E2B2 - forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende

Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden

Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden

Utvecklad funktionalitet och användning av ett verktyg för klimatkalkyl tidigt i byggprocessen

Rasmus Andersson, Sandra Moberg, Åse Togerö
(IVL Svenska Miljöinstitutet)
Petra Jenning, Simon Kallioinen (FOJAB Arkitekter),
Peter Ylmén, Eva-Lotta Kurkinen, Alexander Gösta
(RISE Research Institutes of Sweden),
Martin Fröderberg, Simon Larsson, Daniel Lauri (Tyréns),
Björn Ekelund, Mohammad Al Hamwi (Warm in the Winter),
Toivo Säwén (Chalmers Tekniska Högskola)

Energimyndighetens projektnummer: P202x-xxxxx

E2B2

Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 21 december 2022

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

Sammanfattning

Byggandets klimatpåverkan behöver minskas genom insatser *tidigt* i byggprocessen. Detta var utgångspunkten i E2B2-projektet *Klimat- och designdriven byggnation* (2020-2022) ("Projekt 1") som lagt grund för detta Projekt 2, *Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden* (2022-2024). Projekt 2 har utvecklat och tillgängliggjort ett verktyg för klimatkalkyl i tidiga byggskeden med grund i prototypverktyget för klimatkalkyl som togs fram i Projekt 1. Verktyget bidrar med möjligheter att beräkna klimatpåverkan för byggnadsalternativ och optimera lösningar innan viktiga förutsättningar hunnit bli bestämda och låsta. Behovet i byggbranschen att stärka dessa möjligheter är fortsatt starkt.

En Konstruktionsmodul (K-modul) till verktyget har utvecklats i projektet för att kunna beräkna materialmängderna för bärande delar med mer precision. En funktion för att beräkna materialpris har också tagits fram. Energinyckeltalet för klimatskalets värmeförluster som utvecklades i Projekt 1 har implementerats i verktyget. Variationsmöjligheter för att beräkna klimatpåverkan har även ökats genom att antalet byggelement kopplade mot klimatdata har utökats. Verktygets förmåga att ge beslutsunderlag har visats genom olika fallstudier och en analys kring osäkerhet och kvalitet samt en kvalitetsrutin kopplat till detta har tagits fram. I slutet av projektet har verktyget tillgängliggjorts utanför projektgruppen via webben; först till en testgrupp och därefter till allmänheten.

Projektet konstaterar bland annat att det behövs avvägningar kring detaljnivå vid beslutsfattande i tidigt skede. Detta gällande hur exakta beslut om byggnaden som behöver ha hunnit tas för att få precisare beräkningar, avvägt mot att beräkningarna ska kunna göras tidigt och ligga till grund för själva besluten. Det finns också ett behov av att inte suboptimera mellan klimatpåverkan av byggskede och driftskede. Risken för det minskas genom att även räkna med energinyckeltalet för klimatskalets värmeförluster. Fallstudierna har visat att effekten på både klimatpåverkan och driftenergi av geometriska val beror mycket på vilka geometriska frihetsgrader som finns i det aktuella skedet. Fallstudierna visar också att K-modulen kan ge en betydande inverkan på materialmängd och resultat av beräkningarna. I en fallstudie där beräkningar gjordes både med och utan K-modulen gav den en cirka 14 % högre klimatpåverkan för byggprojektet än vid de manuella val som gjordes utan K-modulen. Fallstudierna visar också att det är relevant att utvärdera klimatpåverkan tillsammans med pris. Trots att ett val med lägre klimatpåverkan kan innebära högre pris så kan till exempel *klimatvinsten per investerad krona* vara hög när lösningen med lägre klimatpåverkan väljs.

Hur stor klimatnytta verktyget och utvecklingsarbetet kan göra framåt beror på hur olika användare kan implementera det i sin organisation och få en drivkraft kring det. Viktiga aspekter för detta lyftes av testgruppen; bland annat att kunna dela erfarenheter med andra användare, hitta projektformer och bemanning där de som kan använda verktyget faktiskt har möjlighet att göra det. En förvaltning med stöd för detta har inte ingått inom projektet men projektgruppen söker just nu lösningar för det.

Nyckelord: Klimatkalkyl, verktyg, byggprocess, tidigt skede, konstruktion, värmeförluster, pris

Summary

The climate impact of the building sector must decrease through actions *early* in the building process. This was the basis behind the E2B2 project *Klimat- och designdriven byggnation* (2020-2022) ("Project 1") that laid foundation for this Project 2, *Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden* (2022-2024). Project 2 has developed and made available a tool for climate calculation in early building stages based on the prototype tool for this developed in Project 1. The tool contributes with possibilities to calculate climate impact for building alternatives and optimize solutions before vital characteristics have been decided. The need in the building sector to enhance these possibilities is ongoingly strong.

A construction module (K-modul) for the tool has been developed in the project to calculate the material amounts for structural parts with more precision. A function to calculate material price has also been developed. The "Energinyckeltal" (energy key figure) for heat losses through the building envelope that was developed in Project 1 has been implemented in the tool. Variation possibilities to calculate climate impact has also been extended through extension of the amount of building elements that are connected to climate data. The ability of the tool to give decision data has been displayed through different case studies and an analysis on uncertainty and quality as well as a related quality routine has been brought. In the end of the project, the tool has been made available outside the project group via web; firstly to a testing group and then publically.

The project concludes e.g. that balances are needed concerning detail level at decision making in early stages. This concerns how exact decisions on the building solutions that need to have been made to get more precise calculations, balanced against that calculations should be in early stage and lay ground for the decisions themselves. There is also the need to not sub-optimize between climate impact of building stage and operation stage. The risk for that is decreased by also calculating with the "Energinyckeltal" for heat losses through the building envelope. The case studies have shown that the effect on climate impact and operational energy of geometric choices is much dependent on which geometrical degrees of freedom that are left in the project stage. The case studies also show that the "K-modul" can give a significant effect on material amount and results of the calculations. In one case study that was made both with and without the K-modul, a 14 % higher climate impact was calculated for the building project when using the K-modul compared to when using manual choices without the K-modul. The case studies also show that it is relevant to study climate impact together with price (cost). Despite that a choice with lower climate impact could mean a higher price, the *climate benefit per invested amount of money* could be high when choosing the solution with lower climate impact.

Positive effects ahead for the climate due to the tool and the development work is dependent on how different users can implement it in their organization and get a driving force around it. Important aspects for this were raised by the testing group; e.g. being able to share experiences with other users, find formats for projects and staffing where those that can use the tool actually have the possibility to do so. An administrating phase with support for this has not been a part of the project but the project group is currently seeking solutions for that.

Key words: Climate calculation, tool, building process, early stage, construction, heat losses, cost

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 8
1.1 BAKGRUND 8
1.1.1 LÄGESBESKRIVNING - BRANSCHENS ARBETE IDAG MED KLIMATBERÄKNING OCH VERKTYG I TIDIGT SKEDE 9
1.1.2 BAKGRUND OM VERKTYGET LCANT SOM UTVECKLATS VIDARE I PROJEKTET 10
1.2 SYFTE OCH MÅL 12
1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR 12

2 GENOMFÖRANDE 13
2.1 BYGGELEMENTSBIBLIOTEK OCH DATABERÄKNING (AP2) 14
2.2 DIMENSIONERING AV BÄRANDE STOMME (AP3) 14
2.3 PRISBERÄKNING (AP4) 14
2.4 OSÄKERHETS- OCH KVALITETSANALYS (AP5) 15
2.5 FALLSTUDIER OCH TILLGÄNGLIGGÖRANDE (AP6) 15

3 RESULTAT 17
3.1 BYGGELEMENTSBIBLIOTEK OCH DATABERÄKNING (AP2) 17
3.1.1 BERÄKNING AV KLIMATAVTRYCKET 18
3.1.2 ENERGINYCKELTAL FÖR KLIMATSKALETS VÄRMEFÖRLUSTER 19
3.2 DIMENSIONERING AV BÄRANDE STOMME (AP3) 19
3.3 PRISBERÄKNING (AP4) 20
3.4 OSÄKERHETS- OCH KVALITETSANALYS (AP5) 21
3.4.1 KVALITETSRUTIN 21
3.5 FALLSTUDIER (AP6) 22
3.5.1 FLERBOSTADSHUS 23
3.5.2 TÄBY PARK 24
3.5.3 NYTT KVARTER I ÅKERSBERGA 26
3.5.4 SLUTSATSER FRÅN FALLSTUDIER 28
3.6 TESTGRUPPEN OCH TILLGÄNGLIGGÖRANDET (AP6) 29
3.6.1 ERFARENHETSUTBYTE MED TESTGRUPPEN 30
3.6.2 TILLGÅNG TILL VERKTYG 31

4 DISKUSSION 32

5 SLUTSATSER 33

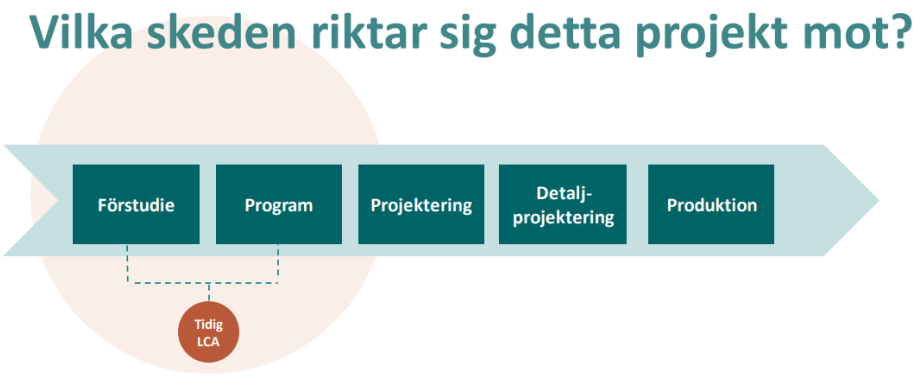
6 PUBLIKATIONSLISTA 34

7 REFERENSER 35

1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

Detta E2B2-projekt, *Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden*, har utvecklat ett verktyg kallat Leaf Cutter Ant (LCAnt) som är till för att kalkylera ett byggprojekts klimatpåverkan tidigt i designprocessen. ”Tidigt i designprocessen” innebär till exempel i förstudie eller i programskede, där krav på byggnaden eller området preciseras. Figur 1 nedan ringar in dessa skeden baserat på en byggprocessbeskrivning från Boverket[1].



Figur 1 Byggprocessbeskrivning med illustration av när tidig livscykelanalys (LCA) genomförs och där Leaf Cutter Ant (LCAnt) kan vara tillämpbart.

Bakgrunden till projektet är prototypverktyget för kalkyl av byggskedets klimatpåverkan som togs fram i ett föregående E2B2-projekt, *Klimat- och designdriven byggnation* (2020-2022)[2]. Det föregående projektet kallar vi i denna rapport ”Projekt 1” och projektet vi avslutar i och med denna slutrapport kallar vi ”Projekt 2”. Prototypverktygets goda potential, de intressanta tillämpningsmöjligheterna som hade visats samt projektgruppens intresse av det fortsatta samarbetet låg till grund för ansökan om Projekt 2.

Projektet har byggt vidare på prototypverktygets webbaserade automatiska koppling mellan programvarorna Rhino (ett skissverktyg i tidiga byggskeden, där programmeringsspråket Grasshopper används) och Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM, ett klimatberäkningsverktyg). Den koppling som redan var framtagen i Projekt 1 har använts vidare. Fokus i projektet har legat på att öka verktygets omfattning, variationsmöjligheter och användarvänlighet.

