

Fenix – AI- baserat beslutsstöd för återbruk

CARL HENRIKSON – YOIN
TECHNOLOGIES
YLVA LEMKE – PLAN B
CAROLINE GUSTAFSSON – PLAN B
MARCUS MELBERG – YOIN
TECHNOLOGIES
DAN ENGSTRÖM – PLAN B



FENIX

AI-baserat beslutsstöd för återbruk av byggmaterial och byggkomponenter

Carl Henrikson – Yoin Technologies

Ylva Lemke – Plan B AB

Caroline Gustafsson - Plan B AB

Marcus Melberg – Yoin Technologies

Dan Engström – Plan B

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**

Förord

Smart Built Environment är ett strategiskt innovationsprogram för hur samhällsbyggnadssektorn kan bidra till Sveriges resa mot att bli ett globalt föregångsland som realiserar de nya möjligheter som digitaliseringen för med sig. Smart Built Environment är ett av 17 strategiska innovationsprogram som har fått stöd inom ramen för Strategiska innovationsområden, en gemensam satsning mellan Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Syftet med satsningen är att skapa förutsättningar för Sveriges internationella konkurrenskraft och bidra till hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar.

Samhällsbyggnadssektorn är Sveriges enskilt största sektor som påverkar hela vår bebyggda miljö, men den är fragmenterad med många aktörer och processer. Att förändra samhällsbyggandet med digitaliseringen som drivkraft kräver därför samverkan mellan många olika aktörer. Smart Built Environment tar ett samlat grepp över de möjligheter som digitaliseringen innebär och blir en katalysator för spridningen av nya möjligheter och affärsmodeller.

Våra mål:

- Cirkulär resurshantering och effektivare processer avseende tid och kostnad – från planering till långsiktig förvaltning
- Den bebyggda miljös kvalitet har utvecklats, och genomsyras av funktionell hållbarhet, estetisk utformning, lång livslängd och robusthet
- Tydligt bidra till minskade utsläpp av växthusgaser i enlighet med Sveriges klimatmål för 2030
- Flera nya värdekedjor och ny affärslogik baserad på livscykelperspektiv, plattformar samt nya konstellationer av aktörer

I programmet samverkar programparter från näringsliv, kommuner, myndigheter, bransch- och intresseorganisationer, institut och akademi. Tillsammans nyttiggör vi den kunskap som tas fram i programmet.

Fenix är ett av projekten som har genomförts i programmet. Det har letts av Plan B och Yoin Technologies och har genomförts i samarbete med användare och sakkunniga från Stadsfastighetsförvaltningen vid Göteborgs Stad och Göteborgs Stad - HIGAB.

Stockholm, 30 december 2024

Sammanfattning

Det här innovationsprojektet tar avstamp i det ökande behovet att använda en större andel återbrukat material och komponenter i byggprojekt.

Det ursprungliga målet med projektet var att utveckla en prototyp som kunde erbjuda användare möjligheten att med naturligt språk (såsom svenska eller engelska) ställa frågor om information genom BIM (Byggnadsinformationsmodellering) där informationsmodeller kan nyttjas (Tillgångsinformationsmodell (AIM) för den existerande byggnaden som skall demonteras vs Projektinformationsmodell (PIM) för den projekterade byggnaden som skall uppföras) för att ta beslut om återbruk. En prototyp togs fram så att användare kan skapa projekt, ladda upp informationsmodeller och visa dessa i en 3D-vy och ställa frågor om egenskaper i modellerna med hjälp av ett chatgränssnitt i en webapplikation. Experiment gjordes även med multi-agent system för att undersöka potentialen i att dela upp frågeställningar i flera perspektiv som kan behandlas av olika AI-agenter.

Intervjuer genomfördes med användare inom projektledning och hållbarhetssamordning. Intervjuerna visade att informationsmodeller på existerande byggnader (som är av den ålder att de är aktuella för demontering) knappt förekommer alls i de aktuella bestånden. Även för nya byggnader finns stora utmaningar i form av bristande standardisering av de objekt som ingår i modellen så att dessa kan jämföras utifrån potential för återbruk.

Intervjuerna visade även att man snarare än att använda sig av 3D-CAD-modeller som informationsmodeller och som informationsbärare när det gäller material för potentiellt återbruk så använder man sig av inventeringsprotokoll. Protokollens utformning kan variera beroende på vilket företag eller person som haft uppdraget, tidpunkten och objektet. Vanligen är själva protokollen utformade i Excel och dessa kompletteras av visualiseringsmaterial vanligen i powerpointformat. Dessa material är avsedda för att överföra insikter från den/de som utfört inventeringen till fastighetsutvecklaren och materialet är inte formaterat för att vara maskinläsbart eller strukturerat för AI-användning. Vid intervjuerna framgick också att ett arbetskrävande moment var att jämföra de Tekniska Krav och Anvisningar (TKA:er) som fastighetsutvecklaren ställt upp och att jämföra dessa med egenskaper på komponenterna för att bedöma om dessa uppfyller kraven. Mot bakgrund av arbetssättet är det alltså mindre intressant för dessa användare att kunna utforska eller se 3D-CAD-modeller som informationsmodeller.

Utifrån dessa insikter beslutades att skifta fokus mot att inrikta arbetet på att undersöka hur AI verktyg kan användas med inriktning på material i inventeringsprotokoll och krav i TKA:er, oberoende av förekomst av 3D-CAD-modeller som informationsmodeller och med inriktning på att identifiera skadliga material i byggnader.

Projektets slutresultat är en prototyp som kan ge rekommendationer om återbruk utifrån skadliga material och viktiga insikter om arbetssätt och affärsmöjligheter i branschen. Projektet har också samverkat med Reincarnate vilket gett insikter och spridning av resultaten. Framtida arbete inkluderar att skapa en standard för inventeringsprotokoll och BIM baserade informationsmängder som är stringenta och maskinläsbara för AI så att AI system i framtiden har bättre förutsättningar att agera på informationen samt att vidare utforska potentialen i AI agenter.

Summary

This innovation project is based on the increasing need to use a greater proportion of recycled materials and components in construction projects.

The original goal of the project was to develop a prototype that would allow users to ask questions in natural language (such as Swedish or English) about information within Building Information Modeling (BIM). This would involve utilizing information models—the Asset Information Model (AIM) for the existing building set for demolition versus the Project Information Model (PIM) for the planned construction - to support reuse-related decision-making.

A prototype was developed, enabling users to create projects, upload information models, view them in a 3D interface, and ask questions about model properties using a chat-based interface within a web application. Experiments were also conducted with multi-agent systems to explore the potential of dividing queries into multiple perspectives, which could be processed by different AI agents. Interviews were conducted with users in project management and sustainability coordination. The interviews revealed that information models for existing buildings (of the age relevant for demolition) are rarely available in the current building stock. Even for new buildings, there are significant challenges due to a lack of standardization in the objects included in the models, making it difficult to compare them based on reuse potential.

The interviews also indicated that, rather than using 3D-CAD models as information models and carriers of information regarding materials for potential reuse, practitioners rely on inventory protocols. The format of these protocols varies depending on the company, individual, timing, and project. Typically, the protocols are created in Excel and complemented by visual materials, often in PowerPoint format. These materials are intended to transfer insights from the inventory process to the property developer, but they are not formatted for machine readability or structured for AI processing.

Additionally, the interviews highlighted that a labor-intensive task is comparing the Technical Requirements and Guidelines (TKA) established by the property developer with the properties of the components to assess whether they meet the requirements. Given this workflow, these users find exploring or viewing 3D-CAD models as information models less relevant.

Based on these insights, the focus of the work was shifted toward exploring how AI tools can be utilized to analyze material data in inventory protocols and requirements in TKAs, independent of the presence of 3D-CAD models as information models, with a specific emphasis on identifying hazardous materials in buildings.

The project's final result is a prototype that can provide recommendations on reuse based on hazardous materials and deliver key insights into workflows and business opportunities within the industry. The project also collaborated with Reincarnate, which contributed to valuable insights and dissemination of results.

Future work includes developing a standardized format for inventory protocols and BIM-based information sets that are rigorous and machine-readable for AI, ensuring that AI systems can better process and act on this information in the future. Additionally, further exploration of the potential of AI agents is recommended.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	7
2	MÅL OCH SYFTE	8
3	KONCEPTUTVECKLING OCH SYSTEMUTVECKLING	9
3.1	INITIAL FAS – ITERATION 1	9
3.1.1	TEKNISK BESKRIVNING	10
3.1.2	DOMÄNMODELL	12
3.1.3	ANVÄNDARGRÄNSNITT	13
3.2	ITERATION 2	15
3.3	ITERATION 3	17
3.4	ITERATION 4	18
3.5	ANDRA AI-BASERADE POCS	21
4	RESULTAT OCH INSIKTER	24
4.1	GENERATIV AI	24
4.2	AFFÄRSMODELLER INOM BYGGKONSULTBRANSCHEN	24
4.2.1	AFFÄRSMODELLERS UPPBYGGNAD	24
4.2.2	FRÅN TIMDEBITERING TILL VÄRDEBUREN LOGIK	25
4.2.3	TILLÄMPNING AV ALTERNATIVA INTÄKTSMODELLER	25
5	FRAMTIDA ARBETE	27
5.1	STANDARD FÖR INVENTERINGSPROTOKOLL OCH BIM-BASERADE INFORMATIONSMÄNGDER	27
5.2	UTFORSKA POTENTIALEN I MULTI AI-AGENTER	27
5.3	UTVIDGA SAMVERKAN MELLAN PARTER I EKOSYSTEMET FÖR ÅTERBRUK	27
5.4	CIRKULÄR EKONOMI OCH ÅTERBRUK I BYGGSEKTORN	28
6	REFERENSER	30

1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn svarade 2020 för inhemska utsläpp av växthusgaser på cirka 9,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarade 21 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Det finns en stor potential i att använda återbrukat material i byggande för att reducera utsläppen och ta tillvara stora värden. Det finns samtidigt en stor mängd bygg- och rivningsavfall i Europa — vilket motsvarar cirka 25-30 % av allt avfall i Europa. Tyvärr kan dock många av de mest värdefulla materialen i mängd bygg- och rivningsavfall inte separeras på ett meningsfullt sätt och hamnar på deponier. (1)

Enligt ISO 19650 och Nationella Riktlinjer avser BIM byggnadsinformationsmodellering, det vill säga processen för att hantera och strukturera information genom hela livscykeln av en byggnad eller anläggning. Informationen hanteras i informationsmodeller, vilka kan bestå av olika typer av informationsmängder, såsom Excel-filer, ritningar, 3D-CAD-modeller eller databaser. Användningen av byggnadsinformationsmodellering har under de senaste årtiondena ökat, särskilt bland större aktörer inom samhällsbyggnadssektorn, eftersom den bidrar till effektivisering, minskade fel och förbättrad kommunikation mellan projektets parter. Genom en strukturerad informationshantering finns även stor potential att reducera kostnader, minimera risker och minska klimatavtrycket.

