

# Dagens och morgondagens hållbara landskapsarkitektur

Klimatberäkning som vägvisare i  
designprocessen

Maria Cankalp

Självständigt arbete 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning  
Landskapsarkitektprogrammet  
Alnarp 2024



-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-1 280 kg CO<sub>2</sub>e

-2 351 kg CO<sub>2</sub>e

-299 kg CO<sub>2</sub>e

-299 kg CO<sub>2</sub>e

-299 kg CO<sub>2</sub>e

299 kg CO<sub>2</sub>e

+1 851 kg CO<sub>2</sub>e

+110 kg CO<sub>2</sub>e

-946 kg CO<sub>2</sub>e

-946 kg CO<sub>2</sub>e

-946 kg CO<sub>2</sub>e

+454 kg CO<sub>2</sub>e

+2 173 kg CO<sub>2</sub>e

+124 kg CO<sub>2</sub>e

+626 kg CO<sub>2</sub>e

+626 kg CO<sub>2</sub>e

+126 kg CO<sub>2</sub>e

+1 565 kg CO<sub>2</sub>e

+780 kg CO<sub>2</sub>e

+220 kg CO<sub>2</sub>e

+157 kg CO<sub>2</sub>e

+102 kg CO<sub>2</sub>e

+2 173 kg CO<sub>2</sub>e

# Dagens och morgondagens hållbara landskapsarkitektur

Klimatberäkning som vägvisare i designprocessen

*The sustainable landscape architecture of today and tomorrow*

*Climate Calculation as a guide in the design process*

Maria Cankalp

Handledare: Emily Wade, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Anders Kristoffersson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Biträdande examinator: Arne Nordius, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Extern handledare: Nicholas Gulick, Landskapsarkitekt, WSP

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: A2E

Kurstitel: Independent Project in Landscape Architecture

Kurskod: EX0846

Program/utbildning: Landskapsarkitektprogrammet

Kursansvarig institution: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2024

Omslagsbild: Rendering av Kajpromenaden av Maria Cankalp

Originalformat: A3 liggande

Nyckelord: Klimatberäkning, klimatkalkyl, klimatdeklaration, landskapsarkitektur, 3D,

3D-modellering, parametrisk design, Rhinoceros, Grasshopper, Galapagos

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

# Sammanfattning

I dag är behovet av att hitta lösningar på klimatfrågan mer brådskande än någonsin och frågan kring hur vi ska rädda klimatet är en av de största i vår samtid. Senast 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser. Bygg- och anläggningssektorn stod för ca 20% av Sveriges totala koldioxidutsläpp 2020, och 2022 lagstiftades krav på klimatdeklaration för byggnader. Klimatförändringar och digitalisering är båda fenomen med stor inverkan på vår samtid och uppsatsen undersöker därför hur digitalisering kan användas för att minska klimatpåverkan för projekt inom landskapsarkitektur genom klimatberäkning. Digitaliseringen har gett upphov till nya verktyg för landskapsarkitekter att använda i sitt arbete, och uppsatsen utforskar i vilken utsträckning som dagens landskapsarkitekter tillämpar de.

Syftet med uppsatsen är att skapa förutsättningar för landskapsarkitekter att tillämpa klimatberäkningar i sitt vardagliga arbete och målet är att undersöka vilka möjligheter som finns för att utföra klimatberäkningar i Kajpromenaden med hjälp av parametrisk design och verktygen Rhinoceros 3D (Rhino) och Grasshopper. Idag arbetar inte många landskapsarkitekter med klimatberäkning, de är heller inte så medvetna om vilka koldioxidutsläpp som deras projekt orsakar. Genom att tillämpa klimatberäkning i designprocessen, kan det gå att öka medvetenheten kring gestaltningar. Litteraturstudien ger en bakgrund till klimatförändringar och klargör vilken klimatpåverkan som materialen har, tillämpningsmetoden tillsammans med kvalitativa studier testar klimatberäkning i Kajpromenaden och undersöker branschens syn på möjligheter och utmaningar inom ämnet, medan de kvantitativa

studierna undersöker branschens kompetens och mottaglighet för 3D-verktyg och klimatberäkning.

Uppsatsen utreder vilka möjligheter landskapsarkitekter har för att klimatberäkna med hjälp av parametriska verktyg i designprocessen och undersöker några av de utmaningar som tillämpning av klimatberäkning i projekt inom landskapsarkitektur innebär. Uppsatsen undersöker genom en enkätundersökning i vilken utsträckning som digital 3D-modellering och klimatberäkning används inom landskapsarkitektur, och även vilka möjligheter och utmaningar som klimatberäkning innebär för landskapsarkitekter och övriga teknikområden genom intervjuer.

Klimatberäkning kan tillämpas i landskapsarkitekturens iterativa designprocess genom parallellt arbete i 3D-modelleringsverktyget Rhinoceros 3D och det parametriska tillägget Grasshopper där mängder koldioxidutsläpp kan beräknas och bearbetas genom testning av alternativa designlösningar med koldioxidutsläpp som kriterier. Kajpromenadens koldioxidutsläpp var 38 912 kg CO<sub>2</sub>e och 10,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, med hjälp av miljöförbättrande åtgärder gick det att minska koldioxidutsläppen till 27 725 kg CO<sub>2</sub>e och 7,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Plantering av träd och vegetation uppskattades till att potentiellt lagra -45 297 kg CO<sub>2</sub>e, och kompenseringen av miljöförbättrande åtgärder och planterad vegetation ger en klimatpåverkan på -17 572 kg CO<sub>2</sub>e och -4,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

**Nyckelord:** Klimatberäkning, klimatkalkyl, klimatdeklaration, landskapsarkitektur, 3D, 3D-modellering, parametrisk design, Rhinoceros, Grasshopper

# Abstract

Today, the need to find solutions to the climate issue is more urgent than ever, and the question of how we will save the climate is one of the greatest of our time. By 2045, Sweden aims to have no net emissions of greenhouse gases. The construction sector accounted for about 20% of Sweden's total carbon dioxide emissions in 2020 and in 2022, requirements for climate declarations for buildings were legislated. Climate change and digitalization are both phenomena with a great impact on our time and the essay therefore examines how digitalization can be used to reduce the climate impact of projects in landscape architecture through climate calculation. Digitalization has given rise to new tools for landscape architects to use in their work, and the essay explores the extent to which today's landscape architects apply them.

The purpose of this paper is to create conditions for landscape architects to apply climate calculations in their everyday work and the goal is to investigate the possibilities of performing climate calculations in the project Kajpromenaden with the help of parametric design and the tools Rhino and Grasshopper. Today, many landscape architects do not work with climate calculations, nor are they aware of the carbon dioxide emissions that their projects cause. By applying climate calculation in the design process, it may be possible to increase awareness of designs. The literature study provides a background to climate change and clarifies the climate impact of the materials, the application method tests climate calculation in Kajpromenaden and the qualitative and quantitative studies examines the industry's view of opportunities and challenges in the subject. The essay investigates

the possibilities of landscape architects to calculate climate with the help of parametric tools in the design process and examines some of the challenges that the application of climate calculation in landscape architecture projects entails. Through a survey, the essay examines the extent to which digital 3D modeling and climate calculation are used in landscape architecture, and the opportunities and challenges that climate calculation entails for landscape architects and other technical areas through interviews.

Climate calculation can be applied in the iterative design process of landscape architecture through parallel work in the 3D modeling tool Rhinoceros 3D and the parametric add-on Grasshopper where amounts of carbon dioxide emissions can be calculated and processed by testing alternative design solutions using carbon dioxide emissions as criteria. The carbon dioxide emissions of Kajpromenaden were a total of 38 912 kg CO<sub>2</sub>e and 10,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, with the help of environmental improvement measures, it was possible to reduce carbon dioxide emissions to 27 725 kg CO<sub>2</sub>e and 7,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Planting trees and vegetation was estimated to potentially store -45 297 kg CO<sub>2</sub>e, and the compensation of environmental improvement measures and planted vegetation gives a total climate impact of -17 572 kg CO<sub>2</sub>e and -4,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

**Key words:** Climate calculation, climate declaration, carbon footprint, landscape architecture, 3D, 3D-modeling, parametric design, Rhinoceros, Grasshopper

# Förord

Med detta examensarbete avslutar jag mina femåriga studier på landskapsarkitekturprogrammet vid SLU i Alnarp, och påbörjar mitt yrkesliv som landskapsarkitekt. Denna masteruppsats har behandlat klimatberäkning, ett för mig tidigare okänt område, med 3D-modellering och visualisering, som präglade stora delar av min utbildning.

Uppsatsen gjordes i samarbete med WSP Landskap i Stockholm som jag vill tacka för visat förtroende och för att ha bistått med ett projekt, resurser, kontorsplats, värmande ord och många skratt. Det tilldelade projektet för klimatberäkning var Kajpromenaden i Södertälje, min hemstad, och så kom även projektet att bli mer personligt än vad jag först förväntade mig.

Uppsatsen har inte bara bidragit till min personliga utveckling utan även försett mig med insikter och ett ökat medvetande kring materialval som kommer att följa med mig i min framtida yrkesroll som landskapsarkitekt.

Jag hoppas att landskapsarkitekter läser detta arbete som ett förslag på hur vi kan integrera klimatberäkning som ett komplement i designprocessen. Det viktigaste att ta med sig är varken uppsatsens resultat eller vilken typ av data som använts, utan snarare en medvetenhet kring dagens och morgondagens klimatförändringar och landskapsarkitekturens möjligheter till minskad klimatpåverkan.



Stockholm, 2024-01-18

# Tack

Jag vill ägna ett särskilt stort tack till min handledare Nicholas Gulick på WSP som bidragit med sin ovärderliga kompetens för att tillsammans utveckla en arbetsmetod för klimatberäkning i parametriska verktyg. Tack för allt du har lärt mig, detta examensarbete hade varit omöjligt utan din kunskap.

Tack till min handledare Emily Wade på SLU, för att du hjälpt mig att utforma ett ramverk och förankra arbetet ytterligare i sin samtid.

Tack till min bror Gabriel som introducerade mig till arkitekturens olika skalor, och till min familj för ert konstanta stöd. Tack till mina vänner som berikat mitt arbete med era synpunkter och perspektiv.

# Innehållsförteckning

## Inledning

- 8 Bakgrund
- 9 Mål & syfte
- 10 Frågeställningar
- 11 Avgränsning
- 12 Material och metod

## Landskapet och klimatförändringar

- 18 Människan och landskapet
- 19 Klimatförändringar
- 20 Bygg- och anläggningssektorns klimatpåverkan
- 21 Bygg- och anläggningssektorns organisation
- 22 Konventionella metoder för minskad klimatpåverkan
- 23 Landskapsarkitektens nya yrkesroll

## Livscykelanalys

- 25 Begreppet livscykelanalys
- 26 LCA inom landskapsarkitektur
- 27 Miljödata
- 27 Avsaknad av referensvärden

## Materialens klimatpåverkan

- 30 Materialens klimatpåverkan
- 31 Materialpyramid
- 32 Hårdgjorda ytmaterial
- 37 Vegetation
- 39 Sammanfattning

## Klimatberäkning

- 41 Klimatberäkningens betydelse och användning
- 42 Arbetar landskapsarkitekter med klimatberäkning?
- 43 Befintliga verktyg
- 45 Exempelprojekt på klimatberäkningar
- 46 Klimatberäkningsmetoder på WSP
- 47 Utmaningar vid klimatberäkning

## Landskapsarkitektens praktik

- 49 Landskapsarkitektens tradition och möjligheter
- 50 Ritar landskapsarkitekter i 3D?
- 51 Sammanfattning enkätstudier

## Parametrisk design

- 53 Bakgrund till parametrisk design
- 54 En parametrisk designprocess
- 55 Att förstå algoritmen
- 56 Varför utföra klimatberäkningar i parametriska verktyg?
- 57 Klimatberäkning i den iterativa designprocessen

## Klimatberäkning av Kajpromenaden

- 58 Klimatberäkning av Kajpromenaden
- 59 Kajpromenadens innehåll
- 60 Tillämpningsmetod för klimatberäkning
- 61 Rhinoceros 3D-modell
- 62 Grasshopper skript
- 63 Skript i 3D-modell
- 65 Vad kan vi utläsa?
- 70 Resultat av klimatberäkning
- 71 Miljöförbättrande åtgärder

## Intervjuer

- 78 Myndigheten
- 79 Beställaren
- 81 Entreprenören
- 82 Projektören
- 83 Leverantören
- 84 Sammanfattning

## Diskussion

- 86 Diskussion
- 91 Metoddiskussion

## Slutsatser

- 93 Slutsatser

## Vidare studier

- 94 Vidare studier

## Referenser

- 96 Referenser

## Bilagor

- 99 Bilagor

# Ordlista

## Klimatkalkyl/ Klimatberäkning

Verktyg för att beräkna miljöpåverkan av en produkt eller projekt.

## Livscykelanalys/ LCA

Metod för att skapa en helhetsbild av hur stor den totala miljöpåverkan är under en produkts livscykel.

## Emissionsfaktor

Anger mängden utsläpp av ett material. Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>e) = Mängd (m<sup>3</sup>) x Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>e/ m<sup>3</sup>).

## GWP-värde

Data om klimatpåverkan som anges i CO<sub>2</sub> ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e).

## Koldioxidekvivalent/ CO<sub>2</sub>e

Mått på utsläpp av växthusgaser för gasernas olika utsläpp och bidragande till global uppvärmning och växthuseffekten.

## Kollagring/ Lagrad koldioxid/ Kolbindning

Genom fotosyntes lagrar träd och vegetation koldioxid under sin tillväxtfas, som därefter lagras i träet fram tills det bränns upp.

## AMA-kod

AMA är en förkortning för Allmän Material- och Arbetsbeskrivning och fungerar som en standardreferens i byggsektorn i Sverige.

## EPD

Environmental Product Declaration är en miljövarudeklaration som beskriver en produkts miljöpåverkan under livscykeln. EPD:er innehåller produktspecifika data.

## Generiska data

Generell eller branschgemensam klimatdata för ett material. Datan utfärdas vanligen av myndigheter.

## Parametrisk design

Design som programmeras och utformas baserat på algoritmer och parametrar.

## Rhinoceros 3D

Digitalt 3D-modelleringsprogram, förkortas som Rhino.

## Grasshopper

Ett parametriskt tillägg i Rhinoceros 3D.

## Komponent

I Grasshopper är en komponent en del av de beståndsdelar som tillsammans utgör ett skript. Komponenten har in och utdata.

## Skript

Kod som likt ett recept innehåller flera komponenter och parametrar som tillsammans kan bilda en design.

## Parameter

Ett inmatat värde i en komponent som behövs för att styra komponenten och vad som händer i skriptet.

## Hårdgjord yta

Betecknar markytor som exempelvis är asfalterade, stenlagda eller grusade.

## Marköverbyggnad

De lager som ligger nedanför markmaterialet och ovanför terrass, innehållande förstärknings-, bär- och slitlager.

## Växtmaterial

Motsats till en hårdgjord yta. Kan vara en gräsmatta, ängsgräsmatta, planteringsyta.

## Perenner

Fleråriga örtartade växter.

A photograph of a park or waterfront area. In the foreground, there is a paved path leading towards a body of water. The path is flanked by lush greenery, including various trees and flowering plants like pink and white flowers. A person is sitting on a bench on the left side of the path, and another person is walking away in the distance. In the background, a yellow crane is visible, suggesting some construction or maintenance work. The sky is clear and blue.

# INLEDNING

Avsnittet introducerar uppsatsens bakgrund, syfte & mål, frågeställningar, avgränsning samt de material och metoder som valts för uppsatsen.

# Bakgrund

Klimatförändringar och den globala uppvärmningen har aldrig tidigare förändrats i den takt som de gör i dag, till följd av människan (UN, 2023). 2023 är det varmaste året som någonsin uppmäts, där globala temperaturer, växthusgasutsläpp och havsnivåhöjningen är rekordhög (FN, 2023). Den problematik som uppsatsen avser att undersöka grundar sig i de klimatförändringar som råder och det avtryck som bygg- och anläggningssektorn gör på klimatet. FN:s globala mål 11 och 13 strävar efter hållbara städer och samhällen samt att bekämpa klimatförändringarna (FN, u.å.). År 2020 stod bygg- och anläggningssektorn för ca 20% av Sveriges klimatutsläpp (Boverket, 2023 b), och bör därför sträva efter att förhålla sig till de globala målen och bygga mer hållbart.

Eftersom landskapsarkitektur är en del av bygg- och anläggningssektorn och bidrar till dessa utsläpp, är det av relevans att undersöka hur ett minskat klimatavtryck i disciplinen kan uppnås. Landskapsarkitekten ansvarar delvis för de miljöer som utformas, och det finns stora möjligheter att påverka de mängderna utsläpp som våra projekt orsakar genom sina materialval. Landskapsarkitektur är en disciplin inom sektorn som bidrar till koldioxidutsläpp, och är dessutom en disciplin som har möjlighet att klimatanpassa miljöer och utrusta staden till att hantera klimatförändringar. Vi besitter kompetens att kunna arbeta med både hårdgjorda ytmaterial och växtmaterial och kan kombinera de två.

Uppsatsen har tagit sin utgångspunkt i WSP's koncept "Klimatarkitektur" där arbetet undersökt hur avdelningen för landskapsarkitektur kan främja arbetet med klimatberäkning och främja ett klimatfokus i sina projekt. Utöver klimatförändringar

är även digitalisering en stor del av samhällsutvecklingen. Uppsatsen utforskar möjligheterna att utföra klimatberäkningar med hjälp av parametriska verktyg som Rhinoceros 3D (Rhino) och Grasshopper. Tillämpning av mjukvaror för parametrisk design vid klimatberäkning kan integrera kriterier och preferenser som mängder koldioxidutsläpp och maximalt tillåtet utsläpp vid utformning av en plats och generera alternativa designalternativ utifrån den inmatade informationen. Klimatberäkning i parametriska verktyg ger goda möjligheter till jämförelse av material i tidigt skede. Genom att landskapsarkitekten redan i designprocessen kan göra avvägningar mellan material och välja de med

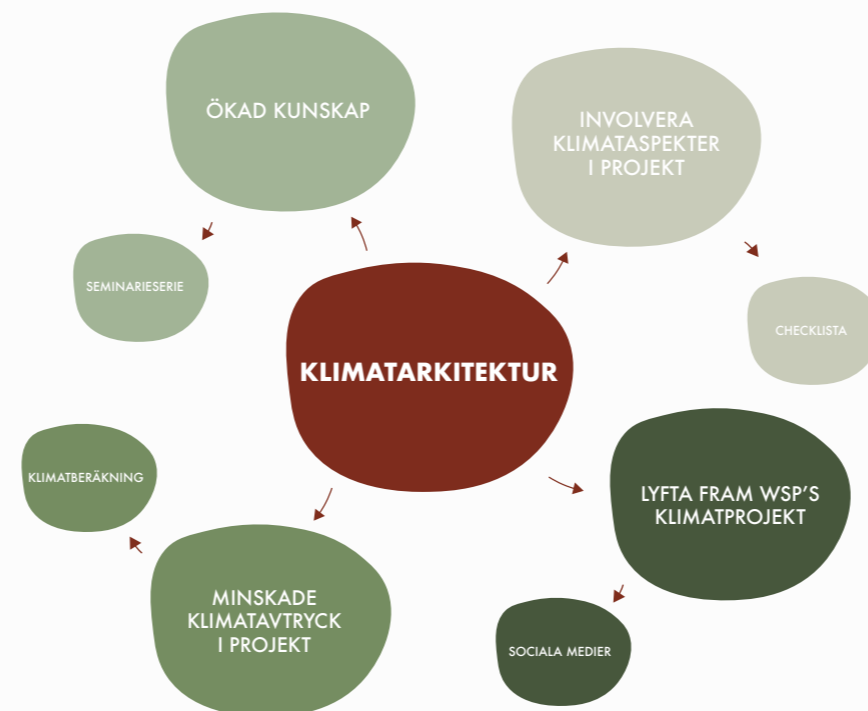
minst klimatutsläpp, undersöker uppsatsen om det går att minimera mängden utsläpp med hjälp av klimatberäkning.

Uppsatsen strävar efter att inte bara utforska dagens möjligheter för klimatberäkning, utan att utforska nya och innovativa verktyg för landskapsarkitekten att klimatberäkna i. I uppsatsen utforskades därför inte bara dagens möjligheter och arbetsmetoder för landskapsarkitekter, utan förbereder även landskapsarkitekten inför framtidens och morgondagens möjligheter inom landskapsarkitektur. Parametriska verktyg kanske kan vara ett sådant. Uppsatsen strävar efter att utforska befintli-

ga digitala verktyg för att effektivisera arbetet med klimatberäkning. En bransch- och användbarhetsstudie utförs genom enkäter till yrkesverksamma landskapsarkitekter och intervjuer av andra viktiga personer i teknikområden som berör projekt inom landskapsarkitektur.

I arbetet med uppsatsen har en materialdatabas utformats med de vanligast förekommande materialen som används i landskapsprojekt tillsammans med mängd för dess koldioxidutsläpp. Arbetet avgränsas till att klimatberäkna ett projekt inom landskapsarkitektur som ett stadsrum, torg, gaturum, park, trädgård eller ett grönområde.

## Konceptet Klimatarkitektur



Figur 1. Konceptet Klimatarkitektur och de projekt som ingår.

## WSP i klimatomställningen- Future Ready

WSP Sverige har antagit målet att halvera klimatpåverkan i sina uppdrag till 2030 och att vara Net Zero i verksamheten (WSP, 2021). Jag valde att utföra uppsatsen i samarbete med WSP eftersom avdelningen för landskapsarkitektur innehar kompetens, resurser och ett intresse för forskning inom bland annat digitalisering och klimat. Under min praktik på WSP fick jag möjlighet att arbeta med både 3D-modellering i parametriska verktyg och klimatberäkning vilket inspirerat skapandet av denna uppsats som en symbios av de två områdena. Några av de interna verktyg som WSP har utvecklat är klimatkalkyleringsverktygen Klimatdata Light, Carbonise, LCPro och Carbon Designer, som alla tillhör olika avdelningar och är anpassade efter deras specifika behov.



# Syfte & mål

Syftet med uppsatsen var att skapa förutsättningar för landskapsarkitekter på WSP att tillämpa klimatberäkning i sitt vardagliga arbete. Arbetet gjordes för att landskapsarkitekter på WSP i dag inte använder sig av klimatberäkning i sina projekt, och därmed inte är medvetna om mängden utsläpp som deras projekt genererar. Arbetet gjordes för att undersöka om klimatberäkningar kan öka landskapsarkitektens medvetenhet tidigt i processen, och vara en vägledning i designprocessen vid avvägning mellan olika material. Syftet var även att bidra till att minska det kunskapsglapp som finns mellan miljöplanerare och hållbarhetspecialister och landskapsarkitekter. Ytterligare ett syfte var att få en inblick kring tillämpbarheten av klimatberäkning inom de olika teknikområden som alla är en del av de projekt som landskapsarkitekter arbetar inom.

Målet med uppsatsen har varit att undersöka vilka möjligheter det finns för att utföra klimatberäkningar i Kajpromenaden med hjälp av Parametrisk design och verktygen Rhino och Grasshopper. Målet var även att utforska om klimatberäkning kan främja arbetet med klimatarkitektur på WSP och bidra till att landskapsarkitekter får en större inblick i vilka verktyg som kan hjälpa dem att minska koldioxidutsläppen i deras projekt. Målet var att utveckla en ny arbetsmetod för landskapsarkitekter på WSP som de kan tillämpa i olika skeden av sina projekt för att enklare ha en kontinuerlig inblick i de material de använder och deras klimatutsläpp. Målgruppen för arbetet riktade sig främst till landskapsarkitekter och landskapsarkitektstudenter men också till andra yrkesverksamma inom branschen som intresseras av klimatberäkning. Ytterligare en målgrupp var byggaktörer som uppsatsen

strävar efter att öka medvetenheten hos för att betona vikten av att bygga mer klimatsmart, denna kommunikation kan förenklas genom lättillgängliga och läsbara illustrationer.

Ett av målen med uppsatsen var att bidra till att landskapsarkitekter och beställare väljer mer klimatsmarta material vid projektering, och motiveras till att bevara träd i projekt i stället för att avverka och plantera nya. Målen var även att klimatberäkning ska kunna lyfta och ge en inblick i mängden koldioxid som ett befintligt träd kan lagra, hur mycket ett nytt träd kan lagra och hur mycket hårdgjorda ytmaterial kan släppa ut, och att dessa siffror ska kunna motivera byggaktörer till att antingen bevara eller plantera nya träd för att kompensera för sina utsläpp. Målet var också att undersöka vilka möjligheter och utmaningar som finns vid tillämpning av klimatberäkning.

# Frågeställningar

- Hur kan landskapsarkitekter arbeta med klimatberäkning i designprocessen, och vilka utmaningar innebär klimatberäkning inom landskapsarkitektur?

- Vad har Kajpromenaden för klimatpåverkan, och hur mycket av projektets koldioxidutsläpp går att minska genom klimatberäkning i parametriska verktyg?

# Avgränsning

Uppsatsen omfattade en livscykel på 50 år och avgränsade sig till att undersöka projektets klimatpåverkan i koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>e) utifrån GWP-värden. Klimatberäkningen utgick från den europeiska standarden EN15978 för livscykelanalys av byggnader. Uppsatsens omfattning avgränsade sig till att undersöka klimatpåverkan från material-ets produktionsskede som omfattar material och resurstillverkning samt transporter inom produktionen (A1-A3) (Boverket, 2019 a). Den bristande tillgängligheten av utsläppsdata från byggproduktionsskedet (A4-A5), som inkluderar transporten av produkten till byggplatsen och färdigställandet av anläggningen, gjorde att detta skede inte inkluderades i beräkningarna. Då landskapsarkitekten vanligtvis styr gestaltningen fram till upprättandet av bygghandlingarna, varefter dessa överlämnas till entreprenören, studerades inte övriga skeden av livscykelanalysen, inklusive byggproduktionsskedet och användningsskedet, i klimatberäkningarna för detta projekt.

Tillämpningsmetoden avgränsade sig också till att utföra tillämpningsmetoden och utforma arbetsmetoden i 3D-modelleringsverktyget Rhino och det parametriska tillägget Grasshopper för utförande av parametriska klimatberäkningar. Uppsatsen fokuserade även på att undersöka användningen och användbarheten av klimatberäkningar för landskapsarkitekter, leverantörer, miljöexperter samt beställare som inkluderar myndigheter, kommuner och entreprenörer.

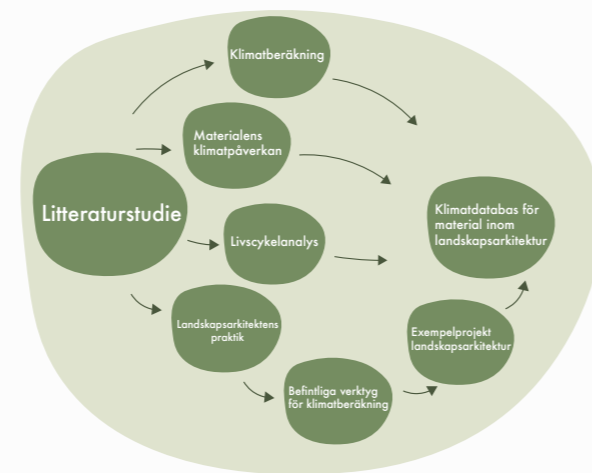
# Material & metod

De metoder som användes för uppsatsen var litteraturstudier, tillämpningsstudier och en bransch- och användbarhetsstudie. Bransch- och användbarhetsstudien utfördes genom intervjuer och enkäter som tillsammans utgjorde en analys i branschen. Tillämpningsmetoden innebar utformning av en materialdatabas, en 3D-modell av Kajpromenaden och ett skript som utförde klimatberäkningar av projektet. Arbetet med de olika metoderna utfördes parallellt under hela uppsatsskrivandet.

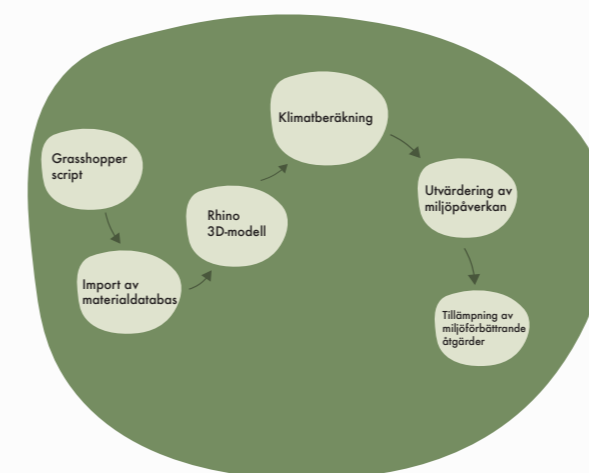
## Litteraturstudie

Mitt material var litteratur i form av artiklar som användes för att dels beskriva klimatberäkning och LCA (Livscykelanalyser), och för att undersöka vad det finns för digitala verktyg för klimatberäkning till landskapsarkitektens förfogande. Litteraturstudier utfördes för att undersöka klimatpåverkan av olika material i anläggningsprojekt, och en jämförelse mellan materialen från olika leverantörer och databaser gjordes för att därefter läggas in i en materialpyramid som visuellt kategoriserar material i intervaller utifrån deras koldioxidutsläpp. Det användes både svensk och internationell litteratur för informationssökandet, och litteraturen användes för att utforma en materialdatabas av de vanligast förekommande materialen inom landskapsarkitektur och deras klimatutsläpp.

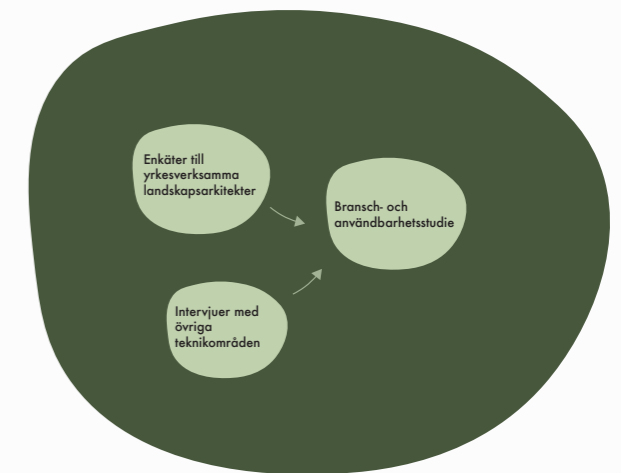
## Litteraturstudie



## Tillämpningsstudie



## Bransch- och användbarhetsstudie



Diskussion

Figur 2. Flödesschema över de metoder som användes i uppsatsen.

# Bransch- och användbarhetsstudie

Bransch- och användbarhetsstudien utfördes genom intervjuer och en enkätundersökning. Studien utfördes för att få en inblick i hela byggprocessen och en relevant och trovärdig kontext i arbetet. De gjordes med syfte för att undersöka användbarheten av klimatberäkning.

## Kvalitativ studie

Intervjuerna utfördes som semi-strukturerade intervjuer som utgick från förbestämda frågor och därefter hade möjlighet att leda till fria och intuitiva följdfrågor beroende på intervjupersonens svar på frågorna. Intervjuerna utfördes genom Microsoft Teams, och fördelarna med intervjuer genom videosamtal är att sociala signaler enklare uppfattas via videosamtal än om de hade utförts som telefon eller e-postintervju. Hallin & Helin beskriver att den ömsesidiga uppfattningen av sociala signaler bidrar till hur intervjun utvecklas och för hur intervjun fortlöper (Hallin & Helin, 2018).

Intervjupersonerna var:

- Myndighet- Kristina Einarsson, Boverket
- Beställare- Alfred Nerhagen, Helsingborgs stad
- Entreprenör- Alma Bokenstrand, Skanska
- Projektör- Nicholas Gulick, WSP
- Leverantör - Gustav Stål och Carolina Carlsson, Essunga plantskola

För att förstå de sammanhang som projekt inom landskapsarkitektur inrymmer, var intervjupersonerna yrkesverksamma från olika teknikområden inom bygg- och anläggningssektorn. Intervjuer med dessa personer bidrar med andra perspektiv och infallsvinklar på klimatberäkning som landskapsarkitekter kanske inte har i åtanke vid utförande av beräkningar. Intervjupersonerna arbetade vid en myndighet, som beställare, entreprenör, leverantör, och projektör, som alla har en inverkan i projekt inom landskapsarkitektur. Intervjuerna dokumenterades genom att de spelades in för att ljudfilen därefter skulle transkriberas i Microsoft Word.

Transkriberingen bearbetades därefter ytterligare för att finna de olika teman som diskuterats.

Intervjuerna sammanställdes för att sedan integreras i en textanalys genom koppling och jämförelse mellan litteraturen, intervjuer, enkäter och egna erfarenheter från tillämpningsmetoden. Intervjuerna analyserades därefter genom en narrativ textanalys som syftar till att återberätta intervjupersonernas berättelser och återge deras syn på tillämpning av klimatberäkning. Analysen utgick från personernas egna erfarenheter och kunskaper kring livscykelanalyser, verktyg och klimatberäkning (Kvale & Brinkmann, 2014). Den narrativa strategin hjälper också att finna gemensamma mönster mellan intervjupersonerna, men också olikheterna i deras berättelser kring ämnet (Hallin & Helin, 2018).

## Kvantitativ studie

Syftet med enkäterna var att ta reda på om yrkesverksamma landskapsarkitekter i Sverige använder sig av 3D verktyg eller klimatberäkning i sitt vardagliga arbete. Detta för att få en inblick i hur branschen och dagens landskapsarkitekter arbetar, och för att undersöka om de använder sig av de verktyg som finns till deras förfogande. För att undersöka branschens attityd till verktygen frågades även om de skulle vara intresserade av att arbeta med klimatberäkning i 3D program.

Enkätformulären utformades som digitala enkäter och det urval som gjordes för enkäterna var ett systematiskt urval (Hagevi & Viscovi, 2016) genomfördes genom ett utskick till yrkesverksamma landskapsarkitekter på olika kontor runt om i Sverige via e-post, besvarades genom Google forms formulär. En sökning gjordes utifrån arbetsgivare för landskapsarkitekter och de yrkesverksamma landskapsarkitekternas kontaktuppgifter inhämtades från respektive arbetsgivares hemsida där e-postadress för medarbetare var tillgängligt. Enkäten skickades i ett e-postmeddelande tillsammans med en kort beskrivning om uppsatsen med en länk till Google forms enkäten. Enkäterna skickades i två utskick där mottagare som redan besvarat enkäten sällades ut för att undvika påminnelse.

Totalt skickades enkäten ut till ca 650 landskapsarkitekter som arbetar på White arkitekter, Nivå Landskapsarkitektur, Karavan Landskap, Topia Landskapsarkitekter, Mareld Landskap, Outer Space Arkitekter, Land Arkitektur, AJ- Landskap, Edge, Sydväst arkitektur och landskap, Fojab, Nyrens, PE Teknik och & Arkitektur, Tyrens, Urbio, Tengbom,

Funkia, Landskapslaget, C.F. Møller, LINK Arkitektur, Disorder, O2Landskap, Wingårdhs, ÅWL arkitekter, Kod arkitekter, Liljewall arkitekter, Ekologigruppen, Ettelva Arkitekter, Kragh Berglund, Cedervall arkitekter, Radar arkitektur och planering, Bjerking, Wi landskap, Arkitema, DCL.13 arkitekter och ingenjörer, Arkitekterna Krook & Tjäder och WSP.

Företag som Sweco, Ramboll, Norconsult och Afry kontaktades genom sektionschef eller medarbetare som vidarebefordrade enkäter till deras landskapsarkitekter. Myndigheter som Boverket och Trafikverket kontaktades via chef eller medarbetare som efterfrågades att vidarebefordra enkäten till landskapsarkitekter.

Enkäten besvarades av 219 respondenter vilket innebär en svarsfrekvens på 33,7% och ett bortfall på 431 personer. Hagevi & Viscovi (2016) menar att en viktig aspekt i enkätstudier är att redovisa antalet svarande av enkäterna, eftersom ett stort bortfall kan innebära att svarspersonernas representativitet med den undersökta populationen minskar. De beskriver att intresse och skepticism är aspekter som påverkar människors benägenhet att svara på enkäter. De lyfter också att ett bortfall kan bero på säkerhetsaspekter och tillit, och att digitala enkäter kan hamna i mottagarens skräppost.

I majoriteten av enkätfrågorna valdes fasta svarsmöjligheter vilket enligt Hagevi & Viscovi (2016) innebär en möjlig informationsbrist i resultatet och menar att öppna svarsalternativ kan vara ett alternativ för respondenter att kommentera sina val.

# Tillvägagångssätt i enkätstudie

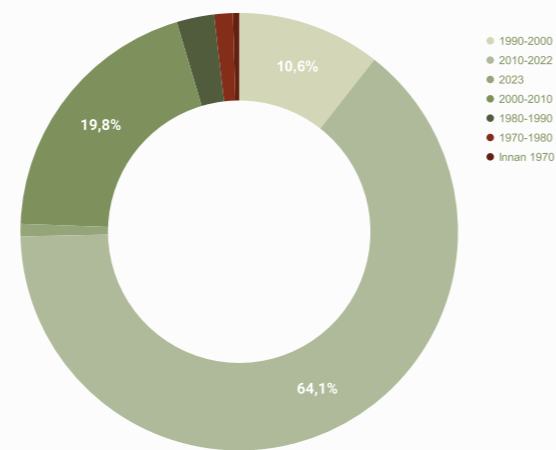
## Respondenternas profil

### Yrkesverksamma landskapsarkitekter

Det var totalt 219 landskapsarkitekter som besvarade enkäten vilket gav en svarsfrekvens på ca 33,7% av ca 650 utskickade. 14 landskapsarkitekter skickade in ytterligare reflektioner och kommentarer via mejl där de berättade sina upplevelser och erfarenheter kring frågorna. Majoriteten av de landskapsarkitekter som deltog i enkätstudien är utexaminerade under senaste 22 åren och arbetar till störst del i Stockholm följt av Göteborg, Malmö och Uppsala. Det finns ett stort bortfall bland de som utexaminerats mellan 1970 och 1990 (totalt 5,1% av respondenterna). Detta bortfall inkluderar troligtvis seniora landskapsarkitekter vilket är viktigt att ha i åtanke.

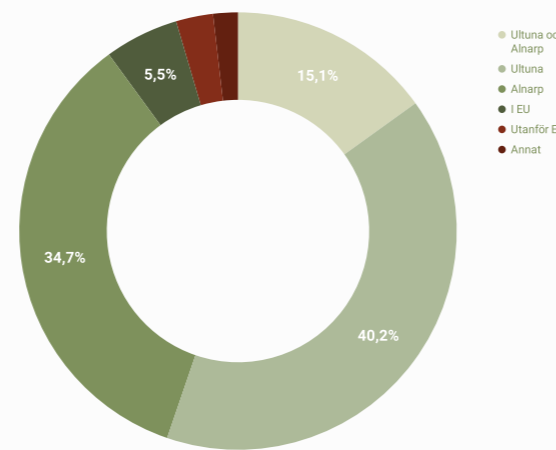
En tydlig majoritet av respondenterna arbetar inom privat sektor och är projekterande landskapsarkitekter och därför representerar enkäten till störst del dem. Enkäten skickades inte till landskapsarkitekter som arbetar på kommun och därför representeras inte de landskapsarkitekter som arbetar som beställare inom kommun eller med undervisning på universitet i enkätstudien. Eftersom svarsfrekvensen var låg från landskapsarkitekter på myndigheter är de inte heller representerade. Enkätens syftade till att bilda en uppfattning av den faktiska användningen av 3D-modelleringsverktyg och klimatberäkning bland yrkesverksamma landskapsarkitekter. De syftade även till att undersöka om branschen är utrustad för tillämpning av klimatberäkning i 3D-modelleringsverktyg i dag. Genom enkätstudien skapades en uppfattning om mottagligheten i branschen och förankrade uppsatsens frågeställning i den verklighet och bransch som den tillämpas inom.

## Vilket år tog du din landskapsarkitektexamen?



De flesta deltagarna var utexaminerade mellan 2000-2022 med en tydlig majoritet mellan 2010-2022.

## Var studerade du landskapsarkitektur?

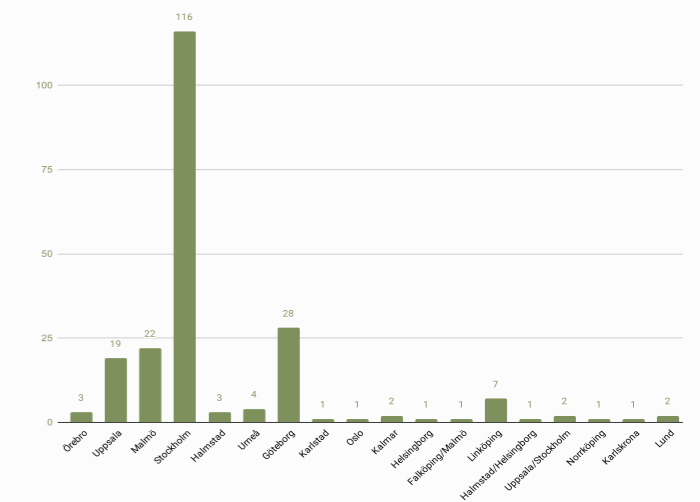


De flesta har utfört sina studier i Alnarp eller Ultuna eller vid båda huvudorterna.

