



2025-11-30

2025-213951-0001

SLUTRAPPORT

HERITWINS

Digitala tvillingar för cirkularitet av byggnadsdelar inom byggnadsvården

ANDREA LUCIANI, OSCAR GAMEZ, MAX SPETT

Luleå tekniska universitet

Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

Energimyndighetens projektnummer P2022-00222



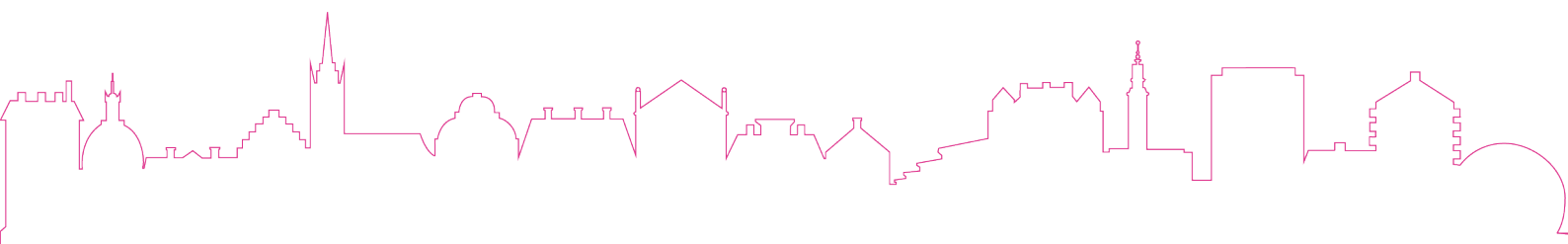
FÖRORD

Spara och bevara är ett forsknings- och utvecklingsprogram som Energimyndigheten initierat för att öka kunskapen om energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Programmet syftar till att utveckla och förmedla kunskap och tekniklösningar som bidrar till en energieffektivisering i dessa byggnader utan att deras värden och inventarier förstörs eller förvanskas.

Den varsamma energieffektiviseringen ska uppnås genom interdisciplinära samarbeten, där teknik möter kulturvård. Målet är att skapa en bestående kunskapsgrund inom området energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader och bidra till en långsiktig, hållbar förvaltning av det äldre fastighetsbeståndet.

Programmet samordnas av Uppsala universitet.

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



SAMMANFATTNING

Det finns behov av att systematisera hanteringen av byggnadskomponenter från äldre byggnader. Igenom att vid renoverings- eller rivningstillfällen tillvaratagna byggnadskomponenter skannas och visualiseras kan dess synbarhet ökas och på så vis underlätta komponenternas återanvändning. Vid återbruk sparas energin som annars krävs av nyproducerade komponenter, samtidigt som de återbrukade delarnas återstående förkroppsligade energi och kulturella värde bevaras.

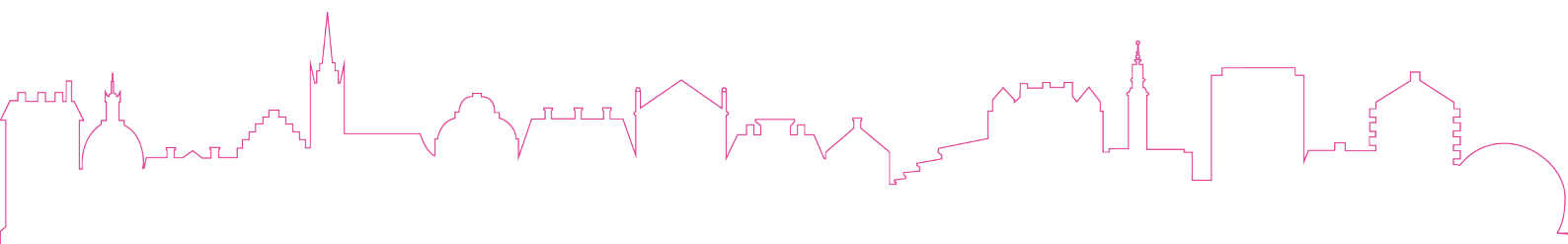
Denna förstudie syftade till att undersöka potentialen hos digitala inventeringar av befintliga, äldre byggnadskomponenter för att förbättra återanvändningen och cirkulariteten i en hållbar förvaltning av kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Skannings- och datainsamlingsverktyg testades för att skapa digitala kopior av äldre byggnadskomponenter. Informationen bearbetades och integrerades med kvalitativ data om objekten (t ex funktion, byggnadsperiod eller stil, material).

Det studerades också hur data kunde göras tillgängliga för alla intressenter i en databas och hur man möjliggör integration i befintliga databaser för cirkularitet.

Nyckelord:

Byggnadskomponenter; cirkularitet; databas; kulturhistoriska byggnader

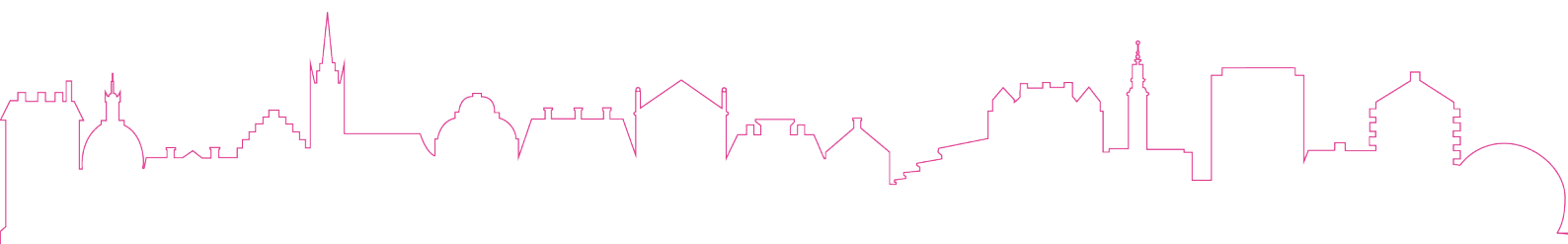


2025-11-30

2025-213951-0001

INNEHÅLL

1. INLEDNING OCH BAKGRUND	6
1.1 BAKGRUND	6
1.2 SYFTE OCH MÅL	7
1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	7
2. GENOMFÖRANDE	8
3. RESULTAT	9
4. HUR KAN RESULTATEN KOMMA TILL ANVÄNDNING	10
5. DISKUSSION	11
6. SLUTSATSER	12
7. PUBLIKATIONSLISTA	13
8. REFERENSER	14



1. INLEDNING OCH BAKGRUND

1.1 BAKGRUND

En betydande mängd forskning har redan behandlat energieffektivitet i historiska byggnader med fokus på operativ energianvändning (Lidelöw et al. 2019). På senare tid har intresse riktats mot att beakta hela livscykeln för befintliga byggnader och förstå hur man kan optimera deras inneboende energi.

