1-17.

Olsson J., Linderholt A (2018). Low frequency range response function; force to sound pressure, measurements using a modified tapping machine on timber floor structures. Paper submitted to Engineering structures.

Konferens artiklar

Linderholt A. and Olsson J (2017). A simulation based study of low frequency transient sound radiation from floors – a concrete vs. a hybrid floor. In: 24th International Congress on Sound and Vibrations 23-27th of July, London, UK.

Rapport

Schweigler, M., Bolmsvik, Å., Dorn, M. (2018). Static and dynamic properties of connections in timber-frame structures. Projektrapport, Linnéuniversitetet.

State of the art rapporter till industrideltagarna, ej offentligt publicerade då materialet främst skall gynna deltagarna som bidrar till projektet:

Bolmsvik Å. Sjökvist L.G. (2016) State of the art – Kring flanktransmission, Linneuniversitetet, Fakulteten för teknik.

Atashipour, S.R. and Al-Emrani, M (2016). Innovative timber floor (state-of-the-art). Chalmers university of technology, Department of Civil and Environmental Engineering. Division of Structural Engineering, Gothenburg, Sweden.

Olsson J., Johansson M. (2017). State-of-the art kring direkttransmission – Med tyngdpunkt på stegljud. SP / RISE – Research Institutes of Sweden, Department of building technology, Sweden.

Avhandlingar/examensarbeten

Larsson M. and Mayor H (2016). Innovative timber floor - Development of a timber sandwich structure. Master's Thesis BOMX02-16-109, Chalmers university of technology. Gothenburg, Sweden.

Olsson J. (2016). Low Frequency Impact Sound in Timber Buildings – Simulations and Measurements. Licentiate thesis ISBN: 978-91-88357-46-5. Linnaeus University, Växjö, Sweden.

Fröjd K. and Hellström A. *Innovative bio-composite sandwich element as floor system for multi-storey timber buildings*. Master's Thesis 2017:66, Chalmers university of technology. Gothenburg, Sweden.

© RISE Research Institutes of Sweden

TRL-nivå före och efter projekt: TRL 4 -> TRL 6

Budget: 4 035 000 SEK
Partners: Derome Hus AB, Myresjöhus, Eksjöhus, Götenehus, Moelven, CBBT (Midroc, GBJ Bygg, Vida AB, Södra m.fl.) Linnéuniversitet (LNU), Chalmers, RISE Research Institute of Sweden (Jörgen Olsson, projektledare).

© RISE Research Institutes of Sweden

16 Delprojekt 4.2 – Effektiva klimatskal

16.1 Mål och syfte med delprojektet

Syftet är att ta fram nya effektiva, industriellt prefabricerade, klimatskal (ytterväggar). Med slankare väggkonstruktioner skapas mer kostnadseffektiva byggnader tack vare ökad sälj- och uthyrningsbar yta. Fokus är att ta fram slanka konstruktioner med hög prestanda avseende främst värmeisolering, motsvarande nära-noll-energi (NNE) eller passivhusnivå, dock skall åtminstone dagens funktionskrav vad gäller fukt, buller, brand och bärförmåga uppfyllas. Dessutom skall effektiv produktion, prefabricering, montage och framtida renoverbarhet (t ex demonterbara lösningar) beaktas. Nya (biobaserade) isolermaterial och deras användning i klimatskalet ingår också. Dessa är viktiga med tanke på isoleringsmaterials klimatavtryck, där biobaserade material har mycket lägre klimatavtryck än högpresterande isolermaterial producerade utav fossila råvaror. För att minska klimatpåverkan bör inte bara minskad energiförbrukning i bruksskedet eftersträvas utan en minskad energiförbrukning över hela byggnadens livslängd (dvs byggskedet, bruksskedet och återvinningsskedet).

Delprojektet förväntas resultera i ökad konkurrenskraft för träbaserade lösningar och ökad användning av biobaserade material i byggandet på lång sikt.

Utförargrupp:

Eva F Hansson	LTH Konstruktionsteknik
Oskar Ranefjärd	LTH Konstruktionsteknik
Erik Serrano	LTH Byggnadsmekanik
Henrik Danielsson	LTH Byggnadsmekanik
Juan Negreira	LTH Akustik
Delphine Bard	LTH Akustik
Paulien Strandberg	LTH Byggnadsmaterial
Maria Fredriksson	LTH Byggnadsmaterial
Petter Wallentén	LTH Byggnadsfysik

Företagsrepresentanter:

Anders Rosenkilde	TMF
Anders Carlsson	A-hus/Derome
Stefan Ferrari, Refik Salievski	BoKlok
David Norrman	Eksjöhus
David Ulinder	Götenehus
Henrik Ödeen	Moelven Byggmodul
Carl-Johan Sigfridsson	Myresjöhus /OBOS
Rickard Zetterstedt	Trivselhus
Peter Erlandsson	Vida Building

16.2 Genomförda aktiviteter

Inom projektet anställdes en doktorand (anställd fr o m augusti 2016), vilket försenade projektstarten pga rekryteringen. Projektet kom även igång lite långsammare än vad

© RISE Research Institutes of Sweden

det hade gjort med mer seniora forskare, dock finns en positiv effekt i längden då vi håller på att utbilda en ny expert inom området.

Projektets gemensamma aktiviteter bestod av regelbundna workshops och skypemöten i mindre grupper/individuellt. Forskningen utfördes på LTH, med input från företagen.

