



# Byggnadsdesign med livscykelperspektiv



# Byggnadsdesign med livscykelperspektiv

Erfarenheter av en verktygsprototyp och ett  
arbetssätt för tidiga klimatkalkyler

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





## Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

*Byggnadsdesign med livscykelperspektiv* är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av IVL Svenska Miljöinstitutet AB och har genomförts i samverkan med FOJAB arkitekter AB, Byggnadsfirman Otto Magnusson AB, MKB Fastighets Aktiebolag, Warm in the Winter AB.

Projektet har utvecklat praktiska metoder baserade på datordrivna optimeringar som gör det möjligt för projektörer, byggföretag och fastighetsägare att fatta beslut som kan förbättra byggnaders hållbarhet över hela livslängden. Projektet har även utvecklade metoder testats i ett antal fallstudier, för att ge kunskap om hur de beslut som fattas under projekteringsfasen kan påverka olika hållbarhetsmål kring energi, kostnader och klimatutsläpp.

Stockholm, 5 april 2022

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



## Sammanfattning

Byggandets klimatavtryck behöver minskas genom insatser tidigt i byggprocessen. Det krävs bättre förutsättningar att kalkylera klimatpåverkan för olika alternativ och optimera lösningar innan viktiga förutsättningar för projektet är bestämda och låsta. Projektet "Klimat- och designdriven byggnation" har bidragit genom att ta fram en verktygsprototyp för förenklade klimatkalkyler och ett möjligt arbetssätt för beslut i tidiga byggskenen. Projektet har analyserat och gett exempel på hur arbetssättet kan se ut i byggprojekt och i områdesutveckling genom flera fallstudier.

Verktygsprototypen kopplar ihop 3D-modelleringsprogrammet Rhinoceros 3D (Rhino), det visuella programmeringsspråket Grasshopper 3D och klimatberäkningsprogrammet Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM). Prototypen ger återkoppling på byggskedets klimatpåverkan (klimatpåverkan fram till färdigställd byggnad) utifrån volymskissen. Detta görs genom ett framtaget "bibliotek" av generiska byggelement (typexempel på hela ytterväggar, bjälklag med mera) som hänförs till de olika delarna i volymskissen. Byggelementen är kopplade mot klimatdata i BM utifrån ingående material och en webbkommunikation överför värden på volymskissens klimatpåverkan i realtid. Ändras volymskissen överförs nya värden på samma sätt, och möjliggör snabba jämförelser.

Detta utgör ett förenklat sätt att klimatberäkna, anpassat för de tidigaste skedena i byggprocessen. Projektet har poängterat att detta inte ersätter, men kompletterar, klimatberäkningar som görs med detaljerade data i senare skeden av byggprojekt. Verktygsprototypen möjliggör redan idag jämförelser i tidiga skeden, men behöver utvecklas med fler generiska byggnadselement för att täcka in fler möjliga alternativ.

Projektet har även lagt fokus på att kunna avväga klimatvärdena mot andra beslutsparametrar. Fallstudierna visar exempel på parametrar som kan tas ut via geometriska data i volymmodellen och presenteras parallellt med klimatvärdena. Det kan vara till exempel andel glasad fasadyta och dagsljusinsläpp samt användbar eller uthyrbar byggnadsyta beroende på volymlösning.

Projektet har gjort insatser för att parallellt kunna indikera och analysera byggnadens kommande *energiprestanda* i drift. Detta har lagts till bland möjliga beslutsparametrar genom ett särskilt framtaget nyckeltal ("energinyckeltalet") som kalkylerar värmeförluster genom klimatskalet. Energinyckeltalet har kunnat genereras direkt utifrån volymskissen i verktyget. Nyckeltalet ger ett sätt att beakta driftskedet indikativt parallellt med byggskedets klimatpåverkan, vilket förebygger risk för klimatmässigt suboptimerande val i tidiga skeden. En parameterstudie för detta i projektet visar vikten av att undersöka sambandet mellan en byggnads *formfaktor*<sup>1</sup>, byggskedets klimatpåverkan och klimatskalets värmeförluster.

### Nyckelord:

Klimatberäkning, livscykelanalys, byggprocess, tidiga skeden, verktyg, arbetssätt

---

<sup>1</sup> Mått på hur kompakt en byggnad är, där omslutande area av klimatskalet divideras med uppvärmd byggnadsyta,  $A_{temp}$ .



## Summary

The climate impact of the building industry must be reduced by efforts early in the building process. Better opportunities are needed to calculate climate impact for different options and to optimize solutions before important characteristics of the project are decided. The project “Klimat- och designdriven byggnation” has contributed by developing a tool prototype for simplified climate calculations and a possible work process for decisions in early building stages. The project has analyzed and exemplified by case studies how the work process can look like in building projects and area development.

The tool prototype connects the 3D modelling software Rhinoceros 3D (Rhino), the visual programming language Grasshopper 3D and the climate calculation software Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM). The prototype gives feedback on the building stage climate impact (the climate impact up until finalized building) based on the volume sketch. This is done through a “library” of generic *building elements* (typical examples of complete outer walls, joists and more) which are assigned to the different parts of the volume sketch. The elements are connected to climate data in BM based on its materials, and a web communication transfers values of the climate impact from the volume sketch in real time. If the sketch is altered, new values are transferred in the same way, which enables quick comparisons.

This constitutes a simplified way to calculate climate impact, adapted to the earliest stages of the building process. The project has pointed out that this does not replace, but complements, climate calculations made with detailed data in later stages of building projects. The tool prototype enables already today comparisons in early stages, but it has to be developed with an increased amount of generic building elements for it to cover more options.

The project has also given focus to the subject of balancing climate impact values against other decision parameters. The case studies show examples of parameters that can be displayed by geometric data in the volume model and be presented in parallel with climate impact values. This could for example be ratio of glazed façade area and daylight inlet as well as usable or rentable building area depending on the volume solution.

The project has made efforts to, in parallel, enable indications and analysis of a building’s upcoming energy performance during operation. This has been added among possible decision parameters through a specially developed key indicator (“energy key indicator”) which calculates heat losses through the building envelope. The key indicator has been possible to generate directly from the volume sketch. The key indicator enables a way to address the operation stage indicatively in parallel with the building stage climate impact. This forestalls risks of climatically suboptimized choices in early stages. A parameter study for this in the project displays the significance of examining the liaisons between a building’s *form factor*<sup>2</sup>, the building stage climate impact and the building envelope heat losses.

---

<sup>2</sup> A measure of a building’s compactness, where the enclosed area of the building envelope is divided by the heated building area.



