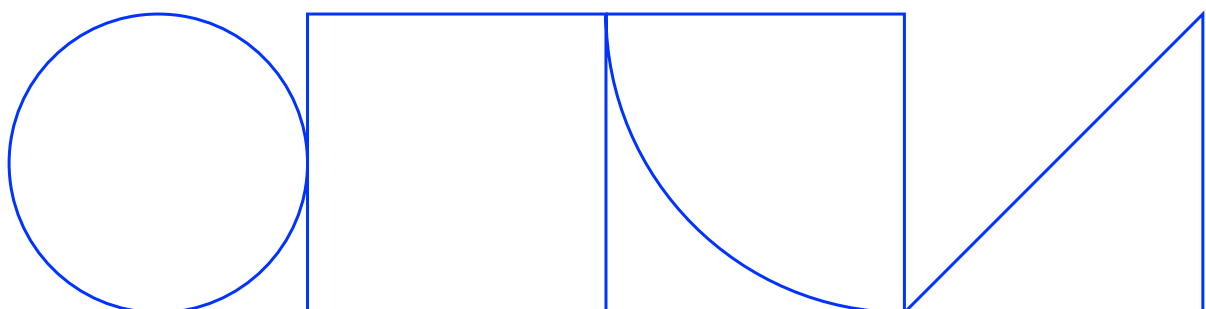
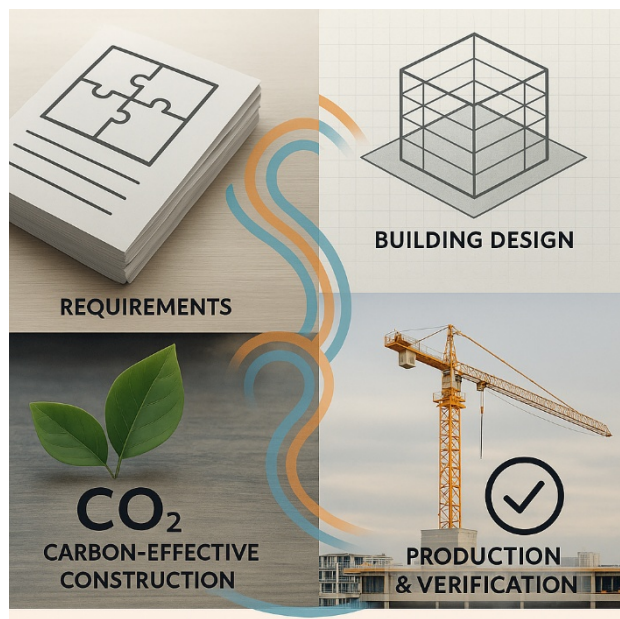


Mot ett systemtekniskt angreppssätt för anbudsprojektering i byggsektorn

Artificiell intelligens och datadrivna metoder

Linda Cusumano
NCC Sverige AB

2026-02-06



Förord

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

Stort tack till finansiärerna SBUF och NCC som möjliggjorde detta forskningsprojekt. Ett stort tack även till referensgruppen som följt och stöttat projektet och som bidragit med värdefulla synpunkter. Referensgruppen har bestått av Karin Wikström (NCC), Jan Dahlkvist (ÖrebroBostäder AB), Karl Karlstöm (Akademiska Hus), Max Bergström (PEAB), Robert Graham (Skanska), Kristen Broberg (Liljewall arkitekter) och Erik Karlsson (Sweco). Till sist, tack till alla andra som engagerat sig i projektet och medverkat i workshoppar, intervjuer och svarat på enkäter. Ni har bidragit med mycket värdefulla insikter och kunskap.

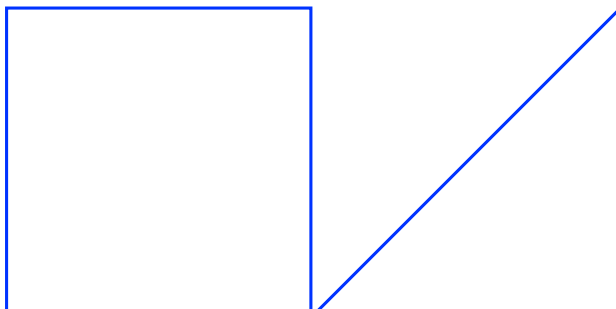
Projektrapporten sammanfattar SBUF-projektet 14283 som är den andra delen i ett doktorandprojekt. Den första delen genomfördes i SBUF-projektet 13949.

Doktorandprojektet är sammanfattat på följande sida:

<https://research.chalmers.se/project/9993>

Göteborg, januari, 2026.

Linda Cusumano



Sammanfattning

Anbudsskedet i byggprojekt är en tidskritisk och affärsstrategiskt viktig fas där entreprenörer använder sin expertis för att omsätta beställarkrav till konceptuella tekniska lösningar. I takt med att byggprojekt blir mer komplexa genom ökad teknikintegration och högre hållbarhetsambitioner ökar även antalet krav som projekten måste uppfylla. Dagens metoder för kravanalys är till stor del manuella och tidskrävande. Studier av befintliga arbetssätt visar dessutom på brister, såsom begränsad spårbarhet och svaga kopplingar mellan krav och verifiering.

