

Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet

Verktuget *Leaf Cutter Ant* (LCAnt) – Guide till verktuget och utvecklingen i projektet Verktuget för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden

Presentationsrapport
E2B2-projektet
Verktuget för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden
2025-01-31

Rasmus Andersson, Sandra Moberg, Åse Togerö, Petra Jennings, Simon Kallioinen, Peter Ylmén, Eva-Lotta Kurkinen, Alexander Gösta, Martin Fröderberg, Simon Larsson, Daniel Lauri, Björn Ekelund, Mohammad Al Hamwi, Toivo Säwén

Formgivningen av broschyren är utförd av IVL Svenska Miljöinstitutet som har rättigheter för att använda alla bilder

Finansiering från



Warm in the Winter



Innehåll

- 1 **Projektet i korthet**
- 2 **Leaf Cutter Ant (LCAnt) – en översikt**
- 3 **Arbetsättet**
- 4 **Byggelementsbibliotek och databeräkning**
- 5 **Dimensionering av bärande stomme**
- 6 **Prisberäkning**
- 7 **Hantera osäkerheter för ökad kvalitet på designbeslut**
- 8 **Fallstudier**
- 9 **Praktisk testning och tillgång till verktyget**

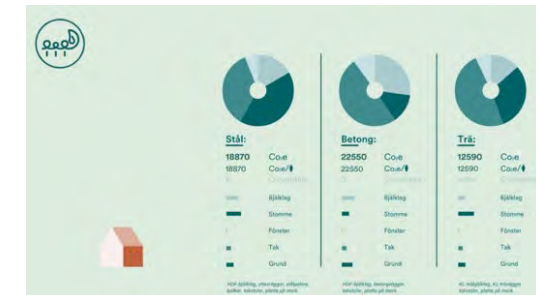
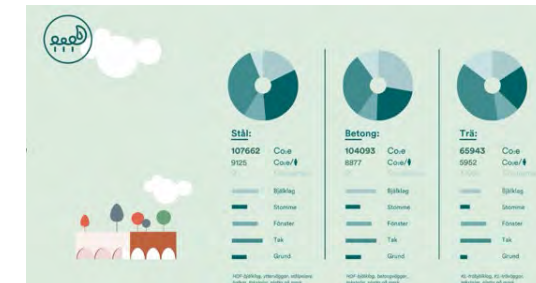
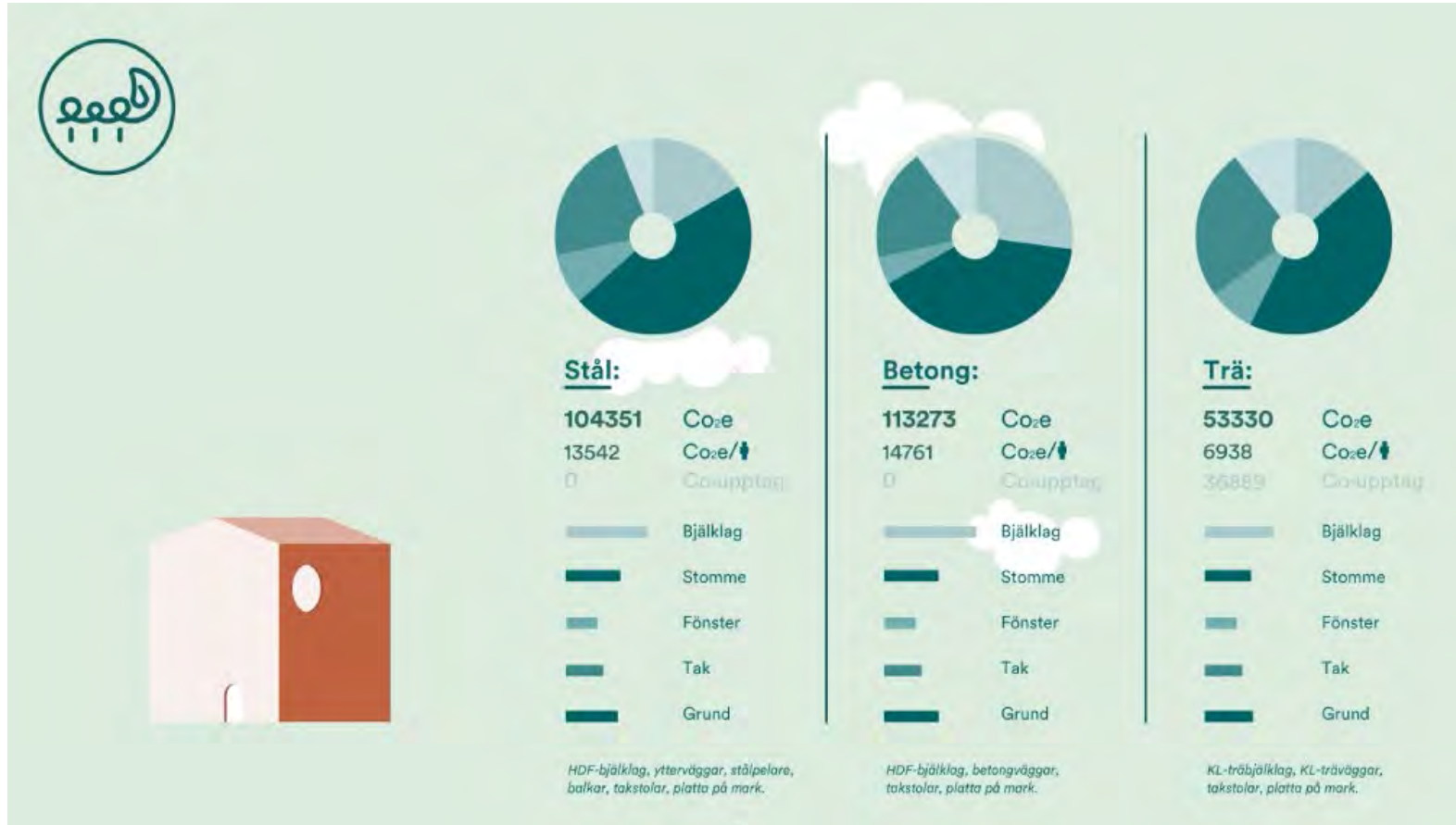


Projektets övergripande fråga:

Hur kan vi förstå byggnaders
klimatavtryck redan från
första skiss?

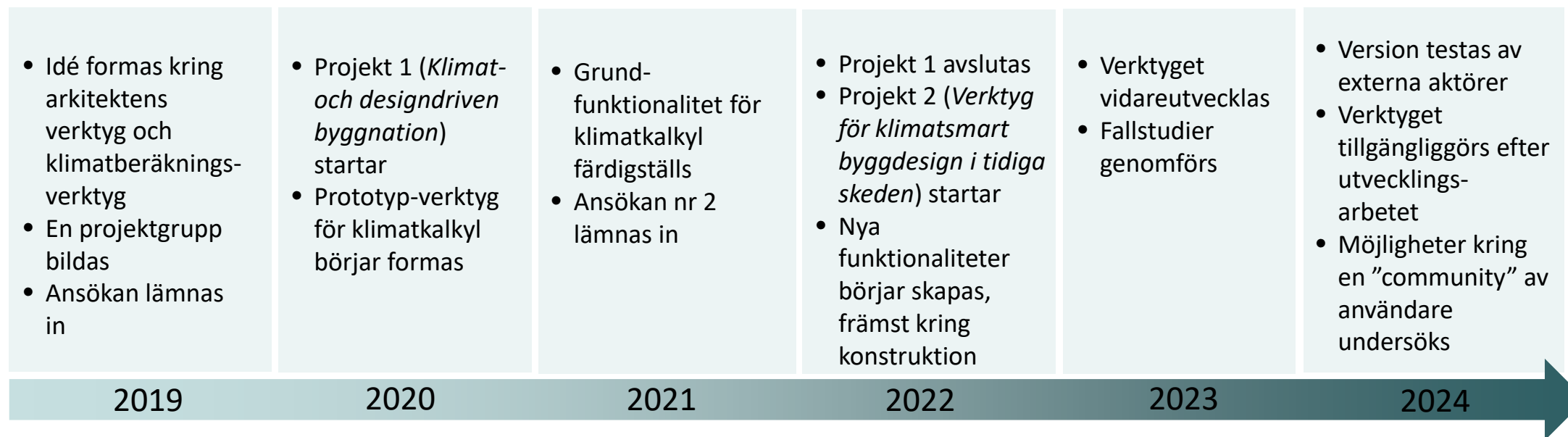
Verktyg, arbetssätt och kunskap behövs.

Visionen bakom projektet – Att ”dra” i byggnadens geometri och få ut en ny klimatkalkyl automatiskt.



Utvecklingsprocess i två E2B2-projekt

Tidslinje från idé till genomförande (2019-2024):



Projektinformation

- Projektnamn: Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden (Projekt 2)
- Projektid: 2022-2024
- Prototyp för klimat kalkyl från Projekt 1* har vidareutvecklats.
- Klimatdata är kopplade till typiska byggelementstyper (se avsnitt Byggelementsbibliotek och databeräkning).
- Variationsmöjligheten har utökats i detta projekt och användarvänlighet har förbättrats, bl.a. genom:
 - Sammanlänkning med konstruktörens arbete
 - Pris och energieffektivitet (ett nyckeltal baserat på Värmeförlusttalet, se FEBY) har integrerats i verktuget
 - Biblioteket av byggelement har utökats
 - Kvalité- och osäkerhetsanalys har gjorts
 - Verktugets förmåga till beslutsunderlag har testats genom fallstudier

*Projektnamn: Klimat- och design driven byggnation (2020-2022):

Se <https://klimatsmartbyggdesign.se/projekt/klimatsmart-byggdesign/klimat--och-design-driven-byggnation.html> Se också mer info om det projektets presentationsrapport på nästa sida.



Warm in the Winter



Två rapporter har tagits fram inom två projekt

Presentationsrapporten *Klimat- och designdriven byggnation* beskriver vilken utveckling som gjordes och vad som levererades inom Projekt 1. Vi använder begreppet "Rapport 1" för den rapporten. Vi använder "Rapport 2" för föreliggande rapport. Viss grundläggande information om vad som har tagits fram och utvecklats framgår dock i båda rapporterna. Om något har vidareutvecklats och beskrivningar skiljer sig mellan Rapport 2 och Rapport 1 är det beskrivningarna i Rapport 2 man bör använda sig av.

"Rapport 1"

länk [här](#)



Klokare klimatbeslut i tidiga skeden
Beskrivning av prototypverktyg och erfarenheter av tidiga klimatkalkyler

Presentationsrapport
Klimat- och designdriven byggnation
Mars 2022

Rasmus Andersson, Sandra Moberg, Johan Larsson och
Sandra Jusufiyiska (IVL Svenska Miljöinstitutet)
Petra Jenning (FOJAB Arkitekter)
Björn Ekelund (Arkitektkontoret Warm in the Winter)

E2 Warm in the Winter **FOJAB** **MKB** **IVL** SVENSKA MILJÖINSTITUTET

"Rapport 2"

Denna rapport



Räkna på byggnaders klimatpåverkan redan i skisstadiet
Verktøyet Leaf Cutter Ant (LCAnt) – Guide till verktøyet og utviklingen i projektet Verktøyet for klimatsmart byggdesign i tidige skeden

Presentationsrapport
E2B2-projektet
Verktøyet for klimatsmart byggdesign i tidige skeden
2025-01-31

Finansiering från **E2** **Warm in the Winter** **TYRÉNS** **ivl** SVENSKA MILJÖINSTITUTET **RI SE** **CHALMERS** UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Rasmus Andersson, Sandra Moberg, Åse Togerö,
Petra Jenning, Simon Kallioinen, Peter Yimén, Eva-
Lotta Kurkinen, Alexander Gösta, Martin
Fröderberg, Simon Larsson, Daniel Lauri, Björn
Ekelund, Mohammad Al Hamwi, Toivo Säwén



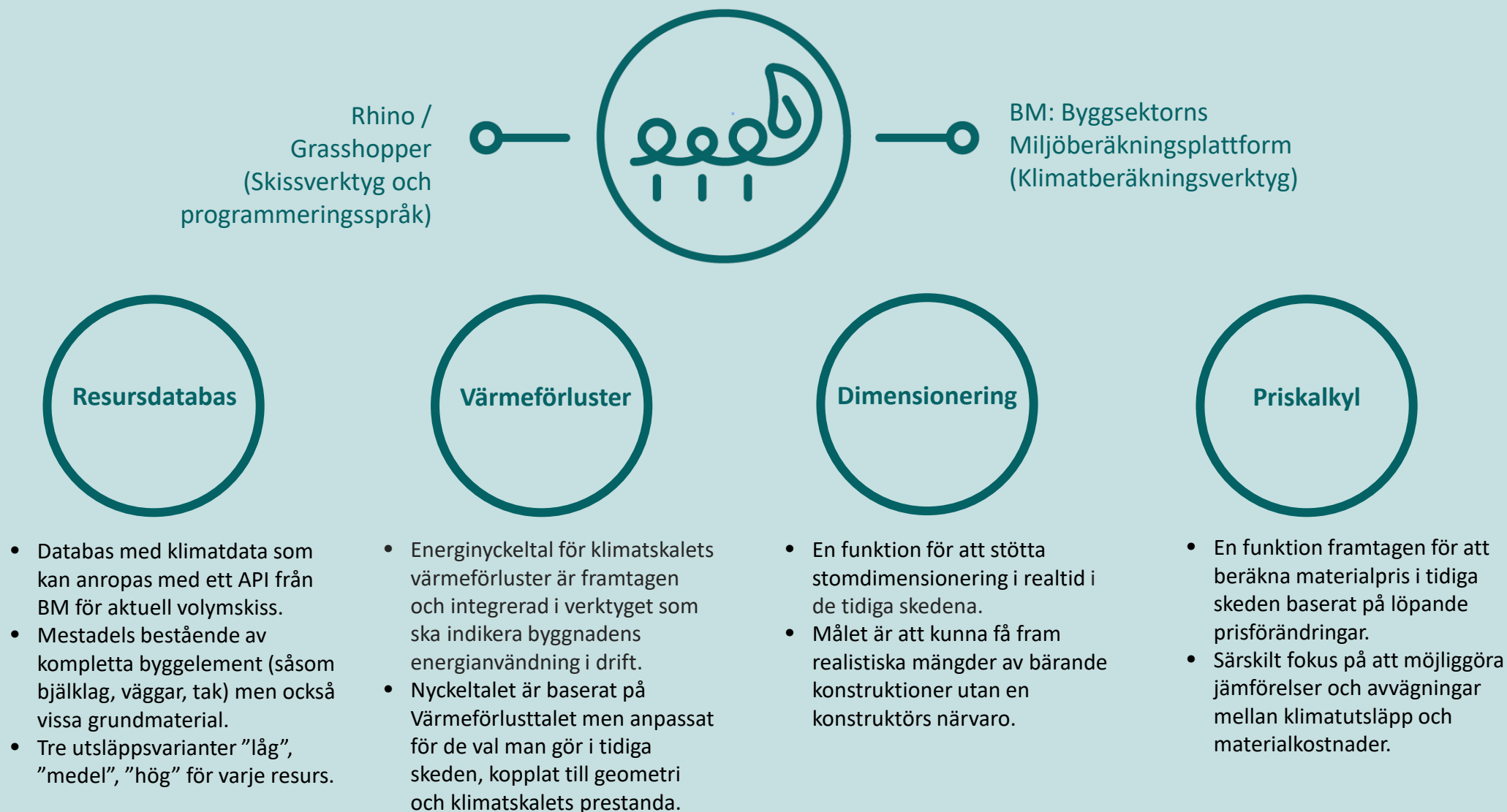
Verktyget vi utvecklat för detta kallar vi:



Leaf Cutter Ant (LCAnt)

Ett verktyg för livscykelanalys i tidiga skeden

Översikt – dessa delar bygger verktyget på och har utvecklats i projektet



Ordlista för viktiga begrepp i projektet

Ord	Förklaring
Byggelement	Del av byggnadens geometri sammansatt med flera olika byggmaterial (t.ex. ett bjälklag, en vägg, ett tak). Viktig del av verktygets resursdatabas.
Energinyckeltalet	Nyckeltal för termisk prestanda på klimatskalet, särskilt anpassat utifrån tidiga skeden och vilka indata på värmeförluster som finns då. Baserat på FEBY:s Värmeförlusttal* (se avsnitt Byggelementsbibliotek och databeräkning).
Grundmaterial	Resurs i resursdatabasen som bara består av ett material (ej sammansatt), t.ex. ren betong eller rent stål.
Konstruktionsmodulen (K-modulen)	Funktionalitet baserat på konstruktion för ökad precision i mängddata gällande bärande delar (se avsnitt Dimensionering av bärande stomme)
Leaf Cutter Ant (LCAnt)	Projektets verktyg för klimatkalkyl i tidiga designskeden – den samling av Grasshopper-komponenter som beräknar klimatpåverkan och andra resultat via volymkiss i Rhino genom kopplingar mot klimatdata, U-värden, prisdata m.m.
Prisfunktionen	Funktionalitet för beräkning av materialpris för volymkissen (se avsnitt Prisberäkning).
A1-A3	LCA-modul: produktskedet
A4	LCA-modul: transport under byggproduktionsskedet
A5 Spill	LCA-modul: spill under byggproduktionsskedet

*Info om FEBY:s värmeförlusttal: <https://www.feby.se/V%C3%A4rmef%C3%B6rlusttal>



2. Leaf Cutter Ant (LCAnt) - En översikt



LCAnts syfte och funktionalitet

Syftet

Syftet med LCAnt är att

- Snabbt få fram en klimatkalkyl där olika scenarier (t.ex. alternativa gestaltningar, stommaterial etc.) kan jämföras.
- Kunna sätta klimatkalkylen i relation till andra resultatparametrar (t.ex. energinyckeltalet, materialpriset, effektivitet i användningen av yta, praktiska/estetiska kvalitéer m.m. för volymsskissen).

Funktionalitet

- Resursdatabasen består till stor del av s.k. "sammansatta" resurser där alla skikt inom samma byggdel finns inbakade i resursen. En sån resurs kallar vi för "byggelement". På detta sätt går processen snabbare, och färre beslut behöver tas för att få ett resultat. (Se vidare i avsnittet "Byggelementsbibliotek och databeräkning").
- Genom realtidsberäkningar (<1 sek), kan man automatisera sitt arbete i t.ex. en optimeringsloop, där en mängd ingångsvärden, material eller gestaltningar testas.
- För att göra relevanta jämförelser kan resultat för såväl klimatavtryck, materialpris och energinyckeltal tas fram.
- Konstruktionsbaserad funktion (K-modulen) kompletterar verktyget och bidrar till mer realistiska mängder i bärande delar.

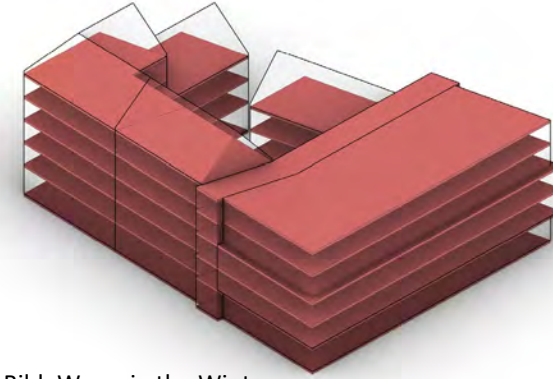
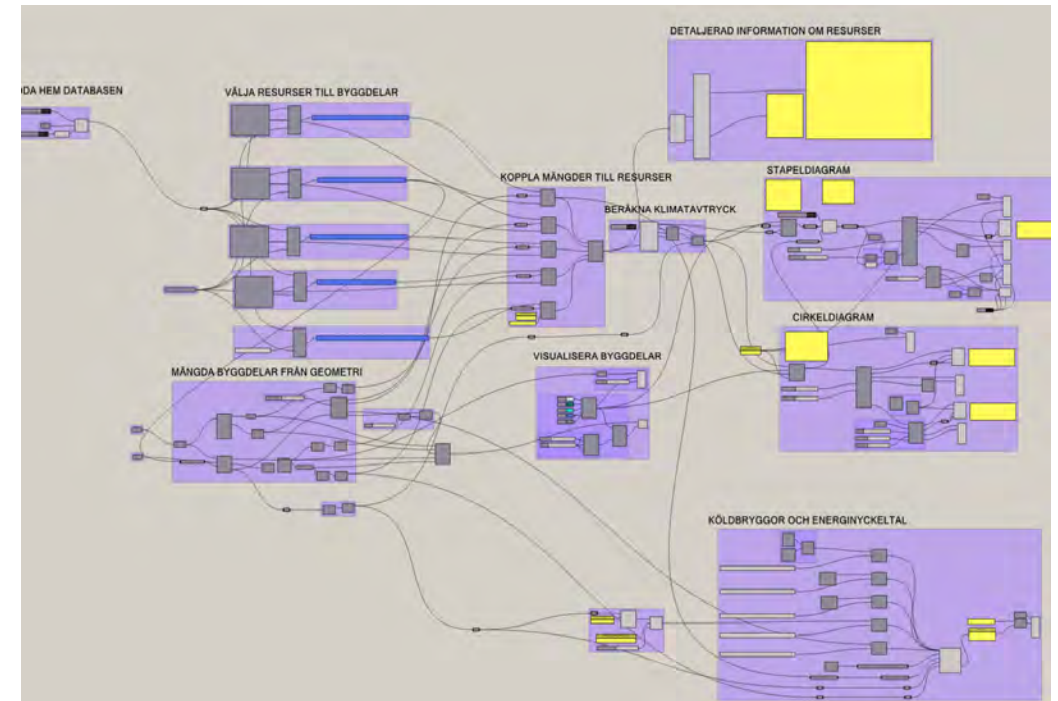


Bild: Warm in the Winter



Verktygets delar och arbetsflöde

KONSTRUKTIONS-MÄNGDNING

Automatisk överslagsmässig dimensionering och mängdning

Val av byggmaterial

Material kopplas till skissen

BYGGNADSFÖRSLAG

Skiss från arkitekten i Rhino/Grasshopper.

3D-MODELL



Leaf Cutter Ant

KLIMATDATA

KLIMATAVTRYCK

Automatisk beräkning av klimatpåverkan i BM

ENERGINYCKELTAL FÖR KLIMATSKALET'S VÄRMEFÖRLUSTER

Revidera förslag

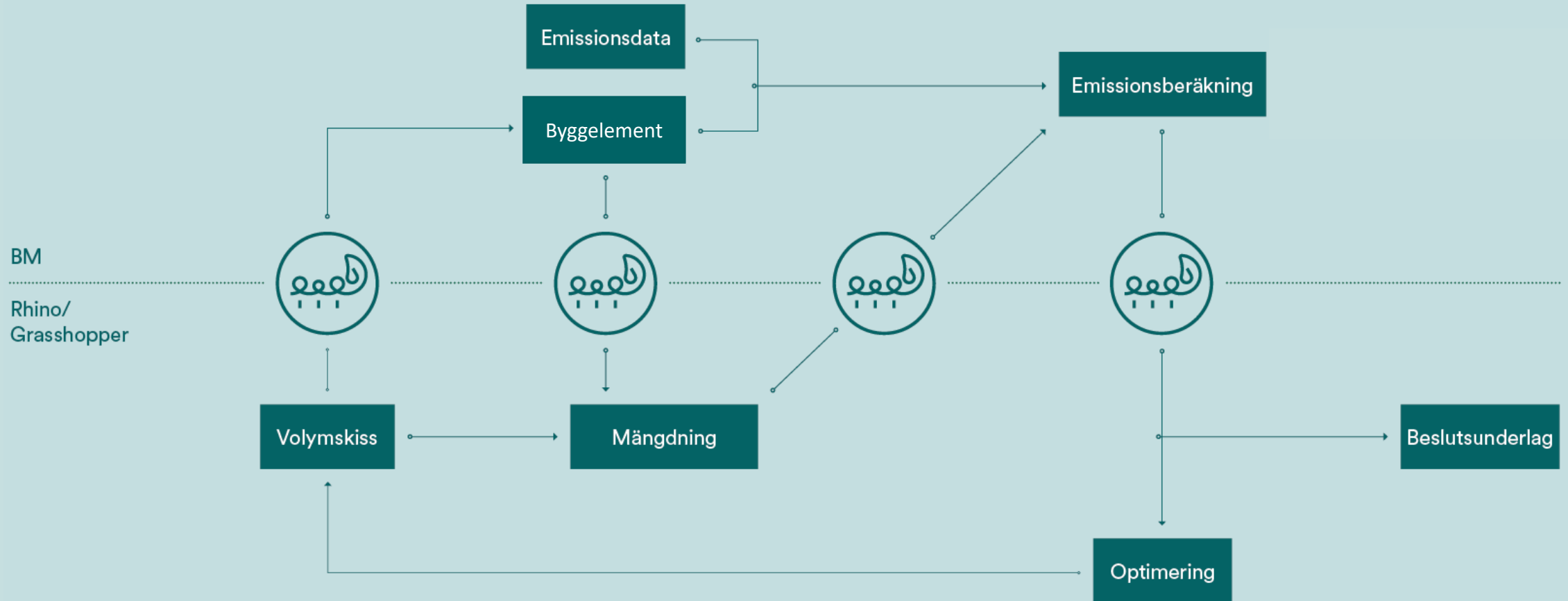
PRIS

Översiktlig prisuppskattning för ingående byggelement

BESLUTSUNDERLAG



Interaktionen mellan Rhino/Grasshopper och BM



3. Arbetsättet



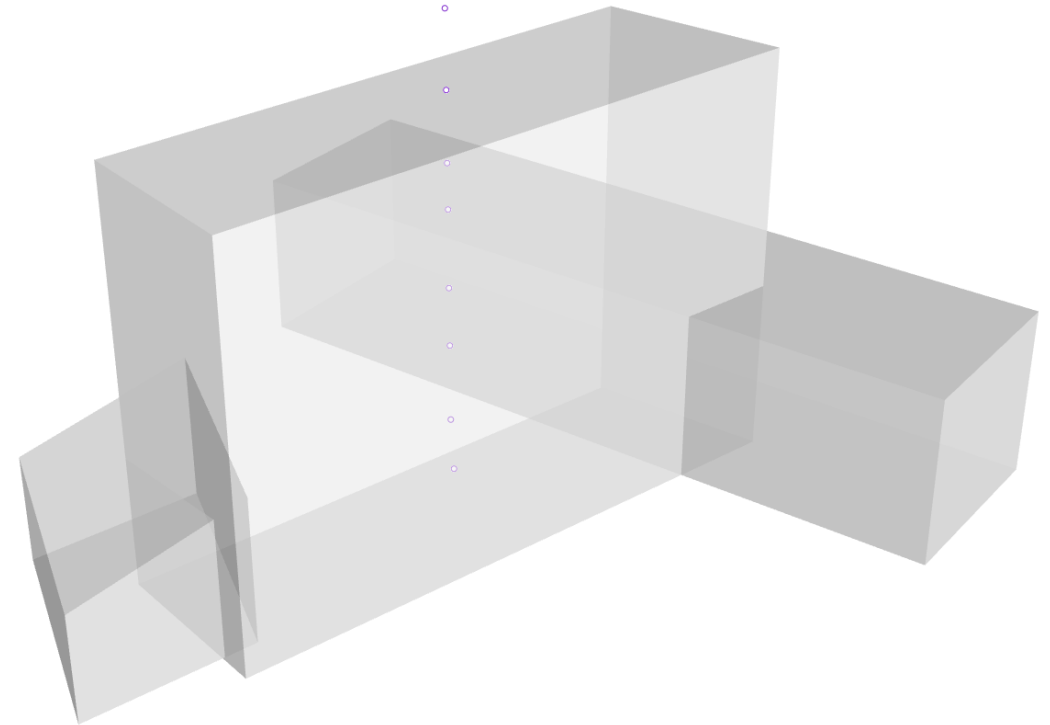
Input för att räkna i Leaf Cutter Ant

Beräkningen av klimatavtryck i LCant utgår ifrån en 3D-modell, ur vilken mängderna av olika byggdelar kan sammanställas. Idealiskt är att använda en volymskiss i Rhino*, men det är även möjligt att till exempel arbeta i Rhino.Inside.Revit** och koppla till en Revitmodell.