Samtidigt är kostnaderna och hindren för att införa BIM och för att upprätthålla kompetens och för att säkerställa informationskvalitet i informationsmodellerna höga. I ett idealiskt scenario skulle alla de olika användarkategorier som har användning av byggnadsinformation enkelt kunna få ut den byggnadsinformation de behöver för att kunna fatta rätt beslut. I praktiken är det flera hinder som ligger i vägen för att alla användare som behöver informationen skall få tillgång till den och ta beslut baserat på den.

De hinder som främst ligger i vägen för att hela organisationen skall kunna dra nytta av BIM är:

Tekniska utmaningar: Programvaror för hantering av informationsmodeller kräver ofta kraftfull hårdvara och specialiserad programvara för att fungera smidigt. Kompatibilitetsproblem mellan olika programvaror och versioner kan uppstå och störa informationsflödet.

Kostnader: Införandet av arbetsätt för hantering av informationsmodeller kräver investeringar i programvara, hårdvara och utbildning. För mindre och medelstora företag och organisationer kan dessa kostnader vara avskräckande.

Utbildning och kompetensutveckling: Effektiv hantering av informationsmodeller kräver kompetens och utbildning. Många yrkesverksamma inom byggbranschen behöver uppdatera sina färdigheter för att kunna arbeta strukturerat med informationshantering enligt etablerade standarder, såsom ISO 19650.

Standardisering och samordning: Hantering av informationsmodeller involverar många olika intressenter, inklusive arkitekter, ingenjörer, entreprenörer och

fastighetsförvaltare. Att etablera gemensamma standarder och samordna informationsflödet mellan dessa aktörer kan vara utmanande och kräver tydliga processer samt enhetliga strukturer enligt exempelvis ISO 19650.

Kulturella och organisationsmässiga hinder: Förändringar i arbetssätt och processer kan möta motstånd inom organisationer. Ökad digitalisering och strukturerad informationshantering enligt ISO 19650 kräver ofta ökad samarbetsvilja och delning av information över disciplin- och avdelningsgränser. (2)(3)

För att det skall vara möjligt för användare med inriktning på hållbarhet att ta beslut kring hållbarhet krävs en demokratisering av tillgången till data och system som möjliggör att användare kan ställa frågor som exempelvis:

- "vilken kombination av produkter ger lägst CO2e-avtryck om vi skall byta ut fönstren på våning två och tre?" eller - "hur mycket lägre CO2e-avtryck får vi om vi bygger i trä och vad kommer kostnaden bli?"
- "vilka kemiska risker kan finnas i att använda materialen som finns i inventeringsprotokollet?"
- "hur uppfyller komponenterna som finns i inventeringsprotokollet de tekniska krav och anvisningar som ställs på (den nya) byggnaden?"

2 Mål och syfte

Syftet med projektet Fenix är att undersöka hur användare (speciellt miljösamordnare) som inte är BIM-expert kan dra nytta av att kunna ställa frågor till sina informationsmodeller för att utvärdera olika handlingsalternativ kopplat till återbruk av komponenter och material.

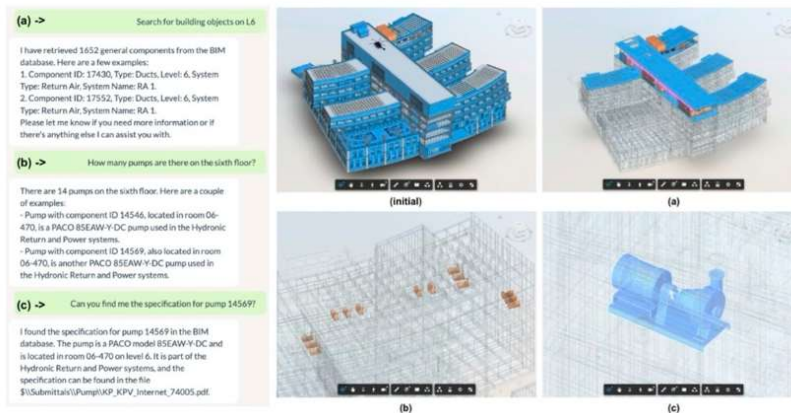
Genom att utveckla en prototyp på en lösning för ett sådant beslutsstöd och testa den med användare i realistiska användarfall ska projektet utvärdera sådana beslutsstöds förutsättningar och nytta. Projektet skall också utforska hur konsultbolag kan arbeta med nya affärsmodeller utifrån digitala AI-tjänster snarare än timbaserade manuella tjänster. Resultaten ska spridas.

3 Konceptutveckling och systemutveckling

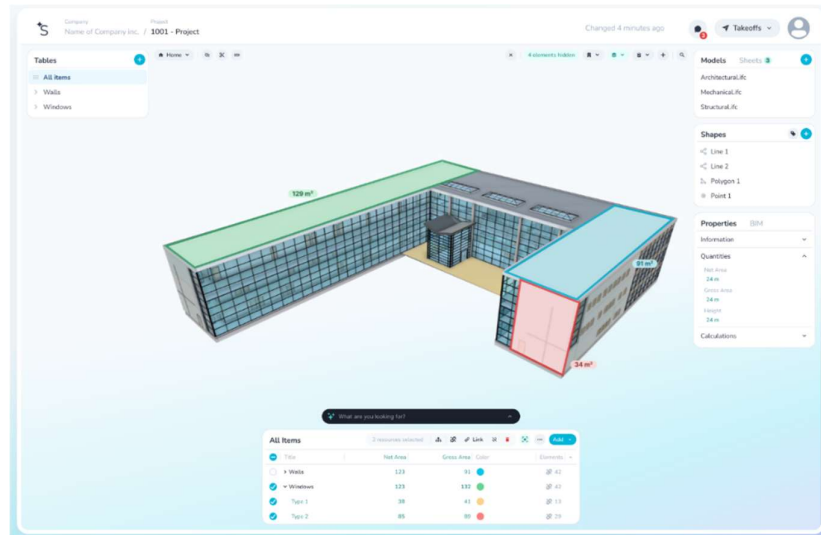
3.1 Initial fas – iteration 1

I en initial fas utvecklades en webbaserad plattform bestående av frontend och backend för att möjliggöra för användare att skapa projekt, ladda upp informationsmodeller och visa dessa i en 3D-vy och ställa frågor om egenskaper i informationsmodellerna med hjälp av ett chatgränssnitt i en webapplikation. Testerna visade att tekniken fungerade och det beslutades att ta kontakt med potentiella användare inom Göteborgs Stad (Higab och Stadsfastighetsförvaltningen vid Göteborgs Stad) för att få djupare insikter om arbetssätt och utmaningar.

Projektet kunde också dra nytta av lärdomar från liknande verktyg som utvecklats på andra håll såsom Stanford Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search (4) och Sparkel (5)



Figur 1 Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search. Fischer, Zheng, Lam.



Figur 2 Effortless BIM takeoffs. Sparkel.ai N.A. 2024

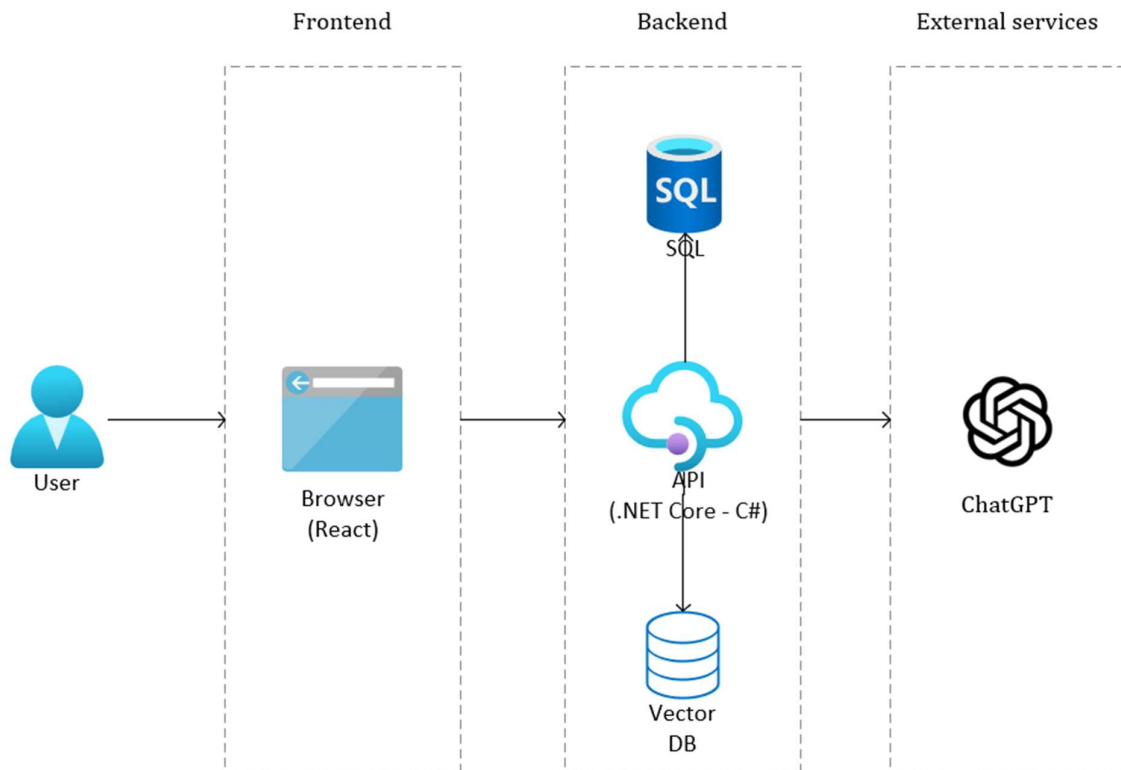
3.1.1 Teknisk beskrivning

Målet för arkitekturen för Fenix-applikationen var att hålla det enkelt men ändå möjliggöra viss isolering mellan de olika delarna. En lagerbaserad arkitektur användes med följande komponenter:

- Presentation (frontend)
- Webb-API + Lagring (backend)
- Externa tjänster

API:et hölls separerat från alla frontend-koncept för att möjliggöra integration både från frontend och andra potentiella integrerande klienter i framtiden, vilket ger ytterligare flexibilitet vid behov.