- Gemensamma workshops i storgrupp. Visning av produktionsanläggningen, lägesrapportering, diskussion av olika ämnen, diskussion av vägen framåt etc.
    - Startworkshop hos Myresjöhus/OBOS 2016-04-25
    - Workshop för hela WP4 i Stockholm 2016-05-09
    - Workshop hos A-hus/Derome 2016-10-03, diskussionspunkter bl a mätning av köldbryggor/luftläckage, in-situ- och labbmätningar av akustik,
    - Workshop på LTH 2016-12-14, diskussionspunkter bl a mätning av u-värde i fluktuerande klimat, framtida NNE-krav, bättre fönster för att få ner u_m / fönster anpassade för industriell produktion krävs
    - Workshop hos Trivselhus 2017-04-05, tema: BIM i produktionen. Presentation av enkäten.
    - Halvtidsredovisning i Växjö 2017-06-13. workshop och posterpresentation. På workshopen "spikades" vilka 3 väggtyper som närmare skulle studeras: träregelvägg med utanpåliggande hård isolering, vägg med bioisolering, högpresterande vägg med innovativa/högpresterande isolermaterial.
    - Workshop hos BoKlok i Gullringen 2017-10-04. 3 taskgrupper bildades: ”Biovägg”, ”crazy”, ”akustik”. Presentation WUFI-parameterstudie
    - Workshop på LTH 2018-02-05. Bl a presentation om andra biobaserade byggmaterial och byggtekniker av Dr. Paulien Strandberg, Avd. Byggnadsmaterial, LTH.
    - Workshop på Götenehus 2018-05-23. Diskussion kring detaljer inom ämnet energiberäkningar.
    - Workshop på Vida Building i Växjö 2018-10-10. Presentation av akustik-beräkningar. Presentation av resultat från Hotbox- och Hotdisk-provningar.
    - Gemensam avslutningsworkshop med delprojekten 4.1 och 4.2 kommer att hållas i mars 2019 i Växjö.

- Skypemöten/telefonmöten vid behov i olika taskgrupper. Oskar Ranefjärd sammankallande.

- Presentation av projektet i olika sammanhang
    - Presentation av delprojektet på TMF’s Trähusdagar i mars 2017
    - Presentation av delprojektet på TMF’s Trähusdagar i Jönköping mars 2018
    - BeSmå’s styrelsegruppsmöte. Malmö, april 2018
    - Deltagande i monter vid Forum HolzbauNordic, Växjö, september 2018
    - Presentation av projektet vid StoraTrähus, oktober 2018

På de gemensamma workshoparna diskuterades vilket fokus som skulle sättas i projektet. Projektet var ganska brett formulerat och i diskussion med företagen framkom att dessa främst ville jobba med energi- och fuktfrågor samt akustik. En

© RISE Research Institutes of Sweden

litteraturstudie inom energi- och fukt i träyttervägg genomfördes samt u-värdesberäkningar i TMF-Energi för att se vilka förändringar som krävs för att nå framtida energikrav. Det gjordes även en enkät om vilka behov och begränsningar företagen har, t ex angående maximal väggtjocklek, användning av olika isolermaterial, antal skikt osv.

Det planerades att testa väggar både för energiprestanda i en hotbox samt för fuktprestanda i slagregnsförsök. Tyvärr så fanns inte möjlighet att utföra försök i Avdelningen för Byggnadsfysiks hotbox då denna behöver uppdateras, vilket inte har skett under projektets löptid. Det har därför gjorts försök i mindre skala i en egentillverkad ”hotbox”. Slagregnsförsöken har inte kunnat utföras pga avsaknad av tillgång till provningsutrustning/bristande ekonomi, men de kommer att genomföras i framtiden, då LTH Konstruktionsteknik har fått anslag för byggande/införskaffning av utrustning för slagregnsförsök. Enklare slagregnsförsök genomfördes i mindre skala i ett tidigt skede av projektet, där det konstaterades att företagens typlösning idag har problem med vattentätheten vid svåra vind- och regnförhållanden.

Parameterstudie i WUFI har genomförts där olika parametrar jämfördes inbördes med avseende på mögelrisk. Resultatet från WUFI användes i MRD – modellen (Mould-Resistance-Design) där mögelrisken kan bestämmas kvantitativt.

Tendensen att hus med mycket biomassa presterar bättre i energisynpunkt är vedertagen bland trähustillverkare och försäljare av biobaserad isolering, men mycket lite vetenskap finns om ämnet. En hypotes är att träets hygroskopiska egenskaper gör att det presterat bättre. För att testa denna hypotes behövs en metod som både tar hänsyn till temperatur och relativ fuktighet, idag finns det ingen sådan metod. Därför beslutades att en sådan metod skulle utvecklas.

Två olika väggtyper (en med vanlig och en med hård utanpåliggande isolering) har testats i LTH’s akustiklaboratorium för ljudisolering. I testet varierades antal gipsskivor på insidan samt att det gjordes olika håltagningar. Jämförande beräkningar gjordes i INSUL 9.0.

16.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Målet för delprojektet var ”Utveckling av effektivare och slankare väggar/klimatskal för nybyggnation och renovering som klarar de nya energikrav som kommer 2021”. Eftersom alla industripartners i delprojektet arbetar enbart med nyproduktion lades fokus enbart på nyproduktion. Det blev diskussioner kring NNE-kraven och framtida energikrav, tom framtida klimatdeklarationskrav, varför det inte jobbades enbart mot NNE-kraven utan mer allmänt/generiskt mot hårdare energikrav.

Det bestämdes tidigt i projektet att vi ville jobba mot generiska lösningar istället för utveckling av en produkt som kan patenteras, i och med att det var så många industripartners med i projektet. Att jobba mot en patenterbar produkt hade hämmat deltagarna att delge sina erfarenheter, både misslyckanden och lyckade resultat. Därför är det svårt att ange vilken TRL-nivå vi har startat och slutat på. Det viktigaste resultatet – som det har påpekats av företagen vid flertalet tillfällen – har dock varit att få ett utbyte av information och erfarenheter samt en kunskapsökning i hela gruppen.

© RISE Research Institutes of Sweden

I diskussionerna mellan forskningsutförare på LTH och industripartners har det tagits fram fokusområden (energiprestanda, fukt & akustik) och även bestämts vilka väggtyper det ska satsas på (biovägg, standardvägg, innovativ vägg med få skikt). Det har gjorts beräkningar och modellering samt mätningar i laboratoriet.

Projektet hade i ett tidigt skede målet att framtidens väggar skulle bli slankare. En litteraturstudie utfördes över vilka framtidens material kan tänkas vara och vilka frågetecken som kvarstår innan de kan tas i bruk i dagens produktion. Detta presenterades på en workshop där det diskuterades och erfarenheter utbyttes.