För att beräkna klimatavtrycket kopplas byggdelens mängd till en resurs (material) i resursdatabasen.

På kommande sidor beskrivs ett exempelscript som tagits fram för att använda LCant. Förutom beräkning av klimatavtryck, beskrivs också scriptets delar för att beräkna energinyckeltalet för värmeförluster samt för att visualisera resultatet.

Utöver detta finns också funktionalitet för överslagsmässig dimensionering av stommen (för att få mer realistiska mängder), samt för beräkning av materialpriser. Dessa funktionaliteter beskrivs mer i senare delar av rapporten.



*Beskrivning av Rhino och Rhinos funktion i Leaf Cutter Ant finns i presentationsrapporten för Projekt 1, <https://klimatsmartbyggdesign.se/download/18.5ae47fd818530c6f060178d4/1674484588537/Presentationsrapport-Klimat-och-designdriven-byggnation-2022.pdf>

**Beskrivning av add-on:en Rhino.Inside.Revit finns här, <https://www.rhino3d.education/p/rhino-inside-revit>



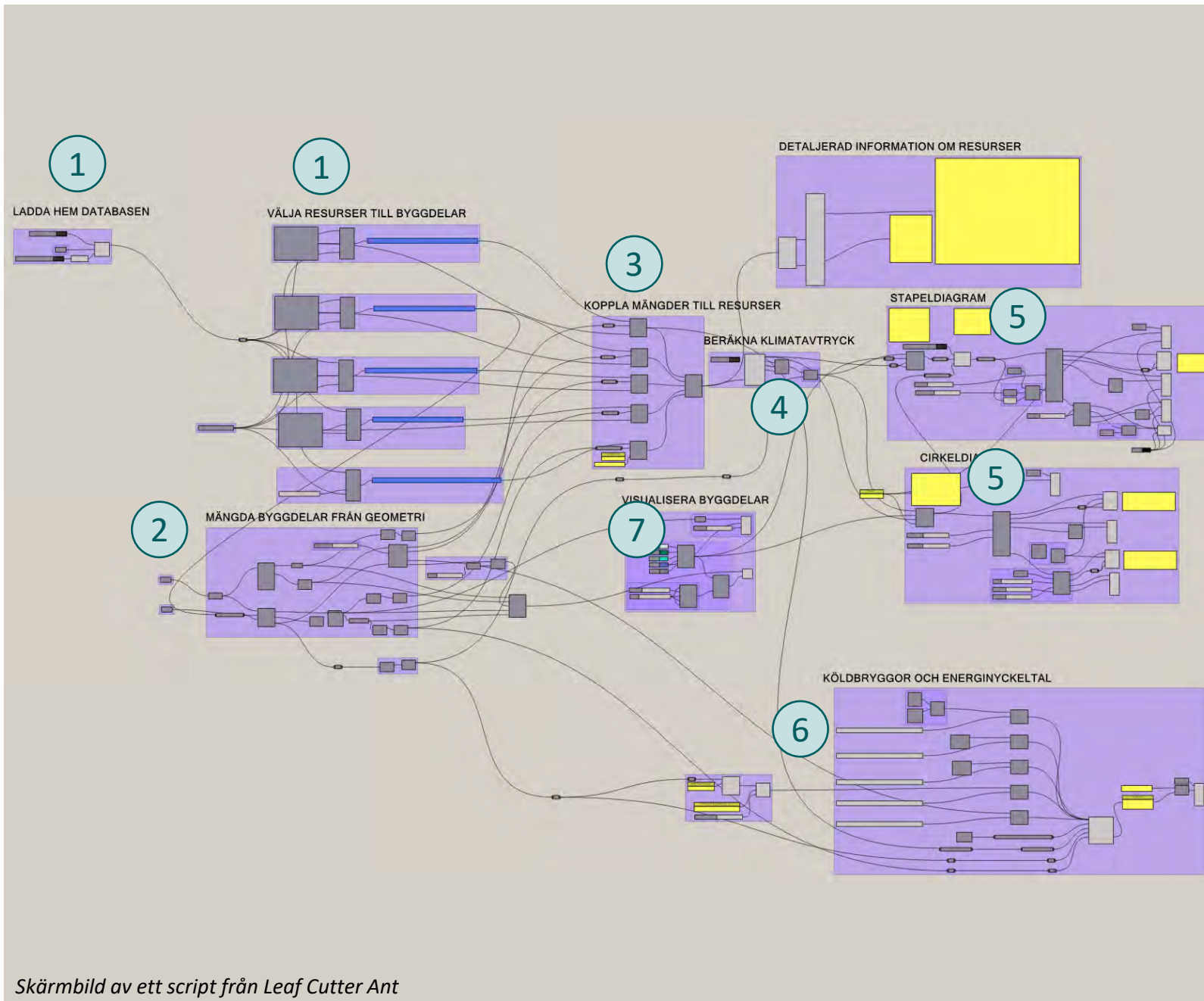
Ett "scripts" delar

Scriptet som tagits fram består av delar för att:

1. Ladda hem resursdatabasen och välja resurser till respektive byggdel.
2. Få fram mängder från byggdelarnas geometri.
3. Koppla mängderna till resurserna.
4. Beräkna klimatavtrycket.
5. Presentera resultat i diagramform.

Detta script är ett exempelscript som går att anpassa och ändra. I detta finns delar för att beräkna energinyckeltalet (6), samt för att visualisera geometrin med samma färger som i diagrammen (7).

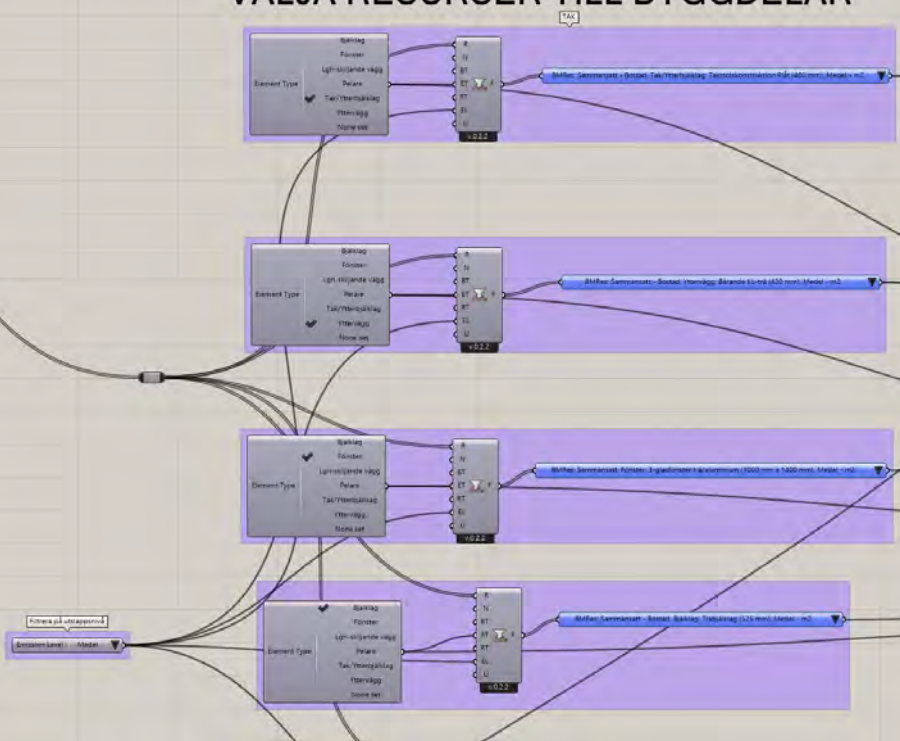
I andra exempelscript finns funktionalitet för dimensionering ("K-modulen") samt för prisberäkning.



LADDA HEM DATABASEN



VÄLJA RESURSER TILL BYGGDELAR



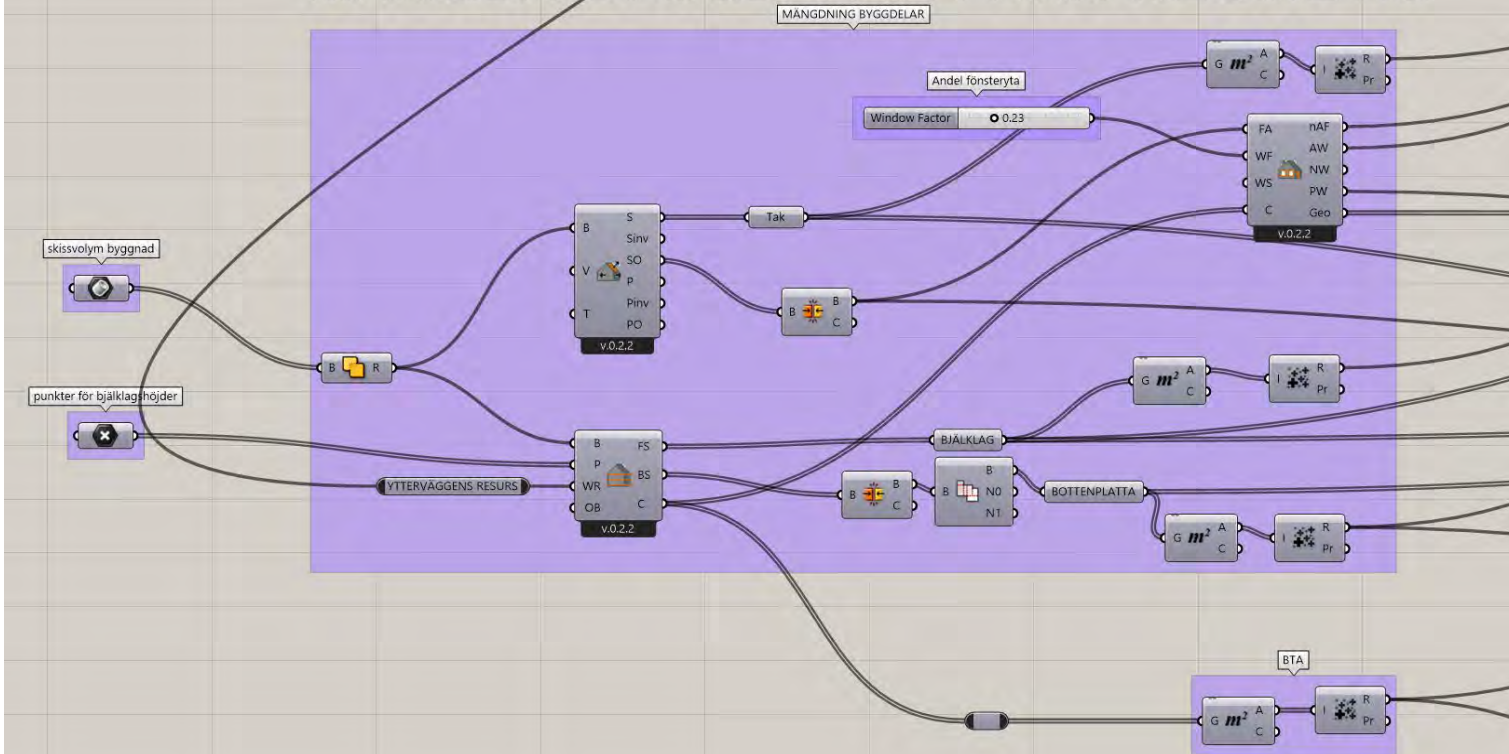
1

Resursdatabas

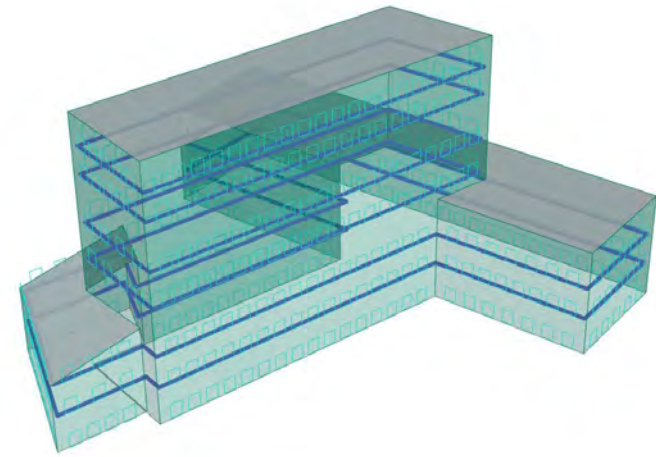
Skärmbild till vänster illustrerar följande processer:

- Nedladdning av en färdig resursdatabas som innehåller vanliga "recept" på sammansatta resurser från BM.
- Filtrering och val av resurser. I exemplet filtreras resurserna baserat på vilken byggdel de tillhör samt utsläppsnivån "Medel" (en beskrivning av utsläppsnivåerna "Låg", "Medel" och "Hög" finns i avsnitt Byggelementsbibliotek och databeräkning). Därefter kan resursen väljas med hjälp av den blå rullgardinsmenyn från pluginet Human.
- Möjligheten att skapa helt egna resurser, ange egna klimatdata eller ändra de förinställda värdena för resurser (detta visas dock inte i exemplet).

MÄNGDA BYGGDELAR FRÅN GEOMETRI



Skärmbild av ett script från Leaf Cutter Ant



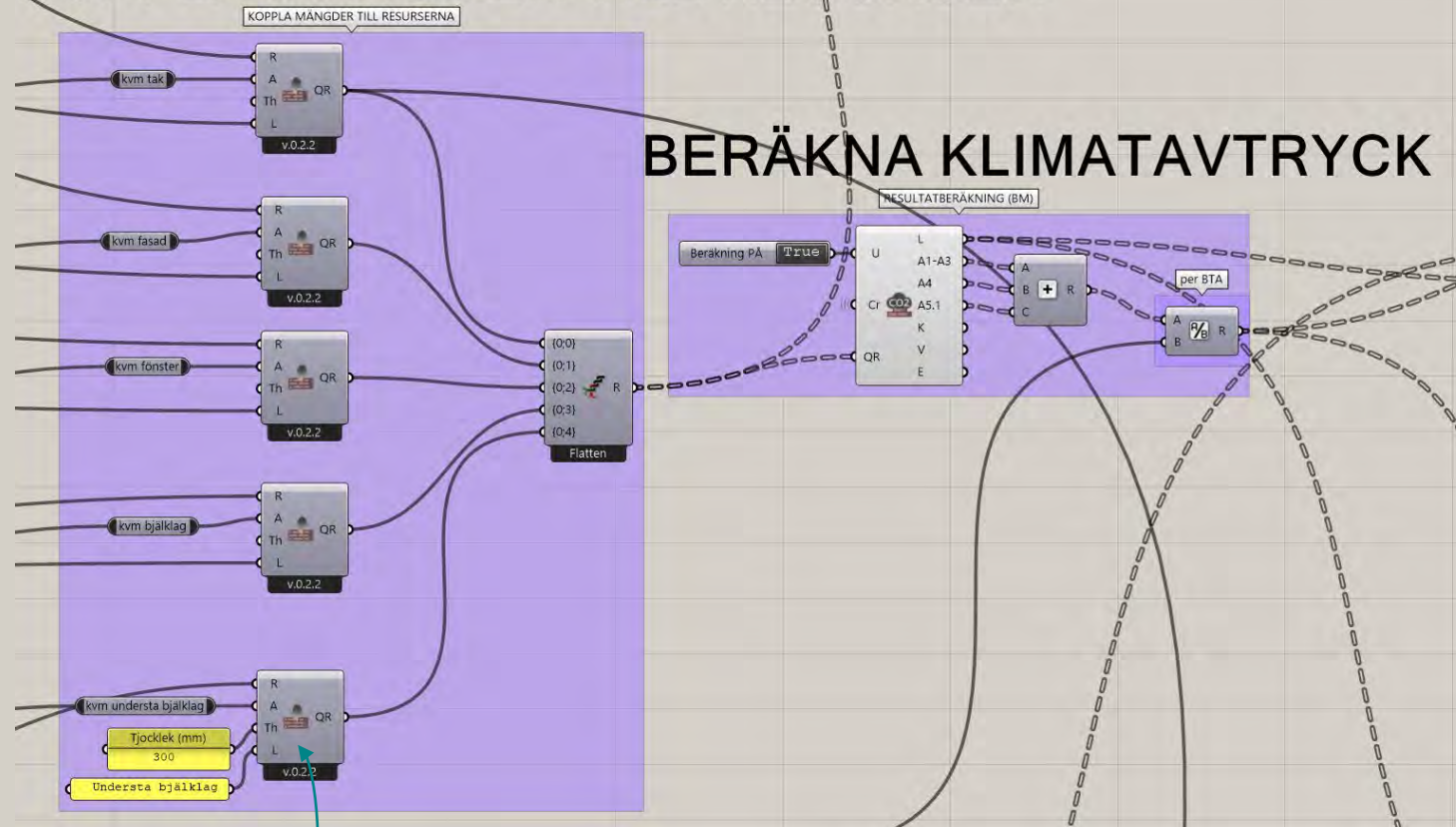
2 Mängda byggdelarnas geometri

Skärmskottet till vänster visar hur:

- LCAnt-komponenter hjälper till att få fram areor genom att till exempel sortera volymskissens ytor indelat på olika byggdelar (såsom vägg och tak), dela upp volymen för att få fram bjälklag, beräkna fram fönstermängd etc.
- Standardkomponenter används för att beräkna area eller volym, samt summera dem per byggdel.



KOPPLA MÄNGDER TILL RESURSER



I exemplet används resursen "armerad betong" till det understa bjälklaget. Denna resurs har m3 som enhet för mängd och därför anges både en tjocklek samt en area. Övriga resurser har redan en tjocklek definierad och behöver sina mängder i enheten m².

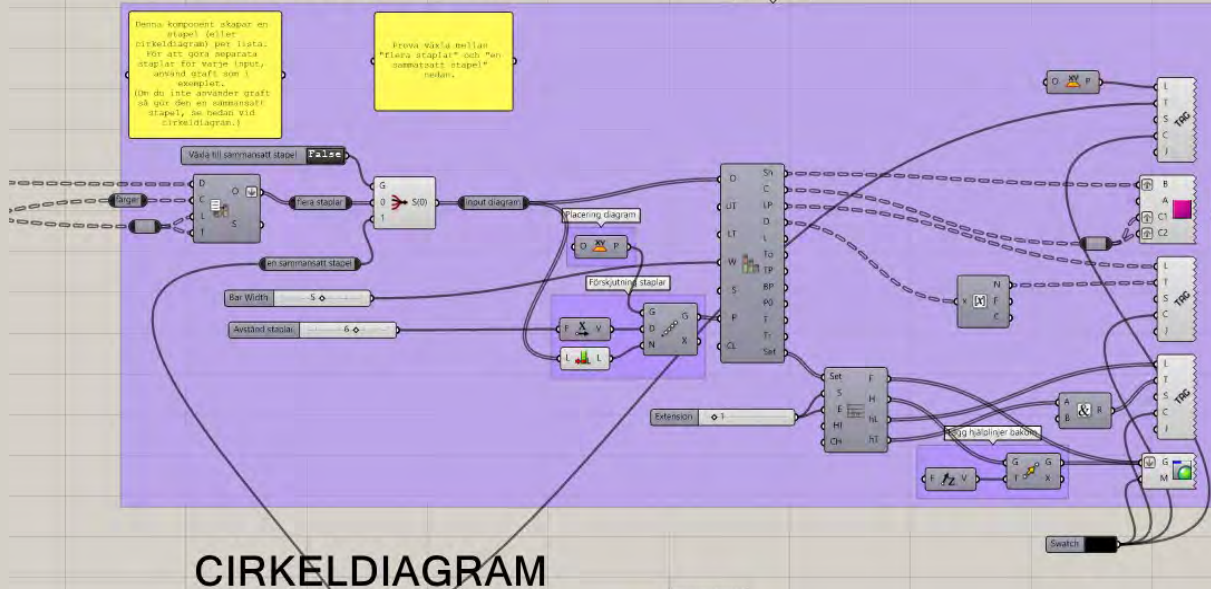
- 3 Koppla mängder till resurser samt
- 4 Beräkna klimatavtryck

Skärmbild till vänster illustrerar följande processer:

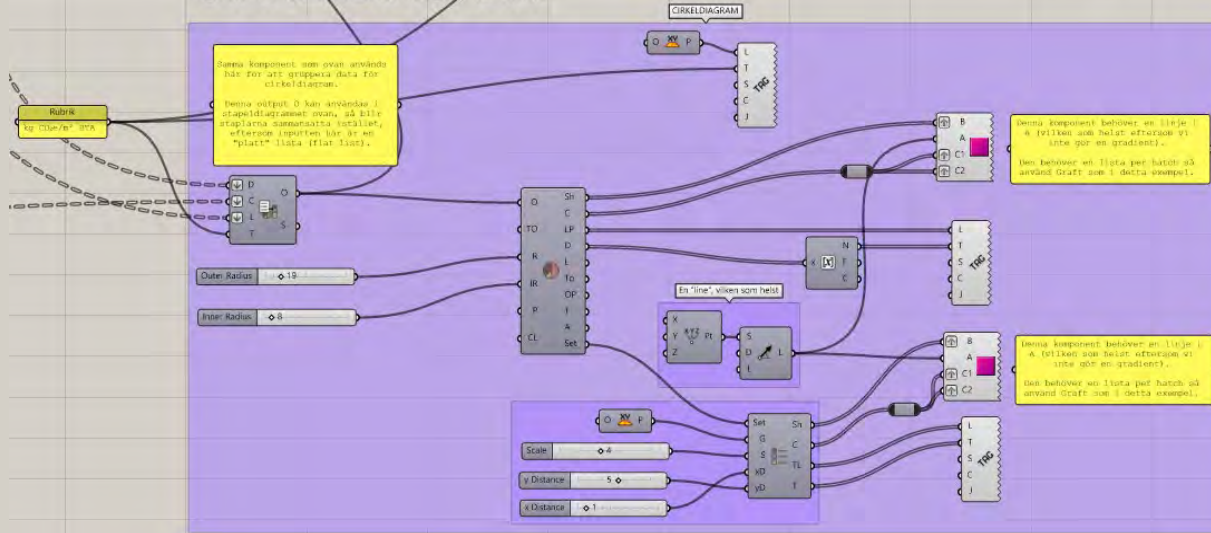
- Kopplingen mellan de framtagna mängderna och resurserna, vilket resulterar i en kvantifierad resurs som kan beräknas.
- Tilldelning av namn eller littera till kvantifierade resurser.
- Beräkning av klimatavtryck (ytterligare information om beräkningen finns i avsnitt Byggelementsbibliotek och databeräkning).
- Summering av klimatavtryck för A1-A3, A4 och A5.1, följt av en division med aktuell BTA.

Det är även möjligt att sortera och summera resultaten utifrån namn eller littera om exempelvis två olika resurser används till samma byggdel. Ett scenario kan vara att ståldörrar och trädörrar ska summeras till ett gemensamt resultat för byggdelen "dörrar". Detta moment visas dock inte i det aktuella exemplet.

STAPELDIAGRAM



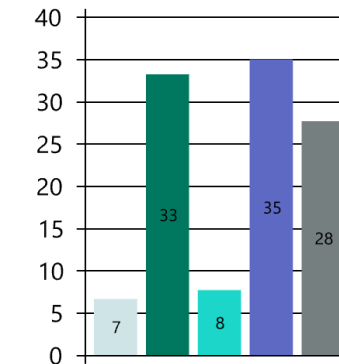
CIRKELDIAGRAM



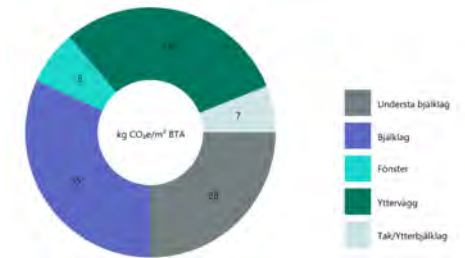
5 Presentera resultat

Skärmbild till vänster visar hur:

- Cirkel- och stapeldiagram kan tas fram med hjälp av LCAnts komponenter. Visualisering av diagrammens geometri kan göras med standardkomponenter, eller med andra plugins. På så sätt får användaren kontroll över linjetjocklekar, färger, skrafferingar etc.
- Staplar kan visas separat, eller vara sammansatta för att t.ex. jämföra olika alternativa volymsskisser, eller för de olika LCA-modulerna (A1-3, A4, A5 Spill). Detta visas ej i exemplet.



kg CO₂e/m² BTA



6 Beräkna energinyckeltalet

Skärmbild till vänster visar på beräkning av energinyckeltalet.

Energinyckeltalet täcker transmissionsförlusterna från klimatskal och köldbryggor. Klimatskalets transmissionsförluster är beroende av geometrin och klimatskalets U-värden, samt av köldbryggornas längd och psi-värden.