Key words: Life-cycle-analysis, building process, early stages, work process.





## INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE OCH MÅL	8
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	9
2	GENOMFÖRANDE	11
2.1	UTVECKLING AV VERKTYGSPROTOTYPEN/BERÄKNINGSFUNKTIONEN	11
2.2	FALLSTUDIER OCH FÖRDJUPANDE ANALYSER	12
2.2.1	FALLSTUDIER	12
2.2.2	TILLÄGG AV ETT ENERGINYCKELTAL TILL ARBETSSÄTT OCH BESLUTSUNDERLAG	13
2.2.3	MARKTILLDELNING OCH PLANPROCESS	13
3	RESULTAT	14
3.1	FALLSTUDIER MED TEST AV ARBETSSÄTTET	14
3.1.1	FALLSTUDIE 1: OMRÅDESUTVECKLING MALMÖ	14
3.1.2	FALLSTUDIE 2: KONTORSDEL AV KOMMERSIELL BYGGNAD MALMÖ	16
3.2	PARAMETERSTUDIE MED DET FRAMTAGNA ENERGINYCKELTALET	18
3.3	ÖKAT KLIMATFOKUS VID MARKTILLDELNING OCH PLANPROCESS	19
4	DISKUSSION	20
5	SLUTSATSER	22
6	PUBLIKATIONSLISTA	23
7	REFERENSER	24



# 1 Inledning och bakgrund

## 1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan har getts allt större uppmärksamhet under 2000-talet. Fokuset på byggskedets klimatpåverkan (materialtillverkning, transporter, arbetsprocesser med mera) har växt mycket och omfattas från 1 januari 2022 av ett lagkrav på klimatdeklaration vid färdigställandet av en byggnad. Här utvecklas ständigt mer stöd och underlag för klimatberäkning för de senare skedena i byggprocessen.

Byggnaders klimatpåverkan avgörs dock till stor del tidigt i byggprocessen. Idag saknas etablerade verktyg som stödjer beslut där, men detta projekt har utvecklat en verktygsprototyp samt en arbetsprocess för att integrera LCA som beslutsunderlag i tidiga designskeden. Verktuget ska fullt utvecklat kunna stödja en iterativ process och informerade beslut mellan beställare, arkitekt, konstruktör, projektör och entreprenör. Detta ska kunna nyttjas redan i de tidiga planprocessskedena av byggprojekt, innan förutsättningar såsom volymmässig byggrätt i planen blir alltför låsta.

I tidiga skeden av byggprocessen saknas underlag för detaljerade klimatberäkningar. Fokus för det som utvecklats i detta projekt ligger i stället på förenklade kalkyler med direkt återkoppling på olika alternativ, att hitta avgörande samband som leder klimatpåverkan åt rätt håll. Intentionen är också att sätta klimatpåverkan i relation till andra beslutsparametrar i tidiga skeden. Detta kan vara till exempel mängden användbar eller uthyrbar byggnadsyta (vilket kopplar till byggnadernas ekonomiska värde), andelen glasad fasadyta och/eller dagsljusinsläpp.

Detta arbetssätt ersätter inte det klimatberäkningsarbete som görs i senare skeden, där beräkningar görs med mer detaljerade underlag och jämförs med olika referensvärden och eventuella beställarkrav på högsta tillåtna klimatpåverkan. Även i senare skeden är en iterativ process för förbättringar viktig, och något som kan göras mellan olika byggprojekt. Arbetssättet som utvecklats här kompletterar detta genom stöd redan i tidigt skede för det enskilda projektet.

## 1.2 Syfte och mål

Projektet har haft som mål att utveckla en metod och process för att integrera livscykelanalys som beslutsunderlag i tidiga designskeden. Detta via en digital koppling mellan 3D-modelleringsprogrammet Rhinoceros 3D (Rhino), det visuella programmeringsspråket Grasshopper 3D och klimatberäkningsprogrammet Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM). Centralt i projektet har varit att testa kopplingen i olika fallstudier och åskådliggöra hur beslut som fattas under den tidiga projekteringsfasen kan påverka resultaten. Resultaten avser här inte bara klimatpåverkan utan även ett särskilt framtaget nyckeltal för klimatskalets energiprestanda (i korthet "energinyckeltalet") samt andra beslutsparametrar som kan sammanställas via volymmodellen. Detta har gett möjligheten att avväga flera viktiga beslutsparametrar samtidigt och att åstadkomma en byggdesign som är optimerad utifrån ett funktionsperspektiv och samtidigt minimerar energi- och resursbehovet.





Projektet har även haft som mål att analysera hur processen från marktilldelning till slutprojektering kan förändras och optimeras. Däribland undersöka vilka barriärer och flaskhalsar det finns i nuvarande byggprocess för att designa och projektera fastigheter utifrån dess slutliga klimatavtryck.

För mer detaljer kring verktyget och arbetssättet, se detta projekts presentationsrapport *Klokare klimatbeslut i tidiga skeden* (Klimat- och design driven byggnation, 2022) och webbplatsen [www.klimatsmartbyggdesign.se](http://www.klimatsmartbyggdesign.se).

Projektet har haft ambitionen att skapa ett arbetsteam för fortsatt utveckling av verktyget och arbetsprocessen i tidiga skeden, med specialistkompetenser inom områdena: stadsplanering, byggdesign, konstruktion, byggmaterial och klimatberäkning. Detta har lett fram till ett nytt E2B2-projekt, "Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden", där forskare, arkitekter, konstruktörer med flera från IVL, RISE, Chalmers, Tyréns, FOJAB och Warm in the Winter ingår.

### 1.3 Omfattning och avgränsningar

Projektet har avgränsats till att ta fram metod och process för *byggskedets* klimatpåverkan (livscykelkedede A1-A5 enligt EN 15978), det vill säga klimatpåverkan fram till färdig byggnad. Detta är den avgränsning som gäller bland annat för den lagstadgade klimatdeklarationen för byggnader (Boverket, 2022). Byggnationens klimatpåverkan har i detta projekt dock också satts i relation till energiprestanda i drift i form av ett tillagt nyckeltal som avser att beskriva värmeförluster genom klimatskalet (se Figur 1). Detta "energinyckeltal" har syftet att ge indikationer på byggnadens energiprestanda och förebygga suboptimeringar mellan klimatpåverkan i byggskede och driftskede.