---

[1] Tillgänglig här: https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/metod_byggande/skeden/. (Boverket, 2021)

[2] Projektsida för *Klimat- och designdriven byggnation*: https://klimatsmartbyggdesign.se/projekt/klimatsmart-byggdesign/klimat--och-designdriven-byggnation.html (Klimat- och designdriven byggnation, 2022)

Som beskrivet redan i Projekt 1 behöver byggandets klimatavtryck minskas genom insatser tidigt i byggprocessen. Det krävs alltjämt bättre förutsättningar att kalkylera klimatpåverkan för olika alternativ och optimera lösningar innan viktiga förutsättningar för ett projekt hunnit bli bestämda och låsta. Hur branschens arbete ser ut just nu och vilka behov att fylla som funnits beskrivs närmare i avsnitt 1.1.1 nedan.

1.1.1 Lägesbeskrivning - Branschens arbete idag med klimatberäkning och verktyg i tidigt skede

Vår utveckling av LCAnt har gjorts medan det även funnits liknande initiativ och lösningar framtagna i olika delar av branschen. Detta har vi konstaterat både inom projektgruppen och referensgruppen. Ett viktigt fokus i diskussionerna har legat på vilken utveckling som är viktig för att LCAnt ska komplettera detta och skilja sig från andra lösningar. Detta beskrivs mer längre ner.

Vår samlade bild är att tillgången till verktyg för klimatkalkyl i tidiga skisskeden är spretig och relativt begränsad. Tekniska lösningar skapas sedan ett tiotal år tillbaka på företagsnivå eller i mindre konstellationer av företag, baserat på de designverktyg och arbetssätt som används där. Vissa öppna ”plug-ins” (eller ”add:ons”) tillgängliggörs offentligt (bland annat finns vissa andra Grasshopper-plugins, och bland annat med kopplingar till klimatberäkningsverktyget One-Click LCA). Inga lösningar eller verktyg kan dock anses ha blivit särskilt brett etablerade. Detta i jämförelse med andra klimatberäkningsverktyg, som oftare används i senare skeden, till exempel Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, OneClick LCA och Prodikt. Dessa är mer etablerade verktyg och leder till mer standardiserade arbetssätt, liknande sätt att utbilda utförare, och så vidare, än vad som finns i tidiga skeden.

Även de osäkerheter som finns kring bygglösningar, exakta materialval, dimensioneringar m.m. i tidiga skeden är något som generellt begränsar hur mycket som görs. Denna gränsdragning mellan hur mycket information som behövs för att kunna ta fram en klimatkalkyl som beslutsunderlag och hur tidigt ett beslutsunderlag behövs är en av de stora balansgångarna.

Annat utvecklingsarbete som pågår är för klimatberäkningar som sker ”senare i tidigt skede” än vad LCAnt är avsett för, till exempel i projekterings- och detaljprojekteringsskede. Här finns bland annat lösningar under utveckling kopplade till BIM och olika 3D-projekteringsverktyg.

Exempel på verktyg och lösningar för tidiga skeden som kan ge spridning kunskapsmässigt finns till exempel inom utbildningar på de tekniska högskolorna. Ett exempel är ett verktyg för livscykel- och byggnadsprestandaanalys utvecklat i Grasshopper och som används inom ramen för utbildning och forskning på Chalmers. Även vissa verktyg och tjänster på den privata marknaden finns. Ett exempel för tidiga skeden och baserat på volymmodell är Swecos Carbon Cost Compass[3].

I den dialog vi haft med branschen uppfattade vi att egenskaper som LCAnt kunde komplettera med jämfört med tidigare nämnda verktyg är bland annat att lägga fokus i Projekt 2 på konstruktion och en förbättrad mängdberäkning i de tidigaste skedena för de bärande delarna (se kapitel 2.2 och 3.2). Det

[3] För ytterligare info, se https://www.sweco.se/transforming-society-together/digitalisering/carbon-cost-compass/. (Sweco, 2025.)

som funnits redan sedan tidigare med resultat i olika möjliga utsläppsnivåer för samma lösning beroende på det exakta materialvalet, ”låg”, ”medel” och ”hög” (se 1.1.2) uppfattar vi också som något eget för verktyget.

Designbranschens (primärt arkitekters) fokus på klimatberäkning i tidigt skede har i allmänhet stärkts kraftigt i takt med att frågan blivit starkare. I initiativ för att minska byggskedets klimatpåverkan och för klimatneutralitet, såsom Lokal Färdplan Malmö 2030 (LFM30) har arkitektkontor, och arkitekter som yrkesgrupp, varit mycket framträdande deltagarorganisationer och utförare av bland annat olika fallstudier[4]. Även initiativ som bland annat uppropet från 2019 av arkitekter för arbete mot minskad klimatpåverkan av byggandet, *Architects declare*, är ett exempel på hur fokuset på klimatpåverkan och klimatberäkningar stärkts inom byggdesignbranschen[5].

I takt med att intresset att genomföra tjänster för klimatberäkningar i tidigt skede ökar finns härmed ett incitament för fler arkitektkontor att stärka komptensen inom till exempel verktyg som Rhino och i Grasshopper-språket.

1.1.2 Bakgrund om verktyget LCAnt som utvecklats vidare i projektet

Prototypversionen av LCAnt som togs fram i Projekt 1 utgör grunden för den vidareutveckling som nu kunnat göras i Projekt 2 och som beskrivs i kapitel 2 nedan. I det här avsnittet beskrivs grundläggande egenskaper för LCAnt som togs fram i Projekt 1. Figur 2 nedan visar logotypen för LCAnt, som också togs fram i Projekt 1.

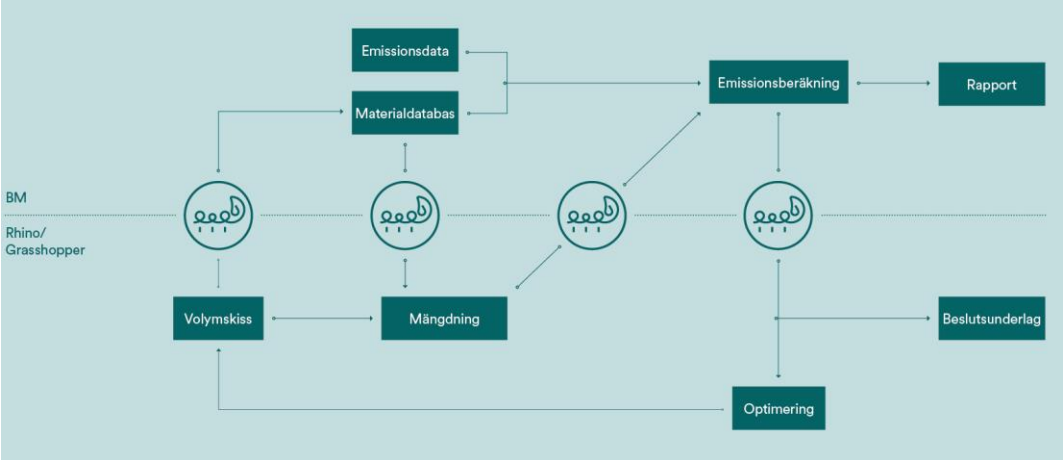
Figur 2 Logotypen för LCAnt.

Datakommunikationslösningen för klimatberäkning i LCAnt, som kopplar samman 3D-modelleringsprogrammet Rhino (med programmeringsspråket Grasshopper) och klimatberäknings-verktyget BM (Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg), togs fram i Projekt 1.

Funktionen möjliggjorde redan i prototypverktyget automatisk klimatkalkyl för tidiga byggskeden baserat på en volymskiss i Rhino. Detta genom en första version av ett bibliotek av generiska byggnadselement (till exempel ett komplett bjälklag eller väggelement) som är kopplade mot klimatdata i BM. Dessa kan väljas till volymmodellens olika byggdelar och ett web-API mellan de två verktygen genererar klimatkalkylen. Utifrån mängderna som volymen innebär samt hur man ändrar volymen ges en automatisk klimatåterkoppling och olika alternativ kan jämföras. Figur 3 nedan illustrerar denna interaktion mellan Rhino/Grasshopper och BM.

[4] Deltagande organisationer i LFM30 här: https://lfm30.se/vi-som-ar-med/ (LFM30, 2025)

[5] Mer info om Architects declare i Sverige här: https://se.architectsdeclare.com/



Figur 3 Övergripande flöde för interaktionen med data mellan Rhino/Grasshopper och BM som togs fram till prototypverktyget.

Byggnadselementen som togs fram och bildade biblioteket av byggelement (”Byggelementsbiblioteket”) är sammansatta av flera material. Exempelvis består ett byggelement såsom en utfackningsvägg med tegel av skikten tegel, luftspalt, isolering, skiva, vindskyddsskiva, isolering/regel (dubbla), plastfolie och gips (se detta exempel i Figur 4 nedan). Byggelementen ingår ihop med ett antal ej sammansatta grundmaterial (ren betong, rent stål m.m.) i den resursdatabas som skapades i första version för prototypverktyget. Varje byggelement skapades i tre varianter med tre olika utsläppsnivåer för klimatpåverkan, enligt låg, medel och hög. Dessa tre representerar samma byggelement har viss variation i materialval.

Byggelement

Bostad, Yttervägg, Specifik
Icke-bärande Tegel (470 mm)
Utsläppsnivå: låg, medel eller hög

Tegel	108 mm
Luftspalt	42 mm
Isolering, skiva	80 mm
Vindskyddsskiva	9 mm
Isolering/regel	170 mm
Plastfolie	
Isolering/regel	45 mm
Gips	13 mm

Figur 4 Exempel ur byggelementsbibioteket på ett byggelement och dess ingående material.

Utöver denna utveckling definierades i Projekt 1 ett Energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster som indikerar hur val som görs i tidiga skeden (rörande byggnadens form och konstruktion) påverkar energiprestandan. Detta baserat på FEBY:s Värmeförlusttal[6] men anpassat för att endast spegla de

[6] Info om FEBY:s värmeförlusttal: https://www.feby.se/V%C3%A4rmef%C3%B6rlusttal

delar av energibehovet som påverkas av byggnadens geometri och klimatskalets prestanda. En metodik för att använda Energinyckeltalet, hitta samband mellan geometri och värmeförluster samt undvika suboptimeringar mellan klimatpåverkan och värmeförluster visades. Energinyckeltalet integrerades dock inte som en komplett funktion i prototypverktyget.

Prototypverktyget fokuserades på hur mycket olika val av design kan påverka ett byggprojekts klimatpåverkan. Detta gav jämförande indikationer på hur klimatpåverkan kan minskas genom att faktorer såsom form, kompakthet, typologier, materialval och sammansättningen av material.

1.2 Syfte och mål

Syftet och målet med projektet har varit att ta vidare prototypverktyget till ett tillgängligt verktyg med nya funktioner, ökad variationsmöjlighet och förbättrad användarvänlighet. Detta har bland annat bestått av:

- En sammanlänkning med konstruktörens arbete, med en funktion i verktyget för mer realistiska materialmängder i bärande delar
- Att integrera även materialpris och energieffektivitet (ett nyckeltal för tidiga skeden baserat på FEBY:s Värmeförlusttal) som beräkningsfunktioner i verktyget
- Att utöka biblioteket av tillgängliga byggelement med klimatdata
- Att genomföra en kvalité- och osäkerhetsanalys
- Att testa verktygets förmåga till att ge beslutsunderlag genom fallstudier
- Att tillgängliggöra verktyget på webben i samband med projektavslutet

Avsikten med detta har varit att skapa förutsättningarna för ett verktyg som är redo för förvaltning över tid, stärka designbranschens arbete med klimatkalkyl i tidiga skeden och uppdragsverksamhet för detta samt att skapa intresse för gemensamt lärande och arbetssätt bland användare.