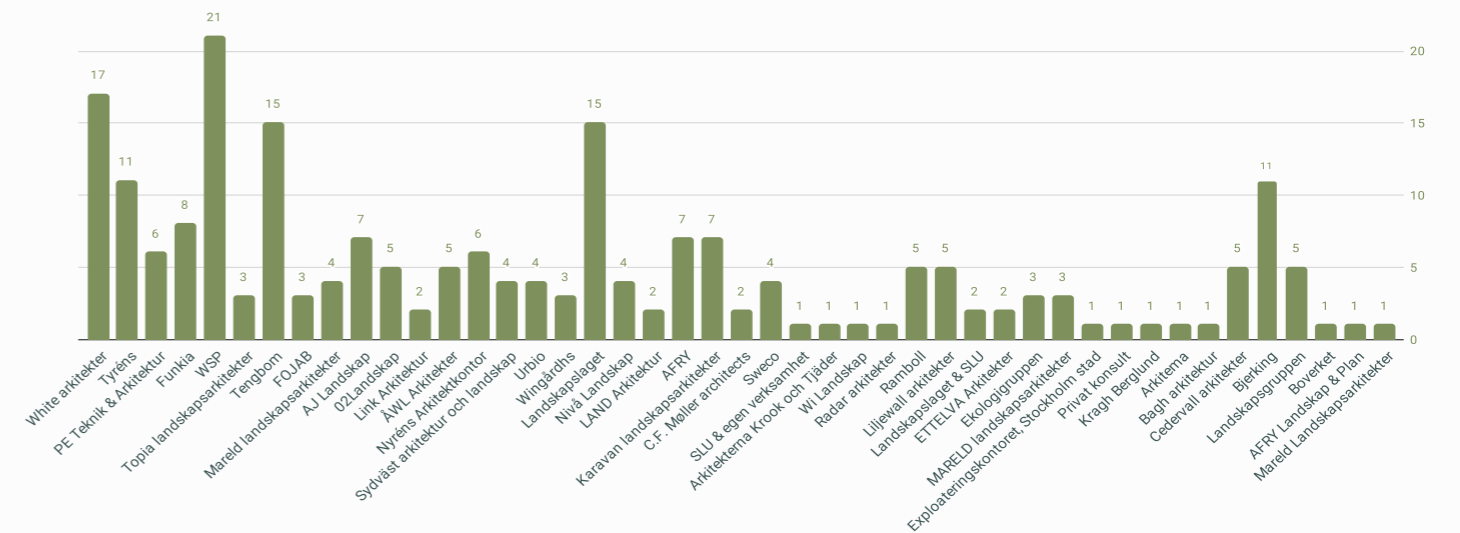
## Vilken är din nuvarande arbetsplats?

Enkäten skickades ut till ca 47 företag eller myndigheter runt om i Sverige. De deltagande i enkäten jobbar på 45 olika arbetsplatser runt om i landet. Majoriteten av deltagarna i enkäten arbetar inom privat sektor, och högst svarsfrekvens var från större företag som WSP, White arkitekter, Landskapslaget, Tengbom och Bjerking. Variationen av arbetsplatser ger en bred inblick av arbetsprocesser på olika kontor. Svarsfrekvensen uppgår från en respondent från respektive arbetsplats till 21 personer.

## I vilken stad arbetar du?



De yrkesverksamma landskapsarkitekter som deltagit i enkätstudien arbetar till störst del i Stockholm (53,7%) följt av Göteborg (12,9%), Malmö (10,1%) och Uppsala (8,7%), men även i mindre städer.



Respondenternas arbetsplatser.

# Tillämpningsstudie

Arbetsmetoden och skriptet som användes för klimatberäkning i Rhino och Grasshopper utformades tillsammans med landskapsarkitekten Nicholas Gullick som var uppsatsens externa handledare på WSP. Nicholas Gullick hade huvudsakligt ansvar för skriptet och utformade koden i Grasshopper som utgick från Excel materialdatabasen och tillämpades i en 3D-modell av Kajpromenaden.

Arbetsmetoden utvecklades och finslipades under arbetsprocessens gång. Den formulerades och testades genom kontinuerliga dialoger och diskussioner som omfattade användbarhet för nybörjare i verktyget, visuell kommunikation, processens effektivitet samt implementeringen och tillämpningen av arbetsmetoden inom landskapsarkitektens iterativa gestaltungsprocess.

De klimatberäkningar som utfördes i projektet byggde vidare på materialdatabasen och utfördes genom att utsnittet Kajpromenaden 3D-modellerades i Rhinoceros och materialdatabasen importerades i Grasshopper skriptet för att sedan appliceras i 3D-modellen för utförande av klimatberäkningar av projektet. Utformningen av 3D-modellen utgick från CAD-ritningar av Kajpromenaden som ritades tredimensionellt i Rhino.

3D-modellen utformades utifrån de material och mängder som var föreskrivna i projektets AMA-koder i projektets tekniska beskrivning. I Grasshopper utformades ett skript som importerade materialdatabasens Excel dokument och översatte materialen till lager i Rhino som gick att applicera på respektive ytskikt i modellen för att beräkna ytornas och produkternas mängder koldioxidutsläpp. Verktyget inhämtade information från materialdatabasen om

de respektive markmaterialens tjocklek och byggde automatiskt ut volymen utifrån ytornas area i Rhino. I 3D-modellen färgkodades ytorna utifrån det koldioxidutsläpp som respektive material släpper ut i kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Ytor färgade i röd släppte ut mest och gröna ytor minst (se figur 38 på s. 64). Färgkodningen i Grasshopper skriptet innehöll 6 intervaller med olika omfång som materialen applicerades inom. Lägsta och högsta tillåtna mängder utsläpp inom varje utsläpp selekterades utifrån materialpyramiden. Materialpyramiden kategoriserade materialen inom intervallen (-)0-1, 1-10, 10-100, 100-1000, 1000- 10 000, 10 000-> kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>.

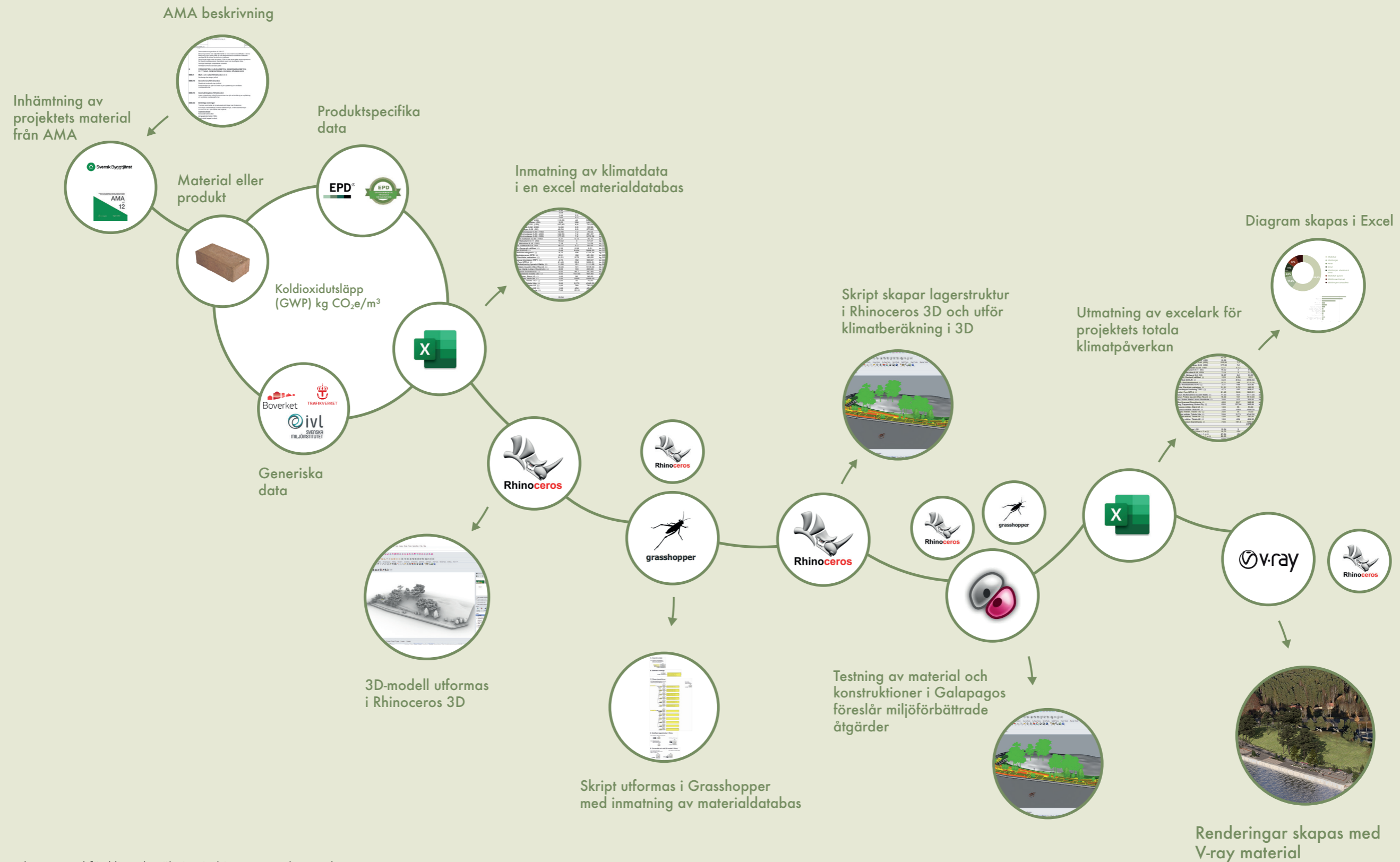
Efter konstaterande av den totala mängden koldioxidutsläpp vidareutvecklades skriptet för att utforska alternativa lösningar för resultatet av de genererade mängderna koldioxidutsläpp baserat på 3D-modellen. Vidareutvecklingen syftade till att testa hur projektets koldioxidutsläpp skulle kunna minska genom att testa alternativa former och material för olika element inom modellen. Vid skapande av renderingar av 3D-modellen applicerades foton av olika material samt V-ray material på ytor och objekt, samt 3D objekt av vegetation för att skapa fotorealistiska renderingar av projektet.

Det skede som Kajpromenaden beräknades i var bygghandlingsskede då material och leverantör var föreskrivet för somliga produkter men i övrigt upp till entreprenör att välja eftersom projektet genomfördes i offentlig upphandling. Därefter föreslog uppsatsen alternativa leverantörer av likvärdiga material för att visa på ett mer klimatsmart förslag av samma projekt. Arbetsmetoden för klimatberäkning i Rhino och Grasshopper (se figur 3 på s 16) syftade till att kunna användas i tidigare skeden av

designprocessen, då material och mängder inte var föreskrivna. I tidigare skeden av designprocessen används främst generiska data som kan inhämtas från exempelvis Boverkets klimatdatabas och Trafikverkets Klimatkalkyl. Klimatberäkningen innehöll i största möjliga grad produktspecifika data utifrån de föreskrivna materialen. De material vars klimatpåverkan som undersöktes i studien var byggdelar selekterade enligt AMA-beskrivningen. AMA är en förkortning för Allmän Material- och Arbetsbeskrivning och fungerar som en standardreferens i byggsektorn i Sverige. Den används vid skapandet av projektbeskrivningar och utförande av byggprojekt, vilket säkerställer enhetlighet och kvalitet genom att definiera material, arbetsmetoder och specifikationer (Svensk Byggtjänst, u.å.).

Data om miljöpåverkan (GWP- värde) inhämtades i första hand från EPD:er och i de fall som det inte funnits produktspecifika data inhämtades generiska data från Trafikverket, Boverket, Svenska Miljöinstitutets verktyg BM (Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg) och Climate Positive Designs verktyg Pathfinder. Specifika data för vegetation inhämtades från Pathfinder och jämfördes med en forskningsstudie från Lind et al. (2023) för trädens kollagring.

# Tillämpningsstudie för klimatberäkning



Figur 3. Arbetsmetod för klimatberäkning i RhinoCeros och Grasshopper.





# LANDSKAPET OCH KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Avsnittet introducerar landskapets definition, människans påverkan och klimatförändringar. Det ges en inblick i landskapsarkitekturens sammanhang och bygg- och anläggningssektorns processer.

# Människan och landskapet

I landskapskonventionen definierar Europarådet landskap som "ett område sådant som det uppfattas av människor och vars karaktär är resultatet av påverkan av och samspel mellan naturliga och/eller mänskliga faktorer" (Riksantikvarieämbetet, 2022). Denna definition understryker landskapet som ett flytande förhållande mellan människa och naturen vars storlek och form inte begränsas av marklinjer utan som en helhet av allt som händer mellan människan och sin omgivning. Nikologianni och Albans beskriver att förståelsen av att landskapet på jorden inte begränsas med städer, landsgränser, eller hav, lyfter vikten av att förstå den inverkan som kolet har på jordens helhet (Nikologianni & Albans, 2023).

De definierar landskapet som en komplex kombination av markanvändning, typologier, system och kulturella interaktioner där allt är sammanhängande. De menar att människan i alla tider interagerat med sin omgivning och förändrat markanvändning av olika anledningar som jordbruk, bosättning, infrastruktur och som symboler för religion, makt och rikedom. Författarna understryker att landskapet är en fysisk reflektion av människans idéer om landskapet, och att en syn på landskapet som relationellt kan utveckla förståelsen för mänsklighetens hantering av miljön som en mänsklig interaktion utifrån samtidens värderingar och prioriteringar. Beroende på vad människan har valt att göra med landskapet har vi fattat beslut som orsakat både utsläpp, inbäddning och lagring av koldioxid (Nikologianni & Albans, 2023).

# Klimatförändringar

Mänsklig påverkan på klimatförändringar är en av vår tids största utmaningar. Miljöförstöring har på ett globalt plan lett till ökade havsnivåer, extremväder och glaciärer som smälter. I dag krävs det drastiska åtgärder för att förhindra större katastrofer i framtiden (UN, 2023). Den globala uppvärmningen har ökat och i dag i snabbare takt än någonsin till följd av människans aktivitet och utsläpp av växthusgaser, ett resultat av bland annat ohållbar energianvändning, markanvändning och förändrad markanvändning (IPCC, 2023). Växthusgaser är de gaser som bidrar till att atmosfären kan värma jordytan och när de mängderna av gas ökat har det orsakat en ökad växthuseffekt och varmt upp jordens klimat. Den gas som orsakat de största nuvarande förändringarna är koldioxidutsläppen (Naturvårdsverket, 2022).

Under jordens hela existens har klimatet förändrats, och genomgått både istider samt varmare tider. Vad som utmärker dagens klimatförändringar är den takt som förändringarna sker i, som har pågått sedan industrialiseringen. Under industrialiseringen på 1700–1800-talet började människor använda fossila bränslen, vilket ökat de människoskapade koldioxidutsläppen från noll till ungefär 40 miljarder ton koldioxidutsläpp årligen sedan dess. Redan i slutet av 1800-talet beskrev den svenske kemisten och fysikern Svante Arrhenius sambandet mellan att ökad mängd koldioxid i atmosfären leder till ökade temperaturer på jorden, eller växthuseffekten (Naturskyddsföreningen, 2022).

I dag står Kina för de största mängderna koldioxidutsläpp globalt följt av USA, medan utsläppen från EU:s medlemsländer står för ca 6 % av de totala växthusutsläppen globalt (Naturvårdsverket, u. å.

c). Globalt är den största orsaken till de förhöjda koldioxidutsläppen förbränning av fossila bränslen, och i Sverige beror de största utsläppen på industri-sektorn (Naturvårdsverket, 2022).

Sveriges riksdag beslutade år 2017 om långsiktiga klimatmål i form av en klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd, som en del av att ha förbundit sig till Parisavtalet och därmed ett bidrag till att hålla de globala växthusutsläppen under 1,5 grader. Detta gjordes även med en strävan mot att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären och uppnå ett klimatneutralt Sverige senast år 2045, för att därefter binda mer växthusgaser än de som släpps ut (Naturvårdsverket, 2023 a).

# Bygg- och anläggningssektorns klimatpåverkan

År 2020 stod bygg- och anläggningssektorn för ca 20% av Sveriges totala koldioxidutsläpp, växthusgaser motsvarande totalt 9,8 miljoner ton koldioxidequivaler, en siffra som minskat mellan åren 1993-2020 (Boverket, 2023 b). I dag befinner Sverige sig på en nivå av byggande som inte varit så hög i landet sedan miljonprogrammets uppförande, och samtidigt behöver bygg- och anläggningssektorn som många branscher ställa om och förhålla sig till målen att bli klimatpositiva fram tills 2045, vilket innebär en utmanande omställning (Naturvårdsverket, u.å. b).

För att uppnå detta mål har bygg- och anläggningssektorn upprättat en gemensam färdplan som successivt ska leda till nettonollutsläpp fram tills 2045. Åtgärder i färdplanen uppmanar bland annat till att öka kompetensen kring vilka möjligheter det finns till att minska klimatpåverkan i hela plan- och byggprocessen, och att se över klimatpåverkan tidigt i processen. Det uppmanas även till arkitekter och konsulter att i tidiga skeden föreskriva lösningar med låg klimatpåverkan och välja material med ett perspektiv på hela livscykeln, exempelvis genom att återbruka material (Fossilfritt Sverige, 2018).

Första januari 2022 trädde januariavtalet i kraft vilket lagstiftade krav på redovisning av klimatdeklaration vid uppförande av byggnader, och ett viktigt verktyg för detta är livscykelanalyser som redovisar projektens utsläpp från början till slut (Naturvårdsverket, u.å. b).

Föreningen Klimatkommunerna består av 40 kommuner och regioner i Sverige som samverkar med ett gemensamt mål att minska växthusgasernas utsläpp i Sverige. Genom att byta erfarenheter och

inspireras av varandras goda exempel sprider de klimatarbetet i kommunerna och hjälper att minska varandras utsläpp (Klimatkommunerna, u. å. a). Klimatkommunerna har dels varit bidragande till bygg- och anläggningssektorns färdplan, och strävar efter främjat arbete med återbruk och cirkulära flöden (Klimatkommunerna, u. å. b). Medlemskommunerna ställer krav för minskning av växthusgaser, och tilldelar märken för olika uppnådda klimatmål inom olika sektorer i kommunen. Märket om byggmaterial visar vilka kommuner som ställer krav på materialval och användande av livscykelanalys vid ny- och ombyggnad, vilket är 36 av 40 medlemskommuner (Klimatkommunerna, u. å. c). Helsingborgs stad är en av de klimatkommuner som ställer klimatkrav i upphandling där den aktör som haft lägst klimatpåverkan får en fördel i anbudet. Enligt Helsingborgshem som varit beställare i dessa upphandlingar har några vinnande aktörer både haft lägst klimatpåverkan och lägst kostnad (Klimatkommunerna, u. å. d).

# Bygg- och anläggningssektorns organisation

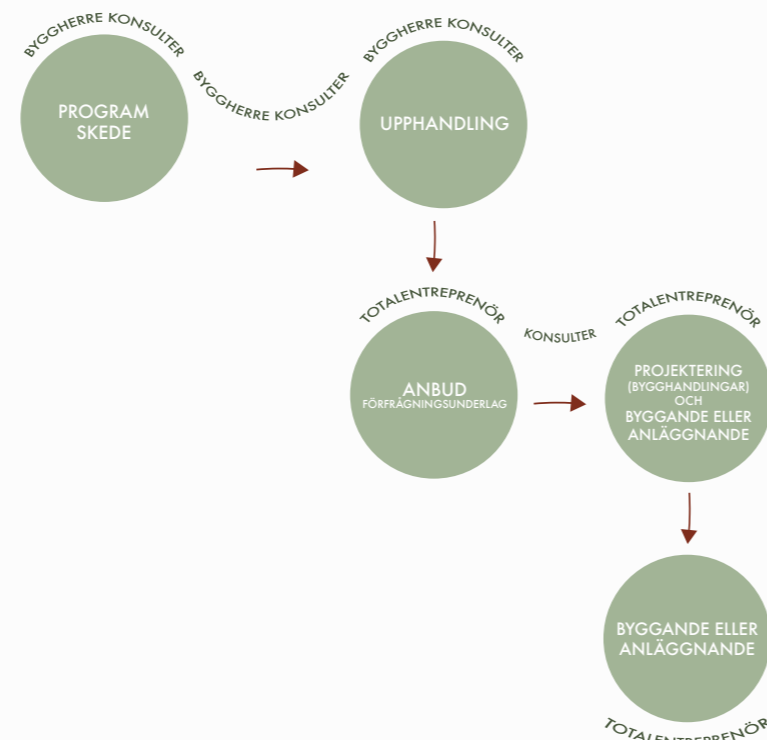
Kommuner och stat är vanligt förekommande beställare i projekt inom landskapsarkitektur, men de kan också vara privata fastighetsägare. Om beställaren är stat eller kommun gäller lagen om offentlig upphandling (LOU), som är en lagreglerad inköpsprocess som gäller för att de inköp som sker inom offentlig sektor ska möjliggöra kvalitet och konkurrens som därmed effektiviserar användningen av de offentliga medlen (Konkurrensverket, 2023).

Nordstrand (2008) beskriver att projekt inom bygg- och anläggningssektorn genomgår många processer och kan organiseras på olika sätt. Beställaren som också kan kallas för byggherre är projektets uppdragsgivare och kan välja projektledare genom olika entreprenadformer. De vanligast förekommande entreprenadformerna är utförandeentreprenad och totalentreprenad. I en utförandeentreprenad anlitar beställaren en egen vald projektledare, där projektets inledande skeden och projektering utförs genom anlitade projektörer som utformar fullständiga bygghandlingar åt beställaren. En projektör är en konsult som kan vara allt från en landskapsarkitekt till en markkonsult eller el-konstruktör. I denna form upphandlas det faktiska byggandet av ytterligare entreprenörer som uppför byggprojektet utifrån de ritningar och beskrivningar som skapats vid projekteringen. Den eller de entreprenörer som ansvarar för upprättande av bygget har ett utförandeansvar att strikt följa de ritningar och beskrivningar som konsulten utarbetat.

I en totalentreprenad låter beställaren upprätta ett förfrågningsunderlag med funktionskrav. Därefter upphandlas en entreprenör fram som åtar sig att utföra projektets projektering samt i bygg- och anläggningsskede. Vid en totalentreprenad gäller ett

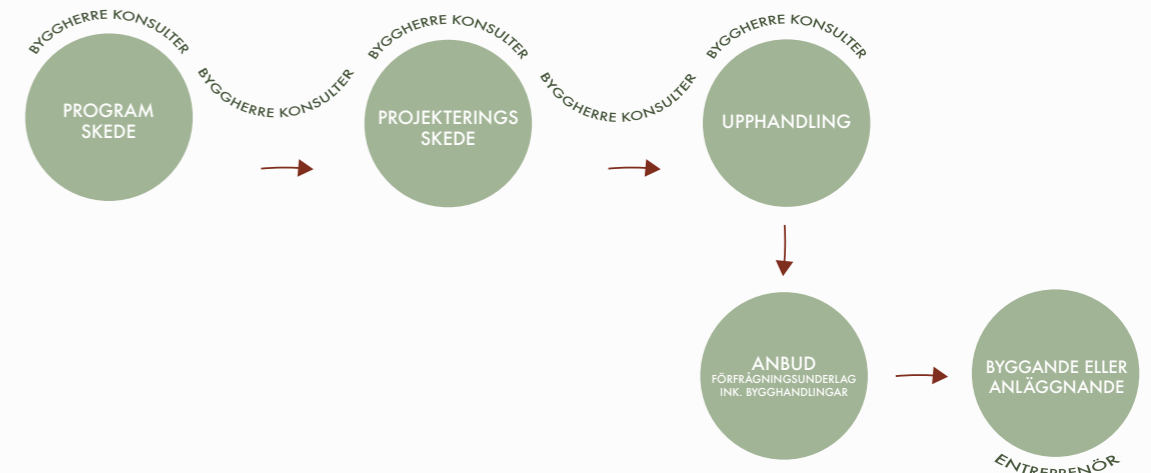
funktionsansvar i stället för utförandeansvar, vilket innebär ett krav på att byggnadsverket ska fungera vid användning och verka utifrån de krav som upprättats för projektet. Vanligen utförs valet av entreprenör genom att entreprenörer lämnar anbud på att utföra projektet till beställaren, vilket innebär att upphandlingen sker genom konkurrens, men upphandlingen kan också ske genom förhandling eller beställas direkt av entreprenör (Nordstrand, 2008).

## Byggprocessen vid totalentreprenad



Figur 4. Byggprocessen vid totalentreprenad.

## Byggprocessen vid utförandeentreprenad



Figur 5. Byggprocessen vid utförandeentreprenad.

# Konventionella metoder för minskad klimatpåverkan

Konventionella metoder för kommuner att minimera klimatpåverkan för projekt inom anläggning har tidigare varit genom att bland annat reglera markanvisningsavtal. Markanvisningsavtal är ett sätt för kommunen att reglera med vilka villkor någonting får byggas, däribland hållbarhetskrav (Boverket, 2022 b). I markanvisningsavtal kan en kommun ställa krav på exempelvis beräkning av grönytefaktor (GYF) eller krav på miljöbedömning av materialens hälsoperspektiv (Stockholms stad, 2023).

GYF är en beräkningsmetod med syfte att mäta och garantera mängden grönyta i ett område. Metoden utvecklades av Malmö stad och har därefter utvecklats till olika modeller inom olika kommuner. Malmö, Stockholm och Göteborg är tre städer med egna modeller som fokuserar på olika saker, och variationen i metoderna innebär ej likvärdiga beräkningar kommuner emellan (Boverket, 2021).

Ytterligare metoder för minskad klimatpåverkan i projekt är det internationella bedömningssystemet LEED som används för miljömärkning av byggnader och livscykelanalyser, samt BREEAM för miljömärkning av mark, anläggningar, infrastruktur, landskapsutformning och offentliga miljöer (Sweden Green Building Council, 2023 b).

# Landskapsarkitektens nya yrkesroll

Moosavi et al. (2022) beskriver en syn på projekt inom landskapsarkitektur som tidigare har setts som koldioxidneutrala eller till och med klimatpositiva. Detta perspektiv har sannolikt lett till en bristande medvetenhet om de klimatutsläpp som faktiskt genereras av landskapsarkitekturen. Författarna argumenterar för att om landskapsarkitekter vill tackla klimatförändringar måste de omforma de befintliga tillvägagångssätten för planering av landskap. Författarna framhäver att landskapsarkitekter bör integrera livscykelanalyser i sina projekt och beakta de mängder koldioxidutsläpp som genereras av deras designbeslut och utformning. Detta innebär att inte bara titta på själva byggprocessen utan också på materialval, underhåll och hur landskapet används över tid. Genom att göra detta kan landskapsarkitekter bidra till att minska de negativa klimatpåverkningar som deras projekt kan ha och arbeta mot en mer hållbar och klimatsmart landskapsplanering (Moosavi et al, 2022).

Klimatförändringarna har skapat behov för landskapsarkitekter att arbeta med nya verktyg och utmaningar. Intresseorganisationen Sveriges Arkitekter beskriver att det i dag förväntas av arkitekter att erbjuda klimatberäkning i projekt, vilket ställer högre krav på arkitekter för att hålla sig relevanta och behålla sin position på marknaden. Sveriges Arkitekter har tagit fram en guide i form av en handlingsplan som beskriver hur arkitekter kan använda sig av klimatberäkning i sitt vardagliga arbete. De beskriver att en klimatberäkning utförd av en arkitekt redan i designprocessen bidrar till en mer arkitektonisk helhetssyn i projektet, och att klimatproblemen kan hanteras i tidigare skeden. De föreslår arbetsmetoder för hur arkitekter kan involvera klimatbesparande åtgärder i arbetet, som att

inledningsvis i projekten utreda byggnadsverkets klimatpåverkan och initiera arbete med klimatberäkning (Sveriges Arkitekter, u.å.)

I programskede beskriver de sedan möjligheter att utforska återbruksmöjligheter och återanvändning samt att utveckla den pågående klimatkalkylen. I projektering, anbud och byggskede föreslås samråd med konstruktör om klimatförbättrade lösningar samt att slutföra klimatberäkningen. Sveriges Arkitekter understryker att klimatexpertis borde involveras i alla skeden av ett projekt och att företagen bör ge resurser för anställda arkitekter att lära sig tillämpa beräkningsverktyg. De beskriver även att arkitekten har befogenhet att med sin expertis upprätta mål och föreslå egna ambitioner för projektets klimatpåverkan, vilket kan verka som rådgivning till byggaktören (Sveriges Arkitekter, u.å.)

Ackerman et al. (2019) understryker att klimatförändringarna innebär utmaningar för landskapsarkitekter, även om deras disciplin historiskt sett inte har inriktats på specifik design för klimatförändringar, såsom klimatanpassning eller klimatberäkning. De hävdar dock att landskapsarkitekter redan besitter de nödvändiga färdigheterna för att hantera dessa utmaningar. Ackerman et al. menar att det i dag hör till landskapsarkitekters uppgift att skapa miljöer som kan mildra effekterna av de klimatförändringar vi står inför. Författarna anser att landskapsarkitektens främsta arbetsmetod är projektering i CAD, och beskriver vidare en nödvändig förändring i landskapsarkitektens arbetsflöde som redan släpar efter i användning av 3D-modelleringsprogram och som kommer att behöva digitaliseras alltmer för att hantera komplexa klimatförändringsscenarier. Enligt Ackerman et al. behöver

landskapsarkitekten tillämpa fler digitala verktyg i kombination med vetenskapliga klimatdata för att testa de miljöer som utformas (Ackerman et al., 2019).

An aerial photograph of a modern park. The central feature is a rectangular gravel bowling green with a wooden border. Several people are on the green: one person is using a walker, and two others are standing. To the right, there are two wooden benches with tables, one of which has a person sitting on it. The park is landscaped with various plants, including tall grasses, purple flowers, and trees. The background shows a grassy slope with more trees.

# LIVSCYKELANALYS

I det här avsnittet ges en introduktion till begreppet livscykelanalys och hur det kan användas inom landskapsarkitektur. Avsnittet redogör för bristen på standarder inom landskapsarkitektur, klimatdata och användning av data i klimatberäkningar.



# Begreppet livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) betecknar life-cycle assessment som är en metod för livscykelanalys utformad för att mäta en byggnads miljöpåverkan under olika skeden av dess livstid, från råvaruutvinning, tillverkning, användning, avfallshantering till transport och energiförbrukning under processens olika skeden. Utifrån den europeiska standarden EN15978 för livscykelanalys av byggnader delas de olika skedena av livscykeln in i produktionskedet (A1-3), byggproduktionskedet (A4-5), användarskedet (B-7) och slutskedet (C1-4-D). Produktionskedet inkluderar alla skeden i tillverkningen av en produkt som ska användas i byggnadsverket, från råvaruutvinning, transport, förädling, till att produkten tillverkas. Byggproduktionskedet omfattar transporten av produkten till byggplatsen och färdigställandet av byggnadsverket. Användarskedet innebär förvaltning av byggnadsverket, så som användning, underhåll, reparationer och drift. Slutskedet är då byggnaden ska avverkas och de processer som krävs för att riva, frakta, återvinna alla delar (Boverket, 2019 a).

## LCA standarder

För att uppnå transparens, enhetlighet och trovärdighet av miljödata vid utformning av livscykelanalyser är det viktigt att det finns standarder (Boverket, 2019 c). Livscykelanalyser finns sedan 1997 standardiserat genom ISO, då internationella organisationen för standardisering antog en internationell miljöledningsstandard för företag att använda vid effektivisering av livscykelanalyser för byggnader. 2006 släpptes den senaste ISO-standard som beskriver de fyra delarna i processen (Sveriges lantbruksuniversitet, 2022). ISO är en internationell standard och EN är en

europeisk standard för livscykelanalyser av byggnader där EN 15978 är en vanligt förekommande standard (Boverket, 2019 c). LEED är ett internationellt bedömningsystem för miljömärkning av byggnader och för genomförande av livscykelanalyser som är utvecklat av U.S. Green Building Council (Sweden Green Building Council, 2023 a). BREEAM är ett system för miljömärkning av mark, anläggningar, infrastruktur, landskapsutformning och offentliga miljöer där Sweden Green Building Council hanterar den svenska versionen av systemet (Sweden Green Building Council, 2023 b).

A BYGG-SKEDE					B ANVÄNDNINGSSKEDE							C SLUTSKEDE			
A1-3: PRODUKT SKEDE			A4-5: BYGG-PRODUKTIONS SKEDE												
Råvaruförsörjning	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installationsprocessen	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnad	Driftenergi	Driftens vattenanvändning	Demontering, rivning	Transport	Resproduktshantering	Bortskaffning
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4

Figur 6. LCA skeden utifrån den europeiska standarden EN15978 för livscykelanalys av byggnader.

# LCA inom landskapsarkitektur

## Brist på standarder

Enligt Kuittinen et al. (2021) är LCA-verktyg för landskapsarkitektur otillräckliga och saknar specifika standarder, och beskriver landskapsarkitekturen som eftersatt jämfört med hårdgjorda material och byggnadssektorn. De menar att miljövarudeklarationer (EPD:er) ofta finns tillgängliga för byggprodukter, men inte utvecklas för växter, jord, täckmaterial eller andra material relaterade till landskapsarkitektur. De lyfter även att verktyg som exempelvis LEED och BREEAM samt ISO och EN-standarder inte omfattar information för att beräkna kollagringspotentialen för växter, jord och marktäckning. Kuittinen et al. beskriver att LEED möjliggör minskade koldioxidutsläpp vid konstruktion av byggnader och användning av material, men menar att verktyget saknar information om landskapet och element inom öppna ytor. Författarna menar att de organisationer som utformar standardiseringar bör överväga att ge resurser för utveckling av standarder som även omfattar landskapet. Kuittinen et al. motiverar också ett behov av nationella materialdatabaser för projekt inom landskapsarkitektur. De konstaterar att den bristande tillgången på verktyg och standarder inte bara är en lucka i datamängden, utan avslöjar en bredare utmaning där landskapsarkitekturen förbises.

## Livscykelanalyser av vegetation

Kuittinen et al. (2021) lyfter också utmaningen med att utföra livscykelanalyser för växter. Författarna beskriver de skillnader som finns mellan att utföra livscykelanalyser av växter och jordar i jämförelse med andra bygg- och anläggningsprodukter. De beskriver att växter och jordar uppför sig dynamiskt

under sin livscykel, vilket kräver nya metoder för utformning av EPD:er för deras klimatpåverkan som kollagring och koldioxidutsläpp. Författarna beskriver att när en byggprodukt lämnar produktionskedet befinner den sig i LCA-skedet A3 som en färdig produkt att användas på byggarbetsplatsen. De menar att vad som utmärker sig med växter, lökar eller frön är att de lämnar plantskolan som "spädbarn" som sedan fortsätter att växa när de planteras. Kuittinen et al. menar därför att den miljöpåverkan som deklarerar vid plantskolan endast kan återspegla produktionen av växten, löken eller fröerna, och inte den fullvuxna växten.

De menar att eftersom inventeringen i en LCA i huvudsak handlar om att följa materialflöden är metoden inte tillämplig för växter och behöver utvecklas. De beskriver att växternas potentiella miljöpåverkan beror på dess odlings- och underhållsförhållanden under användningskedet i LCA-skedena B1-B2. De belyser därför att det finns flera faktorer som påverkar växtens tillväxt och dess form och storlek vid mognad, exempelvis kan klimat och mikroklimat, näringstillgång, skadedjur, sjukdomar och vandalism ha en inverkan på växtens utformning och framtida möjlighet till lagring. Därför menar författarna att uppskattningar av storlek och klimatpåverkan kan vara irrelevanta för växternas faktiska etablering på en plats (Kuittinen et al. 2021).

## Fördelar med EPD:er för vegetation

Kuittinen et al. (2021) tror att utformning av miljövarudeklarationer (EPD) för växter och jord skulle stödja landskapsbranschen och lyfta den till samma nivå som byggnadssektorn. De tror att EPD:er för

växter och jord skulle gynna olika intressenter som beställare, projektörer, leverantörer och entreprenörer. De lyfter också att EPD:er under byggnads- och upphandlingsfasen skulle kunna motivera utvärdering av de miljömässiga kvaliteterna hos konkurrerande produkter och bidra till pålitliga jämförelser om produkters faktiska hållbarhet. De menar också att medborgare har ett intresse av att veta vilken klimatpåverkan de offentliga miljöer och grönområden som de använder har. Kuittinen et al. tror också att EPD:er för växter kan uppmuntra beställare att kräva klimatberäkningar vilket hade satt krav på leverantörer samt tillverkare att utforma EPD:er och därmed förbättra sina produkter.

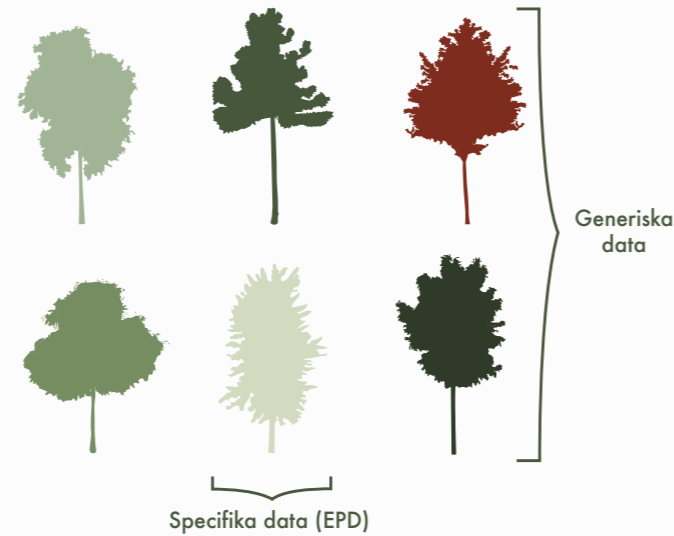
# Miljödata

I en LCA går det att använda sig av olika kvalitet av miljödata (materialdata), både generiska data som är mer generell och mer produktspecifika data (EPD). Användningen av de olika typerna av data lämpar sig olika bra i olika skeden, i inledande beräkningsskeden under designprocessen är det mer lämpligt att använda generiska data, eftersom varumärke eller leverantör av materialen oftast specificeras senare under bygghandlingskedet. Produktspecifika data är främst relevant vid bygghandling då de specifika produkterna kan föreskrivas i AMA-koder och då visa på mer faktiska material och emissionsfaktorer. Det går att i designprocessen använda generiska data, och i senare skeden ersätta materialen med produktspecifika data från leverantörernas EPD:er (Boverket, 2019 b). Boverket beskriver att användning av LCA i projektens tidiga skeden ger större möjligheter till att minska miljöpåverkan i ett projekt och att redan i designprocessen välja material med minst utsläpp (Boverket, 2019 a).

I en livscykelanalys beräknas klimatpåverkan med GWP eller Global warming potential som är ett index för beräkning av växthusgasens förmåga att bidra till växthuseffekten och den globala uppvärmningen. GWP mäts i koldioxideivalenter ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) och mäts utifrån ett hundraårsvärde (GWP100) och beräkningen av mängden utsläpp sker genom multiplicering av en växthusgasens utsläpp i kg med gasens GWP (Bernes, 2003).

## Generiska data

Generiska data är branschgemensamma generella data för materialens klimatpåverkan och är inte lika specifik som data från miljövarudeklarationer (Boverket, 2019 a). Generiska data kan inhämtas från databaser som Boverkets klimatdatabas, Trafikverkets Klimatkalkyl och IVL:s klimatberäkningsverktyg BM och kan variera beroende på databas.