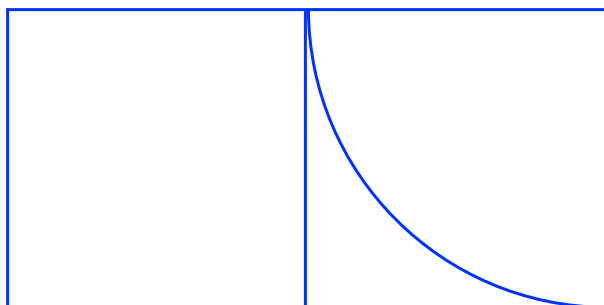
Den forskning som presenteras i denna rapport tar sin utgångspunkt i "Systems Engineering", ett angreppssätt för mer systematisk kravhantering, och undersöker hur artificiell intelligens (AI) och datadrivna analysmetoder kan stödja anbudsarbetet.

Forskningsprojektet omfattar tre studier. Den första tillämpar AI-baserade metoder för att analysera, digitalisera och jämföra projektkrav samt undersöker hur sådana metoder kan stödja entreprenörens anbudsarbete. Den andra studien fokuserar på produktionsdata från besiktningar och kontroller för att analysera hur dessa används idag och om de kan nyttjas för kunskapsgenerering. Fyra olika metoder för klustrings- och nyckelordsidentifiering tillämpas på produktionsdata för att skapa såväl organisationsövergripande som projektspecifika insikter. Den tredje studien presenterar ett nytt angreppssätt för anbudsprojektering av stomme och klimatskal där set-based design kombineras med en genetisk algoritm för att reducera produktionskostnad och klimatutsläpp.

Resultaten visar att en datainformerad och AI-stödd anbudsprocess kan underlätta projektens kravanalys, extrahera värdefulla insikter ur produktionsdata, samt möjliggöra avvägningar mellan kostnad och koldioxidutsläpp för olika byggnadsutförningar. Sammantaget visar projektet att ett Systems Engineering-baserat angreppssätt i kombination med AI-tekniker kan ge bättre beslutsunderlag i tidiga skeden, höja kvaliteten i projekteringen och stärka entreprenörens konkurrenskraft genom mer systematiska och datadrivna arbetssätt.

Innehåll

Bakgrund	4
Syfte och mål	4
Metodik	5
Studie 1: Automatiserad kravanalys	6
Studie 2: Produktionsdata och verifiering	6
Studie 3: Datainformerad anbudsprojektering	7
Resultat	8
Studie 1: Automatiserad kravanalys	8
Studie 2: Produktionsdata och verifiering	10
Studie 3: Datainformerad anbudsprojektering	10
Slutsatser	11
Publikationer inom forskningsprojektet	13
Litteraturförteckning	14
Bilaga A – Genomförda referengruppsmöten	15



Bakgrund

En av de mest betydelsefulla faserna i ett byggprojekt ur entreprenörens perspektiv är anbudsskedet [1]. Det är en tidskritisk och affärsstrategiskt central fas där beställarens och myndigheternas krav ska tolkas och omsättas till ett genomförbart byggsystem, med hjälp av entreprenörens tekniska kompetens [2]. Arbetet kan vara utmanande, särskilt i större projekt där kraven kan vara mycket omfattande [3]. Idag utförs kravanalysen till stor del manuellt, vilket både är tidskrävande och ofta leder till att analysen delas upp mellan olika ingenjörscienser. När kravanalysen väl är genomförd används kraven för att projektera ett byggsystem och offerera i anbudet. Det forcerade systemvalet är förknippat med risker om den valda lösningen i senare projektfaser visar sig ha svårigheter att uppfylla samtliga krav [4]. Därför undersöker detta forskningsprojekt möjligheten att förbättra delar av anbudsarbetet genom att automatisera krav- och verifieringsanalyser samt nyttja kraven som grund för en mer datadriven anbudsprojektering. Detta görs genom att tillämpa Systems Engineering (SE) - ett angreppssätt för systematisk kravhantering som används inom andra branscher - och visa hur Artificiell Intelligens (AI) och datadrivna metoder kan underlätta SE-implementeringen.

Syfte och mål

Byggbranschen genomgår en digital omställning som leder till ökad tillgång till data. Trots detta används data som genereras i enskilda projekt i regel inte för övergripande kunskapsgenerering. Syftet med detta forskningsprojekt är därför att undersöka hur automatisering och AI kan stödja datadriven anbudsprojektering och möjliggöra cirkulära informationsflöden, konkretiserat av följande två mål:

M1: Beskriva AI-modeller och arbetssätt som ger stöd åt konkretiseringen och definitionen av beställar- och entreprenörskrav. Med fokus på bygghälsa och hållbarhetsaspekter för val av stomme.

