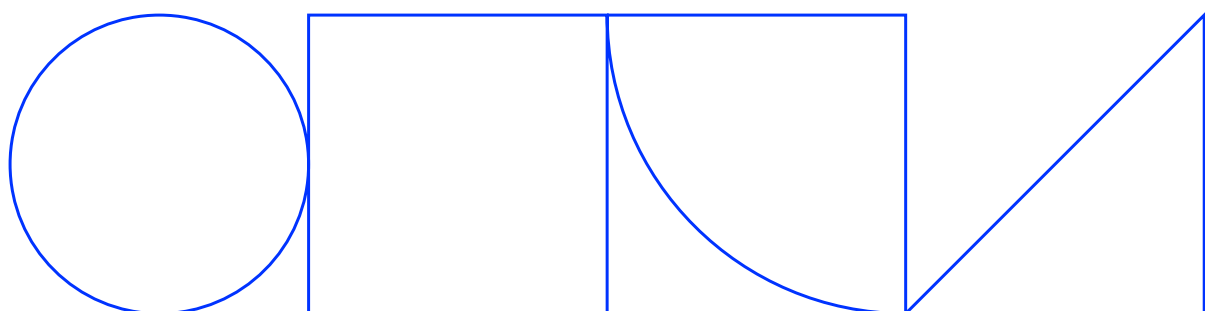


Regelbaserad klimatberäkning från BIM-modell

METODER FÖR ATT DRA NYTTA AV BIM-MODELLER VID
KLIMATBEÄRKNING

John Sjulander & Helena Krantz
Plant

2024-10-31



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 byggda 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.

Programmets mål är att till 2030 uppnå:

- 40 % minskad miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av total tid från planering till färdigställande för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av de totala byggkostnaderna
- flera nya värdekedjor och affärsmodeller baserade 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.

Regelbaserad klimatberäkning från BIM-modell är ett av projekten som har genomförts i programmet. Det har letts av John Sjulander, Astrid Berglund och Tobin Rist från Plant och har genomförts i samverkan med Carl Kronlid Uppsala Universitet och Alexandra Buttazoni Einar Mattsson.

Ett stort tack riktas till Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond som ihop med Smart Built Environment finansierat detta projekt. Vi vill även tacka Einar Mattsson för allt stöd som projektpart.

Stockholm, 31 oktober 2024

Sammanfattning

Projektets fokus har varit att förbättra förutsättningarna för att använda BIM-modeller i klimatberäkningar. Vi har dels undersökt viktiga aspekter att beakta vid klimatberäkningar från BIM-modeller, dels utvecklat metoder för att hantera utmaningar inom detta område.

Projektet omfattar tre delområden. Det första området fokuserade på att utvärdera en regelbaserad metod för att standardisera modellinformation, vilket underlättar sammanställning av livscykelanalysens resurssammanställning från BIM-modeller. Det andra området inriktade sig på beräkning av täckningsgrad för modeller och hur branschen kan fortsätta att arbeta med denna fråga. Det tredje området undersökte hur AI kan användas inom klimatberäkning, inklusive användning av maskininlärning för klassificering av objekt i modeller och utveckling av en prototyp som ger råd om klimatsmart byggande, baserat på språkmodellen ChatGPT.

I studien presenteras fyra fallstudier som involverade totalt ett 50-tal byggprojekt. Fallstudie 1 genomfördes på ett flerbostadshus i Östberga på 17 928 kvm, baserat på A-modellen. Fallstudie 2 omfattade ett flerbostadshus i Årsta på 16 346 kvm, med A- och K-modeller som grund. Fallstudie 3 avsåg ett flerbostadshus i Täby Park på 16 896 kvm, med beräkning baserad på A-modellen, K-modellen samt modeller för stomme och takkonstruktion. Fallstudie 4 utfördes på ett flerbostadshus på Kungsholmen om 12 172 kvm, med A- och K-modeller som grund. Samtliga fallstudier genomfördes med den studerade regelbaserade metoden.

Fallstudierna utfördes utan större problem eller hinder. Specifikt för Fallstudie 4, beräknades den först med den initiala regelbaserade metoden och i projektets slutskede med en förfinad process för denna metod.

Resultaten från fallstudierna indikerar flera fördelar med att skapa ett regelbaserat standardiseringslager mellan modellen och resurssammanställningen, för att effektivare utnyttja data från byggprojektens modeller. Ett huvudresultat är utvecklingen av ett koncept som projektet benämner pipelines, ett databearbetningsflöde som implementerats och testats med lovande resultat. Projektet identifierade även ett potentiellt behov av nya klassifikationssystem för att hantera och rapportera byggnaders klimatpåverkan. En annan slutsats är att det finns ett behov av dialog om täckningsgrad vid klimatberäkningar från BIM-modeller och att fortsatta studier är viktiga inom detta område.

Avslutningsvis visar tester med AI för objektklassificering stor potential. Projektet konstaterar att det i framtiden kan bli möjligt att ersätta flera manuella steg i klimatberäkningen med processer baserade på maskininlärning.

Summary

The focus of the project has been to improve the conditions for using BIM models in climate calculations. We have examined important aspects to consider in climate calculations from BIM models and developed methods to address challenges in this area.

The project comprises three sub-areas. The first area focused on evaluating a rule-based method for standardizing model information, which facilitates the compilation of resources from BIM models. The second area concentrated on calculating the coverage of models and how the industry can continue to work with this issue. The third area investigated how AI can be used in climate calculations, including the use of machine learning for classifying objects in models and developing a prototype that provides advice on climate-smart building, based on the language model ChatGPT.

The study presents four case studies involving a total of about fifty construction projects. Case Study 1 was conducted on a multi-family house in Östberga of 17,928 sqm, based on the A-model. Case Study 2 covered a multi-family house in Årsta of 16,346 sqm, using A and K models as a foundation. Case Study 3 pertained to a multi-family house in Täby Park of 16,896 sqm, with calculations based on the A-model, K-model, and models for the frame and roof construction. Case Study 4 was performed on a multi-family house in Kungsholmen of 12,172 sqm, using A and K models as a basis. All case studies were conducted using the studied rule-based method.

The case studies were carried out without major problems or obstacles. Specifically, for Case Study 4, it was first calculated using the initial rule-based method and at the end of the project with a refined version of this method.

The results from the case studies indicate several advantages of creating a rule-based standardization layer between the model and the resource compilation, to more effectively utilize data from the models of construction projects. A primary outcome is the development of a concept that the project refers to as pipelines, a data processing flow that has been implemented and tested with promising results. The project also identified a potential need for new classification systems to handle and report the climate impact of buildings. Another conclusion is that there are several approaches to calculate coverage in climate calculations from BIM models and that continued studies are important in this area.

Finally, tests with AI for object classification show great potential. The project concludes that it may be possible in the future to replace several manual steps in climate calculation with processes based on machine learning.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING – OM PROJEKTET	9
1.1 KLIMATBERÄKNING FRÅN BIM-MODELL	9
1.2 SYFTE OCH MÅL	9
1.3 METOD OCH PROJEKTORGANISATION	10
1.3.1 KARTLÄGGNING PROBLEMOMRÅDET	10
1.3.2 TESTER AV NYA BIM-BASERADE METODER FÖR LCA	11
1.3.3 FALLSTUDIER	11
1.3.4 PROJEKTORGANISATION	11
2 TEKNIK FÖR BIM-BASERADE BERÄKNINGAR	13
2.1 INTRODUKTION TILL LIVSCYKELANALYS (LCA)	13
2.2 HUR EN KLIMATBERÄKNING UTFÖRS TRADITIONELLT	15
2.2.1 MÄNGDER	15
2.2.2 MILJÖDATA	15
2.2.3 KOPPLA SAMMAN MILJÖDATA OCH MÄNGDER	16
2.2.4 KLIMATBERÄKNING FRÅN KOSTNADSKALKYL	16
2.3 KLIMATBERÄKNING FRÅN BIM-MODELL	17
2.3.1 UTMANINGAR VID BERÄKNING FRÅN BIM-MODELL	18
2.3.2 LEVEL OF DETAIL	22
2.3.3 SAMMANFATTNING	22
3 KARTLÄGGNING AV PROBLEMOMRÅDET	23
3.1 SEMINARIUM OCH WORKSHOPS	23
3.1.1 WORKSHOP 1	23
3.1.2 WORKSHOP 2	23
3.2 TIDIGARE STUDIER	24
4 KONCEPTUTVECKLING OCH IMPLEMENTATION	25
4.1 KLASSIFICERINGSSYSTEM LCA - FUNCTIONTYPE	25

4.2	REGELBASERAD KLIMATBERÄKNING FRÅN BIM-MODELL	28
4.2.1	GRUNDIDÉN	28
4.2.2	TEKNISK IMPLEMENTATION	29
4.3	PIPELINES	32
4.3.1	STEG	32
4.4	AI-BASERADE METODER FÖR KLIMATBERÄKNING: KLASSIFICERING AV BYGGDELAR MED MASKININLÄRNING	41
4.4.1	MÅLSÄTTNING	41
4.4.2	TRÄNINGSDATA	41
4.4.3	TRÄNING AV MODELLEN	42
4.4.4	RESULTAT	44
4.5	KUNSKAPSPORTALEN SAMT STORA SPRÅKMODELLER SOM STÖD VID KLIMATBERÄKNING	45
4.6	BERÄKNING AV TÄCKNINGSGRAD VID BIM-MODELLER	46
5	FALLSTUDIER – BESKRIVNING OCH RESULTAT	48
5.1	FALLSTUDIE 1 – ÖSTBERGA	49
5.1.1	BAKGRUND OM PROJEKTET	49
5.1.2	FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE	50
5.2	FALLSTUDIE 2 – ÅRTSAPORTEN	51
5.2.1	BAKGRUND OM PROJEKTET	51
5.2.2	FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE	52
5.3	FALLSTUDIE 3 – ELDDONET	53
5.3.1	BAKGRUND OM PROJEKTET	53
5.3.2	FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE	54
5.4	FALLSTUDIE 4 – STADSHAGEN	55
5.4.1	BAKGRUND OM PROJEKTET	55
5.4.2	FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE	55
6	SLUTSATS OCH DISKUSSION	56

6.1	REGELBASERAD KLIMATBERÄKNING OCH PIPELINES	56
6.2	BEHOV AV DIALOG KRING TÄCKNINGSGRAD FÖR BIM-MODELLER	57
6.1	STOR POTENTIAL I MASKININLÄRNINGSMETODER FÖR KLASSIFICERING AV OBJEKT	58
7	REFERENSER	60
8	BILAGOR	62

1 Inledning – Om projektet

Enligt Boverket står bygg- och fastighetssektorn för drygt 20 procent av de totala utsläppen av växthusgaser i Sverige (Boverket, 2021a). För att minska klimatpåverkan i byggskedet, infördes lagen om klimatdeklaration av byggnader. Denna lag berör nya byggnader över 100 kvm för vilka bygglov söktes efter den 1 januari 2022 (Boverket 2021b). I och med lagkravet har klimatberäkningar blivit än mer aktuella. Metoder för att effektivt genomföra klimatberäkningar av byggnader i olika skeden är därför av stor vikt för att underlätta och driva utveckling mot en klimatneutral bygg- och fastighetssektor.

Standardmetoden för beräkningar av klimatpåverkan av byggnader är idag Livscykelanalys (LCA). Vid en LCA beräknas miljöpåverkan av byggnaden i olika skeden av livscykeln. Vanligaste underlaget för beräkningar av LCA för byggnader har varit kostnadskalkyler eller mängder från BIM-modell som exporteras till ett kalkylark.

1.1 Klimatberäkning från BIM-Modell

Samtidigt som det genomförs ökade krav på klimatberäkningar blir byggbranschen alltmer digitaliserad, speciellt genom ökat användande av BIM-modeller. BIM-modeller används i utformnings-, bygg- och driftsprocesser och innehåller information om mått, material, hållfasthetsklass m.m., (Nationella riktlinjer, 2021).

Dessa modeller kan innehålla mycket mer information än vanliga ritningar, trots detta har det saknats effektiva metoder för att göra klimatberäkningar på BIM-modeller.

Med effektivare metoder finns det stor potential för klimatberäkningsprocessen att bli en integrerad del i varje byggprojekt snarare än bara en deklARATION av resultatet. Detta möjliggör att informerade beslut kan tas tidigt i processen, när val görs kring grund och stomme, som kan ha stor påverkan på klimatpåverkan av byggnaden.

Problemet har således varit att det saknats effektiva metoder för att göra LCA från BIM-modeller. Detta innebär att hela branschen går miste om stora delar av den potential som följer med den ökade digitaliseringen, vilket resulterar i en långsammare omställning till en klimatneutral byggbransch. Denna brist har även identifierats och studerats i ett flertal studier och tidigare projekt finansierade av Smart Built Environment (SBE).

1.2 Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet var att utveckla och utvärdera nya metoder för klimatberäkning av BIM-modeller. Detta för att bättre ta tillvara på den information som finns i BIM-modeller och på så sätt effektivisera processen för klimatberäkningar, för enkla såväl som komplexa byggprojekt i olika byggskeden.

Det primära fokusområdet var att testa och utvärdera hur en regelbaserad metod för klimatberäkning kan nyttjas, samt hur AI kan användas i beräkningsprocessen. Ett delfokus initialt var att även samla artiklar i en kunskapsportal för klimatberäkning av BIM-modeller.

Utifrån tidigare studier inom klimatberäkning från BIM-modeller, samt identifierade behov och drivkrafter på marknaden, formulerades följande mål för projektet:

- Utveckla nya metoder för klimatberäkning från BIM-modell
- Testa och utvärdera AI-metoder i beräkningsprocessen
- Skapa en kunskapsportal för klimatberäkning från BIM-modeller

1.3 Metod och projektorganisation

För att utveckla en ny metod för klimatberäkning av BIM-modeller, behövdes först de existerande problemen som hindrar effektiva beräkningar kartläggas. Baserat på detta kunde sedan metoder för regelbaserad klimatberäkning utvecklas, samt relevant område för AI-testerna identifieras. För att utvärdera den utvecklade metoden genomfördes fyra namngivna fallstudier där klimatpåverkan av byggprojekt beräknades. Utöver dessa fallstudier, ställde ett 50-tal byggprojekt upp på att dela sin data anonymt i projektet. Denna data användes både för att testa det regelbaserade flödet, men också för att göra tester med den maskininlärningsmodellen som testades i projektet.

1.3.1 Kartläggning problemområdet

1.3.1.1 Seminarium och workshops

Under projektets gång hölls två större workshops för att få in synpunkter från olika aktörer i industrin. Under varje workshop diskuterades ett antal olika frågor, vilket hjälpte det fortsatta arbetet i projektet framåt.

Tidigt i projektet genomfördes en workshop med syftet att kartlägga vilka problem som förhindrar effektiva klimatberäkningar av BIM-modeller.

Under workshopen diskuterades bland annat följande frågor:

1. *Vilka problem upplever ni att det finns för en effektiv process i framtagningen av livscykelanalyser?*
2. *Vilka problem önskar ni att vi löser inom detta projekt?*
3. *Vilka ämnen tycker ni är viktiga att få med i kunskapsportalen?*

Varje deltagare fick först besvara frågorna på egen hand, efter det så diskuterades de olika svaren. En omröstning genomfördes om de problemen som identifierats för att se vad som var högst prioriterat av deltagarna. Resultatet från detta seminarium användes för att ytterligare förtydliga hur projektets riktning bör utformas.

Till den andra workshopen i projektet hade bland annat klassifikationssystemet Function Types utvecklats (se kapitel 4.1). Denna workshop hölls för att få synpunkter på detta system och hur det skulle fungera i kombination med andra klassifikationssystem som vanligtvis används.

Frågorna som diskuterades under the andra workshopen var följande:

1. *Vad tror ni om denna metodik?*
 - a. *Vad ser ni för utmaningar?*

- b. Vad skulle metodiken underlätta framtagningen av en klimatberäkning?
2. Hur stor är exaktheten med metodiken?
 - a. Hur fungera metodiken i olika byggskeden?
 - b. Medför metodiken en större risk att missa information och byggdelar
 - c. Vilka fördelar/nackdelar ser du?

Under workshopen diskuterades även kunskapsportalen och hur projekt bör hantera ett bristande intresse hos referensgruppen att bidra som medförfattare på artiklar.

1.3.1.2 Litteraturstudie av tidigare samt pågående arbete inom området

Under projektets initiala fas kartlades vad tidigare forskning slagit fast inom fokusområdet, samt vilka pågående forskningsprojekt som projektet kan dra nytta av och linjera med.

1.3.2 Tester av nya BIM-baserade metoder för LCA

Tillvägagångsättet för att konceptutveckla, implementera och testa den nya regelbaserade metoden skedde iterativt och delades upp i tre iterationer. Under varje iteration testades metoden i projektets fallstudier och utvärderades. Metoden utvärderades även i ett 50-tal projekt som tillkom och ville bidra med data under projektets gång, men som valt att delta anonymt. Kunskap från varje iteration låg som grund för nästa iteration av metoden.

1.3.3 Fallstudier

För att utvärdera och ge feedback till fortsatt utveckling av metoden genomfördes bland annat fyra fallstudier under projektets gång. För dessa fallstudier gjordes klimatberäkningar på fyra olika byggprojekt av Einar Mattsson.