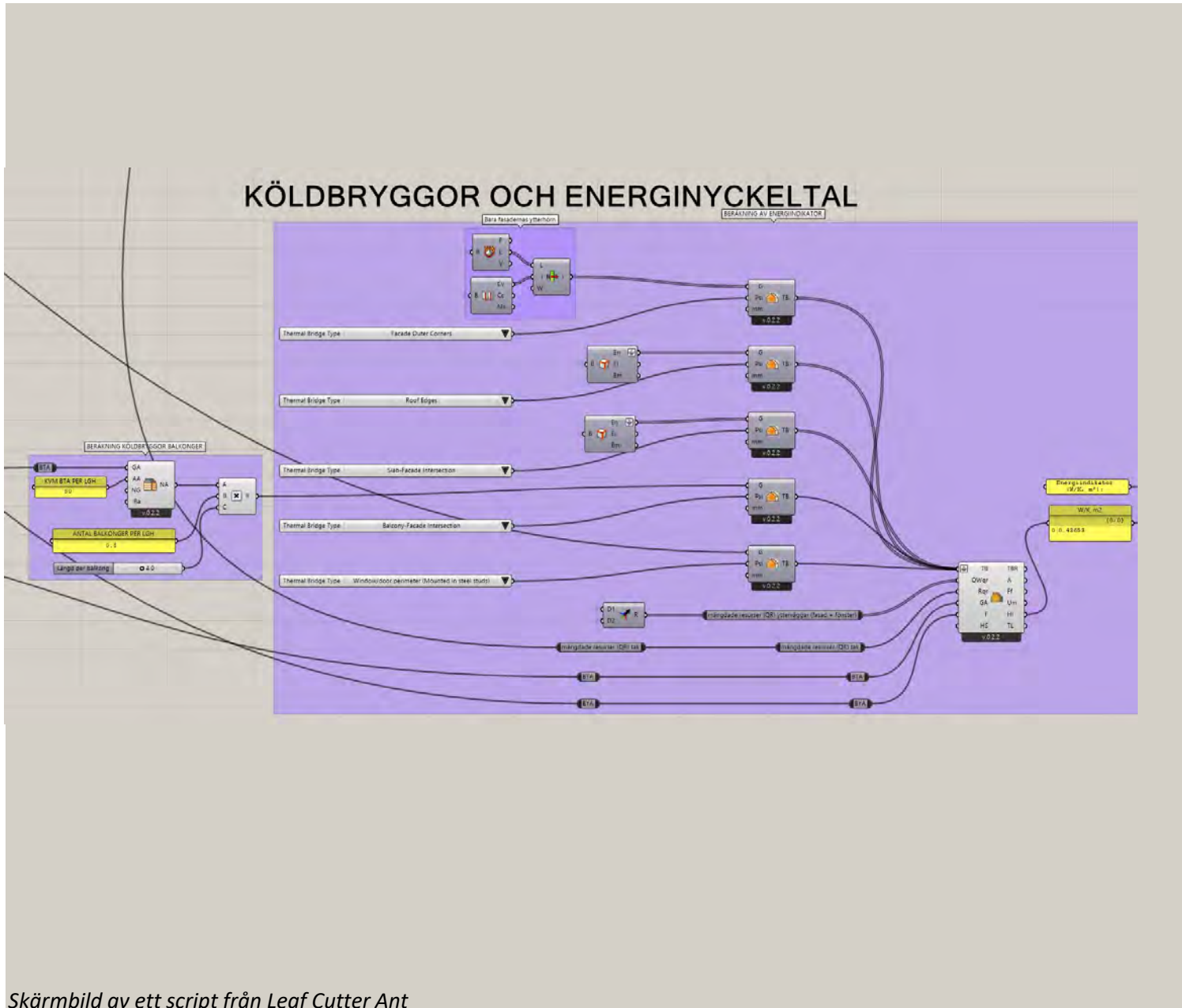
För att räkna fram detta görs följande:

- Klimatskalets resurser matas in. U-värden finns på förhand kopplade till resurserna i databasen. U-värden kan också anges manuellt.

Köldbryggornas del av värmeförlusterna beräknas genom att:

- Köldbryggor definieras antingen geometriskt eller numeriskt (längd i m eller mm). De vanligaste köldbryggorna har förinställda psi-värden som man väljer bland. Användaren kan också ange manuella värden.

Beräkningen ger resultat för energinyckeltalet i enheten W/K, m². Även formfaktor, U_m m.m. beräknas separat. Se mer i avsnitt "Byggelementsbibliotek och databeräkning" och sidan om Energinyckeltalet för klimatskalets värmeförluster.



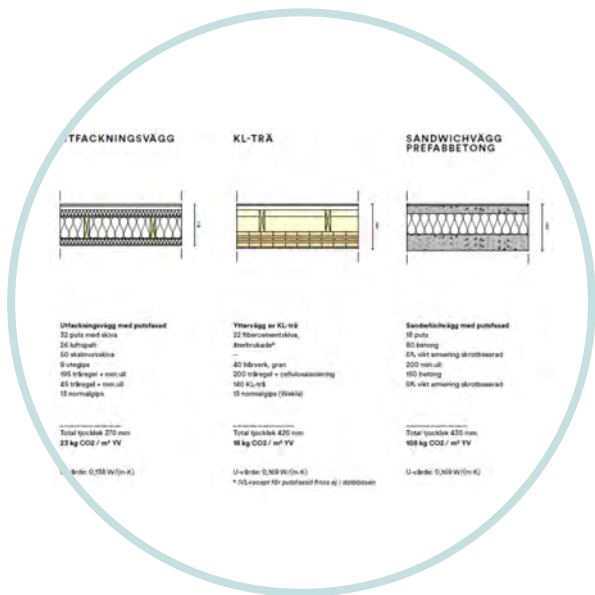
Skärmbild av ett script från Leaf Cutter Ant



LCAnt kan användas i olika skalor

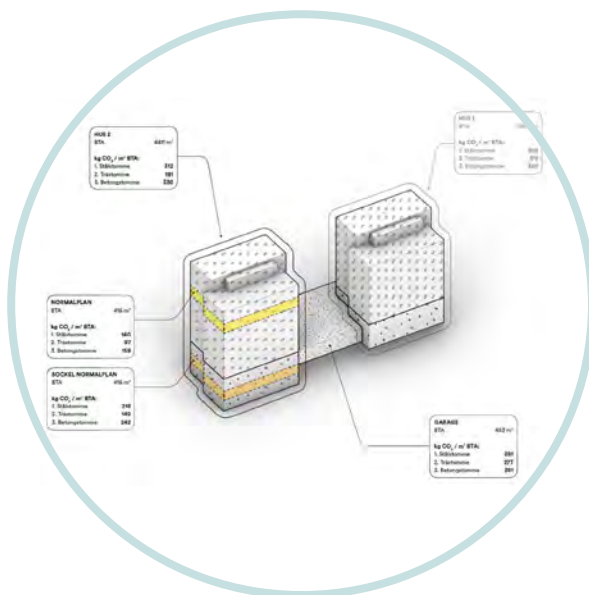
Byggdelar

Vi kan testa olika byggelement, och till exempel svara på vad som händer när vi jobbar med olika materialval.



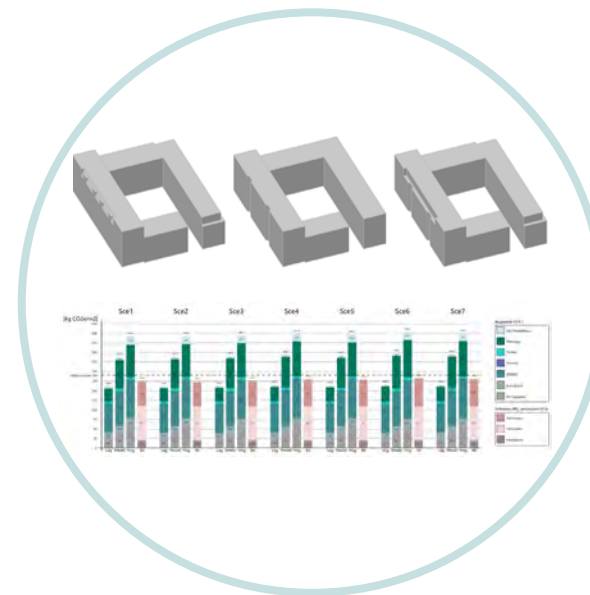
Byggnad

Vi kan testa olika byggnadsutformningar för att förstå vad som händer när vi ändrar geometrier samt materialval, samt undersöka relationen mellan materialval och geometri.



Kvarter

Vi kan testa många olika kvarterstrukturer för att se effekten av såväl geometrier samt materialval.



Planområde

Även ett större område, t.ex. strukturplan kan analyseras. I dagsläget tar LCAnt enbart med byggnadens påverkan, men framöver skulle även det som finns mellan byggnaderna vara relevant att inkludera.



4. Byggelementsbibliotek och databeräkning



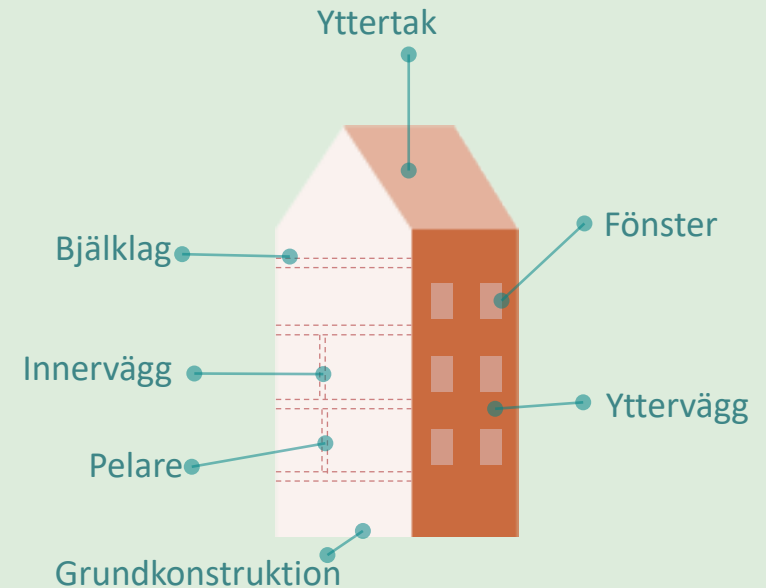
Ett bibliotek med byggelement

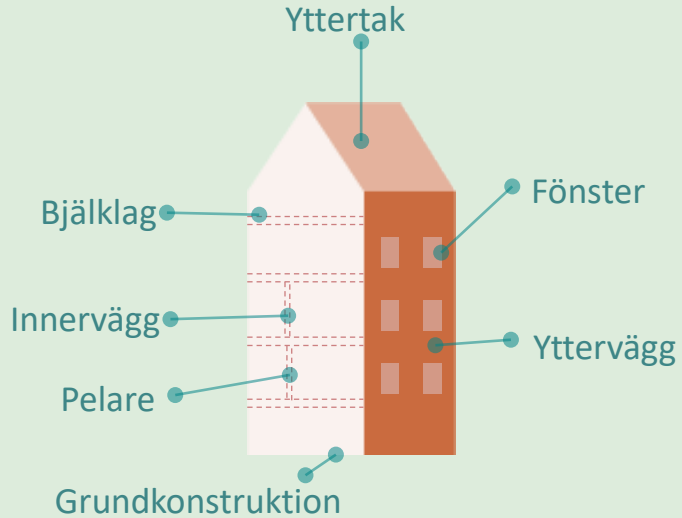
Inom projektet har det byggelementsbibliotek som togs fram inom Projekt 1 vidareutvecklats. Det består av byggelement som är sammansatta av flera material, och är till exempel ett komplett bjälklag eller väggelement. Utveckling har framförallt inneburit att lägga till fler byggelement för att täcka in fler vanliga typer, täcka in de byggelement som behövs i de olika fallstudierna som ingått i projektet, samt att täcka in fler stomalternativ (bl.a. fler dimensioneringsalternativ).

Syftet med byggelementsbiblioteket är att förenkla beräkningen i tidiga skeden genom att ytor eller delar av 3D-modellen kopplas till generiska byggnadselement. Utifrån verktygets beräkning av den totala mängden byggelement fås automatiskt feedback på volymmodellens klimatpåverkan.

Elementen är kopplade till klimatdata genom att de är modellerade i BM (Byggsektorns miljöberäkningsplattform). Där är de tilldelade generiska klimatdata samt omräkningsfaktorer. När biblioteket och värden anropas från LCAnt är de alltid uppdaterade mot löpande uppdateringar av databaserna i BM.

De kommande sidorna beskriver mer detaljer hur byggelementen är uppbyggda, omfattning och syfte.





Benämning	Byggdelen	Inköpt mängd	Inläst enhet
Formvirke, 45x9!	24 - Grundkonstruktioner	27.9873	kg
Formvirke, 45x9!	24 - Grundkonstruktioner	27.9873	kg
Formvirke, 45x9!	24 - Grundkonstruktioner	111.9492	kg
Cellplastisolering	24 - Grundkonstruktioner	12.0204	kg
Cellplastisolering	24 - Grundkonstruktioner	12.0204	kg
Armering K500C	24 - Grundkonstruktioner	8.662599	kg
...
...
...
...

Byggelementen möjliggör snabbare beräkning

En nyckel i tidiga skeden är förenkling. I tidiga skeden är informationen begränsad och därför behöver flera antaganden göras. Dessutom finns det behov att beräkningen ska gå snabbt för att kunna testa olika varianter. Byggelementsbiblioteket är tänkt att möjliggöra detta.

I senare skeden är klimatberäkningarna generellt mer detaljerade och tidskrävande. I ett exempel som illustreras till vänster bygger som exempel indata på ungefär 100-200 olika resurstyper i en beräkning gjord i ett senare skede. Erfarenheter visar att det ofta är denna resurslista som kan ta lång tid att få fram och hantera vid en klimatberäkning.

I LCant innebär en liknande omfattning av byggdelen istället att man jobbar med cirka 10 stycken byggelement. Vilket alltså är 10 till 20 gånger så få resurser att hantera.

Effekten är att färre val behöver göras och färre resurser hanteras, vilket alltså passar väl i de tidiga skedena när man både vill att det ska gå fort men inte heller har tillräckligt med information för att göra detaljerade val.

Oundvikligt innebär det också en större osäkerhetsfaktor vad gäller resultatet än det man får i senare skeden. Detta beskrivs mer i avsnitt Hantera osäkerheter för ökad kvalitet på designbeslut.

Tidiga skeden
Leaf Cutter Ant: cirka 10 byggelementstyper



Senare skeden
cirka 100-200 olika resurstyper/material

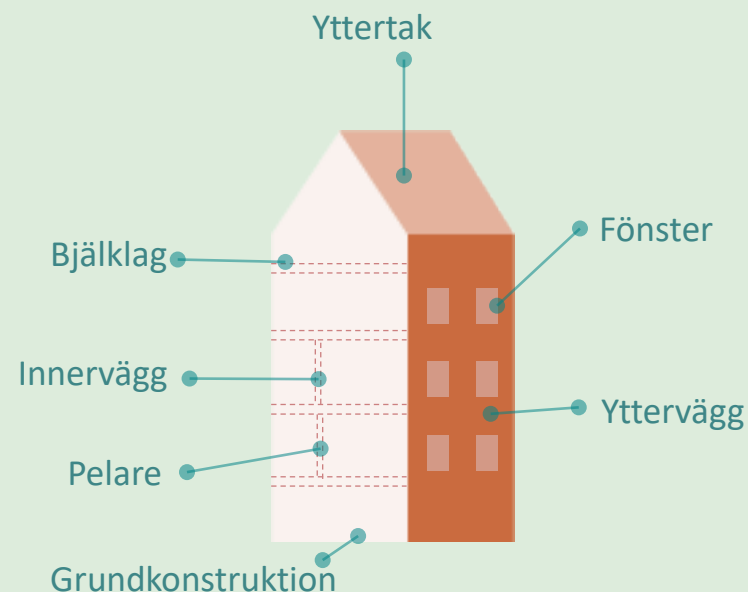


Varje byggelement består av tre varianter (låg, medel, hög)

Varje byggelement finns i tre varianter med tre olika utsläppsnivåer för klimatpåverkan, enligt *låg*, *medel* och *hög*. Dessa tre representerar samma byggelement men de har viss variation i materialval. Syftet är att kunna se ett spann av vad olika materialval kan innebära och på så vis påvisa någon sorts klimatambition. Exempel på låg är cirkulerat innehåll eller materiavarianter med lägre klimatpåverkan från materialtillverkning, exempelvis klimatförbättrad betong.

Tanken med att varje byggelement återfinns i dessa tre varianter är också att ge ett visst osäkerhetsspann för respektive byggelement. Det kan alltså hjälpa till att indikera att klimatpåverkan för respektive byggelement kan ha en mer eller mindre stor spridning beroende på ingående data/resurser.

På kommande sida visas exempel på olika byggelement och dess klimatpåverkan per kvadratmeter. Detta illustrerar dels skillnaden i klimatpåverkan mellan de olika byggelementen men även bland låg, medel, hög för respektive byggelement. Vad som till exempel är intressant är att om man jämför två byggelement med utsläppsnivå medel mot varandra så kan man enkelt se skillnaden i klimatpåverkan, men om man inkluderar låg, medel, hög för dem så är det inte säkert att det längre är tydligt vilket byggelement som ger störst klimatpåverkan längre. Till exempel är fallet så för vissa av bjälklagen. För vissa byggelement ses också väldigt stor skillnad mellan låg, medel och hög. I dessa fall är det för att flera material med hög klimatpåverkan har kunnat bytas ut till andra alternativ, i Yttervägg 1 till exempel är fasadmaterialet utbytt till återbrukat alternativ.



Byggelement exempel

Bostad, Yttervägg, Specifik
Icke-bärande Tegel (470 mm)

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

Tre varianter med olika utsläppsnivåer:

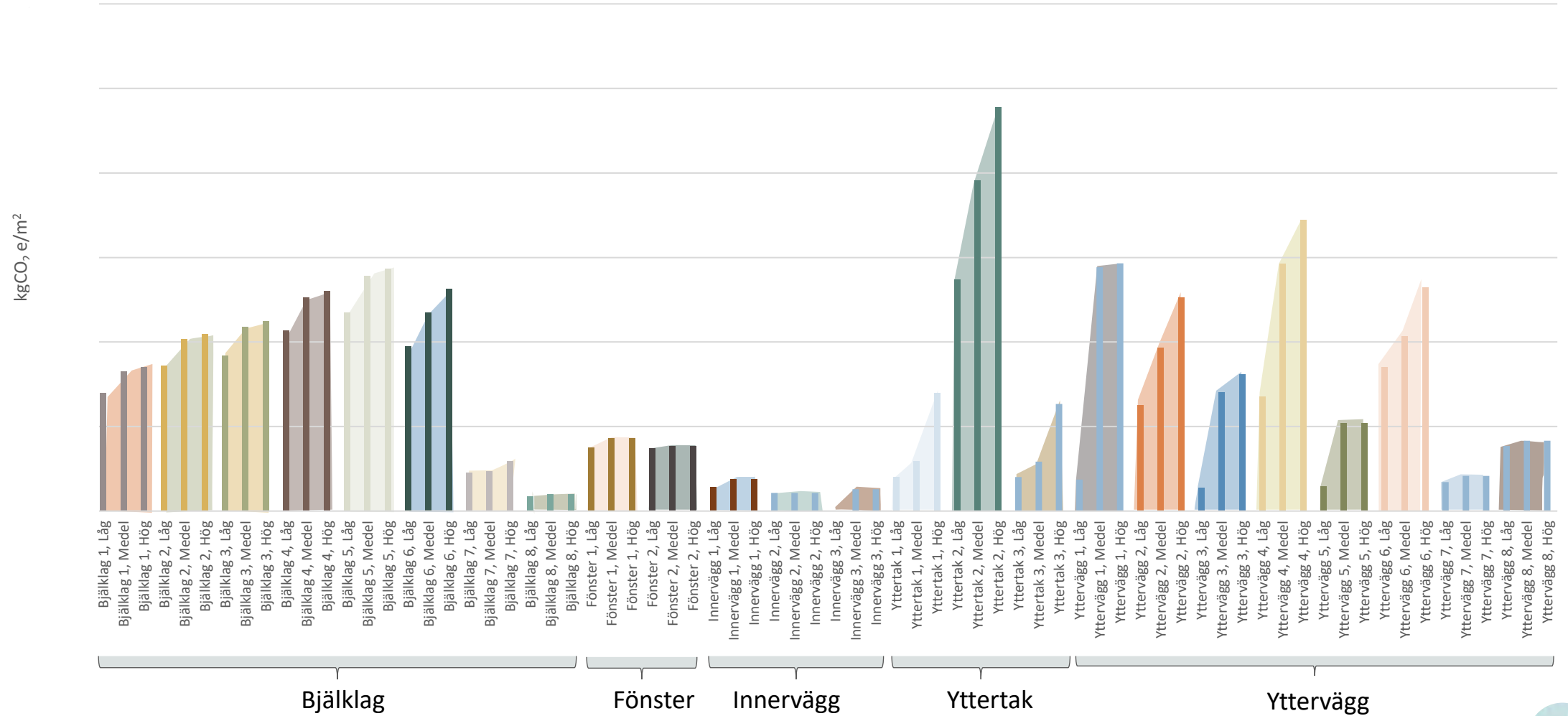
Låg

Medel

Hög



Exempel på byggelement



Exempel på olika byggelement och dess klimatpåverkan per kvadratmeter

Byggelement

Byggelement

Byggelement

Byggelement

Byggelement

Byggelement exempel

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

Byggelement

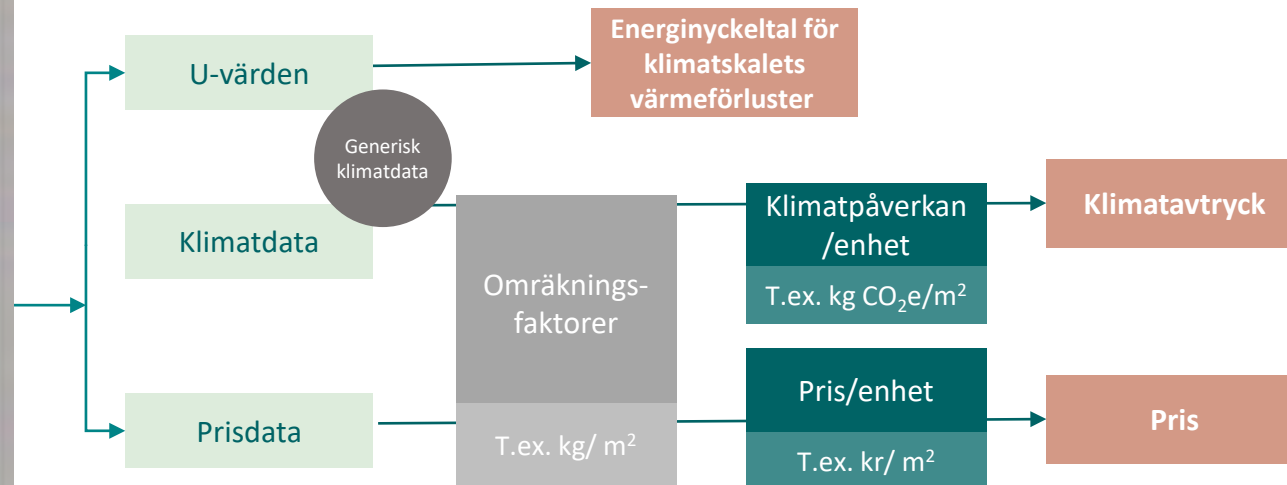
Byggelement

Byggelement

Byggelement

Byggelement

Byggelement



Vilken data innehåller byggelementen?

Varje element är kopplat till såväl 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. Oftast är enheten vi vill åt kvadratmeter vilket innebär att omräkningsfaktorer i form av kg/ m² tilldelas. Detta gör att data i form av till exempel kg CO₂e/m² och kr/ m² enkelt kopplas till volymmodellens ytor och ger klimatavtryck och priser. Klimatdata och prisdata fås därför automatiskt baserat på den yta volymmodellen har.

U-värden räknas om till ett energinyckeltal av LCant. Både klimatavtrycket och energinyckeltalet beskrivs mer i detalj på de två kommande sidorna. Beräkningen av priser beskrivs mer i avsnitt "Prisberäkning".



Metod vid framtagning av byggelementen

Byggelementen är en sammansättning av vanligt förekommande byggmaterial som används i svenska byggprojekt. De är först skapade i Excel och sedan i BM där generiska klimatdata samt densitet har tilldelats respektive resurs i receptet.

Klimatdata är från svenska och nordiska klimatdatabaser enligt rangordningen;

1. Boverkets klimatdatabas¹
2. BM²
3. Trafikverket³ samt
4. den finska klimatdatabasen⁴.

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 bl.a. iCell⁵, Wekla⁶ och olika byggvaruhandel, t.ex. Optimera⁷, Beijer Byggmaterial⁸, Byggmax⁹ samt Teknikhandboken¹⁰ och Svenskt trä¹¹.

Figuren nedan visar ett exempel på indata för ett byggelement (bärande fasadtegel).

Namn Byggelement	Recept	Tjocklek [mm]	Vikt per yta [kg/m ²]	Övrig omräkningsinfo
Bärande fasadtegel (490 mm)	Fasadtegel	55	99	
	Betong, (vct 0.40, C45/55)	50	123	
	Isolering, glasull	200	6	29 kg/m ³
	Betong, (vct 0.40, C45/55)	90	212	
	Reglar, trä	45	3	CC-mått 600, d=45 mm
	Gipsskiva	50	48	

¹ Boverket, 2024

² BM, IVL Svenska Miljöinstitutet, 2024

³ Trafikverket, 2024

⁴ Finlands miljöcentral, 2024

⁵ iCell, 2024

⁶ Wekla, 2023

⁷ Optimera Bygghandel, 2024

⁸ Beijer Byggmaterial, 2024

⁹ Byggmax, 2024

¹⁰ Teknikhandboken, 2024

¹¹ Svenskt trä, 2024



Beräkning av klimatavtrycket

Omfattning Livscykelmoduler

LCAnt beräknar i dagsläget klimatavtrycket för livscykelkedje A1-A5.1. A1-A3, A4 och A5 Spill enligt EN15804 / EN15978 / ISO 21930.

Omfattning byggdelar

Byggelementsbiblioteket inkluderar byggdel 2-7 (enligt SBEF Byggdelstabell) i dagsläget, med olika stor variation för de olika byggdelarna. Omfattningen på själva beräkningen är egentligen helt upp till den som tar fram modellen och beräkningen. Syftet är oftast att jämföra olika alternativ eller scenarier 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 t.ex. en prognos om uppfyllande av ett specifikt målgränsvärde önskas.

Hur görs klimatberäkningen i LCAnt?

