E2B2 - forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende

Klimatsmart renovering med innovativ träfasad

Klimatsmart renovering med innovativ träfasad

Digitaliserad designprocess för industriellt tillverkat fasadsystem

Karin Sandberg

Camilla Schlyter

Energimyndighetens projektnummer: P202x-xxxxx

E2B2

Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

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

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

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

Stockholm, 21 december 2022

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

Sammanfattning

Vi står inför ett stort behov av renovering i våra städer, särskilt fastigheter byggda mellan 1950- och 1990-talet. Vid renoveringar av klimatskalet utförs tilläggsisolering som ofta påverkar fasadens estetiska uttryck negativt, vi vinner driftekonomiskt men förlorar i social hållbarhet. Idag efterfrågas prefabricerade fasadsystem som är klimatneutrala och optimerade i avseende på låg material- och energiförbrukning, samt ger möjlighet till estetisk frihet och anpassning till olika fasadarkitekturer.

Att renovera fasader med prefabricerade fasadsystem med tilläggsisolering som är designmässigt anpassningsbara till olika miljöer var utgångspunkten för framtagandet av ett biobaserat fasadsystem för renovering med medverkande i hela värdekedjan. Projektet har tagit fram ett prefabricerat träfasadsystem med isolering med fokus på renovering (ROT) utformat för att möjliggöra anpassning till byggnaders ursprungliga fasader vad gäller uttryck och mått.

Ett interaktivt digitalt designverktyg för arkitekter och tillverkare har utvecklats för att förenkla projekterings- och tillverkningsprocessen vid renovering av fasader. För arkitekter möjliggör designverktyget en bred designvariation i systemet och för tillverkare kan den digital informationen som arkitekterna skapar ge digital information för tillverkning. En processkedja för hur interaktionen mellan fasadsystemet och den digitala informationen rör sig från projektering till tillverkning och montage har tagits fram för att säkerställa att rätt information skapas.

Ur ett samhällsperspektiv är projektet viktigt för att förbättra det befintliga byggnadsbeståndet genom att förlänga dess livslängd och uppdatera det till nuvarande energikrav. En utveckling av tilltalande prefabricerade biobaserat fasadsystem som bidrar till energieffektivisering är en del i samhällsbyggnadsbranschens omställning mot ett minskat fossilberoende.

Resultaten presenterats i tre akademiska artiklar, ett antal populärvetenskapliga artiklar samt på konferenser och i seminarier. Projektet har varit en del i doktorandstudier och kommer att presenteras i en doktorsavhandling av Camilla Schlyter RISE. Projektet kommer att fortsätta efter slutdatumet tillsammans med tillverkare.

Nyckelord: Digitala designverktyg, Fasadrenovering, Prefabricering, Träfasadsystem, Designprocess, Samverkansprocess

Summary

We are facing a significant need for renovation in our cities, particularly for buildings constructed between the 1950s and 1990s. During renovations of the building envelope, additional insulation is often applied, which can negatively affect the aesthetic appearance of façades. While this improves operational efficiency, it often comes at the cost of social sustainability.

Today, there is a growing demand for prefabricated façade systems that are climate-neutral and optimised for low material and energy consumption, while also allowing for aesthetic freedom and adaptation to various architectural styles.

The starting point for this project was to develop a bio-based façade system for renovation, using prefabricated elements with additional insulation that can be design-adapted to different architectural environments. The project has resulted in a prefabricated timber façade system with insulation, specifically focused on renovation (ROT), designed to enable adaptation to the original façades of buildings in terms of both appearance and dimensions.

An interactive digital design tool has been developed for architects and manufacturers to simplify the planning and manufacturing process during façade renovations. For architects, the tool enables a wide range of design variations within the system, and for manufacturers, the digital information created by architects can be used directly in production. A process chain has been developed to ensure that the interaction between the façade system and the digital information flows correctly from design to manufacturing and installation, ensuring that the right information is generated.

From a societal perspective, the project is important for improving the existing building stock by extending its lifespan and updating it to meet current energy requirements. The development of aesthetically attractive, prefabricated, bio-based façade systems that contribute to energy efficiency is part of the construction sector's transition toward reduced fossil fuel dependency.

The results have been presented in three academic articles, several popular science publications, and at conferences and seminars. The project will continue beyond its official end date in collaboration with manufacturers.

Keywords: Digital design tools, Facade renovation, Prefabrication, Wood facade system, Design process, Collaboration process

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 8
- 1.1 BAKGRUND 8
- 1.2 SYFTE OCH MÅL 8
- 1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR 8

2 GENOMFÖRANDE 9
- 2.1 PREFABRICERADE FASADELEMENT 10

3 RESULTAT 11
- 3.1 DEN DIGITALA VÄRDEKEDJAN 11
- 3.2 VAL ISOLERING 13
- 3.3 DIGITALT DESIGNVERKTYG 13
- 3.4 KOLLEKTIVA DESIGNPROCESSEN 13

4 DISKUSSION 14

5 SLUTSATSER 15

6 PUBLIKATIONSLISTA 16

7 REFERENSER 17

1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

Vi står inför ett stort behov av renovering i våra städer, särskilt fastigheter byggda mellan 1950- och 1990-talet. Myndigheter som Boverket och Energimyndigheten har pekat på särskilda utmaningar kopplade till det så kallade »Miljonprogrammet«, under vilket en miljon bostäder byggdes mellan 1965 och 1974. Vid renoveringar idag utförs ofta tilläggsisolering på fasader vilket påverkar fasadens estetiska uttryck och förändrar det ursprungliga arkitektoniska uttrycket särskilt vad gäller fasadinklädnad och detaljlösningar vid fönster och takfot. Vi vinner driftekonomiskt men förlorar i social hållbarhet, vad gäller igenkännande, minnen och kulturarv.