Fallstudie 1, Östberga, är ett flerbostadshus på 17 928 m² bruttoarea (BTA). Klimatberäkningarna gjordes baserat på A-modell och kalkylunderlag.

Fallstudie 2, Årstaporten, är ett flerbostadshus på 16 346 m² BTA. Klimatberäkningen baserades på A-modell, K-modell och kalkylunderlag.

Fallstudie 3 var Elldonet vilket är ett flerbostadshus på 16 896 m² BTA. Underlaget för beräkningen var A-modell och K-modell, samt modell över stommen och takkonstruktion.

Fallstudie 4 var Stadshagen som är ett flerbostadshus på 12 172 m² BTA. Underlaget för beräkningen var A-modell och K-modell.

1.3.4 Projektorganisation

Projektet har organiserat sig i form av en arbetsgrupp där projektledarna ingår, samt en referensgrupp. Se avsnittet Bilagor för en lista på projektorganisation.

För att säkerställa att projektet tar del av, samt sprider insikter i andra pågående projekt, har samarbete skett mellan följande Smart Built Environment projekt:

- Delning av data via Nina Borgström, Tyréns
- Digitalt arbetsflöde för hållbarhetsoptimerade och korrekt klimatdeklarerade bostadshus via Sofia Lidelöw och Markus Sandberg, Luleå tekniska universitet
- Data Templates – Proof of Concept via Martin Erlandsson
- Öppen nationell databas för redovisning och visualisering av bygg- & anläggningssektorns klimatdata via Kerstin Geppert, Nicholas Alvéen och Petter Andersson

Referensgruppen har primärt använts till att förankra insikter och få inspel på vägval i projektet, samt ta till sig information om vad andra gör i samma område. På så vis har aktuella frågeställningar kunnat bollas med experter inom olika discipliner.

2 Teknik för BIM-baserade beräkningar

2.1 Introduktion till livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalys (LCA) är den metod som används idag för att beräkna byggnaders klimatpåverkan. Vid en LCA beräknas klimatpåverkan under en produkts hela livscykel, från att den tillverkas till att produkten ska tas ur bruk och behöver tas om hand. Förutom att visa byggnadens totala miljöpåverkan kan även en LCA visa på i vilket skede byggnadens miljöpåverkan är som störst. Normalt domineras miljöpåverkan för en byggnad av bidraget från byggskedet och driftens energianvändning (Boverket, 2021a). Trenden med mer energisnåla hus gör att det i framtiden kommer att vara byggskedet som främst ger upphov till byggnadens miljöpåverkan (Boverket, 2021a).



Figur 1: Byggnadens livscykel (Boverket, 2021a)

Resultatet från en LCA kan nyttjas för att projektera och bygga med mindre klimatpåverkan. Lagen om klimatdeklaration som började gälla januari 2022 baseras på LCA. Standarden SS-EN 15978:2011 anger riktlinjer och beräkningsmetoder för LCA av byggnader. Standarden kan nyttjas både för nyproduktion - och ombyggnation av byggnader. I standarden finns vägledning om bland annat avgränsningar, insamling av data, indikatorer att inkludera samt redovisning av beräkningsresultat.

Vid LCA delas byggnadens livscykel upp i tre skeden enligt SS-EN 15978:2011:

- A) Byggskedet
 - A1-3 produktskede
 - A4-5 byggproduktionsskede
- B) Användningsskedet
- C) Slutskedet

Dessa skeden delas i sin tur upp i vad som kallas informationsmoduler. En informationsmodul beskriver processerna under livscykeln. Genom att redovisa LCA-resultat på samma sätt, blir det lättare att tolka och jämföra resultaten från olika projekt med varandra.

A1–5 Byggskede		
A1–3 Produktskede	A1	Råvaruförsörjning
	A2	Transport
	A3	Tillverkning
A4–5 Byggproduktionsskede	A4	Transport
	A5	Bygg- och installationsprocess
B1–7 Användningsskede	B1	Användning
	B2	Underhåll
	B3	Reparation
	B4	Utbyte
	B5	Ombyggnad
	B6	Driftsenergi
	B7	Driftens vattenanvändning
C1–4 Slutskede	C1	Demontering, rivning
	C2	Transport
	C3	Restproduktsbehandling
	C4	Bortskaffning
D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen		

Figur 2: Informationsmoduler vid en LCA (Boverket, 2024a)

I resultatet vid en LCA redovisas normalt flera kategorier av miljöpåverkan. Det kan exempelvis vara klimatpåverkan, övergödning, försurning, marknära ozon m.fl. Oftast väljs en eller ett fåtal indikatorer som byggprojektet fokuserar på. Det vanligaste är att fokusera på klimatpåverkan (Boverket, 2021a), då den redovisas i de flesta miljöcertifieringar samt redovisas vid klimatdeklaration.

2.2 Hur en klimatberäkning utförs traditionellt

För att beräkna en byggnads klimatpåverkan, behövs det förenklat följande indata:

- Mängder
- Miljödata

2.2.1 Mängder

Det första steget är att sammanställa mängden byggprodukter och material som byggts in i byggnaden, samt mängden energi som används för uppförandet (exempelvis bränsle). Denna sammanställning av mängder och material brukar kallas för resurssammanställning. Även transportarbeten som skett för att leverera produkterna till byggarbetsplatsen behöver sammanställas.

Kvaliteten på en klimatberäkning bestäms till stor del av kvalitén på resurssammanställningen. Uppstår det fel eller att poster saknas i resurssammanställningen blir det följdfel i klimatberäkningen. Det är därför av stor vikt att den representation av byggnaden som skapas i resurssammanställningen är korrekt. Allt eftersom byggnadens utformning blir mer detaljerad under projekteringen, kan också resurssammanställningen bli mer detaljerad.

2.2.2 Miljödata

Den andra indatan vid en LCA är miljödata. Det finns två typer av miljödata:

- Generisk miljödata
- Specifika miljödata

Generisk miljödata är genomsnitt data som är representativa för olika kategorier av byggprodukter. Generisk data används normalt vid beräkning då specifik leverantör eller produkt ännu inte är fastställd. På den svenska marknaden tillhandahåller Boverket en miljödatatabas med svensk generisk miljödata.

I senare skeden när projektet bestämt vilka byggprodukter som ska byggas in kan istället produktspecifik miljödata användas, främst genom miljövarudeklarationer (EPD). En miljövarudeklaration är en sammanställning av miljöinformation för en specifik produkt och leverantör. Miljövarudeklarationen är framtagen med en gemensam LCA-metodik, samt har granskats av en tredje part.

2.2.3 Koppla samman miljödata och mängder

För att göra en klimatberäkning behövs alltså tillgång till mängder samt tillgång till kvalitetssäkrad miljödata. För varje mängd behövs en kopplad miljödata.

Beroende på vilket skede ett byggprojekt befinner sig i, är det olika system som är mest lämpade för att skapa en representation av mängderna i ett projekt. För att processen med att göra en klimatberäkning ska vara effektiv, behöver befintlig information i projektet nyttjas i så hög grad som möjligt för beräkningen.

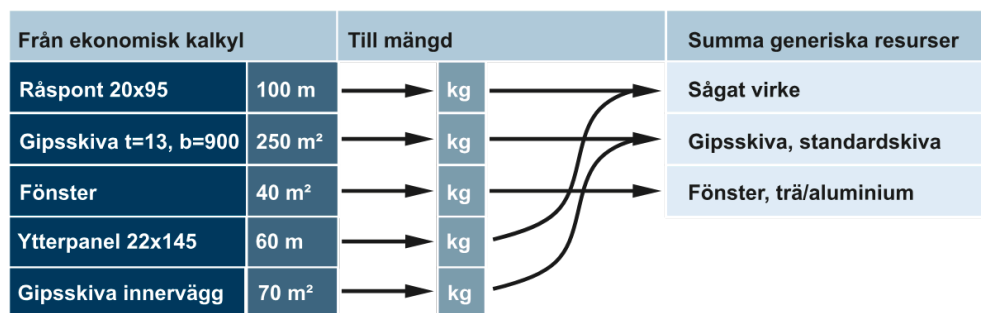
Primärt tas mängder vid klimatberäkning från:

- Kostnadskalkyler
- Mängdavgtagning från BIM-modeller

2.2.4 Klimatberäkning från kostnadskalkyl

Många aktörer väljer att skapa kopplingar mellan bolagets kalkylsystem och en LCA-mjukvara. För att nyttja data från kalkyl behöver det ställas krav på vilken information kalkylen behöver innehålla.

Vissa kalkylsystem har automatiskt stöd för att räkna om mängder till miljöpåverkan för olika byggdelar. I det fall då inte kalkylen stödjer detta eller projektet har mer ingående behov och behöver använda en separat LCA-mjukvara, behöver byggprodukter kopplas till miljödata. LCA-verktyg kräver också normalt att samtliga poster omvandlas till kg.



Figur 3: Hur en livscykelanalys mappas från ekonomisk kalkyl till generisk resurs

När väl posterna i den ekonomiska kalkylen räknats om till kg och miljödata mappats till respektive kalkylpost, kan projektets klimatpåverkan fastställas.

2.3 Klimatberäkning från BIM-modell

Den information som finns tillgänglig i BIM-modeller samt strukturen på denna information ser mycket olika ut mellan olika modeller. Det är många faktorer som påverkar modellens innehåll:

- Byggskede
- Modelltyp (arkitekt/konstruktör m.fl.)
- Ritverktyg
- Budget
- BIM-policy och kravställning i projektet
- m.m.

Trots det, har de flesta modeller oftast en återkommande systematik. De flesta ritprogram för BIM-modeller kan exempelvis exporteras till ett gemensamt format som kallas IFC. IFC står för Industry Foundation Classes och ett neutralt och öppet filformat som gör det möjligt att utbyta information mellan CAD-program och andra mjukvaror. (BIM Alliance Sweden, 2024).

Det vanligaste tillvägagångssättet när en klimatberäkning görs från BIM-modell är att modellens mängder exporteras till ett kalkylark. Det är sedan kalkylarket som importerar till LCA-verktyget.

En av skillnaderna mellan de mängder som normalt läses ut från en BIM-modell och en kostnadskalkyl, är att modellens objekt oftast saknar information om byggheders materialuppbyggnad.

Såsom en kalkyl fungerar, knyts normalt recept till mängdposter. En yttervägg har exempelvis normalt ett visst recept, vilket gör att mängd gipsskiva, råspont etc. beräknas i kostnadskalkyleringsverktyget. Detta steg är något som inte automatiskt blir löst vid export från BIM-modeller. Det krävs därför ett mellansteg, där användaren anger recept som ska tilldelas till olika delar i byggnaden för att kunna skapa en klimatberäkning.

Från BIM-modell	Till recept och mängd	Summa generiska resurser
Utfackningsvägg 400 m ²	<ul style="list-style-type: none"> Råspont 20x95 16.8 kg * 400 = 6720 kg Gipsskiva t=13, b=900 400 m², 12.5 mm Skalmursskiva 400 m², 80 mm Mineralull 400 m², 195 mm Vindskyddsskiva 400 m², 9 mm PE-folie 400 m², 0.2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Sågat virke Gipsskiva, standardskiva Stenull, puts-skiva Stenull, skivor och rullar Gipsskiva, vindskiva Plastfolie, ångspärr

Figur 4: Hur en livscykelanalys mappas från BIM-modell till generisk resurs

I nästa sektion presenteras utmaningar som finns vid beräkning av BIM-modeller.

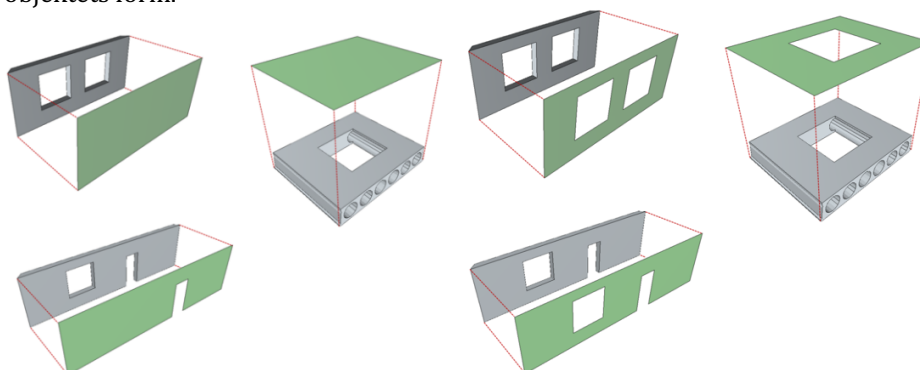
2.3.1 Utmaningar vid beräkning från BIM-modell

2.3.1.1 Kvantiteter

En grundförutsättning för att arbeta med BIM-modeller och mängder av objekt är att objekten berikas med kvantiteter. IFC-standardens har ett dokumenterat och standardiserat format för hur olika typer av kvantitetsmått ska beräknas. Detta gör att alla modeller kan berikas med mångdmått som area, volym, längd etc. med en systematisk metod som är jämförbar oavsett vilket program eller vem som skapat modellen.

Mjukvarorna använder normalt en geometri-baserad metod och beräknar kvantiteter med olika tekniker som alla påförs på objekten. Vilken kvantitetsteknik som är mest lämplig att använda för att mäta ett objekt beror på användningsfallet. För vissa objekt är exempelvis skugg-arean (den area som objektet skulle uppta ifall en strålkastare riktas mot elementet) den mest lämpliga och i vissa fall är det arean av objektets yta som är den bästa representationen.

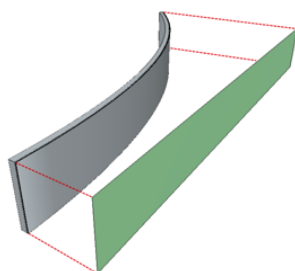
Nedan följer några exempel på hur mängdbestämningen av en väggs area kan bero på objektets form.



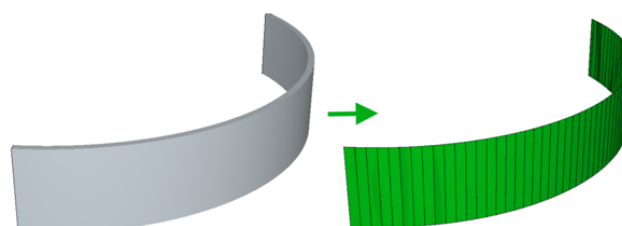
Figur 5: Hur måttet Area Shadow Gross beräknas för objekt

Figur 6: Hur måttet Area Shadow Net beräknas

I Figur 6 ovan är det exempelvis mest vanligt att använda sig av netto-skugg-arean för att räkna vägg-arean, för att inte fönster ska inkluderas i väggens area.



Figur 7: Hur Area Shadow Gross beräknas



Figur 8: Hur Area Largest Net beräknas

För en kurvad vägg är det dock mer lämpligt att använda area-parametern "Area Largest Net" snarare än skugg-arean. Figur 7 och 8 visar hur arean för kurvade objekt beräknas vid de olika area typerna.

2.3.1.2 Val av enhet

Vid beräkning av BIM-objekt finns det flera enheter att tillgå, bland annat:

- Area
- Volym
- Längd

Vilken enhet som är mest lämplig att använda vid klimatberäkning beror på flera parametrar:

- Hur har objektet modellerats?
- Vad syftet är med att beräkna objektet?



Figur 9: Balk från tidig A-modell



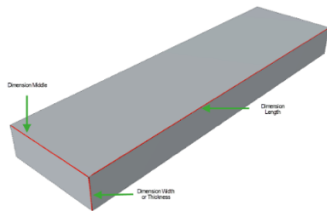
Figur 10: Balk från K-modell

Figur 9 visar en balk som från en tidig A-modell och Figur 10 är en balk i ett senare skede från K-modell. I de första modellerna var valet av balksystem inte bestämt. I det senare skedet hade projektet beslutat att använda stål balkar och i K-modellen ritades en HEA-balk.

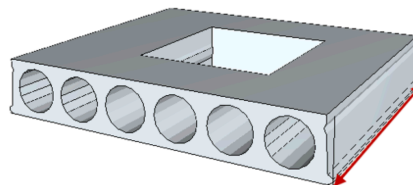
I det tidiga skedet representeras balken av en enkel rektangel. För att uppskatta mängd för balken bör därför objektets längd användas och eventuellt recept ange vikt per meter för att få en korrekt beräkning. I ett så pass tidigt skede där endast A-modell utgör underlag är det också inte ens säkert att tillräcklig mängd balkar ens ritats, vilket innebär att det förmodligen är mer korrekt att inte räkna mängder från de balkar som ritats utan istället utgå från en schablon för mängd balkar.

I det senare skedet är objektets volym den parameter som bäst representerar objektet. Något som dock är viktigt att ta hänsyn till är att det endast gäller ifall objektet ska beräknas som en stål balk. Ifall projektet fortfarande är i ett skede där man laborerar med att byta ut vissa balkar till trä, är det snarare löpmeter balk som är den bästa representationen då det ger möjlighet räkna löp meter för ett annat material, exempelvis limträ. Ersätts volymen stål balkar med samma volym limträ balk som har en helt annan form, skulle mängden limträ grovt underskattas.

Figurerna illustrerar vikten av att känna till hur objekten modellerats för att förstå vilken enhet som är mest lämpad att använda för beräkning.