Ändringar i arkitekturen gjordes under projektets gång för att anpassa sig till förändringar i det tillgängliga AI-ramverken och AI-tjänsterna.



Figur 3 Överblick över applikationsarkitekturen

3.1.1.1 Frontend

Frontend-komponenten ansvarade för användarupplevelsen och implementerades som en webbapplikation med hjälp av React-ramverket. Anledningen till att en webbapplikation valdes var att förenkla distributionen, eftersom inga riktiga skrivbordskapaciteter behövdes.

React-ramverket valdes eftersom teamets kunskap var starkast inom detta område, och det är ett välkänt och välanvänt ramverk. För att förenkla och påskynda utvecklingen användes MaterialUI som komponentbibliotek.

3.1.1.2 Backend

Backend hanterar all affärslogik samt lagring och hämtning av data från databaserna och skrevs med hjälp av .NET Core-ramverket (C#) och exponerar sin funktionalitet för klienter genom ett standardiserat REST API.

Backend är ansvarig för att säkra och validera all indata innan den lagras i databasen. All modifiering eller hämtning av data måste ske via backend-API:et för att säkerställa att affärsregler efterföljs.

Backend var också ansvarig för integrationen med tillgängliga AI-tjänster. Detta skapade en tydlig separation mellan frontend och backend vilket gjorde det möjligt för frontend att implementeras mer oberoende av backend.

Följande större ramverk användes under implementationen:

- **Kernel-memory:** Ett öppen källkodsramverk utvecklat av Microsoft (12). Huvudanvändningen av biblioteket var att möjliggöra stöd för *Retrieval Augmented Generation (RAG)* scenarier på uppladdade filer genom att utnyttja *Embeddings* genererade från ChatGPT.
- **ASP.NET Web API:** Ett ramverk för att bygga WebAPI på .NET-plattformen.
- **Entity Framework:** Ett dataåtkomstramverk för att möjliggöra effektiv frågehantering av SQL-databasen.

3.1.1.3 Databas

Applikationens data lagrades i en SQL-databas. SQL valdes på grund av teamets befintliga kunskap, vilket gjorde det möjligt att utveckla applikationen utan friktion relaterad till ny lagringsteknologi.

Under projektets gång introducerades ytterligare lagringsteknik när backend började använda Kernel-Memory-biblioteket för att möjliggöra användarnas frågor kring innehållet i uppladdade filer. Effektiva frågor möjliggjordes genom att skapa *embeddings* (via ChatGPT API) som lagrades i en Vektordatabas i backend.

3.1.1.4 Externa tjänster

Det enda externa beroendet som applikationen hade var integrationen med ChatGPT. Integration gjordes via det publika API:et (13) och följande koncept/slutpunkter användes:

- **Chat:** För att ställa frågor till ChatGPT:s LLM som inte inkluderade frågor kring specifikt filinnehåll.
- **Embeddings:** Baserat på innehållet i en fil genereras *embeddings*, vilka sedan lagrades i backend.

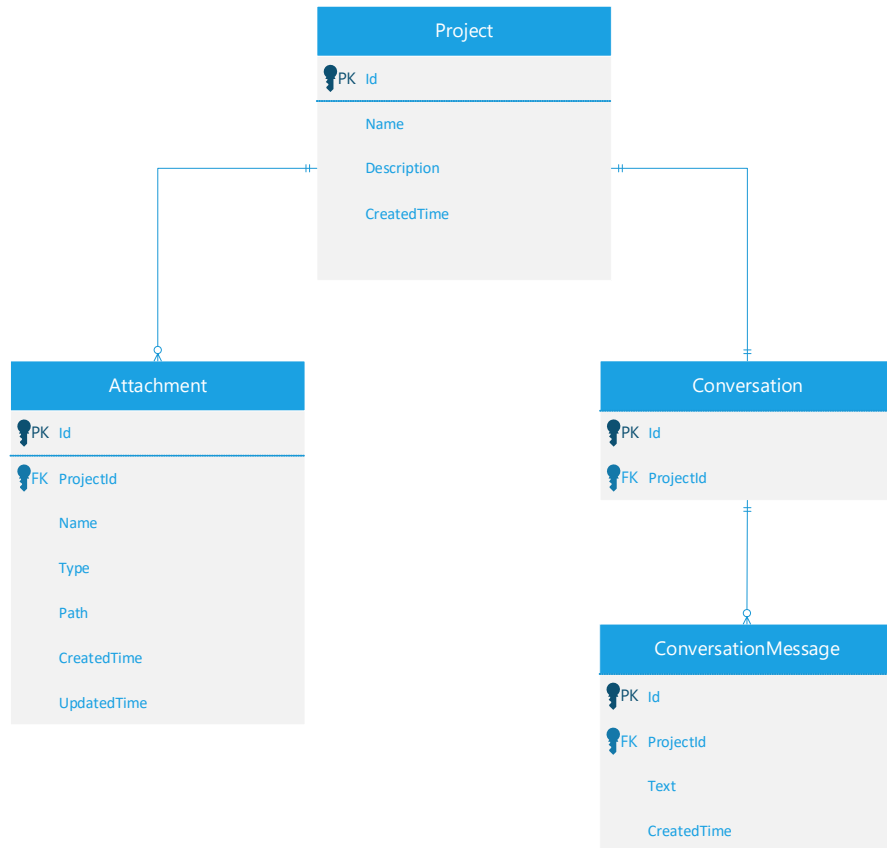
3.1.2 Domänmodell

Domänmodellen hölls enkel med syfte att stödja följande scenarier:

- Skapa/Redigera/Ta bort projekt
- Lägga till/Ta bort filer i projekt
- Föra en konversation i ett projekt
- Ställa frågor om filer i projektet
- Få svar på frågor ställda om filer i projektet

Följande entiteter identifierades:

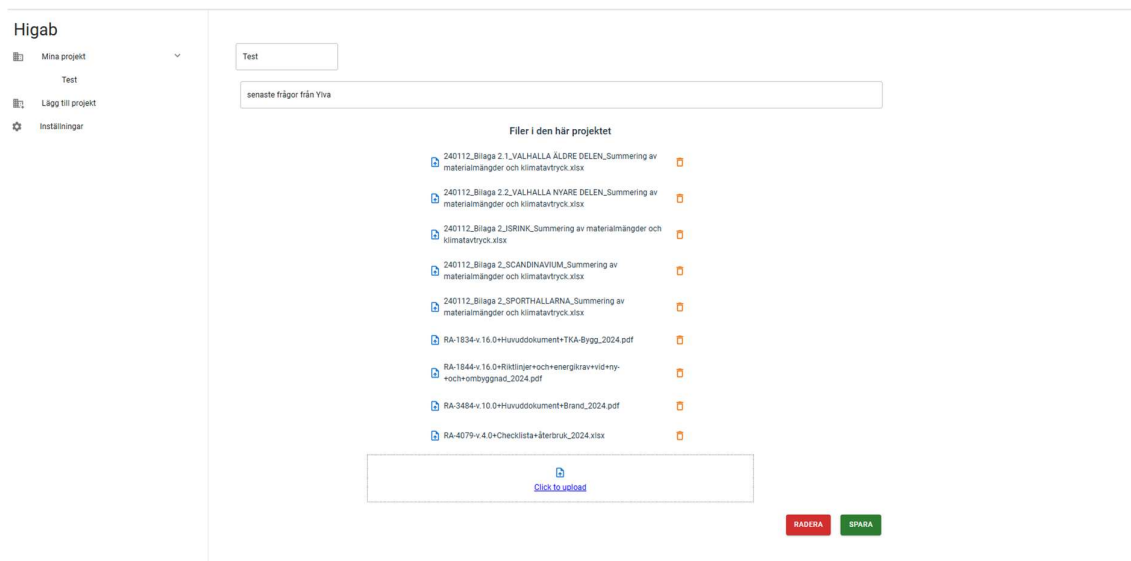
- **Projekt (Project):** Rotentiteten som håller all data om ett projekt
- **Fil (attachment):** En fil som har laddats upp till ett projekt av användaren
- **Konversation (Conversation):** Själva konversationen som äger rum inom ett projekt
- **Konversationsmeddelande (ConversationMessage):** Meddelanden som skickats av användare (och agenter) i en konversation



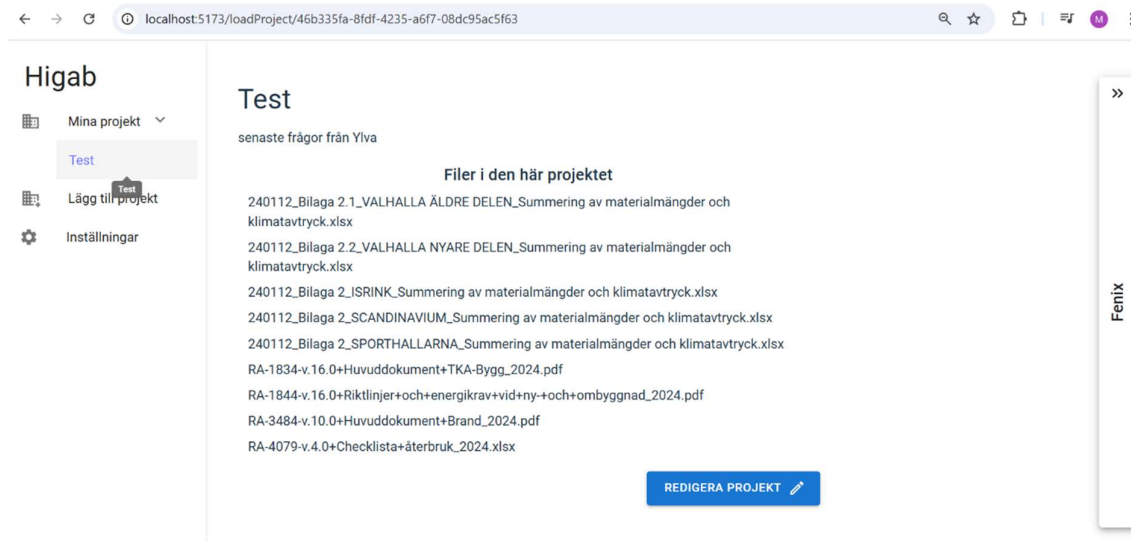
Figur 4 Diagram över domänmodellen och dess relationer mellan de olika entiteterna.