M2: Beskriva AI-modeller med funktioner som genetiskt utvärderar stomalternativ med avseende på stomsystemets effektivitet (byggprestanda och bärande funktion) och hållbarhetsaspekter.

Med denna utgångspunkt har projektet vetenskapligt positionerat och definierat forskningen i följande forskningsfrågor:

FF1: Hur kan projektkrav digitaliseras och analyseras automatiserat?

FF2: Vilka arbetssätt och nyttor är kopplade till digital produktionsdata idag, och hur kan analys av dessa data möjliggöra kunskapsåterföring?

FF3: Hur kan data och datadrivna processer stödja entreprenörer i val av byggsystem under anbudsskedet?



















Den forskning som presenteras i denna rapport bidrar till implementeringen av ett SE-baserat angreppssätt i byggprojekt genom att fokusera på digitalisering och

automatisering av kravanalys, ett bredare nyttjande av verifieringsdata samt en automatiserad anbudsprojektering som stödjer datainformerat beslutsfattande.

Metodik

Forskningsprojektet är indelat i tre studier, där den första studien fokuserar på automatisering av den kravanalys som sker i anbudsskedet. Den andra studien fokuserar på verifieringar i form av besiktningssamtal och kvalitetsproblem identifierade under produktionskedet. Den tredje och sista studien undersöker hur data från de första två studierna kan nyttjas för att optimera valet av byggsystem i anbudsskedet. Forskningsprojektet har resulterat i tre journalartiklar, sju konferensartiklar som har presenterats internationellt, en licentiatuppsats och en doktorsuppsats. Utöver detta har även tre examensarbeten vid Chalmers tekniska högskola bidragit till projektets resultat och metodernas spridning. Samtliga publikationer finns listade i stycket "Publikationer inom forskningsprojektet".

Hur de publicerade artiklarna är relaterade till forskningsfrågorna visualiseras i Figur 1. Där redovisas även vilken huvudsaklig metod som använts i studierna, vilka förberedande arbeten som utförts, samt vilka data som studierna utgått ifrån.

Forskningsfråga	FF1 Automatiserad kravanalys	FF2 Produktionsdata för verifiering	FF3 Datainformerad anbudsprojektering
Publ.	Artikel [a] och [b]	Artikel [d] och [g]	Artikel [j],[k] och [l]
Data	Rambeskrivningar i PDF-format	Digitalt rapporterade produktionsproblem	Kostnadskalkyler, Boverket klimatdatabas, ritningar
Huvudsaklig metod	 Prototyp-utveckling  Enkäter  Workshop	 Intervjuer  Enkät  AI-baserad dataanalys	 Prototyp-utveckling  Dataanalys
Förberedande arbeten	 Litteraturstudie  Examensarbete 1 & 2  Analys av FFU:er  Artikel [c]	 Litteraturstudie  Dataanalys  Artikel [e] och [f]	 Litteraturstudie  Examensarbete 3  Artikel [h] och [i]

Figur 1. Visualisering av hur de olika publikationerna relaterar till forskningsfrågorna och studierna, samt vilka huvudsakliga metoder och förberedande arbeten som utförts.

Studie 1: Automatiserad kravanalys

Den första studien med fokus på automatiserad kravanalys började med att en kravanalysprototyp utvecklades. Prototypen använde olika textbaserade AI-tekniker för att extrahera, digitalisera, sortera och jämföra kravtext från rambeskrivningar. Möjligheter, utmaningar och behov inför införandet av ett sådant verktyg utvärderades sedan genom två enkäter och en digital workshop riktade till specialistkategorierna kalkylatorer, installationsledare, konstruktörer, LCA-specialister, miljöszakunniga, energispecialister samt geotekniker. Steg 5 bestod av en dataanalys där resultaten från de båda enkäterna och workshopen jämfördes. Kombinationen av metoderna som tillämpades i studie 1 finns visualiserad i figur 2. Mer utförliga beskrivningar av utformningen av enkäter och workshop samt arkitekturen i AI-prototypen finns i publikationerna [a] och [b].



Figur 2. Metodkombination tillämpad i studie 1.

Studie 2: Produktionsdata och verifiering

Metoden som använts i studie 2, med fokus på produktionsdata och verifiering, presenteras i figur 3. Det första steget bestod av insamling av produktionsärenden och kvalitetsproblem som inrapporterats digitalt från 117 svenska byggprojekt av huvudentreprenörer, underentreprenörer, konsulter, beställare, leverantörer och besiktningsmän. Detta genererade en datamängd på drygt 100 000 produktionsproblem som sedan analyserades statistiskt för att skapa insikter i vilka typer av produktionsproblem som rapporterats samtidigt som en förståelse för datakvalitet och standardisering etablerades.

I nästa steg utfördes sju intervjuer med arbetsledare, projektchefer, VDC-specialister och AI-specialister för att skapa ytterligare insikter utifrån datasetet samt underlätta utformningen av den enkätundersökning som utfördes i steg 3. Enkäten utformades i syfte att förstå nuvarande rapporteringsbeteenden, projekt- och individfördelar med digital rapportering, samt framtida möjligheter till kunskapsgenerering kopplad till produktionsdata. Enkätundersökningen skickades till totalt 282 personer som utfört digital produktionsärenderapportering i minst ett byggprojekt och fick en svarsfrekvens på drygt 46%.