Idén om adaptiv återanvändning av byggnader är inbäddad i principerna för kulturarvsbevarande, medan återvinning av byggnadskomponenter från en byggnad till en annan är vanlig praxis. Projektet "Re:heritage – cirkulering och kommodifiering av ting med historia"

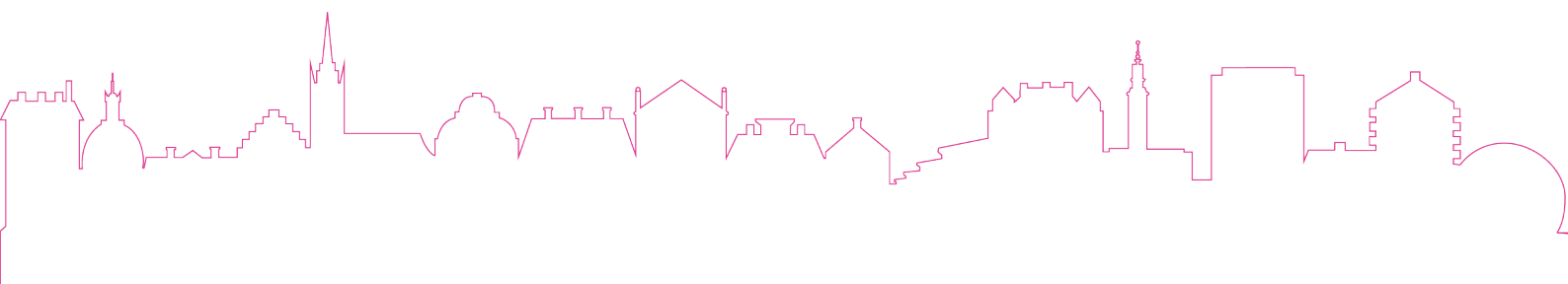
(<https://www.gu.se/forskning/reheritage-cirkulering-och-kommodifiering-av-ting-medhistoria>) har studerat cirkulationen av materiell kultur på andrahandsmarknaden ur ett kulturarvsperspektiv. Ett mer specifikt fokus på byggnadsvård finns i den relaterade publikationen av Martins Holmberg et al. (2017).

Cirkulationen och återanvändningen av gamla byggnadsdelar kan också analyseras ur perspektivet av cirkulär ekonomi och mer specifikt hur de kan bidra till ett cirkulärt förhållningssätt inom byggnadsvård: om traditionella reservdelar till byggnader lättare kunde hittas, visualiseras och analyseras av användare och yrkesverksamma vid renovering av historiska byggnader, sparas inte bara den energi som krävs för att reproducera dem, utan även deras kvarvarande energi och kulturella värde bevaras och återanvänds mer effektivt.

Det finns dock ett behov av att göra dessa processer mer integrerade och systematiska. Ett potentiellt framgångsrikt sätt att uppnå detta resultat kan vara att digitalisera data och göra dem tillgängliga online som sökbara databaser. Detta är till exempel tillvägagångssättet som används av Centrum för cirkulärt byggande (<https://ccbuild.se/>) med skapandet av deras "produktbank".

Ett annat intressant initiativ är projektet Virkesbanken (<https://www.lansstyrelsen.se/norrbotten/samhalle/kulturmiljo/bidrag-tillkulturhistoriska-miljoer/virkesbanken.html>) som finansierade av Länsstyrelsen Norrbotten, och som har ett specifikt fokus på att tillgängliggöra information online om trämaterial för renovering av historiska byggnader.

Ett ytterligare steg med stor potential mot ett systematiskt användande av digitala data inom kulturarvsbevarande kan vara att studera hur tekniker och metoder som utvecklats för att skapa H-BIM (Historic Building Information Modelling) (Facundo et al., 2018) och Digitala Tvillingar (dvs. en uppkopplad virtuell kopia av ett befintligt objekt) (Pierre et al., 2020) kan integreras i skapandet av online-databaser för byggnadskomponenter.



I detta sammanhang kan användningen av 3D-skanningsverktyg bidra till att göra insamlingen och digitaliseringen av data mer effektiv vid inventering och analys av befintliga byggnader. Ett bra exempel på tillämpningen av dessa verktyg för att utforska återvinningspotentialen hos befintliga byggnader är tjänsten "White ReCapture" som utvecklats av White Arkitekter (<https://whitearkitekter.com/se/white-recapture/>).

1.2 SYFTE OCH MÅL

Pilotprojektet syftade till att utforska potentialen hos digitala inventeringar och databaser över befintliga historiska/traditionella byggnadskomponenter för att förbättra deras återanvändning och cirkularitet inom hållbar förvaltning av historiska byggnader.

De insamlade exempeldata och den utvecklade prototypdatabasen kan vidareutvecklas och förbättras i framtida forskning med bidrag från olika intressenter.

På lång sikt har projektets resultat potential att integreras i större och mer etablerade databaser för cirkularitet inom byggsektorn och att bli ett användbart verktyg för en mer effektiv och ändamålsenlig renovering av historiska byggnader.

Målen med projektet var:

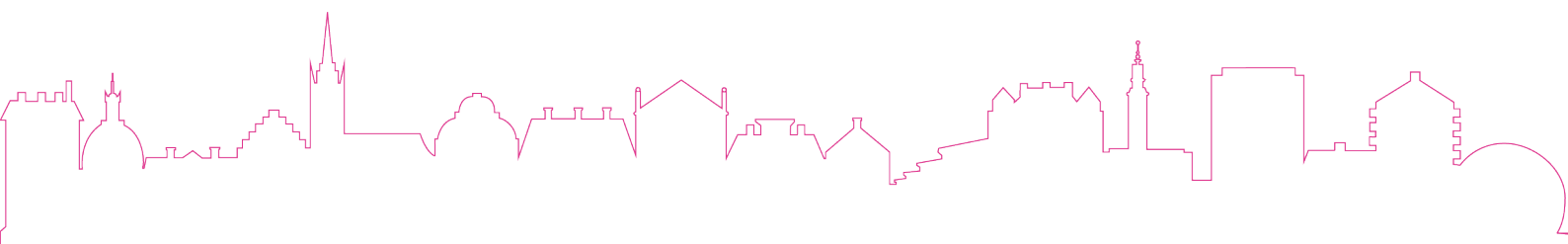
- Att utveckla en procedur för skanning och digitalisering av befintliga reservkomponenter från historiska byggnader.
- Skapande av minst 10 digitala tvillingar av byggnadskomponenter.
- Insamling och integrering av kvantitativa och kvalitativa data för minst 10 digitala tvillingar av byggnadskomponenter.
- Utvärdering av kompatibiliteten mellan existerande databaslösningar och det utvecklade arbetsflödet.

1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNING

I detta projekt har endast förbearbetade byggnadskomponenter beaktats, eftersom syftet var att undersöka deras potentiella återanvändning vid restaurering av befintliga byggnader eller byggande av nya byggnader. Att analysera byggnadskomponenter från funktionella befintliga byggnader, vilket skulle kräva demontering innan återanvändning, har bedömts som en operation som potentiellt kan ha negativa konsekvenser för bevarandet av kulturhistoriska värden.

Introducerad 2003 och ämnat för produktlivscykelhantering (Grieves, 2014), Digitala Tvillingar används idag i flertalet former och av åtskilliga fält (Semaro et al., 2021). Inom byggnadsvård har Digitala Tvillingar anknutits till historisk byggnadsinformationsmodellering (HBIM) och agerat som ett sätt att dokumentera och förmedla kunskap till allmänheten om fysiska objekt (Dezen-Kempton et al., 2020).