Nyckeltal för klimatskalets värmeförluster

A1-A5 Byggskedet					B 1-7 Användningsskedet							C 1-4 Slutskedet				D Övrig miljöinfo
A1 - Rävarutförsörjning	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 - Bygg- och installationsprocessen	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 - Renovering	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 - Demotering, rivning	C2 - Transport	C3 - Restprodukthantering	C4 - Bortskaffning	Återanvändnings-, Återvinnings- & Materialåtervinningspotential

Figur 1 De livscykelmoduler för byggnader (enligt standarden EN 15978) som omfattas av projektet (byggmaterialens klimatpåverkan A1-A5 samt nyckeltal som indikerar påverkan på B6).

Verktogsprototypen har gjorts utvecklats så långt att ett arbetssätt kunnat testas principiellt. Det innebär att kopplingen mellan Rhino/Grasshopper och BM via ett API (application programming interface) satts i drift fullt ut. Här översätts 3D-modellen till mängder av generiska byggnadselement och ges automatiskt feedback från BM på klimatpåverkan. Denna lösning har testats i fallstudierna. De övriga besluts-/resultatparametrar förutom klimatpåverkan och energinyckeltalet som tagits ut via volymkissen har varit anpassade efter projekttypen i respektive fallstudie och ska ses som exempel på parametrar som kan vara viktiga att relatera klimatpåverkan till och avväga mot i beslutsprocessen.



Antalet varianter på generiska byggnadselement som tagits fram är hittills inte alltför stor, samt täcker inte in en hel byggnad (exempelvis går inte grundläggning att inkludera idag). Verktuget ska därför ses som en prototyp och ett första steg mot ett verktyg som kan användas operativt i en större skala. I det uppföljande projektet "Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden" ska prototypen utvecklas vidare till ett mer fullskaligt verktyg. "Biblioteket" av generiska byggelement att räkna på ska här byggas ut för att täcka in ett större antal olika materiallösningar. I det projektet ingår konstruktörer direkt i projektgruppen vilket bland annat ska ge en förbättring av volymmodeller och mängdunderlag för beräkningarna.



## 2 Genomförande

### 2.1 Utveckling av verktygsprototypen/beräkningsfunktionen

Projektet har till stor del bestått av att utveckla verktygsprototypen för klimatberäkning, som getts namnet "*Leaf Cutter Ant*<sup>3</sup>". Beräkningsfunktionen kopplar samman 3D-modelleringsprogrammet Rhino, det visuella programmeringsspråket Grasshopper samt klimatberäkningsverktyget Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM). I detta arbete har både programmeringskompetenser och programutvecklare inom FOJAB och IVL varit mycket delaktiga till att skapa web-API:et som styr kommunikationen mellan programvarorna samt den tekniska plattformen inom Leaf Cutter Ant (kommandon, visualisering av inkommande data, med mera). Automatiska klimatkalkyler direktgenereras baserat på volymsskiss och kopplingen mot klimatdata i BM. Vid ändringar av volymsskissen tas nya resultat fram lika snabbt vilket ger ett effektivt sätt att jämföra olika alternativ.

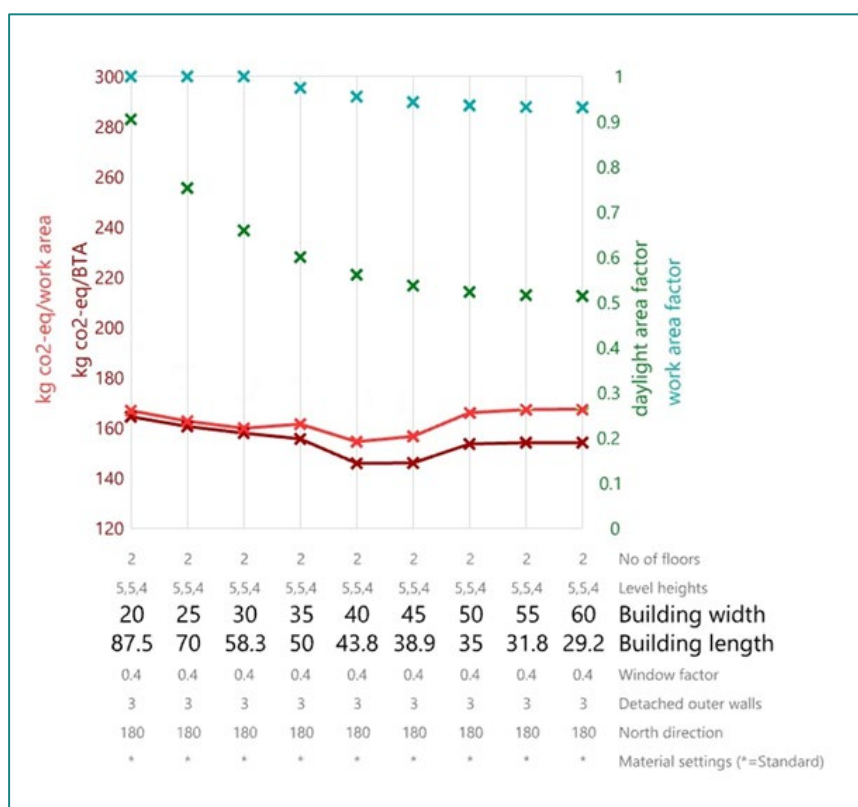
Den tekniska kommunikationen mellan IT-verktygen innebär att volymsskissen ger en mängdberäkning av ett antal generiska byggelement (definierade av projektgruppen), efter att dessa hänförs till de olika ytorna i skissen. Byggelementen är sammansatta av flera material, till exempel ett komplett bjälklag eller väggelement.

I BM har byggelementtyperna getts en koppling mot generiska klimatdata baserat på den totala sammansättningen i byggelementen (till exempel de olika skikten i en yttervägg)<sup>4</sup>. Detta har gjorts i tre nivåer vad gäller klimatpåverkan för varje byggelementstyp, enligt "låg", "medel" och "hög" (genom olika val av generiska data för de ingående byggmaterialen). Klimatpåverkan från de ingående byggmaterialen beräknas och kommuniceras av API:et på kommando från Leaf Cutter Ant. När olika designparametrar/variabler i volymsskissen ändras, till exempel längd eller bredd på byggnaden, kan ett nytt resultat genereras direkt och resultatparametrar jämföras med varandra. Exempel på visualisering av detta ser ut enligt Figur 2 nedan. Nedanför diagrammet syns även de möjliga variabler som hållits konstanta i det här fallet. I figuren visualiseras resultatparametrarna klimatpåverkan per bruttoarea ("kg co2-eq/BTA") och per *användbar kontorsyta*<sup>5</sup> i byggnaden ("kg co2-eq/work area") samt dagsljusfaktor ("daylight area factor") och arbetsytedefaktor ("work area factor"), som speglar den användbara kontorsytan i relation till total yta. Detta är endast exempel på möjliga variabler och resultatparametrar att utvärdera i det specifika fallet, där BTA och användbar kontorsyta är de två olika funktionella enheterna att relatera klimatpåverkan till. I exempelvis ett bostadsprojekt kan det i stället vara aktuellt att inkludera uthyrbar yta på motsvarande sätt som funktionell enhet.