1.3 Omfattning och avgränsningar

Projektets mål i kapitel 1.2 har satt huvudsakliga avgränsningarna för utvecklingsarbetet i projektet. Ytterligare utvecklingsmöjligheter kan vara mycket aktuella framöver, och hade kunnat vara en del av projektet vid ytterligare tid och budget. Exempel på vad som kan utvecklas ytterligare framöver är funktionalitet för klimateffekter av material och åtgärder som finns mellan byggnader (inom fastigheten/tomten), funktioner anpassade för klimatkalkyl av renoveringsprojekt samt täcka in fler delar av en total byggkostnad utöver vad som görs i materialprisfunktionen (se kapitel 2.3 och 3.3).

Projektet har pågått 2022-2024 och avser att kunna klimatkalkylera för byggprojekt i Sverige (inte utomlands). Funktionaliteterna, utbyggnaden av byggelementsbiblioteket, stödmaterial till användare, m.m. har tagits fram vid olika tillfällen under den här tiden men bedöms alla som fullt aktuella att använda (januari 2025). Verktyget är anpassat efter tidiga skeden av byggprocessen.

Projektet är ett utvecklingsprojekt och avgränsat till att ta fram ett verktyg som är redo att kunna förvaltas och användas, men en förvaltningsfas och finansiering för det har inte ingått i projektet.

2 Genomförande

Vi har genomfört detta projekt i sju arbetspaket (AP1-AP7).

Det har funnits en tydlig förankring mellan alla de olika projektmålen i kapitel 1.2 ovan och något av de olika arbetspaketen:

- Målet med ”Sammanlänkningen med konstruktörens arbete” har vi drivit genom AP3, *Interaktionsfunktion mellan A- och K-modell för generering av stomsystem och dimensioner* (lett av Tyréns)
- Målet med att ”Integrera materialpris” har vi drivit genom AP4, *Integrering av investerings-/kostnadsparameter i arbetssättet* (lett av Warm-in-the-winter)
- Målet med att ”Utöka biblioteket av tillgängliga byggelement med klimatdata” samt att lägga till data för att beräkna energinyckeltalet för de nya byggelementen har vi drivit genom AP2, *Utveckling av metodik samt nuvarande delar av verktyget* (lett av IVL och FOJAB)
- Målet att ”Genomföra en kvalité- och osäkerhetsanalys” har vi drivit genom AP5, *Kvalitetsrutin och osäkerhetsanalys* (lett av RISE)
- Målet att ”Testa verktygets förmåga till att ge beslutsunderlag genom fallstudier” samt att tillgängliggöra verktyget utåt har vi drivit genom AP6, *Fallstudier och tillgängliggörande* (lett av IVL och FOJAB).

Dessa funktionsutvecklande och operativa delar av projektet har vi kompletterat med en *Lägesbeskrivning av branschen och nuvarande verktyg* i AP1 (lett av IVL) samt med *Projektledning, koordinering och kommunikation*, AP7 (lett av IVL). Kommunikationsarbetet har kretsat kring de leveranser och milstolpar som sattes för projektet i ansökan, med fokus på referensgruppsmöten, att anordna kurs/utbildning samt seminarier och konferenser. På de två stora web-seminarier som projektet anordnat har flera hundra branschrepresentanter deltagit.

Nedan beskrivs närmare hur de olika projektdelarna genomfördes:

- Byggelementsbibliotek och databeräkning (AP2)
- Dimensionering av bärande stomme (AP3)
- Prisberäkning (AP4)
- Osäkerhets- och kvalitetsanalys (AP5)
- Fallstudier och tillgängliggörande (AP6)

Resultaten av projektet är till stor del att funktionalitet har utvecklats, att variationsmöjlighet i verktyget ökat och att verktyget testats. Genomförandet och resultatet är därför starkt sammankopplat, och det finns ingen specifik avgränsad metodik i projektet som i ett projekt där en specifik fråga ska besvaras genom till exempel tester eller dataanalys. Genomförande-avsnitten är därför kortfattade. Utveckling och tillvägagångssätt bakom projektets resultat har delvis även behövt beskrivas i resultatkapitlet.

2.1 Byggelementsbibliotek och databeräkning (AP2)

Inom projektet har det byggelementsbibliotek som togs fram i Projekt 1 utökats. Utvecklingen har framförallt inneburit att lägga till fler byggelement för att täcka in fler vanliga typer, täcka in de byggelement som behövts i projektets fallstudier samt att kunna täcka in fler olika stomalternativ (bland annat fler dimensioneringsalternativ). Arbetet har genomförts av LCA-specialister inom bygg och fastighet på IVL, i dialog med övriga i projektgruppen.

Byggelementen är en sammansättning av vanligt förekommande byggmaterial som används i svenska byggprojekt. De är först skapade i Excel och sedan inmatade i BM. Där har generiska klimatdata samt densitet tilldelats respektive resurs i receptet. Klimatdata kommer från svenska och nordiska klimatdatabaser som finns i BM och väljs enligt rangordningen:

1. Boverkets klimatdatabas
2. BM
3. Trafikverket
4. den finska klimatdatabasen

I de fall generiska data inte funnits har miljövarudeklarationer (EPD:er) använts.

Övrig information som saknats i klimatdatabaserna såsom tekniska data, exempelvis densitet, vikt, dimension har inhämtats från produkttillverkare.

2.2 Dimensionering av bärande stomme (AP3)

Arbetet med detta moment har bestått av att utveckla en funktionalitet i LCAnt som stöttar stomdimensioneringen i de tidiga byggskedena utan att ha ett aktivt deltagande av en konstruktör. Detta för att möjliggöra bättre precision i klimatkalkylerna vad gäller mängder och ännu mer informerade beslut hos användaren i de tidiga skedena. Denna funktionalitet har vi valt att kalla för Konstruktionsmodulen (K-modulen). Arbetet har, i dialog med övriga projektgruppen, genomförts av konstruktionsexperter på Tyréns, däribland seniora konstruktörer och ledare för datoriserad modellering inom konstruktionsberäkningar.

Beräkningsmässigt bygger metoden i de flesta fall på regressioner av, i förväg, beräknade dimensioner. Ett antal samband har tagits fram för att kunna användas och svara mot de ändringar designern kan tänkas göra och som bedöms påverka stommen primärt. Huvudfokus för K-modulen har varit att ta fram mängder (t.ex. m^3 betong) istället för dimensioner (t.ex. mm tjocklek på ett bjälklag, vägg eller pelare). Regressionerna innebär att man skapat en graf eller ett samband av ett antal uträknade laster och dimensioner. En dimension och materialmängd kan genom funktionen tas fram för ett flertal olika spännvidder eller laster, d.v.s. anpassas efter volymmodellens geometri och hur användaren ändrar den.

2.3 Prisberäkning (AP4)

För att förbättra beslutsfattande under de tidiga skedena ur fler perspektiv har vi utvecklat en funktionalitet för materialprisberäkningar som gör det möjligt att snabbt uppskatta ekonomiska

konsekvenser av olika designval när det gäller material. Funktionaliteten underlättar jämförelser och avvägningar mellan klimatpåverkan och kostnader för olika material och konstruktioner. Arbetet har, i dialog med övriga projektgruppen, genomförts av arkitekter och forskare inom arkitektur och planering på Warm-in-the-winter.

Eftersom totala effekter på kostnader hade varit för komplext att kunna integrera till verktyget inom projektets ramar har avgränsningar varit en viktig del av arbetsprocessen. I samråd med hela projektgruppen har avgränsningen satts till priser för byggmaterial och stomme. Vi har inte inkluderat övriga kostnader för till exempel badrum, trapphus, el, VVS, kök samt inte heller kostnader som rör byggprocessen.

En av de största utmaningarna med att beräkna byggmaterialkostnader i dagens byggprojekt är de snabba och stora förändringarna i ekonomin som kan ske. En funktion för att hålla prisdata aktuella har därför utvecklats inom projektet utifrån statistiska data från SCB (se vidare i kapitel 3.3).

2.4 Osäkerhets- och kvalitetsanalys (AP5)

I projektet har strategier utforskats för att hantera osäkerheter som finns i de tidiga designfaserna för att ge högre kvalitet på beslutsstöd för att minska klimatpåverkan. Klimatkalkyler med LCAnt i tidiga skeden ger värdefulla insikter om olika designbeslut, men det kan vara svårt att avgöra hur pålitlig en skillnad mellan olika designalternativ faktiskt är. Osäkerheter för beräkningar i LCAnt har även analyserats med hjälp av en fallstudie. Med utgångspunkt i dessa analyser har ett övergripande förslag på kvalitetsrutin tagits fram.

Denna projektdel har en omfattande teoretisk bakgrund och analys baserat på statistisk teori som ges ingående i projektets presentationsrapport *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet*[7] men inte ryms i denna rapport. I denna rapport förklaras vad projektdelen tillfört till projektet samt den kvalitetsrutin som tagits fram, i kapitel 3.4.

2.5 Fallstudier och tillgängliggörande (AP6)

Att testa verktygets olika delar i verkliga ”case” från bygg- och områdesprojekt har varit ett stort fokus i projektet. Detta främst genom projektgruppens tre fallstudier. Testning har också gjorts av externa aktörer i en testgrupp som sattes samman under det sista projektåret. Diskussioner med testgruppen har handlat om hur de kunnat tillämpa verktyget hittills och vilka möjligheter de ser framåt.

Testgruppen har varit ett steg i att tillgängliggöra verktyget, bland annat i och med att en webplattform (på GitHub) för att ta del av verktygsmaterialet och en rutin för att skapa användaruppgifter, ta emot önskemål m.m. tagits fram. I slutet av projektet har verktyget tillgängliggjorts genom samma plattform och rutiner som för testgruppen men öppet för alla. Denna process har genomförts mellan projektgruppen och teamet för Byggsektorns Miljöberäkningsplattform. Se mer om testgruppen i kapitel 3.6.

[7] Tillgänglig via: www.klimatsmartbyggdesign.se. (Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden, 2025.)

Fallstudierna har genomförts vid olika tillfällen under projektet utifrån när funktionaliteterna som behövts i fallstudien blivit redo att använda samt utifrån vilka bygg- och områdesprojekt som varit aktuella under projektets gång. Vi har diskuterat löpande i projektgruppen om vilka fallstudier som är aktuella, och när samt hur de kan komplettera varandra genom att testa olika funktionalitet och täcka in både bygg- och områdesprojekt. Exempelvis gjordes en fallstudie med endast funktionerna klimatkalkyl och energinyckeltalet tidigare i projektet än en annan fallstudie som inkluderade både prisfunktionen och K-modulen. De tre fallstudierna täcker in både ett flerbostadshusprojekt, en del av ett kvarter och ett helt kvarter.