Figur 11: Håldäck modellerat utan hål



Figur 12: Håldäck modellerat med hål

Liknande exempel går att göra för många andra byggdelar, exempelvis håldäck. Figur 12 visar ett objekt där håldäcket är modellerat med hål, vilket gör att volym är lämplig. Objektet i Figur 11 är modellerat utan hål, vilket innebär att LCA-experten bör välja en emissionsresurs för håldäck som inte antar hål i objektets volym.

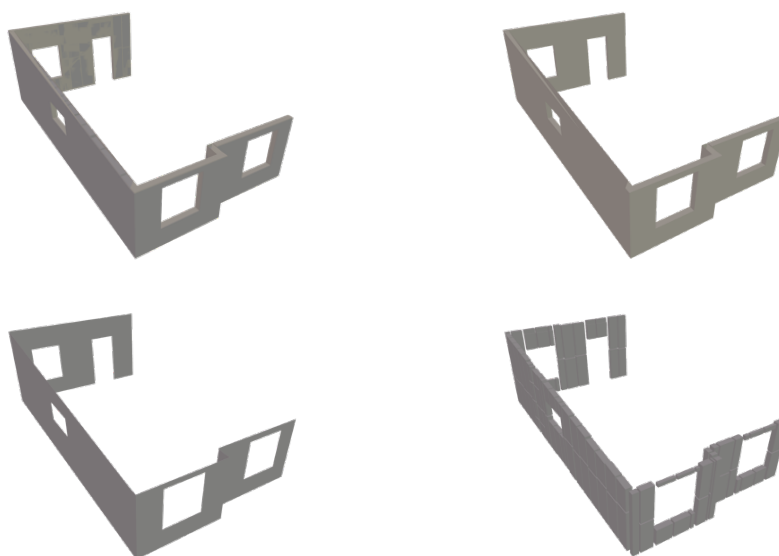
För att beräkningen ska bli korrekt, behöver den som räknar säkerställa att emissionsresurs och objektets representation matchar, alltså att t.ex. en emissionsresurs väljs med en densitet som förväntar sig att "hål" ritats in i objektet eller inte.

I de fall där endast en rektangel representerar bjälklaget är det också risk för att den som ritat inte alls tagit hänsyn till tjockleken på bjälklaget. Ett mer säkert sätt att räkna dessa bjälklag är därför att använda arean för objektets yta och i byggdelen ange bjälklagets tjocklek och välja en emissions resurs som inkluderar hål.

En viktig slutsats är att vilket mängd-mått och vilken enhet som är bäst lämpat för en korrekt representation av objektet beror på hur objektet ritats samt vad användaren väljer att knyta för byggdela/recept till objektet.

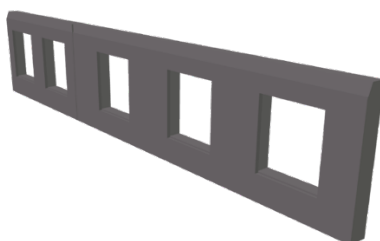
2.3.1.3 Risker att dubbelräkna

Mängden objekt och graden av noggrannhet i modellen har också stor betydelse för hur beräkningen bör göras. Har den som gör klimatberäkning dålig kontroll på detta finns det stora risker att dubbelräkna delar av byggnaden.



Figur 13: Bilderna visar ett exempel där en vägg är modellerat i olika skikt.

I figurerna ovan demonstreras ett case för hur väggar kan ritas. I fallet ovan representeras varje skikt av ritade objekt. Isolering är en grupp av objekt, vindskivorna är en grupp av objekt osv. Detta är väsentligt skilt från exemplet i Figur 14, där ett objekt representerar hela väggen. I en BIM-modell kan olika delar av byggnaden vara ritad i detaljnivån i Figur 13 och andra delar enligt figurerna ovan. För att räkna rätt, behöver den som utför beräkningen förstå i vilket av dessa två fall en grupp av objekt befinner sig i. Skulle exempelvis ett recept för en hel vägg appliceras på figurerna ovan hade klimatpåverkan överskattats väsentligt, då summan av arean fyrdubblats.

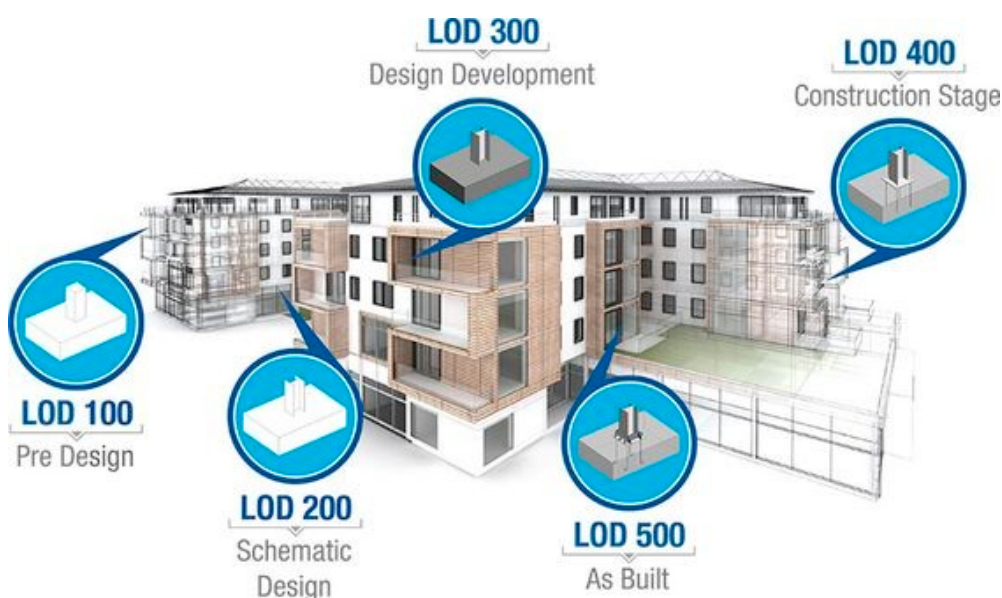


Figur 14: Bilderna visar ett exempel där hela väggen är ett objekt.

Ett sätt att kommunicera kring hur detaljerat ett projekt ritat i ett visst skede, är att använda sig av konceptet Level of Detail, som presenteras i nästa avsnitt.

2.3.2 Level of Detail

Level of Detail (LOD) är ett mått på hur granulärt objekt i modellen ritats och definierar precisionen på informationen. Ju högre LOD, desto mer noggrann och detaljerad är informationen i modellen. LOD används för att på ett standardiserat sätt kunna kommunicera modellens information och gör att aktörer som vill använda modellen vet vad som kan förväntas finnas i modellens informationsstruktur. Detta förenklar processen att förstå vad en modell kan nyttjas till och inte nyttjas till.



15: Olika nivåer på Level of Detail, (TrueCADD, 2019).

Normalt definieras LOD på en numerisk skala från 100 till 500, där 100 är det minst detaljerade och 500 det mest detaljerade. I de flesta fall används LOD i projekt genom att förväntad LOD anges i en BIM-policy för ett bolag eller projekt för ett visst skede. Normalt saknas information om LOD på modellens objekt. Projekt arbetar snarare med att modeller i vissa skeden förväntas ha en viss LOD, med olika fokus på olika delar i byggnaden.

2.3.3 Sammanfattning

Det är många faktorer som behöver tas hänsyn till när klimatberäkning ska göras från BIM-modell. Allt från val av enhet för objekt, hur objektet ritats, grad av noggrannhet m.m. Å ena sidan finns många utmaningar, men å andra sidan finns det också metoder för att möta dessa. Något som dock är tydligt är att dessa utmaningar inte bör hanteras manuellt, då det är alldeles för många rörliga delar att ta hänsyn till och uppenbara risker för felberäkning. Informationsutbytet mellan modell och beräkning behöver därför ske med en hög grad av automation samt med metoder som både är robusta och förutsägbara.

3 Kartläggning av problemområdet

I början av projektet gjordes en kartläggning av existerande hinder för effektiva klimatberäkningar. Detta gjordes dels genom samtal med aktörer inom industrin för att se vilka problem dom har identifierat och vilka behov som finns. Dels genom en genomgång av tidigare studier inom området.

3.1 Seminarium och workshops

3.1.1 Workshop 1

Den första workshopen hölls tidigt i projektet för att identifiera de behov som fanns i industrin för att utforma riktningen för projektet.

Från diskussionerna under workshopen lyftes ett antal problem som de mest prioriterade av deltagarna.

De prioriterade problemen identifierade under workshop 1:

- Öka graden av automation när det kommer till att sätta upp olika beräkningsscenarioer för en byggnad.
- Gör det möjligt att släcka mängder i resurssammanställningen, (verifierad mängd vs från BIM-modell).
- Förenkla processen att verifiera underlagsdata.
- Göra det möjligt att skapa en korrekt resurssammanställning från flera källor (BIM, verifierat etc.) format som funkar i olika verktyg.
- Arbeta med metoder för att göra modeller, som vi idag anser svåra att beräkna, mindre svåra att beräkna.
- Förenkla för K, A och LCA-specialister att jobba tillsammans för lägre klimatpåverkan.

3.1.2 Workshop 2

Under den andra workshopen i projektet diskuterades Function Type (se kapitel 4.1) som klassifikationssystem för klimatberäkningarna.

Under workshopen diskuterades potentiella problem med användandet av ett nytt klassifikationssystem. Dels hur det ska samverka med redan existerande system som är standard för olika aktörer i industrin, och vad för krav det kan ställa på kunder att lära sig ett nytt system för att uttolka resultat.

Fördelar som togs upp var att Function Types skulle förenkla granskningsprocessen. Samt att det kunde underlätta vid uppdatering av beräkning och för jämförelse av olika lösningar.

3.2 Tidigare studier

Flera tidigare studier har fokuserat på hur BIM-modeller kan användas för klimatberäkning. Nedan presenteras några av dessa arbeten.

I Smart Built Environment (SBE) projektet *Hinder att överbrygga: Utveckling av den saknade länken till BIM/IFC* (Jönsson J, 2018) undersöktes informationsöverföring från BIM-modeller. Projektet hade som mål att arbeta fram praktiskt genomförbara lösningar för att göra det enklare att föra information mellan BIM-modell och klimatberäkning. Under projektet identifierades att gemensamma begrepp är en nyckel för att flödet av information mellan BIM-modell och LCA ska fungera och att en viktig grund skulle kunna finnas i det digitala klassifikationssystemet CoClass (Jönsson J, 2018).

Under projektet arbetades även en ny typ av resursregister fram som kallas "SBEHub". Registret tillhandahålls bland annat genom ett API (application programming interface), vilket gör att LCA-databaser kan koppla samman LCA-data med resurser i SBEHub. Tanken med SBEHub är att LCA-verktyg kan fråga SBEHub vilket material som t.ex. motsvarar en viss CoClass klass. SBEHub svarar sedan med träff eller inte i resursregistret. En begreppsdatabas togs även fram under projektet som sedan publicerades på Nationella riktlinjer för BIM (nationella-ritklinjer.se). I studien slog man fast att fortsatt utveckling krävs inom området. Vidare studier bör inrikta sig på att få fler att använda CoClass.

I ett efterföljande SBE-projekt *Testpiloter* hade projektet som mål att testa och utvärdera de lösningar som föreslogs i *Hinder att överbrygga: Utveckling av den saknade länken till BIM/IFC*. Bland annat var syftet att testa användningen av SBEHub.

I testpiloten var flera aktörer involverade. En av frågorna som undersöktes var hur design/arkitektur och projektering/konstruktion kan modellera sina modellobjekt för att skapa så mycket värde som möjligt längre fram i informationskedjan. En insikt var att projekt normalt har brist på tid och kompetens för att arbeta effektivt med denna fråga. Det slogs även fast att visualisering av byggnaden är det primära syftet med BIM i tidiga skeden, men att kalkylering av klimatpåverkan även skulle vara mycket värdefull ifall det gick att utgå från modellen. I projektet visade man på att det är möjligt att utföra klimatberäkningar från tidiga BIM-modeller, men att det finns mycket kvar att göra för att få processen effektiv (Sveder Lundin J, 2019).

I projektet undersöktes och lyftes behovet av att i större utsträckning redovisa effekter av osäkerhet. Det finns annars risk för missvisande jämförelser när beräkningar med olika nivåer på osäkerhet jämförs med varandra. Tillvägagångssättet för att göra osäkerhetsberäkningar är fortfarande inte helt utforskat, men projektet kommer samtidigt fram till att det är fullt möjligt att beräkna flera aspekter av osäkerhet redan idag för resultatet från en LCA. Projektet föreslår i sin analys att fler digitala verktyg behöver komma till med koppling till BIM-system (Sveder Lundin J, 2019)

En av slutsatserna i projektet *Testpiloter* var att det finns ett fortsatt behov av vidare studier för att förenkla LCA-beräkningar från BIM-modeller. Projektet föreslår också

att utvecklingen framåt bör bedrivas på ett sätt där flera aktörer och roller i värdekedjan samverkar för att hitta effektiva metoder i frågan.

Sammanfattningsvis har ett stort arbete skett inom problemområdet klimatberäkning från BIM-modell. De studier som gjorts tidigare pekar på att:

- Den mest lovande lösningen är standardisering
- Det finns fortsatt ett stort behov av ytterligare studier av området
- Olika kompetenser och aktörer i hela värdekedjan bör inkluderas för att bedriva fortsatt utveckling

4 Konceptutveckling och implementation

4.1 Klassificeringssystem LCA - FunctionType

En utgångspunkt i detta projekt var att identifiera vilka av de befintliga kategoriseringssystemen som kunde användas som grund för regelbaserad LCA med harmonisering som ett underliggande mål. Efter att ha bedömt de befintliga systemen inom byggindustrin, kom vi fram till att det saknades en lösning som var optimal för en BIM-baserad och regeldriven LCA-beräkning.

Följande kriterier beaktades vid detta beslut: entydiga, brett tillämpbara och lättförståeliga kategoridefinitioner med en funktionsbaserad gruppering som är kompatibel med vanligt tillgängliga BIM-data - både geometriska och materialmässiga. En optimal lösning måste vara användbar i alla skeden av design- och byggprocessen när olika informationsnivåer är tillgängliga och i alla regioner. BSAB ansågs vara för landspecifikt, tvetydigt på vissa ställen och ha kategoriöverlappningar i vissa fall. SBEF ansågs ha en suboptimal uppdelning av huvudfunktioner för LCA-ändamål - för detaljerad i vissa fall och för bred i andra. Dessutom, med tanke på den information som vanligtvis är tillgänglig i en BIM-modell, var dessa system svårare att automatisera utan att kräva kompletterande data från ett designteam utanför det normala arbetsflödet.

Som ett resultat skapades konceptet "Function Type" som ett mer grundläggande komplement till befintliga branschstandarder för kategorisering. Med tanke på att LCA grundas på konceptet med en funktionell enhet fastställdes att ett sådant grupperingssystem bör baseras på de huvudfunktioner som dessa material och system tjänar inom en byggnad. Det behöver ha tillräcklig detaljering för att täcka alla unika funktioner och geometriska dimensioner, men inte vara så komplext att det finns utrymme för överlappning eller tvetydighet där ett specifikt material eller byggsystem kan placeras. En sådan förenkling ökar också förståelsen för icke-experter och möjliggör en mer flexibel tillämpning i olika länder och faser av design- och byggprocessen.

Ett exempel på hur Function Type skiljer sig från BSAB är att kompletta byggsystem grupperas tillsammans, för att göra det enklare att gruppera BIM-modellens objekt i

både geometriska mängder och materialkategorier samtidigt. Istället för att dela upp ytterväggen i isolering, inre yta och yttre yta, är Function Type hela konstruktionen "bärande yttervägg". Denna kategori används sedan för att bestämma ytterväggens area och för att fästa en byggdela med alla materiallager inkluderade. Detta är också mer i linje med designprocessen eftersom materialen i en vägg måste fungera tillsammans för att uppfylla funktionen i byggnaden - till exempel struktur, klimatskal, akustisk prestanda och brandsäkerhet.

Tabellen nedan visar den kompletta uppsättningen av Function Types och hur de förhåller sig till BSAB och SBEF för olika större bygghänsyner. Tabellen visar hur konstruktionssystem i BSAB inte överensstämmer med ytbearbetning och andra material, vilket gör det utmanande att verifiera mängder baserat på en förenklad geometri.

Tabell 1: Tabellen visar hur Function Types förhåller sig till BSAB och SBEF.