3.1.3 Användargränssnitt

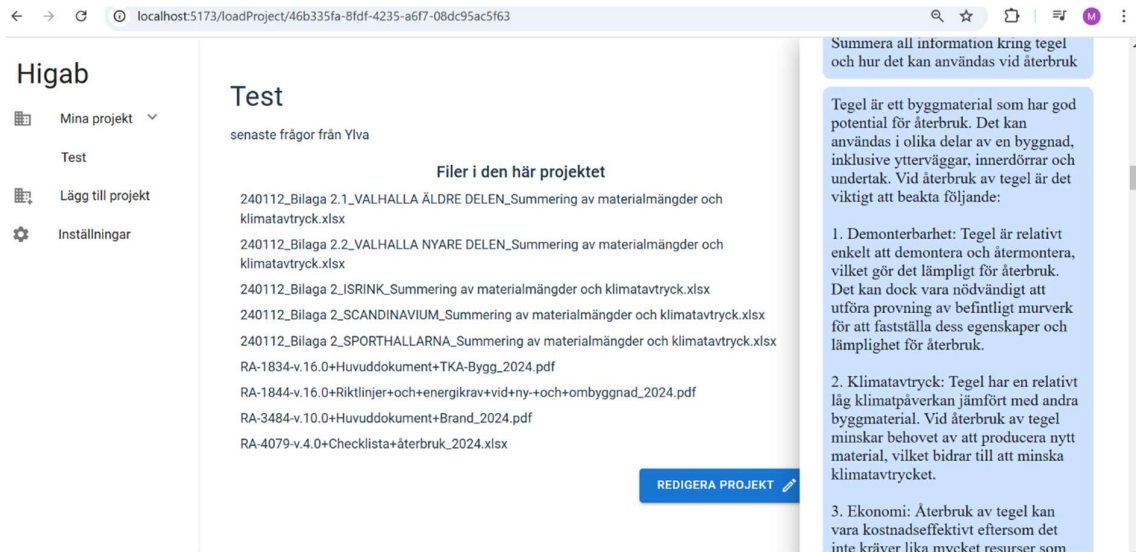
Baserat på domänmodellen implementerades användargränssnittet för att supportera tidigare nämnda scenarier.



Figur 5 Editering av ett projekt och dess bilagor



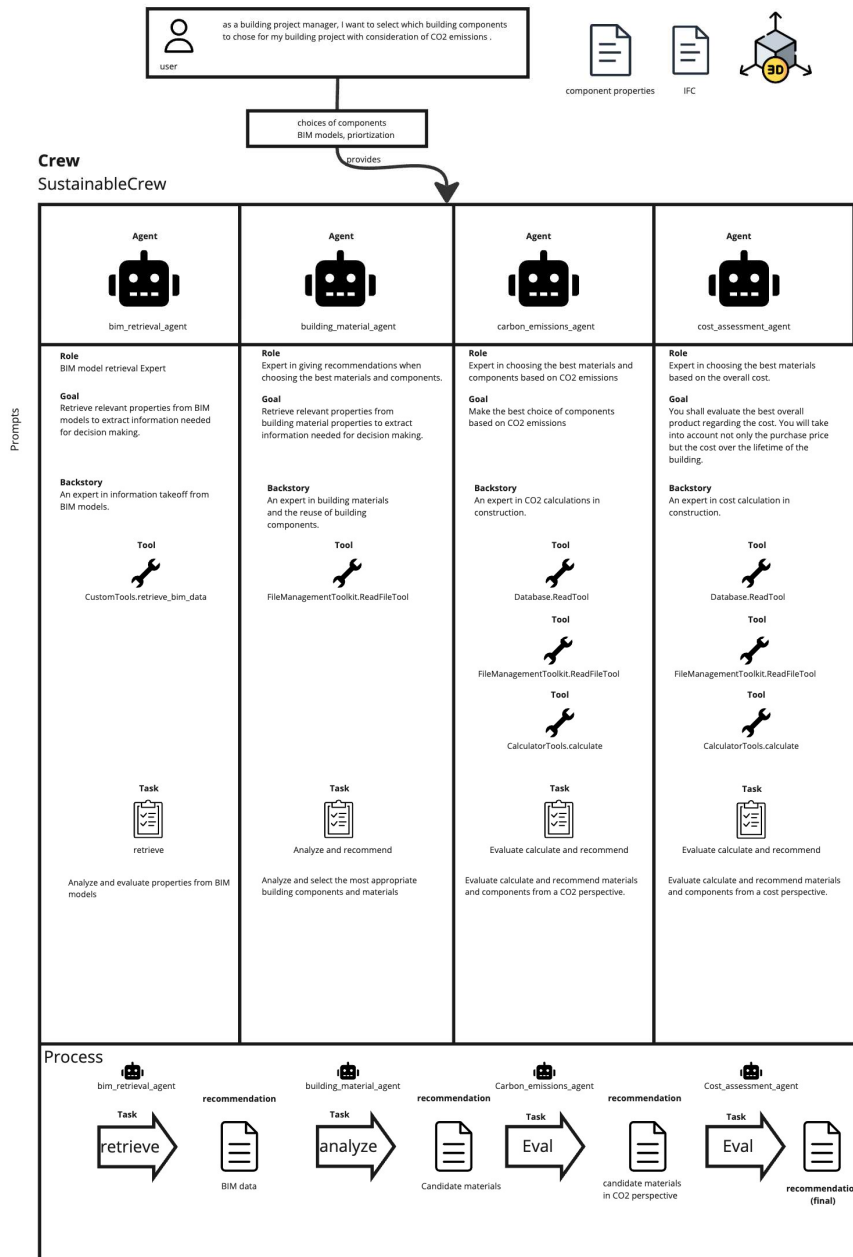
Figur 6 Överblick över ett projekt med tillhörande chat infälld



Figur 7 Överblick över ett projekt med tillhörande chat utfälld

3.2 Iteration 2

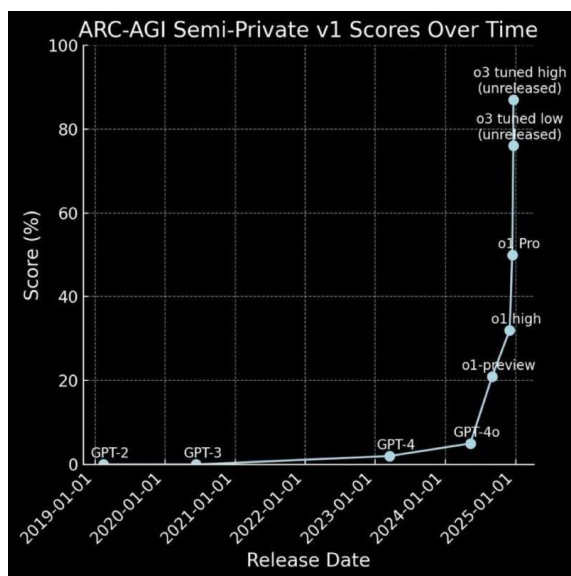
I iteration 2 utfördes experiment med att applicera multi-agent system på komplexa problem inom återbruk. Multi-agent-system för AI är en metod där flera självständiga AI agenter samverkar för att lösa problem eller uppnå mål som kan vara svåra att hantera av en enskild agent. Varje agent i systemet har en specifik uppsättning egenskaper, förmågor och roller och kommunicerar med andra agenter för att dela information, förhandla, eller samarbeta. Bilden nedan illustrerar ett enkelt multi-agent system implementerat i ramverket CrewAI där fyra agenter (`bim_retrieval_agent`, `building_material_agent`, `carbon_emissions_agent`, `cost_assessment_agent`) agerar som en form av expertpanel i ett linjärt flöde. Agenterna kan ges roller, mål, uppgifter och verktyg. Verktyg kan utgöras av programkod som exempelvis kan hämta information från en BIM modell, från en databas eller att göra en webbsökning.



Figur 8 Principskiss över ett multi-agent system för utvärdering av byggnadsmaterial för cirkulärt byggande. (förf.)

Experimenten med multi-agent AI var lovande principiellt men vid tidpunkten var prestandan hos LLM-modellerna otillräcklig för att få pålitliga resultat. Den mest kraftfulla tillgängliga modellen vid tidpunkten för experimenten var Open AI GPT 3.5. Efter ett mindre antal anrop mellan agenter kunde inte systemet inte längre behålla

kontexten och resonemanget slutade fungera. Troligen beror bristerna på kontextfönstrets begränsade storlek i GPT 3.5. Multi-agent ramverken har sedan experimentet utvecklats vidare och man har introducerat nya sätt att organisera samarbetet mellan agenterna samt rättat fel som exempelvis kunde orsaka oändliga loopar när agenter anropar varandra. (6) (7)



Figur 9 Stora språkmodellens prestanda har ökat dramatiskt det senaste året. Relativt kognitiv prestanda hos stora språkmodeller 20 Arcprize.org. Dec 2024

Den stora potentialen i användning av AI-agenter illustreras tydligast av ett uttalande från Microsofts CEO Satya Nadella att AI-agenter kan komma att ersätta samtliga befintliga applikationer genom att AI kan ersätta den programmerade affärslogiken i dessa. (8)

3.3 Iteration 3

I iteration 3 intervjuades användare hos HIGAB och Stadsfastighetsförvaltningen vid Göteborgs Stad. Intervjuerna visade att informationsmodeller på existerande byggnader (som är av den ålder att de är aktuella för demontering) knappt förekommer alls i de aktuella bestånden. Även för nya byggnader finns stora utmaningar i form av bristande standardisering av de objekt som ingår i modellen så att dessa kan jämföras utifrån potential för återbruk.