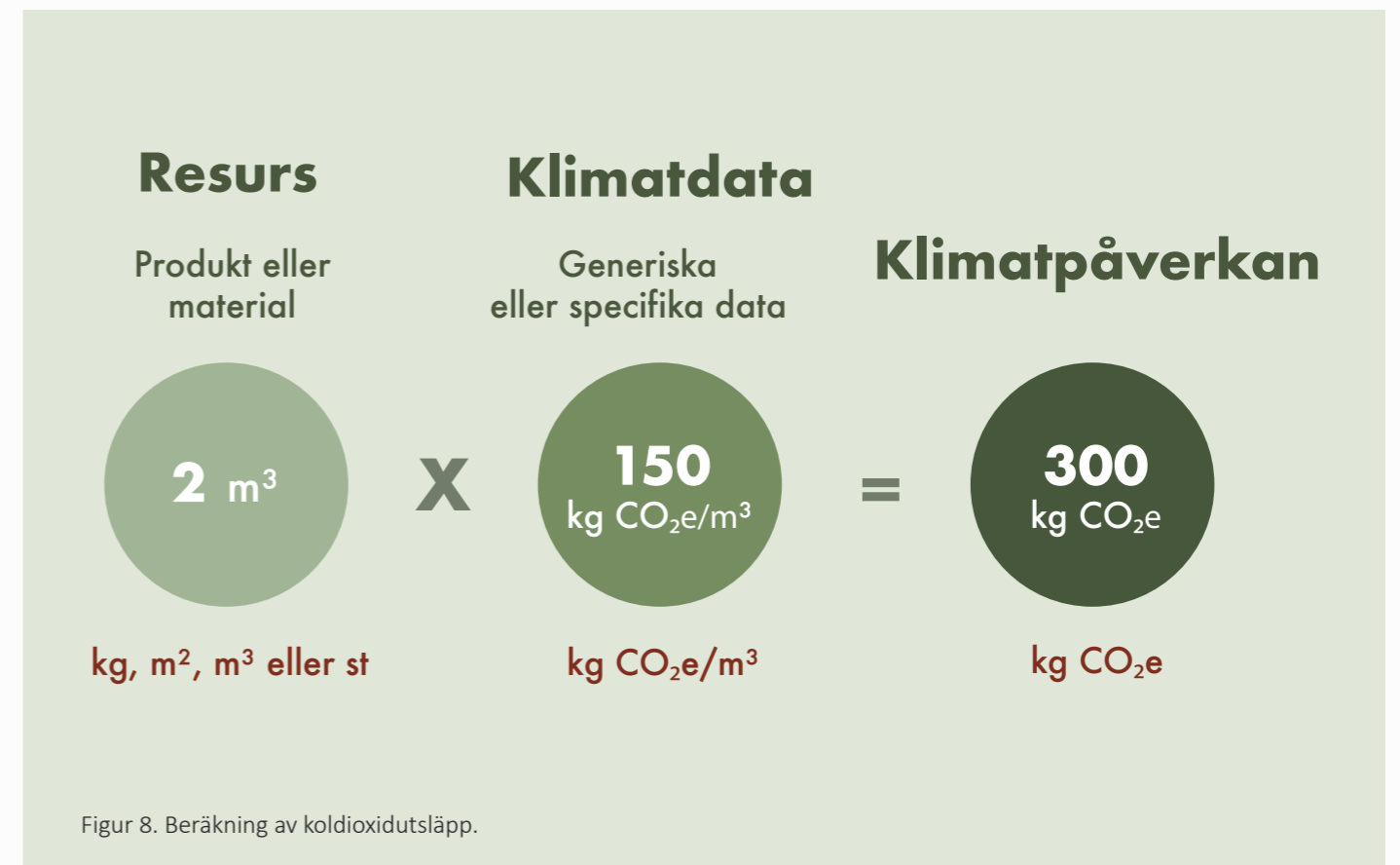
Figur 7. Generiska respektive specifika data.

## Produktspecifika data (EPD)

EPD betyder Environmental Product Declaration och är en oberoende miljövarudeklaration som redovisar den miljöpåverkan som en specifik produkt har i de olika skedena av en livscykel (Svenska miljöinstitutet, 2023). Användande av specifika data resulterar i ett mer trovärdigt resultat på materialens faktiska miljöpåverkan. Tillgången på mer specifika data beror på utbudet hos leverantören av materialet, och i dag är EPD:er för byggnadsmaterial allt vanligare (Boverket, 2022 a). Utformningen av en miljövarudeklaration (EPD) utgår från LCA strukturen som specificerar produktens utsläpp under produktionsskedet, byggproduktionsskedet, användarskedet och slutsskedet (Boverket, 2019 a). Vid framtagningen av miljövarudeklarationer utformas livscykelanalysen även i enlighet med ISO standarder (Boverket, 2019 d).

Vid inhämtande av produktspecifika data till materialdatabasen har utsläppen av ett flertal material redovisats i  $\text{kg CO}_2\text{e}$ . För att ta fram mängden koldioxidutsläpp i  $\text{m}^3$  har utsläppet i kg multiplicerats med densiteten ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) för att ta fram mängden

koldioxidutsläpp per kubikmeter ( $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ). I 3D-modellen har ytor eller objekt därefter mätts i exempelvis m,  $\text{m}^2$  eller  $\text{m}^3$  beroende på vilken typ av yta eller objekt som beräknas.



Figur 8. Beräkning av koldioxidutsläpp.

# Avsaknad av referensvärden

För att enklare kunna tolka resultatet av en klimatberäkning och få ett perspektiv av koldioxidutsläppens omfattning hade referensvärden kunnat sätta resultatet i ett större sammanhang. Ett referensvärde syftar till att ange referenspunkter som redovisar klimatpåverkan av dagens byggande, medan ett gränsvärde anger lägsta eller högsta tillåtna klimatpåverkan, och dessa värden kan referera till olika trender, riktlinjer eller lagar (Malmqvist et al. 2023). I dagsläget finns det inga branschgemensamma referensvärden eller gränsvärden för hur mycket ett projekt inom landskapsarkitektur bör släppa ut, vilket gör det svårt att sätta projekten i perspektiv.

På uppdrag av Boverket gjordes det vid KTH en studie för referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader som omfattar småhus, flerbostadshus, kontor, förskolor och skolor. Referensvärdet i en byggnad räknas utifrån byggnadens Bruttoarea (BTA), som är en summa mätt utifrån byggnadens fasad och alla våningsplans area. De framtagna referensvärdena fungerar som en representation för bygg- och anläggningen i Sverige. Referensvärdet för en byggnads klimatutsläpp var ett medelvärde på 266 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA år 2022, och med klimatförbättrade åtgärder var motsvarande 228 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA (Malmqvist et al. 2023).



Referensvärde för en byggnads klimatutsläpp 2022.



Referensvärde för en byggnads klimatutsläpp med klimatförbättrade åtgärder 2022.

# MATERIALENS KLIMATPÅVERKAN

Avsnittet introducerar de vanligast förekommande materialen inom landskapsarkitektur och redogör för dess koldioxidutsläpp och livscykelperspektiv genom att applicera dem i en materialpyramid med intervaller som färgkodar materialen från låga till höga utsläpp



# Materialens klimatpåverkan

Materiallistan som utformas utifrån materialens emissionsfaktorer innehåller både generiska data samt produktspecifika data inhämtad från EPD:er. Materialens koldioxidutsläpp varierar beroende på om det är generiska eller produktspecifika data eller mellan olika databaser och leverantörer av EPD:er. Användning av produktspecifika data möjliggör ett mer precist värde av projektets faktiska koldioxidutsläpp, medan generiska data ger en mindre precist men en potentiellt jämförbar bild mellan klimatberäkningar som är utförda av olika företag. Det är därför viktigt att vara medveten om typen av data som används vid klimatberäkningar samt att ha en klar förståelse för syftet bakom beräkningarna (Boverket, 2019 b).

Figur 9. Yta av markegel vid Københavns Universitet, Danmark.



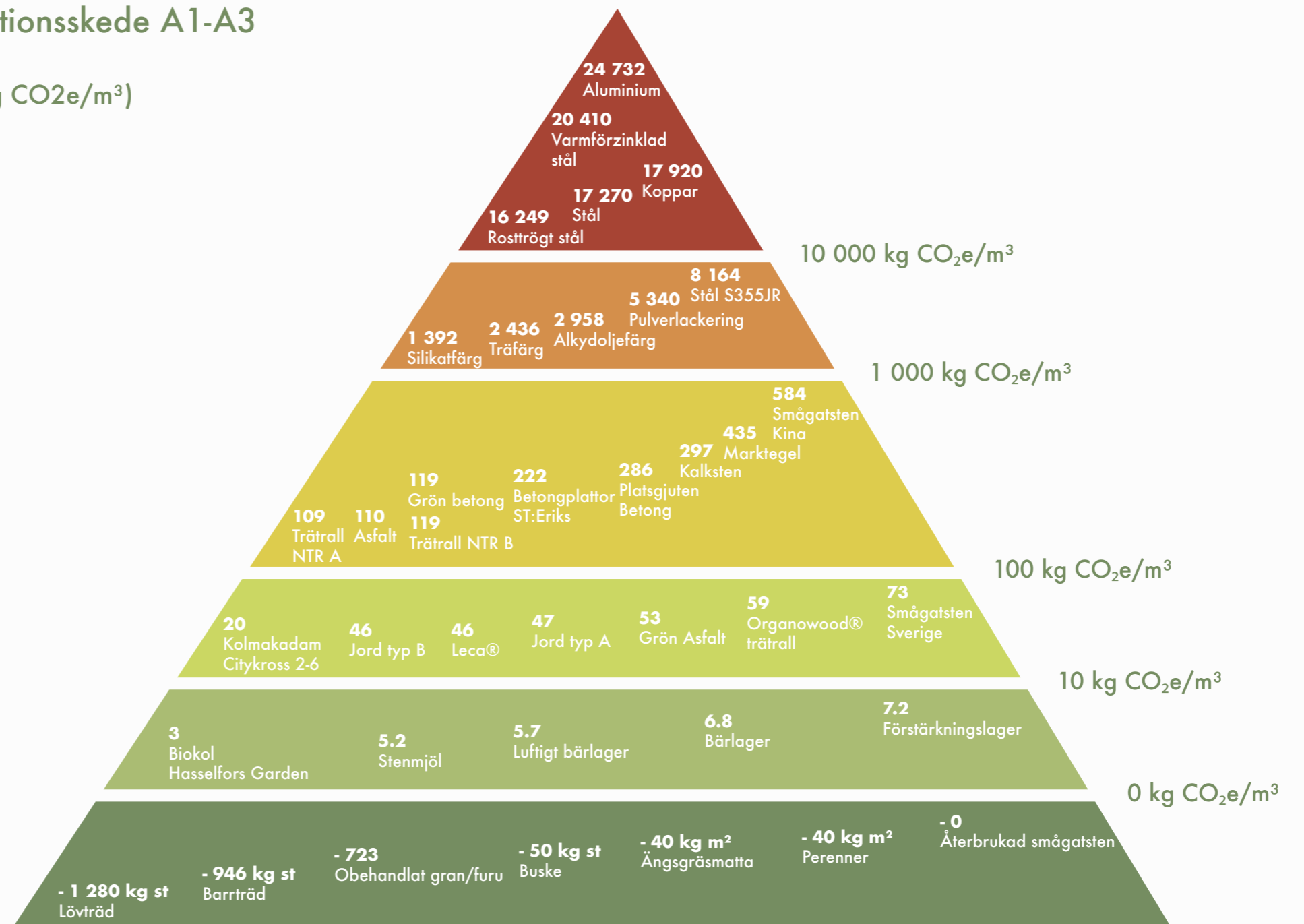
# Materialpyramid

Materialpyramidens utformning och intervaller utgår från The Construction Material Pyramid av CI-NARK/The Royal Danish Academy and Vandkunsten Architects. Materialpyramiden syftar till att kategorisera olika material som används inom landskapsarkitektur utifrån deras koldioxidutsläpp. Den data som är presenterad i materialpyramiden bygger på tillgängliga data från uppsatsens materialdatabas för landskapsarkitektur som utgår från både generiska data och EPD:er. Pyramiden är utformad inom ramen för uppsatsen och utifrån författarens egen kunskap.

Någonting att ha i åtanke är att kategorisering av material i deras produktionsskede A1-A3, utesluter alla övriga LCA-skeden och viktiga aspekter som deras faktiska klimatpåverkan under hela livslängden. Materialpyramiden är inte verifierad och bör inte betraktas som fullständig eller gällande för hela branschen. Det är viktigt att vara medveten om de skillnader som kan finnas mellan materialens utsläpp i olika länder, denna materialpyramid är främst relevant i Sverige, Norden eller Europa, och kanske mindre relevant i USA. Materialpyramiden är utformad utifrån bilaga 1.

## Produktionsskede A1-A3

GWP (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>)



Figur 10. Materialpyramid skapad av författaren utifrån tillgänglig klimatdata.

# Hårdgjorda ytmaterial

## TRÄ

Trä är ett förnybart byggmaterial som kräver mindre energi både vid framställning och transporter. Trä binder koldioxid under sin tillverkning, vilket skiljer sig från andra material som i stället släpper ut koldioxid. De vanligast förekommande träsorterna som används är furu och lärk och inom landskapsarkitektur används trä för en rad olika ändamål så som trätrall, staket, plank samt i möbler och utrustning.

Det är vanligt att trä impregneras, färgas, laseras eller ytbehandlas både för att kunna modifiera träets utseende och för att skydda det mot röt, angrepp eller för att främja hållbarheten. Impregnerat trä klassificeras enligt Nordiska Träskyddsrådets standard, där de mest använda inom landskapsarkitektur är NTR A, lämpligt för markkontakt och sötvatten, samt NTR AB för mer utsatta lägen ovan mark (Svensson, 2013). Edlund (2007) beskriver att trämaterialens livslängd beror på träslag och lyfter att ytbehandling samt underhåll under användandet är avgörande för hållbarheten.

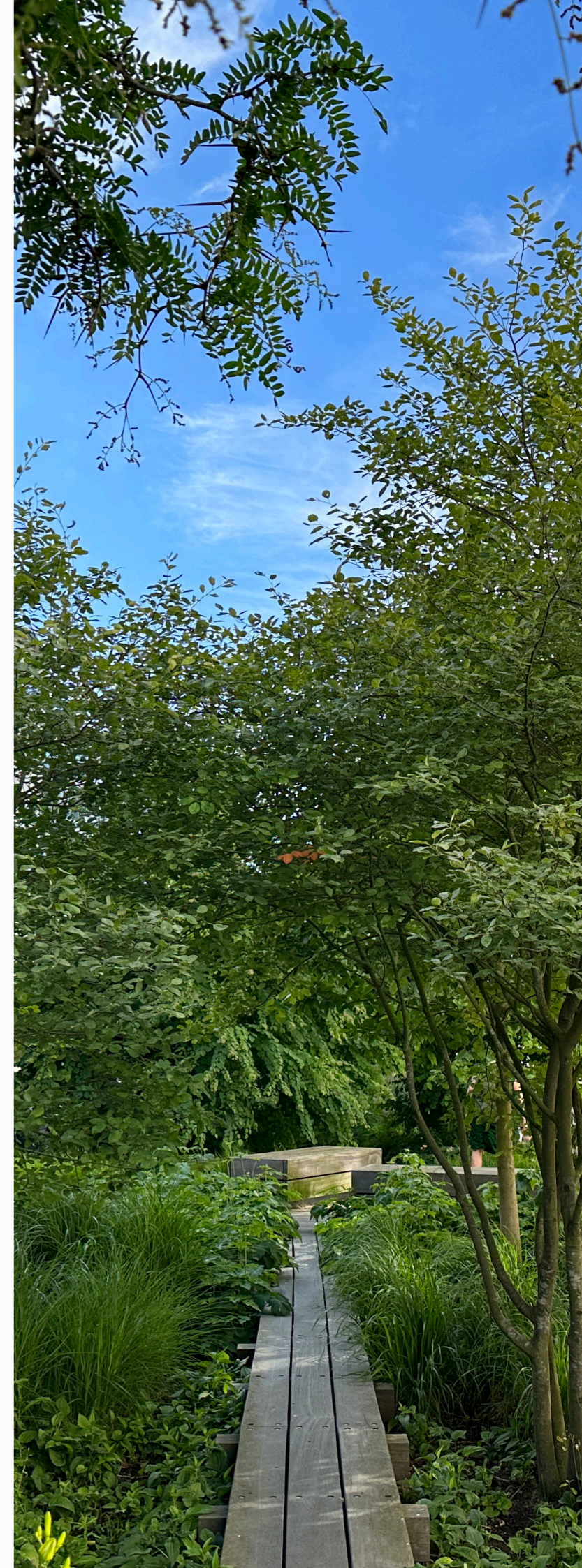
I en EPD från OrganoWood® för hyvlat impregnerat virke av furu och gran med en silikatbehandling mot röta för utomhuskonstruktioner som uteplatser, trall och beklädnad uppskattas en livslängd på 15-20 år, och 30 år som beklädnad. OrganoWood® trä beräknas släppa ut 59,9 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (OrganoWood®, 2022). I en EPD från Bitus för NTR-klass AB Linax-behandlad impregnerad furu, avsedd för utomhusbruk som trall, erbjuds en garanti på 50 år mot röta samt 12 år för form och färg. Träprodukten beräknas ha ett koldioxidutsläpp på 57,9 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Bitus, 2023). I en EPD från Valbo Trä uppskattas hyvlat tryckimpregnerat NTR A furu för trall och konstruktioner utomhus att ha en livslängd

på 20-30 år beroende på utsatthet och användning. NTR A furu från Valbo Trä beräknas ha ett koldioxidutsläpp 56,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Valbo Trä, 2023). Enligt Boverkets klimatdatabas innehållande generiska data beräknas koldioxidutsläppet av barrträ som gran eller furu till 40,4 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> respektive 43 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Boverkets beräknade miljöpåverkan är baserade på EPD:er av 58 % av det totala hyvlade virket i Sverige (Boverket, 2023 a). Mässing och Logrim Wikander (2019) beskriver för- och nack-

delar under virkets livscykel och redogör för att impregnerat trä är mer hållbart än obehandlat trä, men lyfter samtidigt att obehandlat trä kan återanvändas genom att exempelvis flisas och blandas in i nya träprodukter, medan impregnerat trä varken kan återanvändas eller förbrännas i vanliga anläggningar. De menar att obehandlat trä vanligen förbränns för att utvinna energi när återanvändning inte är möjligt, och lyfter att virkets lagrade kol då frigörs och orsakar stora koldioxidutsläpp.



Figur 11. Trästubbar på förskolegård.



Figur 12. Träspång vid Jaktgatan och Lövängsgatan, Stockholm.



## GRANIT

Granit är ett vanligt förekommande material inom landskapsarkitektur och används mycket som markbeläggning på torg och trottoarer runt om i Sverige. Granitens klimatpåverkan kan variera och ha stora skillnader i utsläpp beroende på produktionsland, transporter och ytbearbetning. I en rapport av Benders redovisas koldioxidutsläpp för olika granitstenar där utsläpp från kinesisk granit uppgår till 8-11 gånger så mycket som svensk granit. Svensk smågatsten beräknas släppa ut ca 73 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> medan kinesisk beräknas släppa ut ca 584 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Benders, u.å.). I en EPD från Naturstenskompagniet beräknas råkilad smågatsten släppa ut 186 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Naturstenskompagniet, 2021). Generiska data från IVL's Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM) beräknar att en blockstensmur av granit har ett koldioxidutsläpp på 216 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (IVL, 2023 a). Granit har en lång livslängd och har stora möjligheter att återbrukas, ofta utan ytterligare ytbearbetning. Gatsten av granit uppskattas ha en livslängd på minst 180 år där en torgyta beräknas ligga i 30 år (Naturstenskompagniet, u.å.).

Figur 13. Yta belagd med smågatsten och grus på Clemenstorget, Lund.



## METALL

Inom industrisektorn som bidrar med en tredjedel av Sveriges koldioxidutsläpp utgör järn- och stålindustrin en betydande och framstående del (Naturvårdsverket, 2023 c). De totala koldioxidutsläppen i samband med material inom bygg- och anläggning domineras till 75% av stål och cement (Trafikverket, 2012). Stål och smide används främst i möbler, spaljéer och som räcken eller staket i offentliga platser, så väl som kantstöd för planteringar och markgaller för skydd av träd (Johansson, 2007). Vanligtvis ytbehandlas stål för att förhindra rostangrepp, öka hållbarheten eller för att förändra utseendet. Eftersom stål rostar utan ytbehandling brukar det vanligen behandlas (Nola, 2023). Ytbehandlingar av stål finns i olika utföranden som förzinkad stål, rostfritt stål, rosttrögt stål (cortenstål) och målat stål som alla har olika uttryck (Johansson, 2007). Vanliga ytbehandlingar för stål är målad stål med pulverlackering och alkydfärg, där tidigare pulverlackerade metallprodukter kan bättringsmålas med alkydfärg (Nola, 2023).

Enligt Trafikverkets Klimatkalkyl, som är baserad på ett genomsnittligt värde från 10 EPD:er från Norge och Finland, uppskattas koldioxidutsläppet för stål till 17 270 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Trafikverket, 2023 a). Stål har en teknisk livslängd på över 50 år (Boverket, 2023 a). I en EPD från Tibnor för fyrkantsstål av sort S355JR som vanligen används i räcken beräknas ett utsläpp på 8 164 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Tibnor, 2020). I planteringar förekommer ofta cortenstål (rosttrögt stål) som kantstöd, vilket rostar i en långsammare takt än obehandlat stål (Nola, 2023). I en EPD från Milford beräknas produkten Contrast Freestyle som kan användas som mur och kantstöd av rosttrögt stål släppa ut 3,16 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Multipliserat med densitet för stål, 7 850 kg/m<sup>3</sup> (Boverket, 2023 a)

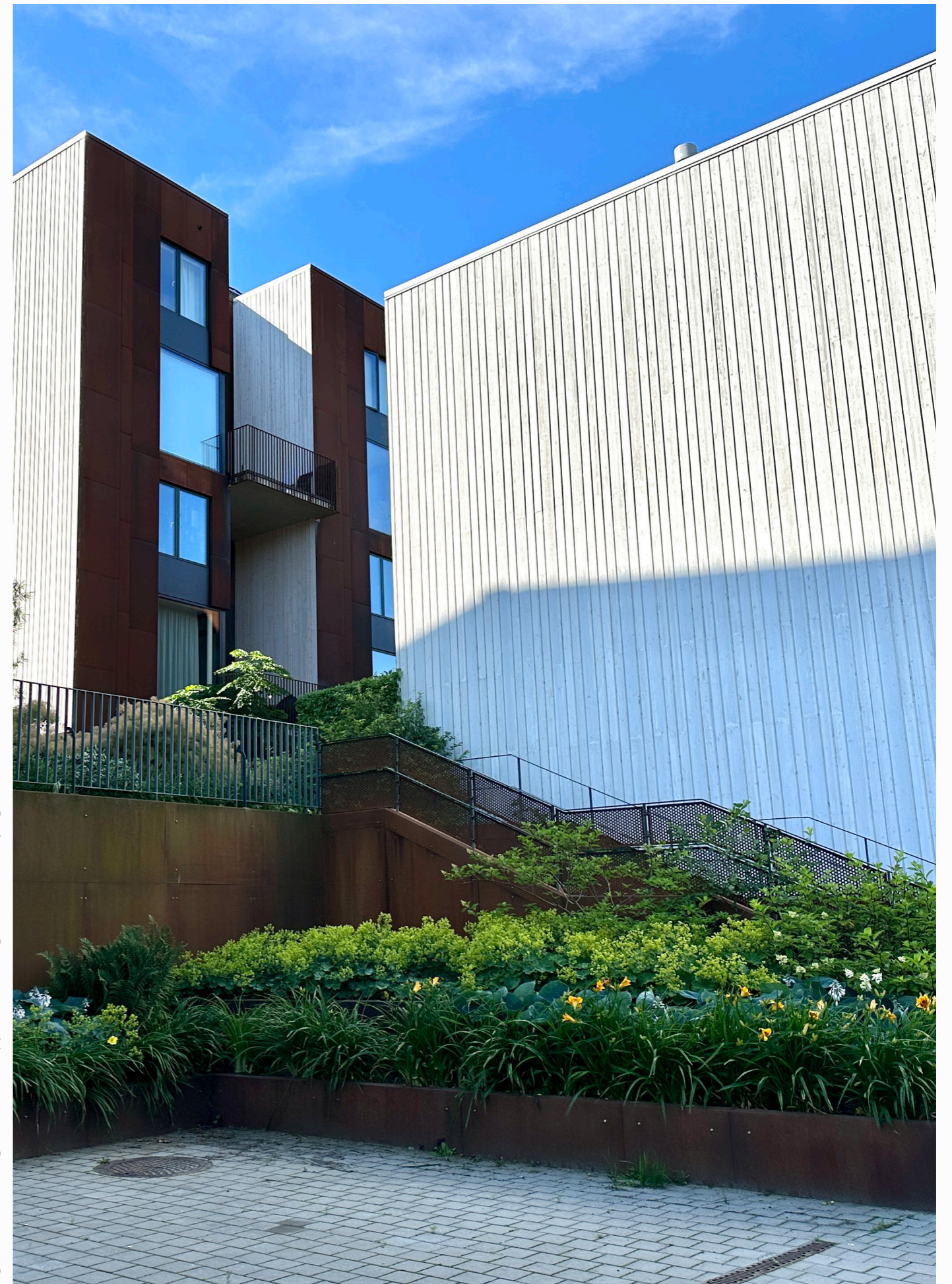
innebär produktens utsläpp ca 24 806 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Produkten kräver ingen ytterligare ytbehandling och har en livslängd som uppskattas till 60 år (Milford, 2023).

I en EPD från Vestre för papperskorgen City beräknas en papperskorg i pulverlackerat stål släppa ut 157 kg CO<sub>2</sub>e/st, där pulverlackering utgör ca 1,37% av produktens totala koldioxidutsläpp. Produktens livslängd uppskattas till 50 år (Vestre, 2021). I en EPD från Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie beräknas pulverlackering ha ett koldioxidutsläpp om ca 5 340 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie, 2023).

### Grönt stål

Ett mer hållbart alternativ till konventionellt stål är Grönt stål eller Green steel som är mer hållbart producerat stål än vanligtvis och som kan ha lägre koldioxidutsläpp. Grönt stål tillverkas av olika företag och med olika tekniker, vilket innebär att koldioxidutsläppen av stålet från de olika företagen skiljer sig.

Det statliga gruvbolaget LKAB, dess delägda stålbolag SSAB och det statliga företaget Vattenfall arbetar tillsammans i projektet HYBRIT för framtagande av fossilfritt stål, och de beskriver HYBRIT-teknikens potential att minska Sveriges totala koldioxidutsläpp med minst tio procent. De beskriver att deras teknik praktiskt taget inte har något koldioxidutsläpp och att det inte bildas någon koldioxid vid tillverkning (SSAB, 2023).



Figur 14. Planteringslåda samt trappor av rosttrögt stål i Norra Djurgårdsstaden, Stockholm.

## BETONG

Johansson (2007) beskriver att betong är det näst vanligaste materialet för markbeläggningar i utemiljöer. Inom landskapsarkitektur används betong för olika ändamål så som markplattor, gräsarmering, murar, kantstöd och trappor och fundament. Slitage påverkar ofta betongmarkplattors utseende, men de kvarhåller samtidigt sin funktion och har en lång livslängd. Betong tillhör de material inom landskapsarkitektur som släpper ut mest koldioxid på grund av att tillverkningen av cement frigör den koldioxid som lagrats i kalksten under lång tid (Natturskyddsforeningen, 2023 a).

Enligt Boverkets klimatdatabas beräknas koldioxidutsläppet av betong till 286,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> och har en teknisk livslängd på över 50 år (Boverket, 2023 a). Den komponent i betongen som har högst koldioxidutsläpp är cementtillverkningen, och genom att ersätta mängder cement med andra fyllnadsmaterial kan mängderna koldioxidutsläpp i betongen minska (Skanska, u.å.). Ett alternativ till konventionell betong är klimatförbättrad Grön betong som släpper ut ungefär hälften så mycket koldioxidutsläpp som traditionell betong, det beräknas att släppa ut 119 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> enligt produktens EPD (Skanska, 2019).

Återbruk av betongmarkplattor är vanligtvis enkelt om de inte har permanent fixerats på plats, men i jämförelse med exempelvis natursten är risken för slitage på betongmarkplattor högre vid demontering eftersom de inte har lika stark hållfasthet (Mareld Landskapsarkitekter, 2023). Eftersom hanteringen vid demontering av betongmarkplattor är kostsam och kräver mer varsamhet än upprivning, återbrukas betongmarkplattor sällan (Bordes & Lindell, 2021).

## ASFALT

Asfalt är ett material som är vanligt förekommande inom landskapsarkitektur och används i olika skalor och på olika typer av ytor. Asfalt anläggs på stora motorvägar till mindre vägar, parkeringsplatser, gångvägar, skolgårdar och lektytor (Johansson, 2007). Asfalt har låga koldioxidutsläpp i jämförelse med andra markmaterial och beräknar enligt Trafikverkets Klimatkalkyl släppa ut 110 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Trafikverket, 2023 a).

Asfalt kräver minimalt underhåll och har en livslängd i upp till 20 år (Veidekke, u.å.). Därefter kan det återvinnas och användas som inblandning i nytillverkad asfalts slitlager eller i marköverbyggnader. I ett bärlager kan upp till 50% utgöras av återbrukad asfalt, medan siffran är 20-30% för bindlager och 0-10% för slitlager (WSP, 2023 a). Genom nya tekniker vid framställning av asfalt går det att minska koldioxidutsläppen, genom att använda återvunnen asfalt i produktionen samt ersätta bindemedel med detta går det att minska utsläppen. Grön Asfalt är ett alternativ till konventionell asfalt med en halverad mängd koldioxidutsläpp, enligt en EPD från Skanska för Grön asfalt beräknas ett utsläpp på 53 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Skanska, 2021).



Figur 15. Gräsarmering av betong på parkeringsplats.

## MARKTEGEL

Marktegel är keramiska markstenar som förekommer i olika utföranden, bland annat som marktegel, klinker och basaltplattor. För att marktegel ska kunna stå emot hög fuktighet och slitage genomgår det en hårdbränning eller klinkerbränning. Marktegel förekommer på olika typer av ytor som gång- och körvägar och torg. Klinker anläggs ibland på trottoarer och basaltplattor används som taktill marksten vid ledstråk (Johansson, 2007).

Enligt Boverkets klimatdatabas beräknas koldioxidutsläppet av hårdbränt tegel som kan användas som marktegel till 979 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> och har en teknisk livslängd på över 50 år (Boverket, 2023 a). Generiska data från IVL's verktyg BM beräknar ett koldioxidutsläpp för marktegel till 435 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (IVL, 2023 a). I en EPD från Confindustria Ceramica för klinker beräknas ett utsläpp i m<sup>2</sup> till 12,1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> med en uppskattad livslängd på 60 år (Confindustria Ceramica, 2023).



Figur 16. Marktegel går att kombinera i olika mönster.



Figur 17. Markbeläggning av marktegel i Hylle, Malmö.



Figur 18. Stenmjöl som markmaterial i stadsparken i Lund.

## GRUS

Grus och bergkross finns i olika fraktioner och förekommer som markmaterial och underbyggnadslager i många miljöer (NCC, 2023 a). Johansson (2007) beskriver att den första vägtypen som etablerades i Sverige var grusvägen vilken fortfarande förekommer i hög grad i landet. Materialen används på olika typer av ytor som gångvägar, vägar, torg, lekytor samt vid spelplaner av olika slag. Johansson beskriver att eftersom grusytor förflyttas med regnvatten och vid användning, är det ett material som kräver kontinuerligt underhåll för att bibehålla ytans kvalitet och karaktär.

Beroende på användningsområde betecknas bergkrossprodukter med olika namn, bergkross, makadam och stenmjöl. Bergkross blandas ofta med andra produkter för att förbättra dess egenskaper och anpassa det till specifika behov eller användningsområden (NCC, 2023 a). Bergkross består av både stora och finare fraktioner och förekommer ofta i fraktionerna 0/16, 0/32, 0/63 mm eller 0/90. Bergkross används som bär- och förstärkningslager i marköverbyggnader och även som slitlager och brukar då kallas för väggrus (NCC, 2023 a). Enligt Trafikverkets Klimatkalkyl uppskattas Bergkross 0/9 mm ha ett koldioxidutsläpp på 7,2 kg CO<sub>2</sub> e/m<sup>3</sup> (Trafikverket, 2023 a).

Makadam sorteras utifrån en min- och maxfraktion och sorteras som bland annat 2/4, 8/11, 8/16 och 8/32 mm. Eftersom materialet inte innehåller några fina fraktioner möjliggör det god genomsläpplighetsförmåga och används därför ofta som bärlager men också vid gångvägar (NCC, 2023 a). Generiska data från IVL's verktyg BM beräknar ett koldioxidutsläpp för fraktionen 8/11 till 3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> och för 3,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> för fraktionen 8/32 (IVL, 2023 a).

Stenmjöl eller sättsand innehåller finast fraktioner och förekommer som 0/2, 0/4 och 0/8 mm och används ofta för plattsättning och som slitlager på vägar, gångvägar och i parker (NCC, 2023 a). Enligt Trafikverkets Klimatkalkyl beräknas både stenmjöl 0/4 och 0/8 släppa ut 5,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Trafikverket, 2023 a).

Sand är det material med finast fraktioner och används för att undvika halka, och lek i sandlådor (NCC, 2023 B). Enligt generiska data från IVL's verktyg BM beräknas sand släppa ut 22,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (IVL, 2023 a).

# Vegetation

Växtmaterialens klimatpåverkan beräknas under en tidsperiod om 50 år och inkluderar den mängd koldioxidutsläpp- och lagring som de genererar under tidsperioden. Växtmaterial kan potentiellt fungera som kolsänka och lagra koldioxid i projekt inom landskapsarkitektur vilket kan balansera de utsläpp som produktionsskedet av de hårdgjorda yt-materialens genererar under en tidsrymd på 50 år. Det är viktigt att redovisa utsläpp och potentiell lagring separat, och snarare tolka de som potentiell kompensation för de koldioxidutsläpp som andra material i projektet släpper ut.

## TRÄD

Det finns ett flertal faktorer som har en inverkan på trädens förmåga och effektivitet att klimatkompensera och lagra koldioxid, vilket understryker vikten av goda växtval för den specifika växtplatsen. Under trädets tillväxtfas binder det koldioxid som därefter lagras i marken eller, om trädet avverkas, i ett trämaterial. Negativa utsläpp innebär de mängder koldioxid som växter kan binda och uppta i mark och biomassa. Eftersom träet lagrar koldioxid innebär det att träd och träprodukter har potential att kompensera för koldioxidutsläpp (Naturvårdsverket, u.å. a).

Lind et al. (2023) har forskat kring livscykelanalyser av träd och konstaterat att träd lagrar olika mycket koldioxid beroende på var de är planterade. De menar att träd som planteras i exempelvis Umeå kan ha svårare att lagra koldioxid än det som planteras i Stockholm, och det kan skilja sig enormt inom landet. I en tidshorisont om 50 år går det att tyda att stora trädarter med snabb tillväxt har bäst förmåga att lagra koldioxid. En Salix Alba från samma leverantör har visat sig ha kapacitet att lagra 8,1 ton CO<sub>2</sub>e under 50 år i Helsingborg, motsvarande 5,6 ton CO<sub>2</sub>e i Stockholm och 2,9 ton CO<sub>2</sub>e i Umeå under samma tidsperiod (Lind et al, 2023). I Climate Positive Designs klimatberäkningsverktyg Pathfinder uppskattas trädens potentiella kollagringsförmåga över en tidsperiod om 50 år utifrån växtzon, fullvuxen storlek och om det är ett löv- eller barrträd. Växtzonerna avgör antalet växt dagar

per år och beror på växtplatsen som i verktyget beräknas globalt utifrån USA:s jordbruksdepartementets (USDA) tillväxtzoner. I verktyget delas zonerna in i norr, central och syd. Träden delas in i löv- och barrträd som liten (under 10 m), mellanstor (10-15 m) och stor (över 15 m). Vid jämförelser av Pathfinders utsläppsvärden och de utsläpp som presenteras i Lind et al. (2023) är utsläppen för centrala tillväxtzoner i Pathfinder de som liknar trädens utsläpp i Sverige under 50 års tid. Klimatberäkningarna i uppsatsen utfördes därför genom användning av Pathfinders utsläppsvärden inom central zon. Enligt Pathfinders klimatkalkyl uppskattas ett litet, mellanstort och stort lövträd i tillväxtzonen för zonen att lagra 299, 1 280 respektive 5 150 kg CO<sub>2</sub>e/st. Utsläppen för ett litet, mellanstort och stort barrträd i samma zon uppskattas till 241, 946 och 2 351 kg CO<sub>2</sub>e/st (Pathfinder, 2023).

## BUSKAR

Buskar har som träd och annan vegetation en kollagringsförmåga, och utifrån verktyget Pathfinder uppskattas en liten (< 1 m), mellanstor (1-2 m) och stor (> 2 m) prydnadsbuske i central zon att lagra 26, 50 respektive 100 kg CO<sub>2</sub>e/st under 50 år. Enligt samma källa beräknas en barrbuske utifrån samma storlekar lagra 26, 50 och 76 kg CO<sub>2</sub>e/st (Pathfinder, 2023).

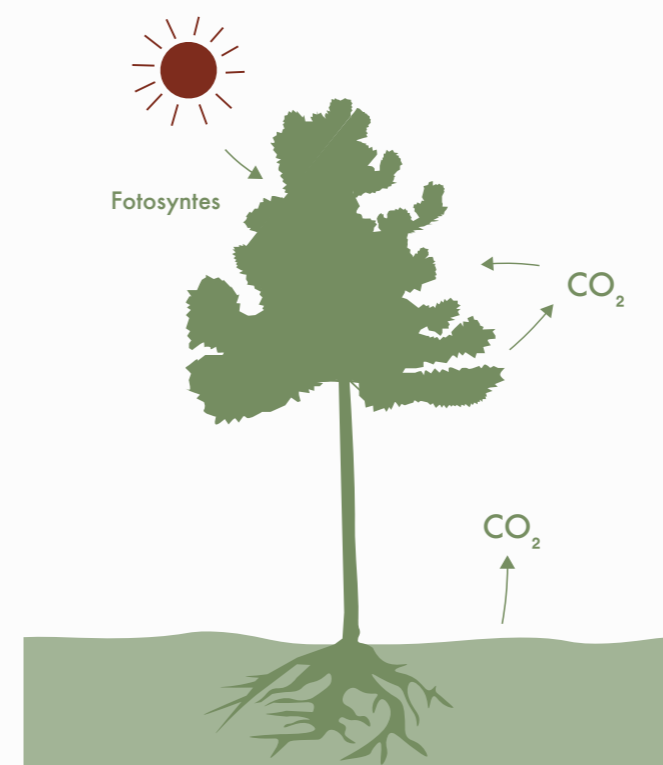
## GRÄS

Gräs är ett material som kan misstas för att vara koldioxidsnålt, men som egentligen genererar höga koldioxidutsläpp på grund av den intensiva skötseln. Gräset i sig har god kollagringsförmåga och har visat sig lagra en större mängd kol än vad exempelvis ängsytor eller jordbruksmarker gör. Den

frekventa klippningen i en gräsmatta stimulerar produktionen av biomassa, trots detta innebär den frekventa skötseln i urbana miljöer högre koldioxidutsläpp än vad lagringen genererar. Alternativ till konventionella gräsmattor kan vara att i stället anlägga ängsgräsmattor som har mindre skötselbehov, eller att minska klippfrekvensen (Ignatieva, 2017). Utifrån Pathfinders uppskattning av koldioxidutsläpp beräknas gräs med minimal, måttlig och intensiv skötsel släppa ut 2, 2,5 och 10 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Medan anläggning av en ängsgräsmatta däremot beräknas lagra 40 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> under 50 år (Pathfinder, 2023).

## PERENNER

Perenner är fleråriga örtartade växter med egenskaper att binda koldioxid i marken och konkurrera ut ogräs. I ett pågående forskningsprojekt beskriver Vestin et al. (2022) att årligen återkommande perenner spelar en viktig roll i Sveriges klimatmål om nollutsläpp av växthusgaser år 2045, och att de även har goda möjligheter att bistå med både matproduktion och kollagring. Enligt Pathfinder uppskattas perenner och prydnadsgräs lagra 40 kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>2</sup> (Pathfinder, 2023).



Figur 19. Kolets kretslopp.

# JORD

Jord och växtsubstrat finns i olika utföranden och blandningar och kan ha varierande klimatpåverkan beroende på blandning och innehåll. Jordens organiska material som exempelvis förmultnande växtdelar har en förmåga att binda stora mängder kol under marken (Harden et al., 2017).

## Växtjord

I en EPD från Hasselfors för växtjord typ A och B beräknas koldioxidutsläppen under produktionskedet släppa ut 47 respektive 46 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. Växtjord typ C beräknas släppa ut 39 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Hasselfors Garden, 2023).

## Torv

Torv är ett naturligt material som används för tillverkning av odlingsjord. Torv lagrar stora mängder kol och släpper därför ut höga mängder växthusgaser vid nedbrytning. Torv förekommer i de flesta konventionella planteringsjordarna, och eftersom de höga utsläppen som de genererar har det skapats en efterfrågan av torvfria jordar som ersättare (Naturskyddsföreningen, 2023 b).

## Biokol

Biokol är en restprodukt som används både som odlingssubstrat och jordförbättringsmedel vid odling av bland annat träd och planteringar och fungerar som kolsänka genom att den binder koldioxid under marken. Biokol förbättrar jordens näring- och vattenhållande förmåga och dess struktur. Det förbättrar även mikrolivet i jorden vilket bidrar till att den planterade vegetationen får bättre tillväxtförmåga och bättre upptag av vatten. Biokol används alltmer som ersättare till torv som är ett material med höga koldioxidutsläpp. Eftersom biokol har en

långsam nedbrytningshastighet binder den också koldioxid under en lång tid (Erlandsson, Mattson & Nilsson, 2022). I en EPD för Biokol från Hasselfors beräknas ett koldioxidutsläpp på 3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Hasselfors Garden, 2023). Utifrån en EPD från GRK Infra Oyj uppskattas biokol binda ca 1 032 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>, och upptar därför mer växthusgaser än vad det släpper ut (GRK Infra Oyj, 2023).