Idag efterfrågas fasadsystem som är klimatneutrala och optimerade i avseende på låg material- och energiförbrukning, som samtidigt ger möjlighet till estetisk frihet och anpassning till olika fasadarkitekturer. Prefabricering och digitaliseringen är centralt för att skapa kostnadseffektiva sätt att renovera fasader med hög kvalité som är gestaltningsmässigt anpassningsbart.

Ett fasadsystem i trä för nyproduktion utvecklades i projektet Fasaden i staden Snabb, Smart, Snygg [Sandberg mfl. 2021] som var anpassat för prefabricering och snabbt montage på byggarbetsplatsen [Berggren mfl. 2020]. Lärdomarna från det projektet var utgångspunkten för detta projekt.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet var att undersöka digitaliseringens möjligheter för att skapa framtidens fasadsystem i trä och biobaserade material, där arkitektens gestaltningsmöjligheter kombineras med kostnadseffektiv tillverkning, montage och återbruk.

Målet med projektet var att inom fyra år utveckla ett industriellt tillverkningsbart innovativt träfasadsystem med isolering för hållbar renovering (ROT), som är enkelt för arkitekter att använda i gestaltnings- och projekteringsprocessen samt anpassningsbart till olika fasadtypologier.

1.3 Omfattning och avgränsningar

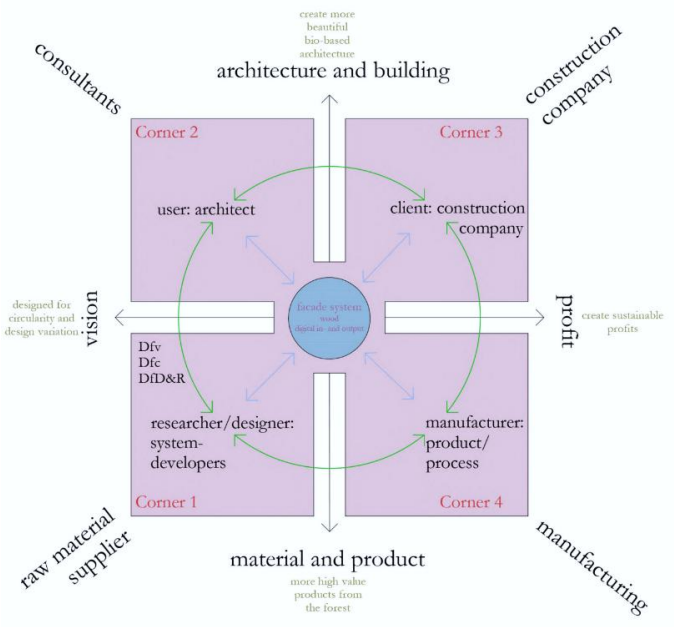
Projektet gäller endast prefabricerade fasadsystem av trä med biobaserad isolering för energieffektivisering av fasader, framför allt av miljonprogrammets fasader.

Utvecklingen har skett i samverkan med projektparterna och deras insikter, kompetens samt möjlighet att tillverka prototyper har inverkat på utformningen av fasadsystemet. Fasadsystemet har inte monterats på befintlig fasad, men provmonterats på industri och RISE.

Projektpartner var Hedlunda Industrier AB i Lycksele, SCA Wood, bostadsbolaget Kirunabostäder AB och Equator arkitekter AB samt forskare vid RISE Research Institutes of Sweden och Luleå Tekniska Universitet.

2 Genomförande

Att utforma ett fasadsystem som uppfyller krav på låg miljöpåverkan, hög energieffektivitet och samtidigt möjliggör arkitektonisk anpassning är en komplex och kunskapsintensiv process. Det kräver nära samverkan mellan aktörer i hela värdekedjan. Komplexiteten i fasadsystemsutveckling rör allt från produktionssätt och råvaruanskaffning till samhälleliga krav, såsom att fasadsystemet är väl formgivet, hållbart och återanvändbart. För att hantera komplexiteten skedde utvecklingen i nära samarbete mellan parterna som består av professionella yrkespersoner inom olika områden i värdekedjan. För att skapa en bas för samverkan, och möjliggöra kunskapsutbyte mellan olika professioner har kollektiva designmetoder använts. Se figur 1.



Figur 1, visar de fyra hörnstenarna i fasadsystemsutvecklingen som består av; hörn 1, forskare och systemutvecklare, hörn 2, projektörer, arkitekt och ingenjör, hörn 3, beställare, entreprenörer, hörn 4, industri och tillverkare. Periferin visar andra associerade aktörer och övriga ingående aspekter som tagits i beaktande. I centrum är fasadsystement och digitala flödet. Den gröna cirkeln samt de blå pilarna visar den cirkulära iterativa designprocessen.

I början av projektet fastställdes att funktionella, tillverknings- och estetiska kriterier skulle utvecklas parallellt för att säkerställa att tekniska frågor balanserades med de estetiska aspekterna och produktionskraven. Inget av de tre kriterierna har föregått det andra. Designkriterier, utvecklades och beaktades genom kontinuerliga möten och workshops i en iterativ designprocess, där det säkerställdes att alla parters röster hördes. Designkriterierna förfinades och sammanställdes till gemensamma skallkrav på fasadsystemet.

Fasadsystemet består av tre delar som utvecklades parallellt;
1) det adaptiva fysiska fasadsystemet.
2) ett digitalt designverktyg som underlättar arkitektens projekteringsprocess.
3) en digital plattform som utreder det digitala flödet under design- och tillverkningsprocessen.

Det digitala designverktyget har utvecklats med hjälp av parametriska mjukvaror för att möjliggöra design av renoveringsscenarier och möjliggöra kontextuell anpassning av fasadsystemet. En digital plattform har utformats för att samordna hanteringen av digital information som krävs för produktion mellan arkitektens projektering och tillverkningen. KBAB:s fastigheter i Lombolo i Kiruna har använts som fallstudie för utvecklingen av fasadsystemet, Figur 2.