FOJAB och Warm-in-the-winter har valt fallstudier i samråd med projektgruppen samt genomfört beräkningar och tagit fram de resultatunderlag som varit intressanta inom varje bygg- och områdesprojekt. Beskrivningar, resultat och slutsatser av fallstudierna har skrivits och diskuterats i samarbete mellan FOJAB, Warm-in-the-winter och andra i projektgruppen, främst med IVL i samband med slutredovisningen. När vi samordnat hur fallstudierna ska komplettera varandra har vi i vissa fall kompletterat tidigare beräkningar med nya efter att ny funktionalitet blivit redo.

3 Resultat

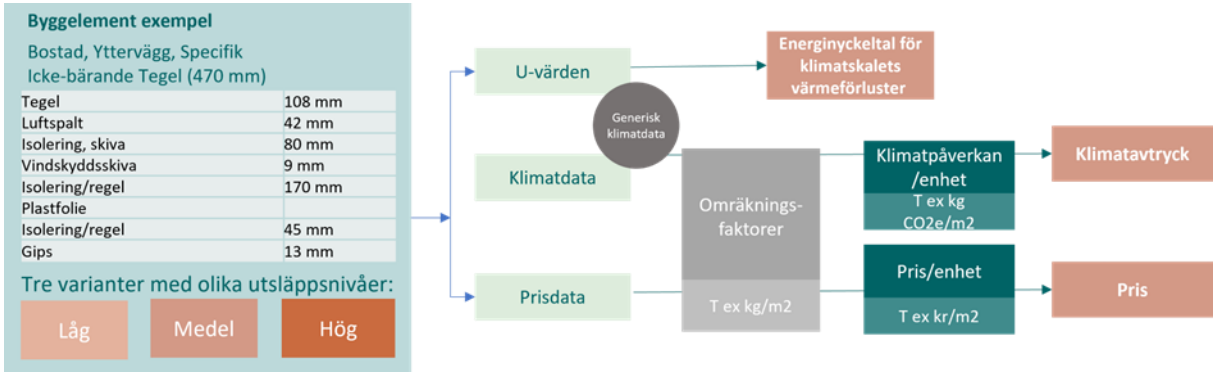
Projektets resultat är i korthet att alla de olika funktionaliteterna från projektets mål har tagits fram och demonstrerats, att byggelementsbiblioteket har utökats, att en kvalité- och osäkerhetsanalys har gjorts, att verktygets förmåga testats genom fallstudier samt att verktyget tillgängliggjorts på webben i samband med projektavslut. Resultaten för varje genomförd del i projektet som beskrevs i kapitel 2.1-2.5 beskrivs i samma följd nedan i kapitel 3.1-3.6 (där fallstudier och tillgängliggörande har delats upp i två delar, kapitel 3.5 och 3.6).

3.1 Byggelementsbibliotek och databeräkning (AP2)

Utvecklingen av Byggelementsbiblioteket som beskrivs i kapitel 2.1 har resulterat i större variation av element, både vad avser byggdelstyper samt dimensioneringsalternativ för de bärande elementen. Exempel på byggelement som har lagts till är:

- Fler typer av ytterväggar (bland annat med putsad fasad)
- Icke-bärande innerväggar
- Fler typer av tak (bland annat sedumtak)
- Fler typer av bjälklag (bland annat terrassbjälklag)
- Dimensioneringsalternativ för bärande ytterväggar och bjälklag i betong samt trä

Varje byggelement är kopplat till U-värden, klimatdata och prisdata som på olika sätt kan nyttjas vid analys av volymmodellen för att bedöma klimat, energi och kostnader. Varje byggelement har även omräkningsfaktor för att omvandla data från kg till den enhet som vi vill modellera i, vilket för byggelementen är m² medan för grundmaterial såsom rent stål eller betong är m³. Klimatdata och prisdata fås därför automatiskt baserat på den yta volymmodellen har. U-värden räknas om till Energinyckeltalet av LCAnt. Både klimatavtrycket och energinyckeltalet beskrivs mer i detalj på de två kommande sidorna. Beräkningen av priser beskrivs mer i kapitel 3.3. Figur 5 nedan beskriver data kopplat till byggelementen.



Figur 5 Exempel på ett byggelement och beskrivning den data som är kopplad till varje byggelement.

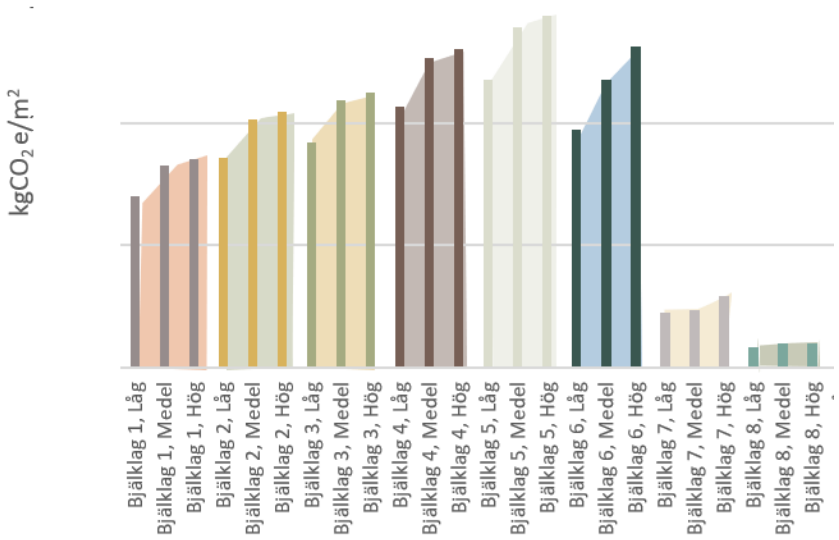
3.1.1 Beräkning av klimatavtrycket

LCAnt beräknar i dagsläget klimatavtrycket för livscykelskede A1-A5.1. A1-A3 (produktskedet), A4 (transport under byggproduktionsskedet) och A5.1 (spill under byggproduktionsskedet) med utgångspunkt i EN15804 / EN15978 / ISO 21930, skedena A1-A5.

Byggelementsbiblioteket inkluderar byggdel 2-7 (enligt SBEF Byggdelstabell) i dagsläget, med olika stor variation för de olika byggdelarna. Omfattningen på själva beräkningen är dock helt upp till den som tar fram modellen och beräkningen. Syftet är oftast att jämföra olika alternativ eller scenerier inom projektet. Jämför man olika stommaterial är en beräkning av stommen tillräcklig. Beräkningarna är i första hand inte tänkta att ha liknande omfattning som en klimatdeklaration exempelvis, men användaren själv kan fylla på med alla byggdelar som önskas, om till exempel en prognos om uppfyllande av ett specifikt målgränsvärde önskas.

Nedan visas exempel på olika bjälklags-byggelement och dess klimatpåverkan per kvadratmeter, se Figur 6. Detta illustrerar dels skillnaden i klimatpåverkan mellan de olika byggelementen, dels bland låg, medel, hög för respektive byggelement. Bjälklag 1-5 är olika dimensioneringsalternativ av håldäcksbjälklag som K-modulen hjälper till att välja bland utifrån volymmodellen, se mer i avsnitt 3.2.

Vid jämförelse av två byggelement med utsläppsnivå medel mot varandra så går det att enkelt se skillnaden i klimatpåverkan, men om man inkluderar låg, medel, hög så är det inte säkert att det längre är tydligt vilket byggelement som ger högst klimatpåverkan. Det innebär att det finns en viss osäkerhet som inte syns om man enbart jämför ett värde per alternativ med varandra. Mer om osäkerheter beskrivs i avsnitt 3.4.



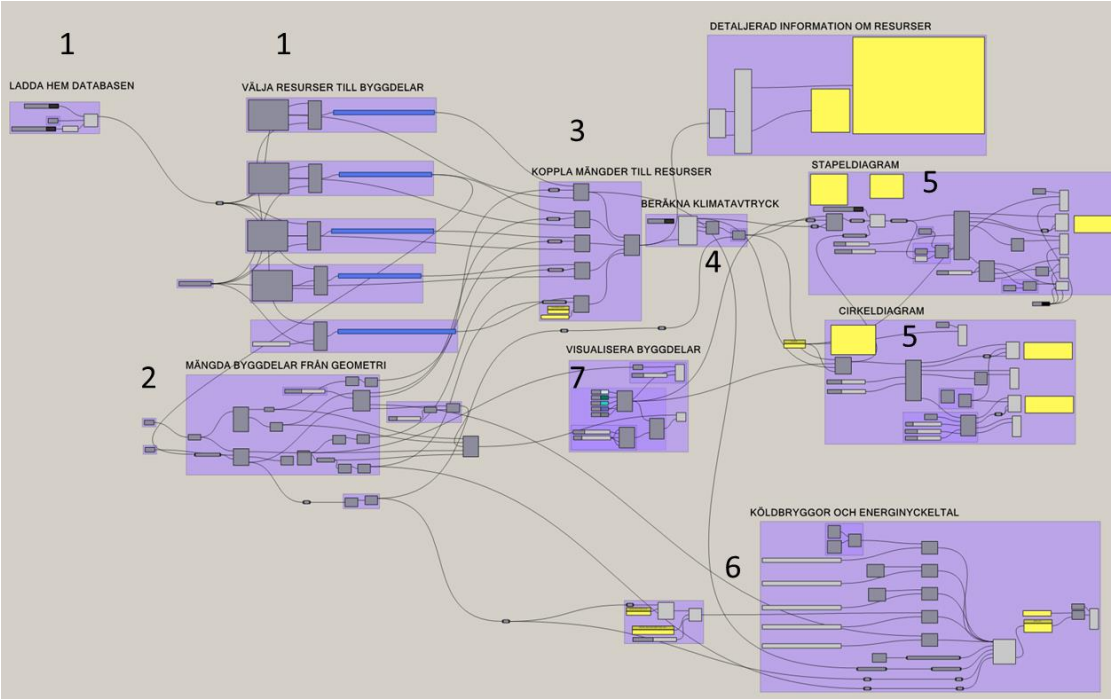
Figur 6 Exempel på klimatpåverkan i kg CO_2e/m^2 byggelement för några bjälklag.

3.1.2 Energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster

Den grundläggande teorin och metodiken bakom Energinyckeltalet togs som tidigare nämnt fram i Projekt 1 och redovisas ingående i projektets slutrapporter[8]. I presentationsrapporten *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet* som tagits fram här i Projekt 2 ges också en närmare överblick av hur den fungerar. För de nya byggelement som klimatdata tagits fram för i Projekt 2 har även de värden som behövs för att beräkna Energinyckeltalet tagits fram.

3.2 Dimensionering av bärande stomme (AP3)

Utvecklingsarbetet vi beskrivit i kapitel 2.2 har resulterat i en K-modul som nu finns tillgänglig att använda ihop med hela LCAnt (mer info i kapitel 3.6). Kommande användning har underlättats genom ett av de olika ”exempelscripten”, där K-modulen har länkats samman med grundfunktionerna och komponenterna för klimatkalkyl i LCAnt. Ett ”script” i LCAnt är den arbetsyta där man genom sammanlänkning av de olika komponenter som tagits fram kan ladda hem resursdatabasen och välja resurser, få fram mängder från byggdelarnas geometri, koppla mängderna till resurserna och beräkna klimatavtrycket (samt andra mätetal beroende på vad som ingår i det aktuella scriptet) (se Figur 7).



Figur 7 Ett av exempelscripten från LCAnt.

