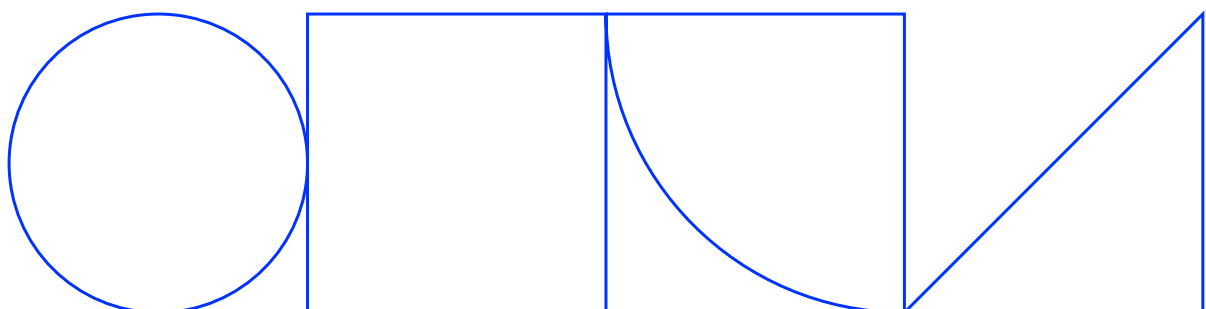


Data- och produktionsstyrd projektering inom byggbranschen med hjälp av artificiell intelligens

Data-driven and Production-oriented Tendering Design
using Artificial Intelligence

Linda Cusumano
NCC Sverige AB

2023-08-28



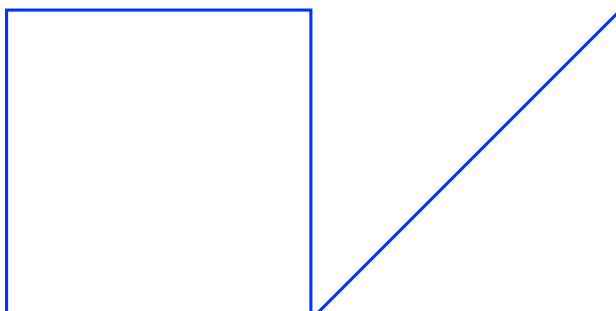
Förord

Projektet har genomförts vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad, avdelningen för konstruktionsteknik. Projektledare har varit Rasmus Rempling och doktorand och rapportförfattare Linda Cusumano. Handledare har förutom Rasmus Rempling (NCC/Chalmers), varit Robert Jockwer (Chalmers), Mats Granath (Göteborgs universitet) samt Nilla Olsson (NCC).

Stort tack till finansörerna SBUF och NCC som möjliggjorde detta projekt. Ett stort tack även till referensgruppen som följt, stöttat och engagerat sig i projektet. Era synpunkter och funderingar har varit mycket värdefulla. Referensgruppen har bestått av Karin Wikström (NCC), Jan Dahlqvist (ÖrebroBostäder AB), Karl Karlstöm (Akademiska Hus), Max Bergström (PEAB), Robert Grahm (Skanska), Sverker Andreasson (Ikano Bostad) samt Örjan Rystedt (Castellum). Till sist, tack till alla andra som engagerat sig i projektet och medverkat i workshopar, intervjuer och svarat på enkäter. Ni har bidraget med mycket värdefulla insikter och inspiration.

Göteborg, augusti, 2023.

Linda Cusumano



Sammanfattning

I takt med att byggprojekten blir större, mer teknik integreras och hållbarhetsambitionerna ökar blir även kraven som projekten måste uppfylla fler. Den nuvarande bristen på systematisk kravhanteringen inom den svenska byggbranschen gör att kravhanteringen i projekten ofta blir överväldigande. En metod för en mer systematisk kravhantering som används framgångsfullt inom andra branscher är "System Engineering", där en viktig del av processen är kravnedbrytning och koppling mellan krav och lämplig verifiering och validering. Det här forskningsprojektet utreder därför om System Engineering-metodiken kombinerad med artificiell intelligens kan möjliggöra en enklare kravhantering samt skapa förutsättningar för en systematisk erfarenhetsåterföring i byggprojekt.