Figur 2, från vänster, området Lombolo i Kiruna (Bild, Google Earth), en av fastigheterna (foto Karin Sandberg), höger detalj på möte fönster – fasad (foto Camilla Schlyter).

En inventering av krav på fasadrenovering ur KBAB:s perspektiv utfördes där data samlades in genom diskussioner, platsbesök, bilddokumentation och mätningar på plats. KBAB:s huvudkrav var energibesparing, bättre komfort och minskat drag inomhus, snabb montering, grundmålade element, ett enkelt underhåll samt att fasadernas ursprungliga integritet hålls intakt.

2.1 Prefabricerade fasadelement

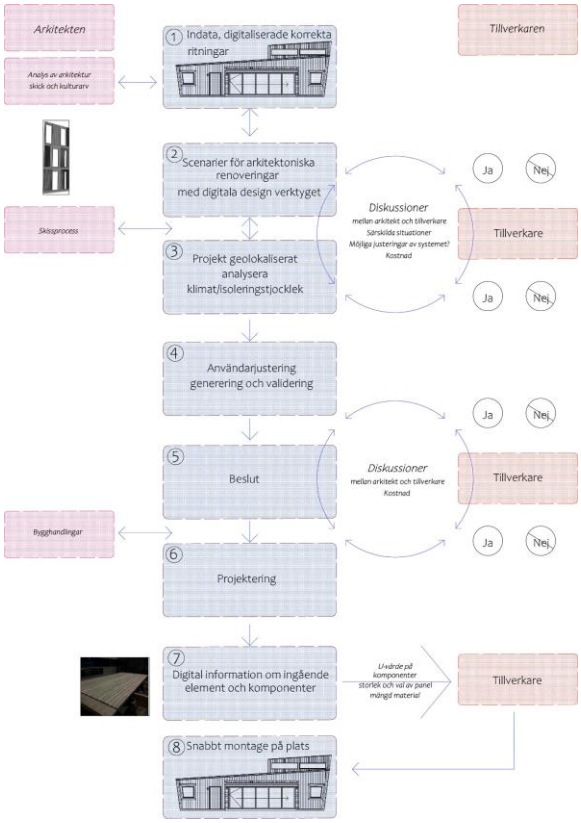
Fasadsystemet består av prefabricerade fasadelement i olika dimensioner som innefattar ett monteringssystem med fogar samt anvisningar till hur anslutningar till fönster och hörn utförs. Isoleringen består av träfiber och komponenterna är tillverkade av högkvalitativt trä som fogas industriellt till enskilda fasadelement. Fasadsystemet är designad för att vara kostnadseffektiv när det gäller produktion. Montage av fasadelementen sker genom upphängning på läkt vilket underlättar för demontering och återbruk. Detta skiljer sig från dagens vanliga fasadisoleringsmetoder, där isolering monteras på plats, och fasaden spikas bräda för bräda på platsen. Valet av isolering inverkar på väggens värmemotstånd och energibesparing. Genom att bygga bort köldbryggor och göra fasaden mer vindtät blir inomhuskomforten bättre. Men materialvalet påverkar även andra faktorer i klimatskärmen som fuktvandring och miljöbelastningen och vikten. Valet av isolering för fasadrenovering som mineralull, glasfiberull, cellplast och alternativa biobaserade isoleringar diskuterades och jämfördes i workshopform.

3 Resultat

Prototyper har tillverkats hos Hedlunda Industrier i Lycksele samt hos Norrlands Trähus i Hammerdal för att studera hur väl fasadsystemet är designat för tillverkning. Montaget, transporter, önskemål från beställarperspektivet har diskuterats. Montage av elementprototyper samt test av vind- och regntäthet har genomförts i RISE labb i Skellefteå. Parallellt har miljöpåverkan, energieffektivitet, digitalhantering av information samt gestaltningsmöjligheter för arkitekten utretts.

3.1 Den digitala värdekedjan

Fasadsystemet i byggprocessen och interaktion vid användandet visas i figur 3.



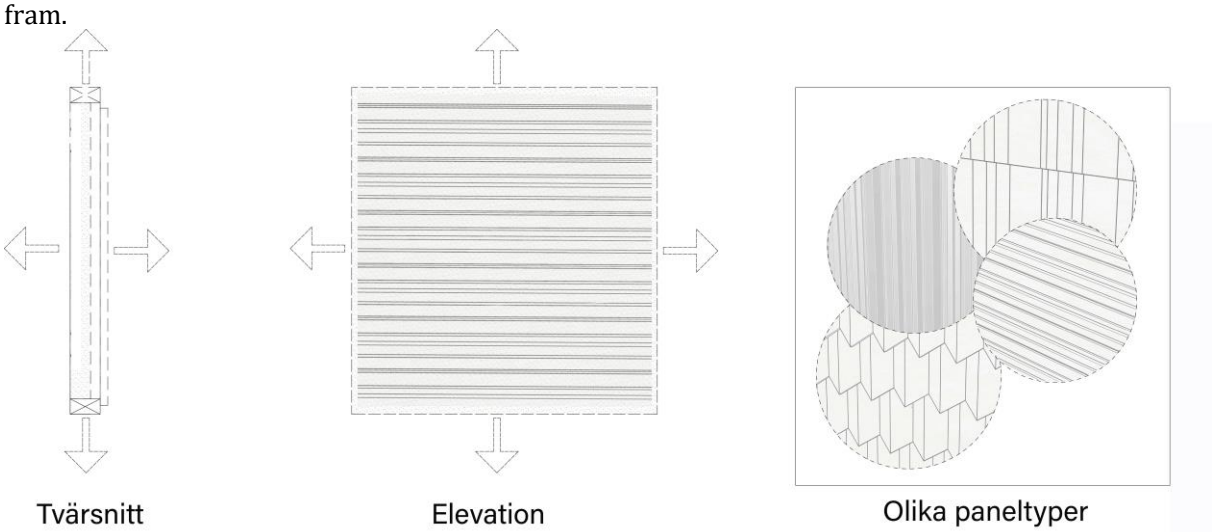
Figur 3. visar en schematisk bild över projekterings- och tillverkningsprocessen av fasadelement och hur när interaktion sker mellan aktörer i framtagandet av en ny fasadlösning som ska renoveras.