Intervjuerna visade även att man snarare än att använda sig av informationsmodeller som informationsbärare när det gäller material för potentiellt återbruk så använder man sig av inventeringsprotokoll. Protokollens utformning kan variera beroende på vilket företag eller person som haft uppdraget, tidpunkten och objektet. Vanligen är själva protokollen utformade i Excel och dessa kompletteras av visualiseringsmaterial vanligen i powerpointformat. Dessa material är avsedda för att överföra insikter från den/de som utfört inventeringen till fastighetsutvecklaren och materialet är inte formaterat för att vara maskinläsbart eller strukturerat för AI-användning. Vid intervjuerna framgick också att ett arbetskrävande moment var att jämföra de Tekniska

Krav och Anvisningar (TKA:er) som fastighetsutvecklaren ställt upp och att jämföra dessa med egenskaper på komponenterna för att bedöma om dessa uppfyller kraven. Mot bakgrund av arbetssättet är det alltså mindre intressant för dessa användare att kunna utforska eller se 3D vyer av informationsmodeller.

Utifrån dessa insikter beslutades att skifta fokus mot att inrikta arbetet på att undersöka hur AI-verktyg kan användas med inriktning på material i inventeringsprotokoll och krav i TKA:er, oberoende av förekomst av informationsmodeller så som 3D-CAD-modeller och med inriktning på att identifiera skadliga material i byggnader.

nr i bilaga 1	Materialtyp	Mått/Dimension	Placering	Typ	Antal [st]	Längd [m]	Area[m ²]	Voly[m ³]	Längd [m]	Vikt [ton]	Klimatavtryck [ton CO2e]	Kommentar; skick, mått mm
Betong											9858	1144 Betongkonstruktioner för bassänger ingår inte i beräknade mängder.
1	Pelare	500x500	Plan 1	Platsgutten	6,4	0,25	6,00			14	1,6	
2	Pelare	500x600	Plan 1	Platsgutten	6,4	0,30	7,20			17	2,0	
3	Pelare	400x400	Plan 1	Platsgutten	9,3,5	0,16	5,04			12	1,4	
3	Pelare	400x400	Plan 1	Platsgutten	4,4	0,16	2,56			6	0,7	Platsguttna pelare i källare. Mått tagna på ritning och stickprov utförda på plats
4	Pelare	420x420	Plan 1	Platsgutten	29,3,5	0,18	17,90			42	4,9	
5	Pelare	300x300	Plan 1	Platsgutten	4,3,5	0,09	1,26			3	0,3	
6	Pelare	400x400	Plan 1	Platsgutten	6,4	0,18	4,32			10	1,2	
7	Betongvägg / fasad	360mm	Plan 1	Platsgutten	120	0,55	66,76			155	17,9	140,1m lättbetong i som räknas bort
8	Betongvägg / fasad mellan fönster	200mm	Plan 1	Platsgutten	24	0,34	8,16			19	2,2	ca 20% av ytan utgörs av vägg, resten öppningar för dörrar/fönster
9	Betongvägg / fasad	400mm	Plan 1	Platsgutten	35	2,20	121,00			284	33,0	
10	Betongvägg / fasad	400mm	Plan 1	Platsgutten	29	1,62	52,49			76	8,8	140,1m lättbetong i som räknas bort
11	Betongvägg / fasad	360mm	Plan 1	Platsgutten	55	1,44	79,20			186	21,6	140,1m lättbetong i som räknas bort
12	Betongvägg / fasad	360mm	Plan 1	Platsgutten	35	1,16	63,80			150	17,4	140,1m lättbetong i som räknas bort
13	Betongvägg / fasad	360mm	Plan 1	Platsgutten	30	1,16	34,80			82	9,5	140,1m lättbetong i som räknas bort
13	Betongvägg / fasad	360mm	Plan 1	Platsgutten	35	1,34	46,90			130	12,8	140,1m lättbetong i som räknas bort
14	Betongvägg invändig	150mm	Plan 1	Platsgutten	50	0,53	26,35			62	7,2	
15	Betongvägg invändig	180mm	Plan 1	Platsgutten	215	0,63	135,45			338	36,9	
16	Betongvägg invändig (skyddrum)	250mm	Plan 1	Platsgutten	60	0,88	52,80			123	14,3	
17	Bottenplatta under högdel	200mm	Plan 1	Platsgutten	0,2	2100	420,00			987	114,5	
18	Bottenplatta under lågdel	200mm	Plan 1	Platsgutten	0,2	3000	600,00			1410	163,6	
19	Pelare 300x300	300x300	Plan 2	Platsgutten	11,4	0,09	3,56			9	1,1	
20	Pelare 420x420	420x420	Plan 2	Platsgutten	24,4	0,18	16,93			40	4,6	
21	Pelare 500	500mm	Plan 2	Prefab	6,3,3	0,20	3,89			9	1,1	Rund pelare
22	Betongpelare för rambalk	500x1300-1900	Plan 2	Platsgutten	6,9	0,75	46,80			95	11,0	
24	Gratängbalk	500x600	Plan 2	Platsgutten	6,20	0,30	36,00			85	9,8	
25	Betongvägg / fasad (högdel)	180mm	Plan 2	Platsgutten	84	2,70	226,80			533	61,8	
26	Betongvägg / fasad (lågdel)	180mm	Plan 2	Platsgutten	235	0,72	169,20			398	46,1	
27	Betongvägg / fasad (panncentral)	400mm	Plan 2	Platsgutten	62	4,40	272,80			641	76,4	
28	Bjälklag mellan plan 1/2 (högdel)	200mm	Plan 2	Platsgutten	0,2	2100	420,00			987	114,5	
29	Bjälklag mellan plan 1/2 (lågdel)	200mm	Plan 2	Platsgutten	0,2	3000	600,00			1410	163,6	
30	Betongtak ovan bas (högdel)		Plan 2	Platsgutten	43		172,00			404	46,9	En komplex konstruktion med balkar/bjälklag sammangjutna
31	Betongtak ovan panncentral	210mm	Plan 2	Platsgutten	0,21	250	52,50			123	14,3	
32	Betongtak ovan omklädnings (lågdel)	150mm	Plan 2	Platsgutten	0,15	2100	315,00			740	85,9	
33	Betongtak ovan entré (lågdel)	150mm	Plan 2	Platsgutten	0,15	900	135,00			317	36,8	Okänd konstruktion. Antar lika övrig lågdel.

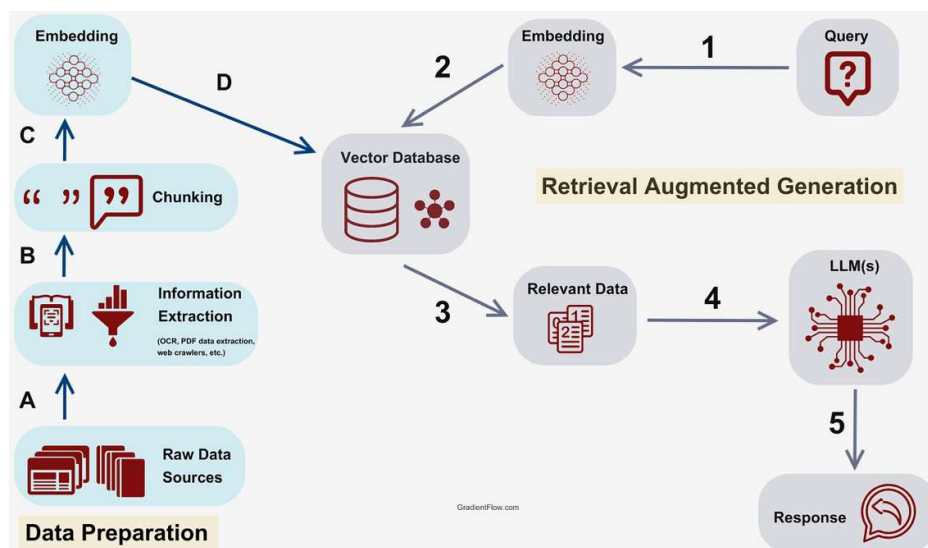
Figur 10 Utdrag av Cirkulära materialflöden, Nya arenor. Omhändertagande befintliga resurser och framtida användande. Hedén, Molander – White Arkitekter 2023

3.4 Iteration 4

Eftersom insikterna från iteration 3 visade att informationen kring det tillgängligt byggmaterial och rekommendationer samt tekniska krav och anvisningar inte var maskinläsbara, beslutades i iteration 4 att reducera scopet till dimensionen rekommendationer relaterat till förekomst av farliga ämnen i byggmaterial som är aktuella för återbruk. Enligt Data-Driven Approaches for Predicting Hazardous Substances in the Building Stock (2023) (är det praxis inom svenska byggprojekt att avsätta cirka 15% av budgeten för att hantera risker av farliga ämnen. Det finns alltså betydande ekonomisk potential i att reducera dess risker genom att bearbeta dem på ett tidigt stadium i samband med återbruk. För att åstadkomma lämpliga svar utifrån Byggåterbruksguiden - En vägledning för att underlätta återbruk av byggprodukter i bostäder, IVL .n.d. (10) användes AI tekniken RAG - Retrieval Augmented Generation. RAG är särskilt användbart i situationer där den förtränade modellen behöver kompletteras med uppdaterad eller domänspecifik information. Om RAG inte skulle användas med särskilt utvalda dokument utan enbart använt en förtränad språkmodell som exempelvis någon av GPT modellerna skulle svaren baseras på det generella träningsdata som avspeglas i modellen. Resultatet skulle då kunna vara färgat av exempelvis träningsdata från USA eller andra länder som har ett mycket större textmaterial i träningsdatat än svenska texter. En effekt skulle då kunna bli att applikationen genererar svar som inte är grundade i aktuell praxis eller att den skulle generera svar som är sannolika utifrån träningsdatat men som är felaktiga. Hallucination inom GPT-området är när en generativ AI-modell producerar innehåll som är felaktigt, fabricerat eller ogrundat, även om det verkar trovärdigt och välformulerat. Detta fenomen uppstår på grund av hur språkmodeller är konstruerade och fungerar.

Modellen tränas på historiska data, vilket innebär att den kan sakna information om nyare händelser eller domänspecifik kunskap (som exempelvis Byggåterbruksguiden).

Schematiskt kan RAG- processen illustreras i ett par olika steg:



Figur 11 Techniques, Challenges, and Future of Augmented Language Models, Gradientflow (11)

Steg A – Rådata förbereds och anpassas för att kunna tolkas av en generativ AI applikation. Detta kan exempelvis innebära att formatera om dokument som exempelvis Word, PDF, Excel som skapats för visuell presentation och läsning av människor så att de blir tydligare och otvetydiga vid inläsning.