Den första delen av projektet undersöker hur beställarkrav kan extraheras, digitaliseras och analyseras på ett automatiserat sätt, samt vilka fördelar det ger för olika tekniska specialister involverade i anbudsprojekt. Undersökningen gjordes genom att först utveckla en arbetsprototyp baserat på Natural Language Processing (NLP) och sedan utvärdera prototypens potential genom två enkäter och en workshop.

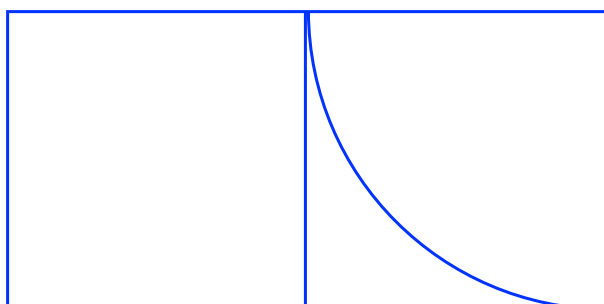
Den andra delen av projektet undersöker om digitala inspektionsdata kan verifiera och validera projektkrav och projektkvalitet. Som dataunderlag nyttjades fler än 95000 insamlade produktionsärenden som rapporterats i samband med olika inspektioner och besiktningar. Först analyserades datakvalitet och standardiseringsgrad, och därefter utvärderades fördelar med digital ärenderapportering genom en enkät. Till sist identifierades framtida möjligheter till kunskapsåterföring genom analys av digitala produktionsdata genom att tillämpa klustringsmetoder.

Projektresultaten visar att NLP tekniker kan bidra till en mer automatiserad och systematiserad kravanalys i anbudsprojekt. Det AI-prototyp som utvecklades i projektet bedömdes vara ett användbart sätt för att enklare kunna identifiera viktiga och utmanande beställarkrav samt möjliggöra jämförelser med tidigare genomförda projekt och projektkrav.

Projektresultaten visar också att digitala inspektionsdata kan användas för att identifiera kvalitetsbrister i byggprojekt och underlätta systematisk erfarenhetsåterföring inom projektbaserade organisationer. För att underlätta erfarenhetsåterföringsprocessen behöver dock kvaliteten och standardiseringsgraden på den data som rapporteras in höjas.

Innehåll

Bakgrund	4
Syfte och mål	4
Metodik	5
Resultat och slutsatser	6
Studie A:	6
Enkätundersökning gällande arbetssätt baserat på AI	6
Workshop	8
Studie B:	8
Produktionsdata	8
Enkätundersökning gällande digital ärenderapportering	9
AI-analys av produktionsdata för erfarenhetsåterföring	9
Slutsatser	9
Plan för projektets fortsättning lic - phd	10
Litteraturlista	11



Bakgrund

I takt med att byggprojekten blir större, mer teknik integreras i byggnaderna och nya hållbarhets mål introduceras ökar också antal krav som projekten måste uppfylla [1]. I stället för att arbeta systematiskt med kravhantering tenderar byggprojekten att lita på yrkesskicklighet, vilket leder till att kravhanteringen lätt blir överväldigande [2].

Ett tillvägagångssätt för en mer systematisk kravhantering, som framgångsrikt tillämpas inom andra branscher, är "Systems Engineering" (SE). En ofta använd definition av SE är "ett tvärvetenskaplig och integrerat tillvägagångssätt för att möjliggöra framgångsrika projekt, där systemteorier och koncept kombineras med vetenskaplig, tekniska och ledningsmetoder" [3]. Gemensamt för alla definitioner av SE är ett holistiskt förhållningssätt, där fokuset ligger på projektet som helhet och hur helheten nås genom att bryta ner projektet i hanterbara separata delar. En viktig del av SE metodiken är att analysera och bryta ner projektkrav och koppla dem till lämpliga verifieringar och valideringar. Genom att nyttja SE metodiken i byggprojekt kan nya möjligheter för kunskapsåterföring skapas och kombinerat med en högre digitaliseringsgrad kan nya projekt lättare nyttja erfarenheter i tidigare projekt.