## Skelettjord

Skelettjord är en anläggningsmetod som används för plantering av träd i stadsmiljöer som kvarter-smark vid bostadsgårdar och parkeringsplatser. Skelettjorden har god förmåga att fördröja dagvatten och samtidigt en god reningsförmåga när vattnet rinner igenom skelettjordens lager. Skelettjorden består vanligtvis av bergkross i fraktionerna 90/150 och jord B men kan också innehålla biokol (Alvem & Grönjard, 2017).

## Kolmakadam

Kolmakadam är en jordblandning av makadam i fraktionerna 32/90 mm, näringsberikad biokol och kompost. Kolmakadam kan användas som ersättare för skelettjord och har en enklare och mer effektiv anläggningsprocess än skelettjorden (Alvem & Grönjard, 2017). I en EPD från Hasselfors Garden beräknas Citykross 2-6 som är deras variant av kolmakadam att släppa ut ca 20 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> (Hasselfors Garden, 2023).



Figur 20. Alnarp.

# Sammanfattning material

Materialval är komplext och kräver kunskap och förståelse för materialets hela livscykel. De olika materialens koldioxidutsläpp varierar, varför det är viktigt att inte stirra blint på koldioxidutsläppen utan att även ha materialens livslängd i åtanke. Vissa material kan ha höga utsläpp under produktionskedet men ha en lång hållbarhet. Marktegel är ett sådant material med höga koldioxidutsläpp som samtidigt har lång livslängd och stor potential till återbruk. Vid val av material måste det alltså göras avväganden mellan materialens alla aspekter, och inte enbart koldioxidutsläpp. Växternas förutsättningar och etablering har även en stor inverkan på dess potentiella kollagringsförmåga vilket bör tas i hänsyn. Sammansättningen och tillverkningen av material som betong och asfalt förändras till att släppa ut mindre koldioxid. Även metall börjar produceras med lägre koldioxidutsläpp vilket kan förändra den framtida synen på metall som material.

Figur 21. Lunds stadspark.



# KLIMATBERÄKNING

Avsnittet introducerar klimatberäkning och visar genom en enkätstudie hur förekommande klimatberäkning är bland yrkesverksamma landskapsarkitekter i dag. Avsnittet redogör även för befintliga verktyg för klimatberäkning inom landskapsarkitektur samt tidigare utförda beräkningar.



# Klimatberäkningens betydelse och användning

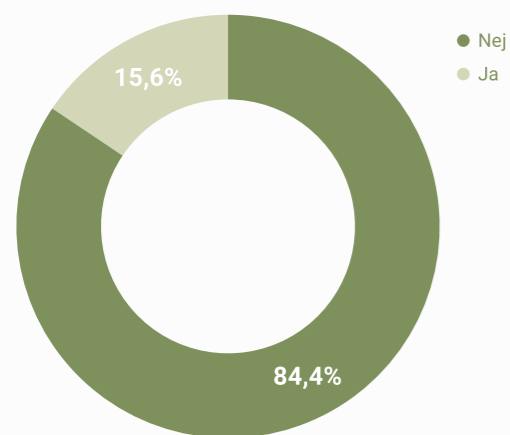
Efter att krav på klimatdeklaration i byggprojekt lagstiftades 2022 (Naturvårdsverket, u.å. b) har klimatberäkningar inom bygg- och anläggningsprojekt blivit vanligare. Klimatberäkning eller klimatkalkylering är en metod som används för att beräkna klimatpåverkan av en produkt, tjänst, en byggnad eller ett helt anläggningsprojekt. En klimatberäkning kan utföras i olika skeden och utgör en typ av livscykelanalys som kan utgå från de olika LCA-skedena. Klimatberäkning utförs genom att multiplicera mängden av en produkt eller material med mängden koldioxid som släpps ut (IVL, 2023 b).

Boverkets vägledning om klimatdeklaration utgår från lagen om klimatdeklarationer för byggnader, men går att läsa som allmän information om livscykelanalyser. Likaväl bygger Sveriges Arkitekters guide till klimatdeklaration för husarkitekter på Boverkets dokumentation och involverar inte andra arkitekturdiscipliner skriftligen (Sveriges Arkitekter, u.å.).

Även Nikologianni och Albans (2023) beskriver att ISO standarder för livscykelanalyser oftast är skapade för byggnader, vilket utelämnar landskapsarkitekturen och den fysiska planeringen. Författarna beskriver vidare hur klimatberäkningar och dess tillhörande data kan stödja landskapsarkitekter och planerare i att fatta välgrundade beslut i sin designprocess. De understryker också vikten av att klimatberäkning inte bör ersätta landskapsarkitektens huvudsakliga designansvar. I stället menar de att arbete med klimatberäkningar bör vara ett komplement som integreras med landskapsarkitektens kunskaper, expertis och mänskliga intuition (Nikologianni & Albans, 2023).

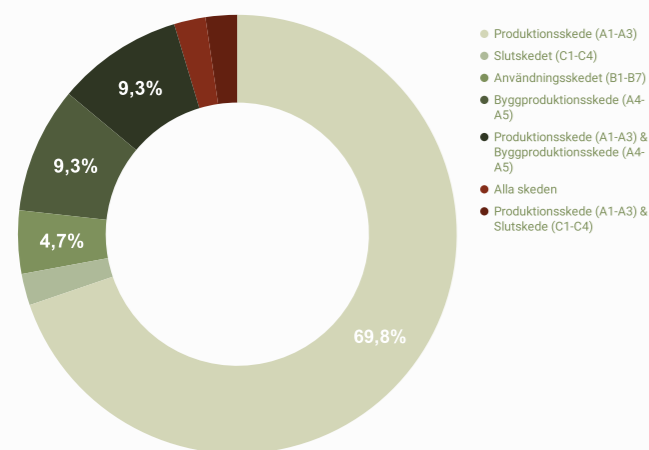
# Arbetar landskapsarkitekter med klimatberäkning?

## Arbetar du med klimatberäkning i designprocessen?



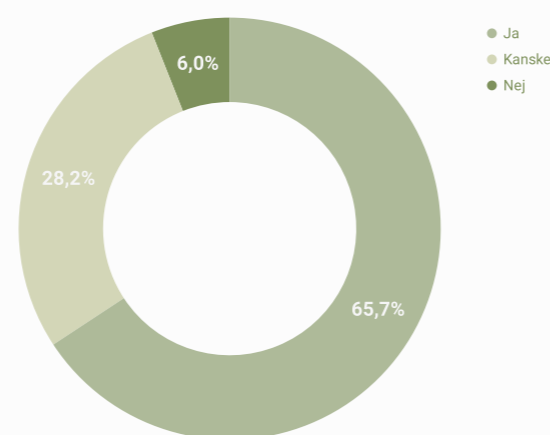
15,6% av 219 landskapsarkitekter svarade ja medan och 83,4% svarade nej. Det är totalt 34 personer av 219 respondenter.

## I vilka skeden arbetar du med klimatberäkning?



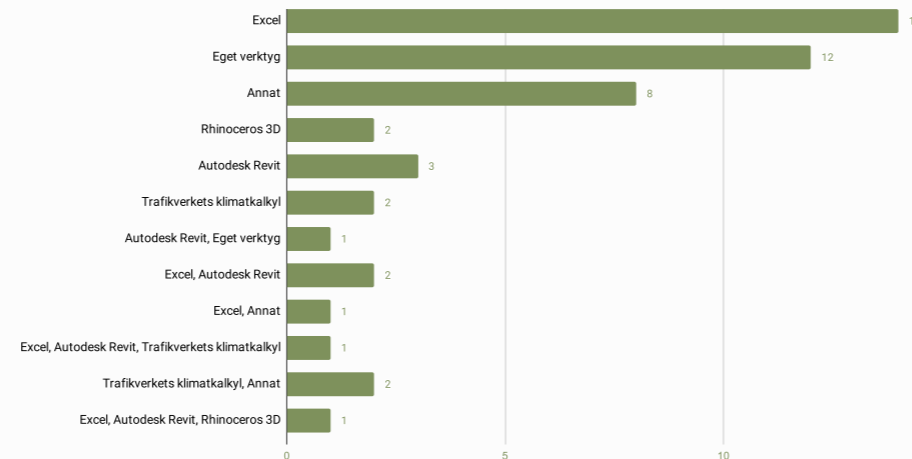
De flesta landskapsarkitekter som arbetar med klimatberäkning gör det i produktionsskede (A1-A3).

## Är du intresserad av att klimatberäkna i en 3D-modell?



65,7% av landskapsarkitekterna har ett intresse av att klimatberäkna i en 3D-modell.

## I vilket verktyg arbetar du med klimatberäkning?



Verktygen som används är främst Excel, men även egna verktyg som företagen utvecklat.

## Vad tar vi med oss?

I dag arbetar inte många landskapsarkitekter med klimatberäkning (84,4%), men majoriteten (69,8%) av de som gör det, utför sina beräkningar i produktionsskede (A1-A3). Det vanligaste verktyget för klimatberäkning var Excel, men ungefär lika många utför sina klimatberäkningar i egna verktyg. En del klimatberäknar också i 3D-modelleringsverktyg som Revit och Rhino, med och utan Excel. Många (65,7%) är intresserade av att klimatberäkna i en 3D modell, medan 28,2% svarade kanske och 6% nej. Vad tveksamheten beror på är svårt att tyda, kanske ser de ingen lönsamhet eller behov, eller kanske en högre inlärningskurva av att införa nya verktyg avskräcker en implementering.

## Landskapsarkitekters tankar och reflektioner kring klimatberäkning

Några landskapsarkitekter menar att eftersom kravet på klimatdeklaration enbart har omfattat byggnader har det inte utfört beräkningar, och beskriver att landskapsarkitekter kommer utföra klimatberäkning om det införs krav för det. De menar att klimatberäkningar för projekt inom landskapsarkitektur i första hand skapas om det finns en ambition eller ett krav från beställaren. De menar att klimatberäkningar inte utförs i hög grad eftersom beställare inte efterfrågar det.

Landskapsarkitekter tror att svårigheterna för klimatberäkning beror på avsaknaden av krav på klimatdeklaration för anläggning, vilket de menar resulterat i att landskapsarkitekturen halkar efter. De beskriver ett missnöje över att det inte finns något nationellt verktyg där alla landskapsarkitekter räknar med samma parametrar. De lyfter även att de klimatberäkningar som utförs blir schablonmässiga och svårjämförbara eftersom alla räknar med olika värden.

Flera landskapsarkitekter beskriver att de utför klimatberäkningar på egna initiativ, och ökar fokuset på klimat och miljö i sina projekt. Många av de som arbetar med klimatberäkning har utvecklat egna verktyg för klimatberäkning eller utför beräkningar i Excel. Ett kontor beskriver att de gör beräkningar kontinuerligt i Revit och undersöker materialens utsläpp direkt när någonting modellerats. Landskapsarkitekter beskriver att de försöker att hålla sig uppdaterade genom föreläsningar och utbildning inom materialens utsläpp. Ett kontor beskriver att de också arbetar aktivt med att undvika material med höga koldioxidutsläpp, de har slutat arbeta med betong och undviker användning av stålkantstöd i sina projekt.

De beskriver också att LCA-skeden är olika relevanta för olika teknikområden, där LCA-skeden ur en produkts livscykel kan vara relevanta för en entreprenör, medan en projektör snarare intresseras av om klimatberäkning utförs under program, system eller bygghandlingsfasen.

# Befintliga verktyg för klimatberäkning

Lin & Lin beskriver att trots växande forskning om kollagring, är verktyg för klimatberäkning inom landskapsarkitektur ännu i ett inledande skede (Lin & Lin, 2022). Även om det finns litteratur och kunskap kring kollagring och utsläpp, menar Nikologianni och Albans att kunskapen om dess relation till landskapsarkitektur är bristfällig eftersom det oftast rör byggnadsmaterial och byggnadsprojekt, där landskapet inte alltid inkluderas (Nikologianni & Albans, 2023).

## KLIMATBERÄKNINGS- VERKTYG

### LCPro, WSP

LCPro är ett av WSP's interna verktyg för klimatkalkyler som avdelningen Broteknik använder för att beräkna konstruktioners klimatpåverkan. LCPro kan både användas för att göra jämförelser mellan olika material och jämföra klimatpåverkan hos samma material men från olika leverantörer. Verktöget kan exportera LCA rapporter till byggaktörer. LCPro har tidigare använts för att beräkna klimatpåverkan i byggandet av Årstabron i Stockholm. Verktöget tillämpas vanligen i 3D-modelleringsprogrammet Tekla Structures där den automatiskt inhämtar material och mängder (WSP, 2023 b).

I en intervju med verktygets produktägare och ingenjören Elisa Khouri Chalouhi på WSP beskriver hon att LCPro behandlar LCA-skedena A1-A4 som innefattar produktions (A1-A3) -och transportske-

det (A4). Elisa beskriver att det går att importera material på två sätt: antingen från 3D-modelleringsprogram eller manuellt, baserat på till exempel AMA-mängder. Verktöget innehåller generiska data men kan även matas in med produktspecifika data. Elisa nämner också möjligheten att importera en materialdatabas för landskapsarkitektur med material och deras emissionsfaktorer från Excel till LCPro. Eftersom verktöget då innehåller landskapsarkitektens material och klimatpåverkan, är verktöget tidseffektivt och förenklar arbetsprocessen. Elisa redogör även för att verktöget har potential att utvecklas till att även kunna tillämpas i Revit som är ett mer förekommande 3D-modelleringsprogram för landskapsarkitekter, men att det inte funnits ett behov av tillämpningen ännu.

### BIMitigation, Sweco

BIMitigation är ett internt verktyg för klimatberäkning av Sweco som tillämpas i Revit och innehåller generiska data av hårdgjorda ytmaterial samt växtmaterial. Eftersom verktöget använder sig av generiska data lämpar det sig till att utföra jämförelser mellan material snarare än att det redovisar projektets slutgiltiga utsläpp. Verktöget används genom att material och utrustning färgkodas utifrån olika mängd koldioxidutsläpp i Revit och landskapsarkitekten kan på så sätt tydligt välja material som släpper ut mindre.

Materialen delas in i en skala av färger från grön, gulgrön, gul, orange, mörkare orange och röd färg, där gröna material släpper ut minst och röda material släpper ut mest. I verktöget finns växtmaterial kategoriserat som löv- eller barrträd, buske

eller gräsmatta, och kan visa hur mycket koldioxid de lagrar styckvis eller per kubikmeter. BIMitigation redovisar växthusgasutsläpp från material samt anläggning (A1-A3) och inkluderar därför inte utsläpp från transportskedet i projektet (Vestlund, 2023).

### CO2 kalkyl, Afry

CO<sub>2</sub> kalkyl är ett internt verktyg på Afry som används av landskapsarkitekter för att beräkna klimatutsläpp från hårdgjorda ytmaterial, växtmaterial och produkter. Kalkylen redovisar både koldioxidutsläpp och vilken mängd koldioxid som projektet kan lagra med hjälp av vegetationen. Verktöget är excelbaserat och beräknar material och produkter utifrån AMA koder. Afry har inhämtat sin miljödata från Pathfinder, Trafikverkets klimatkalkyl, BM 1.0, och även från forskning. CO<sub>2</sub> kalkyl redovisar utsläpp från material, anläggning samt transportskedet (A1- A4) (Sällberg, 2020).

### Klimatkalkyl, Trafikverket

Klimatkalkyl av Trafikverket är ett webbaserat beräkningsverktyg som är tillgängligt för externa användare genom en öppen version. Verktöget innehåller generiska data som kan ersättas med produktspecifika data och riktar sig främst till infrastrukturprojekt (TRafikverket, 2023 a). Verktöget redovisar beräkning av koldioxidutsläpp från byggande (A1-A5) till drift och underhåll (B1-B7) och har även möjlighet att redovisa mängden primärenergi som projektet förbrukar (Trafikverket, 2020).

### Pathfinder, Climate Positive Design

Pathfinder är ett kostnadsfritt webb- och appbaserat klimatberäkningsverktyg som är utformat för anläggningsprojekt och beräknar både koldioxidutsläpp och lagring. Verktöget redovisar även efter hur många år projektet kan bli klimatneutralt (Nikologianni & Albans, 2023). Pathfinder inhämtar data kring klimatutsläpp från Athena Impact Estimator och data om kollagring från myndigheten US Forest Service som verifierats av externa hållbarhetsspecialister, samt produktspecifika data från EPD:er. Pathfinder beräknar LCA-skedena A1-B4 vilket inkluderar utvinning, tillverkning, transport, installation, användning/underhåll och utbyte av byggmaterial. Verktöget beräknar även de utsläpp som genereras från rivning före byggnation och utsläpp från installationen av planteringar och jord (Climate Positive Design, 2023).

## Carbon Conscience App, Sasaki

Carbon Conscience App är ett webbaserat beräkningsverktyg utformat av det interdisciplinära företaget Sasaki och finns tillgängligt för externa användare att använda. Verktöget är specifikt utformat för att användas i tidiga skeden av designprocessen, för att underlätta med materialval i början av projektet. Verktöget undersöker både koldioxidutsläpp och lagring utifrån generiska data. Verktöget är utformat i USA men det framgår inte om datan är trovärdig att använda även utanför USA. Verktöget använder generiska data och fungerar genom att användaren ritar ut olika material i en karta vilket beräknar storlek på respektive yta som klimatberäknas (Nikologianni & Albans, 2023). De skeden av livscykeln som appen beräknar är produktionskedet och transporter (A1-A4), och eftersom appen fokuserar på tidiga skeden inkluderas inte drift och underhåll i beräkningar (Hardy & Frechette 2023).

## Landscape carbon calculator, Elder Creek Landscapes

Elder Creek Landscapes har utvecklat Landscape carbon calculator (LCC) som beräknar både koldioxidutsläpp och lagring. Verktöget är omfattande och innehåller 300 emissionsfaktorer med landskapsfokus, i kategorier som bland annat hårdgjorda ytor, dränering, dagvattenhantering, växter, jordar, transporter och utrustning. Verktöget har även möjlighet att beräkna lagrad koldioxid i planteringar. Det framgår inte om verktöget har testats utanför USA eller om det går att använda globalt (Nikologianni & Albans, 2023).

## Klimatkalkyl Landskap, Landskapslaget

Landskapslaget har i samarbete med Glaumann Landskap, AJ Landskap AB, Johanna Dehlin Landskap, Ekologigruppen AB och Mauritz Glaumann utvecklat ett verktyg för klimatkalkyl inom landskapsarkitektur. Verktöget är uppbyggt i Excel och beräknar CO<sub>2</sub> utsläpp genom koluttag av vegetation, kollager i mark, planteringar, material & marköverbyggnader, maskin & transport samt skötsel. Beräkningen sker i tidsperioder om 1, 25 och 50 år och är anpassat för projekt som torg, parker, gator och bostadsgårdar. Verktöget behandlar koldioxidutsläpp i skedena A1-B2 och inhämtar GWP värden från Trafikverkets klimatkalkyl, verktöget Future Built och Pathfinder av Climate Positive Design (HS30, 2023).

# JÄMFÖRELSE AV VERKTYGEN

## Relevans för landskapsarkitektur

Samtliga verktyg är utformade för landskapsarkitektur förutom LCPro och Trafikverkets kalkyl. Alla verktyg som är utformade för landskapsarkitektur beräknar både koldioxidutsläpp och lagring. De flesta verktyg beräknar och testar främst klimatutsläppen i tidiga skeden, då leverantör av material inte är fastställd. Verktöget som LCPro kan även användas i senare skeden vid utbyte av materialdata till exempelvis produktspecifika data i stället för generiska. Pathfinder inkluderar LCA-skedena fram till utbyte (B4) och Klimatkalkyl Landskap inkluderar LCA-skedena fram till underhåll (B2).

## Kontext

Verktögen Pathfinder, Carbon Conscience app och LCC är utformade utifrån ett amerikanskt sammanhang och är därmed inte testade för att vara trovärdiga i en europeisk eller svensk kontext. För klimatberäkningar för i Sverige kan det därför vara mer trovärdigt att använda sig av data från verktyg som LCPro, BIMitigation, Trafikverkets Klimatkalkyl, CO<sub>2</sub> Kalkyl, eller Klimatkalkyl Landskap eftersom de är skapade utifrån ett svenskt sammanhang.

## Visuellt

I Pathfinder, LCPro, Klimatkalkyl, CO<sub>2</sub> kalkyl, Klimatkalkyl Landskap och LCC beräknas utsläppen utifrån angivna mått eller mängder. I BIMitigation och LCPro beräknas utsläppen även visuellt utifrån Revit och Tekla medan Carbon Conscience app beräknar från en tvådimensionell utmärkning på skärmen.

## Jämförbarhet

Eftersom de olika verktygen använder sig av olika typer av materialdata försämras trovärdigheten och möjligheterna för jämförelser av projekt mellan verktygen. Vid utformning av en klimatberäkning ställs landskapsarkitekten inför ett val att antingen använda sig av generiska data för att få ett resultat som är mer trovärdigt att jämföra med övriga projekt, eller att använda produktspecifika data för att få ett resultat som är trovärdigt utifrån projektets faktiska utsläpp.

## Analys

Verktyg	Relevans för landskap	LCA-fas	Kol	Visuellt	Miljödata
LCPro	Potential	A1-A4	Koldioxidutsläpp	Ja, i Tekla	Generiska och EPD
BIMitigation	Ja	A1-A3	Koldioxidutsläpp och lagring	Ja, i Revit	Generiska
CO <sub>2</sub> Kalkyl	Ja	A1-A4	Koldioxidutsläpp och lagring	Nej	Generiska och EPD
Klimatkalkyl	Potential	A1-A4	Koldioxidutsläpp	Nej	Generiska och EPD
Pathfinder	Ja	A1-B4	Koldioxidutsläpp och lagring	Nej	Generiska och EPD
LCC	Ja	A1-A4	Koldioxidutsläpp och lagring	Nej	Generiska
Carbon Conscience app	Ja	A1-A3	Koldioxidutsläpp och lagring	Ja, genom 2D markering	Generiska
Klimatkalkyl Landskap	Ja	A1-B2	Koldioxidutsläpp och lagring	Nej	Generiska

Figur 22. Analys av befintliga klimatberäkningsverktyg.

# Exempelprojekt av klimatberäkningar

Vilka material och processer som inkluderas i klimatberäkningar inom landskapsarkitektur varierar. Eftersom det saknas gemensamma referensvärden, riktlinjer eller en branschgemensam materialdatabas för de vanligaste materialen inom anläggningsprojekt, uppstår svårigheter vid klimatberäkningar. Denna brist innebär att det är utmanande att jämföra klimatberäkningar för projekt från olika länder, företag och verktyg. Landskapsarkitekter använder sina egna verktyg och olika miljödata, vilket kan leda till noggranna och goda resultat för enskilda klimatberäkningar men komplexitet när det kommer till att jämföra med andra klimatberäkningar inom området. Denna variation medför också svårigheter när det gäller att förstå och tolka data samt resultaten av klimatberäkningar (Nikologianni & Albans (2023)).

Exempelprojekten genomgår beräkningar i olika skeden och innefattar varierande olika typer av miljödata och detaljeringsgrader. För vissa projekt genomförs klimatberäkningar enbart under produktionskedet (A1-A3), medan andra inkluderar byggproduktionskedet och även transport till byggarbetsplatsen (A4-A5) eller användningskedet (B1-7). Inkluderade aspekter kan variera i beräkningar, där vissa projekt innefattar marköverbyggnader medan andra utesluter det. I vissa fall inkluderas jordschakt och jordfyll, samt skötsel, medan dessa aspekter inte beaktas i andra projekt. Med hänsyn på dessa varierande klimatberäkningar är de inte direkt jämförbara, och det är viktigt att beakta dessa variationer noggrant vid granskning och tolkning av resultaten.

## Parkkvarteret

White arkitekter gjorde en klimatberäkning för en bostadsgård på bjälklag i produktionsskede (A1-A3) med en omfattning om 2075 m<sup>2</sup>. Kvarteret beräknades släppa ut totalt ca 45 ton CO<sub>2</sub>e för hela projektet eller 22 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Klimatberäkningen inkluderar kollagring från trädplanteringar vilket uppgår till ca -27 ton CO<sub>2</sub>e eller 13 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> som dragits av från det totala utsläppet. Klimatberäkningen beräknade en tidshorisont på 50 år (White arkitekter, 2022).

## Mellanhedsskolans skolgård

I en rapport från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) om klimatpositiva bygg- och anläggningar redovisas klimatberäkningar som utförts i BM i produktions- och transportskede (A1-A5). Däribland för en ombyggnad av Mellanhedsskolans skolgård ritad av Edge. Skolgårdens omfattning var 2500 m<sup>2</sup> och beräknades att släppa ut totalt ca 21 ton CO<sub>2</sub>e, och 8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ca 75% av koldioxidutsläppen tillhör produktionskedet (A1-A3), vilket innebär ett totalt utsläpp om ca 16 ton CO<sub>2</sub>e och 6 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> för projektets produktionskede (A1-A3) (Holmgren, 2022).

## Uppåkra förskola

Klimatberäkningar från Uppåkra förskola tillhörande Hemsö omfattar 1400 m<sup>2</sup> och beräknas att i produktions- och transportskede (A1-A5) släppa ut ca 15 ton CO<sub>2</sub>e och 11 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. De utsläpp som hör till produktionskedet (A1-A3) motsvarar ca 35% av projektets totala koldioxidutsläpp, vilket

innebär ett totalt utsläpp på ca 5 ton CO<sub>2</sub>e, och ett utsläpp på ca 4 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Holmgren, 2022).

## Stadsdelspark

I en masteruppsats av Sällberg (2020) som gjordes i samarbete med Afry beräknas koldioxidutsläpp av olika projekt inom landskapsarkitektur i Afrys verktyg CO<sub>2</sub> Kalkyl. Klimatberäkningarna beräknades under en tidsperiod på 40 år och uppskattades behandla skedena A1-B2 och inkluderade bland annat koldioxidutsläpp av förarbeten, marköverbyggnader, vegetation, skötsel, anläggningskompletteringar, konstruktioner och murverk.

Resultatet av studien visade att totalt koldioxidutsläpp från en stadsdelspark på 75 750 m<sup>2</sup> var 602 314 kg CO<sub>2</sub>e, och lagrade -4 718 686 kg CO<sub>2</sub>e. Koldioxidutsläppen resulterade i 7,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> och lagringen -62,3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

## Förskolegård

En förskolegård om 6 023 m<sup>2</sup> beräknades att totalt släppa ut 86 327 kg CO<sub>2</sub>e och lagra -154 742 kg CO<sub>2</sub>e. Räknat i m<sup>2</sup> beräknas platsen släppa ut 14,3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> och lagra -25,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

## Gaturum

I uppsatsen beräknades även ett gaturum på 10 820 m<sup>2</sup> att släppa ut totalt ca 294 640 kg CO<sub>2</sub>e och lagra -51 732 kg CO<sub>2</sub>e vilket resulterade i en total klimatpåverkan på ca 242 907 kg CO<sub>2</sub>e/kg. I m<sup>2</sup> beräknades platsen släppa ut ca 27,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> och lagra -4,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Sällberg, 2020).

## Ursviks torg

I en masteruppsats i samarbete med Sweco gjordes ett gestaltungsförslag och klimatberäkningar av Ursviks torg i verktyget BIMitigation. Klimatberäkningarna inkluderade markbeläggning, kantstöd, trappor, fontän och utrustning som möbler, soptunnor, cykelställ, pollare osv. Resultatet av klimatberäkningen på torget var totalt ca 35 039 kg CO<sub>2</sub>e. Torgets storlek var 2250 m<sup>2</sup> vilket innebär ett utsläpp på ca 15,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Denna klimatberäkning inkluderade dock inte fyll, marköverbyggnader eller vegetation, utan mestadels ytor.

## Analys av exempelprojekten

Projekt	Storlek m <sub>2</sub>	LCA-fas	Vegetation	Koldioxidutsläpp	Kol lagring	Verktyg
Parkkvarteret	2075	A1-A3	Ja	22 kg CO <sub>2</sub> e	-13 kg CO <sub>2</sub> e	Excel
Mellanhedsskolans skolgård	2500	A1-A5	Nej	8 kg CO <sub>2</sub> e	-	BM
Uppåkra förskola	1400	A1-A5	Nej	11 kg CO <sub>2</sub> e	-	BM
Stadsdelspark	75 750	A1-B2	Ja	7,7 kg CO <sub>2</sub> e	-70 kg CO <sub>2</sub> e	CO2 Kalkyl
Förskolegård	6023	A1-B2	Ja	14,3 kg CO <sub>2</sub> e	-25,7 kg CO <sub>2</sub> e	CO2 Kalkyl
Gaturum	10820	A1-B2	Ja	27,2 kg CO <sub>2</sub> e	-4,7 kg CO <sub>2</sub> e	CO2 Kalkyl
Ursviks torg	2250	A1-A3	Nej	15,5 kg CO <sub>2</sub> e	-	BIMitigation

Figur 23. Analys av tidigare utförda klimatberäkningar inom landskapsarkitektur. De projekt eller platser som redovisas har beräknats i olika LCA-skeden och omfattar olika mycket delar av projekten och platserna vilket bör tas i hänsyn vid inläsning. Alla beräkningar är gjorda på olika villkor.

# Klimatberäkningsmetoder på WSP

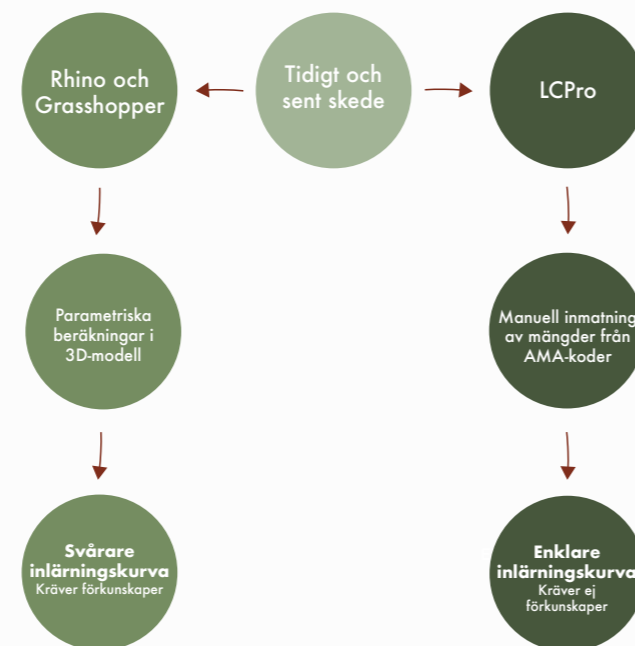
Klimatberäkningar kan göras i olika skeden av ett projekt, både i tidiga och sena skeden. De kan utföras manuellt så väl som i automatiserade processer. Enligt jämförelsen av verktyg brukar klimatberäkningar i tidiga skeden oftast utföras parallellt under designprocessen och kan utföras i 3D-modelleringsverktyg för att visuellt visa vilka utsläpp olika ytor har. Klimatberäkningar i senare skeden kan utformas från det färdiga projektets AMA-beskrivning och beräkna utifrån material och mängder. De olika skedena kräver olika kompetens och inläring. Det är enklare att klimatberäkna i sena skeden, men bättre att göra det tidigt.

Under uppsatsens inledande skede var ambitionen att utföra klimatberäkningar i Rhino och Grasshopper samt LCPro, vilket därefter ändrades till att enbart klimatberäkna i Rhino och Grasshopper eftersom LCPro är ett verktyg som tillämpats under praktiken på WSP och inte var lika intressant som att utforska klimatberäkning i parametriska verktyg.

Eftersom den höga inlärningskurvan i Rhino och Grasshopper, är manuella klimatberäkningar i LCPro ett alternativt klimatberäkningsverktyg för de landskapsarkitekter som vill utföra klimatberäkningar, men inte har kompetens inom Rhino och Grasshopper. I intervjun med Elisa Khouri Chaloui beskriver hon att det genom import av en materialdatabas för landskapsarkitektur i LCPro, går att lagra de vanligast förekommande materialen inom landskapsarkitektur i verktyget där projektets utsläpp kan redovisas direkt genom diagram.

Elisa menar att om det görs en tillämpning av LCPro i Revit, utvecklar det arbetsmetoden ytterligare och möjliggör klimatberäkning för de landskapsarkitekter som har kompetens inom Revit. Landskapsarkitekten kan då välja att utföra klimatberäkning på två sätt: antingen från 3D-modelleringsprogram eller manuellt, baserat på till exempel AMA-mängder i projektets tekniska beskrivning.

## Klimatberäkning



Figur 24. Möjliga klimatberäkningsmetoder för landskapsarkitekter på WSP.

# Utmaningar vid klimatberäkning

Några av de utmaningar som identifierats med klimatberäkning i litteraturstudien är att data är potentiell, och resultaten därför är viktiga att läsa som just potentiell klimatpåverkan (Kuittinen et al. 2021). Om data inte betraktas på detta sätt sänker det trovärdigheten av klimatberäkningar. Ytterligare utmaningar rör uppdatering av materialdatabaser, eftersom branschen uppdateras kontinuerligt när nya produkter släpps, behöver databaser samtidigt hållas relevanta och spegla marknaden.

Andra utmaningar med klimatberäkning som identifierades i både enkät- och intervjustudien är avsaknaden av ett gemensamt verktyg och en branschgemensam databas för landskapsarkitektur, vilket bidrar till att det är svårare att göra jämförelser av olika projekt inom landskap.

Enkät- och intervjustudien visade också att de flesta yrkesverksamma landskapsarkitekterna utför klimatberäkningar i egna verktyg, och med egna materiallistor som ofta inte redovisas, på grund av detta försämrar det validiteten för klimatberäkningarna. Ett branschgemensamt verktyg hade därför bidragit till jämförbara klimatberäkningar företag mellan, och också ökat förtroendet för de som utfärdar klimatberäkningarna. I dag utför kontor klimatberäkningar på egna initiativ, vilket innebär att de som arbetar med klimatberäkning också är de företag som har resurser att utveckla sina egna verktyg. Om ett krav på klimatdeklaration av landskap och anläggning eller ett branschgemensamt verktyg skulle införas hade också fler företag prioriterat arbete och ökat kompetensen inom klimatberäkning.

En utmaning vid klimatberäkning i bygghandlingskede kan också vara lagen om offentlig upphandling som eventuellt kan sätta käppar i hjulet för de produkter och material som föreskrivs, på grund av "eller likvärdig". Genom att krävställa ett maximalt tillåtet kg CO<sub>2</sub>e för en produkt kan det gå att föreskriva en sten som förhåller sig till de utsläpp som den önskade produkten har enligt klimatberäkning. Det skulle exempelvis kunna föreskrivas som "S:T Eriks betongplatta eller likvärdig betongplatta med likvärdigt GWP-värde". Det hade möjligtvis begränsat valet av betongplattor till de leverantörer som har tillgängliga EPD:er och kan redovisa produktens GWP-värde.



# LANDSKAPSARKITEKTENS PRAKTIK

Avsnittet redogör för landskapsarkitektens tradition, arbetssätt och förekomsten av digital 3D-modellering bland yrkesverksamma landskapsarkitekter i dag.



# Landskapsarkitektens tradition och möjligheter

Cantrell och Mekies (2018) beskriver svårigheter med implementering av nya teknologier i en etablerad bransch, och skildrar den upplevda utmaningen av att vara den första som tillämpar en ny arbetsmetod. De lyfter också landskapsarkitektens val och avvägning av att antingen vara i teknikens framkant eller inte. De beskriver att landskapsarkitektens verktyg de senaste decennierna har varit en tillämpning av analoga verktyg i digital form genom datorprogram, där digitala verktyg främst har använts för att rita och modellera digitalt med hjälp av analoga verktyg som pennor och papper. Författarna uttrycker att landskapsarkitekter i stället borde använda sig av digitala verktyg för att effektivisera arbetet i de analoga verktygen. De menar att datorn inte längre är en rival till handskissandet och beskriver en konflikt kring en analog eller digital arbetsprocess där somliga inom branschen försvarar handskissandet som om digitalt skissande utesluter det analoga. Cantrell och Mekies menar att det är viktigt att vara medveten om att varken en analog eller digital metodik definierar landskapsarkitekturens disciplin, och att vad som är viktigt för att driva disciplinen framåt i sin samtid är att utveckla en förståelse för hur och när respektive verktyg kan användas och vilka resultat det kan ge.

I enkätstudien kommenterade yrkesverksamma landskapsarkitekter att tillämpning av 3D-verktyg varit en kostnadsfråga, och eftersom projekten ofta är prispressade finns det inte utrymme att rita i 3D. Det framgick också att entreprenörer som anlägger inte använder 3D-modeller utan 2D ritningar i CAD, varför projektering i 2D varit tillräckligt. I studien lyftes även de svårigheter som finns vid utformning av bygghandlingar utifrån byggstandarder i 3D-modelleringsprogram som en anledning till att 3D-

delleringsverktyg inte används. I studien uttrycker erfarna landskapsarkitekter ett bristande behov av att rita i 3D eftersom de med sin erfarenhet har lätt för att föreställa sig hur miljöerna kommer att se ut i 2D. Uppdragsledande och beställande landskapsarkitekter beskriver också att de inte arbetar med 3D-modellering men ansvarar för arbetsgrupper där landskapsarkitekter inom deras projekt arbetar i verktygen.

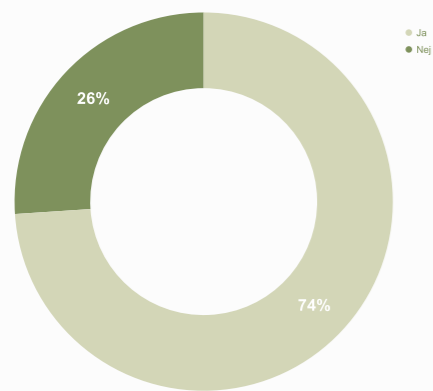
Enkätstudien visade på att 74% av de yrkesverksamma landskapsarkitekter som besvarat enkäten arbetar i digitala 3D-modelleringsverktyg. De vanligast använda verktygen var Revit (44,4%) och SketchUp (43,3%), följt av AutoDesk AutoCAD Civil 3D programmen (20,3%). De flesta, (81,3% av respondenterna lärde sig 3D-modelleringsverktygen i sitt arbetsliv, medan 25,7% lärde sig de under sin utbildning, och 20,9% privat. Eftersom majoriteten (64,1%) av svarspersonerna examinerades mellan 2010-2022, visade enkäten på att de yngre i branschen har en mer utbredd erfarenhet och kompetens inom verktygen medan de äldre har ett mindre behov av dem.

## Klimatberäkning i 3D

Klimatberäkningar kan utföras i olika form, och även i 3D-modelleringsverktyg. En styrka med modellering i Rhino är tillägget Grasshopper som möjliggör parametrisk modellering inuti 3D modellen och effektiviserar utforskande i modellen. Genom att klimatberäkna i Rhino och Grasshopper går det att testa olika lösningar utifrån angivna toleranser av koldioxidutsläpp vilket förenklar sökandet efter klimatpositiva lösningar.

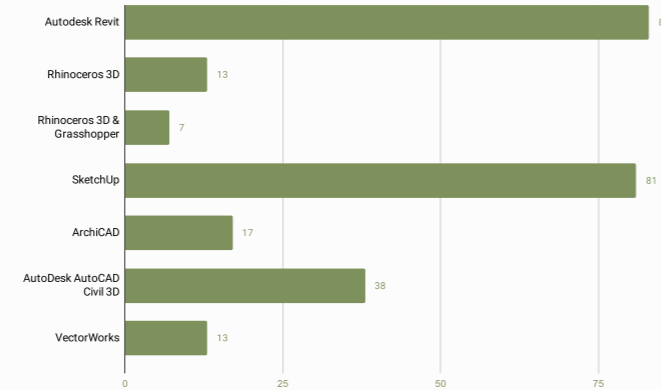
# Ritar landskapsarkitekter i 3D?

## Arbetar du i digitala 3D-modelleringsverktyg?



74% av respondenterna svarade att de arbetar i digitala 3D-modellering och 26% gör inte det.

## Vilket 3D-modelleringsverktyg använder du?

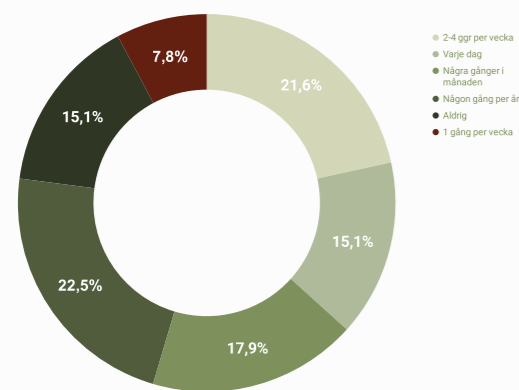


De vanligast använda 3D-modelleringsverktygen bland respondenterna är Autodesk Revit och SketchUp som används i nästan lika hög grad, följt av Autodesk Auto CAD Civil 3D.