[8] Tillgängliga här: https://klimatsmartbyggdesign.se/projekt/klimatsmart-byggdesign/klimat--och-designdriven-byggnation.html (Klimat- och designdriven byggnation, 2022)

I dagsläget är det ett reducerat antal av resursdatabasens material och byggelement som tagits fram för den framtagna versionen av K-modulen. På sikt kan det utvecklas för att ta fram fler resurser för till exempel träbyggnad eller väggar. Den version som tillgängliggörs genom projektet ska därmed ses som ett proof-of-concept för metoden.

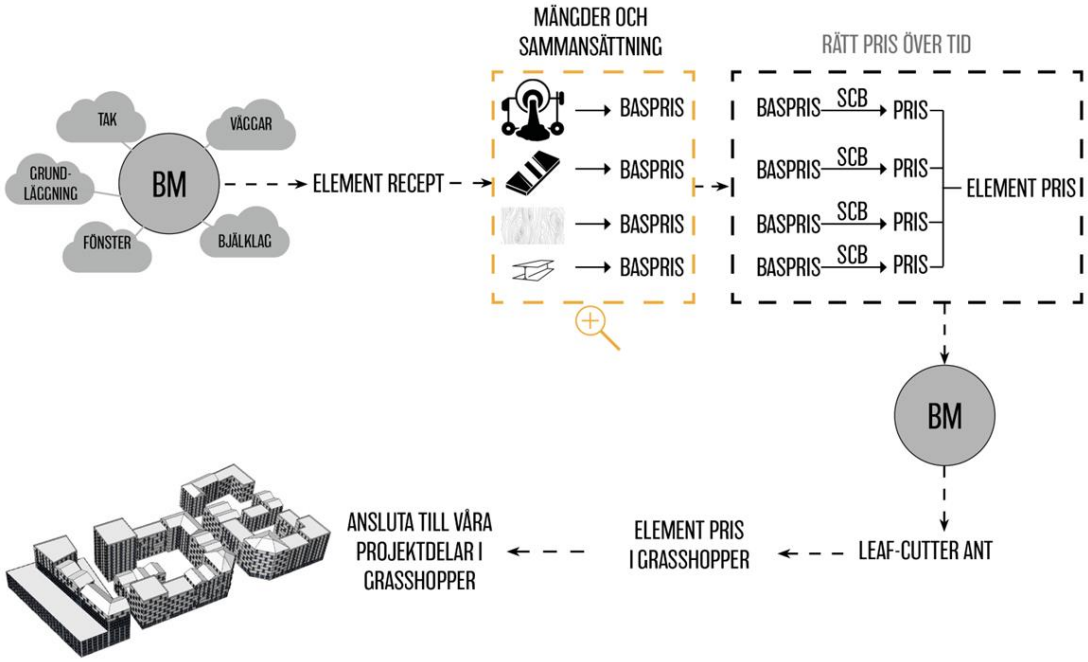
Projektet har gett exempel på vilka konkreta resultat K-modulen kan innebära för en klimatkalkyl och en materialpriskalkyl genom att den ändrar de mängder som tidigare manuella val av bärande delar i LCAnt hade gett. Detta beskrivs i en av fallstudierna i kapitel 3.5.

3.3 Prisberäkning (AP4)

Utvecklingsarbetet som beskrevs i kapitel 2.3 har resulterat i beräkningsfunktionen för kalkyl av materialpris utifrån volymskiss i LCAnt.

Processen för att beräkna priserna på byggnadsmaterial bygger på att vi delat upp byggnadens olika delar och recept för byggelement i sina beståndsdelar, såsom trä, stål eller betong. Priset har därefter beräknats för varje beståndsdel vid en startpunkt baserat på vid tillfället aktuella marknadspriser, ett så kallat baspris.

Materialens baspriser multipliceras med den procentuella prisförändring för aktuell materialtyp som skett jämfört med baspriset och som SCB tillhandahåller genom deras löpande statistik. Denna justering säkerställer att prisberäkningarna har utgångspunkt i de senaste marknadsförhållandena och inflationstakten. Efter att ha applicerat de uppdaterade prisändringarna på varje grundmaterial, summeras dem för att få fram det totala materialpriset för varje byggelement, och vidare det totala materialpriset för byggnaden. En illustration av systemflödet ges i Figur 8 nedan. En diskussion kring denna metodik och annan metodik för prisberäkningar ges i projektets presentationsrapport *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet*.



Figur 8 Illustration av systemflödet för att beräkna baspriser och aktuella priser över tid i Prisfunktionen.

Projektet har gett exempel på vilka konkreta resultat Prisfunktionen kan ta fram och hur de kan användas för jämförelser och avvägningar med klimatpåverkan vid olika alternativ. Detta beskrivs i fallstudierna i kapitel 3.5.

3.4 Osäkerhets- och kvalitetsanalys (AP5)

I detta kapitel presenteras det förslag på kvalitetsrutin som tagits fram med utgångspunkt i projektets osäkerhets- och kvalitetsanalys som finns i sin helhet i presentationsrapporten *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet*.

Analysen och kvalitetsrutinen har tagits fram parallellt med projektets fallstudier och ingår därmed inte i fallstudierna som presenteras i kapitel 3.5. Projektdelen bidrar istället med underlag för hur hantering av osäkerheter i tidiga skeden kan ske framöver.

3.4.1 Kvalitetsrutin

Presentationsrapportens (*Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet)* avsnitt om Osäkerheter och kvalitet förklarar en möjlig hantering av dataosäkerhet och dataprecision för att kunna ta kvalitetssäkrade beslut. Samt hur arbete för att uppnå eller ta hänsyn till det kan se ut i tidigt skede.

En kvalitetsrutin för klimatkalkyl i tidigt skede kan ha olika mål, och kvalitetssäkring eller kvalitetskontroll kan ske på flera olika sätt. Både genom att specifikare beslut för det aktuella projektet tas och ger en signifikant skillnad mellan alternativ eller att en osäkerhet man är medveten om vid beslutstillfället följs upp i senare skeden. Ett sätt att arbeta med erfarenhetsåterkoppling mellan beräkningar med högre säkerhet (i senare skeden) och lägre säkerhet (i tidigare skeden) är oavsett vilket viktigt.

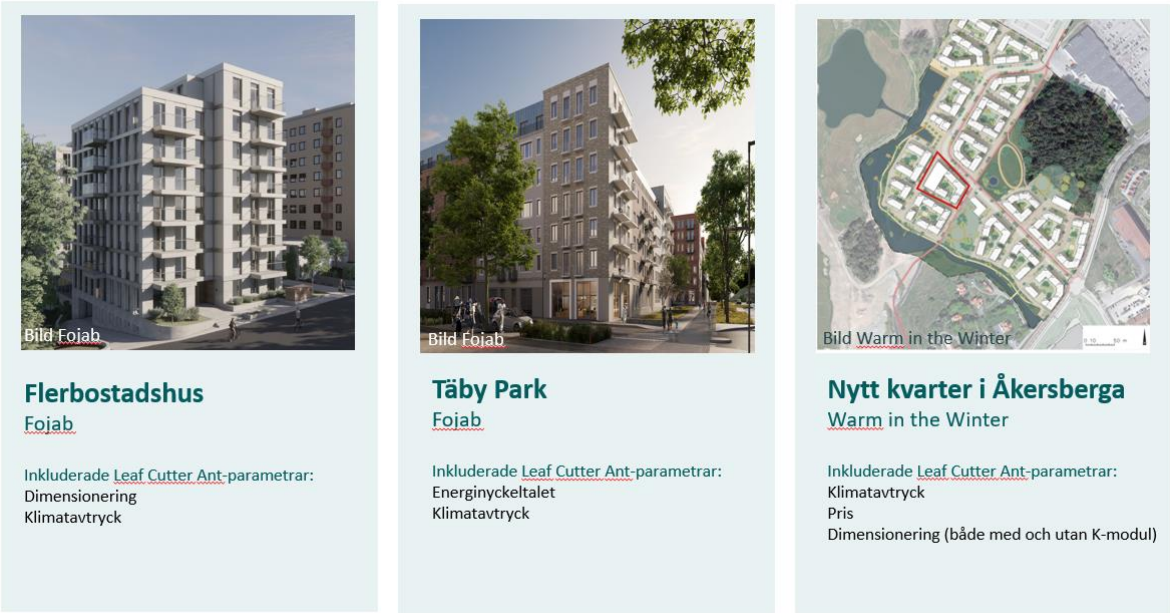
För att värna kvalitet föreslår projektet generellt detta i tidigt skede:

- Använd inte endast ett beräknat värde (det förväntade värdet) som underlag för beslut mellan olika byggnadsalternativ.
- Utred vilka faktorer, såsom mängddata eller LCA-data som troligen är de mest osäkra bakom det förväntade värdet.
- Uppskatta hur mycket resultaten rimligtvis skulle kunna variera uppåt och neråt baserat på de osäkra faktorerna.
- Konstatera om det finns en *signifikant* skillnad eller inte mellan alternativen (d.v.s. om den möjliga resultatvariationen för alternativen överlappar varandra eller inte).
- Överväg om noggrannare beräkningar med standardavvikelse och konfidensintervall kan och bör göras samt om precisare projektbeslut som ökar säkerheten bör tas.
- Överväg hur en osäkerhet vid beslutstillfället kan följas upp. Kan till exempel beräkningar i senare skeden ge lärdomar om den aktuella osäkerheten, verifiera beslutets kvalitet samt öka kvaliteten generellt framöver?

3.5 Fallstudier (AP6)

De tre fallstudierna i projektet har visat vilka olika typer av resultat och beslutsunderlag som verktyget kan ta fram. Fokus i detta avsnitt är inte på att analysera fallstudiernas beräkningsresultat i sig, till exempel vilken geometri och vilka materialval som borde göras enligt resultaten, utan är till för att visa vilka typer av resultat som möjliggörs av verktyget och vad det kan bidra med.

I Figur 9 nedan visas vilka projekt och vilka parametrar (beräkningsfunktioner och resultattyper) som fallstudierna täckt in.



Figur 9 Bygg- och områdesprojekt som ingått i fallstudierna samt vilka parametrar de täckt in.

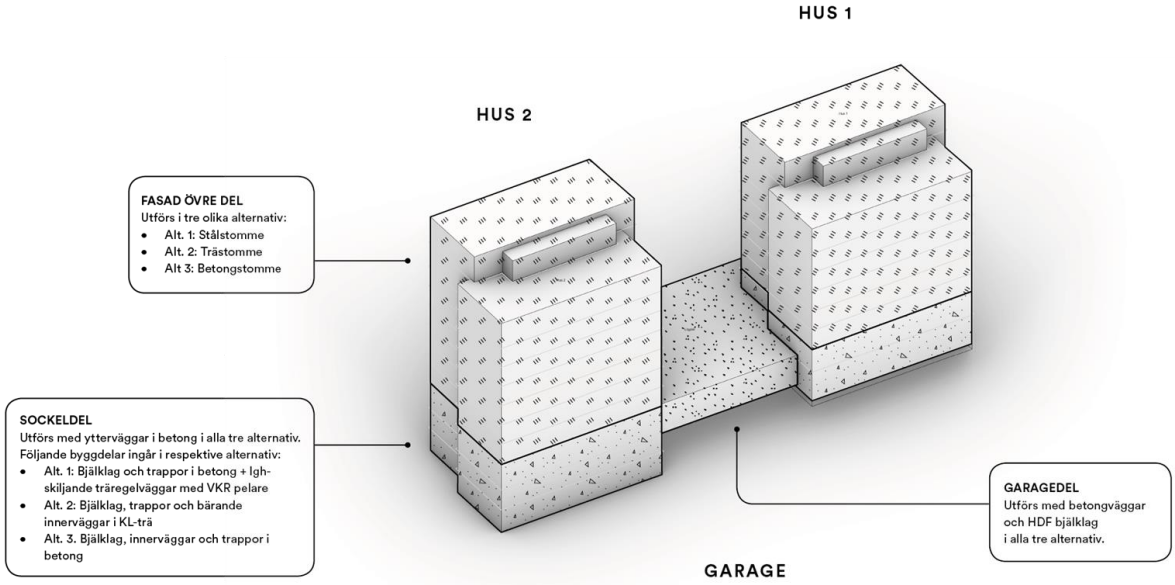
Nedan presenteras resultat från varje fallstudie i korta drag (kap 3.5.1 - 3.5.3) och slutsatser från fallstudierna (kap 3.5.4). En mer omfattande genomgång av resultaten finns i presentationsrapporten *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet*.