Förklaring av de olika boxarna i diagrammet 1–7.

1) Fastighetsägaren tar fram underlag för byggnadens och väggens uppbyggnad samt ritningsmaterial på fasaderna. Vid behov kontrollmäts de på plats. Arkitekten analyserar ritningarna vad gäller korrekthet och arkitektoniskt värde och digitaliserar dem.

2) Digitaliserade ritningar importeras i det digitala designverktyget och olika gestaltningar av fasaden testas.
3) Projektet geo-lokaliseras för att möta olika energikrav vilket påverkar isoleringens tjocklek. Arbetet innefattar balansering av energieffektivitet och fasadens arkitektoniska värde. Diskussioner med tillverkande industri påbörjas efter att den digitaliserade fasadlösningen levererats. Särskilda situationer identifieras och löses mellan arkitekt och tillverkare. Dimensionering för vindlast och infästning kontrolleras tillsammans med andra krav. Tillverkare gör en kostnadsanalys och kontrollerar att det går att tillverka enligt beslutade tillverkningsförfarande. Om speciallösningar behövs som är fördyrande meddelas beställare.
4) och 5) Arkitekt justerar fasadlösningen och en andra diskussionsomgång med tillverkare utförs. Ett beslut om fasadlösning och kostnad tas tillsammans med beställare.
6) Projekterings- och bygghandlingar tas fram, där varje element och komponent littereras. Detta arbete förenklas genom att arkitektens fasaddesign skapas i det digitala designverktyget, vilka samtidigt utgör fabrikationsfiler för tillverkare. Detta är även underlag för hållbarhetsbedömning.
7) Fabrikationsfilerna innehåller information om ingående element och komponenter, såsom mått, tjocklek, mängd, val av panel med mera. Tillverkare tillverkar fasadelementen, där elementen packas enligt litterering för enkelt montage.
8) Montage på plats.

Fasadsystemet gör det möjligt för arkitekten att utforma fasadpanelerna, både liggande och stående samt variera fasadelementens höjd och bredd för att passa olika fasaduttryck. Se figur 4. Fönster, dörrar och hörn är unika och varierar från byggnad till byggnad. Anvisningar för gestaltnings-strategier runt öppningar och hörn på grund av ökad väggtjocklek och för att undvika fukt har tagits fram.



Figur 4. Fasadsystemet består av cirkulära fasadelement, inklusive tilläggsisolering med löstagbart monteringssystem, löstagbara hörnkomponenter och guidelinjer för öppningar. Denna figur visar några av systemets möjliga variationer, tvärsnittet visar att tjockleken kan varieras beroende på vald isolertjocklek, elevation visar att höjd och bred kan varieras samt paneltyper att det går att använda obegränsade variationer på paneler.

3.2 Val isolering

Utifrån miljöhänsyn men också produktionstekniksaspekter valdes isolering i form av skiva eftersom de prefabricerade väggarna är tänkta att fraktas till byggplatsen och monteras på plats. Till prototyperna valdes steicoskivor som består av pressade träfibrer. Prototyptillverkningen visade att det fungerade bra i den industriella tillverkningen att skära isolerskivan till rätt format med precision och det bidrar till att minska risken för köldbryggor och bidrar till lufttätheten.

För att kunna jämföra olika alternativa utföranden och isolering kan beräkningsjämförelser användas, i detta fall från Equator Arkitekter. Beräkningsverktyget jämför 1m² fasadelementen som baseras på U-värde och LCA beräkningar enligt Boverkets riktlinjer för nybyggnation se Bilaga 1.

3.3 Digitalt designverktyg

För att förenkla processen att renovera fasader har ett digitalt designverktyg tagits fram för arkitekter i projekteringsprocessen som har anpassats för att träfasadsystemet ska kunna tillverkas industriellt.

Det digitala verktyget har utvecklats och testats tillsammans med Equator Arkitekter för att säkerställa att den nya fasaden med tilläggsisolering bibehåller den arkitektoniska intentionen med originalfasaden. Designverktyget har evaluerats med respondenter där fasader i Lombolo och fyra fasader i Luleå användes som fall. Evalueringen visar att det finns potential till utveckling av systemet och anpassning till fler typologier, systemet skulle även kunna även redovisa, LCA och energiberäkningar, kaplistor utifrån framtagna information i digital flödet. Det digitala designverktyget har utformats för vara enkelt för arkitekter att använda i en mjukvarumiljö som de är vana vid. Designvariationer, med dess begränsningar och konstanter har bäddats in för både horisontella och vertikala panelelement. Det digitala designverktyget visualiserar alla komponenter, samt det inbäddade utbudet av fasadelement. I verktyget kan även andra fasadpaneler integreras och val av olika isolertjocklekar, vilket gör det möjligt för användare att följa vad som händer när parametrar ändras. Arkitekten ges möjlighet att hantera renoveringsscenarier interaktivt och bedöma konsekvenserna. Designverktyget förvaltas förnäravarande av Camilla Schlyter, RISE. Planen är att förbättra och trimma verktyget vad gäller fabrikationshantering, materialinformation, u-värden med mera tillsammans med industrin. Det digitala designverktyget och dess utvärdering av respondenter beskrivs och diskuteras i en pågående akademisk artikel.

3.4 Kollektiva designprocessen

En kollektiv designprocess utvecklades i projektet för att säkerställa att alla röster hördes och att partnerna fick lika del i utvecklingsprocessen för att kunna säkerställa krav och behov (designkriterierna) i fasadsystemet. De kollektiva mötena var uppdelade i tre nivåer: beslutsmöten, projektmöten och workshops.