Function Type	Exempel BSAB/SBEF referens
1A Pålar	15.SB
1B Grund övrigt	15.SJ, 15.ST
2A Grundplattor	15.SG
2B Mellanbjälklag	27.F, 43.DB, 43.DC, 43.E, 44.B, 44.D, 45.BH
2C Yttertak	27.G, 41.A, 41.C, 41.D, 41.EG, 43.E
2D Balkonger	27.HC, 45.BB
2E Trappor	27.HB, 44.B, 45.CB
3A Yttervägg bärande	27.C, 42.B, 42.C
3B Yttervägg icke bärande	42.A, 42.B, 42.C
3C Innervägg bärande	27.B, 44.C
3D Innervägg icke bärande	43.CB, 44.C
4A Balkar	27.E, 27.E/31
4B Pelare	27.D, 27.D/31, 27.D/11
5A Fönster yttre	42.DB, 42.DC
5B Fönster inre	43.CCD
5C Ytterdörrar	42.DE
5D Innerdörrar	43.CCE
6A Installationer	51 - VA-system , 54 - Brandsläckningssystem 56 - Värmesystem , 57 - Luftbehandlingssystem 6 - El- och Telesystem, 71 - Hissystem
6B Inredning	76 Vitvaror, 77 Skåpssnickerier 78 Rumskomp, 79 Rumskomp övrigt
6C Utomhus	15 Ledningar, kulvertar, tunnlar 16 Vägar, planer, 17 Trädgård 18 Markutrustning, stödmurar, komplement-byggnad. 19 Mark övrigt
6D Täckningsgrad	
6E Energi	

En nackdel med att använda Function Type som ett grupperingssystem är att förenklingen av modellen begränsar den information som kan hämtas från en BIM-modell. I det ideala fallet där objekt i modellen innehåller materialskikt, kommer dessa inte att överföras direkt till beräkningen. Detta bedömdes vara en acceptabel avvägning med tanke på att denna detaljnivå endast kan uppnås i slutet av ett projekt och även då är det ofta så att endast en del av modellen har korrekta materialskikt. Dessutom ökar beroendet av skikt risken för fel genom att lägga till komplexitet och risk för modelleringsfel och gör det svårare att använda en grundläggande geometri för att göra kvalitetskontroll av resultat. Om en vägg har fem skikt, var och en med en annan yta eller mängd, är det svårt att verifiera att material inte har räknats dubbelt eller BIM-objekt felaktigt kategoriserats.

Function Type-grupperingssystemet formade också beräkningsmetodikerna genom att möjliggöra för en förenklad geometrisk modell att skapas med hjälp av representativa BIM-objekt - t.ex. kan den strukturella plattan från en K-modell användas för att bestämma området för hela golvkonstruktionen. Denna tolkning av modellen frigör LCA-utövaren från att vara helt beroende av modellen för alla materialmängder och möjliggör förbättring av modellen i ett verktyg som är specifikt utformat för LCA-ändamål. Eventuell förlust av precision i detta tolkningssteg kompenseras mer än väl i flexibilitet och möjligheten att enkelt verifiera resultat genom att ha förståeliga dimensioner att mäta mot.

Responserna projektet har fått från externa LCA-expert och kunder har till stor del varit positiv med den vanligaste återkopplingen att det är lätt att förstå trots att det är ett nytt kategoriseringslager. De som varit skeptiska har främst fokuserat på behovet av att ha resultat som överensstämmer med deras nuvarande rapporteringsstruktur. I dessa fall kan Function Type fungera som ett internt översättnings- och sorteringsverktyg som inte behöver vara synligt - det kan användas som ett mellansteg för att hjälpa till att ställa in BSAB/SBEF-koder. Isolering är ett exempel på ett material som är svårt att kategorisera i BSAB-systemet eftersom det kommer att ha en annan kod beroende på var det är beläget i byggnaden. När den mer breda Function Type är inställd och kan ge sammanhang, då blir det enklare att bestämma vad BSAB-koden bör vara. Denna översättningsfunktion är viktig eftersom den kan tillämpas på vilket klassificeringssystem som helst, både i Sverige och internationellt.

Framåt är planen att bygga vidare på Function Type-ramverket genom att öka automatiseringen med hjälp av ett växande antal referensprojekt och att analysera dessa data för att producera jämförbara KPI:er och översätta dessa till prediktiva tidiga designlösningar. Eftersom Function Type-grupperingen kan användas för att tilldela både geometriska värden och specifikt materialval vid vilken punkt som helst i design-/byggprocessen ger strukturen en bro från detaljerade designresultat tillbaka till det parametriska designstadiet så att data kan användas på ett meningsfullt sätt.

4.2 Regelbaserad klimatberäkning från BIM-modell

4.2.1 Grundidén

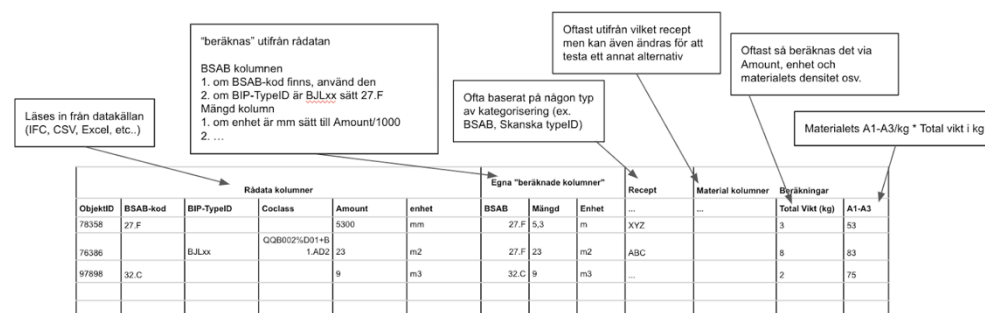
Visionen med det regelbaserade flödet:

- Skapa ett obrutet informationsflöde från BIM-modell till LCA-resultat
- Deterministiskt, samma indata ska alltid resultera i samma resultat
- På sikt kunna köras i realtid jämte ritprogram
- Vara agnostiskt mot indatan dvs flödet ska fungera för kostnadskalkyl, BIM-modell, sketchup-modell osv
- Flytta antaganden om mängder närmre LCA-experten
- Kunna göra en "grundberäkning" men ha flera outputs för olika certifieringar
- Flöden ska gå åt att återanvända som mallar för olika typer av projekt

Utifrån denna vision började ett koncept arbetas fram för att kunna definiera regler som utgör överföringen av information mellan BIM-modell och klimatberäkning.

Grundkoncept i regelbaserad klimatberäkning

Kärnan i konceptet bygger på tabeller. Tanken är att någon typ av data läses in, det kan vara IFC-modeller, excelfiler, kalkyler osv. Vid inläsning av en modell blir resultatet en stor tabell med alla attribut som kolumner och alla objekt som rader. Nedan visas ett exempel på hur representationen av en modell kan se ut inläst:



Figur 16: Exempel på hur inläst modell kan representeras i tabell.

Rådata kolumnerna är kolumner som lästs in från modellen, där kolumner som ObjektID, BSAB-kod, BIP-TypeID bland annat finns. Tanken är sedan att användaren definierar nya kolumner som fylls på med värden genom det projektet kallar regler, likt en formel i Excel.

På rad ett i exemplet ovan finns BSAB-kod i indatan. BSAB kolumnen som användaren har definierat tar då värdet direkt från den kolumnen. På rad två saknas kod i BSAB-kod kolumnen. Där har användaren istället definierat en regel som säger att om inte BSAB-kod finns, tolka då BIP-TypeID. I BIP-TypeID står det "BJLxx", vilket är en kod för bjälklag. Raden tilldelas därför BSAB-koden 27.F (kod för bjälklag) genom att användaren angivit det i regeln. På det här sättet läggs nya kolumner till genom regler.

Mängden och enheten på dessa rader har även fått sina värden transformerade, konceptet ska även stödja numeriska beräkningar. Enheten i modellen i detta exempel

var i millimeter men användaren ville ha det i meter och därför har en regel räknat om det till meter via reglerna för kolumnen.

Detta innebär att varje objekt har beräknats individuellt, varje objekt har en klimatpåverkan. Detta gör också att informationen i klimatberäkningen kan återföras till modellen för att fungera vidare i informationsflödet. Det är också LCA-användaren som äger processdefinitionen och definitionen av beräkningsmetodiken.

Tanken är sedan att dessa ingående beräkningsflöden, som kräver mycket expertkunskap, kan återanvändas av aktörer i projekt som inte är experter på klimatberäkning. Det kan exempelvis vara projektledare, konstruktörer, arkitekt med flera. Genom att låta det regelbaserade flödet hantera komplexa antaganden om kvantiteter, vad som ska exkluderas/inkluderas, klassning osv, kan dessa icke-expert i stället fokusera på att testa hur olika val av material och byggdelar påverkar projektets klimatpåverkan.

Detta var utgångspunkten för den första implementationen av den regelbaserade metoden.

4.2.2 Teknisk implementation

Implementationen och testerna av den regelbaserade metoden delades upp i tre iterationer. I varje iteration kördes tester i fallstudierna, samt ett 50-tal andra projekt som tillkom under projektets gång. Insikter från testerna återfördes sedan till projektet och satte ramarna för nästa iteration.

4.2.2.1 Första iterationen

Den första iterationen av regelbaserad klimatberäkning innehöll enbart möjligheten att definiera regler för ett antal kolumner. Implementationen byggde på att indata och resultatet sparades i databas. Regelkörningarna gjordes på en webbserver. En av observationerna var att när BIM-modellernas information plattas ut i tabeller, kunde det bli projekt med över 200 000 rader och 500 kolumner.

Den regelbaserade metoden utgick från att läsa ut modellens information från tabeller i databasen, köra användarens definierade regler och lägga till/ändra kolumnvärden, sen uppdatera tabellens värden i databasen.

Det första tillvägagångssättet var att ta BIM-datan och platta ut i en tabell som sedan fördes in i en Postgres-databas. Strategin var att ha ett antal vanliga databaskolumner för de attribut som var vanligt förekommande. Attribut i modellen som var projektspecifika eller inte vanligt förekommande, blev i databasen hanterad som så kallade jsonb-kolumner, en mer flexibel kolumnform som tillåter ej namngivna kolumner. Alla modellers data låg i samma tabell och vi hade ett antal databas-index både på de vanliga dataskolumnerna och på några av jsonb-kolumnerna.

Databasindexet fungerade väl för vanligt återkommande frågor, men ett första problem uppstod när frågor missade indexet. Dessa frågor tog så lång tid att det ledde till kaskadfel, då belastningen på databasen ökade. Detta ledde i sin tur till att andra frågor hamnade på kö. Sammanfattningsvis såg vi modeller där frågor kunde ta uppemot 30 sekunder eller bli avbrutna på grund av time-out.

Processeringen av regler förvärrade ytterligare problemet. I den första iterationen skedde processeringen i NodeJS. Datan laddades upp i batcher från databasen och de regler som definierats av användaren blev applicerade radvis. För varje batch skrevs sedan data tillbaka till databasen. Dels var processeringen i NodeJS relativt långsam, men det större problemet var interaktionen med databasen. Efter att regelkörningar slutförts skedde det väldigt stora antal skrivoperationer till databasen. Även efter några smarta konsoliderings strategier där vi valde att inte skriva till en rad ifall ingen förändring skett, fortsatte detta vara ett stort problem.

När mycket data förändras i en databas samlas det snabbt upp en hög grad av så kallade döda tuplar. Döda tuplar är utdaterade rader som en databas behöver städa undan för att fungera med optimal prestanda. När det finns många döda tuplar i en databas, bromsas hastigheten på frågor till databasen samt triggas städjobb för att ta bort dessa tuplar. Detta i kombination med att processering körs mot samma databas och tabell som även servar frågor, innebär att databasen vissa stunder jobbade extremt långsamt. Enda sättet att utöka beräkningskapaciteten var också genom vertikal skalning (större databas-instans). Normalt är horisontell skalning (fler beräkningsnoder) att föredra, då det är enklare att underhålla en mjukvaruarkitektur där antalet noder ökar snarare än att en nod behöver mer beräkningskraft. Sammanfattningsvis slogs det fast att nuvarande strategi hade låg förmåga att kunna skalas upp.

Det visade sig att hela processerings loopen med regler för stora modeller kunde ta tiotals minuter och omkörning av regler för ett helt projekt med många modeller kunde ta upp till en timme.

Ett annat problem under den första iterationen var att implementationen utgick från att originaldatan muteras, vilket innebär att indata till en regelkörning var utdata från en tidigare regelkörning. Detta kunde ge upphov till så kallad drift i datan, vilket innebär att det kunde introduceras cirkulära beroenden som reducerar återanvändbarheten i reglerna.

Försök gjordes att optimera och snabba upp frågor genom att studera frågornas query-plan (ett exekveringsschema som moderna databaser normalt tillhandahåller), samt att lägga till och ta bort index (hur databasen ska indexera tabellen) på kolumner för att förbättra databasens förmåga att arbeta med informationen.

I slutet av iterationen slogs det fast att en annan implementationsstrategi behöver utforskas för lösa dessa prestandaproblem. Något som också uppkom var ett behov att kunna köra flera passager över datan med reglerna.

4.2.2.2 Andra iterationen

I den andra iterationen var primärt fokuset på att lösa de prestandaproblem som observerades under första iterationen. Tre alternativ började undersökas.

Det första alternativet var att fortsätta med en lösning i databas, men att arbeta med en databasstrategi som heter sharding. Sharding innebär att man delar upp en databastabell över flera databasnoder. Tanken var också att flytta processering till dedikerade arbets-instanser för att kunna parallellisera beräkningarna så långt det går. Detta

alternativ övergavs relativt snabbt, då komplexiteten att driftsätta den här typen av lösning framkom som alldeles för hög i förhållande till storleken på datan. En misstanke fanns också om att detta skulle förbättra prestandan, men inte tillräckligt mycket.

Det andra alternativet var att använda ett Big Data system (spark, Hadoop m.fl). Big data är ett begrepp för insamlade datamängder som är så komplexa och stora att de kräver ny teknik, såsom AI, för att kunna processa datan. Det gjordes en del efterforskning på hur det skulle gå till, men även detta alternativ övergavs då dessa system inte verkade lämpade för ändamålet. Dessa system är inriktade på att hantera extrema mängder data. Detta riskerade att skapa en situation där arbetet med dessa system, som egentligen är lämpade för betydligt mycket större mängder data, bara skulle försvåra processen.

Det tredje alternativet var att utvärdera ett beräkningsflöde som inte behöver läsas och skrivas till databas. BIM-modeller är relativt små i storlek, summan av modellerna i ett projekt ligger ofta mellan ett 100-tal megabyte upp till några gigabyte. Det innebär att all data ryms i minnet på moderna datorer. Vektorbaserade beräkningsmetoder som arbetar i minnet är därför en möjlig lösning, vilka ofta är kraftfulla. Några snabba tester gjordes och projektet kom fram till att detta alternativ var det med högst potential. Inom några veckor kunde första proof-of-concept (PoC) köras. Det visade sig att frågor som tidigare kunde ta över 30 sekunder, nu var färdiga inom några få sekunder. Beslut togs då att gå över till denna nya beräkningsmetod.

Under slutet av den andra iterationen kunde detta flöde börja testas skarpt i fallstudier med mycket lovande resultat.

Under den första iterationen lyftes behovet av att kunna göra flera operationer än bara de kolumn-baserade reglerna. Bland annat kan det vara att ett objekt i modellen består av flera materiallager. En grundplatta kan exempelvis modelleras som ett objekt, men ha flera materiallager i objektets data.

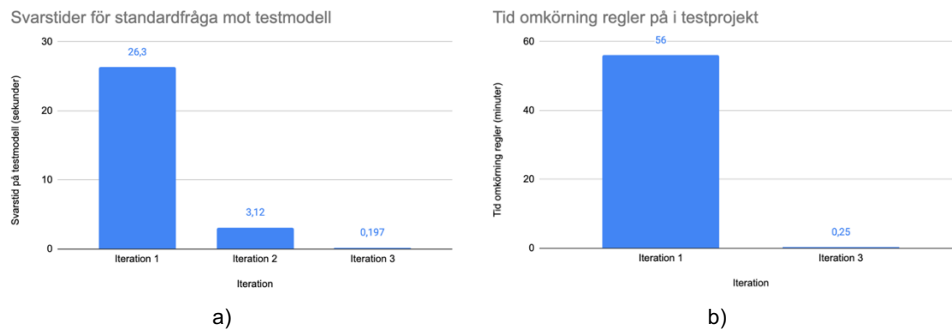
Det vore värdefullt ifall flödet kunde skapa upp en rad per materiallager, då det skulle skapa en mer granulär och lättbegriplig resurssammanställning.

En ytterligare insikt var att olika modelltyper kräver också olika uppsättningar av regel-steg. Det vore därför enklare att definiera separata flöden med separat regelsteg för olika modeller och sedan kunna sammanföra resultatet.

Denna feedback samt tester i fallstudierna låg som grund för den tredje och sista iterationen.

4.2.2.3 Tredje iterationen

Under den tredje iterationen var inte längre prestanda ett problem, tvärtom, det var nu en av styrkorna i beräkningsflödet.



Figur 17: a) Diagrammet visar svarstiden för standardfråga mot testmodellen för de tre olika iterationerna. b) Diagrammet visar tid för omkörning av regler i testprojekt.

Nu övergick fokus på att skapa ett ännu mer kapabelt regelkörningssystem. Under den tredje iterationen förfinades och vidareutvecklades det regelbaserade konceptet till något som projektet valt att kalla för pipelines.

4.3 Pipelines

I följande kapitel beskrivs regelbaserad klimatberäkning i sin slutgiltiga form, vilket projektet valde att kalla för pipelines. Konceptet består av några olika beståndsdelar: steg, kolumnmappningar, joins, steglistor, dataset och pipelines. Syftet och varje dels funktion presenteras nedan.

4.3.1 Steg

Den minsta beståndsdelan i Pipeline-konceptet är steg. Det finns fem olika stegtyper.

- Avancerad Query
- Kolumnmappning
- Join
- Prune
- Sekvens

De stegtyper som primärt används i flödet är kolumnmappning och joins, vilket beskrivs nedan.

Välj stegtyp
 Det finns flera olika typer av steg som du kan använda, där varje typ har ett specifikt use case. Dessa stegtyper beskrivs här nedan. Du kan inte ändra typ, utan då får du skapa ett nytt steg.