I det fjärde steget analyserades produktionsärendenas titlar och beskrivningar med hjälp av olika AI-baserade tekniker. Fyra olika analysmetoder provades: statistisk

analys, k-means klustering [5], pipeline kombinerat med KeyLLM [6, 7], samt prompting kombinerat med ChatGPT 3.5 turbo [8].

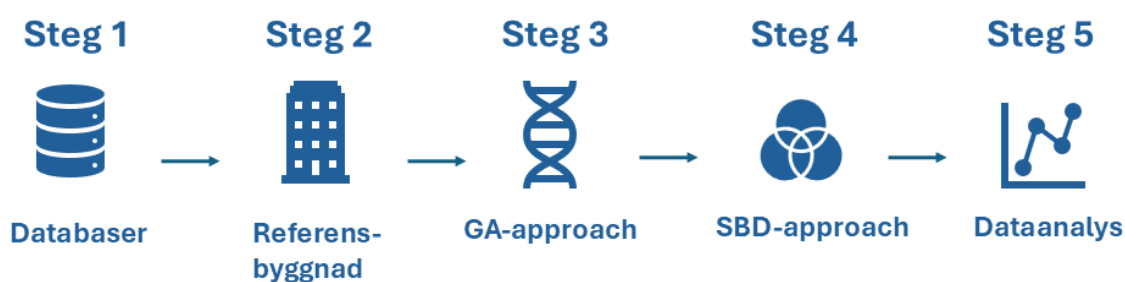
Metoderna tillämpade i studie 2 finns utförligare beskrivna i publikationerna [d] och [g].



Figur 3. Metodkombination tillämpad i studie 2.

Studie 3: Datainformerad anbudsprojektering

Metoden som tillämpades i studie 3, med fokus på datainformerad anbudsprojektering, finns visualiserad i Figur 4. Det första steget bestod i att ta fram databaser över byggdelar, såsom ytterväggar, innerväggar, bjälklag, tak, pelare och balkar. Databaserna baserades på kompletta byggdelar där inte bara bärande stomme redovisades utan även tillkommande material, såsom gipsskivor, stegljudsmattor, isolering, etc., som erfordras för att uppfylla brand- och ljudkrav. I databaserna redovisades de olika byggdelarnas bärförmåga, brand- och ljudegenskaper, vikter, tjocklek, U-värde, koldioxidutsläpp och produktionskostnad. Produktionskostnaden baserades på en svensk entreprenörs kalkylprogram och kompletterades med inköps- och leverantörsdata. Klimatbelastningen redovisades i kg koldioxidekvivalenter (CO₂e) och baserades på Boverkets Klimatdatabas, projektfas A1-A5 [9].



Figur 4: Metodkombination tillämpad i studie 3.

I nästa steg valdes en referensbyggnad för mängdtagning och elementindelning. Referensbyggnaden var ett fyra vånings flerbostadshus med plattbärlagsbjälklag, skalväggar, utfackningsväggar, samt en uppstolpad takkonstruktion av trä. I det fjärde steget utvecklades en optimeringsprototyp baserad på genetiska algoritmer (GA). GA följer en optimeringsprocess inspirerad av evolutionsprinciper där de bästa lösningarna med avseende på produktionskostnad och klimatbelastning väljs ut och sedan förbättras genom att kombineras och varieras över flera generationer. Optimeringsprocessen finns mer utförligt beskriven i publikation [k].

Nästa steg var att utveckla en liknande optimeringsprototyp, men istället baserad på en Set-Based Design (SBD)-approach. SBD innebär att flera byggnadsutformningar utforskas parallellt och att olämpliga alternativ successivt elimineras i takt med att mer information och nya krav uppkommer, i stället för att tidigt låsa sig vid en enskild lösning. Först reducerades dataseten så att dyrare lösningar inom samma byggdelsvariant, till exempel tjockare HDF-bjälklag, togs bort. För att reducera beräkningstiden så begränsades antalet bjälklags- och takzoner till en, samt till endast en variant av inner-, ytter- och gavelvägg. Därefter beräknades alla möjliga kombinationer av de återstående byggdelen och deras produktionskostnad och klimatbelastning.

I det sista steget jämfördes resultaten från de olika optimeringsmetoderna med den ursprungliga utformningen av referensbyggnaden.