Steg B – informationen extraheras ur dokumenten

Steg C – informationen delas upp i mindre delar s.k. chunking. Chunking är en process där stora dokument eller textkällor delas upp i mindre, hanterbara delar (s.k. "chunks") för att effektivt kunna användas i en Retrieval-Augmented Generation (RAG)-pipeline. Varje chunk representerar ett avgränsat stycke text med lagom storlek för att hämtas och bearbetas av en språkmodell eller en retrieval-modell.

Steg D – embedding och lagring i en databas
 Embedding är en teknik där text (eller annan typ av data) representeras som numeriska vektorer i en högdimensionell rymd. Inom Retrieval-Augmented Generation (RAG) används embeddings för att effektivt jämföra likheten mellan en användarfråga och dokument eller textsnuttar i en databas.

I Steg 1 (query) ställer en användare en fråga.

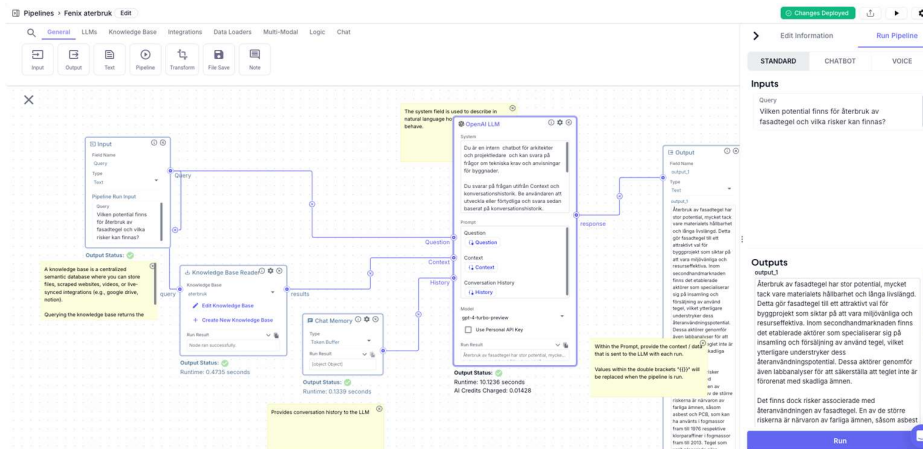
I steg 2 (embedding) skapas en embedding av frågan i numerisk form. Innebörden av frågan jämförs med innebörden av potentiella svar i databasen

I steg 3 (Relevant data) så returneras de texter vars embeddings är mest lika frågans embedding som relevanta kandidater och används som underlag för textgenerering.

I steg 4 (LLM) så genereras ett svar baserat på de texter som returnerats

I steg 5 (response) visas resultatet i en applikation till exempel i ett webbgränssnitt.

RAG-applikationen skapades i ett så kallat low-code verktyg. Ett low-code verktyg är en programutvecklingsplattform som möjliggör att applikationer och system skapas med minimalt behov av traditionell programmering. I stället använder dessa verktyg grafiska gränssnitt, drag-and-drop-funktionalitet och fördefinierade komponenter för att snabbt utveckla och distribuera mjukvara.



Figur 12 Exempel på flöde i ett low-code verktyg

Exempel på fråga och svar – utifrån Byggåterbruksguiden:

Fråga:

Vilken potential för återbruk har fasadtegel och vilka risker kan finnas?

Svar:

Fasadtegel har mycket stor återanvändningspotential på grund av sin höga kvalitet och livslängd. Var uppmärksam vid rivning och renovering då mjuk fogmassa som använts fram tills 1976 kan innehålla asbest och PCB. Fogmassan från före 2013 kan innehålla klorparaffiner. Problemet gäller främst tegel som varit placerat nära fönster eller dörrar eller i industrimiljö och där kan ha förorenats av farliga ämnen. Vid bearbetning bör exempelvis andningsskydd användas för att minimera risken att andas in potentiellt hälsoskadligt damm. Det finns flera etablerade aktörer på secondhandmarknaden (se början av guiden) som specialiserat sig på försäljning och insamling av secondhandtegel. Aktörerna hämtar tegel och utför labbanalyser för att undersöka potentiella föroreningar. Tegel som har förekommit i industriell miljö eller varit i kontakt med fogmassa som innehåller farliga ämnen är extra viktigt att undersöka. Vänd dig till din kommun angående återvinning och avfallssortering.

Den ursprungliga utformningen av Byggåterbruksguiden var inte utformad med tanke på tolkning av AI-modell.

Fasader



Inga problem att återanvända i driftsfasen



Utvärdering behövs, kan innehålla farliga ämnen



Ska inte återanvändas, innehåller farliga ämnen

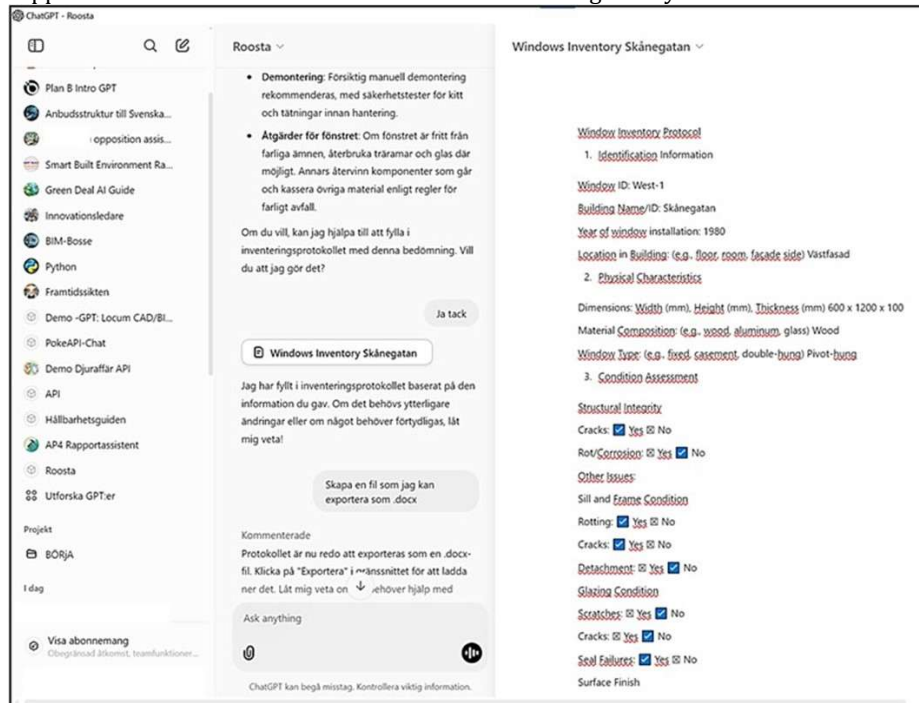
Produkt	Kan återanvändas?	Bygg-/tillverkningsår	Färligt innehåll	Information och tips
Fasadtegel		– 2021	Naturligt innehåll av metaller	Fasadtegel har mycket stor återanvändningspotential på grund av sin höga kvalitet och livslängd. Var uppmärksam vid rivning och renovering då mjuk fogmassa som använts fram tills 1976 kan innehålla asbest och PCB. Fogmassan från före 2013 kan innehålla klorparaffiner. Problemet gäller främst tegel som varit placerat nära fönster eller dörrar eller i industrimiljö och där kan ha förorenats av farliga ämnen. Vid bearbetning bör exempelvis andningskydd användas för att minimera risken att andas in potentiellt hälsoskadligt damm. Det finns flera etablerade aktörer på secondhandmarknaden (se början av guiden) som specialiserat sig på försäljning och insamling av secondhand-stegel. Aktörerna hämtar tegel och utför labbanalyser för att undersöka potentiella föroreningar. Tegel som har förekommit i industriell miljö eller varit i kontakt med fogmassa som innehåller farliga ämnen är extra viktigt att undersöka. Vänd dig till din kommun angående återvinning och avfallssortering.
Fibercementplattor (inklusive asbest-cementplattor/ eternit)	 	– 1929 1930-1982 1982-2021	Asbest	Fibercement är plattor gjorda av cement där armeringsfibrer har tillsatts. Under vissa perioder användes fiberasbest för detta. Fasadbeklädnad i asbest är en av de vanligaste byggprodukterna med asbest och användes i nybyggda och renoverade hus åren 1930-1982. De är vanligen gråvita, men fanns också i andra färger. På 1950-talet tillverkades även små plattor i 40x20 cm framför allt för villaägare och gör det själv-projekt. Asbest är inte hälsofarligt under driftsfasen, men är en hälsorisk när det förekommer i damm. Främst gäller detta under renovering och demontering men också vid avfallshantering. Damm stannar kvar länge i luften vilket man bör vara medveten om. Även en kortvarig exponering, till exempel vid borring i asbesthaltigt material, kan medföra en hög risk. Undvik därför att asbesthaltigt damm över huvud taget genereras. Konkreta råd för hur du som privatperson skyddar dig från asbest hittar du på Arbetsmiljöverkets hemsida . Asbesthaltigt avfall är färligt och ska separeras från betong och annat avfall. För att undvika damm vid avfallshanteringen ska det även förpackas. Vänd dig till din kommun angående återvinning och avfallssortering.
Fasadpanel och lister av impregnerat trä		– 2007	Kreosot, krom, koppar, PAH, kolväten, bly, kadmium, nickel, sink	Se mer under Impregnerat trä i avsnittet Takkonstruktion .

Figur 13 Utdrag ur Byggåterbruksguiden - En vägledning för att underlätta återbruk av byggprodukter i bostäder, IVL .n.d.