3.5.1 Flerbostadshus

Flerbostadshuset består av två byggnadskroppar med en sammanlänkande lågdel. Med hjälp av LCAnt jämfördes fyra stomval:

- Alternativ 1: stål
- Alternativ 2: trä
- Alternativ 3: betong
- Alternativ 3b: *klimatförbättrad* betong.

Huvudsakliga materialval i byggnadens olika delar för de olika alternativen visas i Figur 10 nedan.



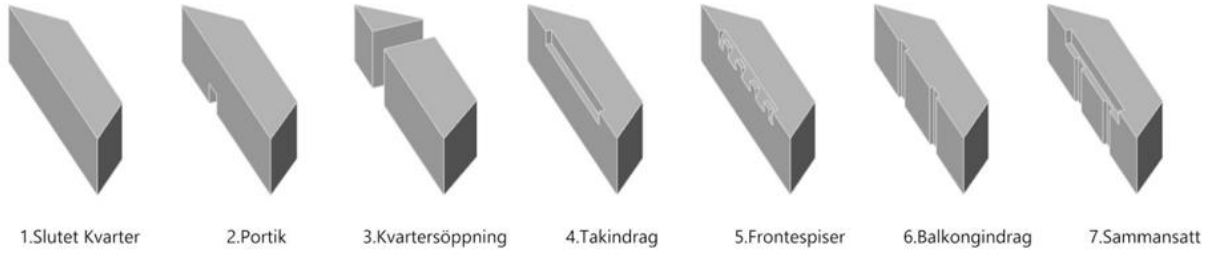
Figur 10 Huvudsakliga materialval för de olika alternativen i fallstudie Flerbostadshus.

Vid jämförelse av klimatpåverkan per kvadratmeter så fick träalternativet lägst klimatpåverkan (179 kg CO_2e/m^2 BTA), cirka hälften av de andra alternativen (329 kg CO_2e/m^2 BTA för betongstomme och 307 kg CO_2e/m^2 BTA för stålstomme).

Även klimatpåverkan per lägenhet beräknades för att kunna jämföra med klimatpåverkan på andra typer av boende. Där hade byggnaden med trästommen igen lägst klimatpåverkan (19,1 kg CO_2e/lägenhet), medan betongstommen hade en klimatpåverkan på 33,3 kg CO_2e/lägenhet och stålstommen och 31,6 kg CO_2e/lägenhet. Skillnaden mellan trästommen och de andra alternativen minskar marginellt här jämfört med när klimatpåverkan relaterades till byggnadsytan (med cirka 2-3 procent).

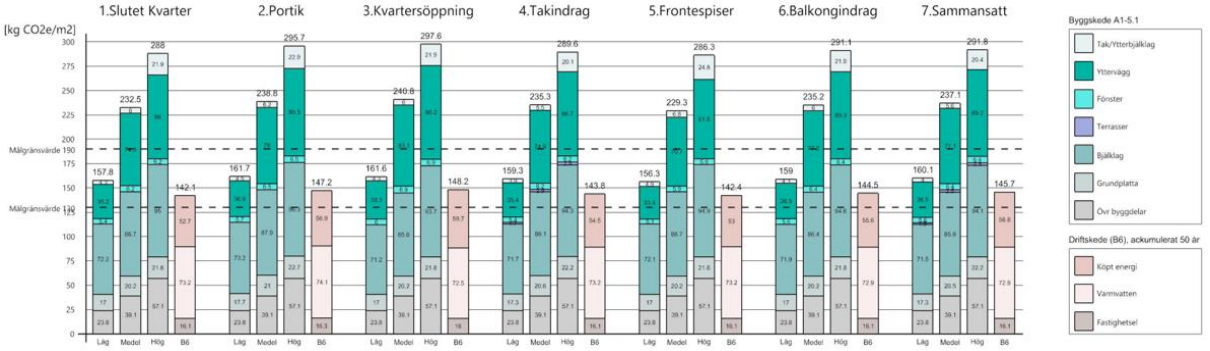
3.5.2 Täby Park

Denna klimatberäkning jämförde sju olika detaljplanebestämmelser. En fjärdedels kvarter beräknades (se alternativen nedan i Figur 11). Det fanns en oro att krav på ”flikighet” i fasad, kungsbalkonger, frontespiser m.m., skulle medföra svårigheter att bygga kvarteret enligt bostadsutvecklarens framtida målgränsvärden för klimatavtryck.



Figur 11 Olika alternativa utformningar som jämfördes för en fjärdedels kvarter i fallstudien.

Figur 12 nedan visar klimatpåverkan för de olika alternativa utformningarna. Resultaten redovisas för de tre utsläppsnivåerna låg, medel och hög, och är beräknat för A1-A5.1 samt driftskedet, B6. Som streckade linjer syns bostadsutvecklarens interna målgränsvärden som de ville jämföra projektet mot. 190 = klimatavtryck A1-A5. 130 = B6 (energi under driftsskede).



Figur 12 Beräknad klimatpåverkan för de alternativa utformningarna, för de tre utsläppsnivåerna låg, medel och hög och LCA-modulerna A1-A5.1 gällande byggskedet, samt för driftskedet, B6

De skillnader i klimatavtryck från byggskedet som detaljplanebestämmelserna gav upphov till, är små (<4%) i jämförelse med de olika klimatavtryck som valet av material ger upphov till. Att till exempel välja återbrukat tegel (yttervägg, låg) istället för nytillverkat tegel gav en större reduktion än någon av beräknade detaljplanebestämmelserna.

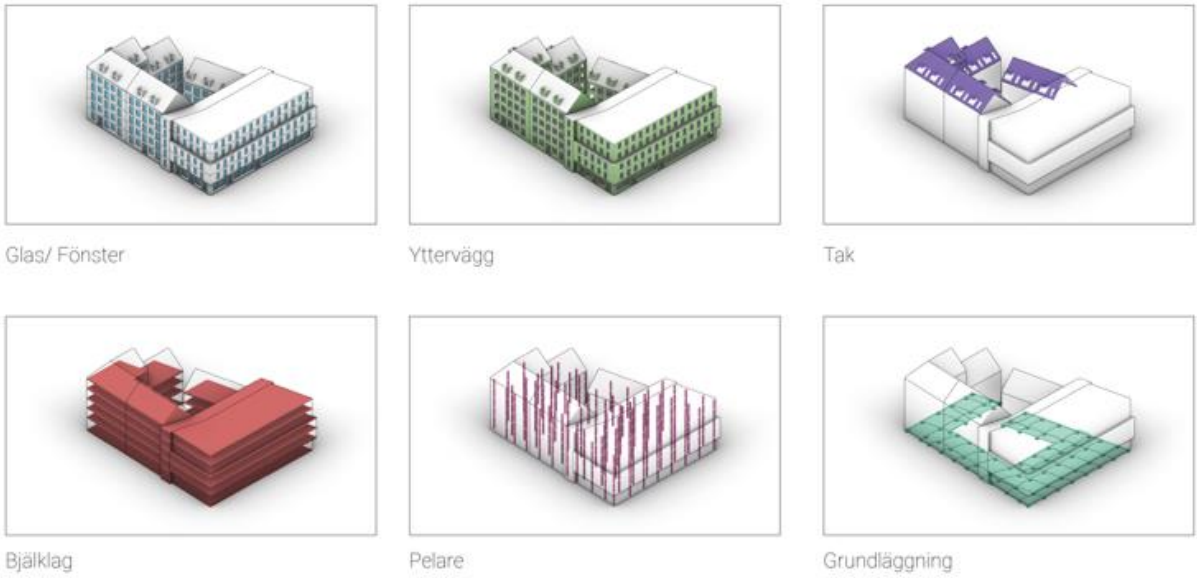
Gällande B6 så tog fallstudien verktygets Energinyckeltal vidare för att göra en förenklad energiberäkning, och därmed också räkna om till energibehov (i kWh) för byggnadens uppvärmning. Tillsammans med schablonvärden för varmvatten och fastighetsel räknades detta om till ett klimatavtryck på 50 år. Denna vidareutveckling är dock inget som är en del av LCAnt, utan har gjorts internt på FOJAB. Gällande driftskedet (B6) är skillnaderna ungefär samma för de olika alternativen. För till exempel Kvartersöppningen försämras dock resultaten genom påverkan från köldbryggor och formfaktor. Själva uppvärmningsdelen av B6 försämras där med cirka 13%. Man ska dock komma ihåg att kvartersöppning inte sker på alla fyra sidorna av kvarteret.

Varmvatten och fastighetsel påverkas inte av byggnadens geometri. Utöver det är de köldbryggor som är olika i respektive alternativ, såsom hörn i fasaden, kanter och hörn i takgeometrin, endast en liten

del av den totala mängden köldbryggor. De större köldbryggorna från fönster, balkonger, bjälklagskanter o.s.v. påverkas inte nämnvärt av geometrin.

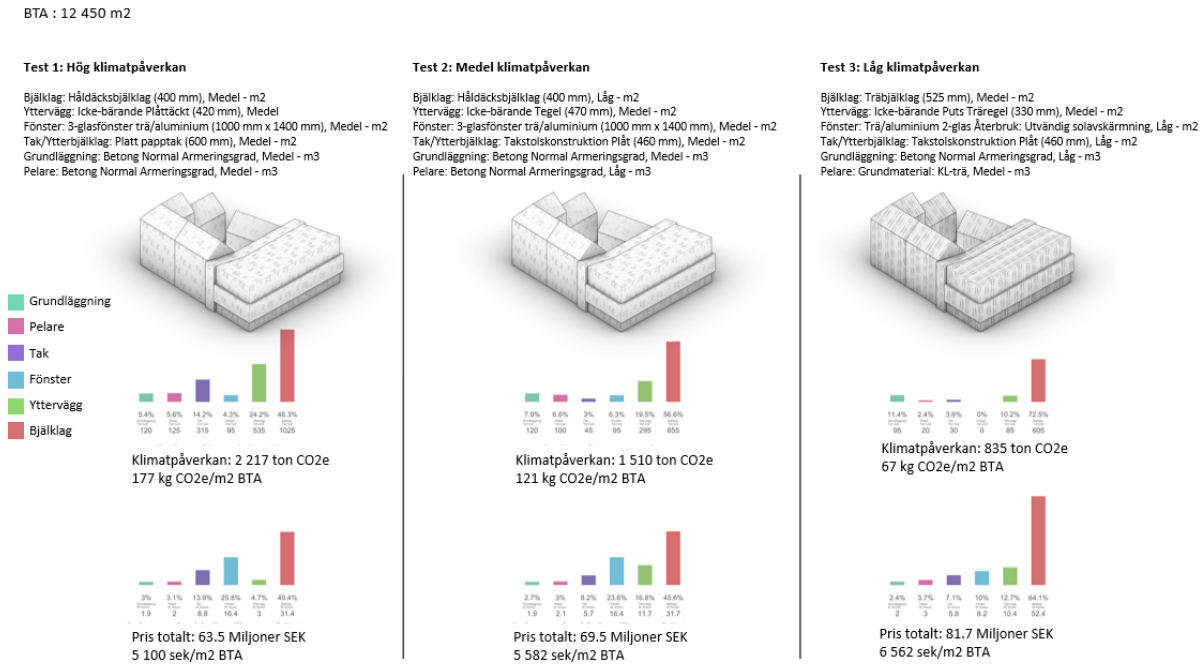
3.5.3 Nytt kvarter i Åkersberga

Denna fallstudie fokuserar på ett specifikt kvarter inom ett detaljplaneområde som varit i planprocess under projektets gång. I studien analyseras klimatutsläpp och pris på material. I Figur 13 nedan visas de byggdelar som inkluderats i studien. Beräkningarna har först utförts utan K-modulen och därefter med.