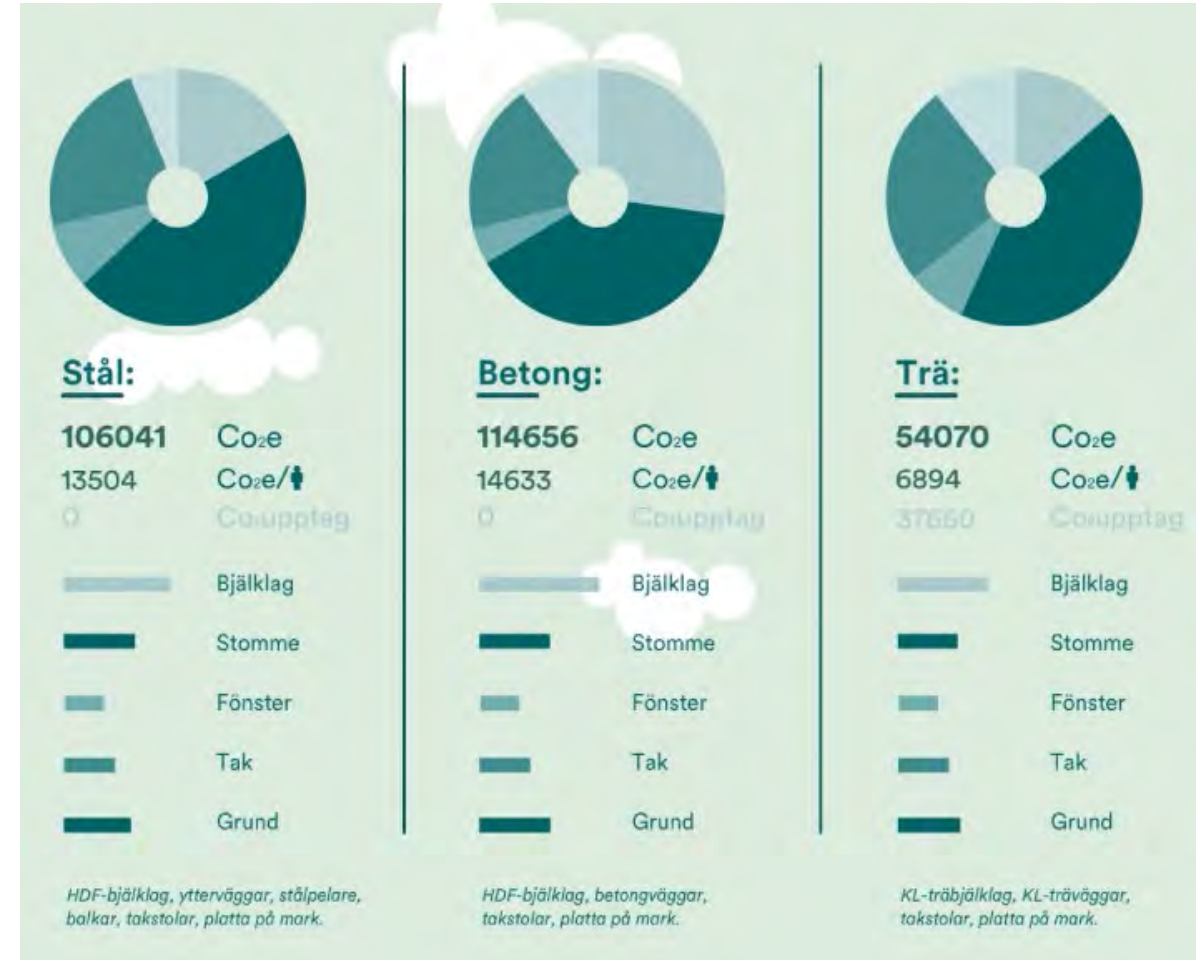
Allt som behövs för att få fram en beräkning av klimatavtrycket är en mängd och en resurs (val av byggelement/material).

Resursdatabasen hämtas in till Grasshopper från BM via en grasshopper-komponent. En mängd komponenter i LCAnt kan hjälpa användaren att välja, sortera och hantera resursdatabasen. Till en vald resurs kopplas en sedan mängd av resursen enligt resursens enhet – oftast m² eller m³.

Grundtanken är att mängderna tas fram geometriskt ur 3D-modell, men egentligen kan mängder också anges manuellt, eller importeras från IFC-modeller eller liknande.

Inom LCAnt finns färdigutvecklade komponenter som hjälper att få fram mängder om den görs från en volymmodell i Rhino. När resursen fått en mängd tilldelad så kallas de "kvantifierade resurser" (quantified resources) och kan klimatberäknas. Resultatet har enheten kg CO₂e. I normala fall divideras sedan resultaten med byggnadens BTA för att få fram kg CO₂e/m² BTA.

För redovisning och sortering av resultat finns framtagna komponenter för att t.ex. generera diagram, samt att summera resultat per byggdel även om flera olika resurser använts till byggdelen (ex. Byggdel "dörrar" bestående av både innerdörrar och ståldörrar).



Exempel på beräkning från LCAnt Bild: Fojab



Energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster

I dagsläget inkluderar alltså inte LCant hela livscykeln vid beräkning av klimatavtrycket (se förgående sida), men för att försöka undvika suboptimering med driftskedet har ett Energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster tagits fram som ska indikera byggnadens energianvändning i drift.

Nyckeltalet är framtaget på delar av redan befintligt prestandabegrepp – VFT (värmeförlusttal) enligt Feby 18 och avser spegla de delar av byggnadens energibehov som är kopplat till val i tidiga skeden, d.v.s. byggnadens geometri och klimatskalets prestanda.

Nyckeltalet täcker transmissionsförlusterna från klimatskalet och från köldbryggor, d.v.s. alla de energiförluster som är beroende av byggnadens geometri.

Beräkning av energinyckeltalet i LCant

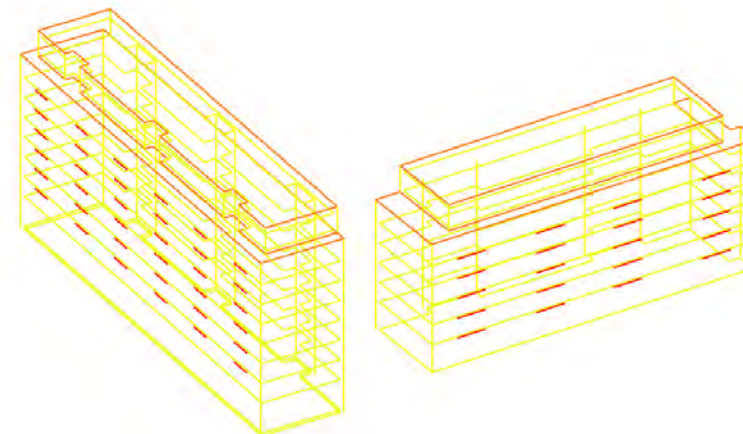
Standardvärden kan väljas för såväl U-värden som för köldbryggorna (t.ex. köldbrygga balkonginfästning eller köldbrygga bjälklag möter yttervägg) för att användaren ska kunna få fram rimliga värden utan specifik kunskap. Både köldbryggor och U-värden kan dock ställas in manuellt.

För beräkning av ett korrekt energinyckeltal så krävs en modell som har ett komplett klimatskal där resurser och mängder kopplats till alla ytterväggar och tak/ytterbjälklag, samt att man definierat alla de förekommande köldbryggorna ur nedanstående typer.

- takens ytterkant,
- fasaders ytterhörn,
- bjälklag möter ytterväggar,
- balkonger möter ytterväggar,
- fönsters och dörrars omkrets (antingen infästa i plåtreglar, eller i träreglar)

Utöver detta räknas också bottenplattans transmissionsförlust mot omgivande mark. Denna räknas som hälften jämfört med transmissionsförluster mot omgivande luft, då markens massa och tröghet resulterar i långsammare värmeförluster än ytterväggars och taks förluster mot omgivande luft. Samtliga konstanter bakom beräkningen (infiltrationsvärde/q50 etc) kan ändras av den avancerade användaren.

Den resulterande energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster anges i W/K, m², se ekvationen till höger.



Exempel – köldbryggor (fönster och dörrar ej inkluderade) för ett bostadshus.

Energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster

$$(U_m \cdot A_{om} + K \cdot q_{inf} \cdot A_{fasad}) / A_{temp} \quad [W/K, A_{temp}]$$

Där: U_m [W/m²,K] = genomsnittlig värmegenomgångskoefficient enligt SS13789:2017
 A_{om} [m²] = omslutande area enligt BFS2011:6
 $K = \rho \cdot c$
 q_{inf} = infiltration (luftläckning) i l/s, m² vid driftryck = q_{50} / d
 A_{fasad} [m²] = total ytterväggsyta inklusive fönster och glaspartier
 A_{temp} [m²] = uppvärmd byggnadsyta

Och där: c [kJ/kg,K] = luftens värmekapacitet
 ρ [kg/m³] = luftens densitet
 q_{50} = infiltration i l/s, m² vid 50 Pa tryckskillnad
 $d = 20$ vid FT-ventilation eller avstängd fläkt
 $d = 25$ vid undertryck motsvarande F-ventilation

5. Dimensionering av bärande stomme

Utveckling och funktionalitet för att automatisera beräkning av stommens klimatavtryck



Funktionalitet för stomdimensionering i de tidiga skedena

I LCAnt har en funktionalitet utvecklats som stöttar stomdimensionering i de tidiga skedena utan konstruktörs närvaro. Detta för att skapa ännu mer informerade beslut i de tidiga skedena. Denna funktionalitet kallar vi för konstruktionsmodulen (K-modulen).

Stommens klimatpåverkan

Byggnadens stomme står ofta för en betydande del av en byggnads klimatbelastning. Den består också av tunga, resurskrävande material. Val mellan olika stommar och geometri kan därför ha en signifikant skillnad på en byggnads klimatpåverkan.

Dessutom har stommen egenheten att mängden material i stommen svarar icke-linjärt på förändringar av geometrin. En dubblering av antalet våningar kommer inte ge en dubblering av mängden material, utan resulterar utöver en större mängd löpmeter pelare, också i större pelare. På samma sätt kommer inte en dubbelt så lång balk bara bli dubbelt så långt, utan samtidigt växa i dimension.

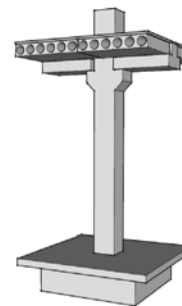
Detta gör att stommen är viktig att fånga upp under den tidiga designprocessen. Samtidigt saknas då ofta den expertisen hos användaren för att själv uppskatta realistisk dimensionering.

Till höger illustreras ett exempel på effekten som olika stomval i kombination med olika byggnadsutformningar kan ha på klimatbelastningen. Figuren visar hur klimatbelastningen per byggnadsyta kan påverkas av geometriska skillnader, i dessa fall antalet våningar. Detta med olika exempelbyggnader samt generiska data respektive EPD-data.

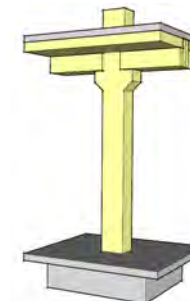
1 PLATTBÄRLAG
HATTBALK STÅL
PELARE STÅL



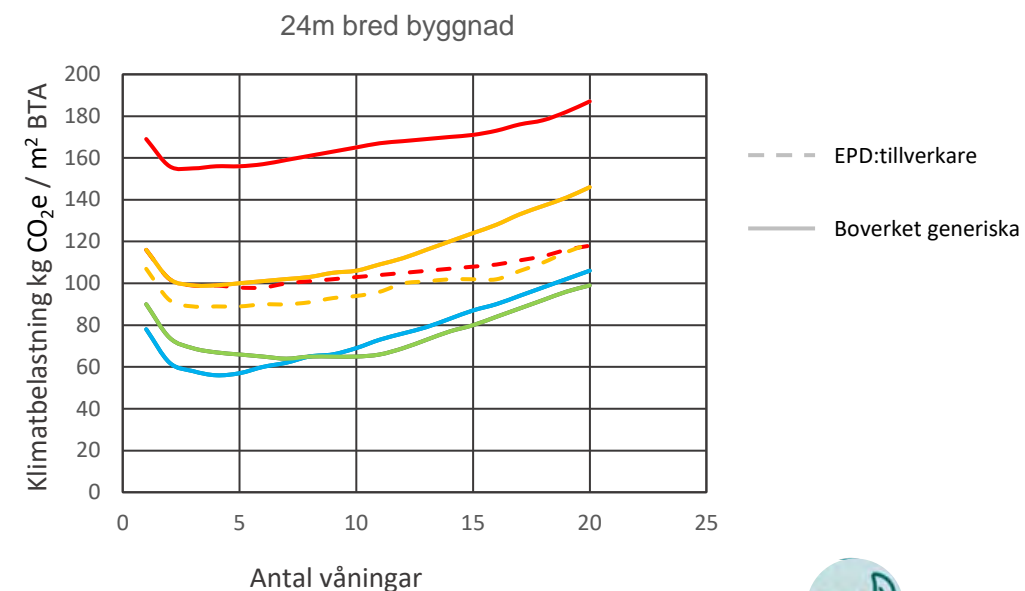
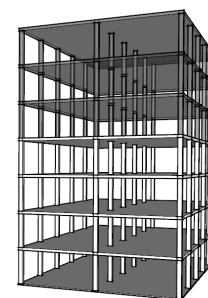
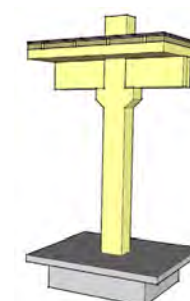
2 HÅLDÄCK
PREFAB BETONGBALK
PREFAB BETONGPELARE

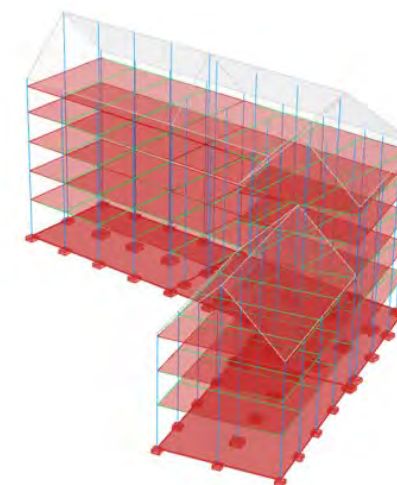
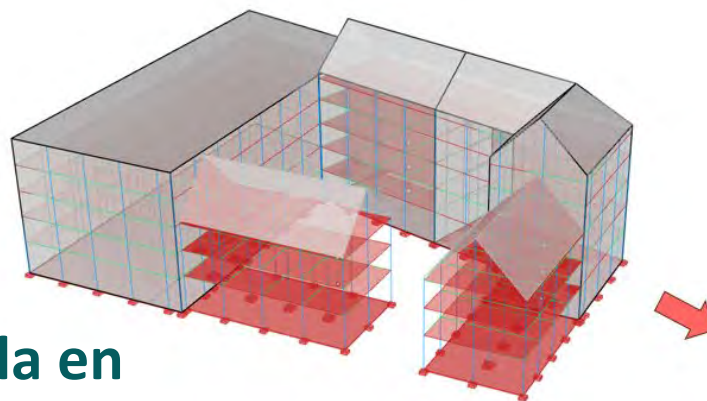
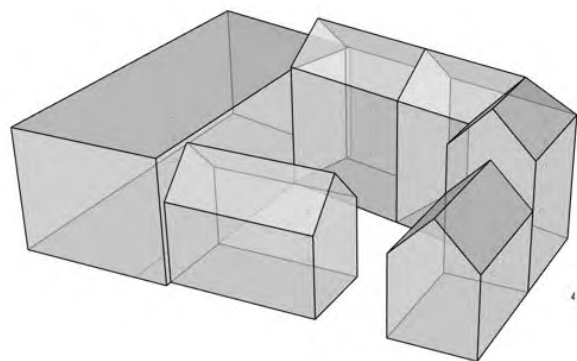


3 SAMVERKAN KL/BTG
HATTBALK LIMTRÄ
PELARE LIMTRÄ



4 KL-BJÄLKLAG
BALK LIMTRÄ
PELARE LIMTRÄ





Pelare
3.9 m³

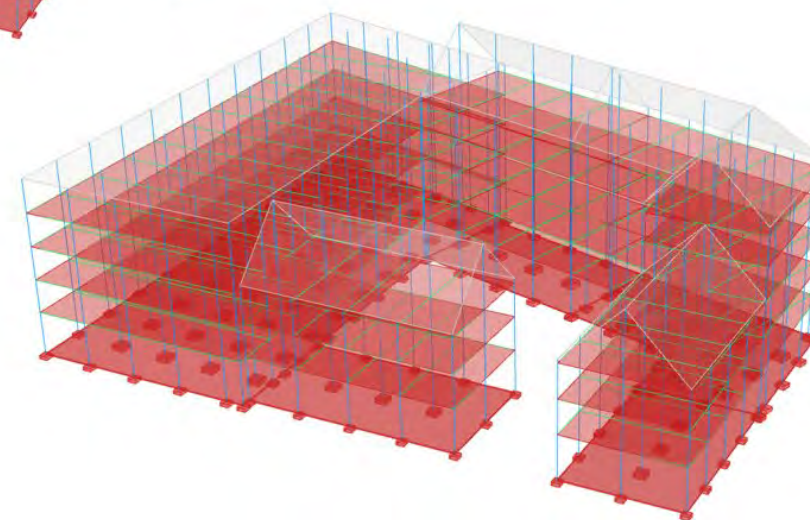
Bjälklag
4159.8 m²

Grundläggning
148 m³

Utmaningen kring att utveckla en "passiv designer för stommen"

I detta projekt har målet varit att skapa ett verktyg som ger realtidsfeedback på de val en "aktiv designer" (t.ex. en arkitekt) gör. Tanken är att detta ska vara ett verktyg för den aktive designern som inte kräver att man väntar in konstruktörens arbete, utan ger respons i realtid.

Detta gör dock att verktyget behöver styras av en "passiv designer", i detta fall en konstruktör som ska ta beslut utan att sitta med vid arbetsbordet. För det krävs höga grader av förenklingar och inbyggda antaganden, vilket har varit en av de största utmaningarna, men också en av de stora framstegen i utvecklingen av konstruktionsmodulen (K-modulen). Denna K-modul har tagits fram i projektet för att kunna komplettera övriga LCAnT, och beskrivs ytterligare på nästkommande sidor.



Pelare
8.3 m³

Bjälklag
10625.9 m²

Grundläggning
404.3 m³

Utdrag ur verktyget för att illustrera flödet från input (vänster) till resultat (höger). Bild: Tyréns

Konstruktionsmodulen

Hur möjliggör man att vara designer utan att se projektet?

K-modulen är skapad för att vara reaktiv. Modulen utvärderar därmed designerns val snarare än att vara en aktiv designer. Detta möjliggör att resultat kan ges med konstruktören som en passiv part, och låta till exempel arkitekten i realtid få resultat baserat på de val man gör. En enkel, linjäriserad metod utan loopar eller FEM-beräkningar (Finita Elementmetoden - vanlig beräkningsmetod) i konstruktionsmodulen gör även att den aktiva designern har kontroll över många av de datakrävande processerna.

Dimensionering – metod och beräkningsgång

Beräkningsmässigt bygger metoden i de flesta fall på regressioner av, i förväg, beräknade dimensioner. I arbetet med att ta fram dessa har en hel del fokus lagts på att kondensera fram de variabler som är relevanta för, och möjliga att lägga ut till, designern (såsom arkitekten).

Genom dessa förenklingar har ett antal samband tagits fram, för att kunna användas och svara mot de ändringar designern kan tänkas göra och som bedöms påverka stommen primärt. Generaliserat kan man säga att många av regressionerna använder längd/höjd samt last som variabler och dimensioner/mängder som resultat.

Utnyttjandegrad av strukturens kapacitet* har varierat lite mellan de olika konstruktionsdelarna, men målsättning har varit mellan 85-90%.

Se exempel på regression på nästkommande sida.

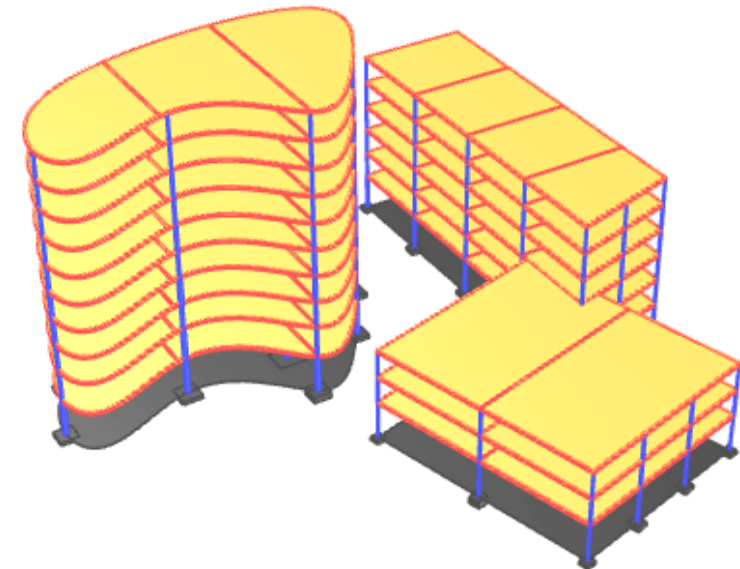


Bild: Tyréns

* Strukturens kapacitet är den belastning byggnadsdelen klarar innan den når sin övre gräns (brottsgräns eller bruksgräns). Utnyttjandegrad är hur stor del av denna kapacitet som används (procent).



Metod och beräkningsgång – Exempel håldäcksbjälklag

För att möjliggöra snabb dimensionering, och därmed snabba resultat tillbaka, har vi valt att använda linjärisering och i vissa fall exponentiella regressioner som metod. För varje byggelement görs ett urval av dimensioneringar med viktiga dimensioneringsvariabler som parametrar.

Detta möjliggörs av att mängder snarare än dimensioner ligger i fokus för resultaten, då dimensioner hade krävt en annan metod med tydligare definierade steg, som hanteras stegvis.

Ett exempel, i detta fall för håldäcksbjälklag, kan ses i bilden till höger. Det vi ser är en regression, alltså att man skapar en graf, eller ett samband av ett antal uträknade laster och dimensioner. På så sätt får man fram en trend, eller ett samband som kan användas för att snabbt få dimensioner för andra lastvärden, utan att behöva göra om beräkningen fullständigt.

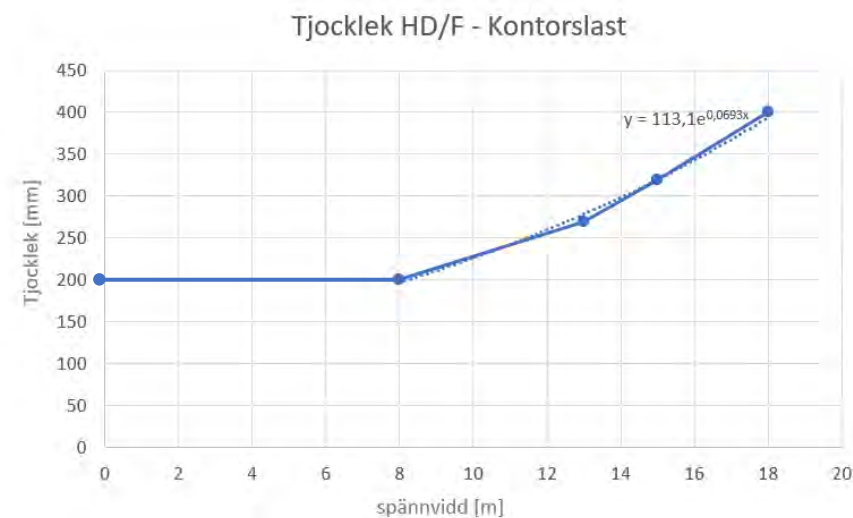
I detta fall kan man med hjälp av ett antal färdigdimensionerade HD/F-dimensioner skapa ett samband som ger en dimension och materialmängd för ett flertal olika spännvidder eller laster.

Kontor

Spännvidd	Tjocklek
X [m]	Y [mm]
0	200
8	200
13	270
15	320
18	400

	HD/F 120/20	HD/F 120/27	HD/F 120/32	HD/F 120/40	[m]
Bostad 2 kPa	9	13	15	17	
Kontor 2,5 kPa	8	13	15	18	
Industri 6 kPa	7	11	13	15	
Industri 10 kPa	5	9	11	13	

”HD/F-Plattor Dimensionering” (Svensk betong 24 okt 2022*)



Utdrag – grafisk representation av en linjär regression som används i K-modulen.

*<https://www.svenskbetong.se/svensk-betong/press/pressmeddelande/15-bygga-med-prefab/397-hd-f-plattor-dimensionering>



Omfattning och avgränsningar - Konstruktionsmodul

Huvudfokus för omfattningen har varit att ta fram mängder, istället för dimensioner, vilket har påverkat en del av de metoder som tagits fram.

K-modulen och dess ingående komponenter som tagits fram i projektet är modulära. I grunden finns en lastnedräkning och mängdningskomponenter, som är generella och kan byggas på med olika dimensioneringsverktyg. I dagsläget är det ett reducerat antal av resursdatabasens material och byggelement som tagits fram för denna version av K-modulen. På sikt kan det utvecklas för att ta fram fler resurser för t.ex. träbyggnad eller väggar. Den version som tillgängliggörs i projektet ska därmed ses som ett proof-of-concept för metoden.

I fortsatt utveckling bör även stabilisering inkorporeras, då komponenten i dagsläget dimensionerar enbart för vertikala laster. Också på grundläggning är en större fråga som bör adderas till nuvarande modul på sikt.

På kommande sidor redovisas indata som behövs för att räkna med K-modulen, ingående grasshopperkomponenter, samt den utdata man får.

Gällande bestämmelser till grund för K-modulen

Följande bestämmelser, metodstandarder m.m. har varit till grund för utvecklingen av K-modulen:

- Boverkets byggregler BBR 29, BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2020:4
- Boverkets föreskrift och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder) EKS 11, BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. BFS 2019:1
- Eurokoder
- AMA hus 18
- SS-ISO 10137 Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk - Byggnaders samt gång- och cykelbroars brukbarhet med hänsyn till svängningar och vibrationer



Indata till K-modulen

Nedan redovisas en övergripande lista på den data som användaren förväntas använda som input till K-modulen för att möjliggöra en mängdning.

Laster

Laster är en grundförutsättning för att kunna ta fram dimensioner. För att förenkla användarens upplevelse har antalet indata reducerats till följande.

Laster	Datotyp	Används till
Verksamhet	Text	Nyttig last (Q)
Kommun	Text	Snölast (S) , Vindlast (W)
Material/Resurs	LCAnt resurs	Egenvikt (DL)
Tillkommande egenvikt	Numerisk	Egenvikt (DL)

Geometrisk indata

En del geometrisk indata läses ur modell. En del matas in manuellt, men sammanfattas primärt till följande indata.

Objekt	Datotyp	Används till
Spännvidd 1	Värde	Lastnedräkning, Mängdning
Spännvidd 2	Värde	Lastnedräkning, Mängdning
Fördelning spännvidd	Boolesk (d.v.s. sant eller falskt)	Lastnedräkning
Byggnadsyta	Geometriskt objekt	Mängdning

Material

Material består framförallt av LCA-resurser och används till både mängdning och i vissa fall till dimensioneringen.