## Vad tar vi med oss?

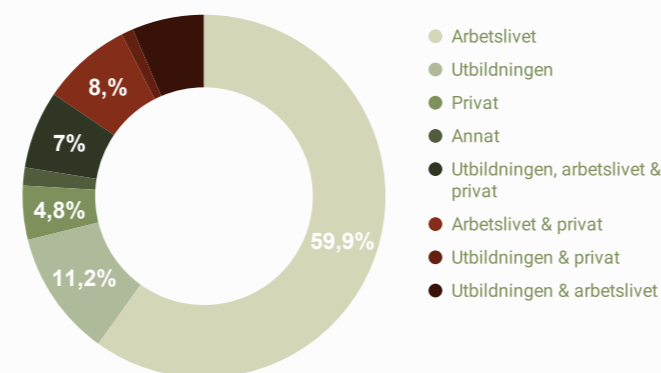
Hela 74% svarar att de arbetar i 3D, medan 26% inte gör det, det är siffror som är viktiga att läsa med vetskapen om att 64,1% av respondenterna är utexaminerade de senaste 12 åren och troligtvis tillhör en generation med digitaliseringsvana. De flesta respondenterna arbetar i 3D-modelleringsverktyg, ungefär hälften arbetar i 3D mer sällan och hälften arbetar ofta i verktygen. De vanligaste verktygen är Autodesk Revit och SketchUp, och de flesta har lärt sig de i arbetslivet, men också från flera platser.

## Hur ofta arbetar du i 3D?



44,5% av respondenterna arbetar i 3D varje vecka, medan 55,5% arbetar i 3D några gånger i månaden, någon gång per år eller aldrig. Lika stort antal landskapsarkitekter som ritar i 3D varje dag (15,1%), ritar också aldrig i 3D.

## Var lärde du dig 3D-modelleringsverktyg?



En majoritet om 59,9% av deltagarna har lärt sig 3D-modelleringsverktyg i arbetslivet och enbart 11,2% under sin utbildning. 4,8% lärde sig verktygen privat, och 22% har lärt sig verktygen på flera av platserna.

## Landskapsarkitekters tankar och reflektioner kring 3D-modellering

Landskapsarkitekter beskriver deras olika syn på 3D modellering där somliga uttrycker ett stort behov av 3D-modellering i branschen och menar att branschen har halkat efter. De beskriver en pågående förändring i branschen och att landskapsarkitekter i dag arbetar med 3D i högre grad än tidigare. De kommenterar att landskapsarkitektprogrammet inte följer med i den utveckling som pågår i branschen och att få nyexaminerade landskapsarkitekter har kompetens i 3D-modelleringsverktyg, och riktar kritik kring ansvar mot SLU.

De beskriver orsaker till att landskapsarkitekter ligger efter inom 3D-modellering, och uttrycker ett bristande behov av att rita i 3D eftersom de ritar i 2D genom plan och sektion och med sin erfarenhet har lätt för att föreställa sig hur miljöerna kommer att se ut. De kommenterar även vikten av att arbeta fysiskt i 3D med modeller och inte enbart digitalt. Uppdragsledande och beställande landskapsarkitekter beskriver att de inte arbetar med 3D-modellering men att de ansvarar för arbetsgrupper där landskapsarkitekter inom deras projekt arbetar i verktygen.

De beskriver också att inläring och tillämpning av 3D-verktyg varit en prisfråga, eftersom projekten ofta varit prispressade har det inte funnits utrymme att rita i 3D då projektering av mark och landskap är mycket mer tidskrävande än traditionell 2D projektering. Landskapsarkitekter som jobbar på arkitektkontor beskriver önskemål från husarkitekter och beställare för projektering i Revit eller i Civil 3D, men menar att Revit är ett program utvecklats för att rita hus med vissa anpassningar för landskap, vilket innebär att husobjekt används för att projektera mark. De lyfter också att de markentreprenörer som anlägger marken inte använder 3D-modeller utan 2D ritningar och dwg modeller, vilket innebär att projektering i 2D varit tillräckligt. Ytterligare reflektioner handlar om svårigheter att anpassa 3D-modeller i Revit till beskrivningen i byggstandarderna "Bygghandlingar 90" för hur en ritning för en markanläggning ska se ut.

# Sammanfattning enkätstudier

Enkätstudien bidrog till en ökad förståelse för den samtid som dagens yrkesverksamma landskapsarkitekter lever i, och hur de är formade av sin tid. Enkäterna visade att 74% av de yrkesverksamma landskapsarkitekterna som besvarat enkätstudien och som främst är utexaminerade mellan 2000-2022 har kompetens inom digitala 3D-modelleringsverktyg. Studien visade att 15,6% av respondenterna arbetar med klimatberäkning, och att 65,7% av dessa är intresserade av att klimatberäkna i en 3D-modell. Det innebär att det dels finns ett intresse bland deltagarna, och en kompetens för att utföra klimatberäkningar i 3D-modelleringsverktyg som Revit, SketchUp samt i AutoDesk, AutoCAD och Civil 3D verktygen. De flesta respondenterna utför klimatberäkningar i produktionsskede (A1-A3) (69,8%), men somliga beräknar i både produktions och användningsskede (9,3%) samt i enbart användningsskede (9,3%).

Enkätstudien hade störst svarsfrekvens från landskapsarkitekter som utexaminerats mellan år 2010–2023 (64,1%), 2000–2010 (19,8%) och därefter bland de som utexaminerats mellan år 1990–2000 (10,6%). Det innebär ett stort bortfall bland de som utexaminerats mellan 1970 och 1990 (5,1%). Detta bortfall inkluderar troligtvis seniora landskapsarkitekter som kanske inte arbetar med eller har ett intresse för 3D-modellering eller klimatberäkning. I dag är många skeptiska inför att trycka på länkar i e-postmeddelanden och blir även informerade av arbetsgivare att inte göra det.

Eftersom enkätstudien visade att 74% av de deltagande landskapsarkitekterna arbetar i 3D-modelleringsverktyg hade studien troligtvis en högre svarsfrekvens hos de landskapsarkitekter som

faktiskt arbetar i 3D-modelleringsverktyg och som också har ett intresse av 3D-modellering än de som inte gör det. Om resultatet skulle presenteras som en representation av alla landskapsarkitekter i Sverige skulle det ge ett missvisande resultat. Eftersom hela 64,1% av de deltagande var examinerade de senaste 12 åren tyder det på att de flesta deltagande tillhör en relativt ung yrkesgrupp som generellt har ett större intresse och en vana för digitalisering än vad exempelvis seniora landskapsarkitekter har. Resultaten representerar därför förmodligen en yngre generation av landskapsarkitekter.

An aerial perspective of a landscaped waterfront area. A concrete retaining wall runs along the water's edge. Behind it, a series of terraced levels are created with dark gravel. These levels feature various landscaping elements: clusters of white flowers, pink flowers, and several trees. Benches are placed on the gravel paths. People are shown walking and sitting on the benches, providing a sense of scale. The background shows a lush green hillside with more trees under a clear sky.

# PARAMETRISK DESIGN

Avsnittet ger en inblick till parametrisk design och hur en parametrisk designprocess ser ut i Grasshopper. Avsnittet lyfter hur parametriska verktyg skiljer sig från konventionella designverktyg och ger praktiska exempel på hur verktygen kan tillämpas inom landskapsarkitektur.

# Bakgrund till parametrisk design

I sin avhandling lyfter Roland Hudson (2010) sin tolkning av parametrisk design som ett samspel mellan komponenter, styrda av parametrar. Hudson menar att det genom justering av parametrar kan genereras en mångfald av resultat. Han framhäver att parametrar kan inkludera olika kriterier och skapa varierande modeller och kombinationer anpassade utifrån dessa. Enligt Hudson öppnar parametriska modeller upp möjligheter att utforska och lösa arkitektoniska utmaningar genom att testa och förfina alternativa förslag.

Professorn och arkitekten Robert Woodbury (2010) menar att gestaltande i parametriska verktyg snarare än analoga eller andra digitala 3D-modelleringsverktyg möjliggör mer effektiva arbetsprocesser. I stället för att formgivaren ritar i konventionella designverktyg genom att exempelvis rita varje kub för sig, beskriver han att arbetsflödet i parametriska verktyg sker genom visuell programmering. I en sådan utformning skapas och redigeras ett objekt genom att alla beståndsdelar är sammankopplade och tillsammans utgör en gemensamt redigerbar utformning.

Förhållandet mellan komponenterna möjliggör en interaktiv modell genom att redigering av en kub har möjlighet att förändra alla kuber i modellen. I stället för att manuellt rita varje kub för sig, går det att programmera ett system som skapar ett önskat antal kuber med önskade dimensioner, som kan förändras tillsammans, och parametriskt (se figur 26).

Woodbury hävdar att justeringar av parametrar i modellen, såsom att höja eller sänka ett värde, har en genomgripande effekt på hela modellen.

I exempelvis utformningen av ett staket innebär detta att en ändring av parametern eller värdet som styr handräckets höjd kan redigera hela räcket på en gång. I en analog designprocess eller i andra digitala 2D och 3D-modelleringsverktyg skulle varje stolpe kräva individuell justering. Woodbury förklarar därmed att systemet som bygger upp modellen, genom redigerbara relationer möjliggör för formgivaren att utforska ytterligare idéer genom att minska den tid som vanligtvis krävs för omarbete eller bearbetning.

Cantrell och Mekies (2018) menar att en tillämpning av parametriska verktyg inom landskapsarkitektur kan bidra till större möjligheter för utveckling av dagens designverktyg, arbetsflöden och metoder. De belyser värdet av att en modell kan övergå från att enbart vara en visuell representation av ett projekt, till att innehålla parametriska förhållanden som styr objekt utifrån numeriska värden. De menar att utforskande av modeller och objekt i parametriska verktyg kan förse landskapsarkitekten med nya perspektiv och utveckla designvalen i sina projekt (Cantrell och Mekies, 2018)

# Att förstå algoritmen

Till skillnad från andra programmeringsverktyg är Grasshopper ett algoritmiskt designverktyg med ett visuellt gränssnitt där en algoritm i stället ser ut som ett flödesschema eller flödesdiagram. Arbetsprocessen i Rhino och Grasshopper sker parallellt men i olika gränssnitt och fönster. Processen utförs till genom en "algoritm" och en "geometri", där algoritmen likt ett recept hanterar och bearbetar data, medan geometrin är ingredienserna som algoritmen appliceras på och bildar det färdiga objektet. Algoritmen utgörs av komponenter som anger vad som ska utföras med geometrin och kan exempelvis bestå av numeriska värden som multipliceras med geometrin för att skapa flera objekt (se figur 26). Geometrin kan utformas både Rhino eller Grasshopper och algoritmen i Grasshopper, och där samspelet mellan verktygen skapar objekt.

I Grasshopper är en algoritm en uppsättning regler och instruktioner i en steg för steg procedur för att beräkna och bearbeta data för att utföra en definierad uppgift. I Grasshopper gränssnittet finns det komponentflikar och en canvas, komponentflikarna innehåller alla de funktioner som behövs för att utforma en algoritm eller geometri och canvasen är arbetsytan där komponenter appliceras och utformar den visuella algoritmen.

En algoritm är en uppsättning av uppgifter eller kommandon i en ordning. Algoritmen samlar information, bearbetar informationen och genererar ett resultat. En komponent är som en mindre algoritm som samlar data från en eller flera källor, håller datan och genererar ett resultat. För att utforma en algoritm behövs data från relevanta komponenter och kopplingar sinsemellan i den ordning som de fungerar i för att ge ett resultat. En algoritm i

Grasshopper består alltså av en samling sammankopplade komponenter i sin logiska ordning (Khabazi, 2012).

Genom att sammankoppla in och utdata på olika komponenter kan ett skript ta form, liknande rutor sammankopplade med kablar. Genom visuell programmering utgör de sammankopplade rutornas olika egenskaper tillsammans en kod för en utformning. En kod kan generera olika alternativ av en utformning baserat på vilka komponenter som sammankopplas, och vilka kriterier och variabler som tillåts styra dem (Ervin, 2018).

## Mål: en kopp te



Figur 25. Vid skapande av en kopp te är tepåsen, hett vatten och socker indata, och den färdiga koppen utdata.

## Komponentens logik



Figur 26. En komponent med numeriska värden, geometri som indata och fyra kuber som utdata.

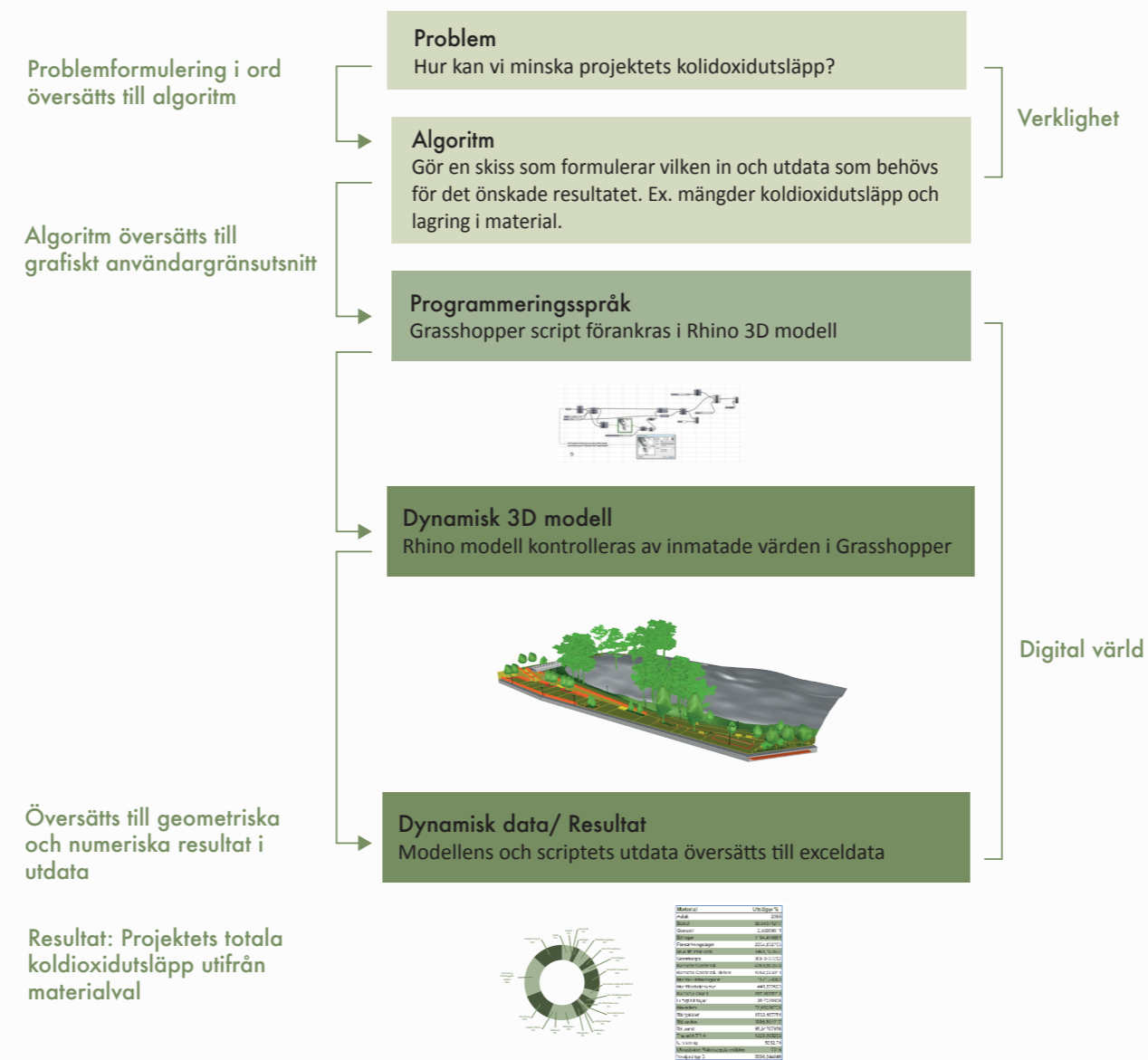
# En parametrisk designprocess

Designprocessen i 3D-modelleringsprogrammet Rhinoceros och dess parametriska tillägg Grasshopper utförs genom upprättande av ett skript, vilket innebär att en kod eller kommando ger instruktioner och på så vis genererar en formgivning. Inuti programmen används programmering för att skapa och styra gestaltningen. Parametrarna innehåller data, medan komponenterna och geometrin reagerar på dessa data för att generera resultat som visas i designen. Det grafiska gränssnittet i Grasshopper möjliggör programmering där det går att koppla samman komponenter visuellt för att utforma parametriskt styrda 3D-modeller (Meier, 2012).

Designprocessen i Grasshopper utgår från en problemställning kring vad för problem som ska undersökas, därefter görs en fysisk skiss som definierar vilken typ av in- och utdata som är nödvändig för det önskade resultatet. Genom visuell programmering i Grasshopper selekteras därefter de komponenter som är nödvändiga för resultatet och sammankopplas med numeriska värden som mängder koldioxidutsläpp eller färgkoder.

När skriptet förankras i 3D-modellen omvandlas den dynamiska modellen till de färger som selekterats och ytornas klimatpåverkan beräknas. Det går därefter att visa klimatberäkningens resultat direkt i Grasshopper eller exportera datan till Excel för att skapa diagram.

## Designprocessen i Grasshopper



Figur 27. En del av den parametriska designprocessen för klimatberäkning vid Kajpromenaden.

# Varför utföra klimatberäkningar i parametriska verktyg?

Att utföra klimatberäkningar i Rhino och Grasshopper var ingen självklarhet, verktygen innebär både en hög inlärningskurva och är inte vanliga verktyg bland landskapsarkitekter i Sverige, som det gick att utläsa i enkätstudien.

När fördelarna med klimatberäkning i Grasshopper identifierades, väcktes en nyfikenhet kring att utföra klimatberäkningar i Rhino och Grasshopper. De möjligheter som parametriska funktioner verkade ha i en 3D-modell vid klimatberäkning övertygade mig till att utföra parametriska klimatberäkningar. Klimatberäkning i parametriska verktyg använder koldioxidutsläpp utifrån angivna toleranser som parameter vid testande av olika designalternativ, vilket effektiviserar sökandet efter klimatpositiva lösningar.

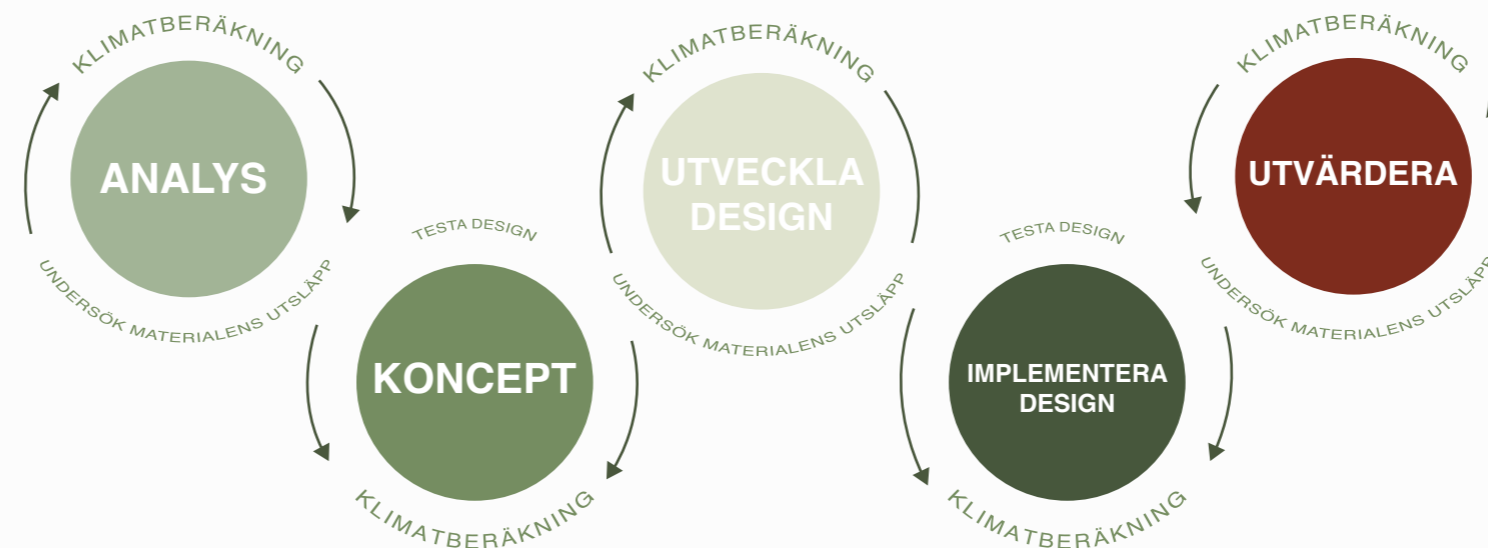
Eftersom innehållet i 3D-modellen kan utformas i Grasshopper och därmed styras parametriskt, är en stor fördel med att klimatberäkna i Rhino och Grasshopper i stället för exempelvis Revit att objektens och ytornas klimatpåverkan går att beräkna parametriskt. Det innebär att det går att beräkna koldioxidutsläppen av ytor eller objekt i projektet innan designen är fastställd, eftersom mängden kg CO<sub>2</sub>e är en sammankopplad parameter redan vid utformning av objektet. Det betyder att objekten går att testa utifrån deras mängd koldioxidutsläpp, och välja det med lägst utsläpp i en tidig designprocess. I gestaltningen är objektens klimatpåverkan en kontinuerlig parameter som beräknas automatiskt vid eventuella förändringar.



# Klimatberäkning i den iterativa designprocessen

Klimatberäkning i Rhino och Grasshopper appliceras i den iterativa designprocessen genom att 3D modellen testas och utforskar designalternativ kontinuerligt under designprocessen, parallellt med övriga processer. Det innebär att landskapsarkitekten automatiskt informeras om modellens och objektens klimatpåverkan under designprocessen, samtidigt som den projekterar och fattar designbeslut. Klimatberäkning i 3D modellen syftar till att vara en kompletterande arbetsmetod och ett ytterligare perspektiv att testa gestaltningen utifrån. Det kan hjälpa landskapsarkitekten att fatta beslut kring objektens och platsens utformning med koldioxidutsläpp som fokus.

Genom att utforska objektens klimatpåverkan och dess relation till varandra visuellt, förenklar 3D modellen förståelsen av platsen och hjälper landskapsarkitekten att föreställa sig platsen samtidigt som dess klimatpåverkan tydliggörs. Kontinuerligt testande av materialens koldioxidutsläpp på ytor parallellt med 2D projekteringen i CAD hjälper formgivaren att välja material utifrån dess utsläpp i tidig fas innan utformningen fastställs. Att arbeta parallellt med klimatberäkning erbjuder landskapsarkitekten ytterligare en lins i designprocessen, och syftar inte till att ersätta konventionella projekteringsmetoder.



Figur 28. Den iterativa designprocessen.

# Klimatberäkning av Kajpromenaden

**Uppdrag:** Bygghandling

**Plats:** Södertälje kanal

**Storlek:** 3 600 m<sup>2</sup>

**Beställare:** Trafikverket  
och Södertälje kommun

**År:** 2016-2026

## Södertälje sluss och kanal

Södertälje sluss och kanal är en del av Mälmarprojektet som på uppdrag av Sjöfartsverket och Trafikverket syftar till att förbättra sjösäkerheten och tillgängligheten genom att muddra och bredda kanalen under vattenytan för att inrymma större fartyg.

Projektet sträcker sig längs med Södertälje kanal och omfattar anläggning av gång-cykelförbindelser och nya vistelseytor längs med hela stråket. Projektet beräknas vara klart 2026. (Trafikverket, 2023 b).

Kanalstråket har en sammanhängande och enhetlig karaktär som använder återbrukade material från staden. Material som används frekvent i hela projektet är trä, granit och rosttrögt stål (corténstål).

## Kajpromenaden

Kajpromenaden är ett utsnitt av projektet och är beläget i mitten av kanalstråket. Kajpromenadens projekterade område är omkring 3 600 m<sup>2</sup> och ansluter till en befintlig slänt med en befintlig utsiktsplats och skulpturer. Kajpromenadens utformning består av små- och storgatsten, trätrall, specialritad utrustning av trä och rosttrögt stål och även kantstöd av rosttrögt stål. All smågatsten vid Kajpromenaden är återbrukad från Grödingevägen i Södertälje (ca 550 m<sup>2</sup>) beläget ovanför slänten vid Kajpromenadens område. Det byggs även en boulevard och en krönbalk med en hylla för sittplatser intill kanalen.

# Kajpromenadens innehåll

## Markbeläggning

Smågatsten återbrukad 612 m<sup>2</sup>  
Storgatsten fris 70 m<sup>2</sup>  
Asfalt 424 m<sup>2</sup>  
Stenmjöl 118 m<sup>2</sup>  
Trätrall 585 m<sup>2</sup>  
Grus 83 m<sup>2</sup>  
Ängsgräsmatta 825 m<sup>2</sup>

## Kantstöd

Kantstöd i rosttrögt stål 94 m<sup>2</sup>  
Granitkantstöd 21 m<sup>2</sup>

## Murar

Beklädnadsmur av granit 17 m<sup>3</sup>  
Blockstensmur av granit 2 m<sup>3</sup>  
Mur stenkista 31 m<sup>3</sup>

## Trappor

Granittrappa 3,5 m<sup>3</sup>

## Räcken och staket

Fallskyddsräcke 83 m  
Fallskyddsräcke med handledare 12 m  
Räcke med grind längd krönbalk 53 m

## Vegetation

### Träd

Pinus x schwerinii - Hybridtall 4 st  
Amelanchier laevis fk BÄCKLÖSA E - Kopparhäggmispel 11 st  
Pinus sylvestris - Tall 7 st  
Alnus incana 'Laciniata' - Flikbladig gråal 2 st  
Prunus cerasifera fk CECILIA- Körsbarsplommon 3 st  
Prunus avium fk SVEA E - Fågelbär 2 st

## Buskar

Juniperus communis 'Repanda' - Dvärg-en 100 st  
Juniperus horizontalis 'Blue Chip' - Kryp-en 52 st  
Calluna vulgaris - Höstljung 246 st  
Cornus sericea 'Farba' E - Videkornell 12 st  
Rosa spinosissima - pimpinellros 4 st

## Perenner

Hemerocallis 'Joan Senior' - Daglilja 100 st  
Bergenia 'Baby Doll' - hjärtbergenia 382 st

## Prydnadsgräs

Calamagrostis brachytricha - Diamantrör 558 st  
Miscanthus sinensis 'Ferner Osten' - Glansmiskantus 138 st  
Luzula nivea - Silverfryle 793 st

## Utrustning

### Möbler

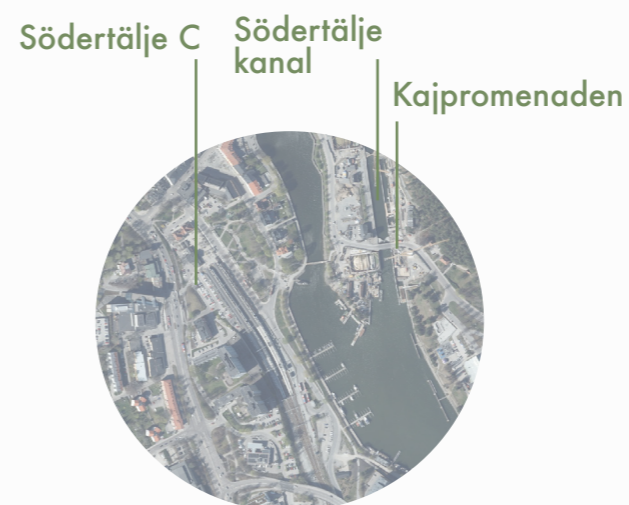
Lappset Scandinavia soffa 7 st  
Lappset Scandinavia bord 2 st  
Vestre City papperskorg 6 st

## Specialritade möbler i trä och rosttrögt stål

Bänk 1 st  
Träsits U4ab 2 st  
Träsits U5 1 st  
Träsits U6 1 st  
Träsits TA1, TA2 2 st  
Hylla 1 st

## Belysning

Murbelysning Iguzzini Walky 11 st  
Stolpe Atelje Lyktan Stockholm 2 st  
Pollare Iguzzini iWay Round 18 st



Figur 29. Flygbild över Södertälje kanal och markering av Kajpromenaden. Ortofoto: Lantmäteriet

## Ej inkluderat i beräkningen:

Klimatberäkningen innehåller inte belysningsarmatur som belysningsstolpar, spontar, krönbalkar på grund av brist på underlag. Beräkningen utesluter även plantering av lökväxter.

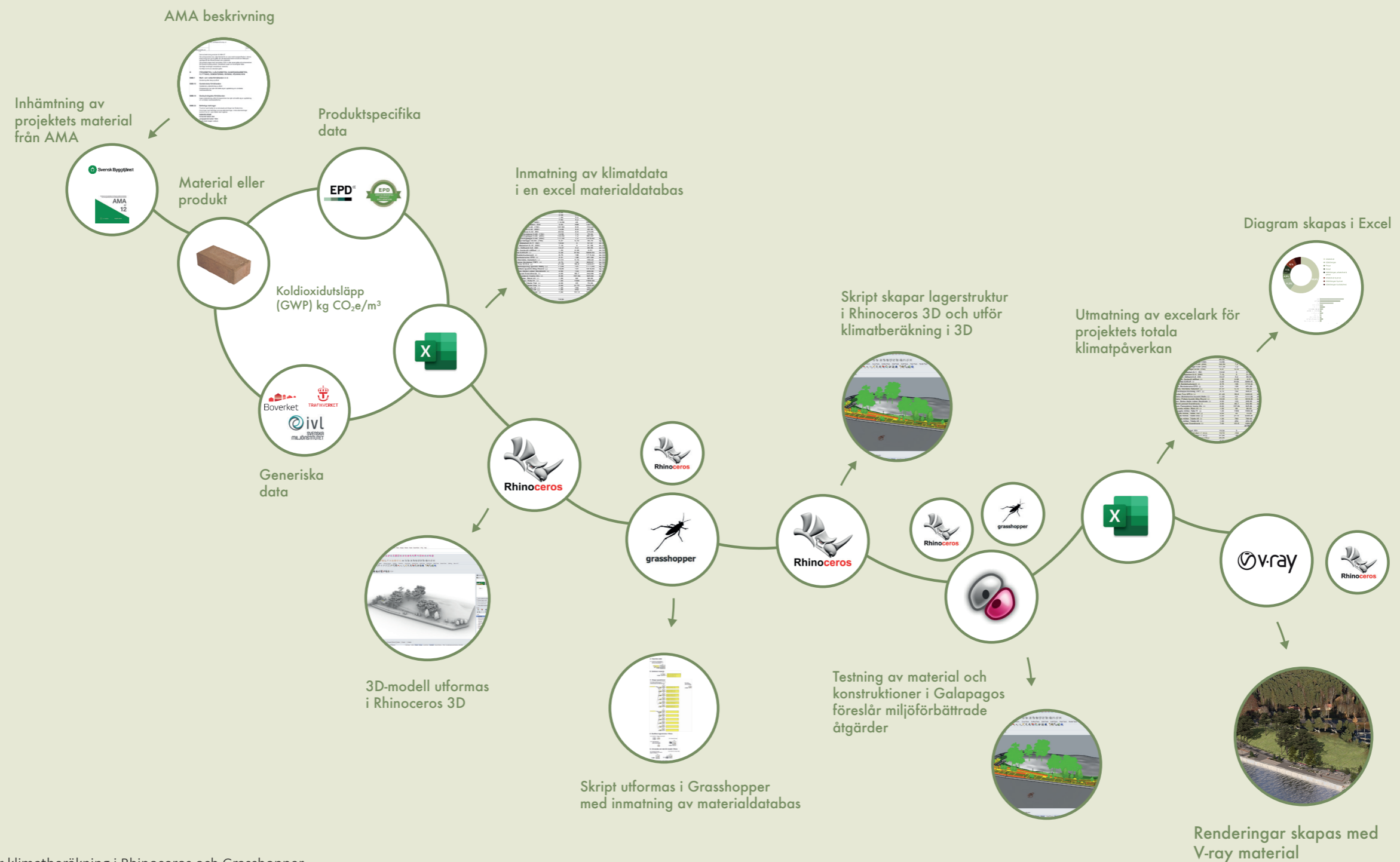
## Projektspecifika ställningstaganden

Eftersom leverantör väljs av entreprenör har leverantörer av alla material inte framgått eller föreskrivits i AMA. För de material och produkter som har föreskrivits med leverantör och produkt i AMA-beskrivningen har det i första hand använts specifika EPD:er från leverantören. I de fall som det inte funnits EPD:er eller inte föreskrivits en leverantör har generiska data använts, och i de fall som generiska data inte har funnits har det använts EPD:er av en snarlik produkt. Klimatberäkningen innefattar främst material och element utifrån handlingar för Landskap, men även väg och mark, en del av El belysningsarmatur. De objekt och ytor som är färgade i vit i klimatberäkningen har uteslutits ur klimatberäkningen på grund av brist på klimatdata.



Figur 30. Solsparn (Hasjör) av Wladyslaw Hasjör hör till ett av flera skulpturer intill Kajpromenaden.

# Tillämpningsstudie för klimatberäkning



Figur 3. Arbetsmetod för klimatberäkning i Rhinoceros och Grasshopper.

# Rhinoceros 3D-modell

3D-modellen har skapats utifrån ett CAD-underlag för projektet där höjder och konstruktioner utformats från detaljritningar och planer från Kajpromenadens projektering. En del möbler har inhämtats som BIM objekt från leverantörers hemsidor medan specialritade möbler har 3D-modellerats utifrån detaljritningar. 3D-vegetation som träd, buskar, perenner, prydnadsgräs och ängsgräsmatta har inhämtats från V-rays materialbibliotek. Material har både inhämtats från V-rays materialbibliotek och skapats utifrån bitmaps (bilder på material).



Figur 31. Kajpromenaden.



Figur 32. 3D-modell av Kajpromenaden utan textur eller klimatberäkning

# Grasshopper skript

Skriptet innehåller ett flertal processer och automatiserar klimatberäkningsprocessen genom att mäta och kalkylera ytor och objekt. Varje steg i skriptet som delas in från A till H består av ett kluster innehållande sammankopplade komponenter inuti klustret. Indelningen i kluster förenklar arbetsprocessen för landskapsarkitekten och tillgängliggör det mest nödvändiga funktionerna för användaren. Skriptet har utformats av den externa handledaren Nicholas Gulick, och har under uppsatsens gång ständigt modifierats utifrån diskus-

sioner och önskemål för att optimeras så mycket som möjligt. Nicholas kodade skriptet med hjälp av programmeringsspråket Python, och har tillgängliggjort och förenklat möjligheten för en nybörjare att klimatberäkna i de parametriska verktygen genom en förenklad sammanställning av komponenter att arbeta med. Varje steg innehåller hundratals olika komponenter som är sammankopplade och tillsammans utgör ett verktyg för klimatberäkning.

## Förenklad arbetsprocess

Både skriptet och materialdatabasen som är inmatade är utformade för alla typer av projekt och inte för att enbart tillämpas Kajpromenaden, vilket innebär att de går att tillämpa i olika 3D modeller och därmed i olika typer av projekt. Det går därför att enkelt utföra klimatberäkningar i alla projekt som 3D-modelleras i Rhino. Eftersom skriptet är återanvändbart sänker det kraven på den höga kompetens och inlärningskurva som arbete i parametriska verktyg generellt innebär. En landskapsarkitekt med kompetens i Rhino kan med enkelhet öppna Grasshopper i sin 3D-modell och applicera Rhino lagren på ytor och objekt i sin modell för att utföra en klimatberäkning.

## A. Importera data

Materialdatabasen importeras från Excel till Grasshopper och skapar en lokal materialdatabas inuti Grasshopper.

## B. Selektera material

Möjlig selektion av önskade material från materialdatabasen

## C. Skapa typsektioner

Skapa typsektioner genom att definiera marköverbyggnadernas lager utifrån materialdatabasen.

## C. Definiera färgkoder

Välj antalet intervaller, dess värden och definiera färgkoder. Emissionsfaktorer för respektive material inom materialdatabasen appliceras inom intervallen.

## D. Modifiera lagerstruktur i Rhino

Skapar lagerstruktur i Rhino från materialdatabasen. Möjlighet till att uppdatera materiallistan och radera tomma lager.

## E. Omvandla och mät 3D-modell

Omvandlar 3D-modellen till klimatberäkningens färgkoder och mäter modellen utifrån st, area eller volym. Kalkylerar alla mängder koldioxidutsläpp och lagring.

## F. Förhandsvisa och baka

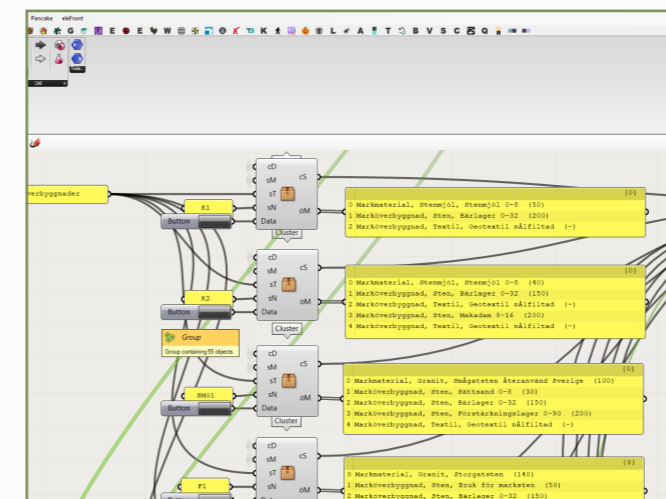
Förhandsvisning av klimatberäkningen och möjlighet att baka den omvandlade modellen.

## G. Ersätta material

Möjlighet att ersätta selekterade material för att testa miljöförbättrade åtgärder.

## H. Exportera data till Excel

En fullständig klimatberäkning av koldioxidutsläpp och lagring av alla ytor och objekt exporteras till ett Exceldokument.



Figur 33. Steg C innehållande sammankopplade komponenter som beräknar marköverbyggnadernas klimatpåverkan.