Även om de inblandade företagen har liknade byggsystem har de alla olika lösningar och för att minimera ”utpeknings-faktorn” bestämde vi inom projektet att sammanställa ett genomsnittshus för att kunna diskutera lite mer generellt. För att kunna göra detta anonymt genomfördes detta genom en internetbaserad enkät.

Efter enkäten ställdes några mer öppna frågor, vilket ledde till intressanta slutsatser. Det är inte slankare väggar som efterfrågas utan snarare färre skikt. En annan intressant slutsats från enkäten var att samtliga företag redan hade en klar idé på hur de skulle klara NNE 2021 kraven, ett utav de initiala frågorna projektet skulle besvara. I fortsättningen av projektet har istället fokus legat på vad nästa krav kan tänkas vara, hårdare energikrav, krav på klimatavtryck etc. Det ledde fram till två huvudspår framtidens-”klimatsmarta” och ”energieffektiva” ytterväggar.

Med hjälp av genomsnittsvärden och ett referenshus (en husmodell från ett av företagen) kunde u-värden, fönster area, grund och tak diskuteras i detalj. Med hjälp av beräkningshjälpmedlet TMF-energi kunde energiförbrukningen diskuteras i termer där samtliga i projektet kunde delta. Detta ledde till mycket diskussion om vilka de mest energieffektiva åtgärderna var.

En parameterstudie genomfördes med hjälp av en ”fractional-factorial-design” och simuleringsverktyget WUFI. Utdata från WUFI användes sedan i MRD-modellen (Mould-resistance-design) där mögelrisken för olika parametrar kunde utvärderas. Stommen för modellen är en typisk svensk träregelvägg, och parametrar som varierades var t.ex. om man byter fasadisoleringen mot en PIR-isolering.

Lärdomarna från parameterstudien i WUFI var många, och eftersom valet av parametrar inkluderade kända ”risk-faktorer” och mer okända parametrar som jämfördes kvantitativt kunde man synliggöra var fokus borde läggas.

- Vikten av att fasadisoleringen är ånggenomsläpplig. Vanlig PIR ökar mögelrisken markant.
- Mögelrisken från invändig fuktbelastning är förhållandevis låg.
- Slagregnsinträngningen är en av de viktigaste parametrarna, men samtidigt en av de svåraste att bestämma. Vanligtvis följer man amerikansk standard idag med 1% läckage bakom fasaden, men i praktiken läcker det oftast kring fönster och ner på bärande stomme. Beroende på hur man väljer storlek och placering på regnläckage påverkas mögelrisken mycket.
- ”Gömda” parametrar i WUFI spelar stor roll, de skall ändras om t ex fönsterplaceringen inte är i mitten av väggen men oavsett husets utseende används oftast default värdet.

© RISE Research Institutes of Sweden

- Väggens fuktbuffringsförmåga spelar liten roll på mögelrisken, vilket tillverkare av hydroskopiska väggmaterial gärna hävdar.

Hotboxförsöken har lett fram till en metod att mäta isolerförmåga på material och konstruktioner i jämförelsevis realistiska förhållanden. Detta då biobaserade material har en förmåga att reagera med luftfuktigheten konventionella isolermaterial inte har. Det är för dessa konventionella isolermaterial dagens vedertagna testmetoder är framtagna.

- Utveckling av mätmetod och kalibrering av mätutrustning. Tagit fram en försökuppställning för att bestämma isolerförmågan för väggkonstruktioner med hjälp av ett klimatskåp, inklusive kalibrering av försöksuppställningen. Skillnaden mellan framtagen försöksuppställning och en klassisk HotBox metod är att uteklimatet kan styras i mycket högre utsträckning.
- Denna försöksuppställning har jämförts med mätningar gjort med HotDisk utrustning.
- Test av material i försökuppställningen
- Test av hela konstruktioner kommer att ske inom en snar framtid

Akustikförsök: två olika väggtyper (en med vanlig och en med hård utanpåliggande isolering) har testats i LTH's akustiklaboratorium för ljudisolering. I testet varierades antal gipsskivor på insidan samt att det gjordes olika håltagningar. Jämförande beräkningar gjordes i INSUL 9.0. Hypotesen i försöket var att den hårdare isoleringen (Koolterm) skulle resultera i en försämrad ljudisolering jämfört med den mjukare glasullsskivan. Hypotesen kunde dock avslås, det var ingen signifikant skillnad (R_w-värde) mellan väggtyperna, och inte heller antalet gipsskivor på insidan eller håltagningar (30mm, 50mm eller ingen håltagning) hade större effekt. Beräkningarna överensstämde dock inte helt med försöksresultaten, vilket visar fortsatt forskningsbehov. För industriföretagen är det dock intressant att se att den hårda skivan inte presterade sämre än den mjuka, vilket kan leda till ökad användning av den hårdare skivan som har högre termisk prestanda.

Ett viktigt resultat av samtliga genomförda aktiviteter är att projektgruppen har lärt känna varandra bättre, att projektpartners delar med sig av lösningar som har fungerat eller som inte fungerade. Bättre samarbete i utvecklingsarbetet kan på sikt leda till en konkurrensfördel och bättre produkter.

16.4 Effekter av slutresultat

Det bestämdes tidigt i projektet att vi ville jobba mot generiska lösningar istället för utveckling av en produkt som kan patenteras, i och med att det var så många industripartners med i projektet. Att jobba mot en patenterbar produkt hade hämmat deltagarna att delge sina erfarenheter, både misslyckanden och lyckade resultat. Det viktigaste resultatet – som det har påpekats av företagen vid flertalet tillfällen – har dock varit att få ett utbyte av information och erfarenheter samt en kunskapsökning i hela gruppen.