<sup>3</sup> Plug-ins till Grasshopper brukar ofta namnges efter insekter och djur.

<sup>4</sup> Exempel på ett av byggelementen är en utfackningsvägg med tegel, med 108 mm tegel, 42 mm luftspalt, 80 mm isolering, skiva, 9 mm vindskyddsskiva, 170 mm isolering/regel, plastfolie, 45 mm isolering/regel och 13 mm gips.

<sup>5</sup> Byggnadsyta möjlig att använda för kontorsändamål beroende på den aktuella volymlösningen.



Figur 2 Exempel på variation i klimatpåverkan ("kg co2-eq/work area" samt "kg co2-eq/BTA"), dagljusfaktor ("daylight area factor") och arbetsyttefaktor ("work area factor") vid geometriska förändringar i två variabler (byggnadens bredd och längd).

Denna verktygsprototyp har gett ett möjligt arbetssätt att ta fram beslutsunderlag med hänsyn till klimat och andra beslutsparametrar i tidigt skede. Arbetssättet har sedan testats i de olika fallstudierna, se 2.2.1 och 3.1 nedan.

## 2.2 Fallstudier och fördjupande analyser

Verktygsprototypen har använts i projektet till fallstudier och fördjupande analyser kring arbetssätt och möjlig tillämpning i beslutsprocesser. I det här avsnittet presenteras kortfattat vad som har gjorts i respektive del. Resultaten av dessa delar beskrivs vidare i kap 3.

### 2.2.1 Fallstudier

Projektets fallstudier har visat olika sätt att tillämpa verktygsprototypen beroende på byggprojekt, och har omfattat både projekt med områdesutveckling och projekt med enskilda byggnader. Fallstudierna är upplagda på olika sätt och visar därmed möjliga varianter på kommande arbets- och beslutsprocesser. Verktögsprototypens funktioner möjliggör att ett antal olika beslutsparametrar utöver klimatpåverkan kan utvärderas i förhållande till klimatpåverkan.





### 2.2.2 Tillägg av ett energinyckeltal till arbets sätt och beslutsunderlag

I projektet har ett nyckeltal som ger indikation på byggnadens energiprestanda i form av värmeförluster genom klimatskalet utvecklats och lagts till i arbets sättet som beslutsparameter för att minska risken för suboptimerande val i tidiga skeden. Ett byggprojekt står alltid inför val som på skilda sätt kan påverka byggskedets klimatpåverkan och energiprestandan (och i förlängningen klimatpåverkan) i drift. Ett enkelt exempel kan vara att mer isolering ökar klimatpåverkan från material men minskar värmebehovet.

Val och beslut som tas i tidiga skeden kopplar i hög grad till byggnadens geometri och konstruktion. Energinyckeltalet avses därför spegla de delar av en byggnads energiprestanda som påverkas av byggnadens geometri och klimatskalets konstruktion. Nyckeltalet medger inte möjlighet att kvantifiera klimatpåverkan från driftskedet utan avses endast fungera indikativt på byggnadens energianvändning i drift. Nyckeltalet beskrivs enligt formeln nedan:

**Energinyckeltalet för klimatskalets värmeförluster [W/K,  $A_{temp}$ ] =  $(U_m * A_{om} + K * q_{inf} * A_{fasad})/A_{temp}$**

Där:  $K = \rho * c$

$c$  [kJ/kg,K] = luftens värmekapacitet

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] = luftens densitet

Och där:  $q_{inf}$  [l/s, m<sup>2</sup>] = infiltration (luftläckning) vid driftryck =  $q_{50} / d$

$q_{50}$  [l/s, m<sup>2</sup>] = infiltration i vid 50 Pa tryckskillnad

$d = 20$  vid FT-ventilation eller avstängd fläkt

$d = 25$  vid undertryck motsvarande F-ventilation

Och där:  $A_{fasad}$  [m<sup>2</sup>] = total ytterväggsyta inklusive fönster och övrig glasad yta,  $A_{temp}$  [m<sup>2</sup>] = Uppvärmd byggnadsyta,

$U_m$  [W/m<sup>2</sup>,K]=Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient enligt SS 13789:2017 (SIS, 2017) och  $A_{om}$  [m<sup>2</sup>]

=Omslutande area enligt BFS 2011:6 (Boverket, 2011).

Värmeförlustkoefficienten ( $H_T$ ) för en byggnad enligt SS 13789:2017, som är ett mått på byggnadens utetemperaturberoende värmeförluster, har legat till grund för energinyckeltalet. Till skillnad från värmeförlustkoefficienten inkluderas dock inte värmeförluster genom ventilationssystemet. Genom att slå ut värmeförluster på grund av transmission och läckage genom byggnadens klimatskal på byggnadsytan,  $A_{temp}$ , har nyckeltal enligt ovan erhållits.

### 2.2.3 Markttilldelning och planprocess

För att analysera hur processen från markttilldelning till slutprojektering kan förändras och optimeras med ökad hänsyn till klimat har workshops arrangerats med medverkan av Malmö Stad, Kristianstads, Simrishamns och Ystads kommuner. Huvudtemat på workshopparna har varit "Kommunernas roll och möjligheter vid markttilldelning för en hållbar stadsutveckling". Fokus i diskussionen har legat på att samla in synpunkter kring följande punkter:

- Hur kan planprocessen utvecklas för att vara stöd åt aktörer med höga klimat- och miljömässiga ambitioner?
- Vilka hinder finns?
- Vilka eventuella lösningar skulle kunna tas fram?

Ett antal hinder och lösningar har identifierats i de dokumenterade synpunkterna och omsatts i ett par råd till utveckling av planprocessen.



## 3 Resultat

Nedan presenteras resultaten från projektets fallstudier samt fördjupande analyser kring det framtagna energinyckeltalet samt om utveckling av planprocessen. För mer bakgrund kring dessa analysdelar, se kapitel 2.2.1-2.2.3.

### 3.1 Fallstudier med test av arbetsättet

Arbetsättet med att integrera klimat kalkyl som beslutsparameter i tidiga skeden genom verktygsprototypen har testats i olika fallstudier i projektet, både för områdesutveckling och för enskild byggnad. Dessa beskrivs under respektive delkapitel nedan.