3.5 Andra AI-baserade POCs

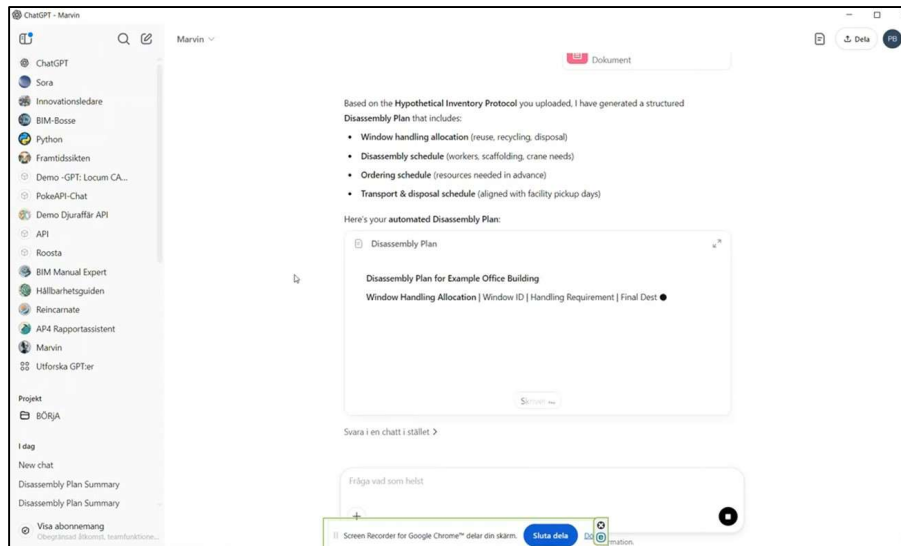
Vi ställde oss också frågan hur enkelt eller svårt det är att skapa AI-baserade rekommendationer, och gjorde därför två POC (Proofs of concept) av AI-baserade assistenter. I den första (*Roosta*, Figur 13) undersöktes hur digitala inventeringsprotokoll kan användas för att samla in och hantera information om byggnadskomponenter, i detta fall fönster, för att stödja beslut om återbruk, uppgradering eller kassering. Genom att registrera fysiska egenskaper, skick och materialkomposition kunde systemet generera rekommendationer för demontering och hantering, såsom försiktig manuell demontering eller särskild behandling av äldre glas. Testet visade att ett standardiserat digitalt protokoll och oorganiserad data kan

förbättra beslutsunderlaget, att kvaliteten kan bli god i resultaten även utan stora insatser. I detta fall var kunskapen som assistenten läste in sig på endast en handfull rapporter och artiklar om hur man hanterar renovering och byte av fönster.



Figur 14 Del av typiska resultat i test av Roosta (<https://youtu.be/lhE19yd9QSo>), ett Proof of Concept på AI-agent för rekommendationer om komponenters demontage och hantering

På samma sätt gjordes en Proof of Concept på en AI-assistent (*Marvin*, Figur 15) som automatiskt genererar demonteringsplaner för fönstren i en byggnad, baserat på inventeringsprotokoll för byggnaden. Denna assistent har läst in sig på beslutsträd för hur man bör hantera fönster (återbruk, återvinning av glaset eller kassation) och data på vilka resurser som behövs (exempelvis hur stora fönster två personer kan hantera och hur många fönster olika stora lastbilar kan transportera). Även här ledde relativt lite arbete till goda resultat. Marvin följer sina instruktioner och genererar automatiskt en plan med destination för varje fönster med avrops- och hämtdagar för transport, hantering av varje fönster (in i huset och med hiss ner eller ut från huset med ställning och kran), och demonteringsplanering för varje dag, med resursbehov.



Figur 154 Del av typiska resultat i test av Marvin (<https://youtu.be/M14TqamfyRs>), ett Proof of Concept på AI-agent för automatiska demonteringsplaner

Efter dessa lyckade första test är vi trygga i att det är genomförbart att generera rekommendationer och planer automatiskt, även om det är mycket arbete kvar att göra för att de ska bli helt pålitliga. Det bör vara rimligt att beslutsfattare direkt i systemet ska kunna se illustrerade förslag på demonteringsstrategier och hanteringsalternativ för varje komponent, exempelvis färgmarkeringar för de fönster som ska demonteras en viss dag.

4 Resultat och insikter

4.1 Generativ AI

Generativ AI har under de senaste åren utvecklats till en transformativ teknologi inom byggsektorn. I projektet Fenix – AI-baserat beslutsstöd för återbruk – undersöktes hur denna teknologi kan tillämpas för att främja cirkulära processer och minska miljöpåverkan. Projektet fokuserade särskilt på att stödja beslutsfattande kring återbruk av byggkomponenter, där användare som inte är experter på BIM (Building Information Modeling) ges möjlighet att interagera med byggnadsinformation genom naturligt språk.

En central insikt från projektet var att information om befintliga byggnader ofta saknas i strukturerade BIM-modeller. I stället används informella inventeringsprotokoll i format som Excel och PowerPoint. Dessa är svåra att tolka med traditionella digitala verktyg, men generativ AI, särskilt med hjälp av tekniken Retrieval Augmented Generation (RAG), har visat sig kapabel att tolka och resonera kring ostrukturerad data.

Projektet demonstrerade att det är möjligt att bygga AI-agenter som tolkar inventeringsdata, identifierar skadliga ämnen, och föreslår demonteringsstrategier – ofta med relativt lite träningsmaterial. Två POC:er (Proof of Concept), kallade Roosta och Marvin, visade att AI kan generera både rekommendationer och detaljerade arbetsplaner för återbruk med god kvalitet.

Genom att kombinera maskininlärning, domänspecifika databaser och ett användargränssnitt baserat på naturligt språk, möjliggör generativ AI en "demokratisering" av beslutsstödet. Detta innebär att användare inom hållbarhetsarbete, fastighetsförvaltning eller projektering kan fatta mer informerade beslut utan att vara experter på byggnadsmodeller eller AI-teknik.

Projektets resultat visar också att AI kan bli en katalysator för nya affärsmodeller. Genom att erbjuda AI-baserade rekommendationstjänster snarare än traditionell konsultationstimmar, öppnas nya intäktströmmar för byggkonsulter – ett ämne som fördjupas i avsnitt 4.2.

Sammanfattningsvis utgör generativ AI ett konkret verktyg för att överbrygga gapet mellan ostrukturerad byggnadsinformation och hållbarhetsmål. Det främjar cirkulär ekonomi, möjliggör nya digitala tjänsteerbjudanden, och skapar nya förutsättningar för hur kunskap och beslutsstöd distribueras i byggsektorn.

4.2 Affärsmodeller inom byggkonsultbranschen

4.2.1 Affärsmodellens uppbyggnad

Affärsmodeller kan struktureras utifrån tre centrala komponenter: värdeskapande, värdefångst och värdeerbjudande – ett synsätt som har etablerats i både klassisk och modern litteratur (Teece (21); Osterwalder & Pigneur (18)). **Värdeskapande** beskriver hur ett företag använder sina resurser och aktiviteter för att generera nytta, ofta genom teknologisk innovation, kompetens, eller unika processer. Inom byggkonsultbranschen handlar detta i allt högre grad om digitala plattformar,

automatisering och AI-drivna designverktyg. **Värdefångst** avser de mekanismer genom vilka företaget konverterar denna nytta till ekonomiska resultat, till exempel genom val av intäktmodell, prissättning eller licensiering. Här blir digitaliseringens påverkan särskilt tydlig, då nya verktyg möjliggör alternativa intäktslogiker bortom traditionell timdebitering. **Värdeerbjudande** är det konkreta paket av nytta som levereras till kunden, vilket i den digitala eran ofta innebär hybridlösningar – exempelvis kombinationer av tjänst och produkt, eller av engångsleverans och kontinuerligt stöd. Enligt Weking et al. (23) är dessa tre element inte bara beroende av varandra utan måste kontinuerligt omförhandlas och anpassas när teknologi och marknad förändras. I en AI-driven kontext kan alla tre komponenter automatiseras, testas och optimeras iterativt – något som ger affärsmodellutveckling en mer dynamisk och datadriven karaktär. För enskilda företag är det av mycket stor vikt att arbeta med denna fråga (17).

4.2.2 Från timdebitering till värdeburen logik

Digitaliseringen fortsätter att omvandla byggkonsultbranschen, och med denna transformation uppstår nya möjligheter och betydande utmaningar för etablerade aktörer. Kapaciteten att förändra sina affärsmodeller – hur värde skapas, fångas och levereras – har blivit avgörande för att möta de nya marknadsvillkoren. Här presenteras en fördjupning av affärsmodellutvecklingen, med särskilt fokus på hur digitalisering och AI möjliggör en hållbar omställning.

Digitala verktyg som BIM, designautomatisering och generativ AI förändrar arbetsprocesserna i grunden. Men teknik i sig är inte tillräckligt – affärsmodellen måste aktivt redesignas för att spegla förändrad värdeskapande och intäktslogik. Olanipekun et al. (16) visar att digital transformation i byggsektorn är systemisk och omfattar strategi, organisation, processer, kultur och partnerskap.

Den traditionella timtaxemodellen ifrågasätts allt mer. Enligt Tafti (9) uppstår en digitaliseringsparadox: automatisering effektiviserar projektering – men minskar fakturerbara timmar, vilket riskerar att urholka intäkterna. Det skapas ett behov av att övergå till modellen där värdet, inte tiden, står i centrum.

Tafti introducerar *Asset-Dominant Logic*, där digitala verktyg ses som återanvändbara tillgångar snarare än engångsprojekt. Detta möjliggör nya intäktmodeller: freemium, prenumeration, resultat- och prestationsbaserade modeller. Empiriska data visar att företag som implementerar en portfölj av modeller kan både diversifiera intäkter och undvika digitaliseringsparadoxen.

4.2.3 Tillämpning av alternativa intäktmodeller

Studien av Tafti et al. (20) vid en svensk konsultverksamhet diskuterar intäktmodeller:

- **Freemium:** effektiv vid lansering, men beroende av hög konverteringsgrad.
- **Prenumeration:** ger förutsägbara intäkter och stärker kundrelationerna.
- **Outcome-/performance-baserad:** betoning på utfall och mätbar prestation, vilket främjar effekt och ansvarstagande.

Liknande mönster syns även i forskning inom digitala tjänster i andra sektorer, där prenumeration och usage-modeller vinner framgång (19).

Digital transformation som helhetsförändring

Digital transformation i byggsektorn är multidimensionell: teknologi, ledarskap, organisationsstruktur, partnerskap och affärslogik behöver utvecklas parallellt. För Fenix innebär detta att AI-system inte bara bör underlätta projektering, utan även affärsstrategiska beslut – som att föreslå optimal intäktsmodell och affärsstruktur.

Service-Dominant Logic – co-creation och plattformar

Ramverket *Service-Dominant Logic* av Vargo & Lusch (22) betonar värdeskapande genom samarbete. Digitala plattformar och AI blir nav där kunden och leverantören gemensamt formar tjänster – en nyckelstrategi för att utveckla återbruksdrivna produkter och dialogbaserade verktyg.