Projektet har inte lett till nyanställningar eller nysatsningar, vilket industripartners har sett som orealistiskt för detta delprojekt. Projektpartners har dock fått mer kunskap och trygghet i att använda nya lösningar, genom utbyte med kollegor och forskare, samt

© RISE Research Institutes of Sweden

att på längre sikt använda mer biobaserade isolermaterial i stommen för att minska byggnadens klimatavtryck över hela livslängden.
Projektet har lett till ett antal projektansökningar (som tyvärr har resulterat i avslag)

- Våren 2018 till Energimyndighetens satsning E2B2 (Titel: Energi- och klimateffektivitet av moderna biobaserade bostäder, sökande: LTH (Byggnadsmaterial, Konstruktionsteknik, Tekniska Vattenresurslära) och Malmö Universitet (Arkitektur).
- Hösten 2018 till Boverkets satsning ”Stöd för innovativt och hållbart byggande av bostäder” (Titel: Biobaserade isoleringsmaterials egenskaper, funktion och miljöpåverkan, sökande: Lunds Tekniska Högskola (Byggnadsmaterial, Konstruktionsteknik)
- Hösten 2018 till Vinnovas satsning ”Banbrytande ideer inom industriell utveckling 2018” (Titel: Bioisolering för bättre klimatprestanda, sökande: LTH Konstruktionsteknik)

Framtida projekt kommer att sökas, t ex inom BioInnvoation, Formas, Energimyndigheten, inom områdena biobaserad isolering, robusthet av högisolerade träytterväggar, effektivare produktionoch LCA. Ett projektförslag har redan sänts in från hela projektgruppen i WP4.2 till BioInnovation för fortsatt projektarbete, titel: Innovativa biobaserade klimatskärmar – verifiering av tekniska egenskapskrav. Andra projektidéer som läggs fram från mindre konstellationer inom projektgruppen (dvs. inte alla företag) är t ex effektiv produktion av skjuvväggar, hur hanterar man klimatdeklaration för trähus, end of life – bygga för enkel återvinning/återbruk med tanke på antal skikt och antal material, sandwich-konstruktioner med få skikt för robusta konstruktioner.

Slagregnsförsöken som har bedömts som mycket viktiga för att kunna bedöma robusthet av nya väggkonstruktioner har inte kunnat utföras pga avsaknad av tillgång till provningsutrustning/ bristande ekonomi. Vikten av dessa försök har dock lett till att anslag för slagregnsförsöksutrustning har sökts och senare beviljats under hösten 2018. Slagregnsförsök av de olika i detta projekt diskuterade väggtyperna kommer därför att utföras i framtiden, i fortsatt samarbete med några av industripartners.

Hotboxförsök: Framtagningen av en ny försökuppställning som kan testa väggar och material vid mer realistiska förhållanden gör förhoppningsvis att biobaserade material eventuella fördelaktiga egenskaper kan utredas ordentligt.

Parameterstudie i WUFI:Den huvudsakliga lärdomen är att ånggenomsläppligheten i fasadisoleringen behöver vara god. Samt bekräftade vedertagna sanningar som vikten av god ventilation i luftspalten. Parameterstudien synliggjorde också problemet med skillnaden på hur läckage uppträder i verkligheten/provning kontra simuleringsstandard. Effekten av dessa resultat kan bli bättre och mer medvetna energiberäkningar hos industripartners, genom mer kunskap om t ex ”fällorna” i WUFI och viktiga parametrar att undersöka.

Akustikförsök: Två olika väggtyper (en med vanlig och en med hård utanpåliggande isolering) har testats i LTH’s akustiklaboratorium för ljudisolering. För industriföretagen var det intressant att se att den hårda skivan inte presterade sämre än den mjuka, vilket kan leda till ökad användning av den hårdare skivan som har högre termisk prestanda.

© RISE Research Institutes of Sweden

Ett mycket viktigt resultat av samtliga genomförda aktiviteter är att projektgruppen har lärt känna varandra bättre, att projektpartners delar med sig av lösningar som har fungerat eller som inte fungerade. Bättre samarbete i utvecklingsarbetet kan på sikt leda till en konkurrensfördel och bättre produkter. De flesta företag vill fortsätta jobba i denna konstellation nu när ”gruppen har satt sig”, vilket kan leda till mycket kortare uppstartsfas i nya projekt. Företagen själva uttrycker det som att de inom gruppen ser sig ”som kollegor men inte konkurrenter”.

På LTH har projektet lett till större samarbete mellan forskningsgrupperna på Konstruktionsteknik och forskningsgruppen ”biobaserade material” på avdelningen för Byggnadsmaterial.

16.5 Resultatspridning

Resultaten har spridits via workshoparna och interna projektdokument till projektdeltagarna samt via externa presentationer (TMF’s Trähusdagar 2017 och 2018, Stora Trähus 2018, Forum HolzbauNordic 2018 (monter, ej presentation) BeSmå’s Styrelsegruppsmöte) till en bredare intresserad allmänhet. Två vetenskapliga publikationer har accepterats vid konferensen Buildings XIV (december 2019). Det planeras även för en populärvetenskaplig artikel i Bygg & Teknik under 2019. Resultaten från projektet har även presenterats inom kursen Byggsystem på Väg- och vattenbyggnadsprogrammet på LTH inom gästföreläsningar om träbaserade byggsystem (2017, 2018) och därmed spridits till framtida aktörer inom byggsektorn.

16.6 Leverabler

Demonstratorer

För att visa inverkan av olika isolermaterial på väggens uppbyggnad och tjocklek så har det tillverkats 3 små demonstrator-väggar. Väggarna har samma u-värde men olika tjocklek, pga val av isolermaterial. Väggarnas storlek i plan är anpassad så att de har samma klimatavtryck, dvs väggarna visar hur många kvadratmeter vägg (med visst u-värde) man kan bygga för en viss CO2-förbrukning. Väggarna har visats på Forum HolzbauNordic 2018 och kommer även att visas på BioInnovations årskonferens 2019.

Konferens artiklar

Två artiklar har förberetts för publikation på Buildings XIV (december 2019, Florida):

- Parametric Study Of Mould Risk In The Climate Envelope Of Timber Buildings Using Hydrothermal Simulations. Ranefjärd, Rosenkilde, Frühwald Hansson. (Submitted)
- Development Of A Hot-Box Test Setup With Dynamic Outdoor Climate. Ranefjärd, Rosenkilde, Frühwald Hansson. (Submitted)

Rapport

Under projektets gång har det sammanställts framtagen information i projektinterna rapporter/presentationer, för att gynna projektdeltagarna. Rapporterna/presentationerna har gjorts tillgängliga för alla projektdeltagare via

© RISE Research Institutes of Sweden

delprojektets fildelningssystem och/eller visats på workshops. Det finns rapporter/sammanställningar/presentationer kring följande områden:

- Litteraturstudie/State-of-art om nya/innovativa isolermaterial
- Enkät: Nuläge och framtid. Presentation på Trivselhus/Korsberga
- Wufi-parameterstudie, presentation på BoKlok/Gullringen
- Beskrivning av försöksuppställning ”Hotbox” och försöksresultat, 2 presentationer.
- Slutrapport för Akustikförsök “Determination airborne sound insulation for a façade wall system with normal board and Kooltherm board”

En projektintern slutrapport sammanfattar resultaten och kunskapsläget efter avslutat projekt (arbetsdokument).