Avancerad Query
 Ett avancerat query steg används för att exekvera en avancerad query på datan.

Kolumnmappning
 Låter dig skriva data till kolumner i din tabell, kolumnernas data specificeras med regler Mer...

Join
 Låter dig ta in kolumner från olika typer av andra tabellkällor. Joins funkar genom att matcha nyckelkolumner mellan dem två tabellerna. Mer...

Prune
 Ett prune steg används för att reducera mängden data genom att bara behålla ett subset av rader och eller kolumner

Sekvens
 En sekvens låter dig att använda flera andra steg i en sekvens.

Avbryt
Spara steg

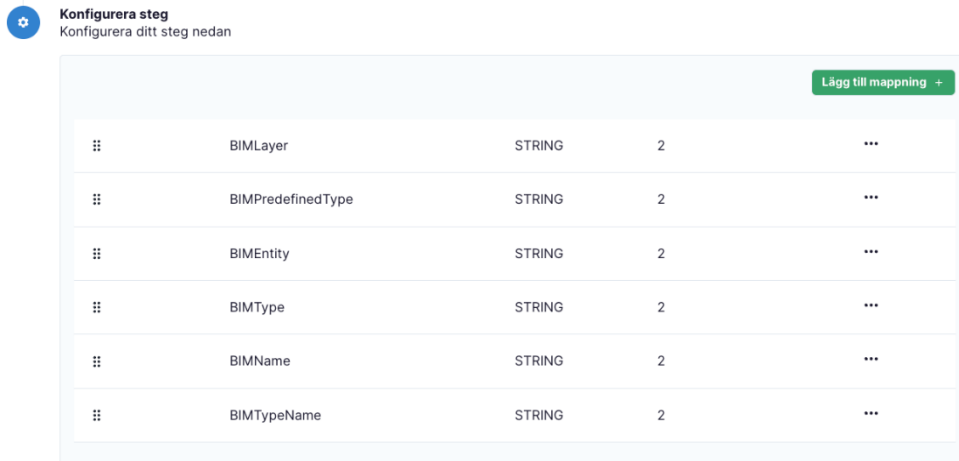
Figur 18: Skärmbild från Plant som visar de olika stegtyperna.

Kolumnmappning

En kolumnmappning används för att mappa ett värde till en given kolumn. Användaren väljer vad kolumnen ska heta samt vilket format output för denna kolumn har. Datatyper som stöds presenteras nedan.

Tabell 2: Tabellen visar datatyper som stöds vid kolumnmappning.

Datatype	Beskrivning	Exempel värde
Enumerable	Användardefinierad lista av valbara värden	Skede, kommun m.m.
Boolean		sant/falskt
Float	Decimaltal	31,4
Integer	Heltal	31
String	Text	YVB-3
Raw_Material_ID	Nyckel som refererar till ett material-id i annan tabell	43fb011c-7c83-4d17



Figur 19: Skärmbild från Plant som visar där steg konfigureras.

Användaren har nu definierat de nya kolumner som kommer läggas till på varje objekt, samt vilket format kolumnernas värde har. Nästa steg är att definiera regler för kolumnmappningen.

Regler för en kolumnmappning

För varje kolumnmappnings fält, definierar användaren en eller flera regler. En regel består av ett villkor och ett utvärde.

En regel kan med pseudo-kod beskrivas som följande:

```

Kolumn: Funktionstyp

OM
  BIMEntity = IfcPlate OCH
  Dataset namn = A-modell OCH
  BIMTypeName börjar med glas
DÅ
  Output = 5B Fönster inre
  
```

Figur 20: Beskrivning med pseudo-kod hur en regel kan utföras i Plant.

Innehåller objektet egenskaperna som finns i villkoret, sätts kolumnen "Funktionstyp" till textvärdet "5B Fönster inre".

<input type="checkbox"/>	Index ^	Output	BIMEntity	dataset::name	BIMTypeName
<input type="checkbox"/>	-24	3A Yttervägg bärande	~ IfcWall	~ K20-V001.ifc	~ Basic Wall:V2 200 betong motfyllid
<input type="checkbox"/>	-23	3C Innervägg bärande	~ IfcWall	~ K20-V001.ifc	~ Basic Wall:V6 200 betong
<input type="checkbox"/>	-22	2A Grundplattor	~ IfcSlab	N/A	~ grundplatta

Figur 21: Skärmbild från plant som visar några av de kolumnerna regler kan baseras på.

En prioritetsordning definieras också för varje regel för att undvika konflikter. De regler med högst prioritet testas först och uppfylls inte villkoret testas nästa regel i prioritetsordningen tills inga regler kvarstår i kolumnmappningen. Så snart ett villkor uppfylls för en regel sätts regelns värde på raden/objektet.

Join

En join låter användaren ta in kolumner från olika typer av andra tabellkällor. Vid en join matchas nyckelkolumner mellan två tabeller. Alla joins är så kallade "left outer joins", ett begrepp inom databaser. Detta betyder att alla rader i den primära tabellen finns kvar och inget filtreras. Om en rad inte har en matchande rad i den andra tabellen blir de nya kolumnerna fyllda med tomt värde.

Detta används bland annat för att hänga på emissionsresurser. Genom tilldela ID:n på emissionsresurser på varje BIM-objekt, kan denna tabell joinas med en emissionsresurstabell. Resultatet blir att varje BIM-objekt får fält med emissionsdata tillagda.

4.3.1.1 Steglistor

De olika stegen komponeras sedan ihop i steglistor. Exekveringen av varje steg sker i den ordning som steget ligger i steglistan. På så sätt kan steg bero av varandra och bygga på information och kolumner som satts i tidigare steg.

Skapa steglista

The screenshot shows the 'Skapa steglista' (Create step list) interface. It includes a text input field for the name, currently containing 'Min steglista'. Below this is a table with the following steps:

Icon	Step Name	Operation	Target	Order
⋮	Sätt dataset namn	JOIN	Intern	-
⋮	Överför BIM-fält (BIMLayer, BIMEntity m.fl)	COLUMN_MAPPING	BIM, Intern	-
⋮	Sätt numeriska fält (Area, Volume m.fl)	COLUMN_MAPPING	Intern	-
⋮	Sätt Trash	COLUMN_MAPPING	Intern	-

At the bottom of the form, there is a dropdown menu labeled 'Lägg till steg från projektet' and two buttons: 'Avbryt' (Cancel) and 'Spara' (Save).

Figur 22: SKärmbild från Plant som visar vyn där stegen och ordningen på steg sätts för steglista.

4.3.1.2 Dataset

Dataset kallas den indata som ska hanteras i projektet. Det kan antingen vara BIM-modeller i form av IFC-modeller eller kommaseparerade kalkylblad. Det är denna information som kommer att flöda genom "pipelinen", där varje rad får information tillagd utifrån de definierade stegen.

Datasetnamn	Objekt	Parametrar	Status	Källa
A-40-V-1000.ifc	2852	288	Fulfilled	IFC
K20-V001.ifc	677	141	Fulfilled	IFC
Schabloner.csv	134	15	Fulfilled	CSV

Figur 23: Skärmbild från Plant på vyn där datasets laddas in och listas.

4.3.1.3 Pipeline

Det sista användaren behöver göra är att välja när stegen ska appliceras i flödet och sätta ihop en beräkningsgraf. Detta görs genom att skapa så kallade "pipelines". I en pipeline definieras vilken indata som ska flöda genom pipelinen och vilken steglista som ska appliceras på denna data. En pipeline kan antingen ta ett dataset eller en annan pipeline som indata. Det vanligaste är därför att dataset ligger högst upp i grafen och är indata till den första pipelinen. Sedan bearbetas datan successivt i olika pipelines, som applicerar olika typer av regler och joins.

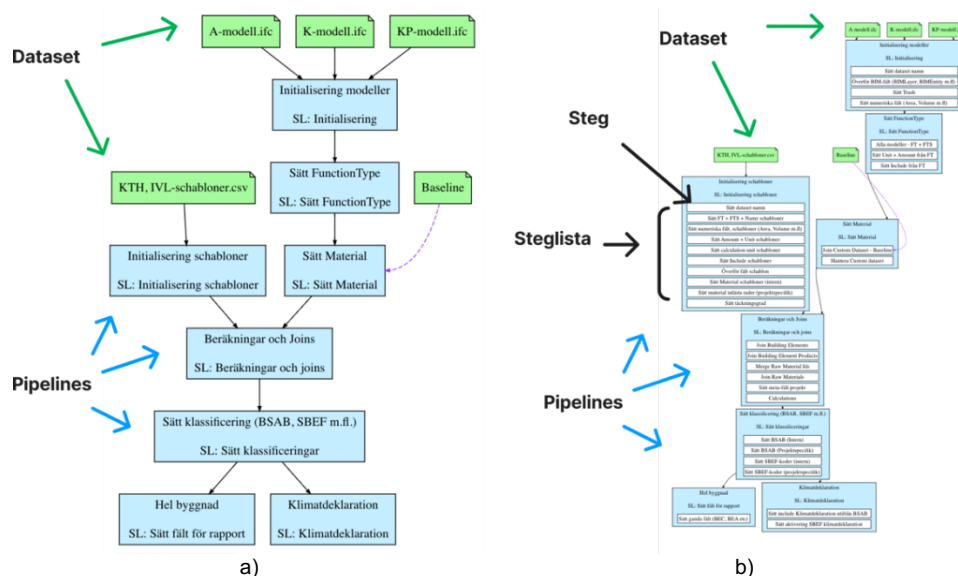
Datatyp	Namn	Information
Dataset	A-40-V-1000.ifc	Fulfilled
Pipeline	Beräkningar och joins	Beräkningar Och Joins

Steglistnamn	Steg
Beräkna B4-B7+D	2
Beräkningar och joins	8
FT + FTS + Include (Projektspecifik)	7
Initialisera B6 och B7 Steglista	1
Initialisering	4
Initialisering schabloner	8
Klimatdeklaration, exkludera utanför scope	2
Sätt BSAB	5
Sätt gamla fält för rapport	3
Sätt Material	2

Figur 24: Skärmbild från plant från vyn där indata och steglista sätt för en pipeline.

Exempel på pipeline som använts inom projektet

Följande pipeline (något förenklad) togs fram inom projektet och användes för att bland annat beräkna projektet Stadshagen.



Figur 25: Skärmbilder från plant på beräkningsflödet med pipelines som togs fram inom projektet b) visas även steglistorna för dom olika pipeline.

BIM och LCA-experterna har inom projektet testat olika sätt att definiera upp pipelines för att göra klimatberäkningar. Grov översikt för den pipeline som användes i slutet av projektet hade följande struktur:

Pipeline 1: Initialising modeller

- Flytta rådata kolumner från modellen till ett antal kolumner som används i senare steg.
- Flytta mängder från rådatan till namngivna kolumner, såsom Area, Volym, Längd
- Flytta över koder från klassifikationssystem, exempelvis BSAB-kod
- Ta bort objekt som inte ska beräknas

Pipeline 2: Sätt FunctionType

- Sätt FunctionType (koncept som beskrivs i tidigare avsnitt)
- Sätt enhet för redovisning och enhet för beräkning. Exempelvis balkar är lättare att förstå när de presenteras i löpmeter, därför bör redovisning av balkens resultat vara i meter. För att beräkna mängden material som gått åt för balken är dock volym ofta bättre att använda, då balkar ofta är mycket noggrant modellerade.

Pipeline 3: Sätt material

- Tildela recept och emissionsresurser till varje objekt

Pipeline 4: Initialising schabloner

- Vid klimatberäkning från BIM-modell behöver nästan alltid beräkningen kompletteras med schabloner.

Pipeline 5 - Beräkningar och Joins

- Mängder från schabloner och modeller förs samman
- Kör joins, där bland annat emissionsdata läggs till på varje objekt
- Kör beräkningar. Vikt och klimatpåverkan beräknas i detta steg

Pipeline 6: Sätt klassificering

- Sätt klassificering utifrån informationen på varje objekt. Finns exempelvis BSAB-kod som kolumn i rådatan, kan denna nyttjas. I de fall BSAB-kod inte finns, härleds istället koden i detta steg. Vet vi t.ex. att objektet är en isolering i yttervägg, men BSAB-kod inte finns i rådatan, kan vi här sätta den.

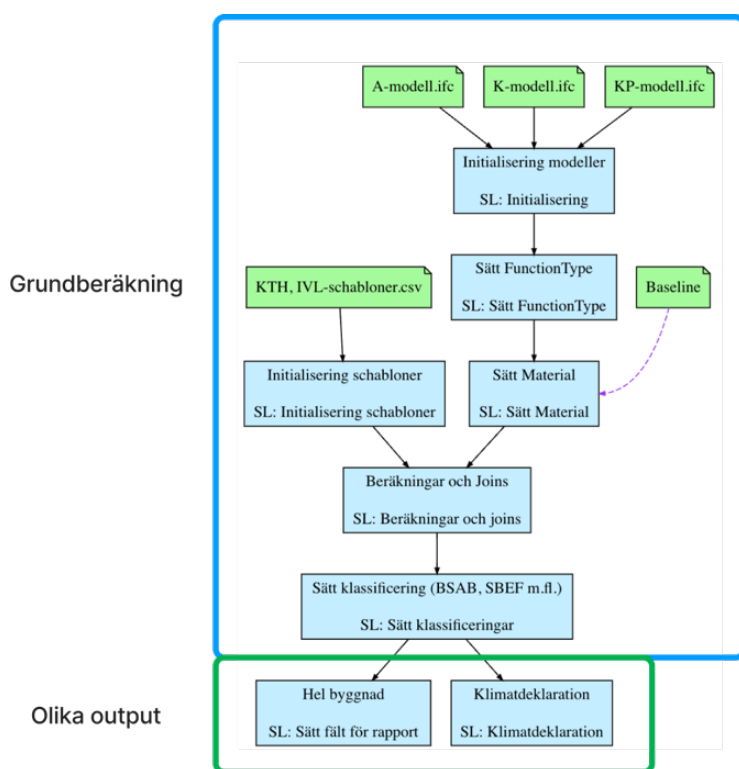
Pipeline 7, 8: Hel byggnad / Klimatdeklaration

- Utdatan för beräkningen. Här kan det vara flera noder beroende på vilka certifieringar projektet är intresserade av.
- Exkludering sker här baserat på scope för beräkning beroende på om exempelvis klimatdeklaration eller hel byggnad ska redovisas. Skärningarna här baseras på klassificeringen av varje objekt som gjorts i pipeline 5.

4.3.1.4 En beräkning, flera output

Ett av kraven på konceptet var att kunna ha ett centralt beräkningsflöde som sedan mynnar ut i flera outputs för att t.ex. stödja flera certifieringar i ett projekt. Klimatdeklaration kräver exempelvis att endast klimatskärm, samtliga bärande konstruktionsdelar samt innerväggar är med i beräkningsresultatet, medan fastighetsbolag normalt vill räkna hel byggnad när byggnaden ska inkluderas i hållbarhetsredovisning. Detta har gjorts möjligt genom att pipelines kan ta andra pipelines som indata. En pipeline kan även ingå i flera andra pipelines.

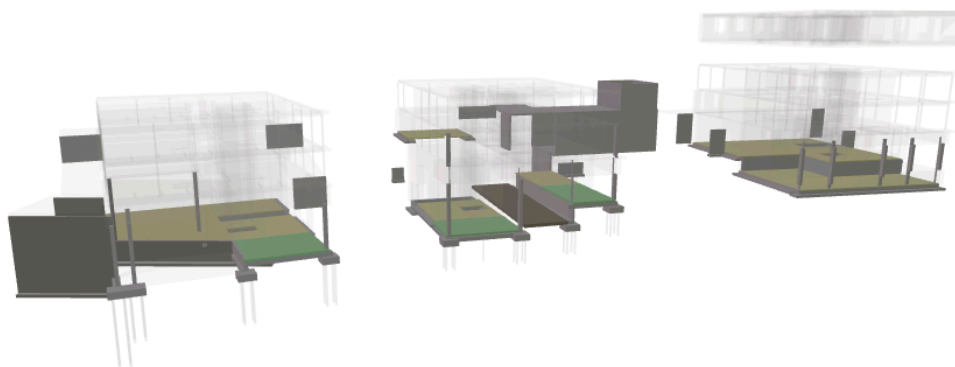
I steglistan för "Klimatdeklaration" ligger steg som väljer att endast inkludera objekt som hör till stommen. I steglistan för "Hel byggnad" inkluderas alla byggnadens delar.



Figur 26: Bilden visar beräkningsflödet med pipelines utvecklat i projektet uppdelat i grundberäkning och outputs.

4.3.1.5 Obrutet informationsflöde

All rådata hålls intakt genom hela pipeline-flödet. Det innebär att informationsflödet behålls obrutet vilket bland annat innebär att den nya information som påförts objekten går att visualisera i modellen. I exemplet nedan från Stadshagen fanns inte information om armering i BIM-objekten. Efter att alla objekt passerat igenom projektets pipeline har information påförts, bland annat emissionsresurser. Detta gör att efter att ha passerat flödet har nu BIM-objekten information om armering och kan visualiseras i modellen.



Figur 27: Bild på BIM-modellen för Stadshagen. Inkluderat är de objekt som antas innehålla armering.