Möten och workshops dokumenteras genom protokoll, ritningar, visualiseringar, prototyper, upprepade semistrukturerade intervjuer med partnerna och data från projektets kvalitativa och kvantitativa tester och utvärderingar. Dokumentation är viktig för att möjliggöra spårbarhet av diskussioner och beslut, eftersom en iterativ designprocess förändras hela tiden och tidigare idéer ofta visar sig kunna återanvänds. Designbesluten samlades i dokumentet "designkriterier". Genom digitala visualiseringar och fysisk prototypverifiering kontrollerades designkriterium om behov fanns ändrades designkriterierna i ett interaktivt flöde av diskussioner.

4 Diskussion

Projektet visar på möjligheten att utveckla prefabricerade fasadlösningar med tilläggsisolering som skapar gestaltningsfrihet mot olika kontexter med hjälp av digitaliseringslösningar. Styrkan är att den användarvänliga digitala processen, det digitala designverktyget och tillverkning är sammankopplade vad gäller digital filhantering och är utvecklat i parallella flöden. Vilket svarar mot projektets syften och mål. För detta utvecklades ett processflöde för att visualisera hantering av fasadsystemet i byggprocessen, se figur 3.

Det digitala designverktyget har utformats för att vara enkelt för arkitekter att använda i gestaltnings- och projekteringsprocessen och vara anpassningsbart till fyra olika fasadtypologier. Designverktyget kan utvecklas vidare och anpassas och testas mot flera fasadtypologier eller anpassas till andra produkter. Genom den kollektiva designprocessen fastställdes att funktionella, tillverknings- och estetiska kriterier utvecklades parallellt för att säkerställa att tekniska frågor balanserades med de estetiska aspekterna och produktionskraven. Vilket skiljer sig från andra forskningsprojekt på prefabricerade isolerade träfasadsystem där fokus ofta är på energieffektivisering och estetiska aspekterna är underordnade. Ett exempel är ett träfasadsystem som utvecklades tillsammans med Sverige, Norge och Finland i ett Nordic Built projektet. Där var fokus på material, energi och tillverkning, men digitalisering och estetiska aspekter var inte inkluderade (Ruud et al. 2016, Sandberg et al. 2016). TES-Energy Facade (Cronhjort et al., 2009) var ett europeiskt forskningsprojekt inom WoodWisdom-net som syftade till att skapa ett träbaserat prefabricerat fasadelementsystem för att förbättra energieffektiviteten, även finska fasadtypologier mellan 1950–1980 talet för inventerades.

Det EU-finansierade LIFE IP BuildEST har en bred strategi för att uppnå effektiv renovering av det estniska byggnadsbeståndet genom att spara material och energi och därigenom minska utsläppen av växthusgaser (Kliimaministeerium, 2023). Projektets fallstudie är under utveckling, inklusive kulturarv och bostadshus byggda under sovjettiden, med prefabricerade träelement i centrum. I BuildEST lyfts ännu inte de estetiska aspekterna fram, inte heller kopplingen mellan produkt och digitalt verktyg. Ett nationellt ramverk utvecklas för snabbt antagande av regler och finansieringsfrågor gällande strategier för tekniska lösningar, cirkularitetsprinciper och digital teknik.

I detta projekt har djupare energianalys inte utförts utan utvecklingen har utgått från praktiska lösningar på fasaden och på byggplatsen som väggtjocken och anpassning till takfot. Renoveringen bidrar till att väggen blir mer vindtät och köldbryggor minskar vilket bidrar till komforten inomhus.

Ur ett samhällsperspektiv är det viktigt att förbättra byggnadsbeståndet genom energieffektiv renovering att förlänga dess livslängd och uppdatera det till nuvarande energikrav. Lika viktigt är det att bevara och förhöja kvalitén på fasadarkitekturen, det lyfts till exempel fram i New European Bauhaus (2024).

Resultatet visar att det krävs nära samverkan i på grund utav komplexiteten i produktutveckling av prefabricerade fasadsystem för att beakta alla krav och önskemål. Nästa steg är att utveckla resultaten vidare med fler intressenter, samt undersöka fler fasadtypologier för att förfina det digitala flödet och det digitala verktyget. Projektet bidrar till en utveckling av tilltalande träbaserade produkter är central för samhällsbyggnadsbranschens omställning mot ett minskat fossilberoende.

5 Slutsatser

Projektet visar på en banbrytande möjlighet att kombinera prefabricerade träbaserade fasadlösningar med digitala designverktyg för att möta det omfattande renoverings- och energieffektiviseringsbehovet i miljonprogrammets byggnader.

Genom att integrera gestaltningsfrihet, hållbarhet och digitalisering har projektet utvecklat ett fasadsystem som inte bara förbättrar byggnaders energiprestanda, utan också stärker deras arkitektoniska uttryck i olika geografiska och kulturella kontexter.

En central innovation är ett användarvänligt digitalt designverktyg som stödjer arkitekter i projekteringsfasen. Verktyget möjliggör simulering av olika renoveringstypologier och genererar digitalt underlag till tillverkare – vilket skapar en sömlös kedja från design till produktion och montage.

Projektet har därmed potential att:

- Effektivisera renoveringsprocesser för fastighetsägare utan att kompromissa med arkitektonisk kvalitet.
- Stödja hela värdekedjan – från byggherrar och arkitekter till industri och råvaruleverantörer.
- Skala upp lösningen till andra produkter och byggnadstyper genom det digitala flödet.

Detta arbete är ett viktigt bidrag till samhällsbyggandets omställning mot minskat fossilberoende, hållbara materialval och en gestaltad livsmiljö.