Figur 13 Ingående byggdelar i fallstudien.

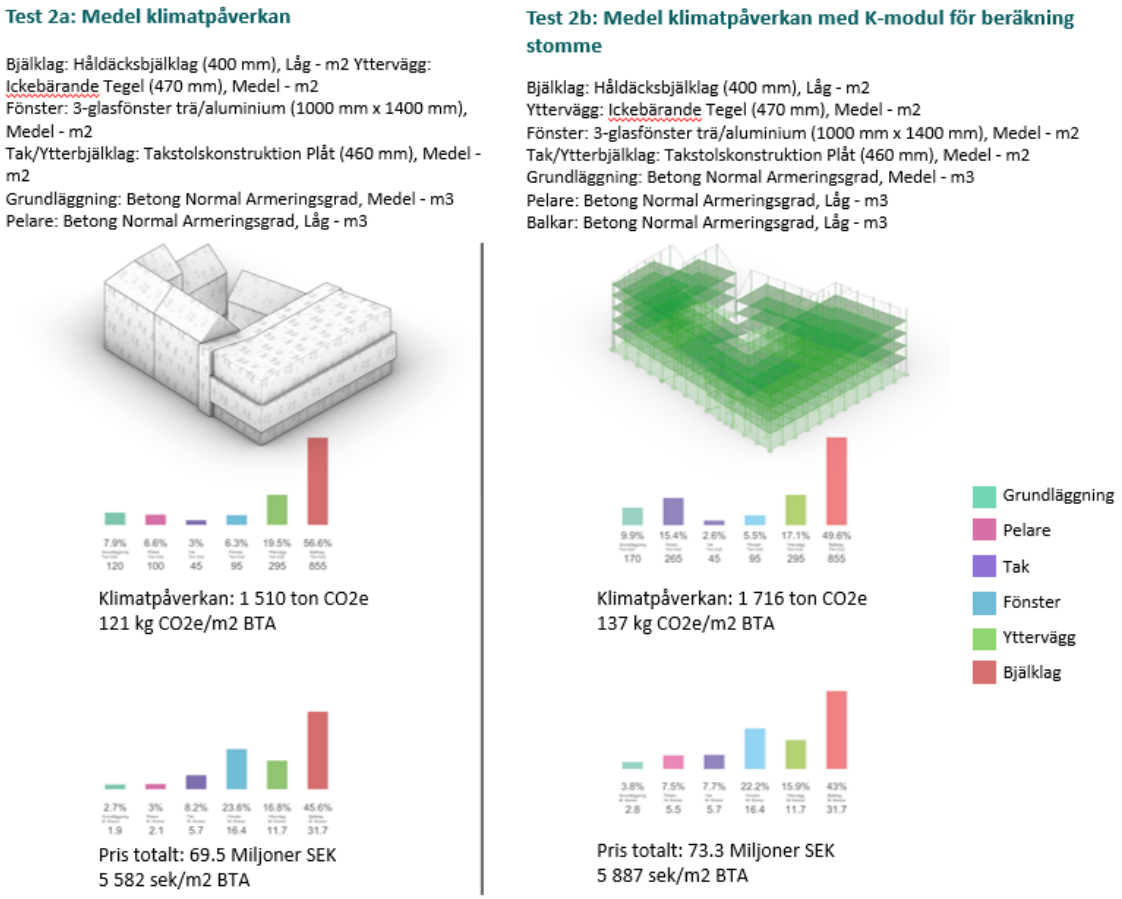
Klimatpåverkan och materialpris beräknades både för byggdelarna för sig och för hela byggnadsalternativ. Nedan presenteras resultat för byggnadsalternativen medan de mer omfattande resultaten per byggdel finns i presentationsrapporten *Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet*. Byggnadsalternativ som inkluderades har döpts till ”Hög klimatpåverkan”, ”Medel klimatpåverkan” och ”Låg klimatpåverkan”. Ingående byggelement och grundmaterial samt beräknade resultat visas i Figur 14 nedan.



Figur 14 Ingående byggelement och grundmaterial samt beräknade resultat gällande klimatpåverkan och materialpris för de tre byggnadsalternativen.

Det totala priset för Alternativ 1 uppgår till 63,5 miljoner SEK, vilket ger ett kvadratmeterpris på 5 100 SEK. Detta alternativ ger upphov till 2 215 ton CO_2e, vilket motsvarar 177 kg CO_2e per m^2. Priset för Alternativ 2 är något högre, totalt 69,5 miljoner SEK och ett kvadratmeterpris på 5 582 SEK. Alternativ 2 resulterar i en minskning av klimatpåverkan till 1 510 ton CO_2e, eller 121 kg CO_2e per m^2. Alternativ 3 är det dyraste alternativet, med ett totalt pris på 81,7 miljoner SEK och ett kvadratmeterpris på 6 562 SEK. Klimatpåverkan är på endast 835 ton CO_2e, vilket motsvarar 67 kg CO_2e per m^2.

K-modulen har testats genom att se hur den påverkar resultaten för alternativet ovan ”Medel klimatpåverkan”. Ingående byggelement och grundmaterial samt beräknade resultat för ”Medel klimatpåverkan” med och utan K-modul visas i Figur 15 nedan.



Figur 15 Ingående byggelement och grundmaterial samt beräknade resultat gällande klimatpåverkan och materialpris för alternativet ”Medel klimatpåverkan” med och utan användning av K-modulen.

Med den mer detaljerade K-modul-beräkningen ökar den totala klimatpåverkan från 1 510 ton CO_2e till 1 716 ton CO_2e. Ökningen beror på en underskattning av materialåtgång i de tidiga manuella valen. Särskilt krävs mer betong och stål än vad som ursprungligen uppskattades. Det ökade materialbehovet medför att balkar har adderats till beräkningen. Totalpriset för projektet ökar också något med K-modul-funktionaliteten, från 69,5 miljoner SEK (5 582 SEK/m^2) till 73,3 miljoner SEK (5 887 SEK/m^2).

3.5.4 Slutsatser från fallstudier

Volym och materialval: I fallstudien Täby Park gav olika materialval mycket större effekt på klimatpåverkan än vad olika volymutförande gjorde. Detta delvis p.g.a. att det var relativt små skillnader i de volymutföranden som var relevanta att jämföra här. Betydelsen av geometriska val beror därmed mycket på hur stor variation som är möjlig i det aktuella skedet, d.v.s. hur många geometriska förutsättningar som redan är ”låsta”.

Samtliga fallstudier visade tydligt att återbruk av resurser ofta ger stor sänkning av den totala klimatpåverkan. Generellt sett inkluderas återbruk av fasad- och takytskikt i fallstudierna.

Konstruktionsmodulen (K-modulen): I fallstudien Åkersberga gav K-modulen en cirka 14% högre klimatpåverkan än vid valen som gjordes utan K-modulen. Hur väl man lyckas uppskatta stommen utan K-modulen kan såklart skilja sig från fall till fall, men resultatet indikerar att K-modulen kan ge en betydande påverkan på materialmängd och resultat.

Driftenergi/B6: I fallstudien Täby Park hade byggnadens geometri en relativt begränsad inverkan även på klimatpåverkan under driftskedet (B6). Även om kvartersöppningar och specifika geometriska köldbryggor som hörn och kanter påverkar energiåtgången visade sig dessa effekter vara små. Detta i förhållande till de större köldbryggorna från fönster, balkonger och bjälklag som förblev oförändrade vid ändring av geometrin.

Pris: Fallstudien Åkersberga visar att det är relevant att utvärdera klimatpåverkan tillsammans med pris. Resultaten visar att ett val med lägre klimatpåverkan i vissa fall kan innebära ett högre pris, men också att klimatvinsten per investerad krona kan vara hög när lösningen med lägre klimatpåverkan väljs. Till exempel i Test 3 (utsläppsnivå låg) blev priset 20% högre jämfört med Test 1 (utsläppsnivå hög) samtidigt som klimatpåverkan blev 63% lägre.

3.6 Testgruppen och tillgängliggörandet (AP6)

Från sommaren 2024 med ett halvår kvar av projektet har personer utanför projektgruppen börjat testa funktionaliteterna i LCAnt. Detta har varit projektets testgrupp.

Syften med testgruppen har varit att:

- Samla in erfarenheter om hur det tekniska fungerar och om användarvänligheten
- Kunna åtgärda tekniska utmaningar som dykt upp från testgruppen
- Undersöka vilken nytta (rent tekniskt och för sin uppdragsverksamhet) aktörer såsom de i testgruppen kan ha av verktyget
- Kunna diskutera vilka förutsättningar som behövs för att etablera verktyget

Testgruppen har utgjorts av representanter från:

- Chalmers Tekniska Högskola
- SandellSandberg Arkitekter
- AIX Arkitekter
- Dreem Arkitekter
- Bengt Dahlgren
- JKAB Arkitekter
- Marge Arkitekter

Testarna representerar dessa yrkesroller:

- Arkitekt
- Byggnadsingenjör

- Hållbarhetskonsult

Testgruppen gavs via en webplattform tillgång till en samling av de framtagna komponenterna för klimatkalkyl, samt K-modulen (denna tillfogades i slutet av november). Därutöver, demonstrationsfiler, ett exempel-"script" samt testaccess för tillgång till dataöverföring via BM.

3.6.1 Erfarenhetsutbyte med testgruppen

I december 2024 samlades testgruppens erfarenheter såhär långt ihop vid ett digitalt möte mellan projektgruppen och testgruppen. Vi dokumenterade mötet och sammanställde övergripande reflektioner från det till denna rapport.