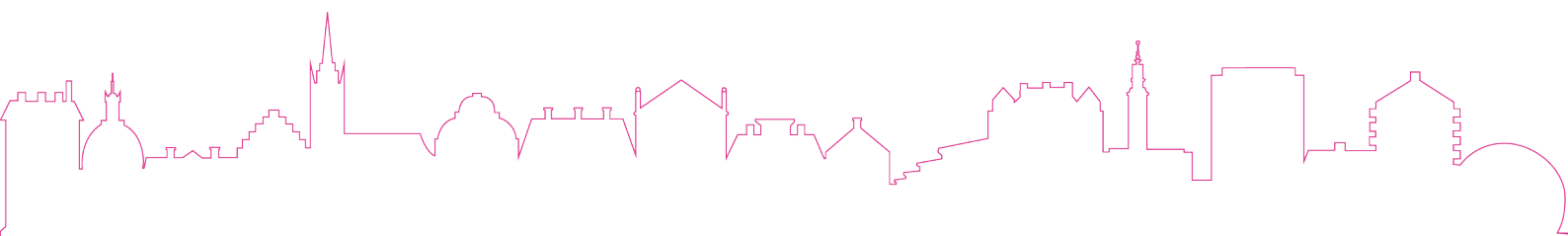
För projektets omfattning har konceptet digitala tvillingar tolkats som en digital kopia av befintliga objekt, avsedd att fungera med manuella modelluppdateringar som sker vid förändringar i objektlivscykeln. Digitala kopior kan underlätta återanvändning av befintliga objekt i nya projekt eller



2025-11-30

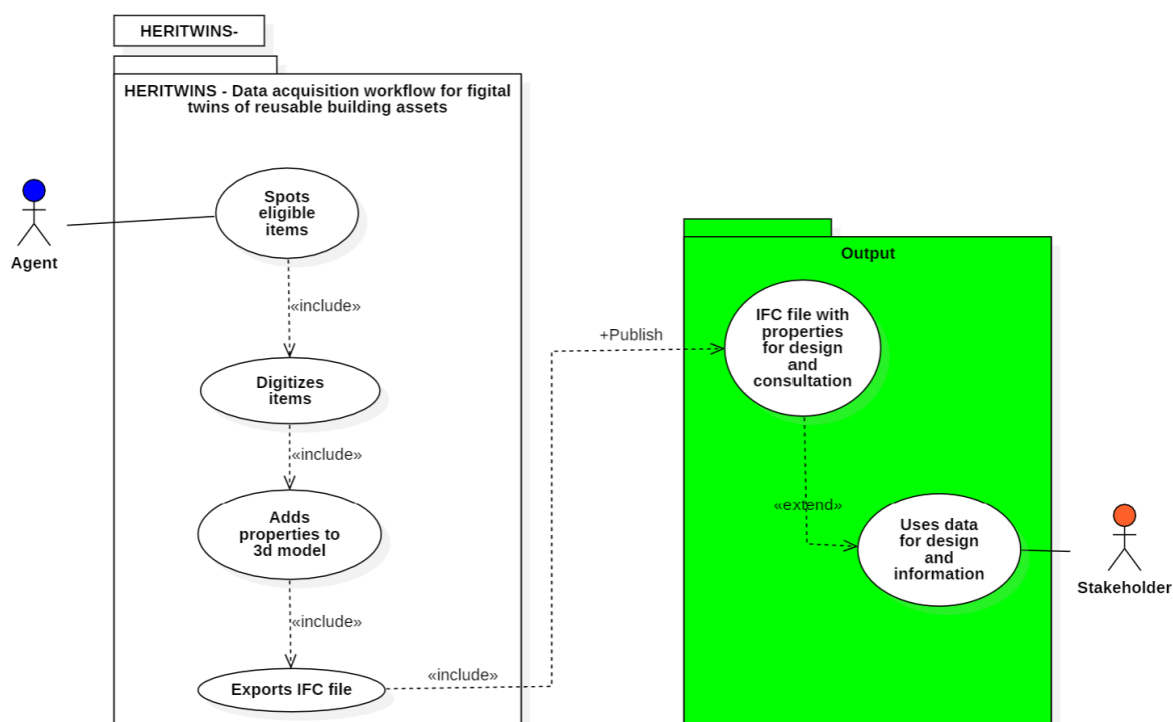
2025-213951-0001

byggnader, vilket potentiellt underlättar deras integration och omvandling till uppdaterbara digitala tillgångar. Projektet har undersökt möjligheten att integrera den genererade datan i befintliga databaser för befintliga byggnadskomponenter (t.ex. CCBuid). För att möjliggöra en partiell integration har bedömningsmetadata införlivats i IFC-filen för att möjliggöra extraktion till onlineportaler. Databerikade IFC-objekt har laddats upp till externa arkiv som kan kopplas till befintliga databaser, vilket kan underlätta beviljande av tillgång till ett digitalt gränssnitt. Användare som är intresserade av att använda återvunna komponenter kan sedan använda IFC-objekten för att göra mätningar och hämta information om återvunna föremål.



2. GENOMFÖRANDE

Användningsfallsdiagrammet nedan (Figur 1) visar arbetsflödet för datainsamling som har implementerats (i vitt) samt den förväntade interaktionen och roll det kommer att spela för framtida intressenter och användare (i grönt). Utvecklingen av IFC-filer fungerar som ett stöd för att bedöma relevansen av att använda en viss återanvändbar komponent via digitala verktyg, såsom i fallet med BIM-modellerare.



Figur 1. Implementeringsflöde

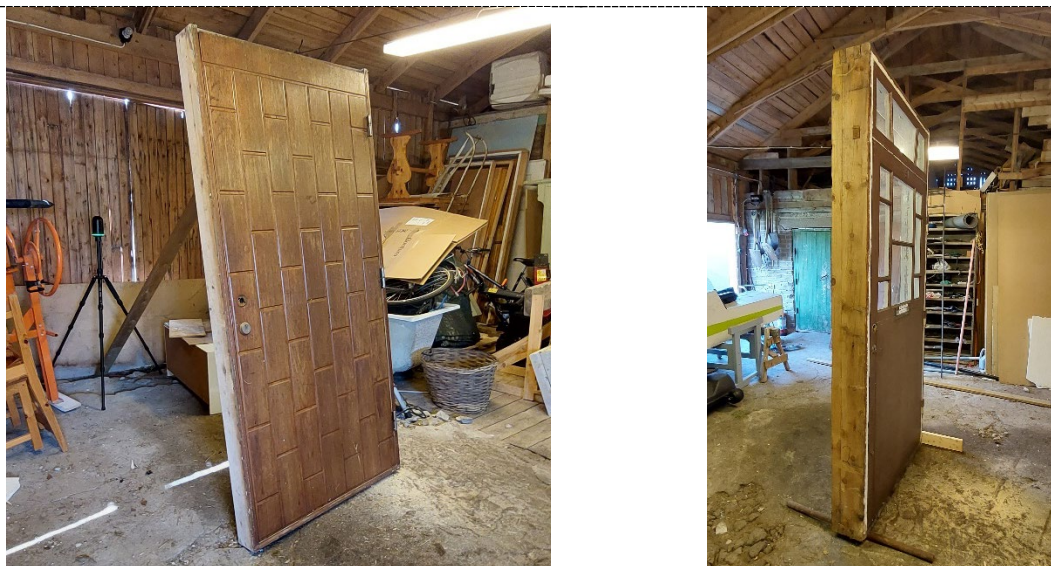
Implementeringsarbetsflödet testades genom att skanna lämpliga objekt för återanvändning, för att därefter skapa en testmodell med potential att bära inbäddad data i form av en IFC-fil med en förenklad representation innehållande mått och grundläggande utseende.