Objekt	Datotyp	Används till
Geoteknisk grundläggningsmaterial	Text	Dimensionering
Resurs – sammansatt (för respektive)	LCAnt resurs	Lastnedräkning, Mängdning
Resurs – grundmaterial (för respektive)	LCAnt resurs	Lastnedräkning



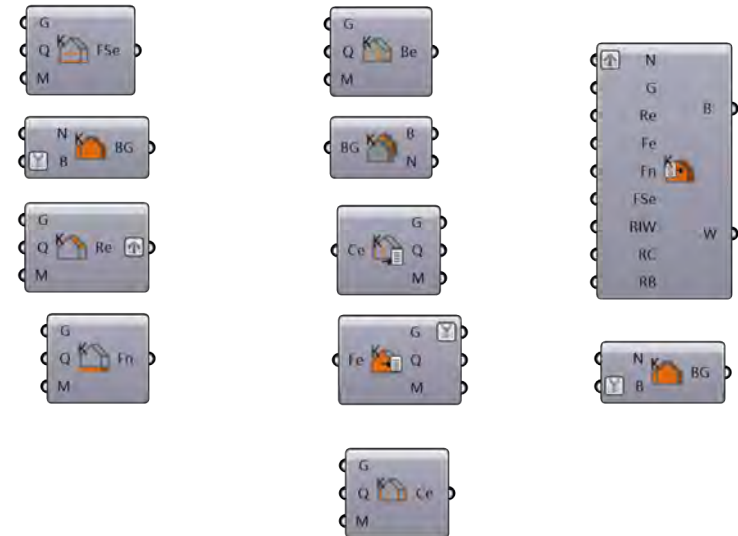
Ingående komponenter i K-modulen

Nedan redovisas en övergripande lista på de grasshopperkomponenter som används i kommunikationen mot övriga LCAnt.

Dimensioneringsmoduler	Omfattning	Kommentar
Pelare	Betong (rektangulär), Stål (VKR)	Endast brottslast i dagsläget
Balkar	Betong (rektangulär), Stål (HSQ)	Endast brottslast i dagsläget
Bjälklag	HD/F-bjälklag	-
Grundläggning	Betongplatta med fundament	Fundament dimensioneras, platta 120 mm.

Geometriska moduler	Omfattning
Lastuttolkning	Nyttig last, snölast, lastkombinering
Stomindelning	Pelarinindelning, balkindelning
Mängdning	-

Packning/Uppackning	Omfattning
Byggnadsgrupp K	Packa data samt packa upp data
Byggnad K	Packa data samt packa upp data
Bjälklag K	Packa data samt packa upp data
Balkar K	Packa data samt packa upp data
Pelare K	Packa data samt packa upp data
Grundläggning K	Packa data samt packa upp data



Utdata från K-modulen

Utdata från K-modulen formateras på ett motsvarande sätt som indata. Utdata sammanfattas i ett paket av data/information (kallad *building group* då den består av data relaterad till ett antal byggnader) med samma ingående delar som de varit sorterade i indata. Detta gör att man lätt kan koppla ihop det med motsvarande data från andra discipliner och moduler.

Typiskt är utdata från varje komponent bestående av följande data:

Laster	Datotyp	Enhet
Mängd (Q) - Grundmaterial	Numeriskt värde.	Typiskt m ³
Mängd (Q) - Resurs	Numeriskt värde.	Typiskt m ²
Material (M)	Text/Resurs	-
Geometri (G)	3D-geometri	-



6. Prisberäkning

Automatiserad kalkyl av materialpriser



Funktionaliteten prisberäkning i Leaf Cutter Ant och dess roll i projektet

För att bidra till projektets mål att förbättra beslutsfattandet under de tidiga skedena av byggande och stadsplanering har en funktionalitet utvecklats för omfattande prisberäkningar.

Valen som görs i denna tidiga fas har stor betydelse för projektets ekonomiska utfall och påverkar hela utvecklingsprocessen, från design till konstruktion. Tyvärr saknas ofta detaljerad kostnadsdata i dessa tidiga faser och möjlighet till avvägning mot exempelvis klimatpåverkan, vilket kan leda till osäkerhet vid beslutsfattande i projekt.

Detta projekt har alltså adresserat denna utmaning genom att utveckla en funktionalitet för prisberäkningar som gör det möjligt för planerare att snabbt uppskatta ekonomiska konsekvenser av olika designval. Funktionaliteten underlättar även jämförelser mellan klimatutsläpp och kostnader för olika material och konstruktioner, vilket gör det enklare att förstå sambandet mellan ekonomiska val och miljöpåverkan.

Vad har vi beräknat för priser?

I vår kostnadsberäkning ingår i nuvarande version priser för byggmaterial och stomme (nämns som "Materialkostnader" i tabellen). Vi inkluderar inte övriga kostnader för till exempel badrum, trapphus, el, VVS, kök samt inte heller kostnader som rör byggprocessen. Utifrån en grov uppskattning innebär det att vårt kvadratmeterpris skulle kunna återspegla mellan 40 till 50 procent av den faktiska kvadratmeterkostnaden.

1. Materialkostnader (40-50%)

Konstruktionsmaterial: 8,000 - 10,000 SEK/m²

Ytbehandlingsmaterial: 2,000 - 3,000 SEK/m²

Isolering och fönster: 1,000 - 2,000 SEK/m²

2. Arbetskostnader (30-40%)

Byggnadsarbete: 6,000 - 8,000 SEK/m²

Projektledning: 1,000 - 2,000 SEK/m²

3. Tillstånd och avgifter (5-10%)

Bygglov: 500 - 1,000 SEK/m²

Besiktningavgifter: 500 - 1,000 SEK/m²

4. Design och planering (5-10%)

Arkitektonisk design: 500 - 1,000 SEK/m²

Ingenjörstjänster: 500 - 1,000 SEK/m²

5. Markberedning (5-10%)

Röjning av mark: 500 - 1,000 SEK/m²

Grävning och planering: 500 - 1,000 SEK/m²

6. Oväntade kostnader (5-10%)

Oförutsedda kostnader: 500 - 1,000 SEK/m²

Totalkostnad per m²:

Lägsta kostnad: 18,000 SEK/m²

Högsta kostnad: 30,000 SEK/m²

En grov uppskattning av kostnaden per kvadratmeter för byggnation år 2022 samt kostnadsfördelningen mellan de olika byggnadsdelarna. Uppskattad av Warm in the Winter.



Förändringar i byggkostnader

Marknadens och omvärldens påverkan på byggkostnaderna

En av de största utmaningarna med att beräkna byggmaterialkostnader i dagens byggprojekt är de snabba förändringarna i ekonomin och den höga inflationen som har präglat de senaste åren. Byggbranschen har alltid varit känslig för ekonomiska svängningar, men de senaste åren har prisförändringarna varit särskilt dramatiska, vilket gör kostnadsberäkningar mer komplexa och osäkra.

Inflationen påverkar priserna på en mängd olika byggmaterial, från grundläggande råvaror som stål och trä till mer specialiserade material som isolering och fönster. Dessa kostnadsökningar kan snabbt påverka den totala budgeten för ett byggprojekt, särskilt när priserna på nyckelmaterial stiger betydligt under projektets gång. Dessutom kan global ekonomisk osäkerhet, såsom pandemier eller geopolitisk oro, ytterligare bidra till prisvolatiliteten, vilket gör det ännu svårare att förutse materialkostnaden.

Kraftiga prisökningar år 2021

Priserna på flera viktiga byggmaterial t.ex. betongvaror, trävaror, järn och stål samt armeringsstål började öka markant under 2021. Det visar Konkurrensverkets rapport *Konkurrensen i byggmaterialindustrin**. I rapporten visas prisutvecklingen för utvalda byggmaterial i mätetalet FPI**, för flerbostadshus i Sverige, indexerat från januari 2017 till juli 2021.

Bland annat ökade priserna enligt FPI för armeringsstål med cirka 40-50% och för trä med cirka 50-60% under de aktuella månaderna 2021. Detta efter att endast ha stigit med 10-20% totalt under hela 2017 t.o.m. 2020.

Att byggmaterialpriser kan ändras så pass kraftigt och på kort tid visar på behovet att hålla prisdata aktuella.

*https://www.konkurrensverket.se/globalassets/dokument/informationsmaterial/rapporter-och-broschyror/rapportserie/rapport_2021-4.pdf

**FPI: Faktorprisindex för byggnader



Funktion för att hålla prisdata aktuella

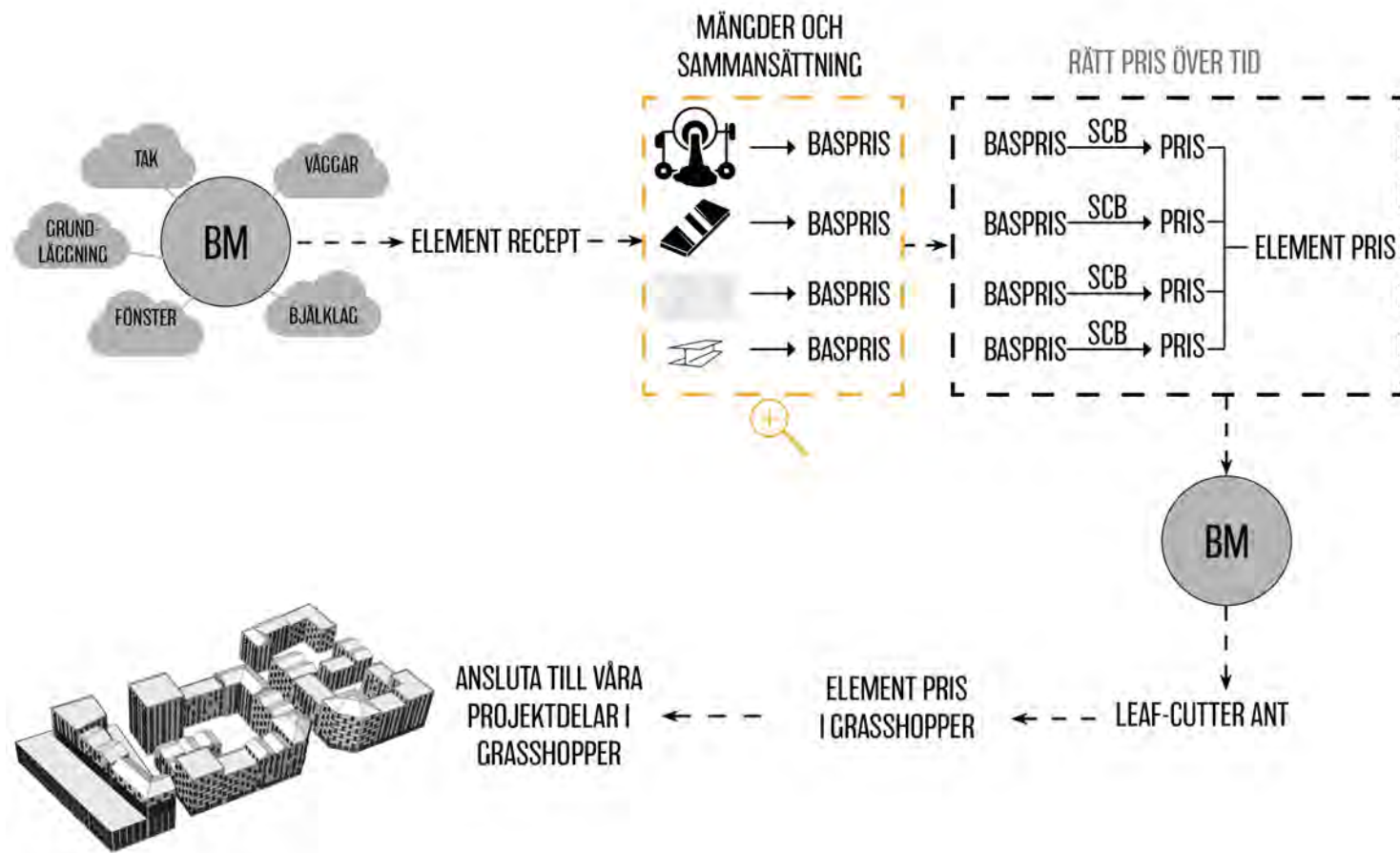
Förlopp och systemflöde

En funktion för att ta fram prisdata och hålla den aktuell har utvecklats inom projektet.

Processen för att beräkna priserna på byggnadsmaterial bygger på att vi delat upp byggnadens olika delar och recept i deras grundmaterial. Detta innebär att varje byggelement, som tak, golv eller väggar, brutits ner till sina beståndsdelar, såsom trä, stål eller betong. Därefter har priset beräknats för varje grundmaterial vid en startpunkt baserat på vid tillfället aktuella marknadspriser, ett så kallat baspris.

Materialens baspriser multipliceras med den procentuella prisförändring som SCB tillhandahåller genom deras statistik. Denna justering säkerställer att våra prisberäkningar alltid har utgångspunkt i de senaste marknadsförhållandena och inflationstakten.

Efter att ha applicerat de uppdaterade prisändringarna på varje grundmaterial, summerar vi dem för att få fram det totala priset för varje byggelement.



Exempel på flöde av information och arbetsprocess. Bild Warm in the Winter



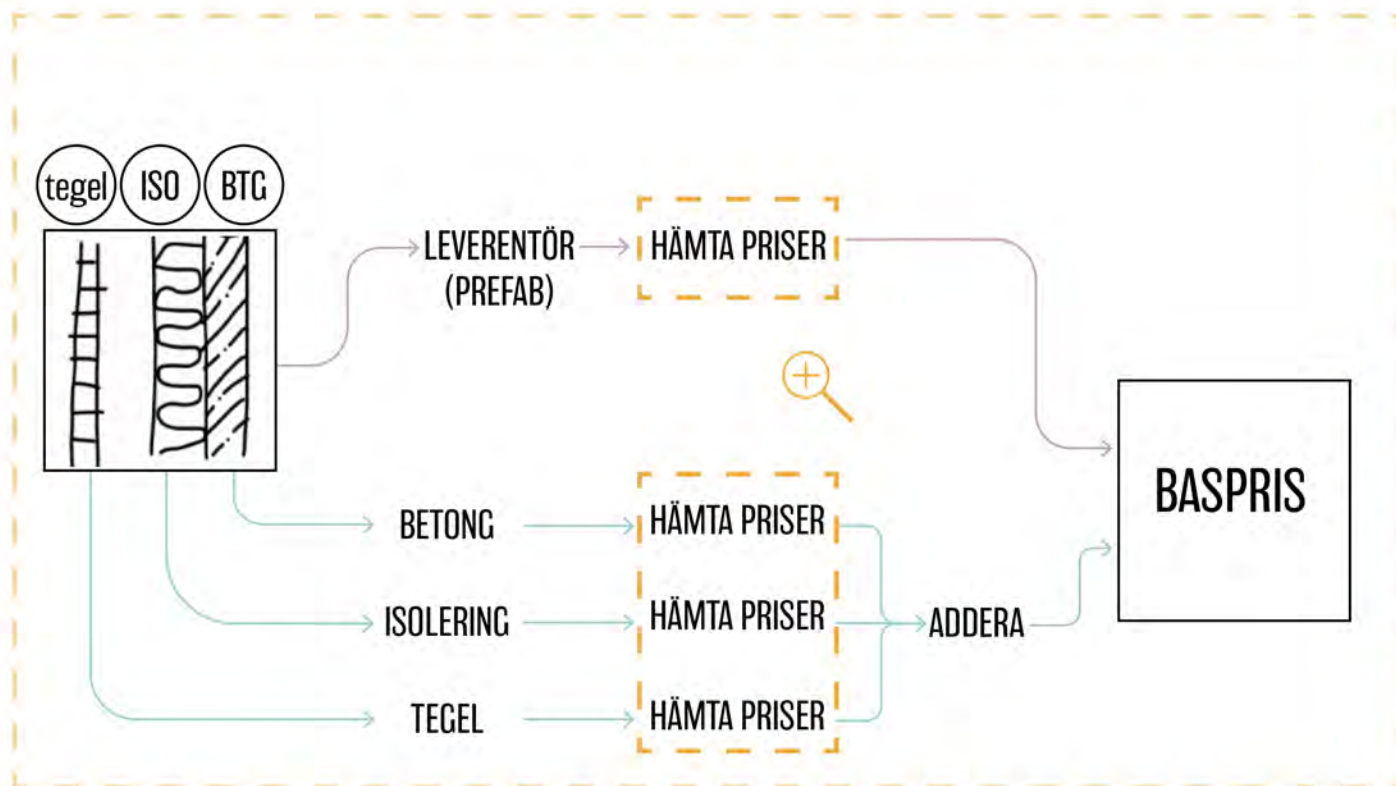
Diskussion kring olika prissättningsmetoder

Det finns flera alternativa sätt att beräkna priser i det tidiga byggskedet. Två metoder för att beräkna priserna på byggnadens olika element beskrivs här närmare.

Den första metoden är att hämta priset för prefabelement eller liknande som en helhet direkt från leverantörer. Detta ger en snabb och enkel prisuppgift som inkluderar alla ingående material och produktionskostnader i ett sammanhang. Denna metod är ofta användbar när inköpen ska göras i närtid och de exakta valen av byggelement och leverantörer är tydliga på förhand.

Den andra metoden innebär att man delar upp elementet i dess grundmaterial och beräknar priset för varje enskilt material. Genom att använda denna metod kan vi ta hänsyn till de specifika kostnadsvariationerna för varje material över tid, som sedan summeras för att ge det totala uppskattade priset för byggnadselementet. Denna metod erbjuder en mer detaljerad kostnadsberäkning baserad på de underliggande prisförändringarna på marknaden vid det aktuella tillfället samt inte på specifika leverantörers prissättning.

Båda metoderna har sina fördelar och kan användas beroende på projektets specifika krav, det aktuella skedet och tillgång till information.



Olika prissättningsmetoder. Bild Warm in the Winter



Prissättningsmetoder – möjliga källor

Hämta ut priser manuellt

- Fördel: Egen kontroll över data
- Nackdel: Arbetsintensiv och kan vara begränsad i aktualitet (pris kan bli inaktuellt, val av lösning kan bli inaktuellt)



Kommersiell databas

- Fördel: Finns beprövade kalkylverktyg
- Nackdel: Prenumerationskostnad/avtal



7. Hantera osäkerheter för ökad kvalitet på designbeslut

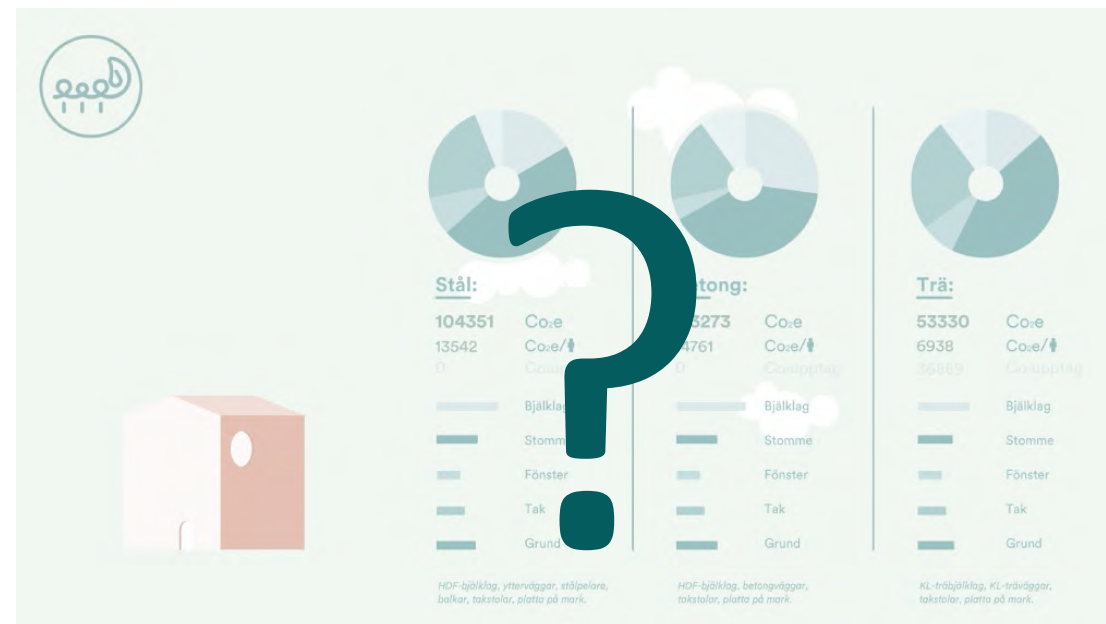


Varför hantera osäkerheter?

I tidiga skeden finns det en stor möjlighet att ta designbeslut för att minska byggnadens klimatpåverkan, men det finns samtidigt naturligt många osäkerheter när mycket fortfarande inte är bestämt i projektet. Att hantera osäkerheter handlar om att belysa när det saknas information i underlaget som resultaten bygger på.

Klimatberäkningar med LCAnt i tidiga skeden ger värdefulla insikter om olika designbeslut, men det kan vara svårt att avgöra hur pålitliga skillnader mellan olika designalternativ faktiskt är. Idén med snabb återkoppling för olika alternativ är att man inte gör gedigna efterforskningar för att få en exakt bild av skillnader mellan alternativ.

Skillnad i resultat mellan olika alternativ kan bero på tillfälligheter kring vilka klimatdata som valts eller antagande som gjorts "på känsla" eller genom approximationer. Genom att identifiera osäkerheter och hantera dem när man utvärderar resultat från klimatberäkningar får man ett mer informerat underlag att ta beslut ifrån. Det blir också möjligt att effektivt minska osäkerheterna när man räknar på dem. Detta ger högre kvalitet på besluten som tas och bättre byggnadslösningar.



Bakgrund: Att räkna på osäkerheter

Ett sätt att kvantifiera osäkerhet i indata är att utgå ifrån standardavvikelsen av den. I dagsläget är standardavvikelse inget som redovisas för de flesta databaser med klimatpåverkan av produkter och material. Då kan man istället räkna fram standardavvikelsen på indata när man har flera datakällor, eller uppskatta den när man bara har en källa. När standardavvikelsen för samtliga material och mängder är framtagna kan man räkna fram standardavvikelsen av de totala resultaten och använda för att skapa konfidensintervall. Det finns två vanliga metoder att räkna fram standardavvikelsen för resultaten, Monte Carlo simulering (MC) och analytisk beräkning av propagering av osäkerheter (PO).

Monte Carlo simuleringar (MC)

Fördelen med MC är att det är lättare att sätta upp den för komplexa system än med andra metoder. Nackdelen är att den kräver mycket beräkningskraft, särskilt om man vill få någorlunda god precision i resultaten (miljontals beräkningar per undersökt parameter). Detta ökar exponentiellt med antalet undersökta parametrar. I en byggnad finns det många material och parametrar, vilket kan leda till långa simuleringstider. I tidiga skeden när man gör många förändringar och vill ha en snabb respons på resultatet är det leda till oacceptabla simuleringstider. Ska man även få fram osäkerheten hos olika sammansatta byggnadselement behövs dessutom separata MC-simuleringar för det.

Propagering av osäkerheter (PO)

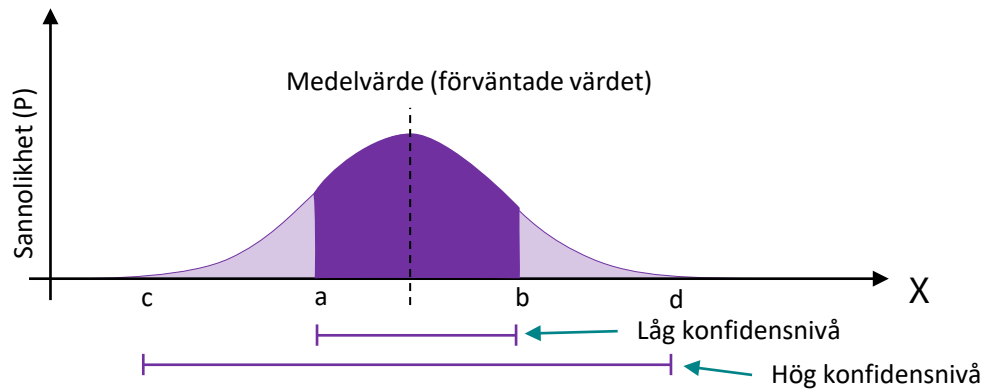
I PO fås osäkerheten av resultatet genom att analysera ekvationerna som systemet består av och beräkna hur osäkerheterna av dessa påverkar resultatet (hur osäkerheterna propagerar i systemet). Nackdelen med PO är att det kan vara komplicerat att göra för system som består av komplexa ekvationer. Fördelen är att responsen från beräkningarna är i stort sett omedelbar, vilket gör att man kan få respons i realtid för ändringar i design- och materialval. Då klimatpåverkan från materialval går att sätta upp som ett linjärt system av icke-korrelerade parametrar är det förhållandevis enkelt att genomföra. På grund av behovet av snabb återkoppling vid ändringar i tidiga skeden användes PO i det här projektet.



Konfidsensintervall

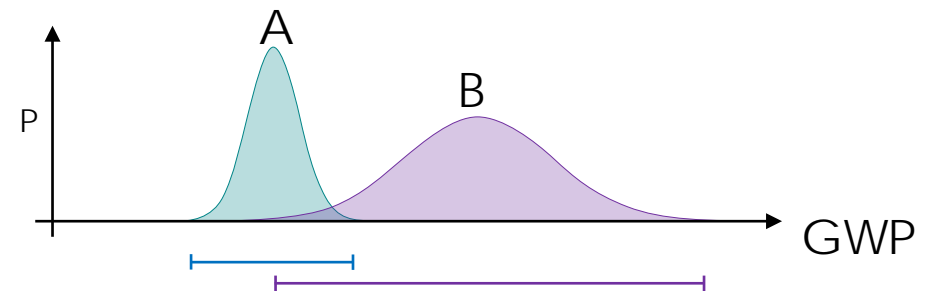
Då man i tidiga skeden vill jämföra olika alternativ av design- och materialval är konfidsensintervall ett sätt att kunna jämföra olika alternativ med hänsyn till osäkerheter. Istället för att ange ett enda värde för resultatet (punktskattning – det förväntade värdet), visas det som ett intervall med ett högre och lägre värde enligt spridningen av parametern/resultatet. Vill man ha högre säkerhet (konfidens) att det verkliga värdet ingår i intervallet får man ett längre konfidsensintervall. Detta ger större risk för överlappande intervall mellan alternativen.

Om man inte vet sannolikheten för ett lägre eller högre resultat än det förväntade värdet antas för det mesta att spridningen är fördelad med störst sannolikhet nära medelvärdet och lika stor chans över som under, dvs. normalfördelat.



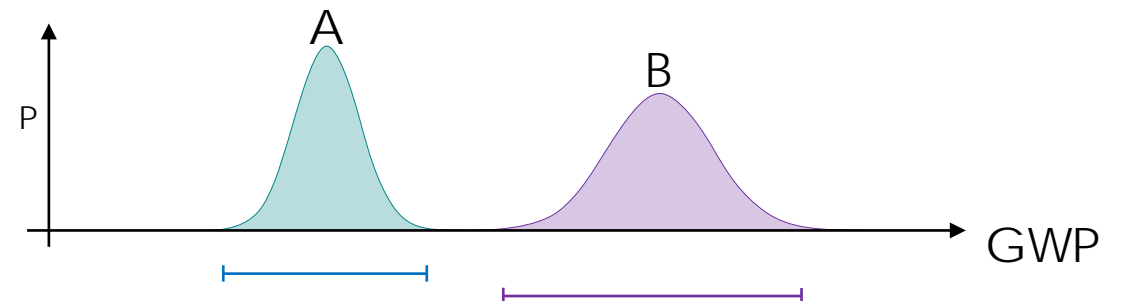
Överlappande intervall

Nedan syns exempel på framräknade intervall för två olika alternativ. Intervallen för klimatpåverkan av alternativ A och B överlappar här varandra. Även om A har lägre förväntat värde så kan B i verkligheten ha lägre klimatpåverkan. Utifrån den kunskap vi har om osäkerheterna och vald konfidensnivå kan vi inte säga säkert vilket alternativ som har lägst klimatpåverkan (är "bäst").