	Material	Dataset	A1_A5PerBTA
<input type="checkbox"/>	Konstruktionsstål, alla sorter, primär råvara (exkl. objektsanpassningar)	K-modell NY	48.949
<input type="checkbox"/>	Innervägg, V	K-modell NY	46.198
<input type="checkbox"/>	Hålbjälklag, HD/F	K-modell NY	40.651
<input type="checkbox"/>	Korslimmat trä, u 12 %, barrträ	K-modell NY	20.391
<input type="checkbox"/>	Balkonger och trappor	K-modell NY	14.614
<input type="checkbox"/>	Sandwichväggar, W	K-modell NY	12.954
<input type="checkbox"/>	Saknar tolkning av material	K-modell NY	7.392
<input type="checkbox"/>	Fabriksbetong, husbyggnad C30/37	K-modell NY	6.73
<input type="checkbox"/>	Stenull, skivor och rullar	K-modell NY	6.357
<input type="checkbox"/>	Uppdaterad Granab subfloor system	K-modell NY	6.14
<input type="checkbox"/>	Gipsskiva, golvs-kiva	K-modell NY	6.069
<input type="checkbox"/>	Spånskiva	K-modell NY	5.76
<input type="checkbox"/>	Gipsskiva, standardskiva	K-modell NY	5.548
<input type="checkbox"/>	Fabriksbetong, husbyggnad C35/45	K-modell NY	5.137
<input type="checkbox"/>	Vägg/Ytterskiva	K-modell NY	4.661
<input type="checkbox"/>	Granab subfloor system Steel - Bygg och Miljöteknik GRANAB AB	K-modell NY	4.215
<input type="checkbox"/>	Glasull, fasadskivor	K-modell NY	4.092
<input type="checkbox"/>	Prefabricerad armerat betongelement, övrigt	K-modell NY	3.278
<input type="checkbox"/>	Lättreglar av stål, primär	K-modell NY	3.234
<input checked="" type="checkbox"/>	Armeringsstål, obearbetad, 100 % skrotbaserad exkl legering	K-modell NY	2.823
<input type="checkbox"/>	Stenull, markskiva	K-modell NY	1.341

Figur 28: Skärmbild från plant som visar materialen, dataset den är kopplad till och deras klimatpåverkan, från projektet Stadshagen. Armering är vald, vilket är det som visas i modellens visualisering.

4.4 AI-baserade metoder för klimatberäkning: Klassificering av byggdelar med maskininlärning

I projektet genomfördes tester med att använda maskininlärning för att automatisera tolkning av BIM-modeller. Testerna är gjorda med Googles "VertexAI AutoML for Table".

4.4.1 Målsättning

Målet var att skapa en maskininlärnings-modell (ML) som automatiskt kan avgöra parametern Function Type för objekten i en BIM-modell.

4.4.2 Träningsdata

Träningsdatan för ML-modellen skapades genom att använda rådata och den granskade Function Type parametern för objekt i totalt 48 projekt som beräknats i Plant med hjälp av regler under perioden 2021-09-01 – 2023-03-01. I dessa projekt har regler skrivits för att sätta Function Type. De kolumner som användes i regler nyttjades för att avgöra vilka parametrar som är relevanta på BIM-modellernas objekt. Att bara använda dessa parametrar vid träning borde hjälpa modellen då den inte behöver avgöra relevanta parametrar själv. Parametrar som var tomma i över 99% av objekten ansågs inte vara relevanta och togs också bort.

Den slutgiltiga listan med informationsbärande parametrar är följande.

- BIMEntity
- BIMLayer
- BIMName
- BIMType
- BIMTypeName
- BuildingElementName
- dataset_name
- FunctionType
- BIP_TypeID
- Ifc_Material_Layer_Set_Usage_LayerSetName
- Ifc_Presentation_Layer_Assignment_id
- Plant_Center_elevation
- Plant_StoreyName
- QuantityTakeOff_Reference
- WallCommon_Reference

Alla data laddades upp till en BigQuery-instans på Google. Detta användes sedan som dataset av Vertex AI.

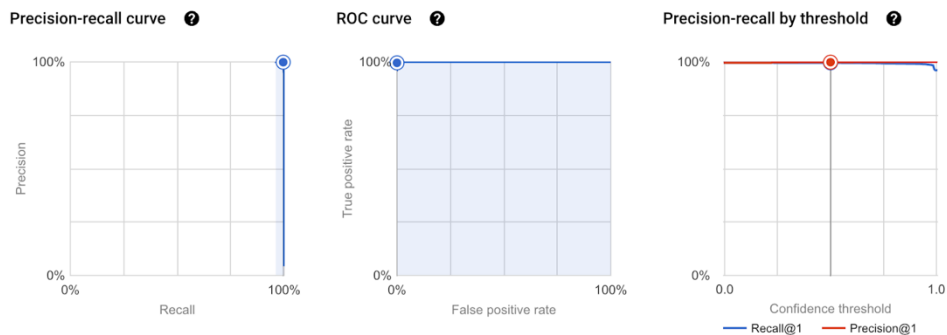
4.4.3 Träning av modellen

Modellen tränades med så kallad log-loss optimering, och 80-10-10 split mellan träning-, validering- och testdata. Träningen tog totalt 2 timmar. Resultatet från testerna visade sig vara mycket lovande.

All labels

PR AUC ?	1
ROC AUC ?	1
Log loss ?	0.015
F1 score ?	0.99712306
Precision ?	99.9%
Recall ?	99.6%
Created	May 5, 2023, 5:09:04 PM

To evaluate your model, set the **confidence threshold** to see how precision and recall are affected. The best confidence threshold depends on your use case. Read some [example scenarios](#) to learn how evaluation metrics can be used.



Figur 29: Träningsresultat för modellen.

Träningsresultatet indikerar på att modellen borde prestera mycket väl. Precision beskriver andelen positiva klassificeringar som är korrekta. Det vill säga att hög precision betyder att istället för att modellen gissar på en Function Type bara för att ha ett svar så säger den att den inte vet. Precision är viktigt för att kunna lita på modellens klassificeringar.

Recall beskriver vilken andel av Function Types som var klassificerade korrekt. Dvs hur många svar gav modellen.

Både recall och precision är i bästa fall höga men precision är viktigare då det är mer viktigare att modellen inte ljuger bara för att ha ett svar.

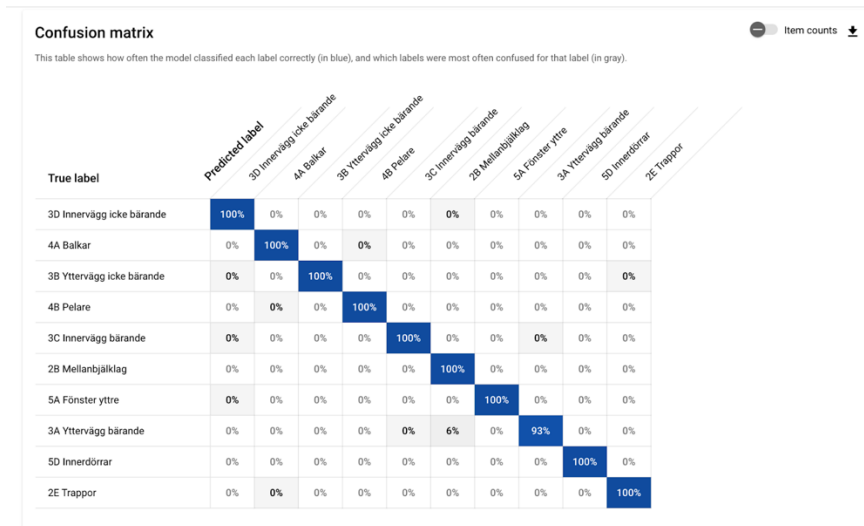
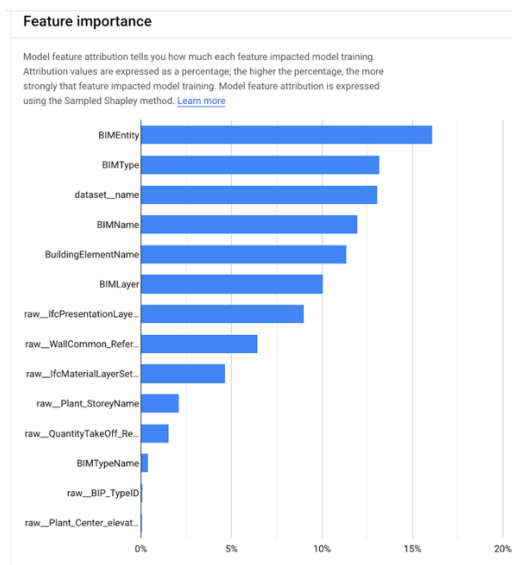


Figure 29.A: Konfusions matris för modellen visar risken för att modellen blandar ihop olika FunctionTypes.

Anmärkningsvärt är att confusion matrisen i Figur 29.A visar att modellen är kompetent på att särskilja Function Types, men har en tendens att blanda ihop bärande ytterväggar med mellanbjälklag.



Figur 30: Diagrammet visar vilka parametrar som viktigast när modellen skulle avgöra Function Types.

Exempel på värden i de fyra parametrar som modellen avgjorde som viktigast:

BIMEntity: IfcWall, IfcSlab, IfcRoof, IfcBeam, IfcColumn, m.fl.

BIMType: IfcWallType, IfcSlabType, IfcBeamType, m.fl.

Dataset_name: K20-V001, A-40-V-1000, m.fl.

BIMName: Foundation Slab:120 grundplatta, Basic Roof:Tak sedum, Basic Wall:V6, m.fl.

4.4.4 Resultat

Modellen utvärderades sedan genom att testa ML-modellen i ett projekt som inte inkluderats i träningsdatan. Function Type som experter satt i regler jämfördes med Function Type ML-modellen föreslog.

Tabell 3: Tabellen visar antalet korrekta gissningar ML-modellen producerade

Function Type	Korrekt	Antal objekt, korrekt	Antal objekt, total	Konfidens
4A Balkar	100,0%	615	615	100%
4B Pelare	100,0%	145	145	100%
5A Fönster yttre	99,6%	1 051	1055	100%
2E Trappor	100,0%	1	1	99%
1B Grund övrigt	95,7%	135	141	96%
2B Mellanbjälklag	100,0%	51	51	93%
3D Innervägg icke-bärande	100,0%	647	647	91%
3C Innervägg bärande	100,0%	51	51	89%
5C Ytterdörr	100,0%	37	37	82%
2A Grundplattor	14,3%	1	7	77%
3B Yttervägg icke-bärande	81,3%	65	80	74%
5C Ytterdörr	100,0%	37	37	63%
Objekt där ML klassat fel	0,0%	0	965	75%
Summa	74,0%	2836	3832	

Det tog 12 minuter för modellen att sätta Function Type för 3832 objekt via Batch Prediction i VertexAI. Modellens gissningar jämfördes mot vad en expert satt för Function Type. I Tabell 3 avläses att modellen lyckades få rätt resultat på 74% av objekten, 2836 objekt. Korrekta resultat hade i snitt en konfidens på 96%. Totalt gissade modellen fel på 965 objekt. Inkorrekta resultat hade i snitt en konfidens på 75%.

Tabell 4: Tabellen visar antalet felaktiga gissningar ML-modellen producerade, samt vilken Function Type experterna valt

Function Type, satt av expert	Function Type, satt av ML	Inkorrekt	Konfidens	Antal obj. fel
1A Pälär	4B Pelare	100,0%	100%	330
2C Yttertak	2E Trappor	100,0%	85%	7
2A Grundplattor	1B Grund övrigt	85,7%	83%	7
3A Yttervägg bärande	3C Innervägg bärande	100,0%	78%	48
2D Balkonger	2E Trappor	100,0%	78%	10
5D Innerdörr	5C Ytterdörr	100,0%	68%	415
3B Yttervägg icke-bärande	3D Innervägg icke-bärande	18,8%	63%	80
2C Yttertak	2B Mellanbjälklag	100,0%	62%	6
1B Grund övrigt	2B Mellanbjälklag	4,3%	44%	141
5A Fönster yttre	2C Yttertak	0,4%	40%	1055
5B Fönster inre	3B Yttervägg icke-bärande	100,0%	36%	53
5D Innerdörr	2C Yttertak	100,0%	30%	60
5B Fönster inre	3C Innervägg bärande	100,0%	26%	5

När man tittar närmare på resultatet i Tabell 3 och 4 så blir det tydligt att det finns vissa felaktiga klassificeringar som har väldigt hög konfidens och även vissa korrekta som har låg konfidens.

En stor del av de bärande delarna i byggnaden har ML-modellen producerat korrekta gissningar på. Balkar, pelare, mellanbjälklag, bärande innerväggar har alla fått korrekt klassning. Modellen har bland annat tolkat pålar i modellen som pelare, samt innerdörrar som ytterdörrar. En stor andel av grundplattan har även blivit klassad som grund övrigt (grupp för kantbalkar, pål plintar etc.). Den grupp som flest objekt fått en felaktig klassning är för fönster yttre (1055 st objekt), där ML-modellen tolkat dessa som yttertak.

Sammanfattningsvis visar testet på mycket lovande resultat samtidigt som det finns vissa kritiska problem. Se "Slutsatser och diskussion" för ytterligare resonemang kring resultatet.

4.5 Kunskapsportalen samt stora språkmodeller som stöd vid klimatberäkning

En av målsättningarna i projektet var att skriva artiklar kopplade till klimatberäkning från BIM-modeller. Under projektets gång framgick det att flera av de experter som var tilltänkta som medförfattare inte längre hade möjlighet att ställa upp. Under denna fas hade just Chat GPT fått sitt stora genomslag och många diskussioner inom projektet cirkulerade kring denna nya teknik. Diskussion fördes inom projektet om hur artiklarna bäst skulle hanteras och valet gjordes att i stället för att skriva och dela artiklar, ta fram en kunskapsportal för LCA och klimatberäkningar med hjälp av stora språkmodeller (LLMs) och Chat GPT.

Under projektet byggdes en prototyp med hjälp av OpenAI Chat GPT 3, samt OpenAI Chat GPT 4 i ett senare skede. Grundidén var att kunna ställa frågor kring klimatoptimering till en språkmodell som använder inlästa dokument för klimatneutralt byggande som underlag för att svara på frågorna.

Dokument laddades in i språkmodellen och delades upp i paragrafer. Dessa paragrafer tokeniseras och indexerades i en vektor-databas. När en fråga ställs tokeniseras frågan och verktyget söker upp dem paragraferna i vektor databasen i ökande distans, med dem paragraferna som ligger närmast frågan först. Dessa paragrafer har mest relevans för frågan. Sedan skickas både paragraferna med relevant information och frågan till Chat GPT, som ska svara på frågan givet informationen i dem givna paragraferna. Rent tekniskt användes Chat GPT:s kontextmekanism under testet.

Frågor kunde sedan ställas till prototypen. Några exempel presenteras nedan, med fråga som skickas in i prompt och det svar som genererats av språkmodellen:

Fråga 1: "Vi vill bygga en klimatsmart skola och väger mellan att välja betong eller trä. Vad är viktigt att tänka på?"

Svar på fråga 1 genererat av språkmodellen: "Det är viktigt att optimera materialval från klimat- och resurssynpunkt, att välja rätt material för rätt tillämpningar och använda material med lång livslängd. Studier har visat att klimatpåverkan från ett hus med yttervägg och stomme av korslimmat trä är lägre än när betong används i ytterväggen och stommen. Det är dock viktigt att inte enbart fokusera på klimatpåverkan, utan även beakta tekniska och funktionsmässiga egenskaper, såsom brand, fukt, effektreduktion och ekonomi. Slutligen är det viktigt att minska energianvändningen vid planering av byggnaden och överväga hur översikts- och detaljplanering kan påverka klimatpåverkan, till exempel genom att sätta förutsättningar för markarbeten och transporter."

Fråga 2: "Är det sant att betong binder CO2? Och isåfall hur stor påverkan har det inom klimatsmart byggande?"

Svar på fråga 2 genererat av språkmodellen: "Ja, det är sant att betong binder CO2 genom en process som kallas karbonatisering. Betong har förmågan att reagera kemiskt med CO2 i luften och binda den i betongstrukturen. Storleken av karbonatiseringen är beroende av flera faktorer, som tidsperiod och betongkonstruktionens exponering för luft. Angående betydelsen av karbonatisering i klimatsmart byggande finns det varierande åsikter. Vissa studier anser att karbonatiseringens betydelse är liten i sammanhanget, medan andra pekar på högre karbonatisering. Det är dock viktigt att notera att karbonatiseringen endast kan kompensera för en del av betongens totala klimatpåverkan. För att minska betongens klimatpåverkan ytterligare kan man använda alternativa bindemedel, minska mängden betong i byggdelar eller använda mer klimatförbättrad betong."

I avsnittet "Slutsatser och diskussion" presenteras projektets insikter från arbetet med prototypen.

4.6 Beräkning av täckningsgrad vid BIM-modeller

Täckningsgraden är ett mått på hur stor del av byggnadens klimatpåverkan som kunnat beräknas inom en vald byggdelsomfattning. Utifrån den görs en uppräknings av klimatpåverkan för att beräkningen ska spegla 100 procent av klimatpåverkan från de byggprodukter som omfattas. Att bedöma täckningsgraden och kompensera för denna är viktigt både för att återge en så heltäckande bild som möjligt av klimatpåverkan och för att möjliggöra en rättvis jämförelse mellan olika beräkningar.