6 Publikationslista

Sandberg K., Schlyter C. 2024. Attraktiv klimatsmart renovering med träfasad, i Tidskrift Trävärden, RISE Träteknik www.ri.se/sv/attraktiv-klimat smart-renovering-med-trafasad, PDF Tidskrift Träteknik 2024.pdf.

Sandberg K., Schlyter C., 2025. Klimatsmart attraktiv renovering med digitalt verktyg, Bygg & Teknik 2/25.

Sandberg K, Schlyter C. 2025. Klimatsmart fasadrenovering som beaktar byggnaders arkitektur Husbyggaren nr 3–2025.

Schlyter, C. Sandberg K., 2023. Using co-design for developing a new wooden façade system. Proceeding of 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023, pp. 3931-3936, DOI: 10.52202/069179-0511, https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-66213

Schlyter, C. Sandberg K., 2023. Computational design development of a wooden facade system. Proceeding of 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023, pp. 4295-4302, DOI: 10.52202/069179-0559, https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-68018.

Schlyter C. 2025. Presentation på Träfokus Västerbotten, Skellefteå den 22 maj 2025, Arrangör NTT Woodnet och medarrangör Skellefteå Kommun och TräInnovationsklustret.

Projektets E2B2-hemsida https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/renovering/trafasad-i-den-cirkulara-staden-for-en-attraktiv-klimatsmart-renovering/

Arbetet har genomförts som institutsdoktorand vid RISE av Camilla Schlyter med Luleå Tekniska Universitet som handledare och en avhandling kommer att avläggas med artikel som ej publicerats än.

7 Referenser

Berggren G. Sandberg K. Scharf A. (2020). *Pilotmontage av nytt fasadelementsystem i trä - Fasaden i staden Snabb Snygg Smart*, RISE Rapport 2020:64, http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-57376.

Cronhjort Y., Piironen J., Hirsi H., Nuikka M., Lylykangas K., Hietaniemi J. Kalia A., Huttonen E. (2009). *TES Energy Facade Timberbased element systems for improving the energy efficiency of the building envelope*, Technical Report Helsinki University of Technology/Aalto University, (PDF) TES Energy Facade Timberbased element systems for improving the energy efficiency of the building envelope.

Kliimaministeerium. (2023). LIFE IP BuildEST. Hämtat från nätet https://kliimaministeerium.ee/en/buildest.

New European Bauhaus. (2024). *New European Bauhaus*. Hämtat från https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en.

Ruud, S., Östman, L., & Orädd, P. (2016). Energy savings for a woodbased modular pre-fabricated façade refurbishment system compared to other measures. *Energy Procedia, 96, 768-778*.

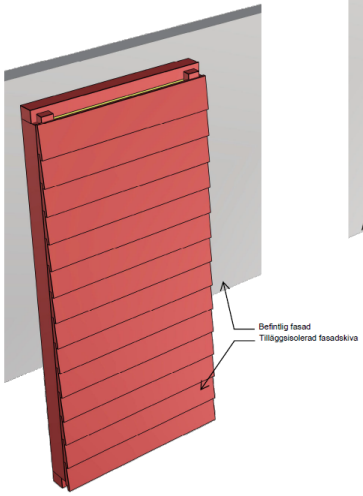
Sandberg K., Pousette A, (2017). *Fasaden i staden Snabb, Smart, Snygg– utveckling av nya fasadkoncept i trä*. Bygg & teknik nr 8/17.

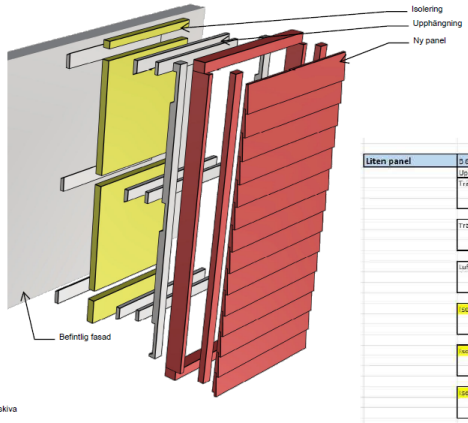
Sandberg K., Häggström U., Cristescu C., Schlyter C. Norén J., Pousette A., Tsantaridis L., Öhman M., Scharf A. (2021). *Så tog vi fram fasadsystemet Fasaden i staden Snabb, Snygg, Smart*, RISE Research Institutes of Sweden AB, RISE Rapport: 2021:116 DiVA, https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-61168.

Sandberg K., Schlyter C., Pousette A. (2021). *Arkitektonisk utformning och konstruktiva lösningar Fasaden i staden Snabb, Snygg, Smart*, RISE rapport 2021:109, ISBN 978-91-89561-00-7. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-58491
Energy Procedia, Vol. 96, pp

Sandberg K, Orskaug T, Andersson A. 2016. Prefabricated Wood Elements for Sustainable Renovation of Residential Building Façades, *Energy Procedia, Vol. 96, pp: 756-767*. https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1048774/FULLTEXT01.pdf.