Idag är de flesta informationsflöden inom byggbranschen linjära och när produktionen är avslutad nyttjas i regel inte insamlade data vidare. Genom att i stället skapa förutsättningar för cirkulära informationsflöden skapas också potential i att nyttja projektdata som besluts- och riskidentifieringsunderlag i nya projekt.

Syfte och mål

Byggbranschen är kravorienterad men saknar idag en systematik i kravhanteringen på grund av den omfattande manuella arbetsinsats som dagens metoder kräver. Byggbranschen blir dock alltmer digitaliserad vilket innebär att mer krav- och produktionsdata finns tillgänglig digital. Syftet med forskningsprojektet är därför att undersöka hur artificiell intelligens kan underlätta cirkulära informationsflöden där produktionsdata kan fungera som värdefull indata i nya anbudsprojekt. Projektet undersöker även hur cirkulära datainformerade beslut och kunskapsåterföring kan underlättas genom att tillämpa en SE metodik i byggprojekt.

Då omfattningen av AI-tillämpningar inom byggbranschen är relativt begränsad så ämnar forskningsprojektet även undersöka vilka fördelar som AI kan ge inom vissa specifika projektfaser samt skapa förståelse för hur framtida användare ser på möjligheter och utmaningar med att använda AI som stöd i deras dagliga arbete.

Forskningsprojektet har som mål att besvara följande huvudfrågor:

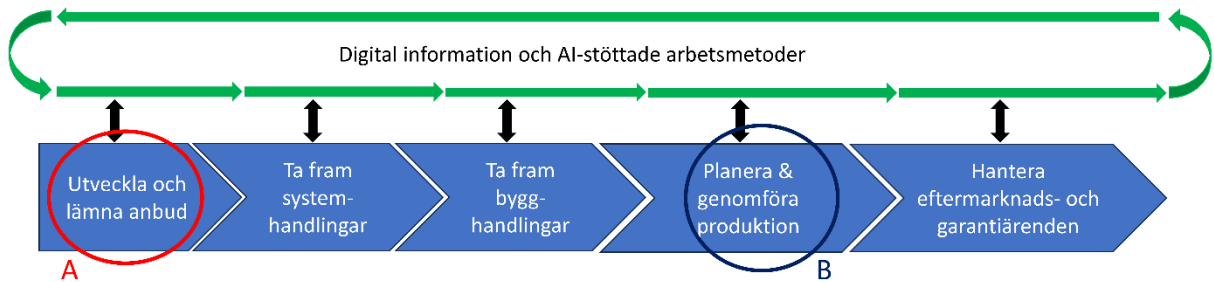
RQ1: Hur kan beställarkrav i anbudsdokument digitaliseras och analysen av kraven automatiseras?

RQ2: Hur kan produktionsdata nyttjas som indata i nya anbudsprojekt?

RQ3: Hur kan artificiell intelligens nyttjas för att underlätta erfarenhetsåterföring?

Metodik

Den första delen av forskningsprojektet, studie A, behandlar analysen av beställarkrav som utförs av entreprenören i anbudsprojekt. Projektets andra del, studie B, är i stället inriktad på produktionsfasen och de problem som rapporteras in under diverse inspektioner och besiktningar. Hur studierna är positionerade i byggprocessen kan ses i Figur 1.



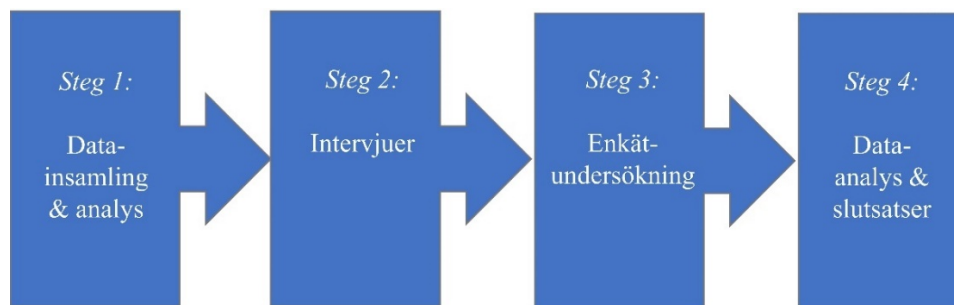
Figur 1. Hur de två olika studierna i forskningsprojektet är positionerade i byggprocessen.