#### 3.1.1 Fallstudie 1: Områdesutveckling Malmö

I denna fallstudie har verktygsprototypen tillämpats på en planerad områdesutveckling i Malmö. Arbetet har varit uppdelat i två steg.

##### Steg 1: Volymjämförelser

Här har olika scenarios jämförts, där struktur och *byggnadstypologier* (typer av byggnader och/eller bebyggelsestruktur, såsom småhus, punkthus, lamellhus etc.) varierats, men där byggelementstyperna varit samma.

Volymförslag har tagits fram utifrån resultaten för de olika scenarierna.

##### Steg 2: Test med olika byggelementtyper

För det färdiga volymförslaget har olika byggnadselement och materialval testats.

Arbetsprocessen i dessa steg beskrivs på kortfattat sätt nedan.

I **steg 1** har tre scenarier med olika typologier och sammansättning av byggnadstyper jämförts. Dessa typologier har gett följande resultat avseende total klimatpåverkan, enligt Figur 3 nedan.





<b>SCENARIO 1 - SLUTNA KVARTER</b>	<b>SCENARIO 2 - BLANDADE TYPOLOGIER</b>	<b>SCENARIO 3 - IN OCH UT</b>
<b>Bjälklag:</b> 9.180 Ton CO2	<b>Bjälklag:</b> 9.270 Ton CO2	<b>Bjälklag:</b> 9.200 Ton CO2
<b>Yttervägg:</b> 4.460 Ton CO2	<b>Yttervägg:</b> 4.950 Ton CO2	<b>Yttervägg:</b> 5.150 Ton CO2
<b>Fönster:</b> 1.910 Ton CO2	<b>Fönster:</b> 2.040 Ton CO2	<b>Fönster:</b> 2.000 Ton CO2
<b>Tak:</b> 2.610 Ton CO2	<b>Tak:</b> 2.620 Ton CO2	<b>Tak:</b> 2.650 Ton CO2
<b>Total:</b> 18.165 Ton CO2	<b>Total:</b> 18.890 Ton CO2	<b>Total:</b> 19.051 Ton CO2

Figur 3 Kalkylerad sammanlagd klimatpåverkan samt klimatpåverkan fördelat på olika byggnadsdelar för respektive scenario i Fallstudie 1.

Resultaten indikerar att en mer öppen struktur kan leda till ökad klimatpåverkan även om det är relativt marginellt. Detta gäller även vid en ökad andel småhus jämfört med flerbostadshus.

Till **Steg 2** har olika typer av byggelement kopplats till volymskissen för ett låst volymförslag, vilket gjorts i fyra olika tester kallade "betong", "trä", "stål" och "låg". De testade elementen omfattar:

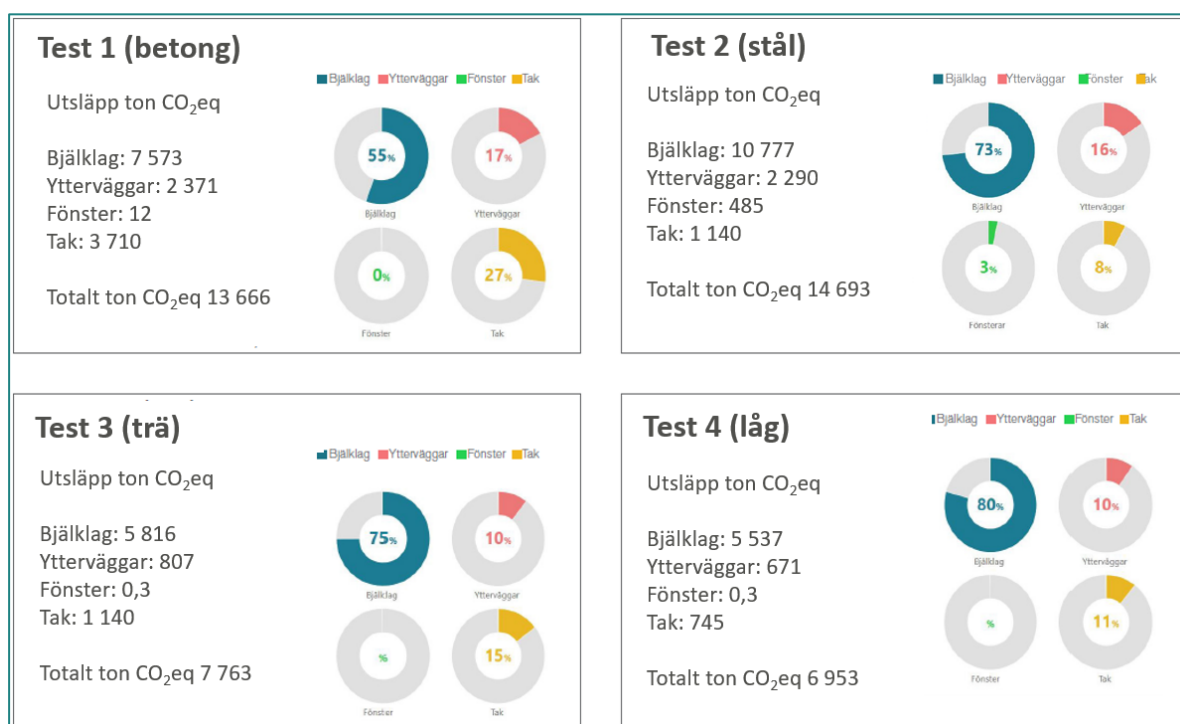
**Test 1 (betong):** Håldäcksbjälklag, yttervägg med tegel, platt papptak.

**Test 2 (stål):** Plattbjälklag, sandwich-yttervägg, platt plåttak

**Test 3 (trä):** Träbjälklag, utfackningsvägg med träreglar, platt plåttak

**Test 4 (låg):** Träbjälklag, bärande KL-trä-yttervägg, platt plåttak

Resultande kalkylerad klimatpåverkan i respektive test blev enligt Figur 4 nedan.



Figur 4 Sammanlagd klimatpåverkan samt klimatpåverkan fördelad på olika byggnadsdelar för respektive test med olika byggelementstyper i Fallstudie 1.

Testen visar tydliga skillnader i klimatpåverkan som är möjliga att kalkylera via verktygsprototypen beroende på konstruktionstyp och materialval. Verktygsprototypen kan därmed ge viktig vägledning i tidiga skeden både kring volymlösning och material, som bör utvärderas vidare med mer detaljerade beräkningar senare i byggprocessen.