Det vanligaste sättet hittills att beräkna täckningsgraden är utifrån en kostnadskalkyl vilken antas omfatta samtliga kostnader för byggprodukterna i byggnaden. Täckningsgraden är summan av materialkostnaden för alla byggprodukter som kunnat beräknas dividerat med den totala materialkostnaden för alla byggprodukter som ingår i omfattningen. För att korrekt beräkna täckningsgraden måste alltså alla andra typer av kostnader sorteras bort (exempelvis arbetskostnader) och för

underentreprenadsposter som oftast endast ger en total kostnad måste antaganden göras kring hur stor del av kostnaden som är materialkostnad. Täckningsgraden kan också beräknas utifrån vikt men denna metod används mer sällan då en vanlig orsak till att poster från kalkylen inte kan beräknas är för att de är svåra att mäta.

Ovanstående metod fungerar dock inte när underlaget för klimatberäkningen i huvudsak är BIM-modeller istället för en kostnads kalkyl. Detta eftersom kostnader inte finns att tillgå samt att byggdelar kan saknas i modellerna beroende på syftet med modellerna och skedet på projekteringen. För att hantera frågan och uppnå det viktiga övergripande syftet att spegla 100 procent av klimatpåverkan så behövs nya metoder för BIM-baserade beräkningar.

Inom ramen för projektet har det inte funnits möjlighet att arbeta med frågan i någon större utsträckning men Plant har påbörjat utvecklingen av en metod vid sidan av. Denna har också succesivt applicerats i projektets fallstudier allteftersom den kommit på plats. Eftersom frågan är viktig för utvecklingen av BIM-baserade klimatberäkningar så presenteras Plants ändå i rapporten för att ge en startpunkt att diskutera vidare utifrån. Utifrån vår vetenskap finns ingen annan officiell metod för att hantera täckningsgrad från BIM-modeller förutom den LFM30 presenterade i den förra versionen av sitt metoddokument för klimatbudgetberäkningar på projektnivå (i den nya versionen är kommentaren kring hanteringen av BIM-baserade beräkningar borttagen (LFM30 ,2022)).

Plants metod för att hantera täckningsgradsfrågan är att ta fram erfarenhetsvärden för klimatpåverkan från byggdelar som ofta saknas i modellerna eller som är svåra att beräkna för att genom tillägg av dessa kunna räkna upp klimatpåverkan till att omfatta 100 procent av den valda byggdelsomfattningen. Hittills har erfarenhetsvärden tagits fram för exempelvis grundfundament, fogbetong, ihopfästning av prefabelement och fackverk. Erfarenhetsvärdena tas fram utifrån projekt där bra underlag för dessa delar funnits att tillgå och kan baseras på exempelvis BTA. Erfarenhetsvärdena är inte en klimatpåverkan så som exempelvis de installationsschabloner som finns i branschen utan materialmängder (exempelvis volym fabriksbetong) för att det ska vara möjligt att förstå antagandena bakom dessa och jobba vidare med även dessa byggdelar i alternativstudier eller liknande.

De framtagna erfarenhetsvärdena adderas till de beräkningar där de är relevanta (utifrån stomsystem eller liknande) och projektspecifikt underlag saknas. Denna metodik är dock under utveckling och vår bedömning är att vi i dagsläget saknar erfarenhetsvärden för byggdelar motsvarande 5 % av byggnadens klimatpåverkan exklusive de delar som vanligen beräknas genom branschschabloner (installationer, inredning, ytskikt och markarbete). Denna bedömning har gjorts genom att Plant för ett antal projekt även har tittat på deras kostnads kalkyler och där identifierat hur stor andel av kostnaderna som de produkter som omfattas av Plants ordinarie beräkning står för. Plant har på så sätt etablerat en rutin för vilka byggprodukter som alltid ska ha beräknats för att uppnå en täckningsgrad på 95 % utifrån vilken en sista uppräknings görs.

I sena skeden när det finns tillgång till BIM-modeller från flera discipliner (oftast från både arkitekt, konstruktör och stomleverantör), detaljerade ritningsunderlag samt ibland även verifierade inköpta mängder så nås nästan alltid 95 % genom

projektspecifikt underlag. I tidiga skeden däremot är det vanligt att några av de erfarenhetsvärden som Plant redan tagit fram (som exempelvis för grundfundament och rumsbildande delar i kontor) behöver användas. I de projekt där det på grund av ovanligt tidigt eller bristfälligt underlag inte är möjligt att nå denna omfattning trots användningen av erfarenhetsvärden så kan dock täckningsgraden, utifrån vilken en uppräkningsmetod görs, behöva justeras utifrån en projektspecifik bedömning. Nämnas ska också att de delar som räknas med schablon (oftast byggdel 7 och 8 samt markarbete) antas ha full täckningsgrad och ingen uppräkningsmetod görs för dessa.

Plant jobbar för att utveckla fler erfarenhetsvärden så att det på sikt ska vara möjligt att spegla den totala klimatpåverkan genom tillägg av dessa och helt frångå en uppräkningsmetod utifrån täckningsgrad. Vår uppfattning är att det bättre skulle spegla byggnadens påverkan eftersom det nu är ungefär samma byggdelar som behöver kompenseras för vid varje beräkning (exempelvis brand- och ljudtätning, fästen, skruvar, muttrar, vindskivor och plåtdetaljer på tak). För två lika stora byggnader borde dessa rimligtvis stå för ungefär samma påverkan men med en uppräkningsmetod så kan kompensationen bli olika beroende på hur hög klimatpåverkan de beräknade byggdelarna har. Plant jobbar även med hur denna metod ska presenteras på ett lättförståeligt sätt och möta de krav som ställs i branschen.

5 Fallstudier – beskrivning och resultat

Under projektets gång gjordes klimatberäkningar för fyra byggprojekt, för att utvärdera och utveckla den framtagna metoden.

Samtliga projekt beräknades innan pipelines hade kommit på plats, därmed användes regelbaserade metoder. En uppdaterad beräkning gjordes senare av Stadshagen, där pipelines användes. Beräkningar baserades främst på BIM-modeller, samt schablonvärden. Ritningar användes också som stöd under beräkningarna för information om uppbyggnaden av byggdelarna.

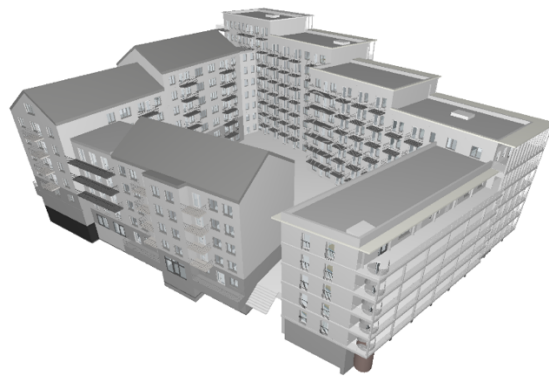
För data på material användes boverkets miljödatas med generiska värden. Klimatpåverkan beräknades för byggskenen A1-A5 för samtliga fallstudier.

5.1 Fallstudie 1 – Östberga

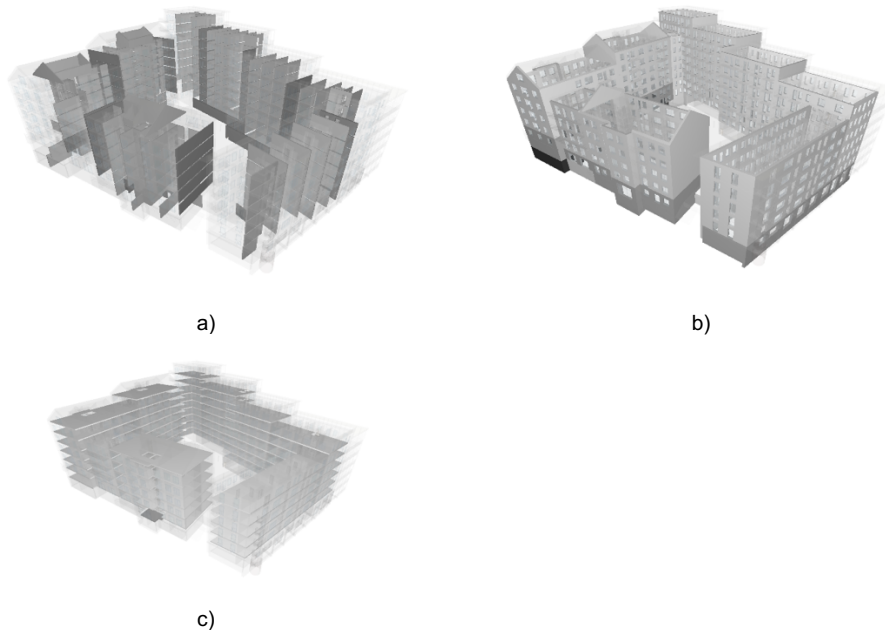
5.1.1 Bakgrund om projektet

Den första klimatberäkningen som gjordes i projektet var Östberga, ett flerbostadshus som har en BTA på 17 928 m². Beräkningen gjordes under våren 2022.

Den bärande stommen i byggnaden består främst av bärande ytter- och innerväggar tillsammans med stombjälklag. Klimatberäkningen på Östberga gjordes på Programhandling.



Figur 31: A-modell som var underlag för beräkningen. På bilden ingår endast de byggdelar som var inkluderade i omfattningen för beräkningen.



Figur 32: a) Bärande Innerväggar b) Bärande yttreväggar c) Stombjälklag

5.1.2 Fallstudiens genomförande

Klimatberäkningen för Östberga baserades främst på en A-modell men kompletterades med schablonvärden där information saknades.

Grundkonstruktionen saknades i modellen och mängderna i beräkningen baserades därför på schablonvärden. Dessutom kompletteras datan för trappor, stombjälklag, isolering i grunden, isolering i innerväggar och rumskompletteringar.

I omfattningen för beräkningen inkluderades byggdelar 2-8 (enligt SBEF). Ej inkluderat i denna beräkning är pålning och markarbete då det saknades schablonvärden för detta när beräkning genomfördes. Dock användes schablonvärden för installationer och energi i byggskede A5 (Bygg- och installationsprocessen). För denna beräkning användes IVLs schablonvärden från 2022. Värden är konservativa och har ett påslag på 25 % gentemot medelvärden (IVL, 2022). I beräkningen saknades hantering av täckningsgrad.

Östberga beräknades med den första iterationen av regelbaserad klimatberäkning, beskriven tidigare i rapporten. Jämfört med senare fallstudier tog uppdatering av regler och att ladda in data betydligt längre tid, vilket gjorde att beräkningsprocessen tog längre tid. Det kunde ta upp till en timma att uppdatera regler i programmet. Detta var trots att beräkningen endast använde en modell och hade färre totala objekt för dataseten jämför med senare fallstudier. Lärdomarna från denna beräkning bidrog till utvecklingen av den andra iterationen.

Tabell 5: Tabellen visar vilka typer av data som användes i projektet, samt hur många rader data och kolumner varje dataset hade.

Datasetnamn	Antal objekt	Antal kolumner	Källa
A-modell	13 858	992	IFC
Inläsningsexcel	8	10	CSV
Schablon installationer	6	7	CSV
Summa	13 872	1 009	

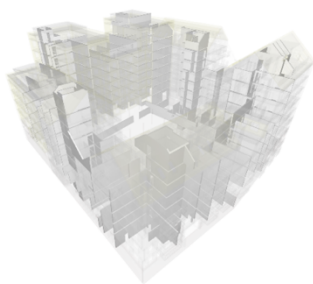
5.2 Fallstudie 2 – Årstaporten

5.2.1 Bakgrund om projektet

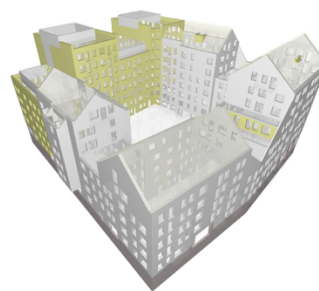
För den andra fallstudien i projektet gjordes en klimatberäkning för Årstaporten. Flerbostadshuset innehåller 200 lägenheter och har en BTA på 16 346 kvm. Byggnadens stomsystem består främst av bärande ytter- och innerväggar samt stommellanbjälklag. Årstaporten beräknades maj/juni 2022 med modeller från programshandling som underlag.



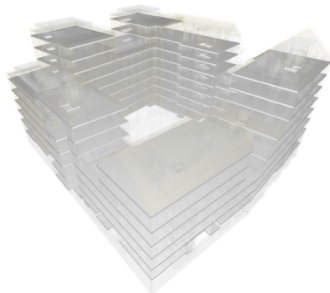
Figur 33: A- och K-modell enligt omfattningen för beräkningen.



a)



b)



c)

Figur 34: a) Bärande innerväggar b) Bärande ytterväggat c) Stombjälklag

5.2.2 Fallstudiens genomförande

Underlaget för beräkningen av Årstaporten var en A-modell och K-modell. Främst användes informationen från A-modellen, men data för pelare, balkar och pålning togs från K-modellen. Informationen i modellen kompletterades med schablonvärden för grundkonstruktion och trappstommen.

Jämfört med beräkningen för Östberga används andra schablonvärden för Årstaportaren och de senare beräkningarna. Schablonvärdena är baserad på KTH:s rapport "Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader" från 2021. Jämfört med värdena använda för beräkningen av Östberga är dess inte konservativa och är därför betydligt lägre.

Likt beräkningen för Östberga inkluderade omfattningen för Årstaporten byggdel 2-8 (enligt SBEF) medans markarbetet inte var inkluderat. Pålningen var dock denna gång beräknad från modell. Schablonvärden användes för energi i A5 byggskede, installationer samt inredning och ytskikt. För Årstaparken antogs täckningsgraden vara 95 % men beräknades manuellt.

Beräkningen genomfördes med den andra iterationen av regelbaserad klimatberäkning, beskriven tidigare i rapporten (se kapitel 4.2.2.2) . Jämfört med den tidigare iterationen kunde denna beräkningen göras på ett mer effektivt sätt, då det gick betydligt snabbare att ladda in data och uppdatera regler.

Tabell 6: Tabellen visar vilka typer av data som användes i projektet, samt hur många rader data och kolumner varje dataset hade.

Datasetnamn	Antal objekt	Antal kolumner	Källa
A-modell	19 827	216	IFC
K-modell	1 686	121	IFC
Schabloner	14	10	CSV
Inläsningsexcel	6	8	CSV
Summa	21 533	355	

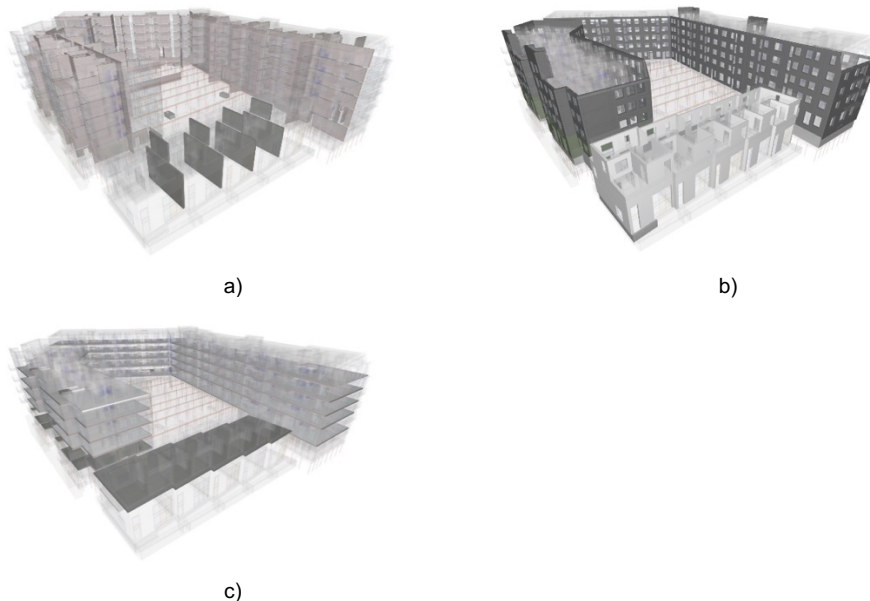
5.3 Fallstudie 3 – Elddonet

5.3.1 Bakgrund om projektet

Elddonet är ett flerbostadshus med en BTA på 16 896 m² fördelat mellan lägenheter och radhus. Lägenhetsbyggnaden består till stor del utav prefabricerade betongelement, medan radhusen är av trä, med undantag för en bottenplatta i betong. För klimatberäkningarna användes bygghandlingar från arkitekt och konstruktör. Beräkningen gjordes i augusti/september 2022.



Figur 35: : Modellerna som är underlag för projektet. Bygghandlingarna inkluderade i bilden är i enlighet med omfattningen "hel byggnad".



Figur 36: a) Bärande innerväggar b) Bärande ytterväggar c) Stombjälklag

5.3.2 Fallstudiens genomförande

Underlaget för beräkningen av Elldonet var en A-modell, K-modell samt modeller för stomme och takkonstruktion. Schablonvärden användes för byggdel 7 och 8 (enligt SBEF), för energi i byggskede A5, markarbete och ihopfästing av prefabelement.

Till beräkningen av Elldonet hade omfattningen "hel byggnad" utvecklats, vilket har blivit en standard för klimatberäkningar med Plant. I omfattningen ingår byggdelar 2-8 (enligt SBEF) samt markarbete. Till denna beräkning hade det utvecklats hantering av täckningsgrad i programmet.