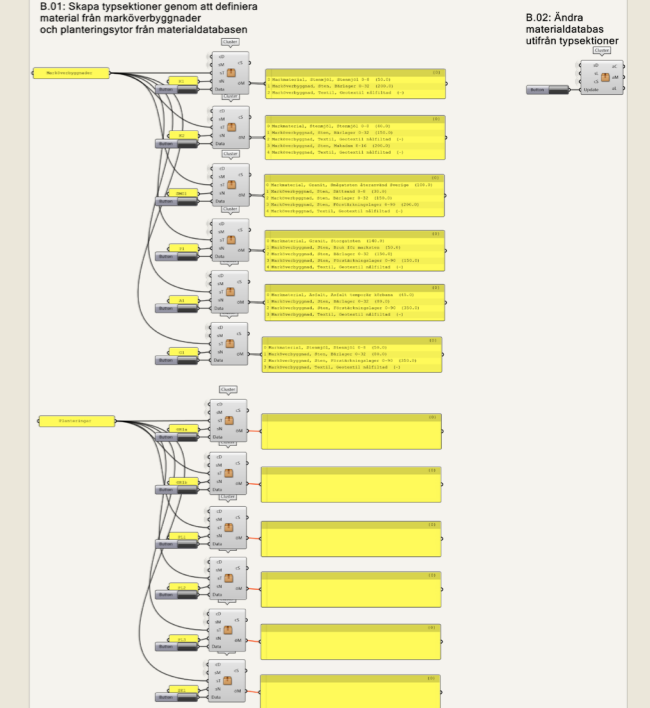
## A. Importera data



## B. Selektera material



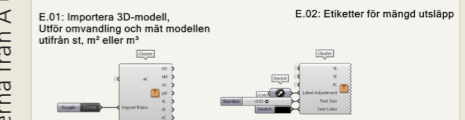
## C. Skapa typsektioner



## D. Modifiera lagerstruktur i Rhino



## E. Omvandla och mät 3D-modell i Rhino



## F. Förhandsvisa och baka



## G. Ersätta material



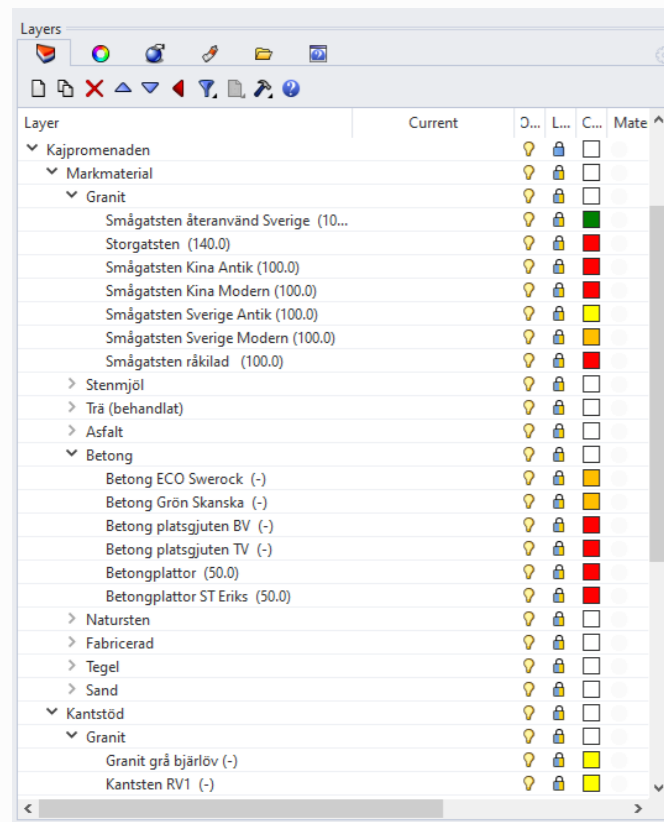
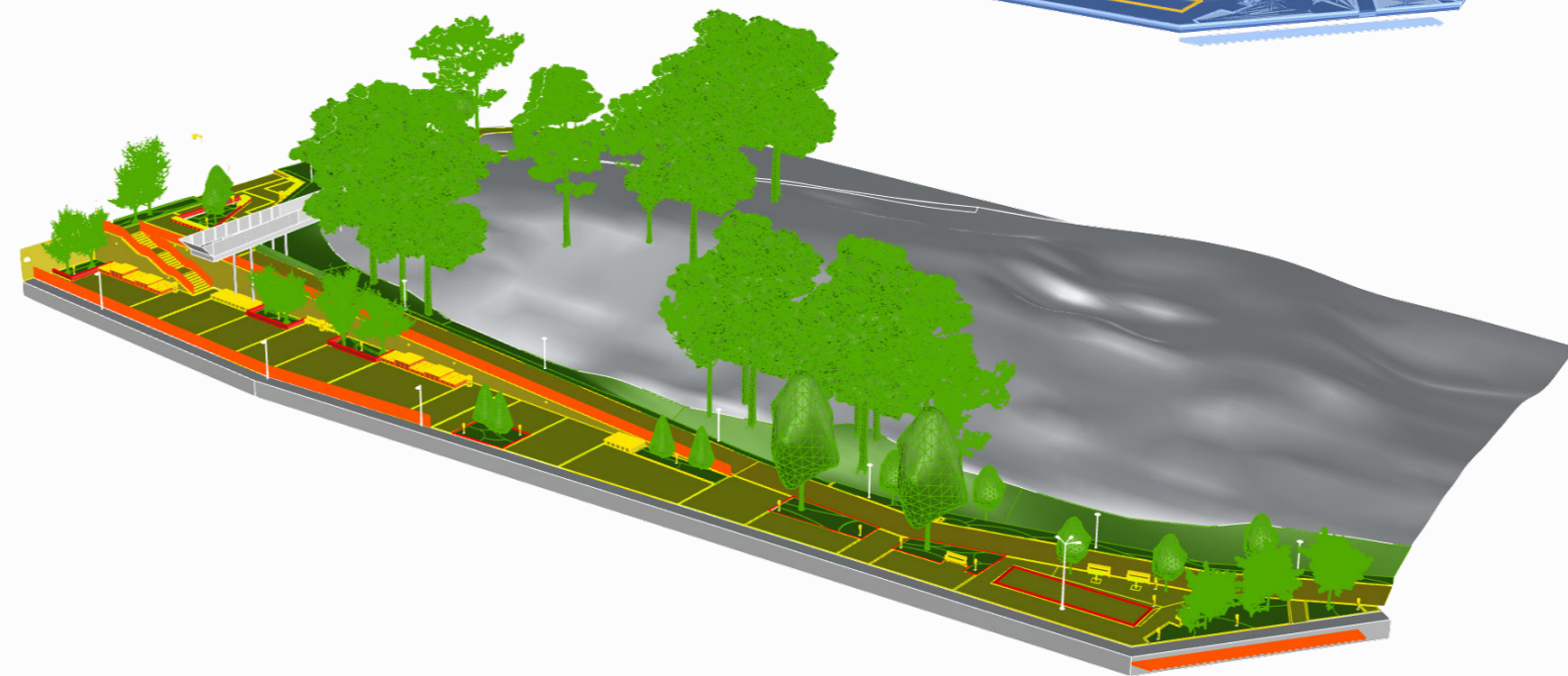
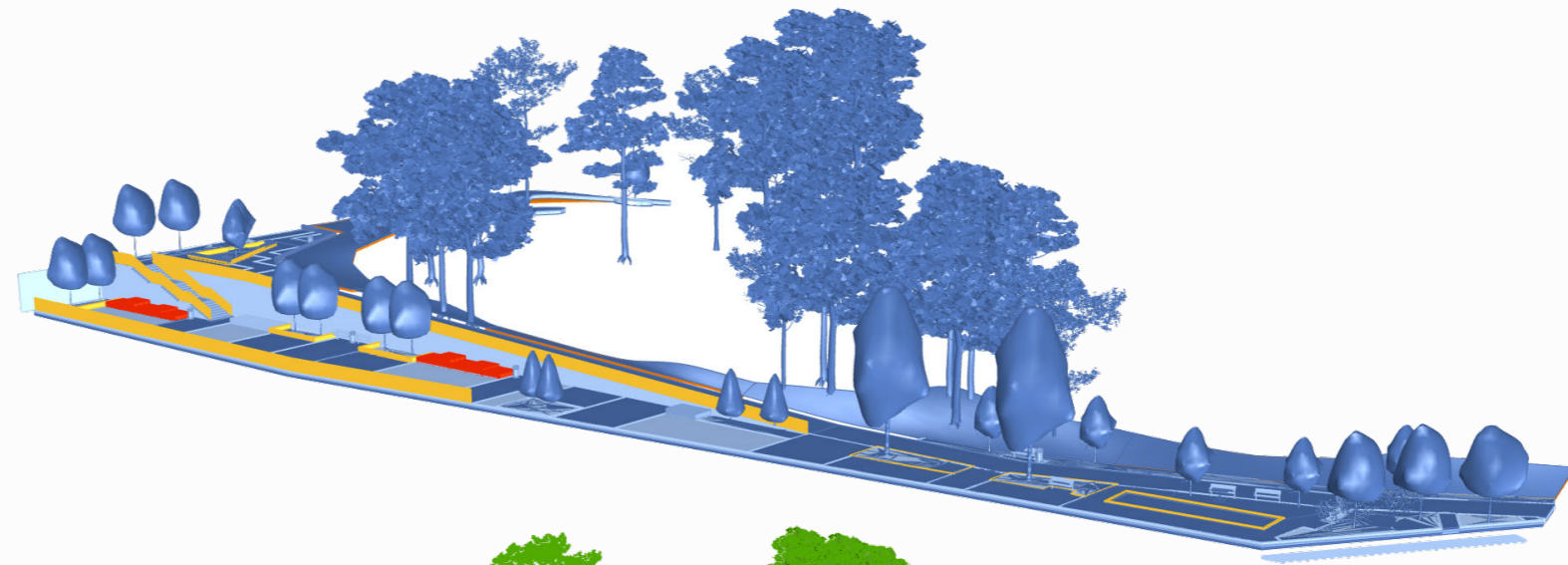
## H. Exportera data till Excel



Figur 34. Kluster som delar in de olika processerna från A till H.

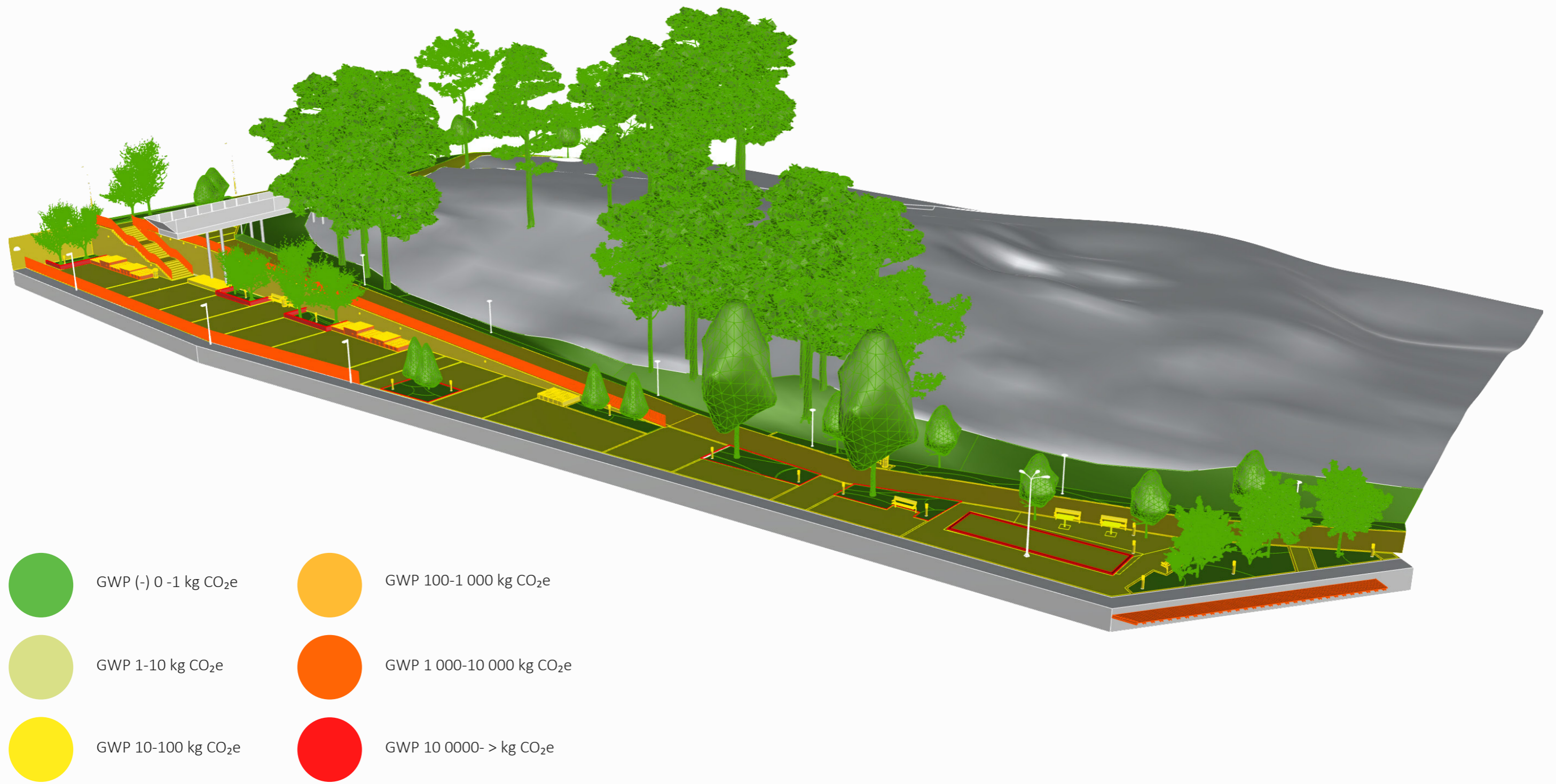
# Grasshopper skript i 3D- modell

När skriptet öppnas i 3D-modellen importereras och färgkodas en lagerstruktur utifrån materialpyramidens intervaller. Den vita 3D-modellen omvandlas till klimatberäkningens färgkoder och skriptet mäter då modellen utifrån st, area eller volym för att kalkylera ytornas koldioxidutsläpp och lagring. Samtidigt undersöker skriptet vilka element som har högst koldioxidutsläpp i % av projektets totala utsläpp, och färgkodar dessa från blå till röd. De element som färgas i röd har högst klimatpåverkan och blå ytor har en mindre signifikant inverkan på projektets totala klimatpåverkan. I skriptet går det att testa olika material från en yta och därmed se materialens skillnader i koldioxidutsläpp.



Figur 35. Utsnitt av den färgkodade lagerstrukturen som importerats från Excel, till Grasshopper och till sist i Rhino.

Figur 36 och 37. Översta modellen visar vilka delar av Kajpromenaden som har högst koldioxidutsläpp i förhållande till det totala utsläppet och nedre modellen visar den omvandlade 3D-modellen.



Figur 38. Klimatberäkning av Kajpromenaden i Rhinoceros och Grasshopper.

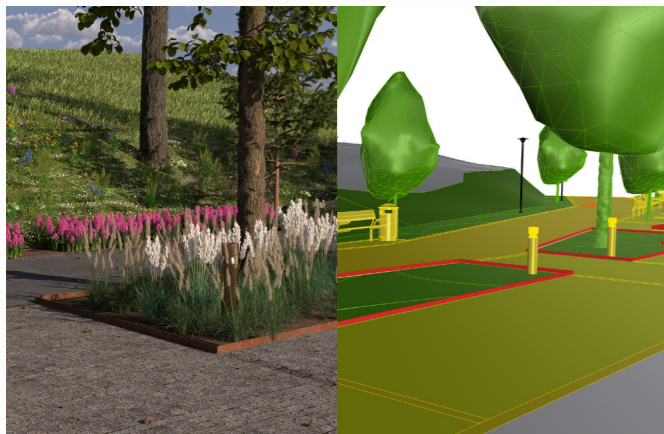


# Vad kan vi utläsa?

## Markmaterial

Markmaterialen beräknades både med och utan marköverbyggnader för att undersöka både det enskilda slitlagrets klimatpåverkan samt med marköverbyggnaderna som de tillhör.

Asfaltsytan A1 släppte ut 2 090 kg CO<sub>2</sub>e. Slitlagret av återbrukad smågatsten SMG1 släppte ut -0 kg CO<sub>2</sub>e. Storgatstenen i frisen F1 släppte ut 1 833 kg CO<sub>2</sub>e. Stenmjölsytan K1 släppte ut 39,6 kg CO<sub>2</sub>e, stenmjölsytan K2 7,4 kg CO<sub>2</sub>e och grusytan G1 beräknades att släppa ut 18,6 kg CO<sub>2</sub>e. Trärall T1 av NTR A furu har ett totalt utsläpp på 1 220 kg CO<sub>2</sub>e och 2,08 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.



Figur 39. Kantstöd i rosttrögt stål utgör bland de högsta utsläppen i projektet.

## Kantstöd

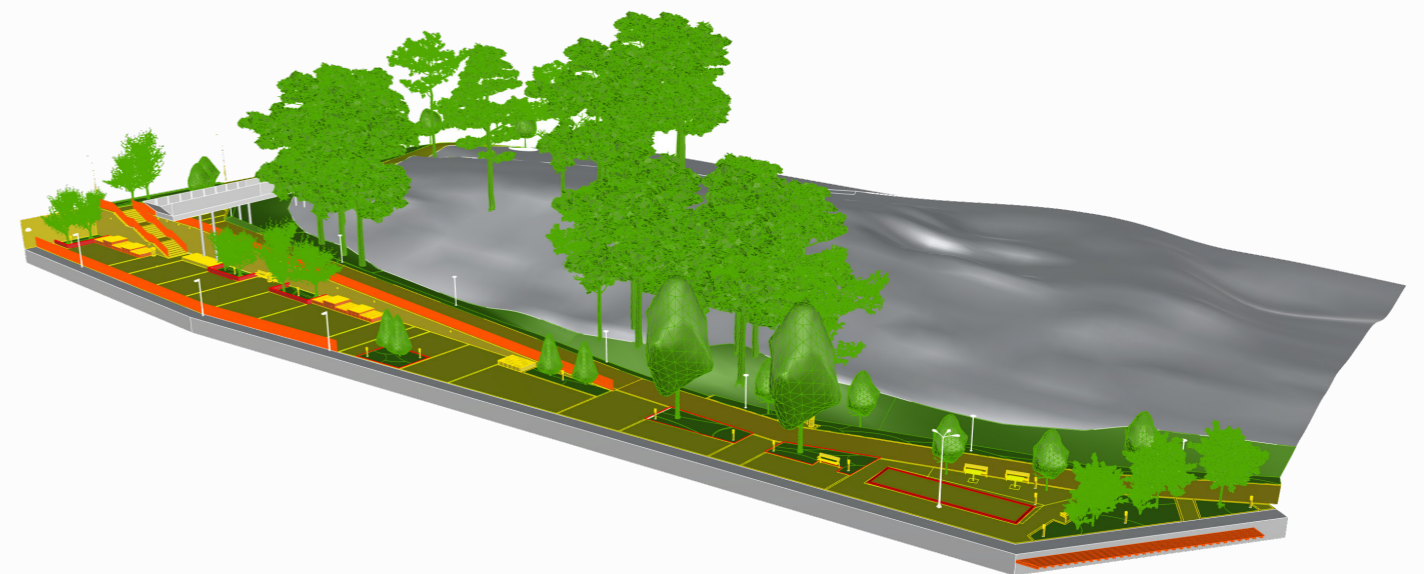
Kantstödet KS5 från Milford beräknades utifrån en

EPD från Milford för kantstöden Contrast original som antas ha liknande klimatpåverkan. Eftersom brist på generiska data för rosttrögt stål har KS2, KS3 och KS4 beräknats utifrån en EPD för rosttrögt stål från Be Group.

Kantstödet KS5 beräknades ha en klimatpåverkan på 1 692 kg CO<sub>2</sub>e och kantstöden KS2, KS3 och KS4 beräknades till 4 203 kg CO<sub>2</sub>e. Kantstöden i rosttrögt stål hör därför till de objekt med högst koldioxidutsläpp i Kajpromenaden, och resulterade i ett totalt utsläpp på 5 895 kg CO<sub>2</sub>e. Eftersom de båda materialens långa livslängd kan de ur ett långsiktigt perspektiv vara okej att använda. Rosttrögt stål är svårt att ersätta med alternativa material eftersom dess utseende skiljer sig från andra typer av kantstöd. Kantstödet KS1 i granit har antagits ha liknande klimatpåverkan som ett kantstöd från Benders och släppte ut totalt 187 kg CO<sub>2</sub>e.

## Murar

Blockstensmurens klimatpåverkan beräknades utifrån en EPD från Naturstenskompagniet för blockstensmurar och hade ett totalt koldioxidutsläpp på 450 kg CO<sub>2</sub>e. Muren i beklädnadsgranit antogs ha samma klimatpåverkan per m<sup>3</sup> som blockstensmurar och beräknades därför utifrån en EPD för blockstensmurar från Naturstenskompagniet. Eftersom konstruktionen av muren med beklädnadsgraniten är utformad av K/bro är det en komplex konstruktion för en landskapsarkitekt att beräkna, därför beräknades enbart beklädnadsstenens klimatpåverkan vilket var 1 715 kg CO<sub>2</sub>e. Stenkistan i makadam släppte ut totalt 180 kg CO<sub>2</sub>e.

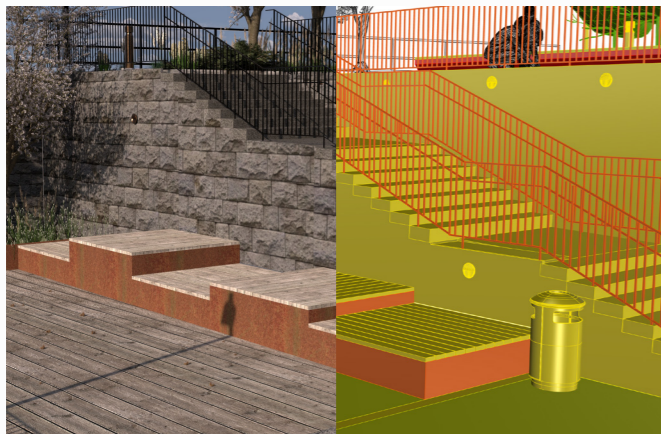


Figur 38. Klimatberäkning av Kajpromenaden i Rhinoceros och Grasshopper.



## Utrustning

### Möbler

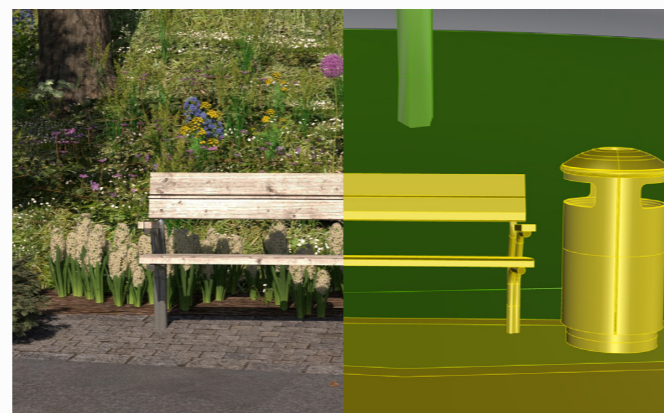


Figur 40. Platsbyggda möbler i rosttrött stål utgör stora utsläpp i Kajpromenaden.

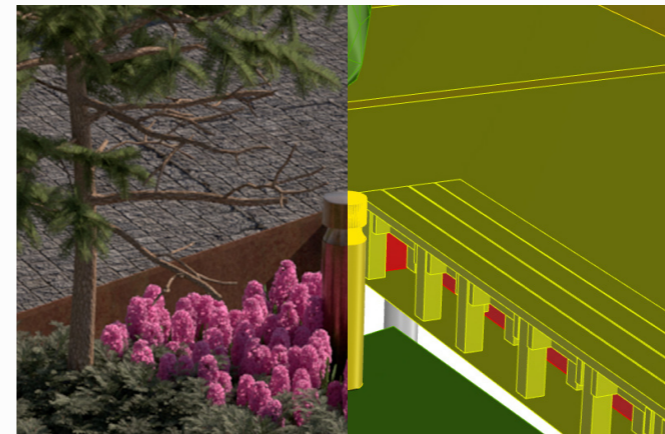
Koldioxidutsläppen för alla specialritade möbler som träsitsar och soffor samt bord från Lappset har beräknats utifrån volymerna av respektive material som de innehåller. De har alltså inte haft EPD:er utan beräknats på egen hand. Enligt detaljritningar av de specialritade möblerna används Organowood, vilket används i beräkningarna.

De möbler med högst koldioxidutsläpp var de specialritade möblerna i trä och rosttrött stål, där mängden stål orsakade de högsta utsläppen. Bänken U3 beräknades släppa ut 96 kg CO<sub>2</sub>e och träsitsarna U4a och U4b 2 173 kg CO<sub>2</sub>e/st. Träsitsarna U5 och U6 släpper ut 780 respektive 454 kg CO<sub>2</sub>e/st. Träsitsarna TA1 och TA2 är inbyggda i ett kantstöd av rosttrött stål, och därför släpper träsitsarna i sig enbart ut 28 och 35 kg CO<sub>2</sub>e/st. Hyllan H1 släpper ut 1 569 kg CO<sub>2</sub>e. Det innebär att enbart projektets specialritade möbler tillsammans släp-

per ut 7 315 kg CO<sub>2</sub>e. Eftersom stål har lång livslängd kan utsläppen vid dess produktion "tillåtas" vara höga, men det går att spekulera kring vad som händer med möblerna när virket behöver bytas ut efter 30 år. Om enbart trädelarna ersätts kan utsläppen i stålets produktionskedje vara acceptabel, eftersom stålet kan fortsätta användas på platsen. Det finns dock troligtvis en risk att hela möblerna ersätts efter 30 år för att det kanske blir mindre kostsamt. Om så blir fallet är utsläppen orimligt höga. Enligt Organowood beräknas träkonstruktioner som används som beklädnad ha en livslängd på upp till 30 år. Vad som händer med träsitsarnas underhåll, och utbyte efter 30 år får kommunen avgöra. Kommunens medvetenhet kring de specialritade möblernas koldioxidutsläpp kanske kan ha en inverkan på hur möblerna hanteras i framtiden. Sofforna Lappset Scandinavia beräknades släppa ut totalt 1 060 kg CO<sub>2</sub>e för 7 st soffor, medan två bord från Lappset beräknades släppa ut 206 kg CO<sub>2</sub>e. Kajpromenaden innehåller 6 st papperskorgar från Vestre, som tillsammans beräknades släppa ut totalt 945 kg CO<sub>2</sub>e.



Figur 41. Soffa Scandinavia uppskattas släppa ut 151 kg CO<sub>2</sub>e/st och papperskorgen City släpper ut 157 kg CO<sub>2</sub>e/st.



Figur 42. Pollare iWay round släpper ut 110 kg CO<sub>2</sub>e/st.

### Räcken och staket

Staket och räcken är utformade med plattstål och fyrkantstål av stålsort S355JR och har beräknats utifrån en EPD från Tibnor för fyrkantsstål. Räcken och staket i stål har påvisat höga koldioxidutsläpp, men eftersom det inte används så stora mängder stål har resultatet inte en enorm inverkan på projektets koldioxidutsläpp.

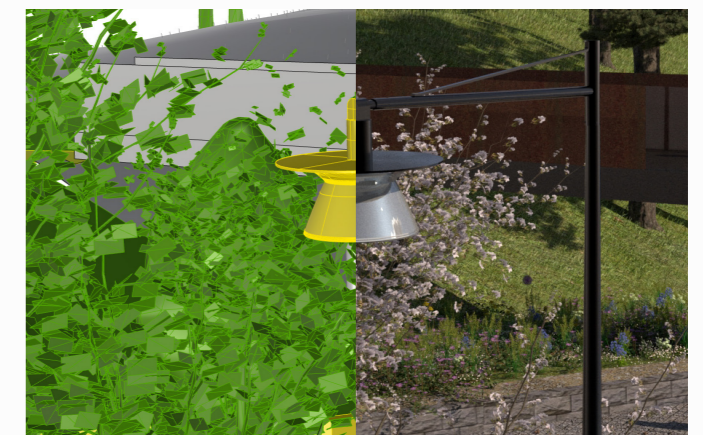
Fallskyddsräcke R1 beräknas släppa ut 1 851 kg CO<sub>2</sub> e. Fallskyddsräcke med handledare R2 beräknas släppa ut 581 kg CO<sub>2</sub> e. Fallskyddsräcke R3 beräknas släppa ut 1 565 kg CO<sub>2</sub>e vilket innebär ett utsläpp på ca 29,5 kg CO<sub>2</sub>/m. Trots att stålräcken redovisas i orange färg innebär det inte att de har en hög klimatpåverkan på lång sikt. Räcken och staket i metall är svåra att byta ut mot andra material med lägre koldioxidutsläpp, men har däremot en lång livslängd och behöver sällan bytas ut. Av den anledningen är stål ett bra material för räcken.

## Trappor

Trapporna är blocksteg av granit och uppskattas att släppa ut ca 908 kg CO<sub>2</sub>e och koldioxidutsläppet uppskattas utifrån en EPD från Naturstenkompaniet för blockstensmurar.

### Belysningsarmaturer

All belysningsarmatur med tillgängliga EPD:er har beräknats, och de som uteslutits ur beräkningen har gjorts på grund av brist på EPD:er. De uteslutna belysningsarmaturerna är färgade i vitt i 3D-modellen. Utsläppen av pollare iWay round från Iguzzini beräknades släppa ut totalt 1 818 kg CO<sub>2</sub>e för 18 st. Murbelysning Walky från Iguzzini har enligt Iguzzini snarlika utsläpp som pollare iWay round och har därför i klimatberäkningen antagits ha samma klimatpåverkan, murbelysning Walky beräknas därför släppa ut 1 111 kg CO<sub>2</sub>e för 11 st. Belysningstolpar Stockholm från Ateljé Lyktan beräknades släppa ut 206 kg CO<sub>2</sub>e för 2 st.



Figur 43. Stolpe Stockholm släpper ut 103 kg CO<sub>2</sub>e/st.

# Vegetation

Vegetationens utsläpp och lagring bör läsas som potentiella siffror, träd och buskar har beräknats utifrån deras fullvuxna höjder. Vegetationens klimatpåverkan har beräknats utifrån värden i klimatberäkningsverktyget Pathfinder och bör betraktas som en potentiell uppskattning av klimatpåverkan.

## Träd

Enligt värden från Pathfinder har 2 st *Alnus incana* 'Lacinata' (Flikbladig gråal) och 2 st *Prunus Avium* fk SVEA E (Fågelbär) antagits som mellanstora lövträd (10-15 m) beräknats lagra 1 280 kg CO<sub>2</sub>/st och tillsammans lagra totalt 5 120 kg CO<sub>2</sub>. 8 st *Amelanchier laevis* fk BÄCKLÖSA E (Kopparhäggmispel) och 3 st *Prunus cerasifera* fk CECILIA (Körbärsplommon) har båda antagits som mindre lövträd (<10 m) beräknas lagra 299 kg CO<sub>2</sub>/st och totalt 3 289 kg CO<sub>2</sub>. *Pinus x Schwerinii* (Hybridtall) har antagits som 4 st mellanstora barrträd (10-15 m) och beräknats lagra 946 kg CO<sub>2</sub>/st och totalt 3 784 kg CO<sub>2</sub>. *Pinus Sylvestris* (Tall) har antagits som 8 st stora barrträd (15 m) och lagrar 2 351 kg CO<sub>2</sub>/st och totalt 16 457 kg CO<sub>2</sub> e.

De planterade träden beräknas totalt lagra 28 650 kg CO<sub>2</sub>e under en tidsperiod på 50 år.

De befintliga barrträden som behålls på platsen har uppskattats som mellanstora barrträd (10-15 m) och beräknats att lagra 946 kg CO<sub>2</sub>/st och tillsammans totalt 19 866 kg CO<sub>2</sub>.

## Buskar

Buskar har också beräknats utifrån värden i Pathfinder och har delats in som prydnads- och barrbuskar. *Calluna vulgaris* (Höstljung) har delats in som en liten prydnadsbuske (< 1 m) och lagrar 286 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> och totalt 5 820 kg CO<sub>2</sub>e. *Cornus sericea* 'Farba' E (Videkornell) har antagits som en mellanstor prydnadsbuske (1-2 m) och beräknas lagra 26 kg CO<sub>2</sub>e/st och totalt 156 kg CO<sub>2</sub>e. *Rosa spinosissima* (pimpinellros) har antagits som en mellanstor prydnadsbuske (1-2 m) och beräknas lagra 50 kg CO<sub>2</sub>e/st och totalt 200 kg CO<sub>2</sub>e. 100 st *Juniperus communis* 'Repanda' (Dvärg-en) och 52 st *Juniperus horizontalis* 'Blue Chip' (Kryp-en) har båda beräknats som liten barrbuske (< 1 m) och beräknas lagra 104 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. 'Repanda' uppskattas lagra 2 051 kg CO<sub>2</sub>e och 'Blue Chip' 1 054 kg CO<sub>2</sub>e. De planterade buskarna vid Kajpromenaden beräknas att totalt lagra 9 282 kg CO<sub>2</sub>e.



Figur 44. Buskar *Juniperus communis* 'Repanda' och *Juniperus horizontalis* 'Blue Chip' lagrar 2 051 och 1 054 kg CO<sub>2</sub>e.

## Perenner och prydnadsgräs

Perenner och prydnadsgräs har tillsammans beräknats att lagra 9 742 kg CO<sub>2</sub>e.

## Planteringsytor

Planteringsyta PL1 har beräknats att släppa ut totalt 4 044 kg CO<sub>2</sub>e och 16,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Planteringsyta PL2 beräknas släppa ut 1 602 kg CO<sub>2</sub>e och 16 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Planteringsyta PL3 släpper ut 63,4 kg CO<sub>2</sub>e och 9,9 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ytan innehåller till stor del biokol vilket innebär låga utsläpp och en framtida kolsänka. SK1 beräknas släppa ut 561 kg CO<sub>2</sub>e och 15,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ängsgräsmattan GR1a har med jordfyll B beräknats släppa ut 57 kg och 0,09 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. GR1b utan fyll har beräknats lagra 7,7 kg CO<sub>2</sub>e och 0,03 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. GR1 har beräknats lagra 920 kg CO<sub>2</sub>e och 40 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

Eftersom leverantör av jord och växtsubstrat inte framgick enligt AMA-beskrivningen och bristen på generiska data, inhämtades klimatdata för växtsubstraten från Hasselfors Garden och redovisar därmed de koldioxidutsläpp som ytorna hade genererat om de beställs från Hasselfors Garden. Koldioxidutsläppen av jordarna har inhämtats från EPD:er som beräknats av Hasselfors för de specifika blandningarna. Av denna anledning innebär resultatet av klimatberäkningen ett resultat som antar Hasselfors som leverantör för de specifika växtsubstraten, och det kan därför skilja sig från det faktiska utsläppet som planteringarna har eftersom det kan ha anlåtats en annan leverantör av jord.



Figur 45. Plantering vid Kajpromenaden.

# Resultat

## Marköverbyggnader

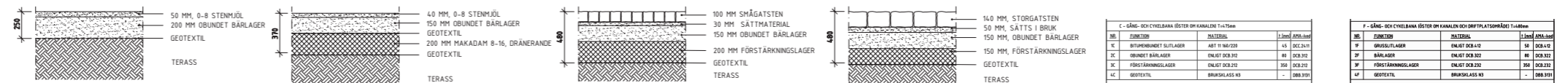
Markmaterialen beräknades också tillsammans med marköverbyggnader för ett mer realistiskt resultat än enbart slitlagrens klimatpåverkan. Resultatet inkluderar slitlagren.

Stenmjölsytan K1 runt boulebana var den marköverbyggnad med lägst klimatpåverkan per m<sup>2</sup>, och beräknades släppa ut 113,8 kg CO<sub>2</sub>e och 1,6 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ytan K1 av stenmjöl i boulebana släppte ut 65,7 kg CO<sub>2</sub>e och 1,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

Marköverbyggnaden tillhörande ytan SMG1 av återbrukad smågatsten hade ett koldioxidutsläpp på 1 602 kg CO<sub>2</sub>e och 2,6 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Frisen av storgatsten F1 var den marköverbyggnad med högst klimatpåverkan på 3382,5 kg CO<sub>2</sub>e och 48 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Storgatstens höga klimatpåverkan och att den dessutom är satt i bruk orsakade höga utsläpp.

Asfaltsytan A1 hade en klimatpåverkan på 2 325 kg CO<sub>2</sub>e och 5,4 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> och grusytan G1 släppte ut 273 kg CO<sub>2</sub>e och 3,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> vilket innebär relativt låga utsläpp. I asfaltsytan stod asfalten i sig för de högsta utsläppen i överbyggnaden.

## Marköverbyggnader- Hårdgjorda ytor



K1 STENMJÖLSYTAN VID BOULEBANA

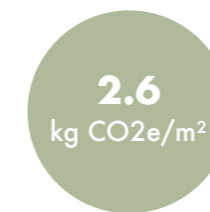
K2 STENMJÖLSYTA PÅ BOULEBANA

SMG1 SMÅGÅTSTENSYTA FÖR G/C

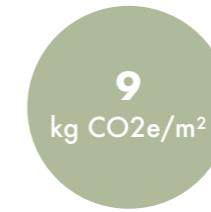
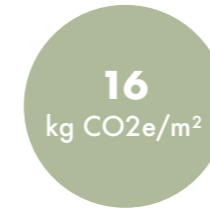
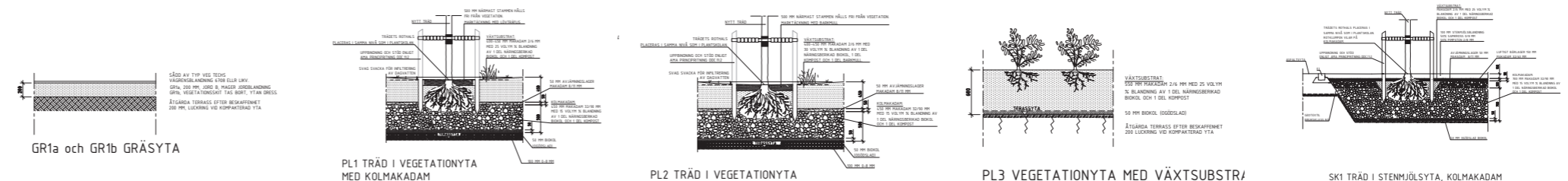
F1 STORGÅTSTENSYTA FÖR G/C

A1

G1

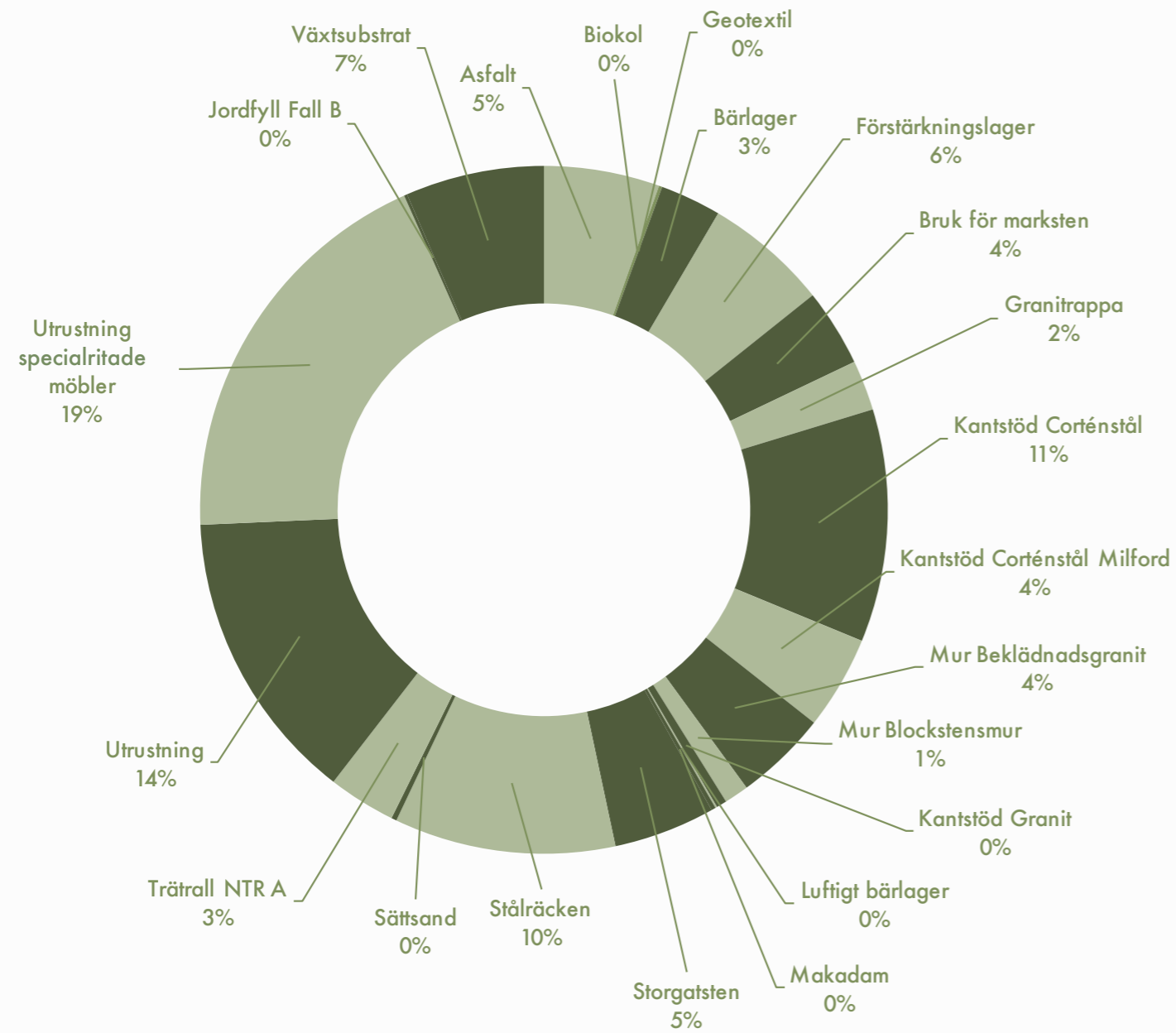


## Planteringsytor



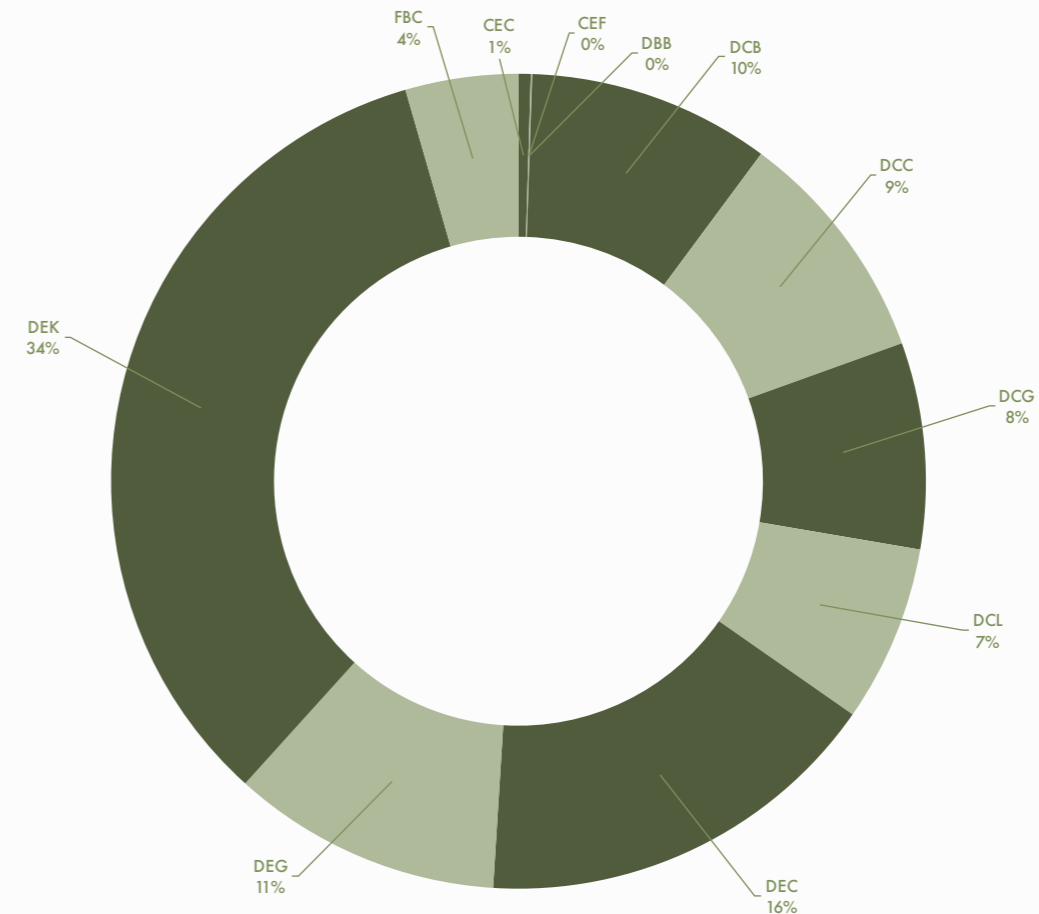
# Resultat

Totalt utsläpp %



Klimatpåverkan av material i % av total klimatpåverkan för beräknade material.