Digitaliseringen (modelleringen) genomförs med hjälp av öppen källkodsmjukvara (Blender), som stöder export av IFC-filer via ett inbyggt plugin. Detta möjliggör integrering av både grafisk och icke-grafisk information direkt i modelleringsmiljön.

3. RESULTAT

Implementeringen av arbetsflödet lyckades digitalisera en serie lämpliga objekt. Denna digitaliseringsprocess fokuserade på att fastställa mängden information som krävs för att skapa digitala tvillingar från punktmoln.

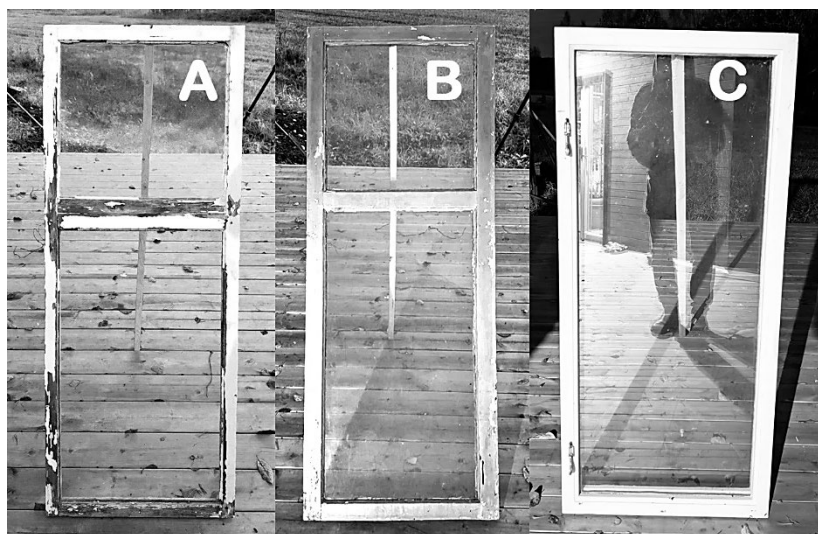
Genom skanningstester identifierade forskarteamet de optimala inställningarna för att erhålla tillförlitlig data genom att optimera skanningstider och punktmolnens storlek (i megabyte) för smidig registrering och bearbetning. Dessutom skapade teamet optimerade IFC-representationer av de skannade objekten (Figur 2).



Figur 2. Objekt för testning av datainsamlingsarbetsflöden och inställningar för laserskanning.

3.1 FUNKTIONELL ANPASSNINGSFÖRMÅGA

Funktionell anpassningsförmåga är en nyckelaspekt att beakta vid återanvändning av återbrukade komponenter, på grund av deras utseende, stil eller materialitet. Figur 3 visar tre fönsterbågar som kan återanvändas i liknande fönster inom restaureringsprojekt.



Figur 3. Katalogiserade återbrukbara kompositfönster

Båge A och B är fasta bågar som vanligtvis placeras på insidan för att förbättra fönstrets termiska prestanda. Detta utgör en passiv designstrategi som syftar till att förbättra värmeisoleringen.

Den båge som är märkt med C är en sidohängd fönsterbåge som vanligtvis sitter på fönstrets utsida, och till vilken fasta bågar läggs till under vintern.

3.2 OMFATTNING AV DATAINSAMLING

Urvalet som används i studien är inte avsett att vara uttömmande. Istället fungerar det som en utgångspunkt för att bygga upp en representativ datamängd. Detta tillvägagångssätt speglar en kvalitativ urvalsstrategi, där fokus ligger på djup och särprägel snarare än volym. Erkännandet att många av objekten är "ganska lika" tyder på ett tidigt försök att identifiera viktiga särskiljande egenskaper som kan vägleda framtida datainsamling.

3.3 INVENTERADE OBJEKT

För att tillhandahålla ett urval med varierande egenskaper hos återbrukade dörrar och fönster dokumenterades elva objekt (Tabell 1). Detta antal möjliggör testning av arbetsflödet som illustrerades i figur 1 och visar på den heterogenitet av detaljer som kan identifieras och dokumenteras för att ge en heltäckande förståelse av vad återbrukade byggkomponenter kan erbjuda vid återanvändning i kulturhistoriska byggnader.

Tabell 1. Inventerade objekt och plats

Skannade objekt	Antal	Plats
Fönsterruta	6	Luleå
Dörrblad med karm	3	Kiruna
Dörrblad	1	Luleå
Dörrkarm	1	Luleå

3.4 KRITERIER FÖR KARAKTERISERING

De element som studeras har karakteriserats utifrån visuella, strukturella och funktionella egenskaper. Dessa inkluderar:

- Färgvariationer
- Glasegenskaper (t.ex. enkel- vs. dubbelglas)
- Indelning av rutor
- Gångjärnstyper och funktionalitet

Denna flerdimensionella karakterisering visar på ett **holistiskt dokumentationssätt**, där både estetiska och praktiska aspekter beaktas. Hänvisningen till vinterspecifika anpassningar, såsom fasta rutor för värmeisolering, understryker den **klimateanpassade utformningen** av dessa arkitektoniska element.

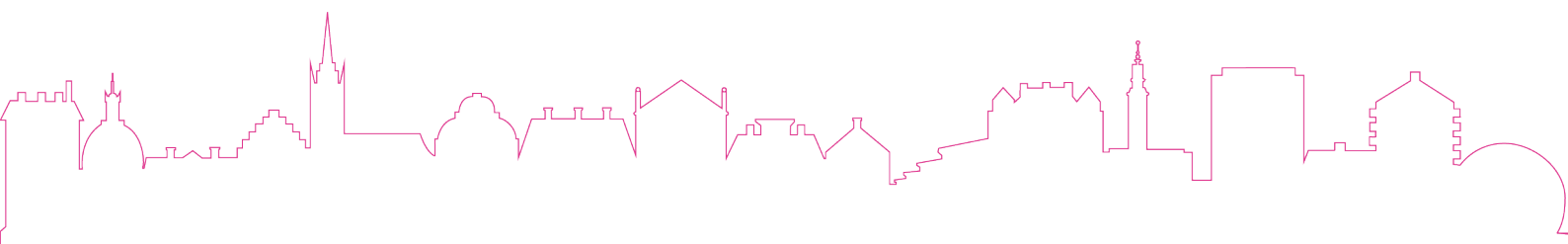
3.5 IFC-MODELL OCH MODELLSEMANTIK

Baserat på implementeringsarbetsflödet har en IFC-modell skapats som innehåller både grafisk och semantisk information. Detta följer det inledande steget med att samla in och bearbeta punktmolnsdata från skanningar, där punktmolnen har rätats upp och rensats till en användbar nivå. Dessa utgör grunden för att producera interoperabel information enligt IFC-standarderna (Se tillämplighet i avsnitt fyra).

3.6 ÖVERVÄGANDEN KRING SEMANTISK INFORMATION

Det generella tillvägagångssättet har främst fokuserat på att utveckla grafisk information, med målet att snabbt ge en förståelse för det återvunna objektet. Grundläggande semantiska attribut – såsom mått, material och uppskattat tillverkningsår – inkluderas eftersom denna information ger potentiella användare en mer heltäckande bild av vad som kan förväntas av det återvunna objektet och dess potential för återanvändning i osäkra användningsscenarier.