Likt beräkningen för Årstaporten gjordes denna beräkning under den andra iterationen. Tillskillnad från dom andra beräkningarna gjorda under projektet, så hade Elldonet fyra BIM-modeller som del i underlaget och betydligt många fler rader i dataseten. För denna beräkning blev det återigen liknande problem som i beräkningen för Östberga, där det tog lång tid att ladda data och uppdatera regler. Detta informerade utvecklingen av den tredje iterationen för att programmet skulle kunna hantera projekt med denna mängd data.

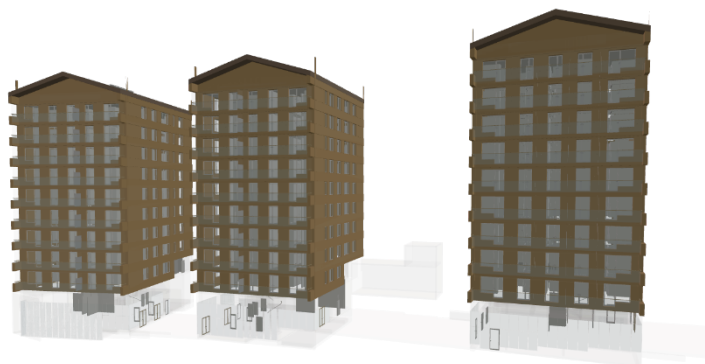
Tabell 7: Tabellen visar vilka typer av data som användes i projektet, samt hur många rader data och kolumner varje dataset hade.

Datasetnamn	Antal objekt	Antal kolumner	Källa
A-modell	17 061	1 138	IFC
K-modell	2 786	137	IFC
Schabloner	19	12	CSV
Stommodell	205 376	114	IFC
Takmodell	8 204	99	IFC
Summa	233 446	1 500	

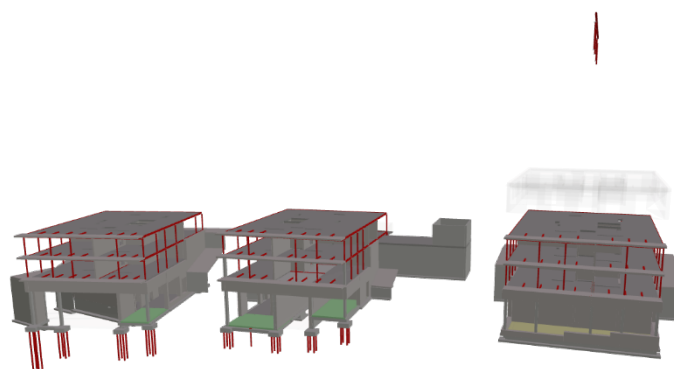
5.4 Fallstudie 4 – Stadshagen

5.4.1 Bakgrund om projektet

Den fjärde fallstudie, Stadshagen, beräknades först liksom andra fallstudierna med regelbaserade metoder. Senare gjordes en uppdaterad beräkning med pipelines. Stadshagen består av tre flerbostadshus med en total BTA på 12 172 m². Klimatberäkningarna på Stadshagen är gjord på programhandling. Den första beräkningen gjordes i november 2022, den uppdaterades gjorde senare i januari 2023.



Figur 37: A-modell för Stadshagen. Byggdelar inkluderade i beräkningen för omfattningen "hel byggnad".



Figur 38: K-modell för Stadshagen. Byggdelar inkluderade i beräkningen för omfattningen "hel byggnad".

5.4.2 Fallstudiens genomförande

Stadshagen beräknades med underlaget A-modell och K-modell. Majoriteten av informationen för beräkningen togs från A-modellen. K-modellen användes för grundläggning, källaren och bärande element främst i de lägre våningarna. Likt för beräkningen av Elldonet så beräknas Stadshagen med omfattningen "hel byggnad". Stadshagen beräknades först med andra iterationen liksom för Årtsaporten och Elldonet. Baserat dels på erfarenheterna från dessa beräkningar utvecklades metoden med pipelines under den tredje iterationen.

Senare gjordes en uppdaterad beräkning av stadshagen där pipelines användes. Denna beräkning gjordes för omfattningen "hel byggnad" och omfattning enligt klimatdeklaration. Metoden använd för den uppdaterade beräkningen för Stadshagen är beskriven tidigare i rapporten (se kapitel 4.3.)

Tabell 8: Tabellen visar vilka typer av data som användes i projektet, samt hur många rader data och kolumner varje dataset hade.

Datasetnamn	Antal objekt	Antal kolumner	Källa
A-modell	20 671	1 005	IFC
K-modell	1 073	433	IFC
Schabloner	22	11	CSV
Summa	21 766	1 449	

6 Slutsats och diskussion

6.1 Regelbaserad klimatberäkning och pipelines

Under projektet har en ny metod undersökts för att skapa ett standardiseringslager mellan BIM-modell och resurssammanställning.

En slutsats som går att dra från resultatet är att det lätt uppstår prestandaproblem vid tekniska implementationer som ska hantera BIM-data. Valet av teknisk arkitektur är därför viktig för att kunna hantera datamängden effektivt. Projektet såg stora prestandaförbättringar när valet gjordes att gå från en lösning med lagring i databas till att beräkningar och frågor istället körs mot filer och i minne.

Testerna av den regelbaserade metoden i fallstudierna och övriga projekt visar på att det är möjligt att använda metoden för projekt i olika skeden samt olika modelltyper. Metoden förfinades succesivt genom tester och iterationer till den slutgiltiga lösningen som projektet benämnt pipelines. Pipeline konceptet fungerade väl för BIM-modeller men kan även användas för att standardisera resurssammanställningar från andra typer av indata. Konceptet bygger på tabulär data och är agnostisk till datatyp. Metoden testades primärt för olika nybyggnationsskeden med gott resultat, men det finns ingenting som hindrar metoden från att fungera för andra typer av byggprojekt, exempelvis ombyggnation och lokalanpassning.

Standardiseringslagret är heller inte starkt knutet till klimatberäkning, det är endast en metod för att standardisera data för byggprocessen. Det innebär att appliceringen av metoden även kan fungera för andra syften så som kostnadskalkylering eller beräkning av andra hållbarhetsindikatorer som biologisk mångfald. Detta skulle kunna utforskas vidare.

Pipeline-konceptet visade sig uppfylla många av de krav som projektet initialt satte upp som vision. En av de starkaste egenskaperna med konceptet är att bibehålla ett obrutet informationsflöde från BIM-modell till LCA-resultat. Detta göra att klimatpåverkan kan visualiseras samt skärningar i modellen göras utifrån den information som modellen berikats med när objekten passerat igenom pipeline-flödet. Då konceptet behåller all rådata intakt, finns också möjlighet att återföra informationen till det system som informationen hämtades ifrån.

I slutfasen av projektet låg exekveringstiden för att bearbeta en modells data på ett fåtal sekunder. Det innebär att beräkningar från en modell kan göras i nära på realtid ifall systemet skulle kopplas mot ett ritprogram. Ett möjligt nästa steg är därför att utforska hur metoden kan användas av arkitekter och konstruktörer för att ge snabbare feedback på klimatpåverkan genom integration mellan pipelines och ritprogram.

En annan insikt är att konfigurationen av standardiseringslagret mellan BIM-modell och resurssammanställning inte är en trivial uppgift. Det är ett komplext flöde som behövs för att korrekt mängda en BIM-modell. Kompetensen för att arbeta med denna typ av standardiseringsmekanismer lutar mer mot BIM- och informationsamordning snarare än LCA-expertis, i alla fall för många delar. För att dessa lager ska fungera väl, krävs det ett samarbete över disciplinerna. I fallstudierna framkom det att det finns många delar som går att återanvända mellan projekt, men varje projekt har även detaljer i sin projektering som gör att det behövs skräddarsydda regler för att göra korrekta antaganden.

Metoden visade sig särskilt kraftfull där modellerna tagits fram av bolag med redan hög grad av standardisering. Standardiseringslagret kunde då anpassas för bolagets inarbetade BIM-policy, vilket ledde till en högre grad av återanvändbarhet av redan skapade regler i flödet.

Initialt var målsättningen enbart fokuserad på att standardisera indata från BIM-modell till resurssammanställning. En annan nytta har visat sig vara att kunna skapa flera olika resurssammanställningar utifrån samma indata för att förenkla processen att ta ut beräkningar för olika certifieringar eller lagkrav, där olika skärningar i datan görs för att inkludera eller exkludera delar som inte ska redovisas. En beräkning kan då enklare användas för flera olika syften. Detta användes bland annat i fallstudien för Stadshagen, där en grundberäkning användes för att ta ut resultat både för hel byggnad och för klimatdeklaration.

6.2 Behov av dialog kring täckningsgrad för BIM-modeller

Begreppet täckningsgrad är väletablerat för klimatberäkningar av byggnader och används i såväl Boverkets handbok för klimatdeklarationer som miljöcertifieringar och olika beräkningsanvisningar. Det finns dock flera exempel på när de krav på täckningsgrad som ställs i exempelvis olika certifieringssystem är traditionellt formulerade och enbart anpassade för kostnadskalkyler. Det behövs en gemensam dialog i branschen kring hur täckningsgradsfrågan ska hanteras för BIM-baserade klimatberäkningar. Vidare bör det även ses över om det finns fall där krav och beräkningsmetoder behöver omformuleras för att öppna upp för de fördelar som finns med att kunna använda BIM-modeller i beräkningarna samtidigt som kvalitet och jämförbarhet mellan beräkningar, som är huvudsyftet med täckningsgraden, upprätthålls.

6.1 Stor potential i maskininlärningsmetoder för klassificering av objekt

Testet med ML-modellen för att klassificera objekt i en BIM-modell visade på mycket lovande resultat samtidigt som det finns vissa kritiska problem.

Att ML-modellen lyckas så pass väl med att klassa bärande delar är viktigt då dessa objekt är de som normalt utgör majoriteten av byggprojekts klimatpåverkan. Många av de objekt där ML-modellen producerat felaktiga klassningar är objekt som är relativt närliggande i information. Exempelvis pålar brukar normalt ritas med samma objektstyp som pelare, vilket kan förklara varför modellen gjort fel på dessa. Samma gäller för bärande innerväggar och bärande ytterväggar. Det är visuellt enkelt att avgöra skillnaden på en yttervägg och en innervägg, men informationen på varje objekt kan ofta vara närliggande mellan dessa objekttyper. ML-modellen har inte tillgång till spatial information, alltså var objekt befinner sig i modellen eller objektens relation till varandra. En ML-modell som även får möjlighet att ta del av den typ av kontext kan sannolikt producera mycket träffsäkert resultat.

Att det är vissa felaktiga klassificeringar som har hög konfidens är problematiskt, då det försvårar arbetet med att hitta objekt som modellen skapat felaktiga klassificeringar för.

Tiden det tog ML-modellen att klassificera samtliga objekt var relativt lång. Den regelbaserade modellen som körts under sista iterationen klarar att bearbeta motsvarande dataset på sekunder/millisekunder jämfört med de 10 minuterna som ML-modellen tar på sig. Det kan leda till att denna typ av ML-modell kan skapa flaskhalsar i informationsflöden.

Träningsresultatet indikerar på att ML-modellen kan ha blivit övertränad. Överträning innebär att ML-modellen fått tränas för mycket och formats för nära träningsdatan, vilket innebär att den presterar väl vid test mot setet av träningsdata men mindre bra i verkligheten. Detta visades sig i testet som gjordes under studien, där den hade långt mycket lägre resultat mot en slumpmässigt vald modell än under träning. Träningsresultatet indikerade på nära perfekta resultat. Fortsatt arbete på ML-modellen skulle därför rikta in sig på att justera på träningsparametrar. Detta skulle förmodligen kunna skapa ännu bättre resultat.

I projektet användes data från 48 st projekt. Tester har inte hunnit göras på hur mängden data påverkar ML-modellens förmåga att lära sig, vilket skulle vara intressant att studera. Dessa typer av maskininlärningsmetoder drivs av indatan. Träning på ett ännu större dataset med hög kvalitet kan förmodligen ytterligare öka modellens förmåga.

En tabell-baserad ML-modell jobbar i stor utsträckning med individuella rader och har ingen förståelse av den totala byggnaden, geometri eller fysisk layout. Nästa steg som vore intressant att utforska vore att använda en ML-modell som kan ha en bättre förståelse av hela byggnaden och geometri osv. Graph Neural Networks (GGN) vore ett intressant nästa steg. Ett GNN stödjer dels parametrar per objekt men även länkar med parametrar mellan objekt. Länkar skulle kunna användas för att ge modellen

information om vinklar mellan objekt, avstånd mellan objekt mm och på det sättet ge en bättre helhetsbild för modellen.

Testet med en klimatsmart språkmodell visar på hur kraftfull Chat GPT är på att producera trovärdiga svar, speciellt när språkmodellen även ges tillgång till relevanta artiklar och dokument i form av ett kontext. Valet gjordes under projektet att endast göra enklare tester och inte göra några fler fördjupade försök, då det framkom att flera andra parallella forskningsprojekt med mer finansiering just påbörjat forskning på området. Bland annat pågår ett forskningsprojekt vid Luleå tekniska universitet som undersöker denna metod i en språkmodell de kallar Chat Con (Bennewitz E, 2023).

En slutsats som drogs var att denna typ av modell är väldigt generell och är förmodligen inte något som måste specialbyggas för livscykelanalys. Den kritiska delen för att få väl informerade svar är att ha en stor mängd bra underlagsdata.

7 Referenser

Bennewitz, E. (2023). Snart kommer ChatCon – en egen Chat GPT för byggbranschen. Byggindustrin, 30 augusti.

<https://www.byggindustrin.se/innovation/digitalisering/snart-kommer-chat-con-en-egen-chat-gpt-for-byggbranschen/>

Boverket (2021a): Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

Hämtad 2024-01-25.

Boverket (2021b): Klimatdeklaration av byggnader.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/>

Hämtad 2024-01-25.

Enligt Nationella Riktlinjer, Livscykelinformation för byggd miljö:

<http://www.nationella-riktlinjer.se>

Hämtad 2024-01-25.

Enligt BIM Alliance Sweden, IFC, Industry Foundation Classes, SS-EN ISO 16739-1:2020:

<https://www.bimalliance.se/for-dig-inom-bygg-och-forvaltning/standarder-for-digital-informationshantering/ifc/>

Hämtad 2024-01-25.

IVL Svenska Miljöinstitutet (2022): 10.Schabloner för vissa byggdelar. IVL, 2 januari 2022.

<https://www.ivl.se/projektwebbar/klimatkrav-till-rimlig-kostnad/anvisningar-lca-berakning-byggprojekt.html>

Jönsson Jan-Anders (2018): Branschgemensam webbtjänst för identifiering och hantering av byggresurser. Utredningsrapport från SBE Livscykelperspektiv, Åkej AB, 28 december 2018.

https://www.smartbuilt.se/library/4638/avrapporering-del-1_3.pdf

LFM30 (2022): LFM30:s Metod Klimatbudget: Kriterier på projektnivå. LFM30, 3 mars 2022. <https://lfm30.se/wp-content/uploads/2022/03/LFM30-Metod-Klimatbudget-Kriterier-Projektniva-v-1.6.pdf>

Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J. & Erlandsson, M. (2021): Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. KTH Royal Institute of Technology, 2021.

<https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1626114/FULLTEXT01.pdf>

Sveder Lundin Jeanette (2019): Digital LCA, Sammanfattning av testpiloternas resultat, Utredningsrapport från SBE Livscykelperspektiv, S-2016-06: Rapport 2, 27 augusti 2019.

https://www.smartbuilt.se/library/5556/sammanfattanden_slutrapport_testpiloter.pdf

Sveder Lundin Jeanette (2020): Digitala miljöberäkningar - komplement och fördjupning, Sammanfattning av ingående delprojekt, Rapport S-2018-02, 15 April 2020.

<https://www.smartbuilt.se/library/5829/slutrapport-digitala-miljoebraekningar.pdf>

Magnus Sahlgren, (2021) "Nu skapas första AI-baserade språkförståelsemodellen för svenska myndigheter", Industripres, 22 Januari.

<http://www.industripres.se/nu-skapas-fa-rsta-ai-baserade-spra-kfa-rsta-elsemodellen-fa-r-svenska-myndigheter>

TrueCADD (2019). Level of Development (LOD). <https://www.truecadd.com/levelof-development-lod.php>

Hämtad 2024-01-25.

8 Bilagor

Projektets organisation beskrivs enligt nedan.

Arbetsgrupp

- John Sjulander (Projektledare), Plant An Idea AB
- Astrid Berglund (Projektledare), Plant An Idea AB
- Tobin Rist (Projektledare), Plant An Idea AB
- Alexandra Buttazzoni, Einar Mattsson
- Carl Kronlid, Uppsala Universitet
- Simon Schneider, Plant An Idea AB
- Johanna Brismark, Plant An Idea AB

Referensgrupp

- Johannes Ris, Byggstyrning i Norden
- Thomas Lindström, Vasakronan
- Kristoffer Rask, Sweco
- Birgitta Erlandsson Segerström, AFA Fastigheter
- Charlotte Urhammar, Einar Mattsson
- Sandra Holmström, Fabege
- Alexander Landborn, LINK arkitektur
- Fredrik Pettersson, Käver & Mellin
- Peter Ylmén, RISE
- Anna Sundbaum, Hemsö
- Anton Hilling, NCC



←
**SMART BUILT
ENVIRONMENT**
→



Med stöd från



Strategiska
innovations-
program