### 3.1.2 Fallstudie 2: Kontorsdel av kommersiell byggnad Malmö

Denna fallstudie omfattar en kontorsdel av en kommersiell byggnad i Malmö. Här har arbetet varit uppdelat i dessa två steg:

#### Steg 1: Parameteruppställning

Designparametrar ("input") och beslutsparametrar ("output") har bestämts utifrån byggnadsfunktionen.

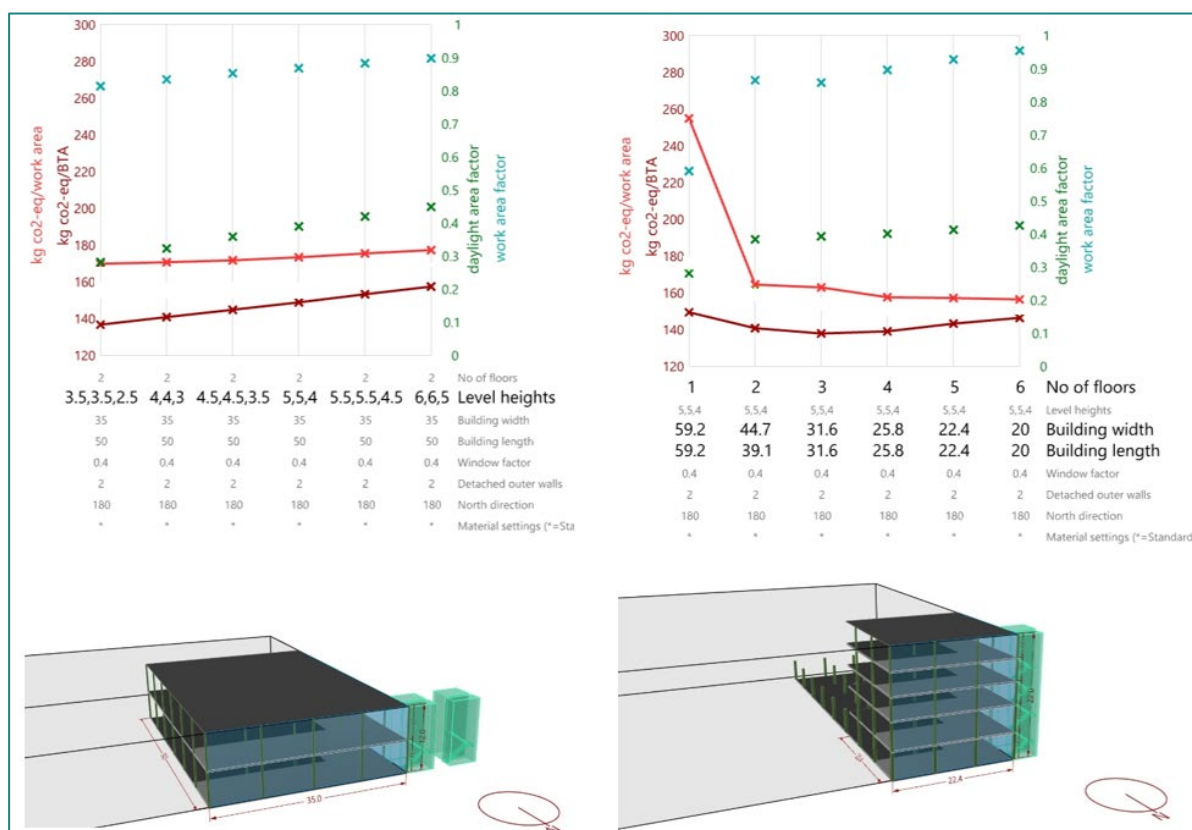
#### Steg 2: Iterationsprocess - ändring av parametrar

Designparametrar har ändrats för att se hur klimatpåverkan påverkas. Samtidigt har andra beslutsparametrar utvärderats för att identifiera samband.



**Steg 1:s** parameteruppställning innehöll designparametrarna typologi, byggnadsproportioner, antal våningar, våningshöjder, väderstreck, fönsterandel och material. Beslutsparametrarna innefattade klimatpåverkan, klimatpåverkan per arbetsyta, dagsljusfaktor och arbetsytefaktor. Arbetsytan har här valts som en alternativ funktionell enhet klimatpåverkan relateras till, baserat på att byggnaden används för kontor.

**Steg 2:s** iterationsprocess innehöll variation av designparametrarna i ett antal olika varianter med utslag på beslutsparametrarna. Iterationsprocessen beskrivs visuellt med två exempel i Figur 5 nedan. Detta visas här för att illustrera hur ett stort antal olika designalternativ kan analyseras parallellt samt hur relationer och samband kan hittas.



Figur 5 Visuellt överblick av iterationsprocessen i Fallstudie 2 med exempel på variation i designparametrarna våningshöjder ("Level heights") respektive antal våningar ("No of floors") och byggnadens bredd och längd ("Building width" och "Building length") samt resultat för beslutsparametrar klimatpåverkan ("kg co2-eq/work area" och "kg co2-eq/BTA"), dagsljusfaktor ("daylight area factor") och arbetsytefaktor ("work area factor").

Figuren visar på principiell nivå hur olika designparametrar kan varieras i verktygsprototypen för att hitta trender i beslutsparametrarna. I det vänstra exemplet bland annat en jämn svag ökning av klimatpåverkan i relation till båda ytenheterna från vänster till höger vid förändrade våningshöjder. I det högra exemplet bland annat ett avvikande resultat med klart högst klimatpåverkan per



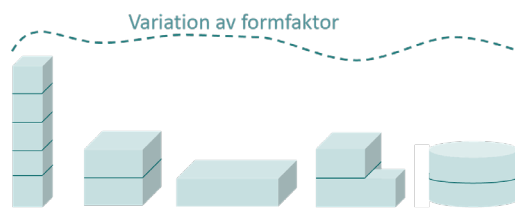
arbetsyta vid designparametrarna längst till vänster och i övrigt betydligt lägre och jämnare klimatpåverkan.