Genom denna information förväntas osäkerheten vid val av återvunna objekt minska, vilket i sin tur skapar ett mer gynnsamt beslutsunderlag för att välja återbrukade byggnadsdelar.



3.7 DETALJNIVÅ

Detaljnivån i dokumentationen, både grafisk och semantisk, är praktisk och inte överdrivet omfattande.

Exempel:

Dörrar: Det är utmanande att särskilja dörrpaneler från karmar på grund av deras enhetliga utseende i punktmolnet. Egenskaper som paneltyp (massiv kärna vs. ihållig kärna) och fönstrets skick (t.ex. trasigt glas) inkluderas i modellen innan publicering.

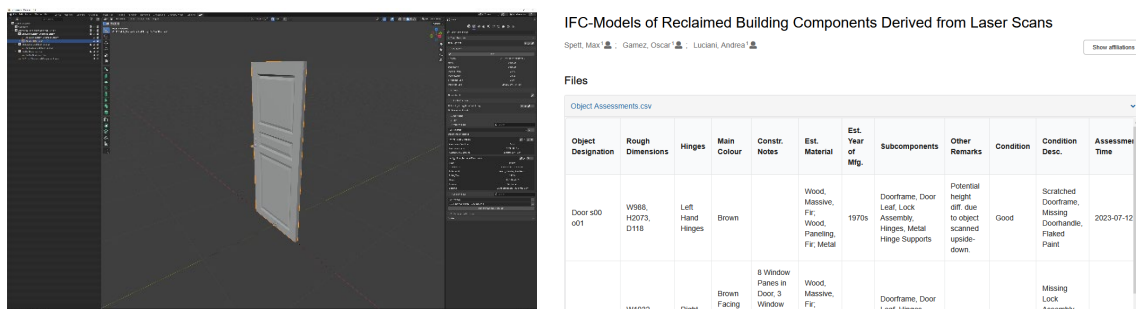
Fönster ovanför dörrar: Dessa arkitektoniska detaljer, även om de inte är en del av dörren i sig, dokumenteras grafiskt och semantiskt om de går att urskilja i punktmolnet.

3.8 IMPLIKATIONER ATT BEAKTA VID DATABASDESIGN

De erhållna resultaten och erfarenheterna från studien tyder på att databasen bör struktureras för att kunna hantera:

- Kategoriska attribut (t.ex. färg, antal rutor)
- Funktionella beskrivningar (t.ex. öppningsbar vs. fast, säsongsanvändning)
- Kontextuell metadata (t.ex. klimatrelevans, historisk användning)

En sådan struktur skulle möjliggöra **jämförande analyser** och **mönsterigenkänning** mellan olika poster, vilket stödjer både **akademisk forskning** och **praktiska tillämpningar** inom kulturarvsbevarande eller hållbar design.



Figur 44. En IFC-fil för ett återbrukat dörrblad i Blender, med inbäddad information synlig (TV). Tabell med attribut från databasen (TH).

4. HUR KAN RESULTATEN KOMMA TILL ANVÄNDNING

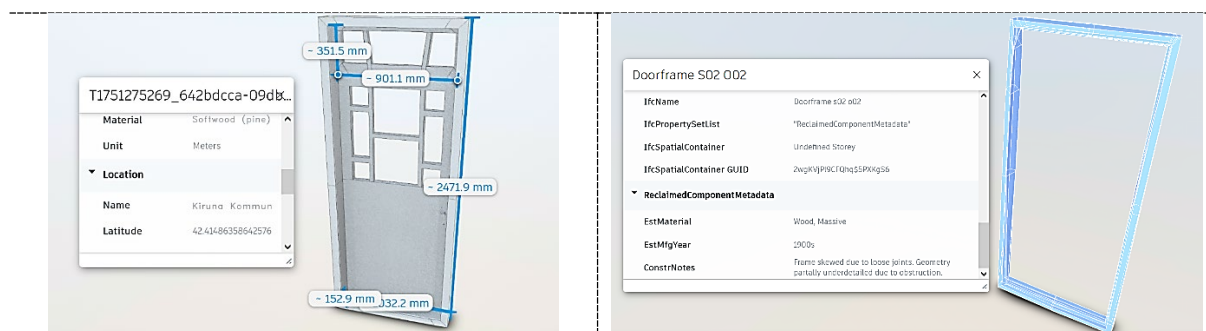
Projektets huvudsakliga målgrupper är ägare till historiska hus, yrkesverksamma och företag som arbetar med renovering av historiska byggnader samt privatpersoner eller företag som säljer och delar återbrukade byggnadskomponenter.

Projektet syftar till att göra återanvändningen av traditionella reservdelar till byggnader mer integrerad och systematisk. Detta gör det lättare för användare och yrkesverksamma inom restaurering av historiska byggnader att dela, hitta, visualisera och analysera dessa komponenter. På så sätt sparas inte bara den energi som skulle krävas för att nyttillverka dem, utan även deras kvarvarande inneboende energi och kulturella värde bevaras och får ett nytt syfte.

4.1 TILLÄMPBARHET

Som beskrivs i avsnitt fyra är den viktigaste tillämpningen av resultaten i denna studie kopplad till hur den insamlade datan används för att konstruera databaser som underlättar att hitta information om återbrukade byggkomponenter. I dessa databaser framstår materialitet, konfiguration, funktionalitet och skick som de mest relevanta uppgifterna.

Datastrukturen, så som den presenteras i studien, kan tillämpas på ett bredare katalogsortiment av återbrukade komponenter, vilket bevisar nyttan av de aktiviteter som hittills utvecklats.



Figur 55. Förhandsvisning av IFC-filen för en återbrukad dörr och karm, med inbäddad information. IFC-filen möjliggör noggranna mätningar av objektet.

Vidare möjliggör användningen av IFC-standarderna som en interoperabel miljö för datautbyte snabb visualisering, vilket aktörer inom AECO-industrin¹ kan använda för att simulera de bidrag som dessa återbrukade byggkomponenter ger, via Building Information Modeling (BIM), som är en utbredd använd miljö för design-till-produktion-flöden inom byggindustrin.

Det är just möjligheten att involvera dessa återbrukade komponenter i design-till-byggnation-flöden via BIM som utgör den centrala tillämpningsaspekten som detta projekt har resulterat i.

4.2 ANVÄNDNINGSSCENARIER

Här presenteras några exempel på användningsscenarier för olika typer av målgrupper inom projektet.

4.2.1 YRKESVERKSAMMA OCH FÖRETAG INOM BYGGNADSRENOVERING.

De kan hitta komponenter som de kan behöva för restaureringsprojekt där det är nödvändigt att ersätta saknade eller skadade delar.