Totalt utsläpp % AMA-koder



Klimatpåverkan av AMA-koder i % av total klimatpåverkan för beräknade material.

- CEC- Fyllning för ledning, magasin
- DBB- Lager av geosyntet
- DCB- Obundna överbyggnadslager för väg
- DCC- Bitumenbundna överbyggnadslager för väg
- DCG- Markbeläggningar av gatsten, betongmarkplattor
- DCL- Överbyggnader för vegetationsytor
- DEC- Kantstöd
- DEG- Räcken, stängsel, staket, plank mm
- DEK- Utrustningar och utsmyckningar
- FBC- Murbeklädnader av natursten
- GBB- Mur av naturstenselement

# Resultat

Det totala utsläppet vid Kajpromenaden uppgår till ca 38 912 kg CO<sub>2</sub>e vilket innebär 10,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. En potentiell kollagring av plantering av träd, buskar, planteringar och ängsgräsmattor uppskattas till en kompensation om -45 297 kg CO<sub>2</sub>e och de befintliga träden på platsen uppskattas lagra ca -19 866 kg CO<sub>2</sub>e. Kajpromenadens totala koldioxidutsläpp har potential att kompenseras av den planterade vegetationen som beräknas lagra mer än vad projektet släpper ut, nämligen -6 385 kg CO<sub>2</sub>e.

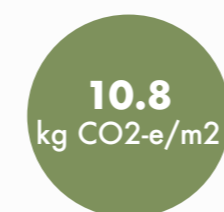
De material och element med högst koldioxidutsläpp visade sig vara utrustning i form av specialritade möbler i corténstål (19%) övrig utrustning (14%), kantstöd i corténstål (11%) och stålräcken (10%). Om klimatberäkningen hade omfattat ytterligare processer eller konstruktioner, är det troligt att beräkningen haft ett annat resultat, detta är resultatet utifrån den tillämpade klimatdatan.

## Totalt utsläpp



Totalt utsläpp för de material som inkluderats i beräkningen.

## Totalt utsläpp m<sup>2</sup>



## Kollagring av planterad vegetation



## Totalt utsläpp ink kollagring av planterad vegetation



## Kollagring av befintliga träd



## Totalt utsläpp ink kollagring av planterad & befintlig vegetation



# Miljöförbättrande åtgärder

Efter klimatberäkning av projektets totala koldioxidutsläpp går det att utföra klimatförbättrade åtgärder på olika sätt.

## Tillämpning 1.

Ersätta materialen direkt i Rhino. Genom att ersätta materialtypen av en yta till ett material med lägre koldioxidutsläpp går det att undersöka om det sänker koldioxidutsläppet. Det går också att ersätta materialet med andra likvärdiga produkter från olika leverantörer för att testa klimatförbättrade åtgärder.

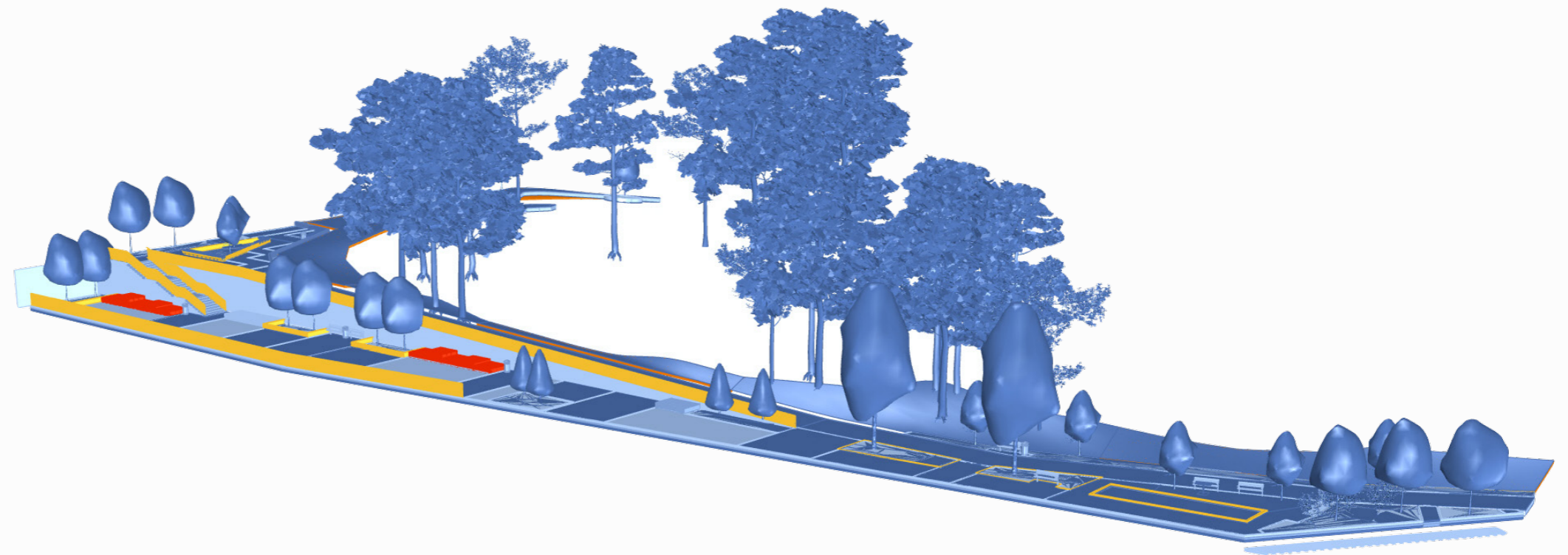
Enklare miljöförbättrande åtgärder hade kunnat vara genom att ersätta konventionell asfalt med Grön asfalt, vilket hade kunnat minska utsläppen ungefär med hälften. Andra åtgärder skulle kunna vara att byta material på de specialritade möblerna som genererar höga utsläpp.

## Tillämpning 2.

Testa alternativa utföranden/lösningar på objekt eller ytor med höga utsläpp i Grasshopper. Genom att Galapagos kan generera olika utformningar av staket utifrån angivna parametrar som koldioxid, går det att se sambandet mellan mängden stål och dess utsläpp redan i utformningen av staketet. Genom att mäta koldioxidutsläppen samtidigt som det genereras olika varianter av det är det enkelt att välja det staket med lägst klimatpåverkan.

Exempelvis går det att ange intervall för tillåtna dimensioner för det önskade staketet, som då förhåller sig till lagar eller regler kring säkerhet som exempelvis maximalt tillåtet mellanrum mellan

ribbor och stolpar på offentliga platser. Genom att ange bestämda parametrar som min och max höjd och tjocklekar, går det att alltså att generera alternativ utifrån kriterierna.



Figur 36. De delar som haft högst klimatpåverkan på Kajpromenadens totala utsläpp. Röda delar har haft högst koldioxidutsläpp och blå har inte haft en betydande påverkan totalt sett.

# Tillämpning 1.

- 4 093 kg CO<sub>2</sub>e

## Ersätta material- träsisar

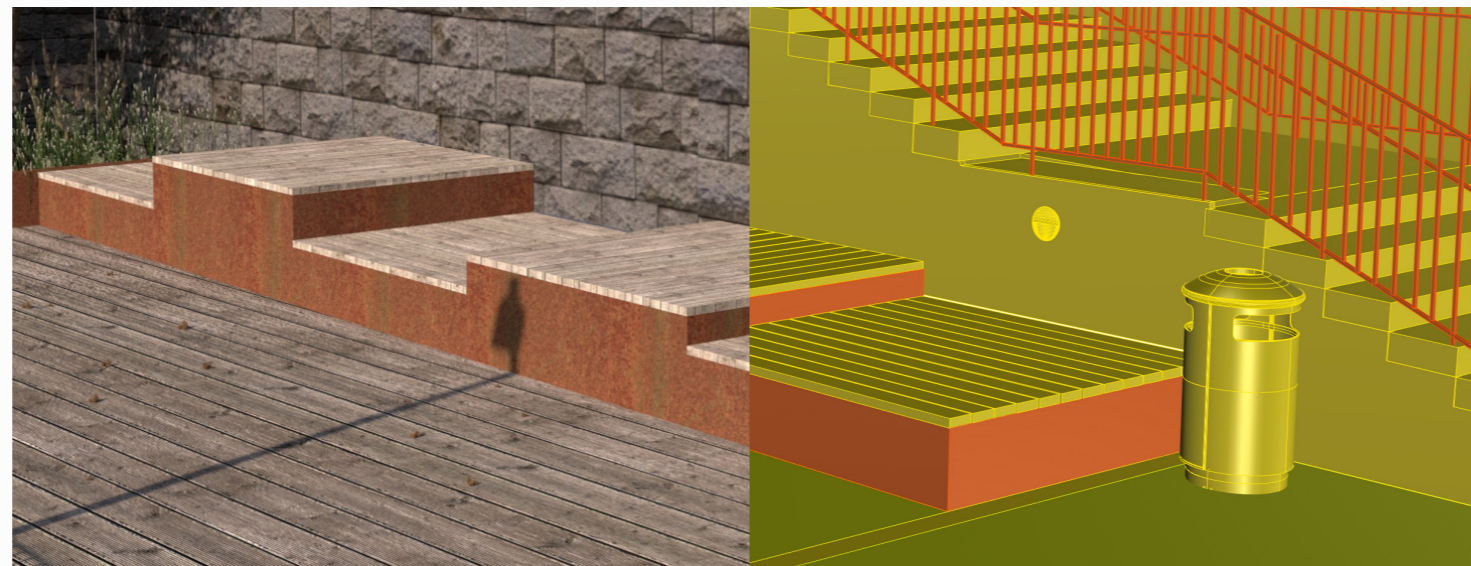
De material och objekt som orsakar mest koldioxidutsläpp av projektets totala klimatpåverkan är tydligt de specialritade träsitsarna U4a och U4b i röd. Utsläppen av de specialritade möblerna U4ab, U5 och U6 i Kajpromenaden uppgår tillsammans till ett koldioxidutsläpp på 5 580 kg CO<sub>2</sub>e.

Utifrån intervjun med Alfred Nerhagen som menar att platser sällan står i över 30 år går det att resonera kring vad den faktiska livslängden på träsitsarna vid Kajpromenaden kommer att vara. Sittytan på träsitsarna som är i trä kommer troligtvis att behöva bytas ut någon gång, och beroende på om även stålet byts ut kan det ha fått släppa ut onödigt mycket koldioxid sett till livslängden. Troligtvis kommer de att användas i 30 år och därefter bytas ut, om så är fallet skulle träsitsarna i stället kunna utformas fullständigt i trä, vilket inte hade inneburit lägre koldioxidutsläpp men också förändringar i träsitsarnas estetiska uttryck.

Om träsitsarna ska bytas ut efter 30 år hade de i alternativt kunnat utformats fullständigt i trä. Om allt stål i sitsarna skulle bytas ut mot trä i samma tjocklek som träsitsen på möbelns ovansida skulle de U4ab, U5 och U6 släppa ut totalt 1 487 kg CO<sub>2</sub>e i stället för 5 580 kg CO<sub>2</sub>e. Träsitsarna U4ab släpper ut 586 kg CO<sub>2</sub>e/st, U5 191 kg CO<sub>2</sub>e/st och U6 115 kg CO<sub>2</sub>e/st. Förändringen hade minskat sitsarnas klimatpåverkan med 4 093 kg CO<sub>2</sub>e.

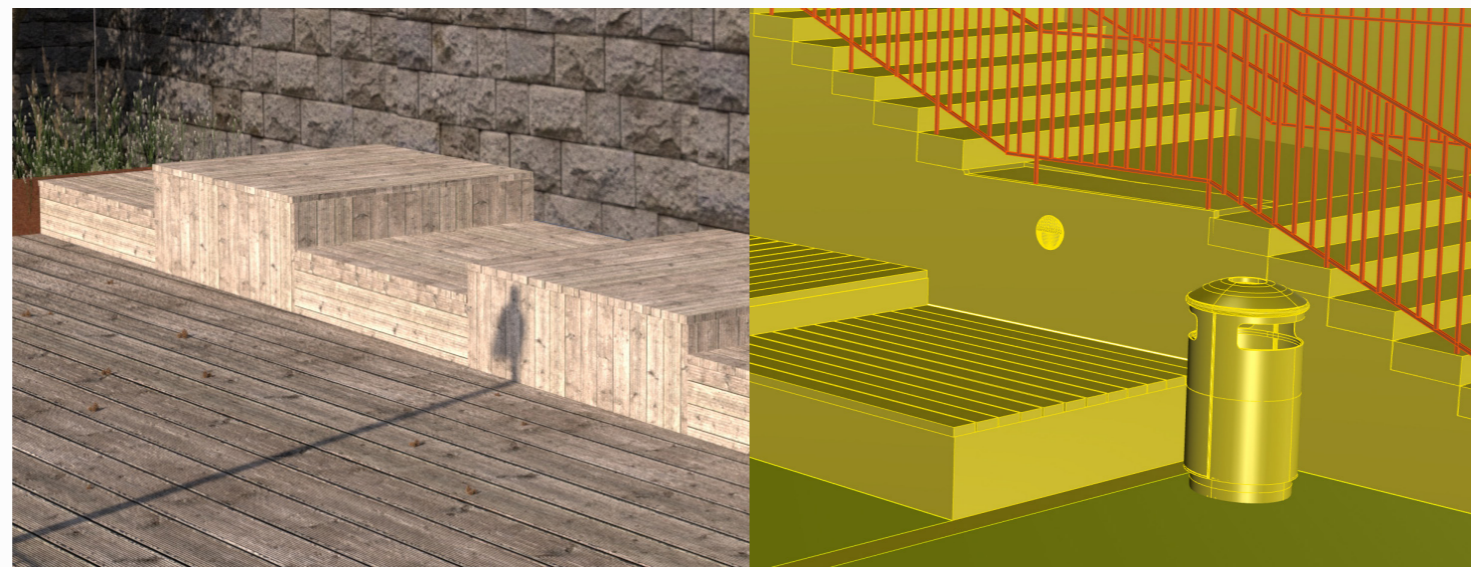
Eftersom träsitsarna innehåller impregnerat trä går virket inte att återanvända i nya träprodukter eller flisas när livslängden är nådd. Materialet kommer troligtvis genomgå en speciell förbränning, vilket kommer att frigöra det lagrade kolet och orsaka stora koldioxidutsläpp under träsitsens senare fas.

2 173 kg CO<sub>2</sub>e/st



Figur 46. Träsitsens klimatpåverkan.

293 kg CO<sub>2</sub>e/st



Figur 47. Träsitsen i fullständigt trä har en betydligt lägre klimatpåverkan.



# Tillämpning 1.

- 5 283 kg CO<sub>2</sub>e

## Ersätta material- markmaterial & kantstöd

### Asfalt

Genom att byta ut asfalt mot Grön asfalt från Skanska halverades dess klimatpåverkan. Asfalten i Kajpromenaden släppte ut 2 090 kg CO<sub>2</sub>e, och med vid utbyte till Grön asfalt minskar dess utsläpp till 1 007 kg CO<sub>2</sub>e och minskar Kajpromenadens klimatpåverkan med 1 083 kg CO<sub>2</sub>e.

2 090 kg CO<sub>2</sub>e



Figur 48. Asfaltsyta vid Kajpromenaden.

2 090 kg CO<sub>2</sub>e



Figur 49. I klimatberäkningen blev av asfaltsytan gul.

1 007 kg CO<sub>2</sub>e



Figur 50. Utbyte till Grön asfalt gjorde ytan ljusgrön.

### Kantstöd

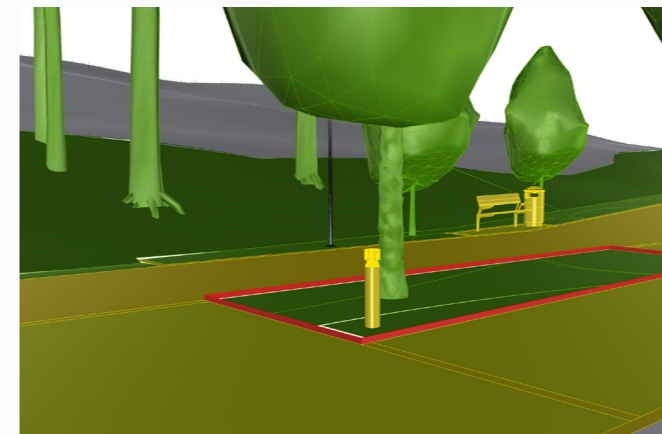
Om kantstöden KS3, KS4 och KS5 skulle bytas ut mot granitkantstöd från Benders som KS1, hade KS3 släppt ut 135,4 kg CO<sub>2</sub>e, KS4 385,8 kg CO<sub>2</sub>e och KS5 102 kg CO<sub>2</sub>e och tillsammans släppt ut 623,2 kg CO<sub>2</sub>e, i stället för 4 823 kg CO<sub>2</sub>e. Åtgärden hade minskat kantstödens klimatpåverkan med ca 4 199 kg CO<sub>2</sub>e.

4 823 kg CO<sub>2</sub>e



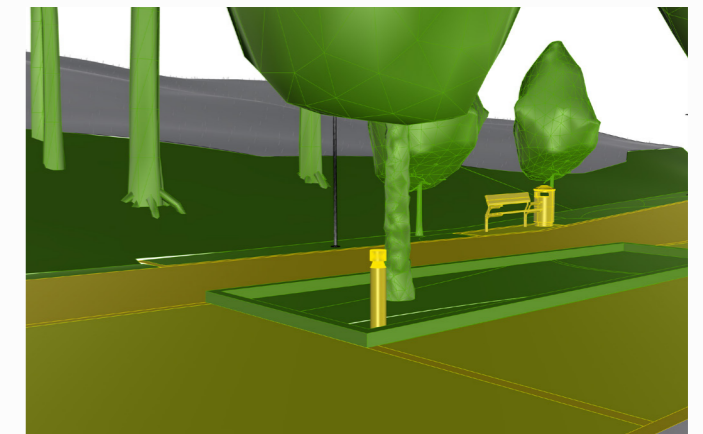
Figur 51. Kantstöd i rosttrögt stål (corténstål).

4 823 kg CO<sub>2</sub>e



Figur 52. Kantstöden i stål visas i röd på grund av de höga utsläppen.

623 kg CO<sub>2</sub>e



Figur 53. Utbyte av kantstöden till granit visas i grön.

# Tillämpning 2.

- 1 812 kg CO<sub>2</sub>e

## Skapa räcken med CO<sub>2</sub>e som parameter

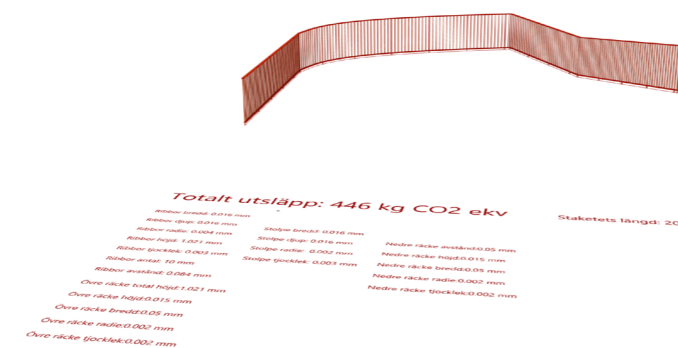
Även stålräcken hör till några av de materialen med höga koldioxidutsläpp, räcken R1, R2 och R3 har tillsammans en total klimatpåverkan på 3 998 kg CO<sub>2</sub>e vilket innebär att räckena har ett genomsnittligt utsläpp på 27 kg CO<sub>2</sub>e/m. Räckat R1 släpper ut 1 851 kg CO<sub>2</sub>e vilket innebär ett utsläpp på ca 22,3 kg CO<sub>2</sub>e/m. 20 meter av R1 släpper ut 446 kg CO<sub>2</sub> vilket går att minska genom att designa alternativa räcken i Grasshopper och se mängden koldioxidutsläpp samtidigt som de genereras och vilket visar på ett samband mellan design och dess koldioxidutsläpp.

I Galapagos genereras 20 meter av staketet R1 i Kajpromenaden med alternativ som testar lösningar för ett liknande räcke med lägre eller högre koldioxidutsläpp. Det inmatas min och max tillåtna värden för räckets olika beståndsdelar som ribbor, stolpar, övre räcke och nedre räcke. Exempelvis tillåts ribbor vara minst 10 mm och max 20 mm breda, och höjden på det övre räckat minst 1,02 m och max 1,06 m. Alternativen utgår de dimensioner som räckat R1 har och Galapagos testar därefter olika kombinationer av räckat som kan minska dess koldioxidutsläpp.

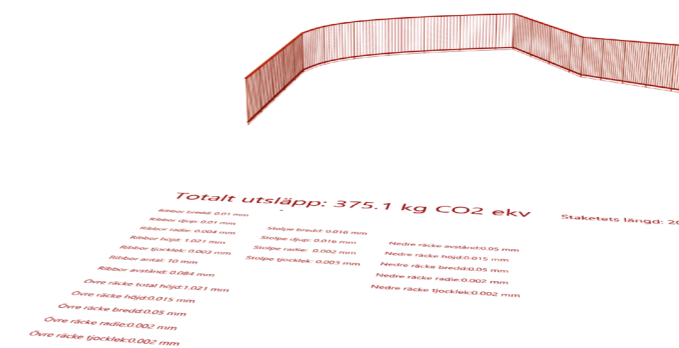
I alternativ 1 har ribbornas tjocklek ändrats från 16x16 till 10x10 mm medan stolparna behåller 16x16 mm, alternativet sänker räckets utsläpp från 446 kg CO<sub>2</sub>e till 375,1 kg CO<sub>2</sub>e vilket innebär ett utsläpp på 18,7 kg CO<sub>2</sub>e/m. I alternativ 2 ändras både ribborna och stolparnas dimensioner till 10x10 mm vilket sänker utsläppen till till 351,5 kg CO<sub>2</sub>e och ett utsläpp på 17,57 kg CO<sub>2</sub>e/m. I alternativ 3 ändras avstånden mellan ribborna från 84 mm till 100 mm som innebär mindre stålansvändning och ett koldioxidutsläpp på 332,1 kg CO<sub>2</sub>e och 16,6 kg CO<sub>2</sub>e/m.

### Alternativa räcken med lägre koldioxidutsläpp

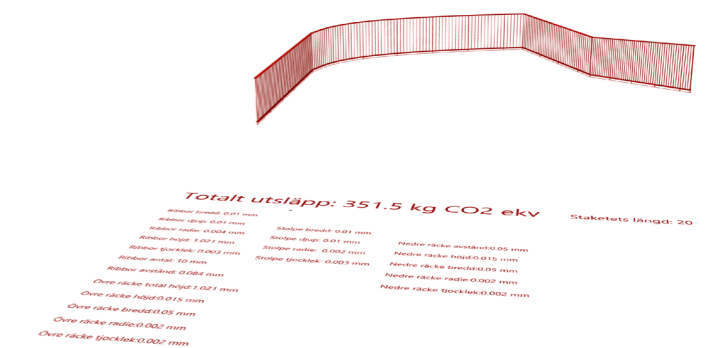
20 m av R1 446 kg CO<sub>2</sub>e



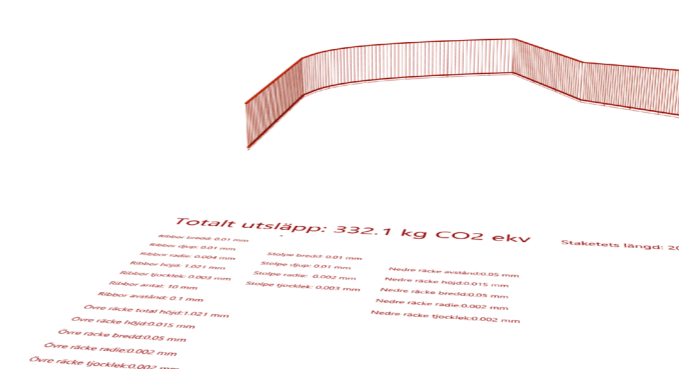
Alt 1. 375.1 kg CO<sub>2</sub>e



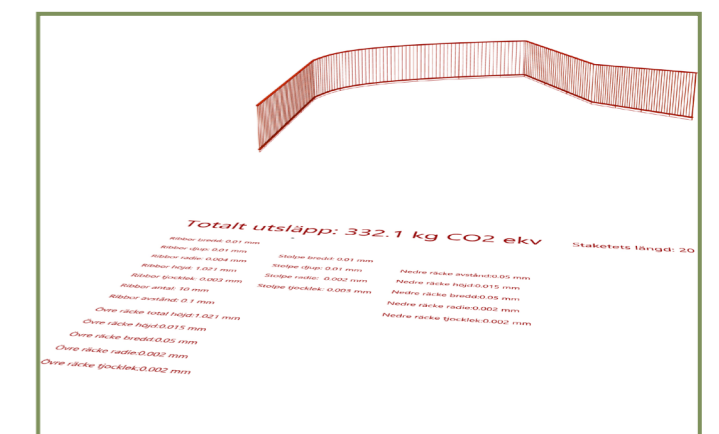
Alt 2. 351.5 kg CO<sub>2</sub>e



Alt 3. 332.1 kg CO<sub>2</sub>e



Alt 4. 297.3 kg CO<sub>2</sub>e



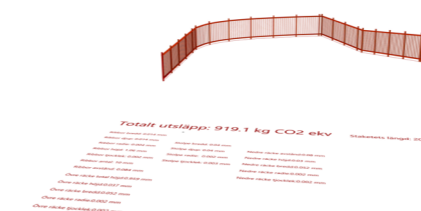
I alternativ 4 ändras avstånden mellan ribborna till 15 mm vilket genererar ett utsläpp på 297,3 kg CO<sub>2</sub>e och 14,8 kg CO<sub>2</sub>e/m.

Om alla räcken i Kajpromenaden utformas utifrån alternativ 4 hade det resulterat i ett genomsnittligt utsläpp på 2 186 kg CO<sub>2</sub>e vilket är en reduktion på 1 812 kg CO<sub>2</sub>e och nästan hälften av stålräckenas utsläpp.

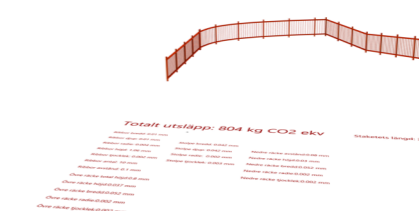
Det går även att involvera lagstiftning samt bygg- och säkerhetsregler som exempelvis minimum höjder eller avstånd mellan ribbor som parametrar i verktyget, vilket då kan generera alternativa räcken utifrån de specifika kraven som finns.

### Räcken med högre koldioxidutsläpp

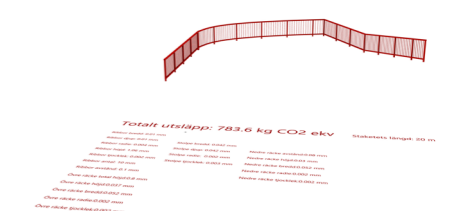
967.2 kg CO<sub>2</sub>e



804 kg CO<sub>2</sub>e



783.6 kg CO<sub>2</sub>e



# Resultat efter miljöförbättrade åtgärder

- 11 187 kg CO<sub>2</sub>e

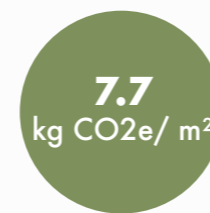
Eftersom de miljöförbättrande åtgärderna förändrar platsens estetiska uttryck och stil bör det göras avväganden mellan platsens utseende och vilken klimatpåverkan den ska tillåtas ha.

De miljöförbättrande åtgärderna minskar Kajpromenadens koldioxidutsläpp med 11 187 kg CO<sub>2</sub>e och efter åtgärderna har projektet ett totalt utsläpp på 27 725 kg CO<sub>2</sub>e och 7,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Den planterade vegetationen som potentiellt lagrar - 45 297 kg CO<sub>2</sub>e under 50 års tid har potential att kompensera utsläppen, vilket innebär att Kajpromenaden i så fall skulle ha en potentiell klimatpåverkan på -17 572 kg CO<sub>2</sub>e och -4,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Med detta resultat och utifrån vad som inkluderats i klimatberäkningen kan Kajpromenaden potentiellt lagra mer koldioxid än vad platsen släpper ut under 50 år och betraktas som klimatneutralt.

Totalt utsläpp efter klimatförbättrade åtgärder

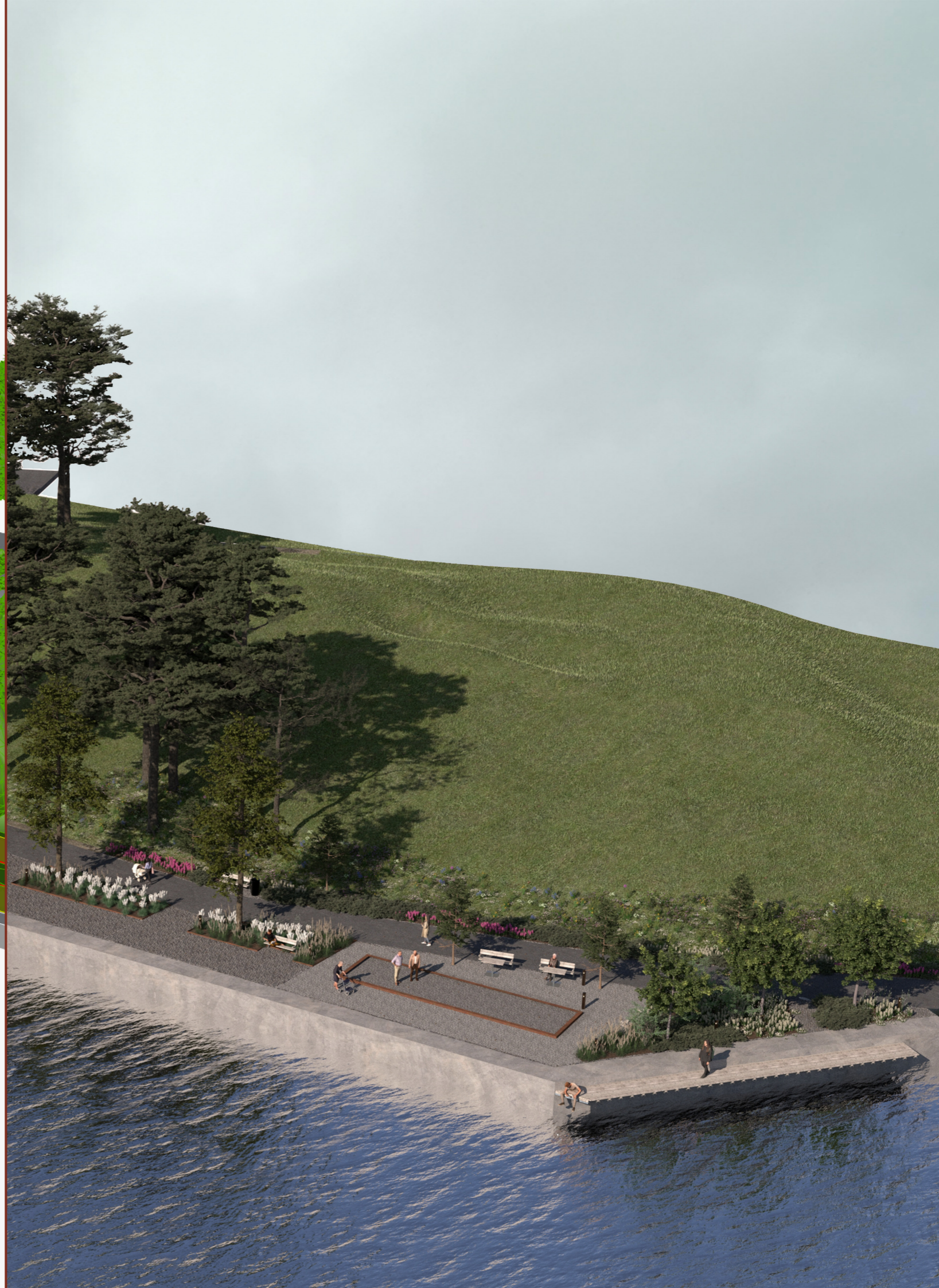


Totalt utsläpp m<sup>2</sup>



Totalt utsläpp efter klimatförbättrade åtgärder och planterad vegetation





Figur 54. Kajpromenaden.



# INTERVJUER

Landskapsarkitektur är en av flera discipliner i byggprocessens kedja, därför är det viktigt att ta del av den övriga branschens synpunkter. Oavsett hur klimatsmart landskapsarkitektens förslag kan vara, är det av relevans att undersöka övriga teknikområdets attityder till klimatberäkning.

# Myndigheten

## Kristina Einarsson

Expert miljö och klimat  
Boverket

Kristina Einarsson är expert inom miljö och klimat på Boverket, där hon under de senaste 20 åren arbetat med olika miljö- och klimatfrågor. Under de senaste sex åren har hennes arbete varit inriktat på klimatberäkningar av byggnader där hon varit övergripande projektledare för flera regeringsuppdrag om regler om klimatdeklaration för byggnader som trädde i kraft 2022. Boverket har lämnat lagförslag om klimatdeklarationer till regeringen och haft övergripande ansvar för att underlätta införandet av lagen genom bland annat utveckla Boverkets register för klimatdeklaration, en klimatdatabas och vägledning (handbok). Kristina berättar att klimatberäkningar hjälper att identifiera och kvantifiera klimatpåverkan för byggnader, och att det utgör ett bra beslutsunderlag för företag som vill minska sin klimatpåverkan. Hon redogör också för komplexiteten vid insamling av data samt kostnader som tröskel för klimatberäkning.

### Vägen till kraven

Kristina menar att kravet på klimatdeklaration för byggnader syftar till att minska klimatpåverkan genom att byggsektorn genomför klimatberäkningar, och tror att samma strategi kan tillämpas inom landskapsarkitektur. Hon berättar att bakgrunden till införandet av krav på klimatdeklaration 2022 var ett regeringsuppdrag om forsknings- och kunskapsläget om klimatpåverkan från byggnader ur ett livscykelperspektiv som Boverket avrapporterade 2015. I rapporten framförs att det finns ett behov av att staten tar ledningen i arbetet med klimatpåverkan om takten på klimatarbetet inom byggsektorn ska öka. Erfarenheter från andra länder visar att det är en framgångsfaktor. Ett verktyg för att analysera klimatpåverkan är livscykelanalyser, LCA.

Det är dock ett komplext verktyg som kräver särskild kunskap och data. Boverket noterade att trots att konsulter och entreprenörer hade byggt upp kompetens inom klimatberäkning, såg inte beställarna någon nytta av det.

### Ansvar

Einarsson betonar också att Boverket tar fram klimatdata till Boverkets klimatdatabas som är kopplat till reglerna om klimatdeklaration för byggnader, och eftersom det inte finns motsvarande regler om klimatdeklaration som rör landskapsarkitektur så tillhandahåller inte Boverket sådan klimatdata i Boverkets databas. Hon redogör för att Trafikverket, som är en stor beställare på anläggningssidan, har drivit på arbetet med klimatberäkningar inom väg- och anläggning, vilket hon tror bidragit till LCA-utvecklingen hos konsulter. Kristina understryker att kommunerna är ansvariga för den fysiska planeringen i en kommun och har även möjlighet som beställare att ställa krav. Kristina lyfter också vikten av att skapa nätverk för forskare och experter inom klimatberäkning för landskapet. Hon understryker vikten av omvärldsbevakning och att följa internationellt arbete. Kristina tror att det kan vara bra om bland annat olika forskningsinstitut kan samarbeta för att utveckla referensvärden.

Kristina rekommenderar landskapsarkitekter att vid klimatberäkning prioritera användningen av produktspecifika data över generiska om sådan finns. Hon betonar att syftet är att maximera användningen av produktspecifika data och hänvisar till att använda EPD:er i första hand om det är tillgängligt. Hon berättar även att Nordiska ministerrådet ska publicera en nordisk studie under 2024 som

genomförts av bland annat IVL Svenska Miljöinstitutet om klimatdata för byggnader och vegetation. Kristina berättar att Boverket har lämnat ett lagförslag till regeringen om att utvidga kraven på klimatdeklaration för byggnader till att inkludera markarbeten 3 meter utanför fasadlivet. Beställare har dock möjligheten att ställa egna krav på konsulter om klimatberäkningar som ligger utanför denna gräns. Hon menar att om regeringen antar förslaget kommer Boverkets klimatdatabas att kompletteras med ytterligare klimatdata som rör bland annat markarbeten och markförstärkning.

Kristina konstaterar att klimatberäkningar inom landskapsarkitektur är ett relativt nytt område och det tar tid att utveckla kunskapen. Hon beskriver också att det troligen är nödvändigt med liknande steg som tagits när klimatberäkningar för byggnader infördes, och menar att om det ska säkerställas att alla räknar på samma sätt och med rätt klimatdata, behöver också någon utforma kriterierna. Kristina betonar behovet av ökad medvetenhet om klimatfrågor och uppmanar till förberedelser och beredskap för utförande av klimatberäkningar.

## Vad tar vi med oss?

Vägen mot nationell vägledning och krav för klimatdeklaration av anläggningsprojekt innefattar flera steg och är en lång process. Det är också otydligt vilken aktör som ansvarar för framtagning av vägledning för klimatdeklaration av landskap. Trots avsaknad av krav uppmanas det att utföra klimatberäkningar, och i första hand med produktspecifika data. Eftersom kommunerna är ansvariga för den fysiska planeringen är de en aktör med möjlighet att ställa krav på klimatdeklaration. Under 2024 publiceras en studie innehållande klimatdata för bland annat vegetation vilket kan vara ett gott stöd för klimatberäkningar.

# Beställaren

## Alfred Nerhagen

Landskapsarkitekt och klimatstrateg  
Helsingborgs stad

Alfred Nerhagen har lång erfarenhet som landskapsarkitekt och arbetar sedan 1,5 år som klimatstrateg på stadsbyggnadsförvaltningen i Helsingborgs stad. I sitt arbete fokuserar han på minskning av utsläpp av växthusgaser och den omställning som branschen står inför. Han berättar att Helsingborgs stad länge har arbetat med klimatfrågor men att det ökat de senaste två åren och prioriteras allt mer. Alfred berättar att de för tillfället arbetar med klimatberäkning ur ett lärandeperspektiv, där de skapat en överblick kring olika projekt, hur olika beräkningsmetoder ser ut och vilka metoder de ska arbeta med i sina framtida klimatberäkningar. Alfred berättar att de inte själva utför klimatberäkningar i dag eftersom de inte funnit ett lämpligt verktyg, och efterfrågar ett verktyg för klimatberäkningar av landskap.

Helsingborgs stad undersöker också hur kravställningen av klimatberäkningar ska utvecklas och Alfred berättar att de för ca 1,5 år sedan beslutade att alla anläggningsprojekt över 10 miljoner och i vissa fall lägre ska redovisa en klimatberäkning. Alfred beskriver att de sammanställt klimatberäkningar som inkommit för olika projekt vilket han uttrycker svårigheter med eftersom de beräknats utifrån olika villkor och värden. Han beskriver klimatneutralt förvaltande av en stad som en ekonomisk budget fast med koldioxid. Koldioxid är den gemensamma valutan men som läget är nu har olika aktörer olika sätt att värdera valutan. Det finns ett stort behov av att detta likställs så att vi inte försöker jämföra äpplen och päron.