Bilaga 1





Liten panel	B 690mm	H 1500mm	D 107 mm						
	Uppbyggnad		Mängd	Enhet			U-värde	CO2e	
	Trapanel		0,028	m3		[illegible]		-20,11	tot
						[illegible]		1,14	fossil
						[illegible]		-21,25	biogenic
			Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Trästomme		0,010	m3				-9,89	tot
								0,33	fossil
								-7,21	biogenic
			Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	luftspalt svagt ventilerad		0	mm		0,00	0,00	0,00	tot
			10	mm		0,07	14,93	0,00	fossil
			20	mm		0,13	7,52	0,00	biogenic
			Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	isolering alt.1 Min.ull		55	mm		1,15	0,86	2,67	tot
						1,15	0,86	2,59	fossil
						1,15	0,86	0,07	biogenic
			Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	isolering alt.2 Hampa		55	mm		0,88	1,09	-2,19	tot
						0,88	1,09	0,43	fossil
						0,88	1,09	-2,64	biogenic
			Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	isolering alt.3. STEICO		55	mm		0,70	1,35	-3,11	tot
						0,70	1,35	0,00	fossil
						0,70	1,35	-3,11	biogenic
			CO2e			R-värde	U-värde	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT CO2 Alt.1	-24,33	tot	0mm luft		1,24	0,81	-23,51	tot/m2 -19,48
		4,06	fossil	10mm luft		2,18	0,46	3,92	fossil/m2 1,75
		-28,40	biogenic	20mm luft		2,24	0,45	-27,44	biogenic /m2 -12,23
		CO2e				R-värde	U-värde	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT CO2 Alt.2	-29,19	tot	0mm luft		0,98	1,02	-28,20	tot/m2 -25,79
		1,90	fossil	10mm luft		1,05	0,95	1,84	fossil/m2 1,65
		-31,11	biogenic	20mm luft		1,13	0,90	-30,06	biogenic /m2 -26,56
		CO2e				R-value	U-value	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT CO2 Alt.3	-33,11	tot	0mm luft		0,70	1,43	-32,02	tot/m2 -37,24
		1,47	fossil	10mm luft		0,77	1,30	1,42	fossil/m2 1,70
		-35,58	biogenic	20mm luft		0,83	1,20	-32,44	biogenic/ -38,95

FÖRKLARINGAR

FÖRUTSATTA VÄRDEN
Panelstorlek
I denna uträkning har två storlekar på panelen utgjort underlag. De två panelstorlekarna som beräknats, är den minsta i systemet och den största panelen. Att kunna anpassa och välja storlekar utifrån dessa, är en del i systemets parametik.

Typ av isolering
Här redovisas panelerna med vardera tre typer av isolering. (Mineralull, Hampa och Steicoskiva, dimensioner framgår i tabell). Isolering har valts för att kunna avgöra hur val av isolering påverkar i användningen.

Montering av panel medl eller utan luftspalt
Tre scenarion redovisas vad gäller luftspalt mellan den befintliga fasaden och påbyggnadselementet. Beräkningen är gjord med en luftspalt på 0 mm, 10mm och 20mm.
För uträkning av U- respektive R-värde för elementen så räknas luftspalten som lätt ventilerad då det är det mest sannolika scenariot. Om panelen monteras med friluftsvädring (dvs mer än ca 30 mm spalt) så kommer påbyggnadsisoleringen inte ha någon isolerande effekt, då spalten blir för stor. Om det skulle vara en sluten luftspalt så kommer tätning på plats krävas, och skulle det bästa värdet värde för isoleringen nås.

BERÄKNINGSPRINCIPER
Metod U- R-värdesberäkning
I här redovisade beräkningarna har en förenkling av metodema ISO 13789:2017 och ISO 6946 2017 använts.

OBS! Att detta ebart är en uppskattning av U-R-värden. I det verkliga fallet kommer t ex faktiskt utförande vid anslutning till befintlig fasad, inte bara luftspalt, ha stor betydelse för det nya U-värdet. För en mer precis uträkning måste verkliga förutsättningar vara beräkningsunderlag.

Metod CO2-beräkning
Klimatberäkningen baseras på EN 15978:2011
Givet projektets tidsaxel kommer regelverken för beräkning av CO2 e med stor sannolikhet att utvecklas. Baslinjen är ovan nämnda standard.

Denna beräkning omfattar A1-A4, A5:1 är spill, leveranser och avfallshantering.
Transporter i projektet har beräknats med hjälp av schablon för Stockholmsbaserade projekt.
Vi önskar alltid att arbeta med återbruk, men med rådande arbetsmetoder så nollas dessa produkter och tas inte med i projektets CO2 för att inte skapa dubbel redovisning i kalkylen.

CO2-beräkning
Den nedre uträkning visar den totala CO2-belastningen per element. Därtill en uträkning av belastningen utslagen per kvm panelyta för de två elementstorlekarna

CO2 R-värde
Slutligen ett CO2 R-värdes förhållande, då flertal producenter bla Echopon nu väljer att redovisar detta värde i sina produktredovisningar, bidragande till att möjliggöra enklare jämförelser.

Biogent bunden CO2 redovisas här separat. Idag är det vanligt att tillgodoräkna den fulla vinsten med biogen kolinlagring. Också här tyder mycket på att regelverket för

© 2024 EQUATOR STOCKHOLM AB. Plotted 2024-11-25 kl. 12:57 (I:\1883\1883\SL_A-Skisser\Ritade\A-1883-003.dwg / Lucas von Ulrik)