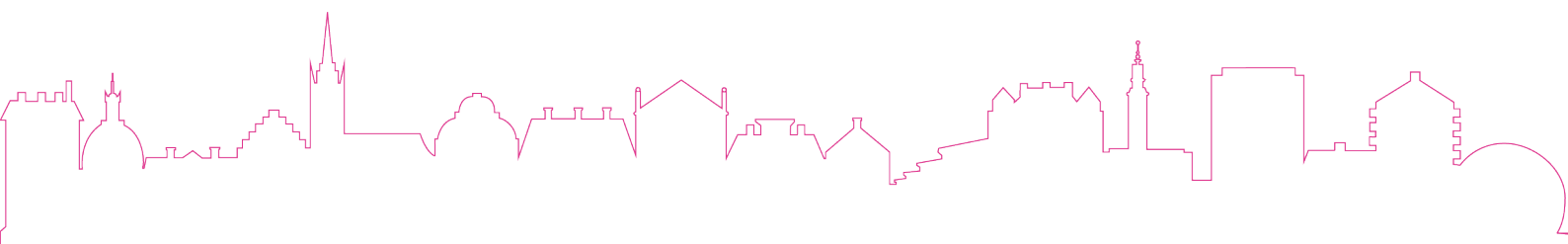
Fördel

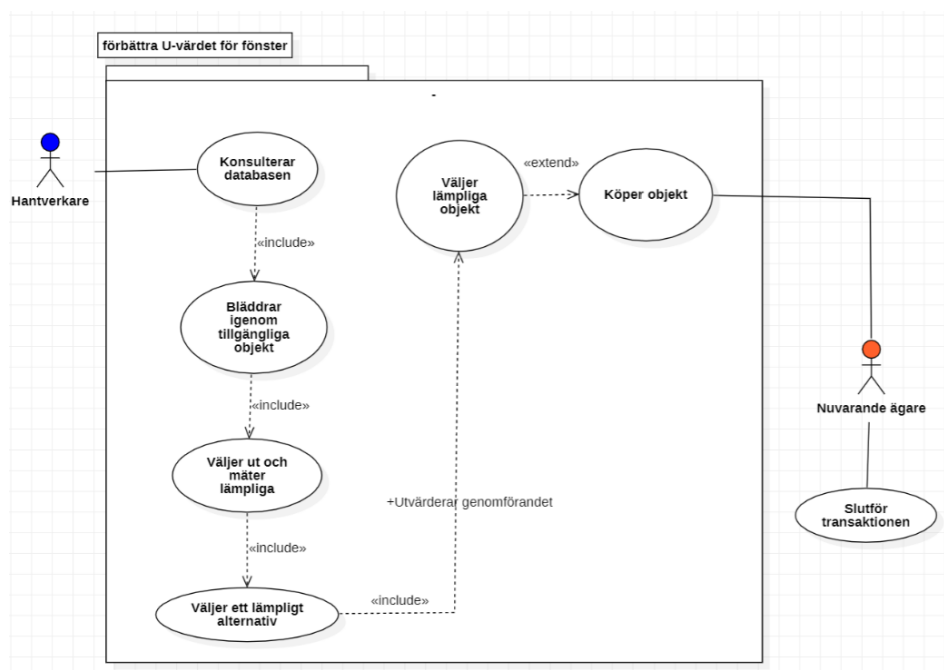
De kan se en liveförhandsvisning av hela objektet med exakta geometriska mått och specifika kvalitativa egenskaper.

Exempel på ett användningsscenario

Figur 6 illustrerar fallet med en hantverkare som vill förbättra U-värdet i ett traditionellt fönster genom att lägga till en extra innerbåge. Genom att använda databasen hittar de reservbågar som exakt motsvarar deras behov och kan i förväg noggrant bedöma vilka anpassningar som behöver göras.

¹ Engelsk förkortning för "Architecture, Engineering, Construction and Operations".





Figur 6 6. Fallscenario för en hantverkare som vill förbättra U-värdet i fönster.

4.2.2 YRKESVERKSAMMA OCH FÖRETAG INOM BYGGSEKTORN (BYGGNADSDESIGN OCH KONSTRUKTION)

Aktörer inom byggnadsdesign och byggbranschen kan använda den digitala kopian av objektet genom att importera den till sin BIM-miljö.

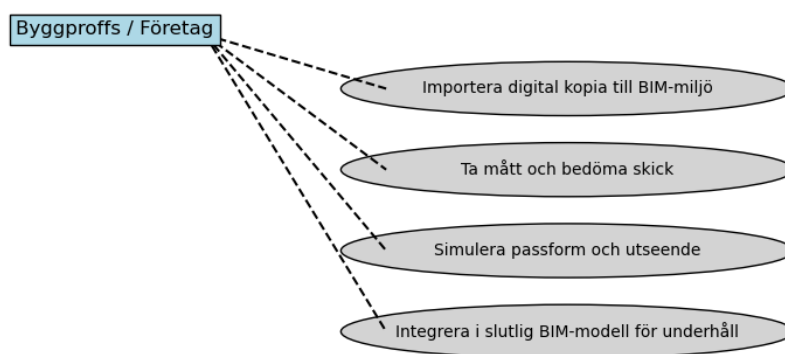
Fördelar

- Aktörer kan ta mått och bedöma tillgångens skick i förväg (till exempel skevhet eller andra deformationer samt det visuella utseendet).
- Dessa intressenter kan testa och förhandsgranska hur tillgångarna passar in i deras projekt genom visuell simulering.
- När byggnaden väl är uppförd kan de enkelt integrera den digitala kopian av komponenten i byggnadens BIM-modell för att underlätta fastighetsförvaltning och underhåll.

Exempel på ett användningsscenario

Arkitekter som designar en plusenergibyggnad och strävar efter att minimera byggnadens koldioxidavtryck redan i produktionsfasen.

De planerar att skapa en transparent skiljevägg genom att sätta samman flera återbrukade fönster (Figur 8).



Figur 7. Användningsfall – Yrkesverksamma och företag inom byggsektorn

Digitala kopior, såsom de som genereras inom ramen för detta projekt, gör det möjligt för aktörer i branschen att simulera sammansättningen av skiljeväggen och därefter noggrant utforma anpassade kopplingar mellan återbrukade komponenter.



Figur 8. Utställningen "Wasteland", kurerad av danska arkitektfirman Leander Group, 2017. Bland de presenterade förslagen för återbruk återfanns ett förslag för inkorporering av fönsterrutor i skiljeväggar. Bild från ArchDaily, 2017.

4.2.3 PLATTFORMAR, FÖRETAG ELLER PRIVATPERSONER SOM SÄLJER OCH DELAR ÅTERBRUKSBARA BYGGKOMPONENTER

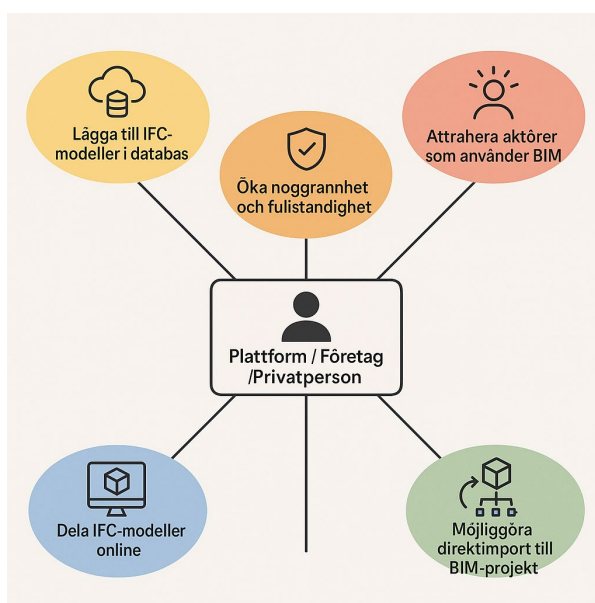
Aktörer så som plattformar, privatpersoner eller företag kan lägga till IFC-modeller, såsom de som genererats inom projektet, i sina databaser.