### 3.2 Parameterstudie med det framtagna energinyckeltalet

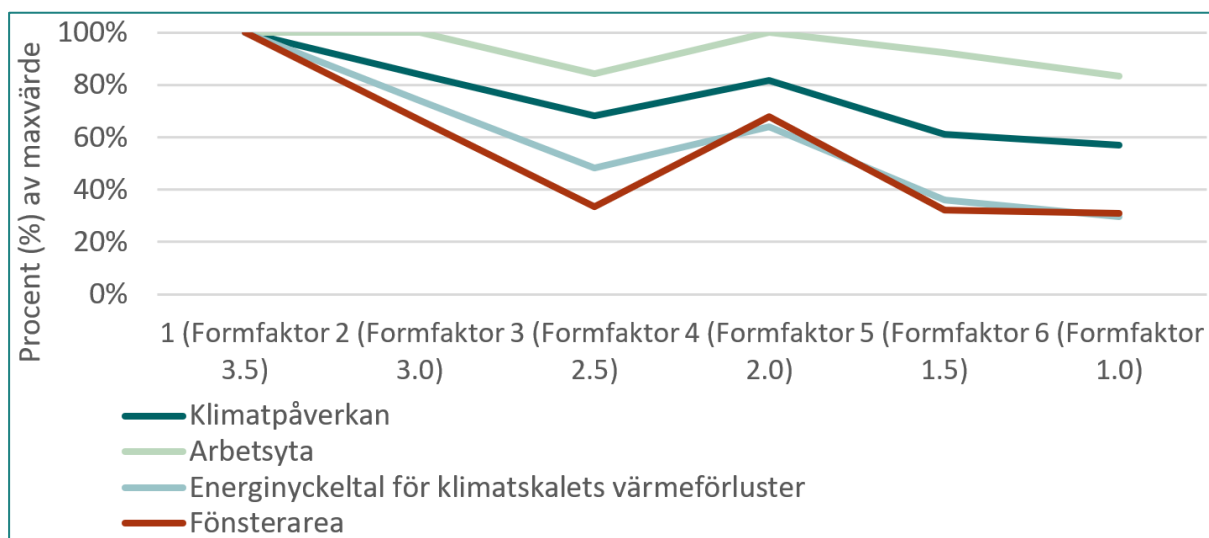
En parameterstudie har genomförts i projektet för att testa hur energinyckeltalet påverkas av en förändrad *formfaktor* (se definition i ruta nedan) i förhållande till andra beslutsparametrar.

**Formfaktorn** är ett mått på hur kompakt en byggnad är, där den omslutande arean av klimatskalet,  $A_{om}$ , sätts i förhållande till uppvärmd yta,  $A_{temp}$  (Formfaktor= $A_{om}/A_{temp}$ ).

Förenklat ger exempelvis en avlång byggnad med en våning högre formfaktor än en kubisk byggnad med flera våningar som har samma byggnadsyta.



I Figur 6 nedan visas den relativa resultatvariationen för fyra olika resultat-/beslutsparametrar vid sex olika formfaktorer. Resultaten för parametrarna visas som relativ variation utan enheter för att kunna visualiseras i samma skala.



Figur 6 Energinyckeltalet, klimatpåverkan och andra resultat-/beslutsparametrar vid förändrad formfaktor





Byggnadsskisserna i den genomförda parameterstudien är inte nödvändigtvis realistiska ur ett praktiskt och användarmässigt perspektiv. Därför baseras slutsatserna från den inte på absoluta värden utan endast på trender för en viss parameter eller sambandet mellan olika parametrar. Energinyckeltalet påverkas som förväntat av ändringar av byggnadens formfaktor, det vill säga värmeförlusterna genom klimatskalet sjunker med minskande formfaktor. Nyckeltalet reagerar också på liknande sätt som klimatpåverkan, vilket är ett intressant samband att undersöka närmare framöver genom detta arbetssätt.

### 3.3 Ökat klimatfokus vid marktilldelning och planprocess

Utifrån synpunkterna från de workshops som beskrivits i kap 2.2.3 kring marktilldelning och planprocess har ett antal hinder kunnat identifieras. Bland annat rörande förbud mot tekniska särkrav på kommunal nivå samt politiska oenigheter och kunskapsbrist. Ett antal möjligheter med marktilldelning som verktyg har också identifierats, bland annat rörande kommunala markanvisningstävlingar och betygssystem samt samverkan mellan kommuner.

Arbetet har resulterat i följande sammanfattande råd till utveckling av planprocessen:

Kommunala bostadsbolag och kommunen som beställare borde vara förebilder i sitt eget byggande. Kommunerna behöver bygga upp profilering, visa mod, sätta tydliga kriterier och beskriva klimatmål och visioner i samband med markanvisningar för att påverka klimatavtrycket.

Markanvisningstävlingar är ett instrument där utvalda exploatörer kan samverka i planarbetet för att driva klimat- och hållbarhetsarbetet framåt. En god dialog mellan kommun och byggherre med lagom flexibilitet är viktig under planprocessens gång. Kommunerna bör införa "gröna punkter" eller "mervärden" som byggherren måste uppfylla vid markanvisningar, ju fler gröna punkter exploatören uppfyller, desto högre värdesättning vid bedömning.

En klimat- och hållbarhetsakkunnig är värdefull i tidiga skeden i planprocessen för att driva på klimatarbetet och visa att klimat och hållbarhet är ekonomiskt lönsamt på sikt.



## 4 Diskussion

Verktogsprototypen och arbetssättet som utvecklats i detta projekt kommer utvecklas vidare i projektet "Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden". Det här inledande projektets bidrag är viktigt för bästa möjliga vidareutveckling och tillämpning. Denna diskussionsdel inriktas på det generella arbetssätt och tillämpning som möjliggörs av projektet.

### **Avvägning mellan detaljnivå och tidseffektivitet i tidiga klimatberäkningar**

Projektet har haft ambitionen att hitta ett arbetssätt anpassat efter vilken detaljnivå som är möjlig och lämplig att klimatberäkna på i tidiga skeden. I och med att detaljerad information om till exempel materialval och byggnadslösningar saknas, så behöver antaganden och förenklingar göras. För enklaste sätt att generera beräkningar och få vägledning har verktogsprototypen byggts upp för beräkningar på "byggelements"-nivå (generiska typelement såsom en hel yttervägg eller ett helt bjälklag).

### **Kalkyler i tidigt skede ersätter inte detaljerade klimatberäkningar och klimatdeklaration i sent skede**

Verktogsprototypens användning av generiska byggelement kopplade till generiska klimatdata är något som möjliggör den snabba och automatiska klimatåterkopplingen. Att arbeta med klimatberäkningar i tidiga skeden ger alltså på det här sättet inte några absoluta värden på klimatpåverkan. Däremot ger det mycket viktiga komparativa resultat både mellan olika strukturer, byggnadstypologier och materialval. I den bemärkelsen kan resultatet bli mycket viktigt för avvägningen mellan olika beslutsparametrar. Däremot måste resultaten kommuniceras med försiktighet när det gäller det kvantitativa resultatet. Tidiga beräkningar ersätter inte de klimatdeklarationer som ska göras vid färdigställande för byggprojekt.