I förberedelserna inför studie A gjordes ett flertal intervjuer bland tjänstemän på ett entreprenadföretag. Under dessa intervjuer upptäcktes kunskapsbrister gällande AI-teknik och tillämpningar. Därför valdes att i forskningsprojektet utveckla och demonstrera ett arbetssätt med en prototyp baserat på AI och sedan utvärdera möjligheter och utmaningar kopplade till implementeringen av ett sådant arbetssätt genom två enkäter och en digital workshop. Studie A genomfördes i fem steg, vilka presenteras i Figur 2. AI-prototypen gavs fyra funktioner; extrahering och digitalisering av beställarkrav, likhetsjämförelse av kraven mot AMA HUS-18, kravlikhetsjämförelse mellan nytt projekt och tidigare projekt i en databas, samt visualisering av krav och likheter. Workshop- och enkärdeltagarna utvärderade AI-prototypen med avseende på utmaningar, möjligheter, framtida funktioner samt nödvändiga åtgärder innan implementering. Deltagarna representerade specialistkategorierna kalkylatorer, installationsledare, konstruktörer, LCA-specialister, miljöskunniga, energispecialister samt geotekniker. Mer utförliga beskrivningar av utformningen av enkäter och workshop samt arkitekturen i prototypen finns i [4] och [5].



Figur 2: Metodik för studie A

I studie B riktades fokus mot verifieringar och valideringar i produktionsfasen av byggprojekt. Studie B utfördes i fyra steg, vilka presenteras i Figur 3.



Figur 3: Metodik för studie B

Den databas som användes för studien bestod av mer än 100 000 produktionsärenden från totalt 117 svenska byggprojekt. Ärendena hade samlats in med hjälp av programvaran Dalux Field [6] och hade rapporterats av huvudentreprenör, underentreprenörer, konsulter och leverantörer.

Intervjuerna användes dels som en hjälp att tolka den data som samlats in, dels som en förberedelse för enkätundersökningen. Totalt intervjuades sex personer vilka hade specialistkompetens inom VDC, NLP, produktionsstöd och projektledning, samt produktionsmjukvara. Med stöd av resultatet från intervjuerna genomfördes sedan en enkätundersökning adresserad till användare av Dalux Field. Mer information om utformningen av enkätundersökningen hittas i [7].