Avhandlingar/examensarbeten

Doktoranden Oskar Ranefjärd kommer att presentera sin Licentiatavhandling under sommaren 2019. Avhandlingen kommer att vara en sammanläggningsavhandling som innehåller en kappa samt de två ovan nämnda artiklarna.

TRL-nivå före och förväntat efter projekt: TRL 4 -> TRL 6

Budget: 11 082 500 SEK
Partners: LTH (Konstruktionsteknik, Byggnadsmekanik/Akustik, Byggnadsmaterial, Byggnadsfysik), TMF, A-hus/Derome, BoKlok, Eksjöhus, Götenehus, Myresjöhus/OBOS, Moelven, Trivselhus, Vida Building (I början på projektet var även Hjältevadshus och Svensk Husproduktion med. Vida Building och BoKlok anslöt efter projektstart.)

© RISE Research Institutes of Sweden

17 Delprojekt 4.3 - Biobaserade skivmaterial

17.1 Mål och syfte med delprojektet

DuraPulp är ett bio-baserat, nedbrytbart material. Projektets mål är att öka kunskapen om materialet (genom att karakterisera materialets mekaniska egenskaper) och hitta möjliga användningsområden inom byggsektorn.

Utförargrupp:

Michael Dorn	Linnéuniversitetet
Erik Serrano	LTH
Henrik Oxfall	RISE (Swerea)

Företagsrepresentanter:

Helena Tuvendahl	Södra

17.2 Genomförda aktiviteter

Genom tre olika tillverkningsmetoder har skivmaterial tillverkats. Två generella metoder använts: Torrformning och våtformning. För torrformade skivor rivs utgångsmaterialet upp och pressas i skivor med ett bestämt tryck och en bestämd temperatur utan tillsatt vatten. Denna metod har tidigare inte testats. Vid våtformning löses utgångsmaterialet upp i ett vattenbad som möjliggör en hög grad av homogenitet. Vattnet måste dock tryckas ut under formningsprocessen, vilket påverkar både energiförbrukning och eventuell kvalité.

Torrformade skivor (variant TF) tillverkades gemensamt (med deltagandet från Södra, LNU och Swerea) och genomfördes med en manuell tillverkningsprocess; våtformade skivor (variant VF) tillverkades av Södra själva i en semi-automatiserad process. Maskinell och i hög grad automatiserad tillverkning av (våtformade) skivor ingår också i studien och utgör den tredje varianten av materialet (variant ED).

Själva provkropparna för drag- och böjprovning tillverkas enligt standarden för plastmaterial genom laserskärning. Som referensmaterial används bl.a. olika typer av plywood, spånskiva, HDF och MDF. I första steget testades dragegenskaper, se Figur 10 (vänster) som visar spännings-töjnings-diagram för en serie med våtformade provkroppar. I slutet av mars 2017 startade andra testserien då böjprovning av samma material genomförs.

Vid tillfället av FBBBs halvtidsmöte i Växjö (juni 2017) så genomfördes en workshop då delprojektets parter och andra intressenter deltog, däribland hus- och modultillverkare. Materialet och dess egenskaper presenterades, följt av en öppen diskussion i både smågrupper och med alla hur materialet kan användas och vilket behov hustillverkarna ser i nuläget och i framtiden.

Det beslutades att arrangera en workshop i början av 2017 för att visa upp materialet för tänkta intressenter inom arkitektur. Workshoppen skulle genomföras i Södras lokalerna i Varberg där även maskinen finns. Under workshoppen skulle bakgrunden till projektet och materialet presenteras, dessutom själva tillverkningen (den våtformade varianten) med syftet att känna av materialet och möjligheten till

© RISE Research Institutes of Sweden

formgivning och färgsättning. Inbjudan skickades ut, varefter intressenter kontaktades via telefon. Utebliven respons till inbjudan ledde dock till att den ställdes in.

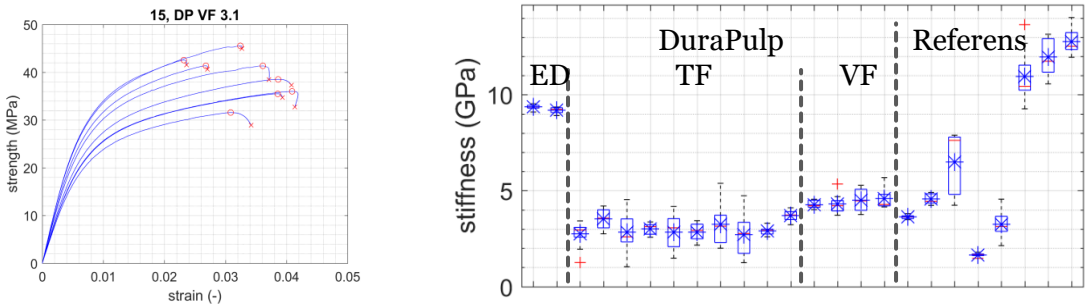
Under december 2017 genomfördes en förberedande produktion av skivmaterial som även formades. Det våta materialet formades i olika varianter som torkades i en ugn. Efter avslutad torkning sammanställdes prototyperna i form av en vägg.

För att nå ut till intressenter sammanställdes en lista med pågående projekt och kontakter med företag. I en mer aktiv ansats så är tanken att besöka intressenter direkt för att diskutera möjligheterna och framtida samarbeten. Följande projekt kontaktades ”Fossilfri förskola”, Göteborg; ”High6” genom SHS; ”Innovation Square”, Borås; Tengbom (Peter Elfstrand). Med ”Fossilfri förskola” fanns två tillfällen att berätta om projektet, med de andra är det än så länge via telefon.