### **Designparametrar och beslutsparametrar bör och kan anpassas projekt för projekt**

Analys och arbetsprocess kan anpassas med olika designparametrar/variabler samt olika besluts-/resultatparametrar beroende på typ av byggnad eller bebyggelse. Det är en stor fördel att kunna nyttja de geometriska/formmässiga data som finns i volymmodellen för att ta fram resultat med betydelse för byggnadens funktion. Ett exempel på detta är ytenheten "work area" som representerar "användbar kontorsyta i byggnaden" och som använts i en av fallstudierna. Att relatera beräknad klimatpåverkan och beräknat energinyckeltal till den typen av beslutsparametrar är viktigt för kommande tillämpning av detta.

### **Projektets fallstudier visar på klimatomständiga samband som bör undersökas vidare**

Fallstudierna har identifierat olika formmässiga byggnadsval som påverkar klimatpåverkan. Klimatpåverkan beror bland annat på proportionerna mellan olika byggelement, såsom väggar, tak och fönster, samt yteffektivitet och kompakthet/formfaktor. För ett större bebyggelseområde kan de sammanlagda proportionerna mellan olika byggelement (och därmed klimatpåverkan) påverkas av områdets *typologi*, till exempel att behovet av ytterväggar är beroende på hur mycket volymerna delas upp. Dessa samband bör undersökas mer fördjupat i projektet "Verktyg för klimatsmart byggdesign i tidiga skeden".





**Projektet har bidragit till lättare beslutsavvägning mellan klimatpåverkan av byggskede och byggnadernas energiprestanda**

Ett viktigt steg i projektet har varit att ta fram ett energinyckeltal för analys i tidiga skeden och testa att beräkna det i verktygsprototypen parallellt med klimatpåverkan och andra resultatparametrar. Resultatet visade att relationen mellan byggnadens formfaktor, klimatprestanda och energiprestanda bör uppmärksammas och undersökas vidare. Byggnadernas form bör optimeras med hänsyn till både klimat och energi, men också till andra beslutsparametrar som till exempel användbar yta samt fönsterandel.



## 5 Slutsatser

Detta projekt har bidragit till byggsektorns klimatarbete genom att utveckla en verktygsprototyp för förenklade klimatkalkyler i tidiga skeden av byggprocessen. Projektet har också exemplifierat och analyserat möjliga arbetssätt genom olika fallstudier. Detta har kompletterats med ytterligare analyser om avvägningar och samband mellan en byggnads *formfaktor*, byggskedets klimatpåverkan och klimatskalets värmeförluster. Detta genom ett energinyckeltal, som i tidiga skeden kan ge indikationer på byggnadens energiprestanda.

Slutsatser kan kort summeras i dessa punkter:

- Fallstudierna visar att verktygsprototypen kan användas för klimatmässiga jämförelser i tidiga skeden i sin nuvarande funktion, men behöver utvecklas vidare med fler möjliga generiska byggnadselement att räkna på, för ökad möjlighet till variation och högre beräkningstäckning (bland annat går det i nuläget inte att inkludera grundläggning).
- Fallstudierna visar att verktygsprototypen kan användas för att ta fram underlag där klimatpåverkan kan utvärderas parallellt med andra beslutsparametrar.
- Fallstudierna visar också att designparametrar att variera och resultatparametrar att analysera bör och kan anpassas beroende på byggprojekt. Klimatpåverkan kan också lämpligen relateras till olika funktionella enheter såsom ytenheter: i ett kontorshus till exempel "yta användbar för arbetsplatser", i ett bostadshus till exempel "uthyrbar yta".
- Projektet har utvecklat metodik och arbetssätt där avvägning mellan detaljnivå och tidseffektivitet sätts i fokus.
- Projektet har konstaterat att denna typ av klimatkalkyler i tidigt skede inte ersätter, men kompletterar, detaljerade klimatberäkningar och klimatdeklaration i sent skede.
- Projektets fallstudier visar exempel på hur en byggnads klimatpåverkan påverkas av olika formmässiga val. Exempel på det är proportionerna mellan olika byggelement (såsom väggar, tak och fönster) samt yteffektivitet och kompakthet/formfaktor.
- Projektet har uppmärksammat behovet av metod för beslutsavvägning i de tidiga skedena mellan klimatpåverkan av byggskede och energiprestanda för byggnaderna. Projektet har därför utvecklat ett energinyckeltal för klimatskalets värmeförluster.
- En parameterstudie utifrån variation av byggnadens *formfaktor* har genomförts som visar hur energinyckeltalet kan användas för beslutsunderlag i tidiga skeden. Resultatet indikerar att en effektiv byggnadsform (låg formfaktor) kan bidra till att möjliggöra både låg klimatpåverkan av byggskedet (A1-A5) och en byggnad med låga värmeförluster genom klimatskalet.



## 6 Publikationslista

Övrigt publicerat material från detta projekt:

Klimat- och designdriven byggnation, 2022. Klokare klimatbeslut i tidiga skeden - Beskrivning av prototypverktyg och erfarenheter av tidiga klimatkalkyler. IVL Svenska Miljöinstitutet, FOJAB Arkitekter, Arkitektkontoret Warm in the Winter, Presentationsrapport för Klimat- och designdriven byggnation, Mars 2022. Tillgänglig: [www.klimatsmartbyggdesign.se](http://www.klimatsmartbyggdesign.se).



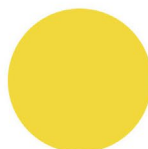
## 7 Referenser

Boverket, 2011. Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd. Boverket, BFS 2011:6. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>

Boverket, 2022. Klimatdeklaration – En handbok från Boverket. Boverket, webbsida. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/>

Klimat- och designdriven byggnation, 2022. Klokare klimatbeslut i tidiga skeden - Beskrivning av prototypverktyg och erfarenheter av tidiga klimatkalkyler. IVL Svenska Miljöinstitutet, FOJAB Arkitekter, Arkitektkontoret Warm in the Winter, Presentationsrapport för Klimat- och designdriven byggnation, Mars 2022. Tillgänglig: [www.klimatsmartbyggdesign.se](http://www.klimatsmartbyggdesign.se).

SIS, 2017. Byggnaders termiska egenskaper – Värmegenomgångskoefficienter – Beräkningsmetod (ISO 13789:2017). Swedish Standards Institute, ICS: 91.120.10. Tillgänglig: <https://www.sis.se/api/document/preview/8027720/>



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

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.  
Läs mer på [www.E2B2.se](http://www.E2B2.se).*