Resultat

Studie 1: Automatiserad kravanalys

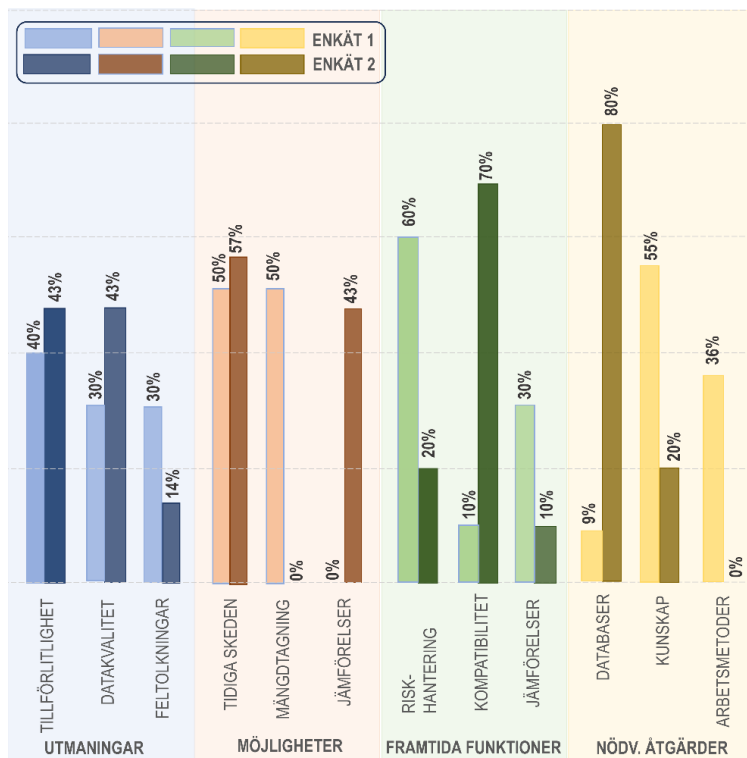
Resultaten från de båda enkäterna presenteras i figur 5, medan resultaten från workshopen presenteras i figur 6. I enkätundersökningarna identifierades tre kategorier av risker kopplade till användningen av AI-verktyg för kravanalys. Den första gällde tillförlitligheten hos verktyget, särskilt dess precision. Den andra risken rörde kvaliteten på den data som verktyget extraherar, framför allt om kraven är otydligt formulerade. Den tredje kategorin var kopplad till risken för misstolkningar, både att verktyget misstolkar kraven och att dess användare kan misstolka resultaten.

När det gäller möjligheter var dessa främst relaterade till tidiga skeden och jämförelser mellan projekt. Bland önskade framtida funktioner återfanns förslag kopplade till riskhantering, såsom stöd för anbudsbeslut och identifiering av problematiska produkter, samt önskemål om integrering av kravanalysen i befintlig mjukvara. Ytterligare en önskad framtida funktion var möjligheten att utföra disciplinspecifika filtreringar. Som nödvändiga åtgärder innan implementering identifierades skapandet av kravdatabaser och kunskapshöjning om AI hos framtida användare för att bättre förstå verktygets begränsningar.

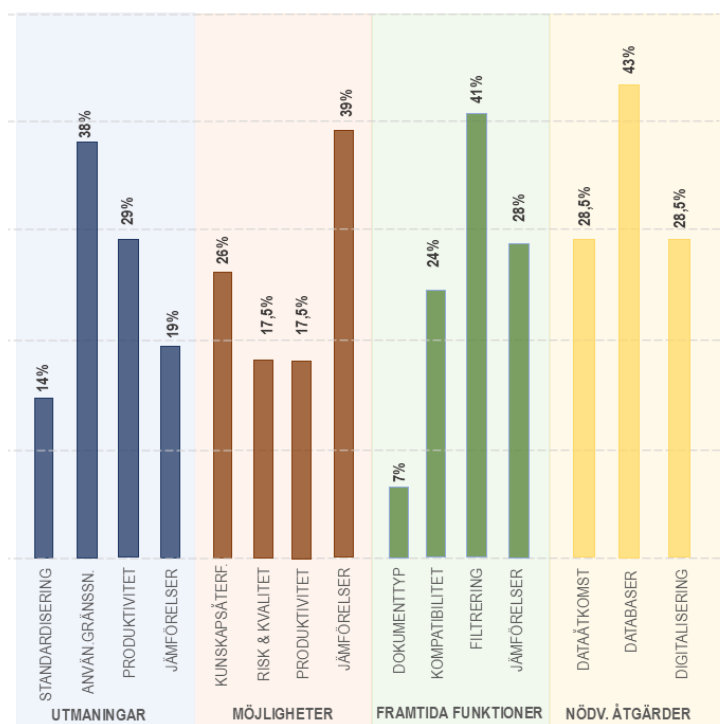
Resultaten från workshopen är indelade i samma huvudkategorier som enkäterna. Många av workshopdeltagarna såg stora möjligheter i att kunna jämföra nya anbudsprojekt med tidigare genomförda projekt baserat på specifika projektparametrar. Andra deltagare nämnde möjligheterna med att identifiera både viktiga kontrakt- och kravparametrar och riskfyllda tekniska lösningar kopplade till eftermarknadsärenden.

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

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



Figur 5: Huvudkategorier och underkategorier i de båda enkätundersökningarna.



Figur 6. Huvudkategorier och underkategorier identifierade i workshopen.