17.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Efter första delen (dragprovning) av studien är materialets grundläggande egenskaper kartlagda (styvhet, hållfasthet). Det är därmed möjligt att jämföra materialets mekaniska egenskaper som funktion av tillverkningsmetod. Skillnader mellan de olika tillverkningsmetoderna blir tydliga. Dessutom är det möjligt att få en uppfattning om hur DuraPulp förhåller sig jämfört med andra typiska skivmaterial som delvis används inom byggsektorn (se Figur 10, höger).

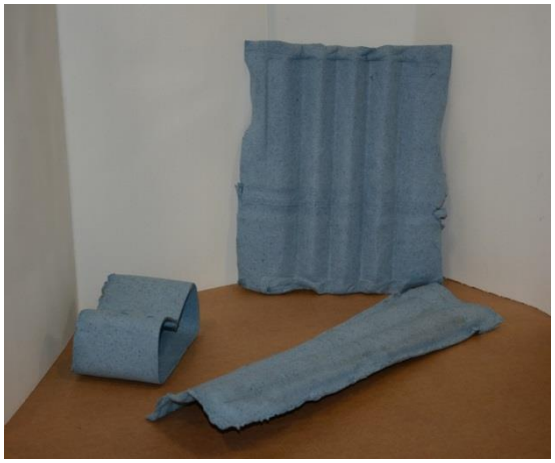
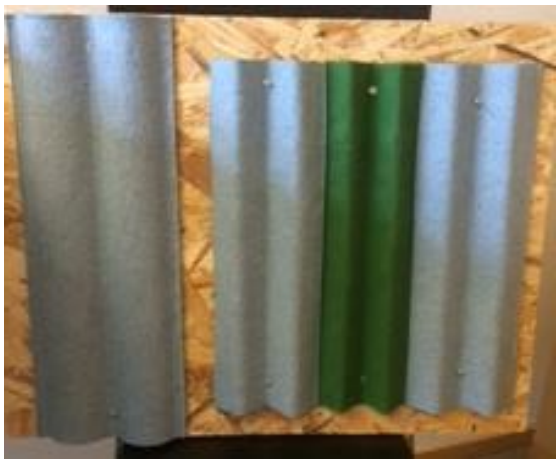
Under workshoppen visades intresset för materialet pga. av dess styrka och styvhet. Det framkom dock också att materialet i nuläget inte kan konkurrera med andra träbaserade skivmaterial från pris- och användarperspektivet. Möjliga varianter som eventuellt bildar en ny nisch är fullskaliga skivor, dvs. skivor som täcker hela väggen eller golvet för att slippa utföra överlappningar (detta är speciellt av intresse vid tillverkning i fabrik).



Figur 10. Typiska spännings-töjnings-diagram från dragprovning av det våtformade DuraPulp-materialet (VF, vänster); jämförelse av styvheten för alla testade varianter av DuraPulp samt referensmaterialet (höger).

Produktionen under december 2017 ledde till representativa element (se Figur 11). Prototyperna skiljer sig i form och färg. Det är tänkt att visa upp prototyperna vid olika tillfällen. Kontakten med projektet ”Fossilfri förskola” har tagits upp och besök arrangerades.

© RISE Research Institutes of Sweden

Figur 11. Prototyper av formade och färgsatta element efter produktionen (vänster) och uppsatt i olika färger som väggelement (höger).

Kontakten med ovannämnda projekt och företag ledde inte till gemensamma aktiviteter. Bland annat på grund av det låga intresset ändrade företaget dessutom inriktningen med materialet under den senaste perioden. Satsningen riktas nu mot andra områden (t.ex. förpackningar) och inte längre mot insats inom byggsektorn. Även själva prototypstillverkningen kommer att säljas under närmare framtiden. Delprojektet avslutas därmed tidigare än planerat.

17.4 Effekter av slutresultat

Bio-baserade, nedbrytbara material antas fortfarande att vara av stort behov och nödvändighet i framtiden inom byggsektorn. I nuläget ansågs dock intresset från potentiella intressenter inte tillräckligt stort för att starta konkreta samarbeten eller utveckling med t.ex. hustillverkare eller arkitekter. Direkt kommersiell användning för de inblandade parterna kommer därför inte att tillämpas.

En pågående projektansökan från LNU kommer att titta på hållbara plaster och kompositer, både konventionellt oljebaserade och bio-baserade. Där kan DuraPulp komma att användas som ett tänkt material för karakterisering och referens för vad som är möjligt inom bio-baserade material.

Ett gemensamt projekt om hållbar användning av kompositer (biobaserade och konventionella) kommer att skickas in till KK-stiftelsen i början av 2019. Deltagare är Institutionen för Maskinteknik (projektledare), Institutionen för Byggteknik samt Institutionen för Skog och Träteknik, alla Linnéuniversitetet.

17.5 Resultatspridning

Från testsidan så sammanställdes en preliminär rapport för internt bruk som kommer att slutföras under hösten 2017 då den experimentella delen betraktas som avslutad.

Under workshoppen i juni 2017 presenterades genomförda aktiviteter och materialets egenskaper som delvis kom från tidigare och från projektets undersökningar. Materialets insatsområden diskuterades fritt med deltagarna.

© RISE Research Institutes of Sweden

I utbyte med Smart Housing Småland presenterades materialet och projektet och det är tänkt att SHS kommer att användas som multiplikator. Den diskussionen ledde fram några andra projekt och företagskontakter som kan tänkas vara av intresse.

Kontakten togs upp med ”Fossilfri förskola”, Göteborg, som besöktes för samtal. Flera intressenter kontaktades per telefon och mejl och en beskrivning av projektet skickades med.

I utbildningssammanhanget presenterades materialet i kursen ”Stål- och Träkonstruktion” på Linnéuniversitetet för årskurs 3 under nyckelordet ”andra träbaserade produkter”. Dessutom var materialet del av exjobbsarbeten under våren 2016 och 2017 men även tidigare.