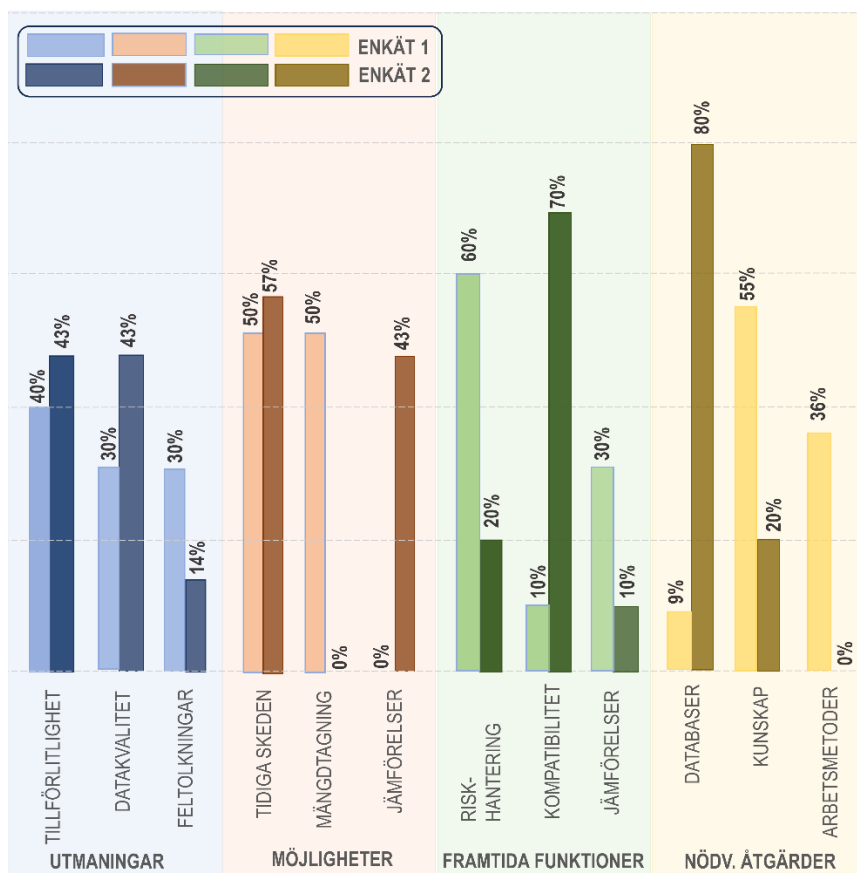
Till sist användes ett mindre dataset bestående av ärenden från enbart sjukhusprojekt för att utvärdera om AI kan underlätta erfarenhetsåterföringen. Ärendenas titlar och beskrivningar användes för att göra en klustringsanalys med K-means metoden [8]. Först gjordes en klustring på samtliga ärenden för att ge insikter i vilka problemtyper som var dominerande. Därefter gjordes klustringsanalyser på projektnivå för att se om ärendena inom en problemkategori skiljde sig åt mellan projekten. Till sist gjordes även en statistisk projektjämförelse.

Resultat och slutsatser

Studie A:

Enkätundersökning gällande arbetssätt baserat på AI

Enkätundersökningen bestod av en första enkät som workshopdeltagarna besvarade innan demonstrationen av AI-prototypen, och en andra enkät med samma frågor som besvarades efter demonstrationen för att kunna identifiera åsiktsskillnader. Den första enkäten skickades till 59 tekniska specialister och svarsfrekvensen var 64%. Den andra enkäten skickades endast till personer som både närvarat vid workshoppen och svarat på den första enkäten, och hade en svarsfrekvens på 66%. Figur 4 visar de olika svarskategorierna som identifierades i respektive huvudkategori samt andelen svar inom respektive underkategori för både enkät 1 och 2.



Figur 4: Huvudkategorier och identifierade underkategorier i de båda enkätundersökningarna.

De huvudsakliga skillnaderna mellan svaren i de båda enkätundersökningarna var:

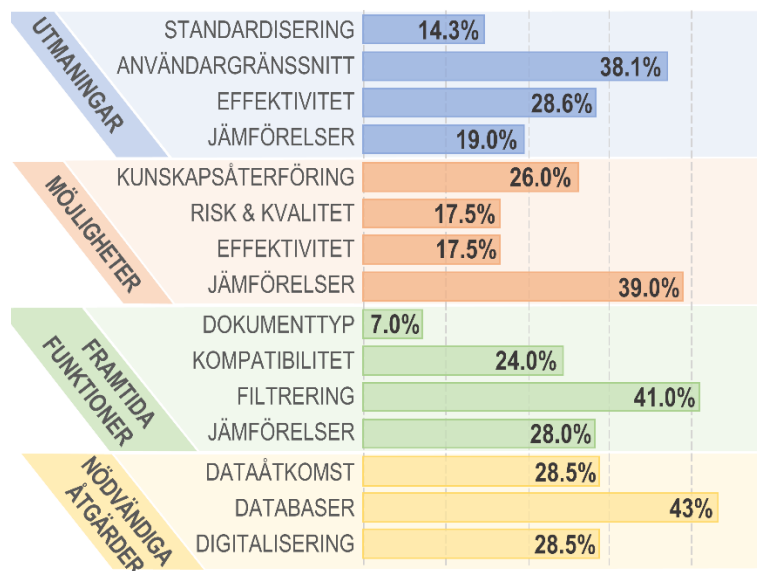
- Färre personer bedömde risken för feltolkningar som en utmaning i enkät 2.
- Använda prototypen för olika projektjämförelser sågs som en större möjlighet i den andra enkäten.
- Önskan att göra prototypen kompatibel med befintlig mjukvara ökade markant i enkät 2.
- Den första enkäten visade en förhoppning att prototypen kunde användas för mängdtagning, men då ingen sådan funktion demonstrerades så sjönk den andelen till noll i enkät 2.
- Behovet för att skapa och underhålla databaser ökade i enkät 2.
- Svaren angående behov av ändrade arbetsmetoder visade att efter demonstrationen ansåg de flesta att arbetssättet skulle kunna implementeras i nuvarande arbetsprocesser och metoder.