Signifikant skillnad mellan alternativ

Om man tar reda på mer information om alternativ B blir osäkerheterna mindre och konfidensintervallet därmed kortare. Med det kortare intervallet för B så överlappar intervallen nu inte längre varandra. Med vald konfidensnivå kan vi här säga att A har signifikant lägre klimatpåverkan. Signifikant skillnad i det här sammanhanget betyder urskiljbar skillnad, inte att det är stor skillnad.



Propagering av osäkerheter och konfidensintervall för LCAn

Fokus på osäkerheter för materialmängder och emissionsdata

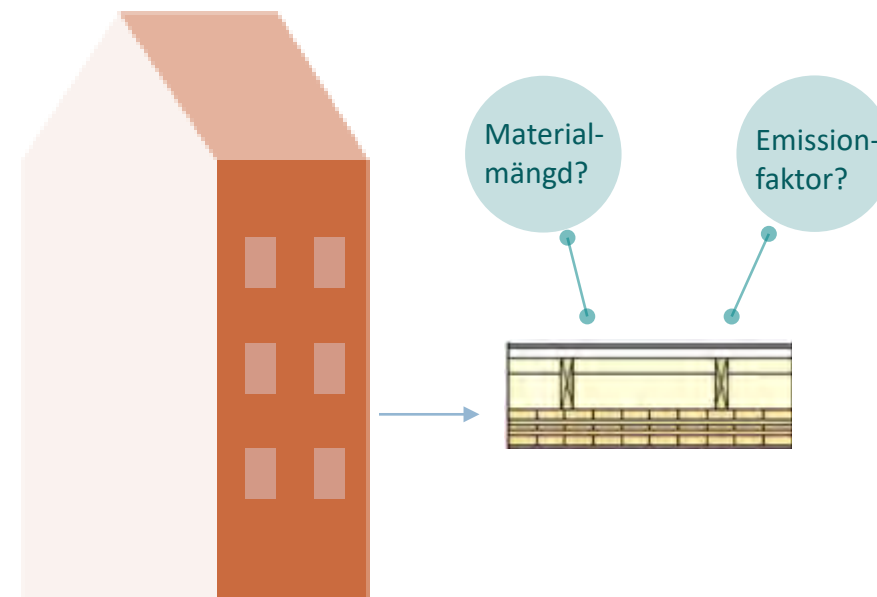
Projektet har fokuserat på parameterosäkerhet för materialmängder och emissionsdata, eftersom dessa är viktiga faktorer när man utvärderar noggrannheten i resultaten. Det bästa vore om det angavs kvantifierade osäkerheter i den klimatdata som används, men det är väldigt ovanligt och komplext att utreda på grund av många bakomliggande parametrar. Därför beräknades standardavvikelsen fram för de data som hade flera källor och uppskattades för övrig data.

Propagering av osäkerheter och konfidensintervall

Standardavvikelsena användes sedan som underlag för att beräkna propagering av osäkerheter för totala klimatpåverkan av de olika designalternativen. Utifrån den beräknade totala osäkerheten beräknades konfidensintervall för varje undersökt alternativ som sedan användes som beslutsunderlag vid utvärdering av alternativen.

Identifiering och hantering av osäkerheter i konfidensintervall

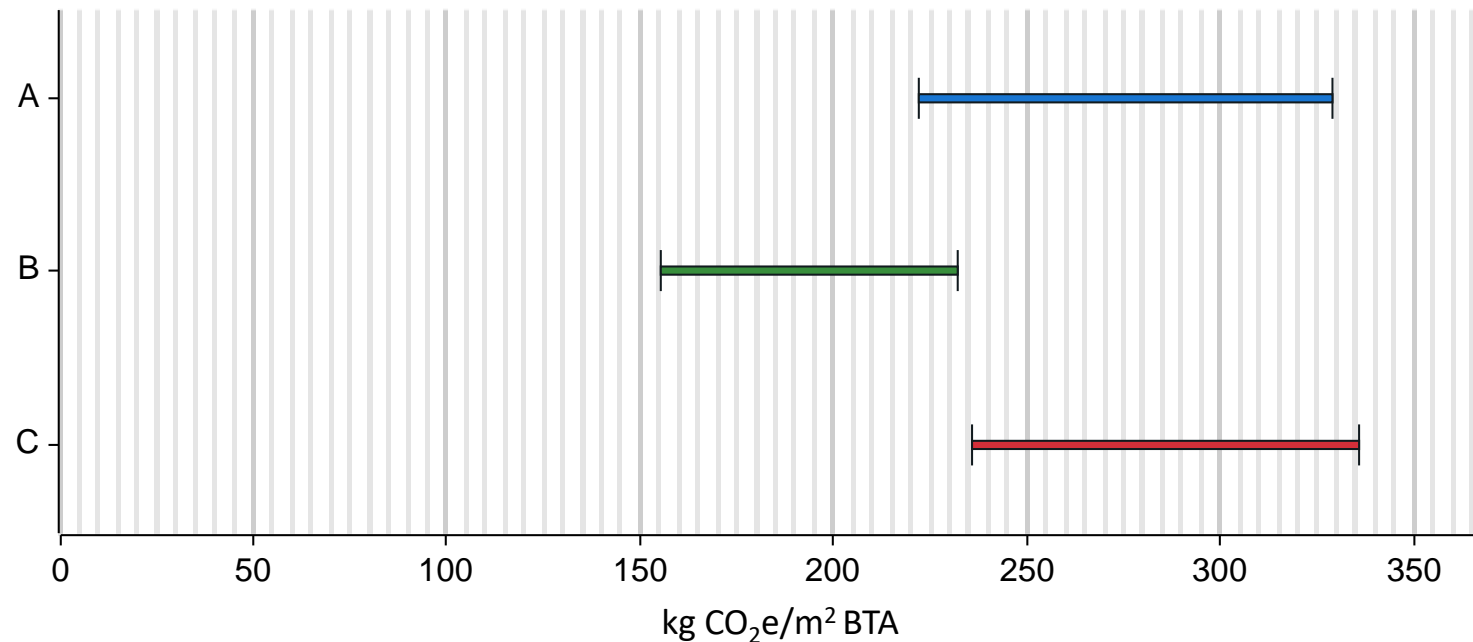
Det finns en risk att resultaten inte ger något entydigt svar när man jämför konfidensintervall. Så var även fallet i en fallstudie som genomfördes som beskrivs mer på nästa sida. Då är en möjlig hantering att kvantifiera vilka delar i beräkningen som har stor påverkan på hur breda konfidensintervallen blir. Utifrån det kan man ta beslut som minskar osäkerheten kring dessa. Detta kan behöva upprepas flera gånger för att få fram entydiga svar i resultaten. Detta förfarande kan öka kvaliteten i beslut samt även minska arbetsinsatsen genom att visa vilka beslut i tidiga skeden som ger mest för att verkligen uppnå minskad klimatpåverkan.



Exempel från fallstudie - jämförelse av tre alternativ

I diagrammet nedan visas ett exempel på jämförelse av tre alternativ med hjälp av konfidensintervall som genomfördes i en fallstudie i projektet (Flerbostadshus, se avsnitt Fallstudier, Flerbostadshus). Med hjälp av de vertikala linjerna i diagrammet ser man om intervallen överlappar. I det här fallet syns att det finns en signifikant lägre klimatpåverkan för alternativ B jämfört med C. Däremot är det ingen signifikant skillnad mellan alternativ A och B samt mellan A och C.

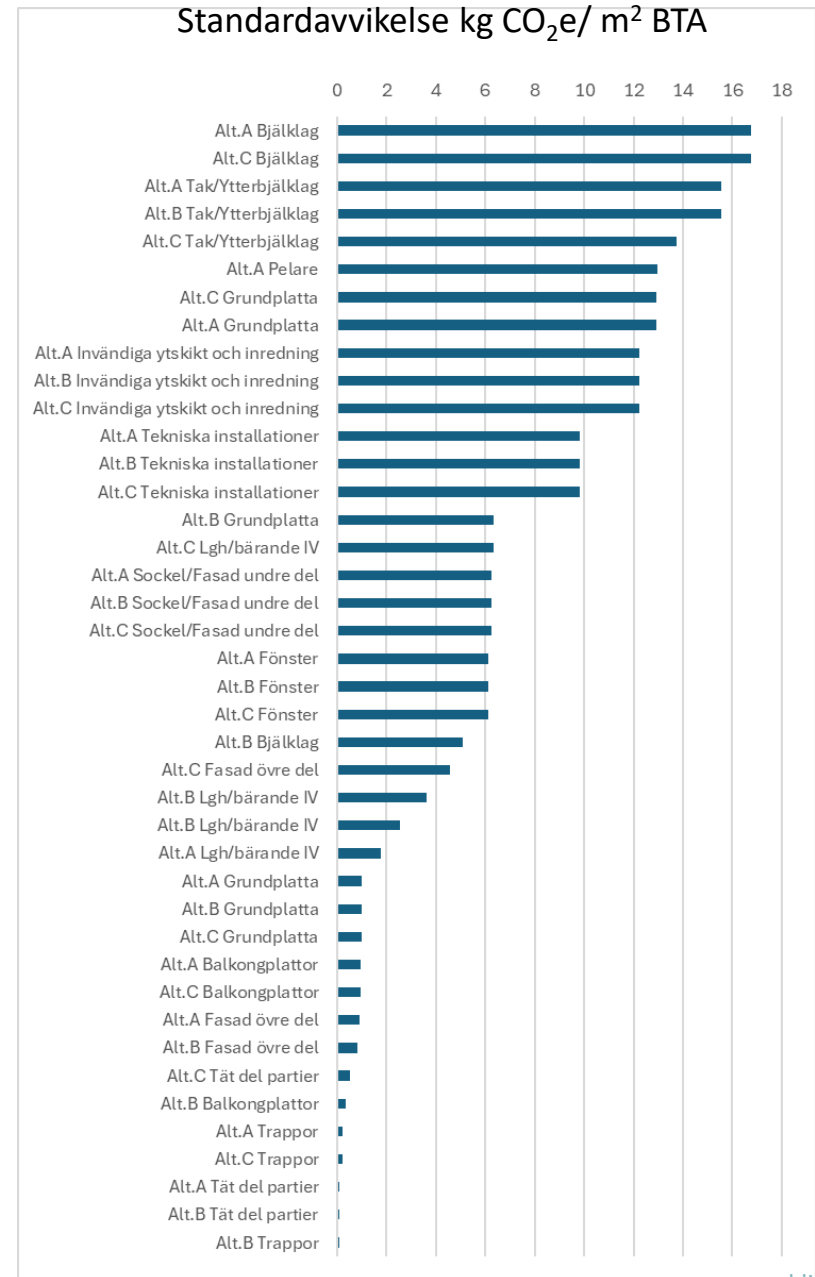
För att jämföra alternativ B med alternativ C finns det tillräckligt med information för att ta ett kvalitetssäkrat beslut. För att välja mellan alternativ A och B saknas det tillräckligt med information för att ta beslut.



Exempel från fallstudie – Identifiera de stora osäkerheterna

Genom att lista osäkerheter för de olika byggnadsdelarna i storleksordning ses hur man kan prioritera vidare datainsamling. Detta för att få högre precision i resultaten, genom att fokusera på de delar med störst osäkerhet. Exemplet till höger innebär att bjälklagen i alternativ A och C medför störst osäkerhet. I fallstudien togs mer exakta beslut kring materialval som minskade osäkerheterna för bl.a. bjälklag och grundplatta. Detta minskade den totala osäkerheten och på så sätt nåddes en signifikant skillnad mellan alternativen (se diagram på nästa sida).

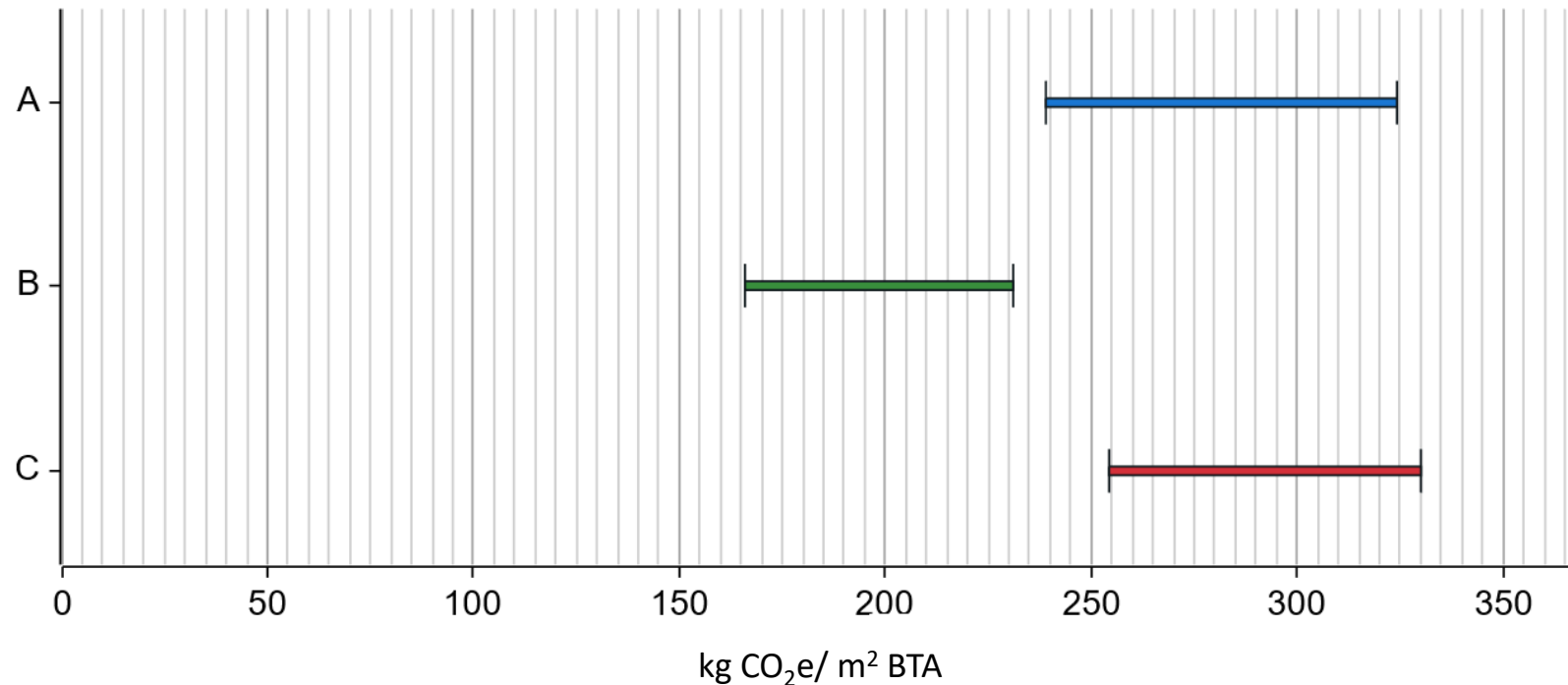
Genom att använda data med bättre precision för delar med hög osäkerhet har man möjlighet att sänka den totala osäkerheten i resultaten. Ett alternativt sätt att minska totala osäkerheter är att ta bort delar som är samma för de olika alternativen. Det kräver dock att man gör en analys vad som skiljer olika alternativ åt. Detta kan vara svårt i praktiken, särskilt att göra det snabbt i tidiga skeden när det sker mycket förändringar av byggnadsdesignen.



Exempel från fallstudie – Resultat med högre precision

Genom att ta exaktare beslut kring materialval som har stor påverkan för delar som haft stora osäkerheter krymper storleken på konfidensintervallen. Därmed kan man se en skillnad mellan samtliga studerade alternativ med vald konfidensnivå.

Då det kräver tid och resurser att öka kvaliteten av beslutet på det här sättet kommer det sannolikt inte vara möjligt att göra för alla designbeslut. Ett tillvägagångssätt kan vara att prioritera kritiska beslut som t.ex. val av stomme.



Kvalitetsrutin

Detta rapportavsnitt har förklarat och visat en hantering av dataosäkerhet och dataprecision som gör att man kan ta kvalitetssäkrade beslut, och hur ett arbete för att uppnå eller ta hänsyn till detta kan se ut i tidigt skede.

En kvalitetsrutin för klimatberäkningsarbete i tidigt byggskede kan ha olika mål. Kvalitetssäkring eller kvalitetskontroll kan ske på flera olika sätt. Ett sätt är att specificera beslut för det aktuella projektet tas och ger en signifikant skillnad mellan alternativ. Ett annat sätt är 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 en punktskattning (det förväntade värdet) som underlag för beslut mellan olika byggnadsalternativ.
- Utred vilka faktorer, såsom mängddata eller LCA-data som troligen är de mest osäkra i punktskattningen.
- Uppskatta hur mycket resultaten rimligtvis skulle kunna variera uppåt och neråt baserat på de osäkra faktorerna.
- Konstatera om det finns en signifikant skillnad mellan alternativen 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 t.ex. beräkningar i senare skeden ge lärdomar om den aktuella osäkerheten, verifiera beslutets kvalitet samt öka kvaliteten generellt framöver?



8. Fallstudier





Flerbostadshus

Fojab

Inkluderade Leaf Cutter Ant-parametrar:
Dimensionering
Klimatavtryck



Täby Park

Fojab

Inkluderade Leaf Cutter Ant-parametrar:
Energinyckeltalet
Klimatavtryck



Nytt kvarter i Åkersberga

Warm in the Winter

Inkluderade Leaf Cutter Ant-parametrar:
Klimatavtryck
Pris
Dimensionering (både med och utan K-modul)

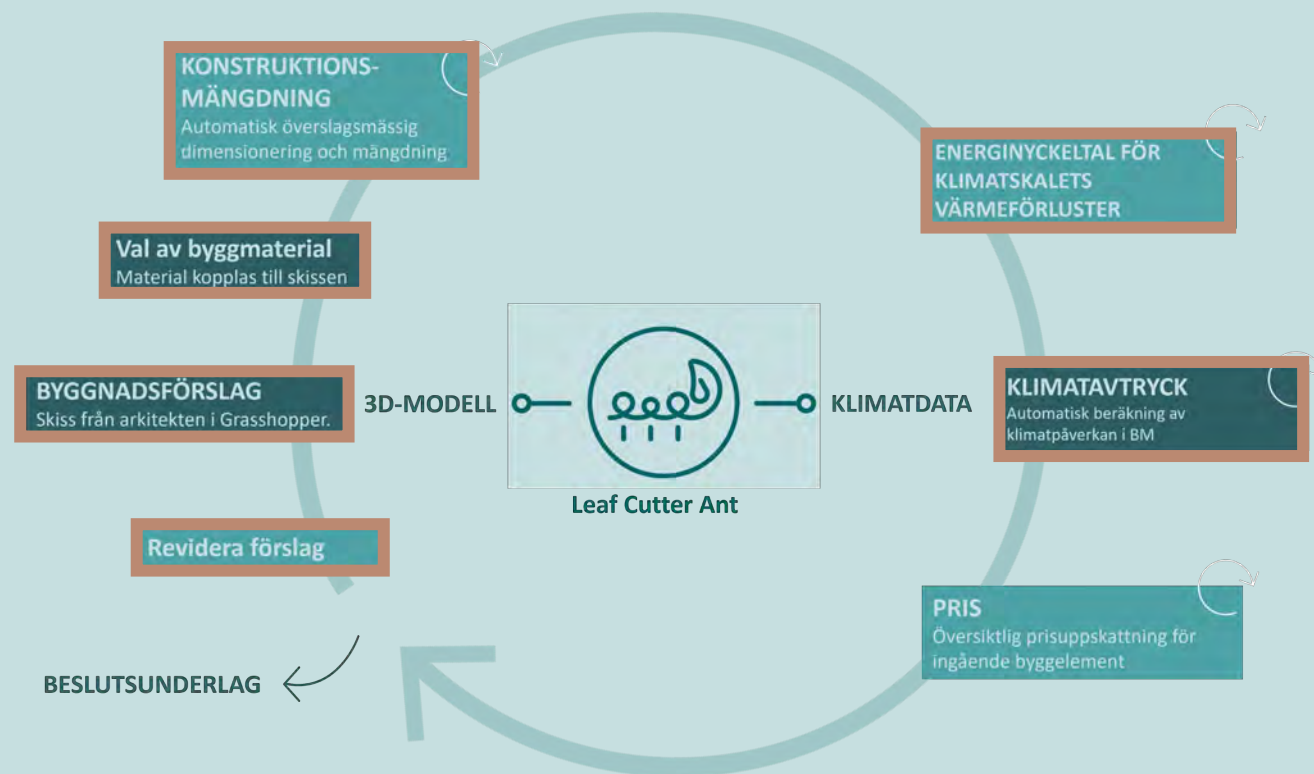


Flerbostadshus

FOJAB

FOJAB har arbetat med ett bostadsprojekt i tidigt skede där klimatberäkningen har använts för att utvärdera olika stomval.

I bilden till höger visas de delar av Leaf Cutter Ant som använts.



Metod och avgränsning

Fallstudie: Flerbostadshus

Bostadsprojektet består av två byggnadskroppar med en sammanlänkande lågdel.

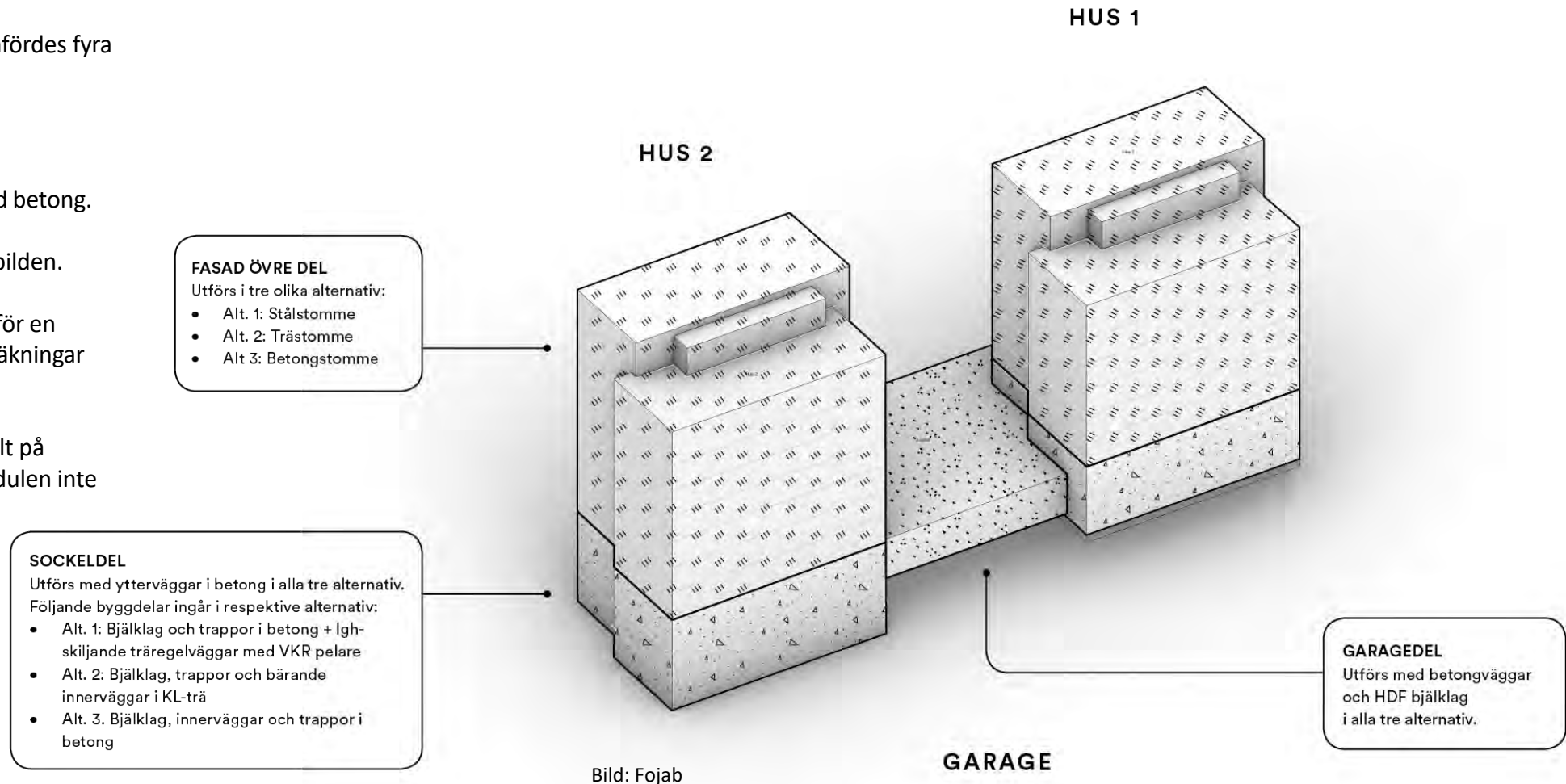
Med hjälp av Leaf Cutter Ant jämfördes fyra stomval:

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

Huvudsakliga materialval visas i bilden.

Fallstudien visar på möjligheten för en integrerad metodik där vissa beräkningar gjordes i Excel och vissa i LCant.

Stommarna dimensionerades helt på manuellt sätt av Tyréns då K-modulen inte var helt på plats ännu.



Resultat

Fallstudie: Flerbostadshus

I klimatberäkningen visades klimatpåverkan i en mängd enheter utöver kg CO₂e/m² BTA. Bl.a. användes enheter kg CO₂e/P-plats för att också ge en baseline för jämförelser av parkeringarnas yteffektivitet och hur detta påverkar klimatavtrycket. Även klimatpåverkan per lägenhet beräknades för att kunna jämföra med klimatpåverkan på andra typer av boende.

Vid jämförelse av klimatpåverkan per kvadratmeter så har träalternativet som väntat lägst klimatpåverkan (179 kg CO₂e/m² BTA), cirka hälften jämfört med de andra alternativen (329 kg CO₂e/m² BTA för betongstomme och 307 kg CO₂e/m² BTA för stålstomme).

Vid undersökning av klimatpåverkan per lägenhet istället för kvadratmeter hade byggnaden med trästommen igen lägst klimatpåverkan (19,1 kg CO₂e/lägenhet), medan betongstommen hade en klimatpåverkan på 33,3 kg CO₂e/ lägenhet och stålstommen och 31,6 kg CO₂e/lägenhet. Skillnaden mellan trästommen och de andra alternativen minskar marginellt (med cirka 2-3 procent) i detta fall.