Projektet presenterades även internationellt under en workshop i Madrid under februari 2016 som COST Action FP1303 anordnade under titeln ”Designing with bio-based building materials – Challenges and opportunities”.

Materialexemplen, prototypväggar samt infomaterialet presenterades på den gemensamma FBBB-montern under konferensen Wood Building Nordic i Växjö i slutet av september 2018.

17.6 Leverabler

Demonstratorer

Demonstratorer finns i flera varianter: från första tillverkningsserien finns plana element från alla tre tillverkningssätten; från andra omgången finns de fri-formade element (se Figur 11). Alla demonstratorer finns hos LNU.

Rapport

Dorn, M., Tuvendal, H., Oxfall, H., Serrano, E., 2018. FBBB 4.3 Biobaserade skivmaterial – Experimentella undersökningar. Projektrapport, Linnéuniversitetet.

Avhandlingar/examensarbeten

Gren Bernhäll, O., Nilsson, A., 2017. Bestämning av mekaniska egenskaper för ett bio-kompositmaterial. Exjobbsarbete (byggteknik, högskoleingenjör), Linnéuniversitetet.

Hosseini Moghadam, S. M., Al-Shihabi, M., 2016. Mechanical behavior of a bio-based composite – Influences of production conditions, Exjobbsarbete (byggteknik, magisterprogram), Linnéuniversitetet.

TRL-nivå före och förväntat efter projekt: TRL 2 → TRL 4

Budget: 834 000 SEK
Partners: Linnéuniversitetet (Michael Dorn, projektledare), Södra skogsägarna, Swerea, LTH

© RISE Research Institutes of Sweden

18 Delprojekt 4.4 – Höga flervåningshus i trä

18.1 Mål och syfte med delprojektet

Projektet har till syfte att utveckla byggkomponenter och metoder för att möjliggöra högre trähus som klarar nuvarande normer och krav. Genom att visa på tekniska möjligheter och underlätta för flera att bygga högt i trä så bör byggandet av hus mellan 10-15 våningar inte vara en ovanlighet inom den närmaste framtiden.

Mål: Tydliggöra och bidra till lösa tekniska problem för byggnader i trä, 8-16 våningar och verifiera lösningar för byggnader 4-8 våningar.

Utförargrupp/referensgrupp

Jamal Alipur	Derome Plusshus
Per-Olof Landström	Derome Plusshus
Peter Jacobsson	Martinsons Group
Helena Lidelöw	Lindbäcks Bygg
Johannes Huber	Luleå Tekniska Universitet
Ida Edskär	Luleå Tekniska Universitet
Mats Ekevad	Luleå Tekniska Universitet
Erik Serrano	Lunds Tekniska Högskola
Anders Gustafsson	RISE
Anna Pousette	RISE

Industrirepresentanter:

Anders Carlsson	Derome AB
Peter Jacobsson	Martinsons Group
Helena Lidelöw	Lindbäcks Bygg
Jan Wintzell	Sveaskog
Dick Sandberg	Luleå Tekniska Universitet
Anders Gustafsson	RISE

Intressenter med naturlig koppling till projektet:
Medlemsföretag inom Träcentrum Norr.

18.2 Genomförda aktiviteter

Projektet är indelat i tre underprojekt, Dynamiska egenskaper för höga trähus, Robusthet för höga trähus och Byggsystem för höga trähus.

Inom området ”Dynamiska egenskaper” har ett stort arbete gjorts inom utvärdering av olika byggsystems dynamiska egenskaper. Byggsystemens för och nackdelar samt vilka parametrar som styr byggnadens dynamiska egenskaper. Inom området ”Robusthet” har grundläggande arbete gjorts inom följande områden, state of art, systemverkan och infästningar. Tillsammans med det grundläggande arbetet har arbete genomförts kring hur projektering för robusthet bör göras. Arbetet har även omfattat konkret påverkan på normskrivande och praktisk rådgivning i form av anvisningar. Inom området ”Byggsystem” har olika systemlösningar provats och stort arbete har gjorts kring

© RISE Research Institutes of Sweden

konkreta byggnader och deras egenskaper. Olika kombinationer har provats i ett otal beräkningar.

18.3 Resultat från genomförda aktiviteter

Gällande träbyggnaders dynamiska egenskaper visar genomfört arbete att avsaknaden av bland annat massa gör att det är svårt att bygga högre än cirka 14 våningar helt i trä för en byggnad med byggytan 22x22 m². Genom att ändra byggnadens byggyta samt delvis ta in andra material kan än högre byggnader byggas med trä. Arbetet har även belyst dagens norm och hantering där det har visat sig att de förskrivna approximationerna ska användas med försiktighet. Inom robusthet har det tydliggjorts att nuvarande regler kan skapa problem för trähus och speciellt för modulbyggare. Tydliga och enkla föreskrifter krävs för att projektörer skall känna sig förtroliga med slutresultatet. Genomförda examensarbeten visar på avsaknaden av ”solida” anvisningar hur höga trähus ska beräknas. Exempelvis finns det ett behov av enkla nyckeltal för att rimlighetskontroll av beräkningsresultat.

Arbetet har generellt bidragit till att sprida information kring bygga höga trähus och därigenom ökat möjligheten att använda träbaserade produkter i höga trähus. Projektet öppnar upp för ökad konkurrenskraft och effektivare produktion för deltagande företag och ger därför en direkt effekt på användandet av biobaserade material.

TRL-nivån och förändring av TRL-nivå beror av vilken del av projektet som betraktas. Underprojektet 4.4 består av tre delar som tillsammans bilder en helhet som skall leda fram till tydlighet för att bygga högre byggnader i trä. Betraktas hela projektet (ej på underprojekts nivå) kan TRL-nivån före projektstart bedöms vara 5-6. Efter projektets genomförande bör TRL-nivån vara 6 och i planeringsfas för demonstration, nivå 6-7.

18.4 Effekter av slutresultat

Beräkningar och parmeterstudier av höga trähus har gett en större förståelse och underlag för vilka delar (både gällande system och byggdelar) som skall beaktas. Det är en avgörande del för att tillverkarna skall kunna bygga högre och med stor säkerhet. Arbetet med robusthet skapar ett underlag och större förståelse för tillverkarna hur de ska hantera robusthetskraven. Utveckling av byggsystem är ett långsiktigt arbete och där ett stort antal parametrar påverkar slutresultatet. Eventuella ändringar kan få stor inverkan på företagens produktionsprocess.