I huvudkategorin "framtida önskvärda funktioner" och underkategorin "jämförelser" så var ett vanligt önskemål att kunna skapa disciplinspecifika mallar där väsentlig information kunde fyllas i automatiskt.

Gällande vilka åtgärder som måste vidtas innan ett framtida arbetssätt baserat på AI kan implementeras rörde de flesta svaren behov av utbildning och kunskapshöjning, samt behovet att skapa och underhålla databaser.

Workshop

Resultaten från workshopen är indelade i samma huvudkategorier som enkätstudien. Siffrorna som visas i Figur 5 redovisar andelen svar som erhöles inom respektive identifierad underkategori.



Figur 5. Identifierade underkategorier och deras svarsandel i respektive huvudkategori.

Många av workshopdeltagarna såg stora fördelar i att kunna jämföra nya anbudsprojekt med tidigare genomförda projekt baserat på vissa specifika projektparametrar. Andra deltagarna nämnde möjligheterna med att identifiera både viktiga kontrakt- och kravparametrar och riskfyllda tekniska lösningar kopplade till eftermarknadsärenden.

Gällande önskade framtida funktioner så nämndes olika filtrerings- och sorteringsmöjligheter. Andra funktioner var identifiering av högriskprodukter och kostnadsdrivande beställarkrav som underlag till riskanalysen.

Svaren gällande behov av åtgärder innan implementering var i linje med enkätsvaren och nämnde skapandet av relevanta databaser, lösa dataåtkomst inom organisationen samt få tillgång till data från tidigare genomförda projekt.

Studie B:

Produktionsdata

Den första analysen av produktionsdata visade på ett behov att klargöra vilken data som bör matas in under respektive kategori. Till exempel var kategorin "Disciplin" ofta tolkad på olika sätt, där några projekt använde den som yrkesdisciplin (el, rör, ventilation etc) medan andra projekt tolkade den som problemtyp eller vem som skulle ansvara för att åtgärda problemet. Den mest intressanta informationen fanns inom kategorierna "Titel" och "Beskrivning". Dock varierade tydligheten och omfattningen väldigt mellan både projekten och projektdeltagarna. För att bättre tillgodogöra sig

produktionsdata på en organisatorisk nivå behöver därför standardiseringsgraden höjas.

Enkätundersökning gällande digital ärenderapportering

Enkätundersökningen skickades till totalt 282 användare av produktionsmjukvaran och fick en svarsfrekvens på drygt 46%. Angående fördelarna med digital ärenderapportering så höll mer än 90% av de svarande helt eller delvis med om att digital ärenderapportering genererade ett mervärde i projekten. Majoriteten av de svarande ansåg även att digital ärenderapportering minskade såväl kostnader som tid i projekten.

De största fördelarna med digitalärenderapportering som identifierades var:

- Förenkling av administrationen kring inspektionerna
- Ökad användning av BIM-modeller i produktionen.
- Förenklad åtkomlighet till uppdaterade 3D-modeller och 2D-ritningar.
- Förkortade ledtider mellan utförd besiktning och åtgärd.

AI-analys av produktionsdata för erfarenhetsåterföring

Genom klustring applicerat på samtliga ärenden kunde fyra huvudsakliga problemkategorier identifieras. Från dessa fyra kategorier plockades följande fem mest frekventa nyckelord ut:

1. Brandtätning, rör, hål, vägg, dörr
2. Tätning, ofullständig, märkning, skylt, isolering
3. Målning, färg, lagning, förbättring, markering
4. Skada, skador, undertak, ventdon, rider

Nyckelorden ger en relativt tydlig bild av vilka frekventa produktionsproblem som identifierats men kräver viss domänkunskap för att tolkas.