Studie 2: Produktionsdata och verifiering

Resultaten från den enkät som undersökte praxis och fördelarna med digital ärenderapportering visade att mer än 90 % av de svarande helt eller delvis höll med om att digital ärenderapportering genererade ett mervärde i projekten. Majoriteten av de svarande ansåg även att digital ärenderapportering minskade såväl projektkostnader som tidsåtgång. De största fördelarna med digital ärenderapportering som identifierades var:

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

Trots att både intervjuer och enkätresultat visade att produktionsdata uppfattades som en bra källa för kunskapsåterföring identifierades ingen sådan användning, förutom som diskussionsunderlag i kostnadsuppgörelser med underentreprenörer.

I studien utfördes även en AI-stöttad analys av ärendenas titlar och beskrivningar. Den första metoden var statistiskt baserad och identifierade vanligast förekommande ord samt samförekommande ord. Metoden var enkel och snabb och gav generella insikter i ordfrekvenser, där de tre vanligast förekommande orden var "saknas", "förbättras" och "märkning".

I den andra metoden utfördes en gruppering av ärendena med hjälp av K-means-klustring. Metoden var snabb och fungerade väl för att identifiera huvudområden av produktionsproblem, men domänkunskap krävdes för tolkning av de nyckelord som kopplas till huvudområdena. Metoden lyckades identifiera huvudområdena "brandtätningar", "fogning och isolering" samt "undertak".

Den tredje metoden bestod av att skapa en pipeline (bearbetningskedja) med instruktioner för en stor språkmodell (LLM). Metoden kräver betydligt mindre domänkunskap för tolkning av nyckelord och erbjuder även en spårbar mappning mellan modellens ärendeklassificering och den ursprungliga ärendeformuleringen. För att spara beräkningsarbete grupperar metoden liknande ärenden innan den extraherar nyckelord, och den grupperingen kräver ett likhetsgränsvärde som inte är helt lätt att fastställa utan viss bearbetning.

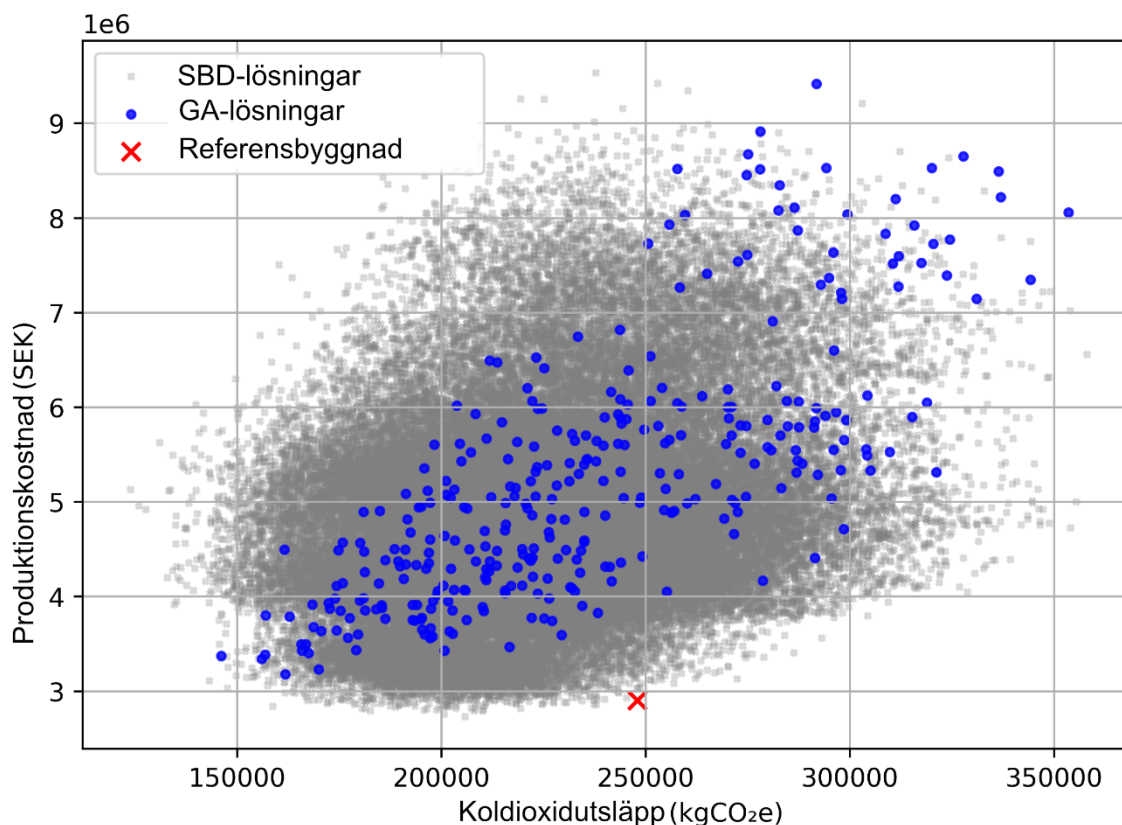
Den fjärde och sista metoden var promptning av en LLM, vilket var en lättanvänd metod utan större krav på domänkunskap. Dock saknar metoden transparens, vilket gör resultaten svåra att verifiera.