HUS 2	
	kg CO ₂ / m ² BTA (BOA)
1. Stålstomme	307 (436)
2. Trästomme	179 (254)
3. Betongstomme	329 (468)

NORMALPLAN	
	kg CO ₂ / m ² BTA
1. Stålstomme	249
2. Trästomme	151
3. Betongstomme	276

SOCKEL NORMALPLAN	
	kg CO ₂ / m ² BTA
1. Stålstomme	269
2. Trästomme	195
3. Betongstomme	276

AREAFÖRDELNING

Area [m ²]	BTA	BOA
Hus 1	3578	2454
Hus 2	4411	3104
Garage	452	-
Normalplan (hus 2)	416	338

KLIMATPÅVERKAN PER LÄGENHET

- Antal lägenheter: 82
- Byggnadens klimatpåverkan per lägenhet [ton CO₂ / lägenhet]
- Alt. 1: Stålstomme 31,5
 - Alt. 2: Trästomme 19,1
 - Alt. 3: Betongstomme 33,3

KLIMATPÅVERKAN PER PARKERINGSPLATS

- Antal parkeringsplatser: 36
- Garagets klimatpåverkan per p-plats [ton CO₂ / P-plats]
- 3,5

GARAGE

	kg CO ₂ / m ² BTA
1. Stålstomme	281
2. Trästomme	277
3. Betongstomme	281

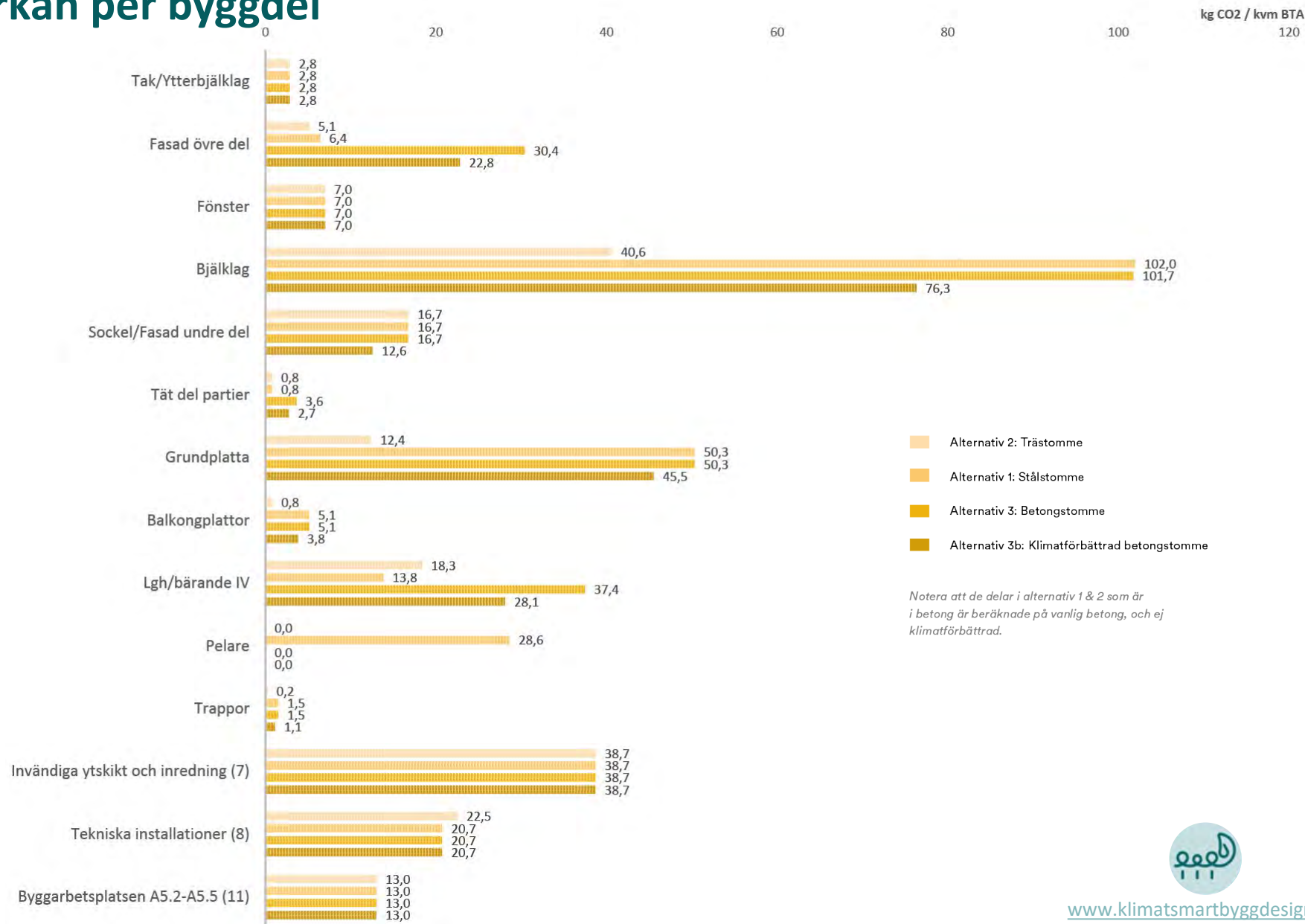
Resultat: Klimatpåverkan per byggdel

Fallstudie: Flerbostadshus

Bilden till höger illustrerar vilka delar av byggnaden som bidrar mest till klimatpåverkan och var det finns störst potential för förbättringar.

De högsta utsläppen kommer från bjälklagen för alla stomalternativ, med ett spann på 40,6-102 kg CO₂e/m² BTA (för trä- respektive betongstomme). Därefter står grundplattan för störst klimatpåverkan för alla stomalternativ förutom för trästommen, följt av invändiga ytskikt och inredning (som dock är beräknade med en schablon). Mindre bidrag till utsläppen kommer från komponenter som tak/ytterbjälklag och trappor.

Den stora skillnaden i utsläpp mellan alternativen för olika byggdelar såsom till exempel bjälklag och grundplatta pekar på att stora vinster kan fås genom att välja material med låg klimatpåverkan för framförallt dessa delar och att förbättrande insatser bör riktas mot de mest utsläppsintensiva delarna av byggnaden.



Täby Park

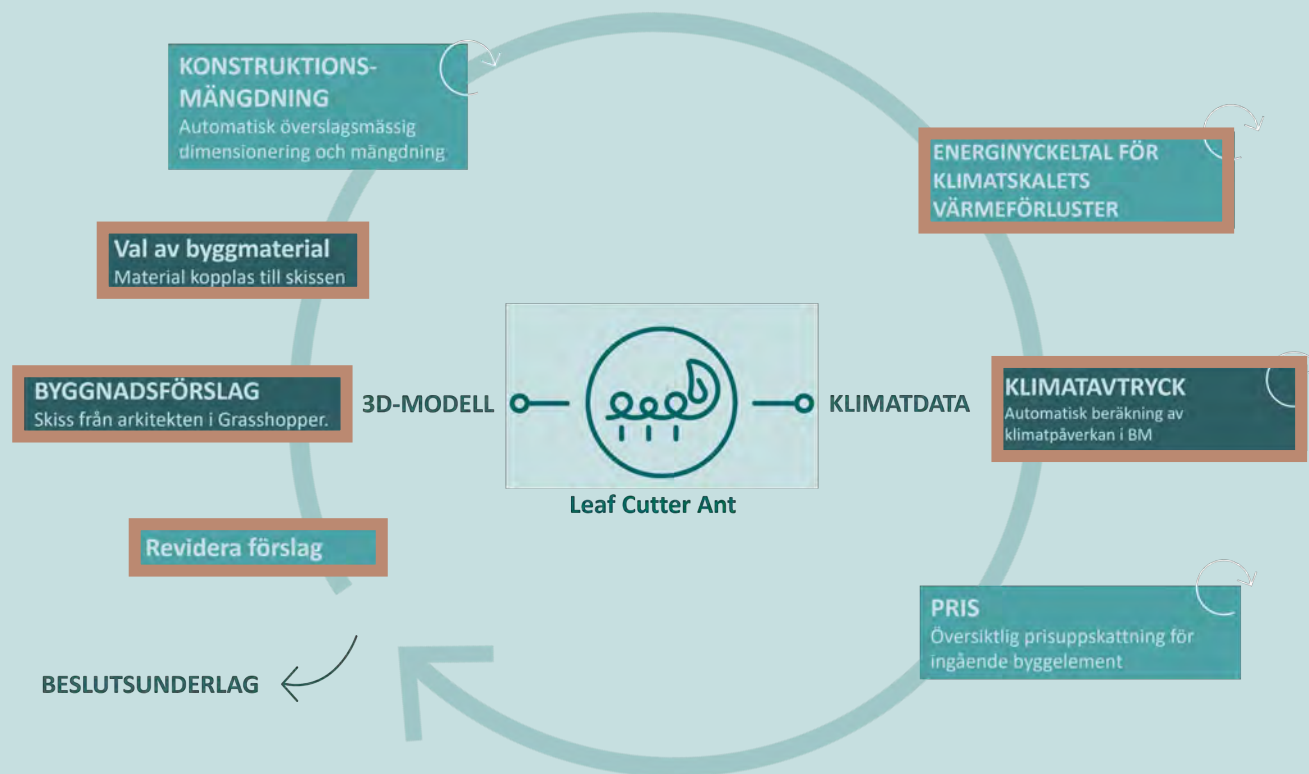
FOJAB

FOJAB har arbetat med ett detaljplaneområde i Täby och jämfört olika alternativa detaljplanebestämmelser på del av kvarter.

I bilden till höger visas de delar av Leaf Cutter Ant som använts.



Bild Fojab



Metod och avgränsning

Fallstudie: Täby Park

Denna klimatberäkning jämförde sju olika detaljplanebestämmelser. Det fanns en oro att de krav på "flikighet" i fasad, kungsbalkonger, frontespiser m.m., skulle medföra svårigheter att bygga kvarteret enligt bostadsutvecklarens framtida målgränsvärden för klimatavtryck. En fjärdedels kvarter beräknades, och samtliga detaljplanebestämmelser provades på denna del. I själva verket kommer dock inte alla bestämmelser krävas på samtliga fyra sidor.

Jämförelsen inkluderade energi under driftskedet (B6), som räknades om till kg CO₂e/m² BTA under 50 år.

Alla de tre utsläppsnivåerna låg, medel och hög beräknades för samtliga scenarier. Dessutom jämfördes möjlig takarea för solceller. För detta finns dock inget särskilt stöd i LCant.

Endast de byggdelar som får olika form eller mängd i de olika scenarierna beräknades. För övriga byggdelar antogs värden enligt tidigare klimatberäkningar.



1.Slutet Kvarter



2.Portik



3.Kvartersöppning



4.Takindrag



5.Frontespiser



6.Balkongindrag



7.Sammansatt

Resultat

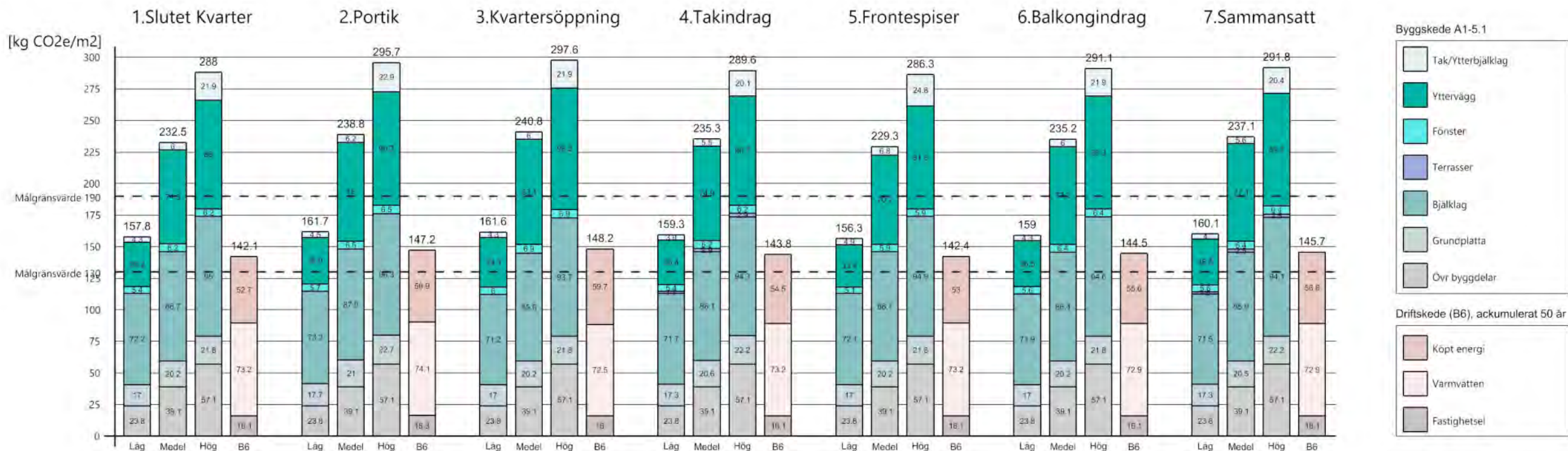
Fallstudie: Täby Park

Figuren på denna sida visar klimatpåverkan för de olika alternativen. Resultaten redovisas för de tre utsläppsnivåerna Låg, Medel och Hög, och är beräknat för A1-A5.1 samt driftskedet, B6.

En av slutsatserna är att de skillnader i klimatavtryck från byggskedet A1-A5 som detaljplanebestämmelserna gav upphov till är små (<4%) i jämförelse med de olika klimatavtryck som valet av material ger upphov till. Att t.ex. välja återbrukat tegel (yttervägg, låg) istället för nyttillverkat tegel gav en större reduktion än någon av beräknade detaljplanebestämmelserna.

Som streckade linjer syns bostadsutvecklarens interna målgränsvärden som de ville jämföra projektet mot. 190 = klimatavtryck A1-A5. 130 = B6 (energi under driftsskede).

En slutsats som kan dras, är att med de små frihetsgrader som ofta finns i bostadsprojekt så blir de geometriska variationerna relativt små, vilket också resulterar i ganska små skillnader i klimatavtryck. Skillnaderna inom varje scenario – d.v.s. skillnaderna mellan de olika materialvalen/utsläppsnivåerna – har betydligt större påverkan.



Resultat

Fallstudie: Täby Park

I denna fallstudie togs Energinyckeltalet 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 Leaf Cutter Ant, utan har gjorts internt på FOJAB.

I denna fallstudie definieras Köpt energi som energiåtgång för uppvärmning (rumsvärme) och baseras på fjärrvärme som energislag.

När det kommer till driftskedet (B6) så är skillnaderna ungefär samma för de olika alternativen. För Kvartersöppningen försämras dock resultaten genom påverkan från köldbryggor och formfaktor. Själva uppvärmningsdelen av B6 försämras med cirka 13%. Man ska dock komma ihåg att kvartersöppning inte sker på alla fyra sidorna. Varmvatten och fastighetsel påverkas inte av byggnadens geometri.

De köldbryggor som är olika i scenarierna, såsom hörn i fasaden, kanter och hörn i takgeometrin, är endast en liten del av den totala mängden köldbryggor. De större köldbryggorna från fönster, balkonger, bjälklagskanter etc. påverkas inte nämnvärt av geometrin.



	1.Slutet Kvarter	2.Portik	3.Kvartersöppning	4.Takindrag	5.Frontespiser	6.Balkongindrag	7.Sammansatt
Köpt energi [kWh/m ² BTA, år]	18,8	20,3	21,3	19,5	18,9	19,8	20,3
Varmvatten [kWh/m ² BTA, år]	26,2	26,5	25,9	26,1	26,2	26,1	26,0
Fastighetsel [kWh/m ² BTA, år]	8,7	8,8	8,6	8,7	8,7	8,7	8,7
Energiklass	B	B	C	B	B	B	B
Formfaktor*	1,01	1,05	1,08	1,02	1,00	1,03	1,04
Köldbryggor andel	0,31	0,31	0,31	0,33	0,36	0,32	0,34
Uppvärmning index jämf**	100,0	107,9	113,3	103,5	100,6	105,4	107,8

* Area klimatskal/BTA

** Uppvärmning, d.v.s. köpt energi. Bästa scenariot sätts till 100% och övriga jämförs mot detta.

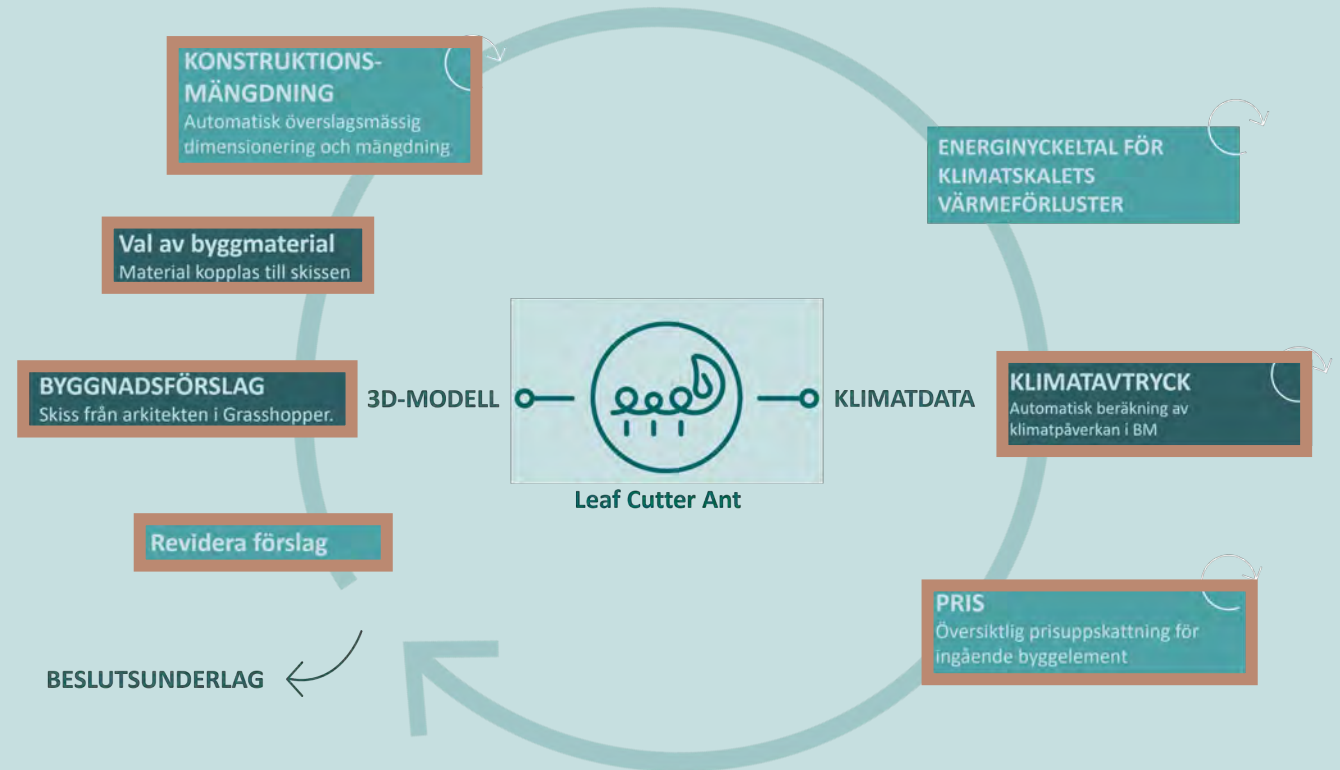
*** Kolintensitet fjärrvärme, 56 g CO₂e/kWh, fastighetsel 37 g CO₂e/kWh.

Nytt kvarter i Åkersberga

Warm in the Winter

Warm in the Winter arbetar just nu med ett förslag för en ny stadsdel i Åkersberga, några mil utanför Stockholm. Under 2022 togs underlag för detaljplan fram, som levererades inför samråd i mars 2023 – ett förslag bestående av cirka 1300 lägenheter, butiker i bottenvåning, förskola, gemensamhetslokaler och allmän plats i form av torg, parker och stråk.

I bilden till höger visas de delar av LCant som använts i fallstudien som gjorts under pågående planprocess.



Metod och avgränsning

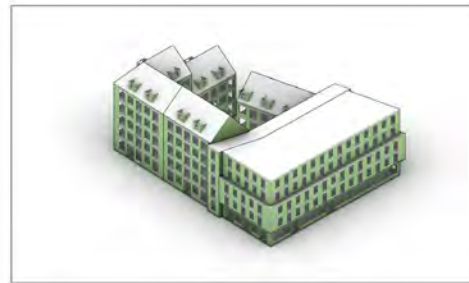
Fallstudie: Åkersberga

Denna fallstudie fokuserar på ett specifikt kvarter inom detaljplaneområdet. Kvarteret inkluderar ett mobilitetshus som har potentialen att konverteras till bostäder. I studien analyseras klimatutsläpp och pris på material. Nedan visas de byggdelar som inkluderats i studien.

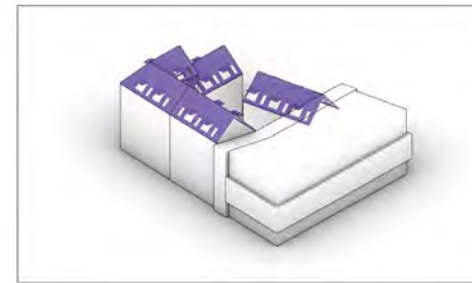
Beräkningarna har först utförts utan K-modulen och därefter med.



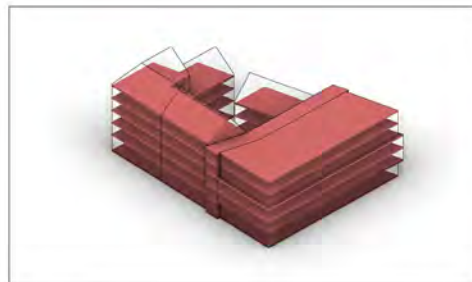
Glas/ Fönster



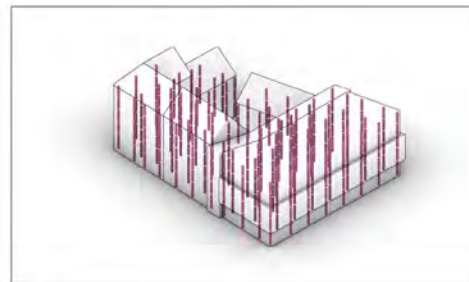
Yttervägg



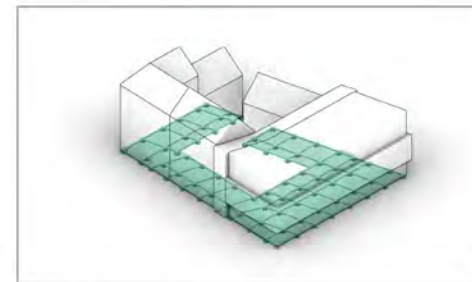
Tak



Bjälklag



Pelare



Grundläggning

Bild: Warm in the Winter



Beräkning 1. Utan K-modul



Resultat - Yttervägg

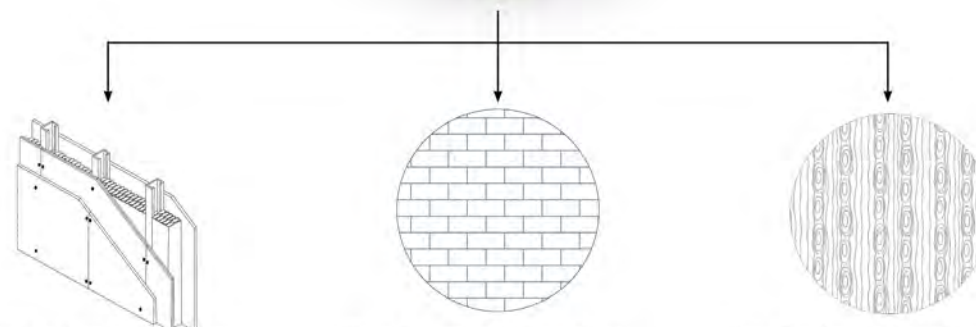
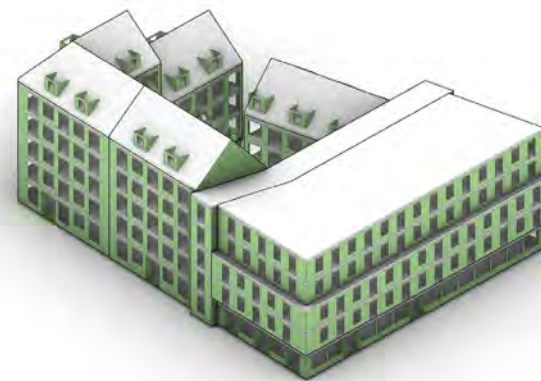
Fallstudie: Åkersberga

Test 1: I det första alternativet används en icke-bärande plåttäckning (420 mm) och priset hamnar på 3 miljoner SEK. Alternativet har lägst pris men den högsta klimatpåverkan med 535 ton CO₂e.

Test 2: Det andra alternativet är en icke-bärande tegelvägg (470 mm), med ett pris på 11,7 miljoner SEK. Här är klimatpåverkan lägre, på 295 ton CO₂e.

Test 3: Det tredje alternativet är en icke-bärande putsad träregelvägg (330 mm) med ett pris på 10,4 miljoner SEK. Det har den lägsta klimatpåverkan, med endast 85 ton CO₂e, tack vare användningen av trä.

Sammanfattning: Valet mellan dessa alternativ handlar om att balansera kostnad och klimatpåverkan: Test 1 har lägsta priset men är det mest klimatbelastande. Test 2 och 3 har högre pris men lägre klimatbelastning.



Test 1: Hög klimatpåverkan

Yttervägg: Icke-bärande Platttäckt
(420 mm), Medel

Pris: 3 Million SEK

Klimatpåverkan: 535 Ton CO₂e

Test 2: Medel klimatpåverkan

Yttervägg: Icke-bärande Tegel
(470 mm), Medel

Pris: 11.7 Million SEK

Klimatpåverkan: 295 Ton CO₂e

Test 3: Låg klimatpåverkan

Icke-bärande Puts Träregel
(330 mm), Medel

Pris: 10.4 Million SEK

Klimatpåverkan: 85 Ton CO₂e

Resultat - Tak

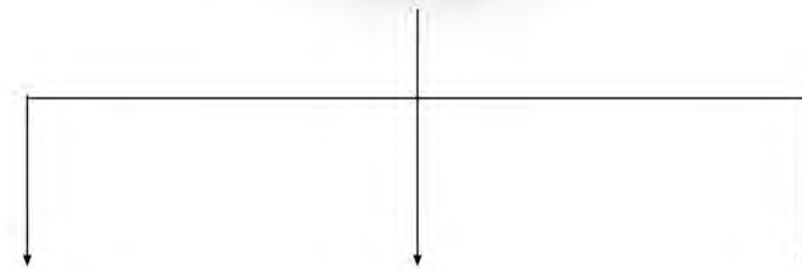
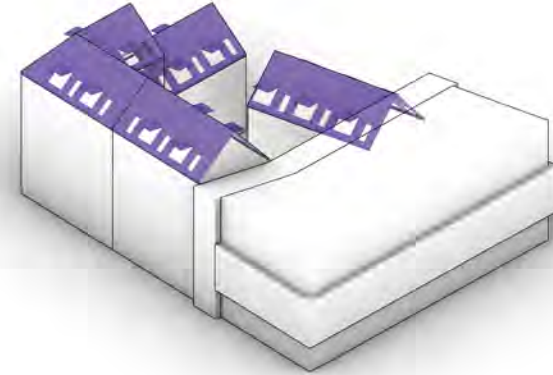
Fallstudie: Åkersberga

Test 1: I det första alternativet används ett platt papptak med en tjocklek på 600 mm. Priset för detta alternativ är 8,8 miljoner SEK, och klimatpåverkan är det högsta bland alternativen, på 315 ton CO₂e.