Fördelar

- *Intressenter kan öka noggrannheten och fullständigheten i de komponenter de delar.*
- *Fler och mer varierade aktörer i branschen, som redan har erfarenhet av att använda BIM-modeller, kan uppmuntras och lockas att använda dessa IFC-modeller av återbrukade komponenter som en del av sina arbetsflöden från design till konstruktion.*

Exempel på ett användningsscenario.

En plattform för delning av återbrukbara byggkomponenter kan, istället för att endast dela en begränsad mängd kvantitativa eller kvalitativa data och några bilder på objekten, göra IFC-modeller tillgängliga online för sina kunder och användare. Detta möjliggör för aktörer i branschen att direkt infoga den digitala kopian av komponenterna i en BIM-modell och testa deras användning i ett nytt projekt (Figur 9).



Figur 9. Användningsfall – Plattformar, företag eller privatpersoner som säljer och delar återvinningsbara byggkomponenter

5. DISKUSSION

Implementeringen av ett digitalt arbetsflöde för återbruk av byggnadskomponenter har visat lovande resultat, särskilt i samband med dörrar och fönster. Detta arbetsflöde, som integrerar laserskanning, bearbetning av punktmoln och IFC-modellering, erbjuder ett strukturerat tillvägagångssätt för att digitalisera fysiska objekt för återanvändning i arkitektoniska sammanhang. Potentialen att extrapolera denna metodik till andra byggnadskomponenter förtjänar vidare undersökning.

5.1 POTENTIAL FÖR EXTRAPOLERING

Resultaten tyder på att arbetsflödet är skalbart till andra komponenter, förutsatt att de har en hanterbar storlek. Objektens geometriska egenskaper spelar en avgörande roll för skanningens framgång. Konvexa objekt är generellt sett mer lämpade för laserskanning tack vare sina exponerade ytor, medan konkava geometrier medför utmaningar relaterade till ocklusion och synlighet. Dessutom kan komponenter med komplexa sammansättningar eller flera delkomponenter kräva demontering för att fånga detaljerad geometri och semantiska attribut – ett tillvägagångssätt som ofta är opraktiskt på plats.

5.2 UTMANINGAR I IMPLEMENTERINGEN

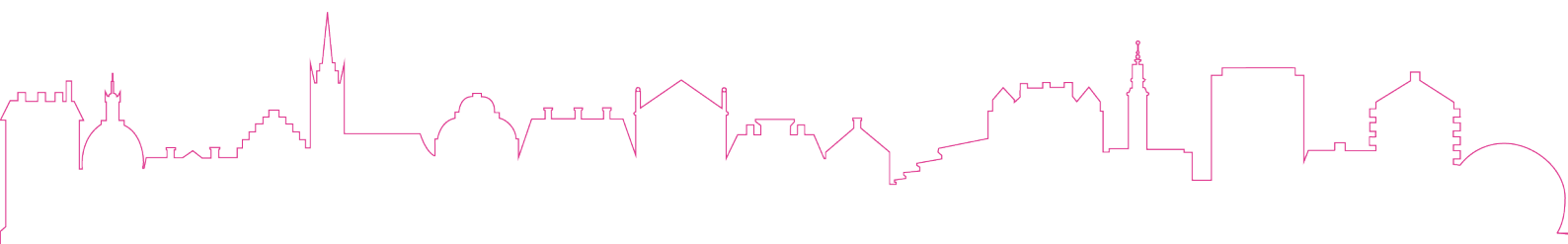
Flera utmaningar uppstod under genomförandet av arbetsflödet. En av de främsta svårigheterna var att hitta lämpliga objekt för skanning. Inledande försök att samarbeta med organisationer visade sig vara utmanande, vilket ledde till att man istället fick vända sig till lokala individer som visade intresse för projektet.

Miljöförhållanden påverkade också datainsamlingen. Skanningsaktiviteter som genomfördes under vintermånaderna resulterade i begränsad tillgång till färgdata, vilket i sin tur påverkade metadata. Trots att en kolorimetrisk metod användes saknades verktyg för att extrahera semantisk information från färgdata, vilket öppnar upp för framtida utveckling inom dokumentation och identifiering av återbrukbara byggnadskomponenter.

Tekniska begränsningar försvårade ytterligare modelleringsprocessen. Ocklusion i skanningarna ledde till ofullständiga representationer, särskilt på delkomponentsnivå. Att särskilja element såsom dörrpaneler och karmar visade sig vara svårt på grund av deras enhetliga utseende i punktmolnet. I vissa fall krävdes antaganden eller förenklingar i IFC-modellen på grund av brist på detaljer.

5.3 SEMANTISK INTEGRATION OCH DETALJNIVÅ

Trots dessa utmaningar lyckades arbetsflödet generera IFC-modeller som innehöll både grafisk och grundläggande semantisk information. Attribut såsom mått, materialtyper och tillverkningsår inkluderades för att stödja beslutsfattande i återbruksscenarier. Detaljnivån hölls medvetet praktisk,



för att undvika överdriven komplexitet samtidigt som tillräcklig information tillhandahålls för att bedöma lämpligheten hos återvunna objekt.

Exempelvis modellerades dörrkomponenter med skillnader mellan massiv och ihålig kärna, och fönstrets skick (t.ex. trasiga glas) dokumenterades där det var observerbart. Arkitektoniska detaljer såsom överljus ovanför dörrar inkluderades också när de kunde urskiljas i punktmolnsdata.

5.4 EFFEKTER I SAMHÄLLET OCH FÖRMÅNSTAGARE

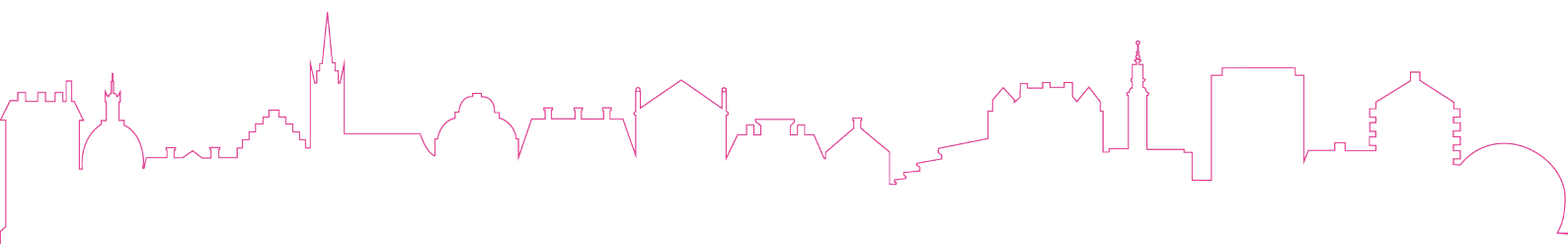
Att använda återbrukbara komponenter från rivna, demonterade eller avvecklade byggnader är en praxis som fortfarande möter hinder för implementering, påverkad av ekonomiska, regulatoriska, prestandamässiga och försörjningsrelaterade begränsningar.

Flöden av återvunna byggnadskomponenter har en viktig inverkan på aktörer som vill inkludera ett cirkulärt angreppssätt i både nybyggnads- och renoverings-/uppgraderingsprojekt, eftersom konsistens är nödvändig vid användning av alla typer av byggkomponenter – både ur ett design- och ett konstruktionsperspektiv.