Studie 3: Datainformerad anbudsprojektering

Resultaten från studie 3 presenteras i figur 7 där lösningarna identifierade med SBD är redovisade i grått medan GA-lösningarna är redovisade i blått. Produktionskostnad och koldioxidutsläpp för den ursprungliga utformningen av referensbyggnaden är redovisad med ett rött kryss. Resultaten indikerar att referensbyggnaden var väl kostnadsoptimerad men både SBD- och GA-approachen lyckades identifiera alternativa utformningar som sänkte dess klimatutsläpp med cirka 40 %. De mest klimat- och kostnadsoptimerade lösningarna hade platsgjutna eller plattbärlagsbjälklag

med klimatoptimerad betong, bärande innerväggar av klimatoptimerad platsgjuten betong, utfackningsväggar i fasad, samt takkonstruktion av trä.

GA-approachen var mycket snabb och genererade resultat på endast ett par minuter, medan SBD-beräkningen krävde ett drygt dygn för att utföras.



Figur 7. Produktionskostnad och koldioxidutsläpp för lösningar identifierade med SBD-approachen, GA-approachen och den ursprungliga utformningen av referensbyggnaden.

Slutsatser

Baserat på resultaten från kravanalysstudien har följande slutsatser kunnat dras:

- AI-baserade verktyg kan stödja anbudsspecialister med deras kravanalys samt även underlätta jämförelser mellan projekt, riskidentifiering, och identifiering av lämpliga tekniska lösningar.
- För att nyttja AI-baserade analysverktyg krävs uppbyggnad av kravdatabaser.
- Vid manuell kravanalys utvecklar individen en viktig projekt- och beställarförståelse som vid automatisk analys måste kompenseras.
- Om byggbranschen ska ta ett steg mot ett SE-angreppssätt krävs att beroenden mellan olika krav tydliggörs samt att kontinuerlig kravverifiering sker under hela projektets gång.

Studien av produktionsdata och verifieringar har gett följande slutsatser:

- Digital ärenderapportering skapar generella projektfördelar genom ökad kontroll samt reducerar både tid och kostnader.
- Verifieringsdata har låg standardisering och saknar ofta spårbarhet till vilket krav de verifierar.
- Digitala arbetssätt har förenklat rapporteringen och ökat datatillgången men har tyvärr inte ökat nyttjandet av data för kunskapsåterföring.
- Trots den låga standardiseringen kan olika nyckelordsextraheringstekniker, som de som presenteras i denna rapport, automatisera analysen och underlätta kunskapsåterföring.
- Från ett SE-perspektiv är det fördelaktigt att skapa spårbarhet mellan krav och verifieringar.

Studien med fokus på databaserat beslutsfattande i anbudsskedet har gett följande slutsatser:

- AI och databaserade optimeringsmetoder möjliggör analys av många olika byggnadsutformningar parallellt, vilket kan synliggöra målkonflikter och underlätta avväganden mellan kostnad och klimatbelastning.
- Både SBD och GA fungerar väl för att analysera stora mängder möjliga stömlösningar, men de ger också fördelar som snabbhet och precision om de kombineras.
- I framtiden bör fler optimeringsmål inkluderas, där det viktigaste är produktionstid.
- GA och SBD kan användas som stöd i införandet av SE genom att synliggöra olika kravs inverkan på lösningsrymden.

Framtida forskning

Baserat på slutsatserna redovisade i den här rapporten rekommenderas följande områden för framtida forskning:

- Förbättring av kravanalysresultat genom byggspecifik efterträning av språkmodeller.
- AI-stöttad visualisering av kopplingar mellan olika beställarkrav.
- AI-stöttad identifiering av lämpliga verifieringsmetoder och nivåer.
- Förbättrad datastandardisering genom inrapportering med diverse AI-tekniker.
- AI-baserad mängdtagning i anbudsskedet.
- Metoder för att koppla produktionstid till specifika byggdelar per kvadratmeter.