Test 2: Det andra alternativet består av en takstolskonstruktion i plåt med en tjocklek på 460 mm. Med ett pris på 5,7 miljoner SEK och klimatpåverkan på 45 ton CO₂e innebär detta ett bättre resultat avseende pris och klimatpåverkan.

Test 3: Det tredje alternativet använder också en takstolskonstruktion i plåt med en tjocklek på 460 mm, men med materialtyper som ger lägre klimatpåverkan. Priset är 5,8 miljoner SEK och klimatpåverkan är det lägsta, på endast 30 ton CO₂e.

Sammanfattning: Test 1 har både högst pris och klimatpåverkan, Test 3 har den lägsta klimatpåverkan medan Test 2 kan ge en kompromiss med en något högre klimatpåverkan till något lägre pris.



Test 1: Hög klimatpåverkan

Platt papptak
(600 mm), Medel

Pris: 8.8 Million SEK

Klimatpåverkan: 315 ton CO₂e

Test 2: Medel klimatpåverkan

Takstolskonstruktion Plåt
(460 mm), Medel

Pris: 5.7 Million SEK

Klimatpåverkan: 45 ton CO₂e

Test 3: Låg klimatpåverkan

Takstolskonstruktion Plåt
(460 mm), Låg

Pris: 5.8 Million SEK

Klimatpåverkan: 30 ton CO₂e



Resultat - Bjälklag

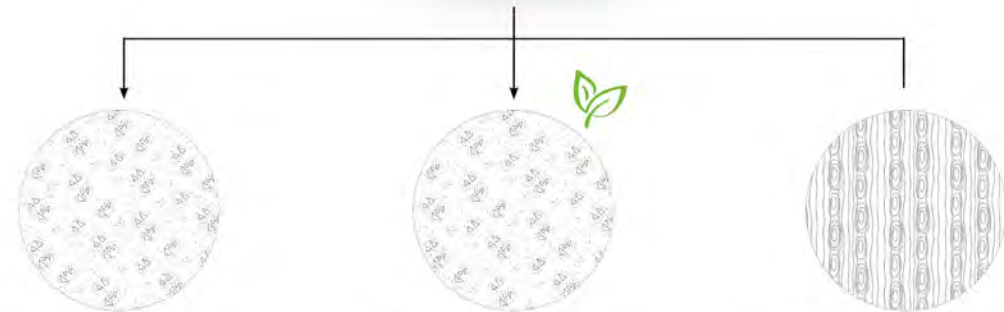
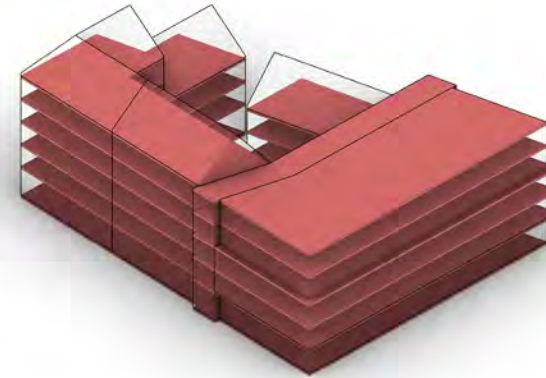
Fallstudie: Åkersberga

Test 1: Det första alternativet inkluderar håldäcksbjälklag (400 mm) och beräkning med utsläppsnivån "Medel". Priset är 31,4 miljoner SEK, vilket är det lägsta av de tre alternativen. Dock är klimatpåverkan det högsta, på 1 025 ton CO₂e.

Test 2: Det andra alternativet inkluderar också håldäcksbjälklag (400 mm) men med materialtyper som ger lägre klimatpåverkan. Priset är något högre, 31,7 miljoner SEK, medan klimatpåverkan är 855 ton CO₂e.

Test 3: Det tredje alternativet inkluderar träbjälklag (525 mm), vilket ger det lägsta klimatpåverkan, på 605 ton CO₂e. Priset är dock betydligt högre, 52,3 miljoner SEK.

Sammanfattning: Test 1 har lägst pris men högst klimatpåverkan. Test 2 möjliggör en tydligt lägre klimatpåverkan än Test 1 till ett liknande pris. Test 3 ger klart lägst klimatpåverkan men till högst pris.



Test 1: Hög klimatpåverkan

Håldäcksbjälklag (400 mm), Medel

Pris: 31.4 Million SEK

Klimatpåverkan: 1 025 ton CO₂e

Test 2: Medel klimatpåverkan

Håldäcksbjälklag (400 mm), Låg

Pris: 31.7 Million SEK

Klimatpåverkan: 855 ton CO₂e

Test 3: Låg klimatpåverkan

Träbjälklag (525 mm), Medel

Pris: 52.3 Million SEK

Klimatpåverkan: 605 ton CO₂e

Resultat - Pelare

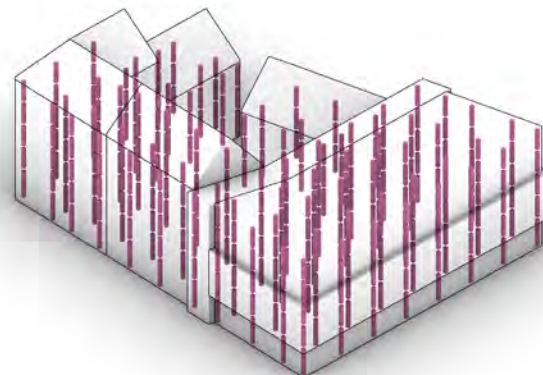
Fallstudie: Åkersberga

Test 1: I det första alternativet används betong med normal armeringsgrad och medelnivå på hållfasthet. Detta är alternativet ger lägst pris, på 2 miljoner SEK, men det har också den högsta klimatpåverkan, på 125 ton CO₂e.

Test 2: I det andra alternativet används också betong med normal armeringsgrad, men med material som ger lägre klimatpåverkan, vilket minskar klimatpåverkan till 100 ton CO₂e. Kostnaden för detta alternativ är något högre än det första, på 2,1 miljoner SEK.

Test 3: I det tredje alternativet används KL-trä, ett material som har betydligt lägre klimatpåverkan, på bara 20 ton CO₂e, men till ett högre pris, 3 miljoner SEK.

Sammanfattning: Test 2 kan ge lägre klimatpåverkan utan att priset påverkas kraftigt jämfört med Test 1. Test 3 ger klart lägst klimatpåverkan men till högst pris.



Test 1: Hög klimatpåverkan

Grundmaterial: Betong Normal
Armeringsgrad, Medel

Pris: 2 Million SEK

Klimatpåverkan: 125 ton CO₂e

Test 2: Medel klimatpåverkan

Grundmaterial: Betong Normal
Armeringsgrad, Låg

Pris: 2.1 Million SEK

Klimatpåverkan: 100 ton CO₂e

Test 3: Låg klimatpåverkan

Grundmaterial: KL-trä, Medel

Pris: 3 Million SEK

Klimatpåverkan: 20 ton CO₂e

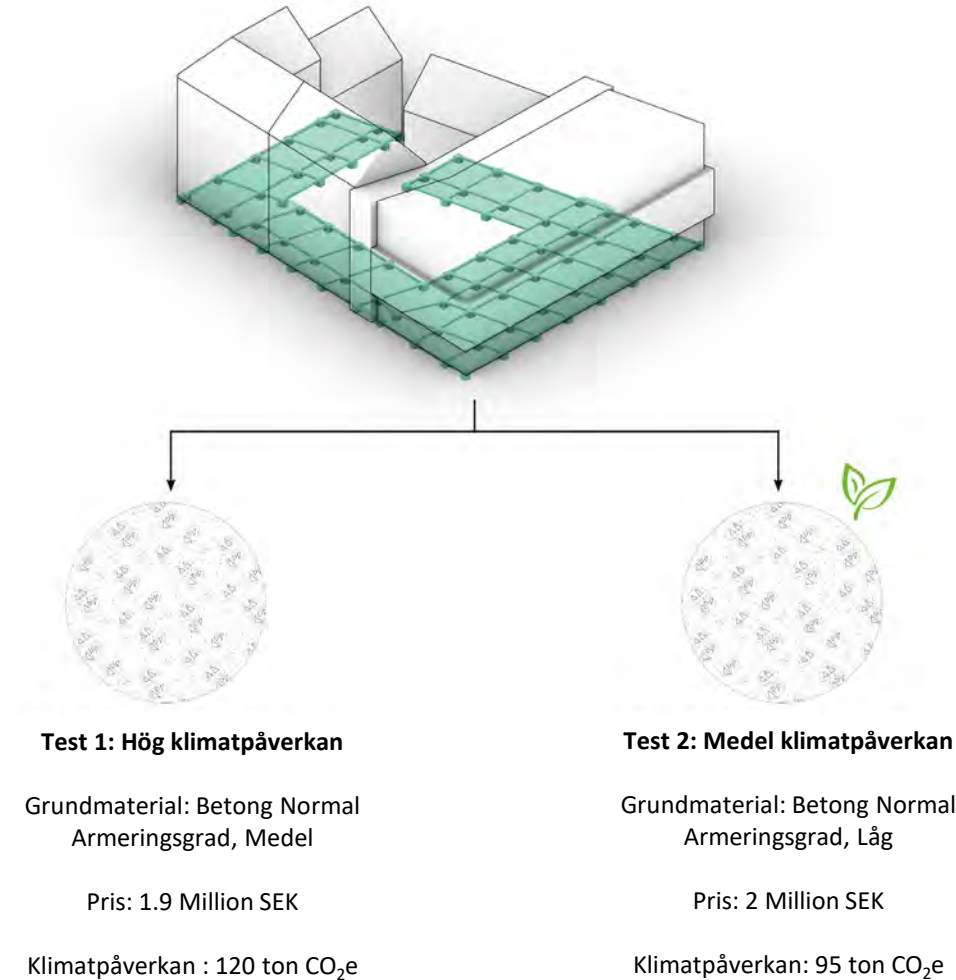
Resultat - Grundläggning

Fallstudie: Åkersberga

Test 1: I detta alternativ används betong med normal armeringsgrad vilket ger hög klimatpåverkan, på 120 ton CO₂e. Priset för detta alternativ är 1,9 miljoner SEK.

Test 2: Alternativet representerar en klimatförbättrad variant av betong. Detta leder till en betydande minskning av klimatpåverkan, till 95 ton CO₂e. Priset är något högre, på 2 miljoner SEK.

Sammanfattning: Jämförelsen illustrerar att material med lägre klimatpåverkan kan reducera grundläggningens klimatpåverkan betydande utan att dramatiskt öka prisnivån.



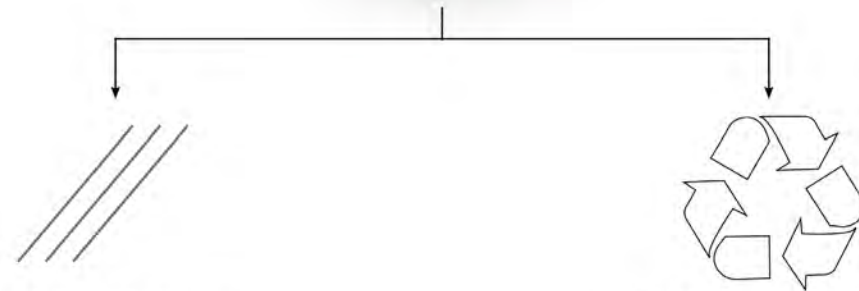
Resultat - Glas/fönster

Fallstudie: Åkersberga

Test 1: I detta alternativ används 3-glasfönster med trä/aluminiumramar (1000 mm x 1400 mm), vilket är ett standardval med medelhög prestanda. Detta alternativ leder till klimatpåverkan på 95 ton CO₂e och ett pris på 16,4 miljoner SEK. Dessa fönster erbjuder bra isolering men har en betydande klimatpåverkan från produktionen av nya material.

Test 2: Representerar ett alternativ med mycket låga klimatutsläpp, där fönstren återbrukats från andra gamla byggnader. Genom att återanvända dessa fönster minskas klimatutsläppen dramatiskt till endast 0,002 ton CO₂e, och kostnaden halveras till 8,2 miljoner SEK.

Sammanfattning: Testen visar på den höga potentialen med återbruk, då man minskar behovet av att producera nya material och undviker utsläppen som följer med tillverkningsprocessen. Det är dock viktigt att notera att priset för återbruk kan variera väsentligt beroende på tillgänglighet och logistik. Att återbruk kan leda till högre utsläpp och kostnader i driften, till exempel om energianvändningen ökar, behöver också beaktas.



Test 1: Hög klimatpåverkan

3-glasfönster trä/aluminium
(1000 mm x 1400 mm), Medel

Pris: 16.4 Million SEK

Klimatpåverkan: 95 ton CO₂e

Test 2: Låg klimatpåverkan

Återbruk

Pris: 8.2 Million SEK

Klimatpåverkan: 0,002 ton CO₂e

Jämförelse av hela byggnadsalternativ

I fallstudien jämförs också tre olika hela byggnadsalternativ med avseende på klimatpåverkan och pris. Alla tre testerna har samma bruttoraea (BTA) på 12 450 m², men olika material och metoder används, som leder till olika nivåer av klimatpåverkan och kostnad. De byggdelar som inkluderats är fönster, ytterväggar, tak, bjälklag, pelare och grundläggning. Nedan sammanfattas resultaten och på nästa sida illustreras det ytterligare.

Test 1 - Hög klimatpåverkan: Det första testet representerar ett konventionellt byggnadsalternativ med relativt höga klimatutsläpp. Byggnaden har håldäcksbjälklag, ytterväggar av icke-bärande tegel, och 3-glasfönster i trä/aluminium. Det totala priset för detta alternativ uppgår till 63,5 miljoner SEK, vilket ger ett kvadratmeterpris på 5 100 SEK. Detta alternativ ger upphov till 2 215 ton CO₂e, vilket motsvarar 177 kg CO₂e per m².

Test 2 - Medel klimatpåverkan : I det andra testet, som har en medelhög klimatpåverkan, används mer klimatvänliga material som träbjälklag och ytterväggar av putsad träregel. Priset för detta alternativ är något högre än för Test 1, totalt 69,5 miljoner SEK och ett kvadratmeterpris på 5 582 SEK. Detta test resulterar i en minskning av klimatpåverkan till 1 510 ton CO₂e, eller 121 kg CO₂e per m². Detta innebär 8% mer i pris jämfört med Test 1 och ger en besparing av klimatpåverkan på 32%.

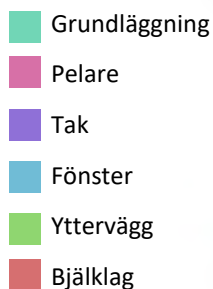
Test 3 - Låg klimatpåverkan : Det tredje testet är det mest klimatvänliga alternativet. Här används återbrukade fönster och KL-trä för både bjälklag och grundmaterial. Detta är också det dyraste alternativet, med ett totalt pris på 81,7 miljoner SEK och ett kvadratmeterpris på 6 562 SEK. Klimatpåverkan är endast 835 ton CO₂e, vilket motsvarar 67 kg CO₂e per m². Detta innebär 20% mer i pris jämfört med Test 1 och en besparing av klimatpåverkan på hela 63%.

Sammanfattning: Denna fallstudie visar tydligt hur valet av byggnadsmaterial och metoder påverkar både kostnader och klimatpåverkan. Fallstudien visar att om priset ökar vid en lägre klimatpåverkan kan minskningen i procent för klimatpåverkan vara betydligt större än ökningen i pris. Detta understryker vikten av att avväga klimatpåverkan och pris vid val av byggnadsmaterial.

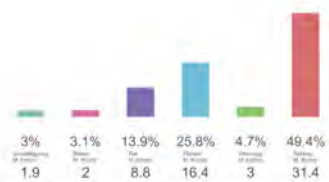


Test 1: Hög klimatpåverkan

Bjälklag: Håldäcksbjälklag (400 mm), Medel - m²
 Yttervägg: Icke-bärande Plåttäckt (420 mm), Medel
 Fönster: 3-glasfönster trä/aluminium (1000 mm x 1400 mm), Medel - m²
 Tak/Ytterbjälklag: Platt papptak (600 mm), Medel - m²
 Grundläggning: Betong Normal Armeringsgrad, Medel - m³
 Pelare: Betong Normal Armeringsgrad, Medel - m³



Klimatpåverkan: 2 217 ton CO₂e
 177 kg CO₂e /m² BTA

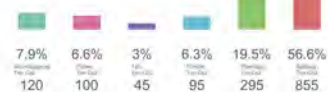
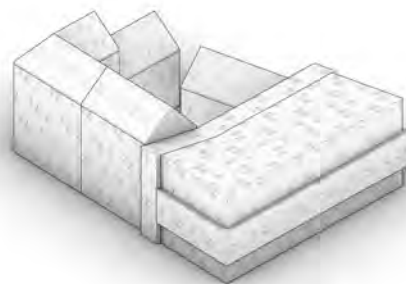


Pris totalt: 63.5 Miljoner SEK
 5 100 sek/ m² BTA

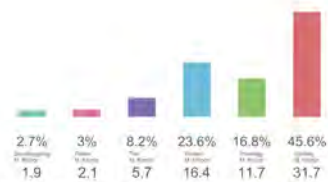
Bilder: Warm in the Winter

Test 2: Medel klimatpåverkan

Bjälklag: Håldäcksbjälklag (400 mm), Låg - m²
 Yttervägg: Icke-bärande Tegel (470 mm), Medel - m²
 Fönster: 3-glasfönster trä/aluminium (1000 mm x 1400 mm), Medel - m²
 Tak/Ytterbjälklag: Takstolskonstruktion Plåt (460 mm), Medel - m²
 Grundläggning: Betong Normal Armeringsgrad, Medel - m³
 Pelare: Betong Normal Armeringsgrad, Låg - m³



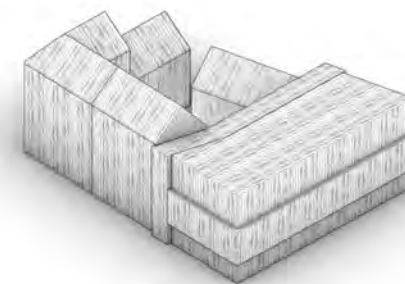
Klimatpåverkan: 1 510 ton CO₂e
 121 kg CO₂e /m² BTA



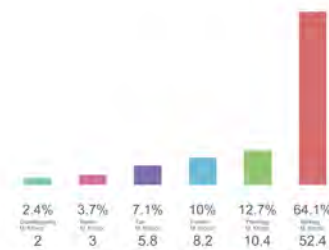
Pris totalt: 69.5 Miljoner SEK
 5 582 sek/ m² BTA

Test 3: Låg klimatpåverkan

Bjälklag: Träbjälklag (525 mm), Medel - m²
 Yttervägg: Icke-bärande Puts Träregel (330 mm), Medel - m²
 Fönster: Trä/aluminium 2-glas Återbruk: Utvändig solavskärmning, Låg - m²
 Tak/Ytterbjälklag: Takstolskonstruktion Plåt (460 mm), Låg - m²
 Grundläggning: Betong Normal Armeringsgrad, Låg - m³
 Pelare: Grundmaterial: KL-trä, Medel - m³



Klimatpåverkan: 835 ton CO₂e
 67 kg CO₂e /m² BTA



Pris totalt: 81.7 Miljoner SEK
 6 562 sek/ m² BTA



Beräkning 2. Med K-modul

Beräkning av *Test 2: Medel klimatpåverkan* kompletteras med konstruktionsmodulen



Test 2 med K-modulen

Beräkning kompletterad med K-modul:

En beräkning med funktionaliteten för exaktare materialmängd i stommen har gjorts. Tidigare beräkningar som arkitekten gjort med manuella val och utan detta stöd gav annan indata på volymer i stommen. I detta fall ledde det till en underskattning av både materialåtgång och klimatpåverkan. Det ökade materialbehovet medför att balkar har adderats till beräkningen (se lista till höger av ingående resurser med och utan K-modul).

Ökad klimatpåverkan: Med den mer detaljerade K-modul-beräkningen ökar de totala klimatpåverkan från 1 510 ton CO₂e till 1 716 ton CO₂e. Denna ökning beror på att materialåtgången underskattades; särskilt krävs mer betong och stål än vad som ursprungligen uppskattades. Detta ger en mer realistisk bild av projektets totala koldioxidpåverkan.

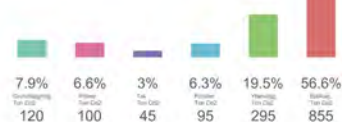
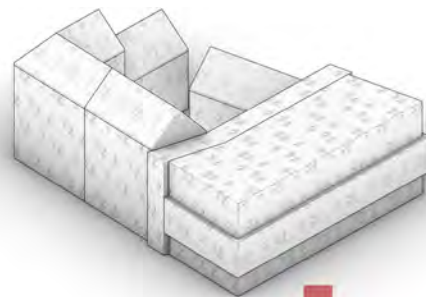
Ökat pris: Totalpriset för projektet ökar också något med K-modul-funktionaliteten, från 69,5 miljoner SEK (5 582 SEK/m²) till 73,3 miljoner SEK (5 887 SEK/m²).

Sammanfattning: K-modulen möjliggör en mer exakt och heltäckande beräkning av stommen och förbättrar både kostnads- och klimatbedömningen genom att minska risken för att underskatta eller överskatta materialåtgången.

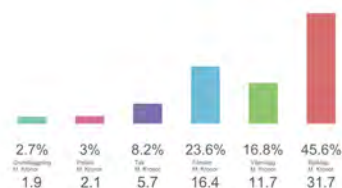
Bilder: Warm in the Winter

Test 2a: Medel klimatpåverkan

Bjälklag: Håldäcksbjälklag (400 mm), Låg - m² Yttervägg: Icke bärande Tegel (470 mm), Medel - m²
Fönster: 3-glasfönster trä/aluminium (1000 mm x 1400 mm), Medel - m²
Tak/Ytterbjälklag: Takstolskonstruktion Plåt (460 mm), Medel - m²
Grundläggning: Betong Normal Armeringsgrad, Medel - m³
Pelare: Betong Normal Armeringsgrad, Låg - m³



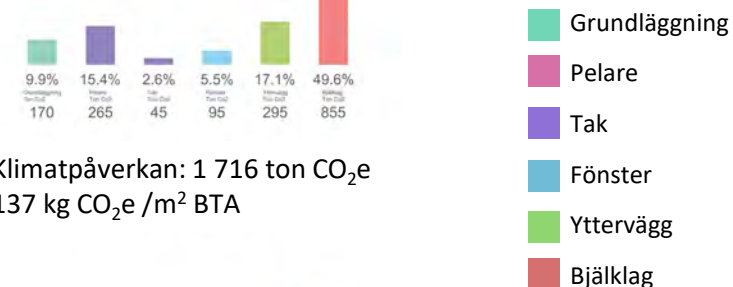
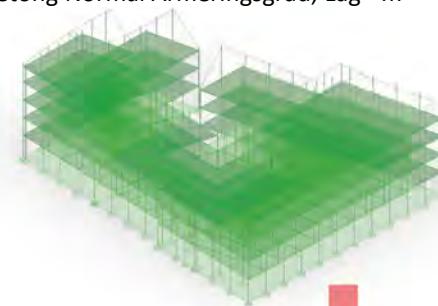
Klimatpåverkan: 1 510 ton CO₂e
121 kg CO₂e /m² BTA



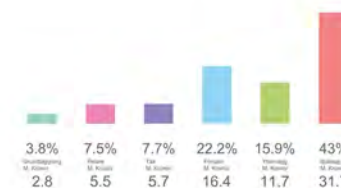
Pris totalt: 69.5 Miljoner SEK
5 582 sek/ m² BTA

Test 2b: Medel klimatpåverkan med K-modul för beräkning stomme

Bjälklag: Håldäcksbjälklag (400 mm), Låg - m²
Yttervägg: Icke bärande Tegel (470 mm), Medel - m²
Fönster: 3-glasfönster trä/aluminium (1000 mm x 1400 mm), Medel - m²
Tak/Ytterbjälklag: Takstolskonstruktion Plåt (460 mm), Medel - m²
Grundläggning: Betong Normal Armeringsgrad, Medel - m³
Pelare: Betong Normal Armeringsgrad, Låg - m³
Balkar: Betong Normal Armeringsgrad, Låg - m³



Klimatpåverkan: 1 716 ton CO₂e
137 kg CO₂e /m² BTA



Pris totalt: 73.3 Miljoner SEK
5 887 sek/ m² BTA



Slutsatser från fallstudier



Vad visar fallstudierna?

➤ **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. I Rapport 1 visades att byggnadens fotavtryck, volymens form och orientering dock kan ha en stor betydelse för klimatavtrycket. Sammantaget visar detta på att betydelsen 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 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 takyttskikt i fallstudierna.

➤ **Konstruktionsmodulen (K-modulen):** I fallstudien Åkersberga gav K-modulen 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 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. Vid större förändringar i volymutförande är det dock att vänta att volymens geometri även här får större betydelse.

➤ **Pris:** Fallstudien Åkersberga visar att det är relevant att utvärdera klimatpåverkan tillsammans med pris. Trots att ett klimativänligare val i vissa fall kan innebära ett högre pris så kan klimatvinsten per investerad krona vara hög vid en klimativänligare lösning. Detta kan vara en viktig del av ett beslutsunderlag. Till exempel i Test 3 (utsläppsnivå Låg) blev priset 20% högre jämfört med Test 1 (utsläppsnivå Hög) samtidigt som klimatpåverkan blev hela 63% lägre.



9. Praktisk testning och tillgång till verktyget



En testgrupp bildades av projektet

Från sommaren 2024 med ett halvår kvar av projektet har personer utanför projektgruppen börjat testa funktionaliteterna i Leaf Cutter Ant. 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 följande 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.



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, mer stöd för att bedöma om beräkningsresultaten eller metodval är rimliga, samt enklare kunna skapa diagram och annat resultatunderlag. Även fler exportmöjligheter till t.ex. 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. Det handlar främst om hur många av dem som faktiskt kan använda det i praktiken, samt om det finns upplägg för att bygga en långsiktig verksamhet och uppdrag baserade på det, med rätt bemanning.
- 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.



Tillgång till verktyg

Verktyget har i samband med projekt slutet 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