I den andra klustringen utfördes analysen på projektnivå efter att först filtrerat ut ärenden i respektive klustringskategori från den första klustringsanalysen. För exempelvis isoleringsproblem i Sjukhus 2 kunde med hjälp av nyckelordsextraktion följande tre huvudsakliga problemkategorier identifieras: "Isolering skadad eller saknas", "Ljudisolering saknar märkning" samt "Kondensisolering saknar märkning" identifieras. Mer resultat finns presenterade i [9].

Slutsatser

Resultaten från studie A visar att det med hjälp av textbehandlande AI, kallad Natural Language Processing (NLP), går att automatisera och digitalisera kravanalysen i anbudsprojekt och att det kan underlätta anbudsarbetet.

Studie B visar att produktionsdata i framtiden kan användas som indata i nya projekt, men att standardiseringsnivån och datakvaliteten behöver höjas för att underlätta processen.

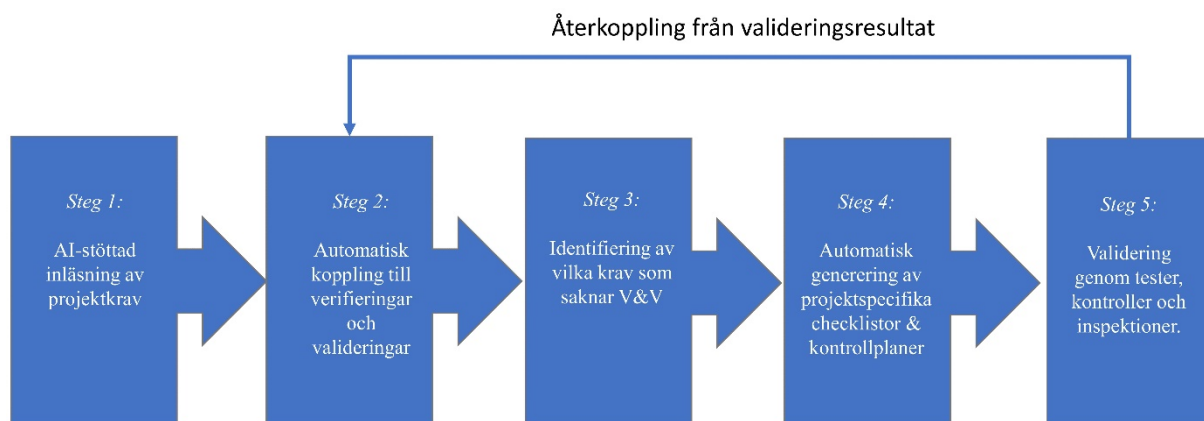
Till sist har projektet utvärderat en möjlig metod för att med hjälp av AI underlätta erfarenhetsåterföringen. Resultaten visar att det är möjligt att på en organisationsnivå

få en bra förståelse av kvalitetsproblem ute i produktionen genom att analysera ostrukturerade textdata, men att det dock kräver viss domänkunskap.

Både automatiseringen av kravanalysen och produktionsdataanalysen kan vara underlättande steg i en framtida mer systematisk kravhantering med en SE approach inom byggbranschen.