Publikationer inom forskningsprojektet

- [a] Cusumano, L., Saraiva, R., Rempling, R., Jockwer, R., Olsson, N., and Granath, M. (2022). Intelligent building contract tendering – potential and exploration. *IABSE Symposium Prague: Challenges for Existing and Oncoming Structures*, p. 1902-1909. ISBN: 978-3-85748-183-3.
- [b] 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*, p. 1583-1588, CRC Press, ISBN 978-1-003-34844-3, DOI: 10.1201/9781003348443-258.
- [c] Desivvanya, N., Farmakis, O., Cusumano, L., and Rempling, R. (2023). Challenges in the adoption of sustainable criteria in the Swedish property development industry. *Procedia Computer Science*, vol. 219, p. 1752-1759. DOI: 10.1016/j.procs.2023.01.470.
- [d] Cusumano, L., Farmakis, O., Granath, M., Olsson, N., Jockwer, R., and Rempling, R. (2024). *Current benefits and future possibilities with digital field reporting*. International Journal of Construction Management. Vol. 25, No. 5, p. 572-583, DOI: 10.1080/15623599.2024.2340923.
- [e] Cusumano, L., Rempling, R., Jockwer, R., Olsson, N., and Granath, M. (2024). Data-driven and production-oriented tendering design using artificial intelligence. *IABSE Symposium Manchester: Construction's Role for a World in Emergency*. p. 107-114. ISBN: 978-3-85748-204-5.
- [f] Cusumano, L., Rempling, R., Olsson, N., Jockwer, R., and Granath, M. (2024). Systems engineering in the building construction industry: comparison with the telecom industry. *Procedia Computer Science*, vol. 239, p. 66-73, 2024, DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.147.
- [g] Cusumano, L., Olsson, N., Granath, M., Jockwer, R., and Rempling, R. (2025). *Clustering Techniques and Keyword Extraction with Large Language Models for Knowledge Discovery in Building Defects Data*. Construction Innovation: Information, Process, Management, Vol. 25, No. 7, p. 76-97, DOI: 10.1108/CI-04-2024-0123.
- [h] Cusumano, L., Rempling, R., and Olsson, N., (2025). Cost-benefit analysis as decision support for determining sound classification for new apartment buildings. *Procedia Computer Science*, vol. 256, p. 1615-1622, 2025. DOI: 10.1016/j.procs.2025.02.298.
- [i] Kärvegård, L., Klasson, S., Cusumano, L., and Rempling, R (2025). Prerequisites for using genetic algorithm optimisation of structural systems in the conceptual design phase. *Procedia Computer Science*, vol. 256, p. 1623-1630, 2025. DOI: 10.1016/j.procs.2025.02.299.
- [j] Cusumano, L., Olsson, N., and Granath, M. (2025). A Comparison Between Set-based Design and Genetic Algorithms for Cost and Carbon Optimization of Building Structures. *IABSE Symposium Tokyo: Environmentally Friendly Technologies and structures – Focusing on Sustainable Approaches*, p. 1555-1563. ISBN: 978-3-85748-206-9
- [k] Cusumano, L., Rempling, R., Granath, M., and Olsson, N. (2025). Optimising cost and carbon emissions in the conceptual building design with genetic algorithms. *Engineering Materials, Structures, Systems and Methods for a More Sustainable Future*, 2025, p. 1620-1625, CRC Press, ISBN 978-1-041-15001-5, DOI: 10.1201/9781003488644.
- [l] Cusumano, L., Olsson, N., Granath, M., and Rempling, R. (2025). *Guiding early building design towards lower carbon emissions through set-based design and genetic*

algorithm optimisation. Smart and Sustainable Built Environment, DOI: 10.1108/SASBE-06-2025-0296

- [m] Cusumano, L. (2023). *Data-driven and production-oriented tendering design using artificial intelligence*. Licentiate's Thesis. Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology.
- [n] Cusumano, L. (2025). *Towards a systems engineering approach to tendering design in construction*. Doctoral Thesis. Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology.

Litteraturförteckning

- [1] Bohari, A. A. M. *et al.* (2021) 'The Key Criteria in Deciding to Tender for Construction Projects', *International Journal of Integrated Engineering*, 13(3), pp. 229–235. doi: 10.30880/ijie.2021.13.03.028
- [2] Mikulik, M. and Hromadka, V. (2022) 'Project management and the risks of tender documentation for construction projects', in *World multidisciplinary civil engineering-architecture-urban planning symposium WMCAUS 2022*. Prague, Czech Republic: AIP Conference Proceedings. doi: 10.1063/5.0170904
- [3] Lafhaj, Z. *et al.* (2024) 'Complexity in Construction Projects: A Literature Review', *Buildings*, 14(3). doi: 10.3390/buildings14030680
- [4] 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
- [5] MacQueen, J. B. (1967) 'Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations', in *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press.
- [6] Sharma, P. and Li, Y. (2019) 'Self-supervised Contextual Keyword and Keyphrase Retrieval with Self-Labeling', *Preprint 2019*, (August). doi: 10.20944/preprints201908.0073.v1.
- [7] Grootendorst, M. (2023) 'Introducing Key-LLM – keyword extraction with LLMs', *Towards Data Science*. Available at: <https://www.maartengrootendorst.com/blog/keyllm/>.
- [8] OpenAI (2023) *GPT 3.5-turbo*. Available at: www.openai.com (Accessed: 6 July 2023).
- [9] Boverket (2024) *Climate database from The Swedish National Board of Housing, Building and Planning*. Available at: <https://klimatdatabasen.boverket.se/> (Accessed: 14 March 2025).

Bilaga A – Genomförda referensgruppsmöten

- 21 mars 2021 – Startmöte
- 22 oktober 2022 – Referensgruppsmöte
- 24 april 2024 – Referensgruppsmöte
- 11 mars 2025 – Referensgruppsmöte
- 3 mars 2026 – Slutredovisning referensgruppsmöte