Summering av testgruppens erfarenheter och reflektioner:

- Intrycket av verktyget tekniskt sett är att testarna som har relativt god vana av programvaran och programmeringsspråket sen innan tycker det fungerar mycket väl och är lätt att börja använda.
- Framförallt konstaterar vi att tillgången till exempelscriptet har haft mycket stor betydelse och är troligen något de flesta kommer ha som utgångspunkt i sitt arbete, med möjlighet (och troligen stort intresse) att bygga på och skapa egna varianter.
- De områden som det kom tekniska önskemål om är till exempel att kunna få bättre stöd/möjligheter att bedöma om summerade geometrier man använder är rimliga och detsamma även gällande själva beräkningsresultaten eller metodval. Att enklare kunna skapa diagram och annat resultatunderlag, samt även fler exportmöjligheter till exempelvis Excel har föreslagits som möjlig utveckling framåt.
- Under testfasen har testarna rapporterat några få tekniska problem som uppstått i komponenter där accessuppgifter används. Att projektet aktivt försökt hantera dessa saker så snart som möjligt har varit viktigt. Detta visar också behovet av en närvaro och av resurser för att hålla verktyget i drift framåt.
- Det har uttryckts stort intresse för att dela erfarenheter och hitta gemensamma arbetssätt inom testgruppen. Både testgruppen och projektgruppen ser behov av ett "community" för att få stöd och där utvecklande dialog kan samordnas. Det finns i nuläget inget projekt eller andra finansieringsformer klart för detta, men är något som projektgruppen och teamet kring BM-verktyget för en dialog om inför kommande tid.
- Testare har nämnt vissa utmaningar kring att kunna etablera verktyget och arbetssättet internt. Framförallt handlar det om hur många hos dem som praktiskt kommer kunna använda det och om det då finns upplägg där man kan bygga långsiktig verksamhet och uppdrag som bygger på det och att ha den bemanning som behövs.
- Utmaningar att etablera verktyget och arbetssättet finns också kring vilka trender som går för tillfället i vilka skissverktyg och tillhörande verktyg som man centralt vill satsa mest på.

- Ju mer externt stöd det finns för verktyg och add:ons samt ju tydligare det syns att de håller på att bli etablerade och att det går att bygga erfarenheter ihop med andra desto enklare blir det att satsa på dem.

Framöver finns det också möjlighet att djupdyka ännu mer i dessa erfarenheter och önskemål, bland annat genom att titta mer på dokumentationen av mötet mellan testgruppen och projektgruppen.

3.6.2 Tillgång till verktyg

Verktyget har i samband med projektslutet blivit tillgängligt via webben. Allt verktygsmaterial och stödmaterial ligger på samma webplattform som testgruppen fått tillgång till sedan tidigare.

På flera ställen finns information om hur man får tillgång till det, hur accessen till BM som ingår i verktyget fungerar och ingår i BM:s licensverksamhet samt var man ska vända sig om man har intresse av att få information framåt.

Nedan finns informationen om detta från projektets slutseminarium, som hölls digitalt den 10 december 2024. En inspelning av detta seminarium finns också på webbplatsen www.klimatsmartbyggdesign.se.

Hitta och testa verktyget

Info om tillgång till Leaf Cutter Ant och integrationen med BM finns på: https://bm.se/utbildning-forskning/leaf-cutter-ant.

Sammanfattningsvis:

- Allt tillgängligt enligt instruktioner där.
- Projektgruppen söker finansiering för en förvaltningslösning.
- Finns potential för en ”community”.
- Vid intresse att ingå eller få uppdateringar om detta, kontakta: rasmus.andersson@ivl.se.

4 Diskussion

Verktyget LCAnt som utvecklats i detta projekt kan bidra till ett förbättrat klimatarbete inom byggbranschen i de tidiga skedena. Verktyget möjliggör att snabbt jämföra bygglösningar (materialval och geometri) och ta fram beslutsunderlag i ett etablerat designverktyg. Osäkerheter som finns i tidigt skede kring t.ex. nödvändig dimensionering och exakta materialval bör minskats tack vare projektets utvecklingsarbete av K-modulen och det utökade byggelementsbiblioteket. Osäkerheter finns dock ändå att hantera och är större ju tidigare skedet är. Diskussionen nedan fokuserar på vad som är viktigt för att verktyget ska komma till god användning och för att implementera det i organisationer.

Användarens avvägning mellan detaljnivå och att få beslutsunderlag tidigt är viktig

Verktygets förmåga att generera resultat snabbt bygger på förenklingar om byggnadens innehåll, via de så kallade byggelementen. Detta utifrån att detaljprojektering och mer exakta beslut om material och byggelement samt geometri ofta inte är fattade i tidigt skede. Ju mer som är beslutat desto exaktare beräkning är möjlig, men desto färre beslut om projektets utformning kan också påverkas. En exaktare beräkning är även mer tidskrävande att ta fram. Avvägning mellan att få fram beslutsunderlag innan för mycket är ”låst” men som ändå ger relevanta jämförelser och beslut i rätt riktning är mycket viktig. Som det konstaterades redan i Projekt 1, ersätter inte klimatkalkyler i tidigt skede mer detaljerade och exakta klimatberämningar i senare skeden, och som beskrivet i Kvalitetsrutinen i avsnitt 3.4.1 kan användaren behöva rutiner för hur osäkerheter i tidigt skede kan följas upp i senare skeden.

Integreringen mot andra aspekter än klimatpåverkan av byggskedet är viktig

Den centrala funktionen i verktyget är att kalkylera volymmodellens klimatpåverkan, vilket är avgränsat till byggskedets LCA-skeden A1-A5.1. Energinyckeltalet har dock lagts till som funktion för att ta hänsyn till att valet av klimatskal även påverkar byggnadens energiprestanda och därmed klimatpåverkan i drift. Genom Energinyckeltalet förbättras möjligheterna att undvika suboptimeringar mellan byggskede och drift, vilket kan vara en tydlig risk om inte dessa parametrar jämförs samtidigt. Prisfunktionen har därutöver möjliggjort avvägningar mot materialpris, och det är även möjligt att avväga mot funktionella kvalitéer av byggnaden – till exempel fönstermängd, användbar/uthyrbar yta och liknande som kan beräknas för volymmodellen. Ur ett designperspektiv där fokus ligger på att nyttor och kvalitéer ska uppnås är det viktigt att sådant integreras, samt tydligt att inte endast bruttoarea (BTA) är relevant som funktionell enhet. Som ett exempel har beräkningar som gjorts i projektet för bostadshus, utöver BTA, relaterat klimatpåverkan till antal lägenheter.

Aspekter för att kunna implementera verktyget internt i sin organisation framöver

Projektets testgrupp som bildades sista året lyfte fram viktiga aspekter för att faktiskt kunna implementera ett sådant här verktyg i sin organisation. Hur detta går är avgörande för hur stor klimatnytta verktyget och utvecklingsarbetet kan göra framåt. Bland annat att kunna dela erfarenheter med andra användare samt att kunna hitta projektformer och bemanning där de som praktiskt kan använda verktyget faktiskt har möjlighet att göra det. Även vilka trender som finns internt kring vilka skissverktyg och tillhörande verktyg man vill satsa på för tillfället kan vara avgörande. Att bilda en ”community” av användare har konstaterats viktigt för att få drivkraft för verktyget och till kommande utvecklingsarbete och nya projekt kan det vara bra med mer tid och ytterligare fokus på sådant arbete.

5 Slutsatser

Detta projekt har bidragit till bygg- och designsektorns klimatarbete genom att utveckla och tillgängliggöra ett verktyg för klimatkalkyl i tidiga skeden av byggprocessen. Projektet har utvecklat funktionalitet för att kunna beräkna med mer precision i materialmängderna för bärande delar, beräkna materialpris samt implementerat projektets Energinyckeltal fullt ut i verktyget. Variationsmöjligheterna i verktyget har också utökats genom det utökade Byggelementsbiblioteket. Därutöver har verktygets förmåga att ge beslutsunderlag visats genom olika fallstudier och en ytterligare analys kring osäkerhet och kvalitet samt en kvalitetsrutin kopplat till detta tagits fram.

Slutsatser kan kort summeras i dessa punkter:

- Fallstudierna har visat att effekten på klimatpåverkan och driftenergi av geometriska val beror mycket på hur stor variation som är möjlig i det aktuella skedet, d.v.s. hur många geometriska förutsättningar som redan hunnit bli ”låsta”. Är mycket av geometrin låst ger materialvalet mycket större effekt.
- Fallstudierna visar också att K-modulen kan ge en betydande påverkan på materialmängd och resultat. Hur väl man lyckas uppskatta stommen utan K-modulen skiljer sig från fall till fall, men i fallstudien Åkersberga gav K-modulen cirka 14% högre klimatpåverkan än vid valen som gjordes utan K-modulen.
- Fallstudierna visar också att det är relevant att utvärdera klimatpåverkan tillsammans med pris. Trots att ett val med lägre klimatpåverkan i vissa fall kan innebära ett högre pris kan klimatvinsten per investerad krona vara hög vid en lösning med lägre klimatpåverkan.
- Projektet har visat att en avvägning behövs i tidigt skede mellan vilken detaljnivå som behövs i en beräkning (hur detaljerat lösningarna behöver ha hunnit bli definierade och beslutade) samt hur mycket beräkningen ska kunna ligga till grund för själva besluten.
- Projektet har uppmärksammat behovet av att inte suboptimera mellan klimatpåverkan av byggskede och driftskede. Detta genom implementeringen av Energinyckeltalet, som möjliggör att klimatskalets prestanda och byggskedets klimatpåverkan kan analyseras parallellt.
- Projektet har bidragit till att klimatpåverkan, energinyckeltal och materialpris kan analyseras ihop med andra vanliga designparametrar som går att summera ur volymmodellen, t.ex. fönstermängd, fönsteryta, ljusinsläpp och användbar/uthyrbar yta.
- Projektet har summerat synpunkter från en testgrupp för verktyget, kring både tekniska och organisatoriska aspekter som är viktiga för att kunna möjliggöra en bra implementering av verktyget (se kapitel 3.6).

6 Publikationslista

Övrigt publicerat material från detta projekt:

Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden, 2025. Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet - Verktyget LeafCutterAnt (LCAnt) – Guide till verktyget och utvecklingen i projektet Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden. IVL Svenska Miljöinstitutet, FOJAB Arkitekter, RISE Research Institutes of Sweden, Tyréns, Warm in the Winter, Chalmers Tekniska Högskola. Presentationsrapport för Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden, Januari 2025. Tillgänglig: www.klimatsmartbyggdesign.se.

7 Referenser

Boverket, 2021. Olika skeden i byggandet. PBL Kunskapsbanken. Tillgänglig: https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/metod_byggande/skeden/

Klimat- och designdriven byggnation, 2022. 1. Klokare klimatbeslut i tidiga skeden - Beskrivning av prototypverktyg och erfarenheter av tidiga klimatkalkyler. 2. Byggnadsdesign med livscykelperspektiv. IVL Svenska Miljöinstitutet, FOJAB Arkitekter, Arkitektkontoret Warm in the Winter, Presentationsrapport respektive Slutrapport för Klimat- och designdriven byggnation, Mars 2022. Tillgänglig: www.klimatsmartbyggdesign.se.

LFM30, 2025 (hämtad). Lokal Färdplan Malmö 2030. Vi som är med. Tillgänglig: https://lfm30.se/vi-som-ar-med/

Sweco, 2025 (hämtad). Carbon Cost Compass – vägvisaren mot hållbara fastigheter. Tillgänglig: https://www.sweco.se/transforming-society-together/digitalisering/carbon-cost-compass/

Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden, 2025. Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet - Verktyget LeafCutterAnt (LCAnt) – Guide till verktyget och utvecklingen i projektet Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden. IVL Svenska Miljöinstitutet, FOJAB Arkitekter, RISE Research Institutes of Sweden, Tyréns, Warm in the Winter, Chalmers Tekniska Högskola. Presentationsrapport för Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden, Januari 2025. Tillgänglig: www.klimatsmartbyggdesign.se.

Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinator.
Läs mer på www.E2B2.se.