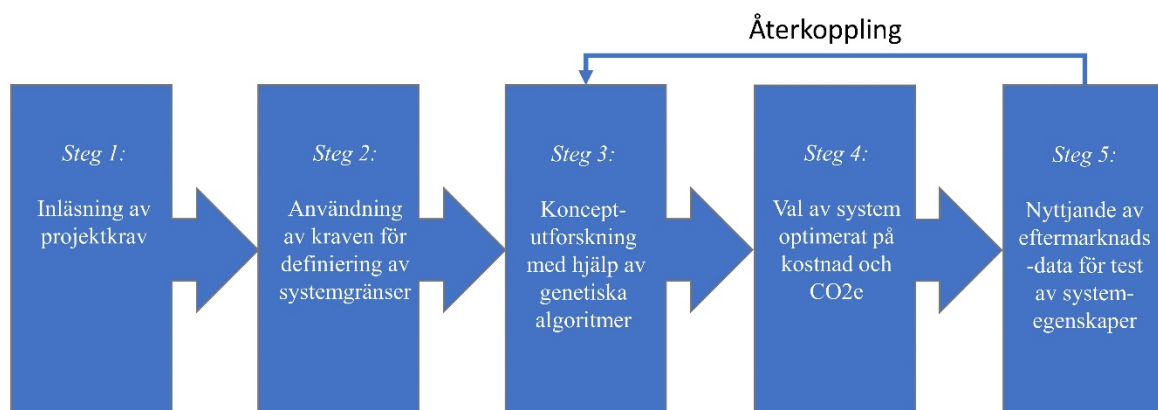
Plan för projektets fortsättning lic - phd

Då det finns stor potential i att tillämpa en Systems Engineering approach i svenska byggprojekt bör processen att automatiskt extrahera och analysera beställarkrav och koppla dessa till lämpliga verifieringar och valideringar utredas vidare. En möjlig process kan vara enligt Figur 7, där samtliga steg stöts av maskininlärning och olika NLP-tekniker. Den senaste tidens framsteg gällande stora språkmodeller, LLM:s, gör också tekniken mera tillgänglig och minskar behovet av att förbehandla insamlade data.



Figur 6: En möjlig framtida process för mer systematisk kravhantering i byggprojekt.

En mycket viktig del inom Systems Engineering är konceptutforskningsfasen. Denna utförs till stor del inom ramen för entreprenörens anbudsarbete. Eftersom detta arbete utförs med begränsningar både i tid och resurser kan implementering av olika AI tekniker underlätta arbetet. En teknik som visar stor potential för den typen av multikriterieoptimeringar som måste göras för systemval i anbudsskedet (stomsystem, ventilationssystem, grundläggning etc.) är genetiska algoritmer [11]. En lämplig process att utforska vidare presenteras i Figur 7.



Figur 7: En möjlig framtida process för AI-stödd utveckling av koncept i anbudsprojekt.

Litteraturförteckning

- [1] Emes, M. and Marjanovic-Halburd, L. Systems for construction: Lessons for the construction industry from experiences in spacecraft systems engineering. *Intelligent Buildings International* 4 (2): 1–22. 2012
- [2] Aslaksen, E. W., Browner, P. and Schreinemakers, J. P. Designing the construction process. *INCOSE International Symposium* 8 (1): 1–15, Utrecht, Netherlands, June 15–19, 2008.
- [3] INCOSE, 2023, San Diego (USA): INCOSE, [accessed 2023 April 11]. www.incose.org
- [4] Cusumano, L., Saraiva, R., Rempling, R., Jockwer, R., Olsson, N. and Granath, M. (2022). Intelligent building contract tendering – potential and exploration. IABSE Symposium Prague, 2022: Challenges for Existing and Oncoming Structures. May 2022. 9783857481833 (ISBN)
- [5] Cusumano, L., Rempling, R., Jockwer, R., Saraiva, R., Granath, M., Olsson, N. and Okazawa, S. (2022). Natural language processing as work support in project tendering. *Current Perspectives and New Directions in Mechanics, Modelling and Design of Structural Systems*, September 2022, DOI: 10.1201/9781003348443-258
- [6] Dalux Field, 2023, Copenhagen (DK): Dalux, [acc. 2023 Feb 01]. www.dalux.com/dalux-field/
- [7] Cusumano, L., Farmakis, O., Granath, M., Olsson, N., Jockwer, R. and Rempling, R. (2023). Current benefits and future possibilities with digital inspection reporting. *Submitted for review to a scientific journal*.
- [8] MacQueen, J. B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Vol. 1. University of California Press, 1967.
- [9] Cusumano, L. 2023. Data-driven and production-oriented tendering design using artificial intelligence, Chalmers University of Technology.
- [10] Kanyilmaz, A., Navarro Tichell, P. R., and Loiacono, D. 2022. A genetic algorithm tool for conceptual structural design with cost and embodied carbon optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 112 104711.