Dynamisk affärsmodellering – automation med AI

AI och automatisering möjliggör *Dynamic Business Modeling* (DBM) – där affärslogik kan uppdateras i realtid genom realtidsdata och kontinuerliga feedbackloopar. Genom att integrera sådan funktionalitet kan Fenix föreslå affärsmodelljusteringar baserat på användningsdata, kundreaktioner och resultat, vilket ger beprövad agilitet.

Digital twins och smarta kontrakt

Digital twin-teknologier kan utgöra grunden för performance-baserade kontrakt. Hunhevicz et al. (2021) föreslår att digital twins tillsammans med blockchain möjliggör transparent realtidsmätning och automatiserad ersättning baserat på prestation. Detta kan konkret möjliggöra Fenix som plattform bortom projekteringsverktyg (14).

AI som katalysator för affärsmodellinnovation

Generativ AI stärker företagens innovationsförmåga och dynamiska kapaciteter. Forskning visar positiva samband mellan AI-användning, kunskapsbaserade dynamiska förmågor och företags prestation. AI driver övergångar från "Enhancer" till "Orchestrator"-strategier där affärsmodell, teknologi och kundinteraktion samordnas i en ecosystemdesign (14).

5 Framtida arbete

5.1 Standard för inventeringsprotokoll och BIM-baserade informationsmängder

En standard för inventeringsprotokoll och strukturerade informationsmodeller, utformad för att vara stringent och maskinläsbar, skulle ge AI-system bättre förutsättningar att analysera, rekommendera och agera utifrån informationen. Detta utgör en grundläggande förutsättning för att systematiskt kunna jämföra tillgängliga byggkomponenter och material, oavsett om återbruksanalysen sker med AI-baserade verktyg eller manuella metoder

5.2 Utforska potentialen i multi AI-agenter

Ett multi-agentsystem inom återbruk av byggkomponenter skulle ha stor potential genom att hantera komplexiteten i hela processen, från inventering och analys till design och distribution. Genom att kombinera specialiserade agenter med parallella processer och dynamisk problemlösning skulle ett sådant system kunna bidra till en mer effektiv och hållbar byggsektor, samtidigt som det stöder cirkulär ekonomi och minimerar miljöpåverkan.

Processen kan delas upp i hanterbara delproblem, där varje agent fokuserar på en specifik aspekt exempelvis:

- **Inventeringsagent:** Identifierar och katalogiserar byggkomponenter från demonteringsobjekt med fokus på att maximera återbrukspotentialen och minimera spill.
- **Designagent:** Genererar nya byggnadsdesigner eller anpassar designen baserat på tillgängliga återbrukade komponenter, med syfte att minska klimatpåverkan och resursförbrukning.
- **Kvalitetskontrollagent:** Bedömer om komponenterna uppfyller säkerhets-, miljö- och kvalitetsstandarder samt identifierar möjligheter för materialförbättring och återanvändning.
- **Logistikagent:** Optimerar transport och lagring av komponenter med hänsyn till minskade koldioxidutsläpp, energieffektivitet och cirkulära logistiklösningar.
- **Livscykelagent:** Utvärderar varje komponents livscykelpåverkan och föreslår strategier för att maximera dess hållbarhet genom återbruk, återvinning eller regenerativa designprinciper

5.3 Utvidga samverkan mellan parter i ekosystemet för återbruk

För att göra återbruk av byggkomponenter till en självklar och integrerad del av byggsektorn krävs en systemförändring i hur aktörer samarbetar. Genom att bryta ner silos, standardisera informationsutbyte och skapa digitala plattformar för delning av material och resurser, kan vi stärka en cirkulär ekonomi inom byggindustrin.

Nyckelfaktorer för framgång inkluderar:

- **Transparens och datadelning:** Gemensamma standarder och digitala verktyg möjliggör spårbarhet av material och effektiv logistik.
- **Tvärdisciplinärt samarbete:** Fastighetsägare, entreprenörer, arkitekter och materialleverantörer behöver samverka tidigt i processen för att maximera återbrukspotentialen.
- **Styrmedel och incitament:** Ekonomiska och regulatoriska incitament kan påskynda övergången till återbruk genom att premiera hållbara affärsmodeller.

Detta är en gemensam omställning som kräver långsiktigt engagemang från hela värdekedjan, men de potentiella vinsterna – för miljön, ekonomin och samhället – gör det till en investering med både kortsiktiga och långsiktiga fördelar.

5.4 Cirkulär ekonomi och återbruk i byggsektorn

Bygg- och fastighetssektorn är en av de största konsumenterna av naturresurser och står för en betydande del av samhällets avfall. För att uppnå klimatmål och en mer hållbar resursanvändning krävs en omställning till en cirkulär ekonomi där material återanvänds istället för att bli avfall. Inom ramen för Fenix-projektet har detta perspektiv varit centralt, särskilt i relation till AI-baserade metoder för att stödja återbruk.

Utmaningar och möjligheter

Cirkulär ekonomi inom byggsektorn innebär att materialflöden och resursanvändning optimeras genom hela byggnadens livscykel. Några centrala utmaningar som identifierats inkluderar:

- **Bristande spårbarhet av material:** Många byggprodukter saknar dokumentation om materialinnehåll och tidigare användning, vilket försvårar återbruk.
- **Standardisering och informationshantering:** Avsaknaden av enhetliga format för inventeringsprotokoll och återbruksdata gör det svårt att automatisera och effektivisera beslutsprocesser kring återbruk.
- **Affärsmodeller och incitament:** För att återbruk ska bli en naturlig del av byggsektorn krävs ekonomiska incitament och affärsmodeller som gör återbruk lönsamt.

Digitalisering och AI som möjliggörare

Ett centralt tema i Fenix-projektet har varit att utforska hur digitala lösningar kan accelerera omställningen till en cirkulär byggsektor. Genom att använda AI och digitala verktyg kan vi:

- **Automatisera materialinventering:** AI kan tolka inventeringsprotokoll, analysera materialinnehåll och identifiera potentiella risker, exempelvis skadliga ämnen.
- **Stödja beslutsfattande genom AI-drivna analyser:** AI-agenter kan matcha befintliga material mot nya byggprojekt och föreslå återbruksalternativ baserat på tekniska krav och miljöpåverkan.

- **Skapa digitala produktpass:** Genom att etablera standardiserade informationsmodeller och databaser kan produktens och materialens historik och egenskaper bli transparenta, vilket underlättar återbruk.

Cirkulär ekonomi i framtidens byggprocess

För att möjliggöra en cirkulär byggsektor behövs samverkan mellan fastighetsägare, entreprenörer, materialleverantörer och digitala tjänsteutvecklare. Fenix-projektet har visat att AI och digitalisering har potential att påskynda denna omställning, men för att realisera förändringen krävs:

- Gemensamma standarder för återbruk och materialinformation.
- Integrerade digitala plattformar för återbruk där fastighetsägare och entreprenörer kan matcha tillgängligt material med nya projekt.
- Styrmedel och incitament som främjar återbruk genom ekonomiska och regulatoriska åtgärder.

Genom att kombinera digitalisering, AI och cirkulär ekonomi kan byggsektorn gå från en linjär till en resurseffektiv och hållbar modell, vilket minskar klimatpåverkan och skapar nya affärsmöjligheter.

6 Referenser

- (1) <https://www.reincarnate-project.eu/project/>
- (2) https://www.nationella-riktlinjer.se/infopack_content/tillgangsinformationsmodell-tillgangsinformationsmodell-partial-html/
- (3) <https://www.bimalliance.se/natverk-och-moten/genomforda-moten/191119-extrabim-frukost/>
- (4) Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search. Fischer, Zheng
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523003278?dgcid=coauthor>
- (5) <https://www.sparkel.ai/>
- (6) CrewAI <https://github.com/crewAIInc/crewAI>
- (7) Rethinking the Bounds of LLM Reasoning: Are Multi-Agent Discussions the Key?
<https://arxiv.org/abs/2402.18272>
- (8) Interview with Microsoft CEO Satya Nadella on BG2
https://www.youtube.com/watch?v=9NtsnzRFJ_o
- (9) Tafti, A. *Introducing Asset-Dominant Logic to the Swedish Construction Consulting Industry*. Licentiatuppsats, Luleå tekniska universitet, 2024.
- (10) Byggåterbruksguiden - En vägledning för att underlätta återbruk av byggprodukter i bostäder, IVL .n.d.
<https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/byggaterbruksguiden-en-vagledning-for-att-underlatta-aterbruk-av-byggprodukter-i-bostader.html#byggater>
- (11) <https://gradientflow.com/techniques-challenges-and-future-of-augmented-language-models/>
- (12) <https://microsoft.github.io/kernel-memory/>
- (13) <https://platform.openai.com/docs/api-reference/introduction>
- (14) Anon. (2025). Rethinking Business Models With AI. FTI Consulting,
<https://www.fticonsulting.com/insights/articles/rethinking-business-models-with-ai>
- (15) Hunhevicz, J. J., Motie, M., & Hall, D. M. (2021). Digital Building Twins and Blockchain for Performance-Based (Smart) Contracts. ArXiv.
- (16) Olanipekun, A. O., Xia, B., & Skitmore, M. (2021). Digital Transformation in Construction: A Systematic Review. *Automation in Construction*, 124, 103529.
- (17) Nyqvist, R., Peltokorpi, A., Lavikka, R. & Ainamo, A. (2025). Building the digital age: management of digital transformation in the construction industry. *Construction Management and Economics* 43.4 (2025): 262-283.
- (18) Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Wiley.
- (19) Tabares, S., Parida, V., & Visnjic, I. (2023). Revenue models for digital services in the railway industry: A framework for choosing the right revenue model, *Journal of Business Research*, Volume 165, 2023, 114041, ISSN 0148-2963,
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114041>
- (20) Tafti, A., Sandberg, M., & Andersson, M. (2024). Exploring Alternative Revenue Models for Construction Consulting Firms in the Digital Era. *Sustainability*, 16(21), 9397.

- (21) Teece, D. J. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2-3), 172-194.
- (22) Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1-17.
- (23) Weking, J., Hein, A., Böhm, M., & Krcmar, H. (2020). A Structured Framework for Assessing the Business Value of Digital Transformation. *Information Systems and e-Business Management*, 18(1), 1-39.



SMART BUILT
ENVIRONMENT

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program