Totalt sett ökar konkurrenskraften för deltagande företag och därmed fås en direkt effekt på användandet av biobaserade material. På längre sikt kommer detta även få effekt hos andra företag och därmed en större andel höga trähus. Förändring av byggandet är tidsmässigt en lång process. Verksamma företag måste inte enbart ändra på arbetssätt utan hänsyn måste även tas till anställda, risker, produktionshjälpmedel, mm och med ekonomisk bärkraft. De företag som varit involverade i projektet har på olika sätt kommit relativt långt men den stora byggnadsvolymen finns fortfarande hos traditionella byggbolag. Genom att vara föregångare och erbjuda byggare, projektörer m.fl. både direkta produkter men även tekniskt stöd och fungera som ”förebilder” finns det goda möjligheter att påverka den nuvarande rådande läget inom byggandet i Sverige.

© RISE Research Institutes of Sweden

18.5 Resultatspridning

- WEB-presentation av området robusthet för industrigruppen.
- Presentation av Robusthet externt
- Presentation för industrigruppen gällande examensarbeten.
- Presentation vid konferens i Prag
- Presentation vid konferens i Kemi, Artic Wood Building and Circular Economy Forum.
- Presentationer av projektet vid besök från företag, organisationer, 4 stycken.
- Presentation vid konferens i Soul, WCTE2018
- Workshop Höga Hus i trä, Växjö 2017-06-13
- Wood Building Nordic, Växjö 2018-09-27/28
- Stora Trähusdagen, Lidingö 2018-10-18
- Kontinuerliga interna presentationer för medverkande parter under projektets gång
- Presentation för Sweco Structures AB Höga hus grupp
- Intern presentation och dialog med dynamik/akustikspecialist på Tyréns
- Intern presentation och kontinuerlig dialog med konstruktör på Sweco Norge AS, Lillehammer
- Kontinuerlig dialog och informationsutbyte med specialist på COWI
- Presentation av avhandling: *Modal Analysis, Dynamic Properties, and Horizontal Stabilisation of Timber Buildings*

18.6 Leverabler

Peer-reviewed artiklar

Huber, J. A. J., Ekevad, M., Girhammar, U. A., & Berg, S. (2018). Structural robustness and timber buildings - a review. Wood Material Science & Engineering. Epub ahead of print.

Huber, J.A.J. et al. - *Alternative load path mechanisms in a platform-framed cross-laminated timber building* (prel titel)

Huber, J.A.J. et al. - *Numerical and experimental analysis of a floor-to-wall joint under collapse in a platform cross-laminated timber building* (prel titel)

Edskär, I., & Lidelöw, H. (2017). *Wind-Induced Vibrations in Timber Buildings-Parameter Study of Cross-Laminated Timber Residential Structures*. Structural Engineering International, 27(2), 205–216.

Edskär, I. & Lidelöw, H., 2018. *Dynamic properties of cross-laminated timber and timber truss building systems*. Engineering Structures, submitted 2018-07-06, revised version December 2018

Edskär, I. & Lidelöw, H. (2018) *Dynamic properties of timber buildings – the effects of openings*. European Journal of Wood and Wood Products, submitted December 2018

© RISE Research Institutes of Sweden

Edskär, I. & Lidelöw, H. (2018) *Dynamic properties of timber buildings – the effects of asymmetrical floor plans*. European Journal of Wood and Wood Products, submitted December 2018

Konferens artiklar

Huber J.: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium - WMCAUS 2017: *Review of Robustness in Timber Buildings* (Abstract)

Huber J.: 2018 World Conference on Timber Engineering - 2018 WCTE: *Structural Robustness of Timber Buildings*

Huber J.: 2018 World Conference on Timber Engineering - 2018 WCTE: *Assessment of Connections In Cross-Laminated Timber buildings Regarding Structural Robustness*

Huber J.: 40t IABSE Symposium: *A Review of Structural Robustness with Focus on Timber Buildings*

Huber, J. A. J., Ekevad, M., & Girhammar, U. A. (2017). Review of Robustness in Timber Buildings. Presented at the World Multidisciplinary Civil Engineering - Architecture - Urban Planning Symposium, Prague, June 12-16, 2017.

Rapport

Pousette A.: Robusthet höga trähus, informationspaket. RISE rapport, publiceras 2019

Johansson M., Gustafsson A., Landell P., Pousette A., Sandin Y. m.fl.: Best Practice Guide – Höga hus i trä, RISE rapport, publiceras 2019

Edskär, I. Finite element modelling of high-rise timber buildings: dynamic analysis. Technical Report, Division of Industrialized and Sustainable Construction, Luleå University of Technology. (2018)

Avhandlingar/examensarbeten

Edskär I.: Modal Analysis, Dynamic Properties, and Horizontal Stabilisation of Timber Buildings, Avhandling Luleå tekniska universitet, 2019.

Lindberg A.: Dynamisk dimensionering av hög träbyggnad med horisontalstabiliserande kärna av KL-trä och prefabricerade volymelement. Examensarbete Luleå tekniska universitet, 2018.

Nilsson K., Sörnmo D.: Extern vindstabilitet för flervåningshus i trä. Examensarbete Luleå tekniska universitet, 2018.

Häggström R.: Olsson P.: Byggbara höga modulhus. Examensarbete Luleå tekniska universitet, 2019.

TRL-nivå före och förväntat efter projekt: TRL 5 → TRL 7

Budget: 10 070 000 SEK
Partners: Martinsons Group Invest AB, Lindbäcks Bygg AB, Derome-Plusshus, Sveaskog Förvaltnings AB, Luleå Tekniska Universitet, Lunds Tekniska Högskola, RISE Research Institute of Sweden (Anders Gustafsson, projektledare).

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.

RISE Research Institutes of Sweden AB
351 96 VÄXJÖ
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Byggteknik
RISE Rapport 2019:18
ISBN: 978-91-88907-44-8

© RISE Research Institutes of Sweden