De positiva effekterna av detta projekt är direkt kopplade till att övervinna tekniska hinder (anskaffning, insamling, dokumentation) för att möjliggöra användning av återbrukade byggnadskomponenter, vilket kan leda till en attitydförändring och ökad benägenhet att överväga dessa komponenter i olika aktiviteter som rör byggnadsdesign, konstruktion och renovering.

5.5 MÖJLIGHETER FÖR FRAMTIDA FORSKNING OCH TILLÄMPNING

En begränsning i den nuvarande forskningen är också behovet av dyr professionell utrustning för att skanna objekt och samla in data och information. Den teknologiska utvecklingen av bärbara enheter som smartphones och deras sensorer öppnar för möjligheten att öka tillgången till denna teknik och göra den tillgänglig för allt fler människor. När det stöds av adekvat programvara och applikationer kan detta göra det möjligt för vanliga människor att skanna och dela vilken återvunnen byggnadskomponent som helst nästan i realtid, vilket exponentiellt ökar tillämpningen och skalbarheten av projektets resultat.

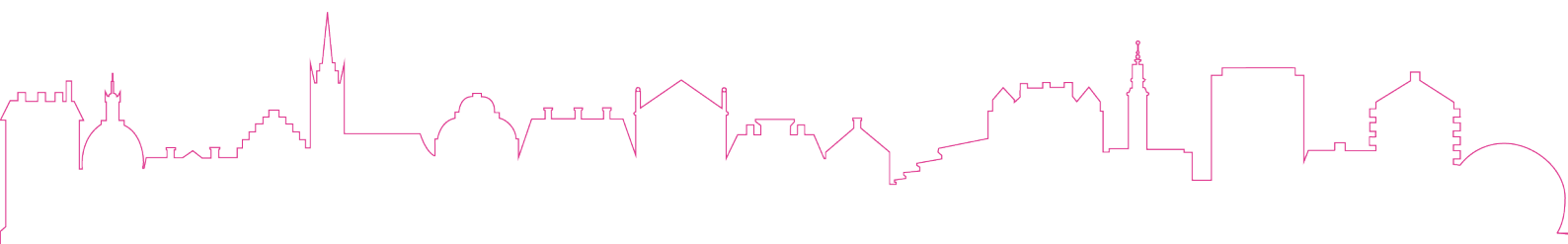


6. SLUTSATSER

Användningen av återbrukbara byggdelar är en praxis som har fått ökad uppmärksamhet i utvecklade ekonomier, såsom den svenska, där linjära metoder inom byggsektorn länge har varit norm. Nu, med det ökade trycket på att minska koldioxidavtrycket inom sektorn, har återanvändning av komponenter från rivna byggnader blivit ett värdefullt och genomförbart alternativ.

Som framkommit i detta projekt kvarstår vissa hinder när det gäller att hitta och dokumentera återbrukbara byggdelar, såsom dörrar och fönster, vilket annars skulle kunna främja deras användning i både renoverings- och nybyggnadsprojekt.

Trots utmaningarna med att implementera arbetsflöden för dokumentation av återbrukbara komponenter har projektet lyckats identifiera nyckelprocesser för att skapa interoperabel digital information. Denna information kan användas av aktörer inom arkitektur-, ingenjör- och byggbranschen för att överväga återbruk i sina arbetsflöden. Detta möjliggörs tack vare användningen av IFC-standard, som gör det möjligt att använda digitala tvillingar (kopior) av återbrukade komponenter i BIM-miljöer, där intressenter kan simulera och planera hur dessa kan användas på ett effektivt sätt.



7. PUBLIKATIONSLISTA

a) Vetenskapliga publikationer och presentationer

Ekholst, S. (2023). *Återbruk av fönster : -i nya byggnader fokuserat kring processen*. Examensarbete, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå Tekniska Universitet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-99063>

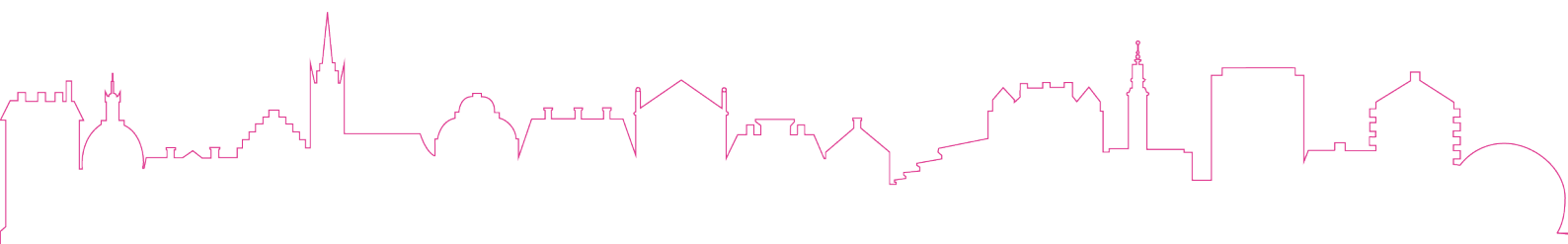
Spett, M. (October 2025). *Towards Climate-Driven Computational Design*. Licentiat, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå Tekniska Universitet.

Spett, M., Luciani, A., & Gamez, O. (2024). *Enabling Component Re-Use in Digital Workflows*, Urban Futures-Cultural Pasts, Amps conference, Barcelona, 15-16-17/7/2024
<https://amps-research.com/event/in-person-barcelona-section-a/schedule/sustainability-circularity-sc2-3/enabling-component-re-use-in-digital-workflows/>

Spett, M., Gamez, O., & Luciani, A. (2025). IFC-Models of Reclaimed Building Components Derived from Laser Scans [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15829603>

b) Populärvetenskapliga publikationer och presentationer

Spett, M., Luciani, A., & Gamez, O. *HERITWINS. Digitala tvillingar för cirkularitet av byggnadsdelar inom byggnadsvården*, Forskningswebbinarium BeSmå-nätverket, Återbruk och cirkularitet, Jun 4, 2024 13:00 - 15:00 PM



8. REFERENSER

Dezen-Kempton, E., Mezencio, D. L., Miranda, E. D., De Sa, D. P., & Dias, U. (2020). Towards a Digital Twin for Heritage Interpretation - from HBIM to AR visualization. Proceedings of the 25th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) [Volume 2]. CAADRIA.

[doi:10.52842/conf.caadria.2020.2.183](https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.2.183)

Grieves, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication.

Jouan, Pierre, and Pierre Hallot. 2020. "Digital Twin: Research Framework to Support Preventive Conservation Policies" ISPRS International Journal of Geo-Information 9, no.4: 228.

<https://doi.org/10.3390/ijgi9040228>

Lidelöw S., T. Örn, A. Luciani, A. Rizzo (2019) 'Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review', in Sustainable Cities and Society, Vol. 45, February 2019,

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.029>

López, Facundo J., Pedro M. Lerones, José Llamas, Jaime Gómez-García-Bermejo, and Eduardo Zalama. 2018. "A Review of Heritage Building Information Modeling (HBIM)" Multimodal Technologies and Interaction 2, no. 2: 21. <https://doi.org/10.3390/mti2020021>

Martins Holmberg I., A.Palmsköld, R. Barnholdt (2017) Återbruk och byggnadsvård. Cirkulering av delar och detaljer från äldre byggnader, Makadam, Göteborg Stockholm

Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. Computers in Industry, 130, 103469. [doi:10.1016/j.compind.2021.103469](https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469)