U/R-värdesberäkning, CO2 sammanställning

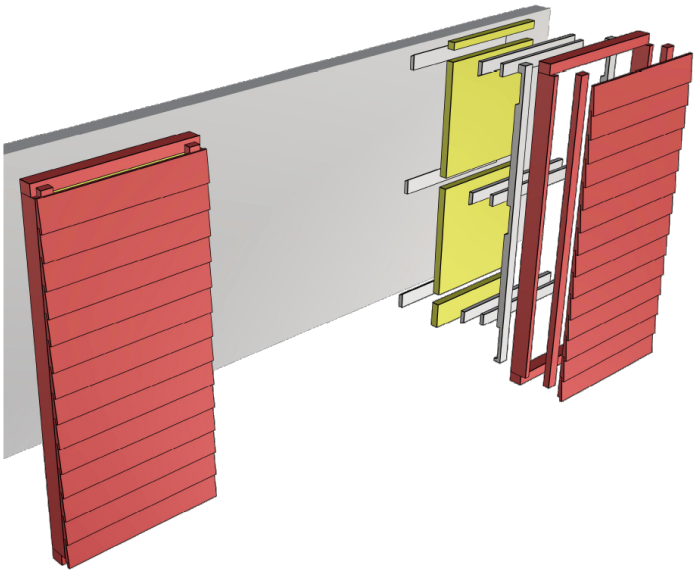
SKISS A1883-003

CO2eq

Fasadskiva, isolerad med luftspalt / 2024-11-24

Fasadsparring / Skala (A3) 1:500

EQ



Stor panel	B 4200mm	H 1800mm	D 152 mm				
	Uppbyggnad	Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Träpanel	0,191	m3		0,91		-189,98	tot
					0,91		7,72	fossil
					0,91		-148,70	biogenic
		Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Trätotemme	0,181	m3				-128,27	tot
							6,11	fossil
							-134,38	biogenic
		Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Luftspalt svag ventilerad	0	mm		0,00	0,00	0,00	tot
		10	mm		0,07	14,98	0,00	fossil
		20	mm		0,13	7,52	0,00	biogenic
		Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Isolering alt.1 Mineralull	50	mm		1,94	0,51	53,40	tot
					1,94	0,51	82,42	fossil
					1,94	0,51	0,96	biogenic
		Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Isolering alt.2 Hampa	50	mm		1,70	0,57	-27,40	tot
					1,70	0,57	5,38	fossil
					1,70	0,57	-39,28	biogenic
		Mängd	Enhet		R-värde	U-värde	CO2e	
	Isolering alt.3 STEICO	50	mm		1,25	0,78	-8,76	tot
					1,25	0,78	0,00	fossil
					1,25	0,78	-8,76	biogenic
		CO2e			R-värde	U-värde	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT Alt.1	-230,88	tot	0mm luft	2,04	0,490	-30,54	tot/m2 -102,53
		46,75	fossil	10mm luft	2,11	0,474	6,12	fossil/m2 20,54
		-277,32	biogenic	20mm luft	2,18	0,460	-36,67	biogenic/ -123,13
		CO2e			R-värde	U-värde	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT Alt.2	-291,65	tot	0mm luft	1,81	0,553	-38,58	tot/m2 -149,23
		19,21	fossil	10mm luft	1,87	0,534	2,54	fossil/m2 9,57
		-311,16	biogenic	20mm luft	1,94	0,515	-41,12	biogenic/ -158,97
		CO2e			R-värde	U-värde	CO2e/m	CO2e/R
	TOTALT Alt.3	-275,01	tot	0mm luft	1,56	0,737	-36,11	tot/m2 -177,03
		13,83	fossil	10mm luft	1,42	0,702	1,83	fossil/m2 8,97
		-386,84	biogenic	20mm luft	1,49	0,671	-37,94	biogenic/ -186,00

FÖRKLARINGAR

FÖRUTSATTA VÄRDEN
Panelstorlek
I denna uträkning har två storlekar på panelen utgjort underlag. De två panelstorlekarna som beräknats, är den minsta i systemet och den största panelen. Att kunna anpassa och välja storlekar utifrån dessa, är en del i systemets parametik.

Typ av isolering
Här redovisas panelerna med vardera tre typer av isolering. (Mineralull, Hampa och Steicoskiva, dimensioner framgår i tabell). Isolering har valts för att kunna avgöra hur val av isolering påverkar i användningen.

Montering av panel med eller utan luftspalt
Tre scenarion redovisas vad gäller luftspalt mellan den befintliga fasaden och påbyggnadselementet. Beräkningen är gjord med en luftspalt på 0 mm, 10mm och 20mm.
För uträkning av U- respektive R-värde för elementen så räknas luftspalten som lätt ventilerad då det är det mest sannolika scenariot. Om panelen monteras med frivädring (dvs mer än ca 30 mm spalt) så kommer påbyggnadsisoleringen inte ha någon isolerande effekt, då spalten blir för stor. Om det skulle vara en sluten luftspalt så kommer tätning på plats krävas, och skulle det bästa värdet värde för isoleringen nås.

BERÄKNINGSPRINCIPER
Metod U- R-värdesberäkning
I här redovisade beräkningarna har en förenkling av metodema ISO 13789:2017 och ISO 6946 2017 använts.

OBS! Att detta ebart är en uppskattning av U-R-värden. I det verkliga fallet kommer t ex faktiskt utförande vid anslutning till befintlig fasad, inte bara luftspalt, ha stor betydelse för det nya U-värdet. För en mer precis uträkning måste verkliga förutsättningar vara beräkningsunderlag.

Metod CO2-beräkning
Klimatberäkningen baseras på EN 15978:2011
Givet projektets tidsaxel kommer regelverken för beräkning av CO2 e med stor sannolikhet att utvecklas. Baslinjen är ovan nämnda standard.

Denna beräkning omfattar A1-A4. A5:1 är spill, leveranser och avfallshantering.
Transporter i projektet har beräknats med hjälp av schablon för Stockholmsbaserade projekt.
Vi önskar alltid att arbeta med återbruk, men med rådande arbetsmetoder så nollas dessa produkter och tas inte med i projektets CO2 för att inte skapa dubbel redovisning i kalkylen.

CO2-beräkning
Den nedre uträkning visar den totala CO2-belastningen per element. Därtill en uträkning av belastningen utslagen per kvm panelyta för de två elementstorlekarna

CO2 R-värde
Slutligen ett CO2 R-värdes förhållande, då flertal producenter bla Echopon nu väljer att redovisar detta värde i sina produktredovisningar, bidragande till att möjliggöra enklare jämförelser.

Biogent bunden CO2 redovisas här separat. Idag är det vanligt att tillgodoräkna den fulla vinsten med biogen kolinlagring. Också här tyder mycket på att regelverket för

© 2024 EQUATOR STOCKHOLM AB, Printed 2024-11-25 kl. 16:27 (01800198808_A_Stoser(Ritad)A1-1883-004.dwg/Layoutes-on-Gulv)

U/R-värdesberäkning, CO2 sammanställning

SKISS A1883-004

CO2eq

Fasadskiva, isolerad med luftspalt / 2024-11-24

Fritanksparring / Skala (A3) 1:500

EQ

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

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