### Brist på anvisningar

Alfred berättar att bristen på anvisningar eller väg-

ledning för klimatberäkningar gör att beräkningarna blir väldigt olika och svårjämförbara. Han beskriver dessutom att det som kravställare råder förvirring kring för hur stora delar av projektet de ska efterfråga beräkningar, eftersom antalet material som inkluderas i beräkningar varierar. Han beskriver att han vid jämförelser upptäckt att en konsult beräknat på 85% av alla material i projektet, medan en annan endast beräknat på 22% av materialen. Han beskriver att beräkningar med sådana variationer är omöjliga att jämföra, och att de påbörjat ett arbete med att ta fram nyckeltal för beräkningar, eftersom det finns ett stort behov av gränsvärden. Han menar att bristen på branschgemensamma referensvärden innebär ovisshet kring hur klimatberäkningar ska utformas och efterfrågas.

### Avsaknad av en självklar aktör eller myndighet

Ytterligare en aspekt som Alfred lyfter är vilken aktör som bör driva en nationell databas för anläggning, och se till så att den är kvalitetssäkrad. Alfred beskriver att vägledning likt Boverkets vägledning för klimatdeklaration av byggnader hade underlättat deras arbete, men lyfter att landskapsarkitekter kanske saknar den självklara aktören. Han menar att varken Boverket eller Trafikverkets uppdrag fullständigt omfattar landskapsarkitekturen och anläggningsprojekt. Han beskriver att Boverket är klippt och skuret för hus, och Trafikverket för infrastruktur, men att Trafikverket som ansvarar för väg och järnväg troligtvis inte är intresserade av lekplatser, torg och parker och allt annat som vi har i staden. Alfred spekulerar kring om Sveriges Kommuner och Regioner (SKR) eller Naturvårdsverket möjligtvis skulle kunna ha ett sådant uppdrag, men

att det inte finns någon självklar myndighet med detta ansvar för landskapsarkitektur.

### Nätverkande

Alfred berättar att han är i dialog med Lunds kommun och Malmö stad eftersom de identifierat ett stort behov av att synkronisera sina beräkningsmetoder eftersom många entreprenörer som de arbetar med är gemensamma. Han menar att det är svårt för entreprenörer att utföra klimatberäkningar för kommunerna när kommunerna har olika anvisningar. Alfred tror att skapandet av gemensamma anvisningar mellan de tre kommunerna kan underlätta arbetet med klimatberäkning i deras närområde, men menar att det behövs anvisningar på nationell nivå.

### Svår överblick

Alfred beskriver att klimatberäkningar i dag är spridda hos olika konsulter och projektsystem och att det är omöjligt att få en överblick av dessa. Alfred menar att klimatberäkningar som utförs i exempelvis Excel och i egna verktyg är föråldrade och isolerar innehållet. Han menar att klimatberäkningar borde utföras utifrån mängdförteckningar i databaser på nätet, och om systemet hade kunnat struktureras till att hantera data för varje projekt i en databashantering, hade det kunnat gå att hämta ut data från ett projekt och se vilken klimatbelastning den utgör. I Helsingborgs stad hade det inneburit möjligheter att extrahera och samla all data från sina projekt och gett en god överblick och helhetsperspektiv av kommunens projekt.

### Förankring i designprocessen

Alfred lyfter att klimatberäkning behöver kopplas ihop med hela designprocessen och inte enbart utföra klimatberäkningar när projekten är färdiga. Han beskriver klimatberäkning som ett sorts projekteringskvitto för det som beslutats och den klimatbelastning som projektet har, men att kvittot kommer så sent i processen att det är svårt att påverka gestaltningen. Alfred beskriver att det behövs designverktyg som har en koppling till kvittot, så att klimatberäkning och gestaltning inte sker i två separata processer utan i stället som olika steg av samma process. I ett drömscenario beskriver Alfred att klimatberäkning behöver kunna kopplas ihop i olika sorters designverktyg. Alfred betonar att det behövs en standard för klimatberäkning inom landskapsarkitektur som ska kunna flöda mellan de olika leden och mellan olika verktyg, exempelvis från Autocad till SketchUp eller andra BIM verktyg.

Alfred beskriver också att klimatberäkningens kedja på sikt även borde kopplas mot detaljplaneprocessen och kanske även ännu längre bort i översiktsplanen där beräkning också behövs. Han beskriver att det behövs en hel kedja av olika beräkningsmoduler som behöver vara fristående, men samtidigt vara möjliga att koppla ihop med varandra och bygga på samma grundprinciper så att det inte blir äpplen och päron.

### Avgränsning i klimatberäkningar

Alfred lyfter även behovet av en motsvarighet till BTA för landskaps- och anläggningsprojekt, för att kunna mäta gränserna för ett projekt och enkelt veta vad som ska räknas in och inte. Detta menar han är särskilt viktigt när det tas fram gränsvärden. Eftersom arbetsområdesgränserna kan sträcka sig

# Beställaren

långt och även innefatta ytor för byggbodar och annat menar han att det inte är en självklar avgränsning i en klimatberäkning.

## Förändring i städer

Alfred menar att klimatberäkningar i dag räknar med en tidshorisont på 50 år medan många platser egentligen byggs om efter 30 år eller mindre. Han berättar att inga platser i innerstaden håller i 50 år eftersom behoven ändras fort nuförtiden. Alfred menar att vi egentligen bör utföra klimatberäkningar med en tidshorisont på 100 eller 200 år eftersom vi behöver platser som håller längre, men menar att det innebär en utmaning med tanke på att beteenden, förutsättningar och funktioner ständigt förändras i staden och utmanar det som byggs. Alfred betonar att om vi bygger en plats som är bra och håller länge, men platsens funktion ändras och därför måste byggas om, kanske det hade för höga koldioxidutsläpp när det byggdes i förhållande till hur länge det faktiskt skulle leva. Eller, menar han att vi kanske bör begränsa hur snabbt vi förändrar staden, vilket vi rent historiskt inte varit bra på den senaste tiden. Det är därför viktigt att använda material som är lätta att återbruka, som har lång livslängd och som estetiskt känns tidlösa. På så sätt tillkommer inte så mycket nya utsläpp när man ändå måste bygga om i framtiden.

## Ny- eller ombyggnation

Alfred berättar att Boverkets förslag på gränsvärden är för byggnader och rör nybyggnation, och betonar att det inom anläggning i Helsingborg är mindre nybyggnation och mer ombyggnation av befintliga platser och ytor än nyexploatering. Han menar att

de i många fall inte byter marköverbyggnader som bär- och förstärkningslager utan enbart slitlager. Detta kan jämföras med renovering, ombyggnad och tillbyggnad inom byggnation, där Boverket idag saknar gränsvärden och det även kan bli svårt att ta fram sådana. Han beskriver att klimatberäkningar därför varierar mycket beroende på om det enbart ska bytas slitlager eller om det måste grävas ut för att få en ny marköverbyggnad. Han menar att detta är en utmaning kring klimatberäkning som de inte fastställt hantering av.

## Olika förutsättningar

Ytterligare en utmaning rörande skapandet av en nationell databas menar han är att vi har olika förutsättningar i olika delar av landet, vilket gör att det kan vara svårt att ha gränsvärden som gäller i hela landet. Han beskriver att exempelvis träd etablerar sig olika snabbt och lagrar koldioxid i olika takt i olika delar av landet, där det kan skilja sig mycket mellan ett träd i Helsingborg och i Norrland. Det också skillnader i de fysiska markegenskaperna mellan olika platser, allt från berg i dagen till morän och lera, samt vad som räknas som frostfritt djup. Dessa skillnader ger helt olika förutsättningar för förarbete, hur djupt man måste gräva och uppbyggnad av överbyggnad.

## Det gröna

Alfred tycker det är intressant hur vegetation värderas i klimatberäkningar, och menar att man säger att stadsträd i snitt brukar hålla i cirka 30 år eftersom förändringarna i staden inte låter stadsgrönskan få leva så länge som önskat. LFM30 utgår från att träd generellt bara har hälften av sin klimat-

potential i en stad eftersom de blir angripna eller kanske inte trivs på platsen, och därför menar han att trädens potential inte bör övervärderas i en klimatberäkning. Han menar samtidigt att vi också bör inkludera grönskan i våra beräkningar eftersom det ändå ger ytterligare skäl till att göra staden grönare.

## Drivkraft

Alfred tror att drivkraften hos Helsingborgs stad för krav på klimatberäkning varit en vision om klimatneutralt byggande. Han tror att om det inte hade funnits en vision hade det trots klimatförändringar tyvärr inte heller identifierats ett behov av klimatdeklaration. I Helsingborgs klimat och energiplan som börjar gälla år 2025 hoppas Alfred att ha tagit fram anvisningar för klimatberäkning och systemgränser för avgränsning, och gränsvärden för anläggningar för vilka maximala mängder koldioxidutsläpp som projekten bör förhålla sig till.

## Vad tar vi med oss?

Det finns ett stort behov av gemensam vägledning och klimatdata för landskap och anläggningsprojekt. Fram tills att det realiserats går det att nätverka med andra kommuner eller aktörer för att skapa ett gemensamt arbetssätt som en bit på vägen. Nätverkandet kan också bidra till att de klimatberäkningar som skapas är likvärdiga och jämförbara trots avsaknad av gemensamma värden. Staden förändras och platser används sällan i mer än 30 år, och det är någonting att ha i åtanke när vi gestaltar miljöer, vad händer med materialet sen? Det är viktigt att utföra klimatberäkningar i tidiga skeden för att beräkningen inte bara ska vara ett kvitto utan en del av designprocessen.



# Entreprenören

## Alma Bokenstrand

Hållbarhetsspecialist  
Skanska

Alma Bokenstrand är hållbarhetsspecialist på Skanska och har arbetat med klimatfrågan på Skanska i många år. Hon kallar sig generalist och tillhör en större grupp av specialister som arbetar med klimat och hållbarhet inom olika områden. Skanska utför klimatberäkningar av både byggnader, väg och anläggningsprojekt.

Alma beskriver att Skanska utför klimatberäkningar både som byggherre och entreprenör, och att de utför alla sina klimatberäkningar själva. Alma berättar att Skanska påbörjade arbetet med klimatkalkyler i samarbete med IVL svenska miljöinstitutet redan 2008 då de tillsammans påbörjade utveckling av ett verktyg för klimatberäkning. De påbörjade arbetet genom att reflektioner kring vilken miljöpåverkan som deras projekt hade och vilka koldioxidutsläpp som de gav upphov till. Hon berättar att de efter några år började implementera verktyget i sina bygg- och anläggningsprojekt. 2015 upprättade Skanska ett mål på klimatneutralitet till 2045.

### Utbyte av data

Alma berättar att de utförde ekonomiska kalkyler tidigt i projekten och att deras programvara beräknade mängderna av material och de kostnader de hade. Hon beskriver att de ersatte och omvandlade data i den nyutvecklade programvaran från kostnader till koldioxidutsläpp och på så sätt utformade klimatkalkyler. Skanskas klimatberäkningar utförs i LCA-skedet A1-A5 vilket innebär produktions- och byggproduktionskedet, men i de fall som certifieringar efterfrågat ytterligare LCA-skeden har de utfört även det. Alma beskriver att de använder både generiska och produktspecifika data i sina klimatberäkningar, och att de strävar efter att använda så

specifika data som möjligt. Programvaran utgår från generiska data, men EPD:er finns även inbyggda i programmet och att de också kan läsas in.

Alma berättar att arbetet med klimatberäkning till en början var en intern fråga där drivkraften till utvecklingen av verktyget var en intern önskan att kunna identifiera de olika utsläppen som deras projekt genererade och vad de skulle kunna bli bättre på. Hon beskriver att klimatkalkylen med tiden blev ett incitament att dela med kunder, för att öka medvetenheten om projektets klimatpåverkan och räkna på klimatförbättrande åtgärder projekten. Alma beskriver också att det gav dem fördelar vid de upphandlingar som ställde krav på klimatberäkning. Alma beskriver att det har varit fördelaktigt att de varit tidiga på klimatberäkning innan det efterfrågats, och lyfter att drivkraften var ledningens höga ambitioner kring klimatfrågan.

### Beräkning i alla skeden

Alma lyfter för- och nackdelar med klimatberäkningar i olika skeden. Hon beskriver att beräkningar i sena skeden är enkla och mer exakta att utföra då material och mängd är föreskrivet. Hon lyfter också att beräkningar i sena skeden innebär att beslut redan är fattade och en representation av projektets utsläpp utan möjlighet till miljöförbättrande åtgärder, eftersom eventuella förändringar blir kostsamt längre in i projekten. Därför betonar Alma vikten av att även utföra klimatberäkningar i tidiga skeden, då det finns möjlighet att göra förändringar i projektet. Hon menar också att exaktheten och det faktiska utsläppet är svårare att beräkna i tidiga skeden, och att det är viktigt att beräkningar utförs både tidigt och sent i projekt. Alma lyfter att

kravet för klimatdeklaration av byggnader ställer krav på beräkning av färdiga projekt, och syftar till att redovisa det färdiga projektet snarare än att ha en inverkan på eventuella förändringar i projektet. Hon hoppas att det trots det utförs klimatberäkningar i olika skeden, men menar att kunskaper och slutsatser som dras från alla beräkningar troligtvis kan vägleda beslut i framtida projekt. Alma menar att det är viktigt att alla räknar på samma sätt, och att det likt kravet på klimatdeklaration för byggnader behövs liknande vägledning och riktlinjer kring hur anläggningsprojekt ska beräknas, för att kunna jämföra olika projekt.

### Beräkningens omfattning

Alma upplyser om de typer av utsläpp som inte vanligtvis inkluderas i klimatberäkningar, och lyfter att vi behöver undersöka vad de har för utsläpp och inkludera dem, exempelvis förändrad markanvändning, kolsänkor eller vilken klimatpåverkan biologisk mångfald faktiskt har. Alma berättar att en stor fråga inom branschen just nu handlar om hur vi får med allt i klimatberäkningar och att hon i ett SBUF projekt undersökt frågor kring klimatberäkningar som omfattar mer än enbart material och användning.

### Transparens & syfte

Alma beskriver att transparens är essentiellt i klimatberäkningar och lyfter att klimatberäkningar inte skapas för att varje decimal ska bli rätt, utan att få en uppfattning om utsläppen och uppmuntra ett arbete mot mer klimatpositiva projekt. Hon menar att det är viktigt att minnas syftet med klimatberäkningar, som hon menar är att projekten ska släppa

ut mindre koldioxid. Alma hoppas att klimatberäkningar blir mer omfattande, och att det tydliggörs hur beräkningar ska utföras. Hon menar att förstärkelsen för biologisk mångfald och markanvändning behöver spridas, och vill att beräkningar ska få tydliga kopplingar till dessa.

## Vad tar vi med oss?

Det behövs tydlig vägledning och riktlinjer kring användning av data och med vilka villkor som klimatberäkningar utförs. Beräkningar behöver utföras i både tidiga och sena skeden för större möjligheter att förändra utsläppen. Klimatberäkningar behöver bli mer omfattande och inkludera mer aspekter inom byggprocessen.

# Projektören

## Nicholas Gulick

Landskapsarkitekt  
WSP

Nicholas Gulick är landskapsarkitekt på WSP Sverige och är särskilt intresserad av 3D-modellering och parametriska verktyg. Nicholas har varit uppsatsens externa handledare på WSP och varit med i utvecklingen av arbetsmetoden som utvecklats i uppsatsen. Nicholas beskriver att han inte tidigare arbetat med klimatberäkning, men utforskat klimatanpassning med hjälp av parametriska verktyg i tidiga skeden av sina projekt, genom analyser av både vindkomfort och dagvattenhantering.

### Medvetenhet

Nicholas lyfter vikten av att klimatberäkningar inte bara bör användas för att representera ett resultat eller som en produkt av modellens utsläpp, utan att det bör användas för att fatta även tidiga beslut kring formgivning i modellen. Nicholas tror att klimatberäkning kan skapa ytterligare dimensioner och bidra till projektets berättelse. Han beskriver en strävan efter att aktivt inkludera klimatdata genom parametrisk modellering, som han tror kan tillföra ett narrativ för analyser och formgivning inom den iterativa designprocessen. Nicholas menar att mer informerade designbeslut gynnar både landskapsarkitekten och beställaren i och med interna klimatmål. Han lyfter att klimatberäkning innebär en viktig utveckling som bör spridas i branschen eftersom medvetenheten i tidiga processer kan minska klimatpåverkan i projekt.

### Utmaningar i verktygen

Nicholas beskriver att en utmaning med klimatberäkning i Rhino och Grasshopper är att verktyget för klimatberäkning inte är en inbyggd funktion eller plugin i verktygen, utan att det utgörs av ett skript.

Han beskriver att klimatberäkning i verktyg som Revit kanske utförs mer direkt eftersom det finns funktioner för att lägga in information om objekten. Han beskriver därmed att arbetsprocessen för klimatberäkning och hantering av klimatdata i Revit troligtvis är enklare. Nicholas lyfter både för- och nackdelar i 3D-modelleringsverktygen Revit och Rhino. Nicholas menar att trots att Revit innebär enklare arbetsflöden, överväger fördelarna vid klimatberäkning i Rhino tyngre eftersom arbetsflödet i Rhino förankras bättre i landskapsarkitektens iterativa designprocess. Han berättar att Rhino tillåter mer kreativt så väl som analytiskt arbete och kan testa en formgivning på ett sätt som inte är möjligt i Revit.

Eftersom Revit begränsar möjligheterna för fritt utforskande menar han att det därför är svårörankrat i den iterativa designprocessen.

Nicholas menar att en klimatberäkning i Revit enbart kommer fram till konstaterandet av hur mycket modellen släpper ut, och eventuellt går att testa utsläppen av olika material på olika ytor, men att verktyget därefter inte erbjuder andra möjligheter att pröva nya miljöförbättrande alternativ såsom Rhino och Grasshopper gör.

Han beskriver att fördelar med klimatberäkning i Rhino och Grasshopper därför är ett utforskande och prövande av miljöförbättrande lösningar och formgivning med koldioxidutsläpp som parameter. Han menar att det är lättare att kontinuerligt testa utsläppen parallellt med gestaltningen och idéerna i stället för att enbart konstatera utsläppen efter att formgivningen är färdig. Han beskriver att det i Rhino går att vrida och vända på och arbeta med klimatdatan parametriskt på oändligt många

sätt i tidig designprocess vilket inte är möjligt i Revit. Enligt Nicholas tillåter Rhino alltså mer frihet som förloras vid gestaltning i Revit.

### Båda verktygen behövs i designprocessen

Nicholas upplever Revit som ett program för dokumentation eller CAD-liknande program snarare än ett verktyg för kreativt utforskande. Nicholas menar att Revit är ett exemplariskt verktyg för skapande och dokumentation av bygghandlingar som sektioner och planer, när designbeslut redan är fattade. Nicholas beskriver att skapande av bygghandlingar i Rhino innebär en utmaning. Nicholas beskriver att det finns plugins som överför objekt i Rhino modeller till Revit modeller, och att det på så sätt finns möjligheter att använda Rhino för formskapande och därefter föra över modellen i Revit för att skapa bygghandlingar av det.

Nicholas tror att verktyg som uppfattas som lätthanterliga kan uppmuntra landskapsarkitekter att testa klimatberäkning, och har därför försökt att utforma ett skript som lätt kan användas av de landskapsarkitekter som har vana kring arbete i 3D-modelleringsverktyg.

### 3D och bygghandlingar

Nicholas beskriver att det är en ständig utmaning i att arbeta i 3D i en byggbransch där bygghandlingar ska vara i 2D, eftersom det kräver att gå fram och tillbaka mellan verktygen. Han anser att gestaltning i 3D är bättre i den kreativa designprocessen men beskriver att det är svårt att utforma en 3D modell enligt byggstandarden "Bygghandlingar 90" för hur

en ritning ska se ut. Nicholas berättar att kraven för bygghandlingar ser annorlunda ut i olika länder, och bara man kommer till Norge utformas bygghandlingar i 3D också. till Norge utformas bygghandlingar i 3D också.

## Vad tar vi med oss?

Klimatberäkningar bör inte enbart användas för att redovisa projektens utsläpp, utan också för att fatta tidiga designbeslut i modellen. Klimatberäkning i parametriska verktyg möjliggör mer än att undersöka modellens klimatpåverkan, och tillåter även prövning av miljöförbättrande alternativ där koldioxidutsläpp anges som parameter. Klimatberäkning innebär stora fördelar men också utmaningar eftersom det i dag krävs ett flödande mellan olika verktyg. Det kan innebära svårigheter för de som inte har kompetens i 3D-modelleringsverktyg, och vara utmanande vid skapande av bygghandlingar i 3D-verktyg dels på grund av standarder, också för att bygghandlingar vanligen utförs i 2D i Sverige.

# Leverantören

## Gustav Stål och Carolina Carlsson

Säljare, utveckling-och hållbarhetschef  
Essunga plantskola

Carolina Carlsson är ingenjör och utveckling- och hållbarhetschef och Gustav Stål är landskapsarkitekt och säljare på Essunga plantskola, beläget i Essunga i Västra Götaland. Carolina jobbar med hållbarhet, logistik och utveckling av biokol och Gustav jobbar med sälj och rådgivning.

### Essungas klimatarbete

Intervjupersonerna berättar att Essunga plantskola inte arbetar med klimatberäkning enligt uppsatsens definition, men att de aktivt arbetar med att reducera sin torvanvändning och bland annat tillverkar eget biokol och odlingssubstrat för att ersätta torvanvändningen på plantskolan. De beskriver att plantskolor alltså på sätt och vis aktivt arbetar med klimatförbättrande åtgärder, utan att utföra själva beräkningarna för växterna. Gustav beskriver att torv är ett material med höga utsläpp av växthusgaser vilket är en het diskussionsfråga i branschen, varför det prioriterats. De berättar att plantskolan tidigare odlat i torv som är det konventionella materialet för odling, men i år reducerat torvanvändningen med 70%.

### Olika klimatifokus

Carolina tror att växtbranschen har kunnat leva på ryktet och vetskapen kring att träden i sig är kolsänkor, och att ingen i ledet därför har efterfrågat information kring processernas koldioxidutsläpp, varför EPD:er inte efterfrågats. Intervjupersonerna berättar att de har ett samarbete med en holländsk plantskola som utför klimatberäkningar och berättar att de holländska och tyska plantskolorna är mycket stora och har mer resurser för att utföra klimatberäkningar än svenska plantskolor. Gustav

lyfter också att det görs olika typer av prioriteringar för klimatarbete vid olika plantskolor och i olika länder. Han beskriver att samtidigt som plantskolor i Tyskland och Holland utför klimatberäkningar, odlar de också med torv som är ett material som andra länder som Storbritannien förbereder förbud för till 2024.

### Utmaningar vid utformning av EPD:er för växter

Carolina som tidigare i sitt yrkesliv arbetat med utformning av EPD:er berättar att en utmaning i att utföra klimatberäkningar av just vegetation i Sverige kan vara den korta växtsäsongen som är väldigt väderberoende vilket innebär långa produktionsstiden i jämförelse med utformning av EPD:er för hårdgjorda ytmaterial. Hon menar att det vid insamling av data vid utformning av EPD:er för vegetation behöver mätas längre än en dag, och över en längre period vilket den korta växtsäsongen innebär svårigheter för. Hon beskriver att det är svårt att beräkna växternas framtid på grund av att det är stora variationer i det de säljer, och beror mycket på etableringen.

### Konservativ bransch

Carolina berättar att en anledning till att det inte utförs klimatberäkningar på plantskolor i Sverige ännu kan vara för att det varit en bransch som länge har drivits av äldre generationer, vilket därmed kan ha inneburit kunskapsluckor. Carolina tror därför att de yngre generationerna kommer att införa nya aspekter och tankesätt som tidigare inte identifierats. Hon beskriver att eftersom det inte funnits en efterfrågan av EPD:er för vegetation har

det inte varit förrän nu som plantskolor förstår att de behöver räkna på sina växter.

Carolina beskriver att plantskolan genom tiderna följt samhällstrender och efterfrågan och planterat det kunderna velat ha, efter krig planterades det mycket fruktträd, när det byggdes mycket bostäder efterfrågades prydnadsträd, och i dag efterfrågas egenskaper kring trädens funktion för klimatanpassning och tålighet vid kraftiga skyfall, torka, stark sol samt vad träden planteras i för jord. Med det menar Carolina att plantskolan inte arbetar med klimatberäkning i dag för att det inte efterfrågats ännu, och har inte varit någonting som plantskolor har behövt tänka på tidigare. Carolina och Gustav tror att det inte handlar om ifall plantskolor kommer att påbörja arbetet med EPD:er utan snarare när.

## Vad tar vi med oss?

Orsaker till att leverantörer inte skapar EPD:er i dag kan vara av flera anledningar. Det kan handla om olika klimatifokus, en konservativ bransch eller på grund av de utmaningar som innebär vid livscykelanalys av vegetation. Det kan också handla om brist på efterfrågan av EPD:er, vilket innebär att leverantörer inte identifierat behovet än.

Leverantörer kan arbeta med miljöförbättrande åtgärder, och med utveckling av sina produkter vilket kan sänka dess koldioxidutsläpp utan att det huvudsakliga syftet är att minska klimatpåverkan. Essunga plantskolas arbete med att minska torvanvändningen och öka användningen av biokol kan vara ett sådant exempel där plantskolan troligtvis sänkt koldioxidutsläppen av sina produkter utan att fokuset var att ha goda resultat på en klimatberäkning. EPD:er av vegetation skapas troligtvis när det börjar efterfrågas, vilket innebär att efterfrågan kan behöva starta tidigt i kedjan.

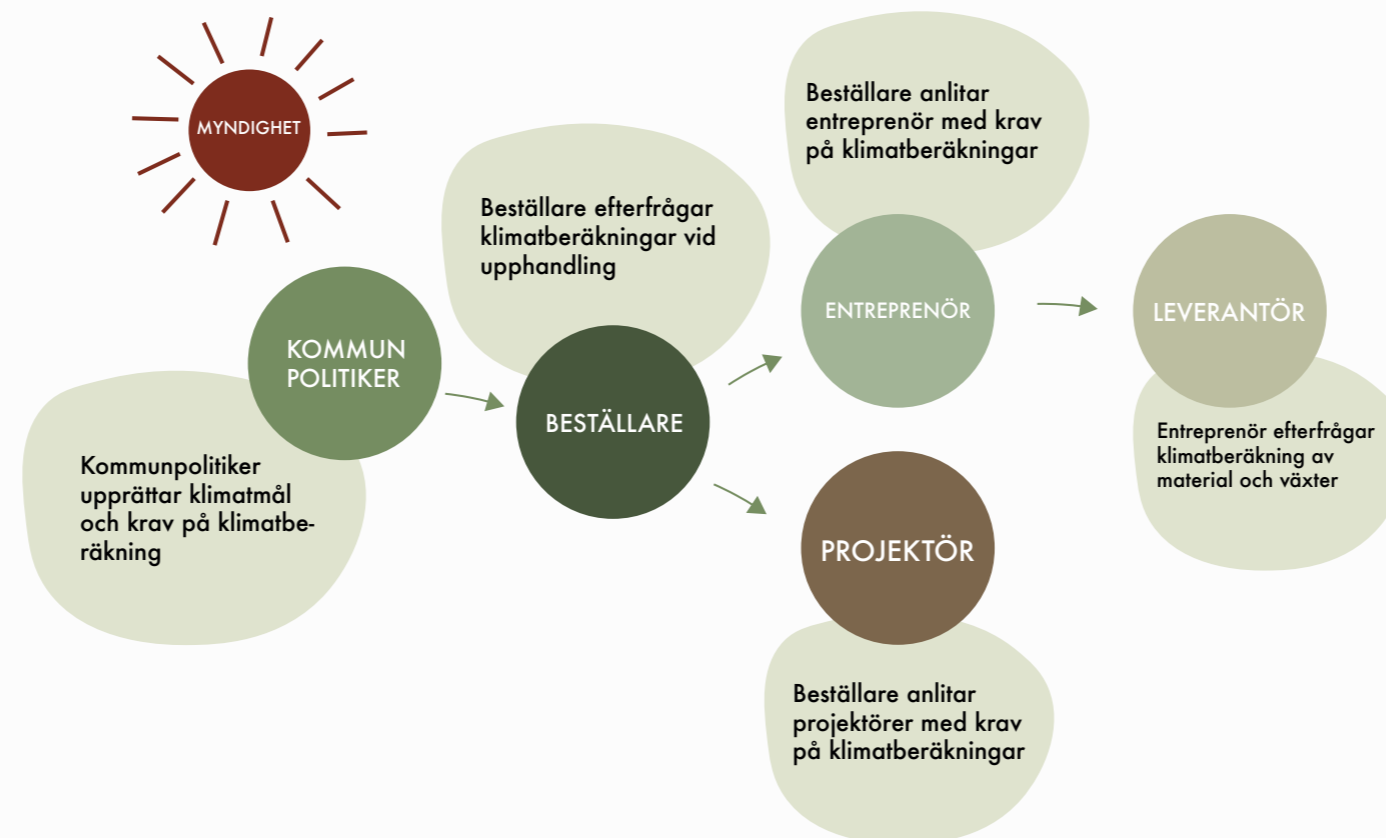
## Sammanfattning intervjuer

Samtliga intervjupersoner har uttryckt ett behov av en standard, gemensamma referensvärden, samt vägledning, och det råder en ovisshet kring vem som bär ansvaret för utformningen av dessa. Samtliga intervjupersoner menar också att klimatberäkningar borde utföras i tidiga skeden av projekt för att inte enbart vara ett kvitto på projektens klimatpåverkan, utan hjälpa till att fatta medvetna designbeslut. Både Alfred Nerhagen och Nicholas Gulick beskriver att klimatberäkningar behöver flöda genom olika verktyg och processer för att passa dagens modell för projektering.

Intervjupersonerna har också en gemensam uppfattning om att efterfrågan eller krav på klimatdeklaration kan ställas av beställare för att bana väg för och ge möjlighet för klimatberäkning att flöda genom byggprocessens kedja. Kristina Einarsson klargör att det är kommunerna som har ansvar för den fysiska planeringen i en kommun och har rådighet att ställa krav, samtidigt som alla intervjupersoner uppmuntrar till att utföra klimatberäkningar på egna initiativ. För att förbereda sig på den förändring som sker i branschen, och besitta kompetensen när det börjar efterfrågas i högre grad. Både Alfred Nerhagen och Kristina Einarsson lyfter vikten av nätverkande bland de som arbetar med klimatberäkning inom landskapsarkitektur, och menar att kunskaperna behöver samlas. Intervjupersonerna belyser slutligen vikten av transparens vid klimatberäkning, eftersom det ökar förståelsen för varandras beräkningar i en bransch utan gemensam vägledning.

Efter intervjuerna gjordes ett försök att visualisera hur klimatberäkning skulle kunna flöda genom byggprocessens kedja.

### Den potentiella kedjan för klimatberäkning i bygg-och anläggningsprocessen



Figur 55. potentiell metod för implementering av klimatberäkning i byggprocessen.

A lush garden scene with various trees and flowers under a blue sky. In the foreground, there are several large, light-colored flowers, possibly hydrangeas, and smaller white flowers. A dark, low-lying shrub is visible on the right. In the middle ground, there are several trees, including a large, full-canopied tree on the right and a smaller, more upright tree in the center. The background shows a grassy hillside under a clear blue sky with a few wispy clouds.

# DISKUSSION

I detta avsnitt diskuteras de olika resultaten från de metoder som använts för att undersöka om uppsatsens frågeställning besvarats. Avsnittet sammanfattar och ifrågasätter resultaten samt diskuterar vilka utmaningar och möjligheter som klimatberäkning innebär.

# Diskussion

- Hur kan landskapsarkitekter arbeta med klimatberäkning i designprocessen, och vilka utmaningar innebär klimatberäkning inom landskapsarkitektur?

- Vad har Kajpromenaden för klimatpåverkan, och hur mycket av projektets koldioxidutsläpp går att minska genom klimatberäkning i parametriska verktyg?

## Diskussion

Syftet med uppsatsen var att skapa förutsättningar för landskapsarkitekter att tillämpa klimatberäkning i sitt vardagliga arbete. Uppsatsens syfte har uppnåtts genom att det utformats en arbetsmetod för klimatberäkning som landskapsarkitekter på WSP kan tillämpa i sitt arbete. Förutsättningar har skapats genom att det utformats en materialdatabas som innehåller de vanligast förekommande materialen inom landskapsarkitektur, som går att tillämpa för både klimatberäkning i 3D och klimatberäkning i LCPro. Ett mål med uppsatsen var att undersöka vilka möjligheter det finns för att utföra klimatberäkningar i Kajpromenaden med hjälp av parametrisk design och verktygen Rhino och Grasshopper. Resultatet visar att det var möjligt att utföra klimatberäkningar i verktygen samt att miljöförbättrande åtgärder minskade Kajpromenadens klimatpåverkan med hjälp av parametriska verktyg. Eftersom skriptet i Grasshopper kan återanvändas i olika projekt, kan verktyget trots den höga inlärningskurvan som det vanligtvis innebär vid arbete i parametriska verktyg, tillämpas av landskapsarkitekter som inte har fullständig kompetens i de parametriska verktygen.

## Mottaglig bransch

Utifrån enkätstudien framgår det att 64,1% av respondenterna är landskapsarkitekter som examinerats de senaste 12 åren, och totalt 83,9% under de senaste 23 åren. 74% av alla respondenter innehar kompetens inom 3D-modelleringsverktyg vilket innebär att de landskapsarkitekter som examinerats de senaste 23 åren kan arbeta med klimatberäkning i 3D. De landskapsarkitekter som besitter kunskaper i 3D-modelleringsprogram har därför tillräcklig kompetens och goda möjligheter att arbeta med klimatberäkning i 3D. Bland respondenterna var det 15,6% som svarade att de arbetar med klimatberäkning i designprocessen, och 65,7% som svarade att de skulle vara intresserade av att klimatberäkna i en 3D-modell.

Resultatet av litteraturstudien, tillämpningsstudien och bransch- och användbarhetsstudien visar att landskapsarkitekter kan arbeta med klimatberäkning i designprocessen genom att arbeta med 3D klimatberäkning parallellt med övriga processer i den iterativa designprocessen, klimatberäkningen kan fungera som en kompletterande arbetsmetod tillgänglig vid avvägningar mellan olika material, produkter eller element i gestaltningen. I litteraturstudien är Nikologianni & Albans (2023) och Kuittinen et al. (2021) tillsammans med samtliga intervjupersoner som Kristina Einarsson, Alma Bokenstrand, Nicholas Gulick och Alfred Nerhagen överens om att klimatberäkning kan informera och vägleda landskapsarkitekten kring den potentiella klimatpåverkan som projekt kan innebära och bidra till mer medvetna beslut i både tidig och sen designprocess.

## Ökad medvetenhet

Syftet var också att bidra till att öka landskapsarkitektens medvetenhet kring utsläppen av de material de använder, och att minska kunskapsglappet mellan miljöexperter och landskapsarkitekter. Dessa syften har uppfyllts genom att de landskapsarkitekter som använder de olika arbetsmetoderna för klimatberäkning kan få en större inblick och medvetenhet kring den miljöpåverkan som olika material har. Uppsatsens enkätstudie har även påvisat att klimatberäkning innebär en kostnadsfråga för kontor, eftersom inte alla har resurser eller budget för att utföra klimatberäkningar på egna initiativ. Av denna anledning kommer det för många kontor behövas ett krav på klimatdeklaration från beställare för att landskapsarkitekter ska utföra klimatberäkningar. Det betyder också att alla landskapsarkitekter kanske inte kommer att ha möjlighet att öka sin medvetenhet kring materialen de använder fram tills att de tilldelas resurser för att utföra klimatberäkningar.

## Avsaknad av gemensamma krav, referensvärden, standardisering, vägledning och klimatdatabas

Både i intervjustudien, kommentarer från enkätstudien och i litteraturen betonas avsaknaden av krav, en gemensam standard, vägledning, referensvärden och klimatdatabas som orsaken till de utmaningar som klimatberäkning inom landskapsarkitektur innebär. Resultatet av enkätstudien visade att enbart 15,6% av de yrkesverksamma landskapsarkitekter som besvarade enkäten arbetar med klimatberäkning i dag, en siffra som kan vara en konsekvens av den bristande tillgången på vägledning, standarder och krav för landskapsarkitekter i dag.

I litteraturstudien belyser Boverket (2019 c) vikten av standarder för att uppnå transparens, enhetlighet och trovärdighet i klimatberäkningar. Kuittinen et al. (2021) lyfter också att verktyg för klimatberäkning inom landskapsarkitektur är otillräckliga och saknar standarder. De beskriver landskapsarkitekturen som eftersatt i jämförelse med övriga byggbranschen och menar att de som utför standardiseringar bör skapa resurser för utveckling av standarder som även omfattar landskapet.

I litteraturstudiens analys av verktyg för klimatberäkning inom landskapsarkitektur påvisades verktygens olikheter rörande innehåll som miljödata, beräknade LCA-skeden, om det beräknas i 3D eller inte, om både kollagring och koldioxidutsläpp inkluderas och vilken relevans de har för landskapsarkitektur. Även analysen av tidigare utförda klimatberäkningar inom landskapsarkitektur bidrog till en ökad förståelse för de olikheter och den varierande omfattningen som klimatberäkningar inom landskapsarkitektur innebär, och vad som uppstår när det inte finns gemensam vägledning. Analysen belyste behovet av branschgemensamma standarder, verktyg och klimatdatabas. Även i enkätstu-

dien framgår det att landskapsarkitekter har olika metoder för klimatberäkning, och även använder olika verktyg. Variationen innebär svårigheter vid förståelse av klimatberäkningar eftersom det inte går att jämföra beräkningar.

## Brist på LCA standarder

Eftersom det finns en brist på LCA standarder inom landskapsarkitektur kan landskapsarkitekter välja att förhålla sig till rådgivning för klimatberäkning av byggnader, fram tills att ett tillräckligt stort behov av standarder för landskapsarkitektur identifieras och nya standarder upprättas.

## Brist på referensvärden

I dagsläget finns det inga branschgemensamma referensvärden eller gränsvärden för hur mycket ett projekt inom landskapsarkitektur bör släppa ut, vilket gör det svårt att sätta projekten i perspektiv. Bristen på referensvärden innebär också svårigheter för kommuner att utforma klimatmål och upprätta maximala koldioxidutsläpp.

## Brist på gemensam klimatdatabas

Bristen på en gemensam klimatdatabas bidrar till mindre trovärdiga resultat och försvårar möjligheterna att jämföra projekt inom landskapsarkitektur som utförs av olika företag. I intervjun med Kristina Einarsson på Boverket rekommenderas landskapsarkitekter att i första hand använda sig av produkt-specifika data i EPD:er, och vid behov generiska data. I intervjun med Kristina lyfts det att en klimatdatabas som innehåller vegetation kommer att bli publicerad under det kommande året. Eftersom det inte finns ett gemensamt verktyg, en gemensam klimatdatabas eller gemensamma referensvärden innebär det att företag i dag kan göra klimatberäkningar och välja generiska data till sin fördel. Utifrån jämförelserna av materialdata framgår det att materialen kan ha väldigt olika utsläpp beroende på källa. En problematik rör även mängden dataluckor för material och produkter inom landskapsarkitektur, och en annan problematik handlar

om att selektera bland olika generiska och specifika emissionvärden för ett och samma material.

## Vems ansvar? Kravställning, standardisering och vägledning inom landskapsarkitektur

Utifrån intervjustudien med Kristina Einarsson från Boverket lyftes ett ansvar av kommunpolitiker att upprätta klimatmål och krav på klimatdeklaration som ställer krav på beställare, som därmed kan skapa en efterfrågan på klimatberäkningar som hos aktörer som entreprenörer, projektörer och leverantörer. Kristina Einarsson lyfte även att branschen behöver skapa ett nätverk av kompetens kring klimatberäkning inom landskapsarkitektur, för att likt införandet av krav på klimatdeklaration för byggnader, visa att det finns en kompetens och ett behov av nationell vägledning, en klimatdatabas och referensvärden för beräkningar. I intervjun med Alfred Nerhagen diskuterades vem som ansvarar för landskapsarkitektur och avsaknaden på en konkret myndighet som skulle införa krav och vägledning för branschen.

Intervjun med Carolina Carlsson från Essunga plantskola påvisade att en bristande efterfrågan kan vara en orsak till att klimatberäkningar för vegetation inte skapas i nuläget. Även Kuittinen (2021) beskriver att utformning av EPD:er för växter skulle gynna alla intressenter i kedjan genom att öka konkurrenskraften och intresset av att skapa mer hållbara produkter och projekt. Genom större efterfrågan på EPD:er av produkter som används i projekten kan det gå att sprida en medvetenhet av material- och produktval i hela kedjan. Både Kuittinen et al. (2021) och Carolina Carlsson på Essunga plantskola lyfter också svårigheterna med utformning av EPD:er för vegetation som båda menar att utformningen av EPD:er behöver förändras och utvecklas för att passa vegetationens livscykel. Det borde vara av både kommuners intresse att ställa krav på kli-

matberäkning, som exempelvis Helsingborgs stad, och även av företag att utföra klimatberäkningar på egna initiativ och utrusta sig inför framtida krav. Kommunerna kan möjligtvis vägleda eller kravställa branschen till att redovisa klimatdeklarationer för anläggningsprojekt genom markanvisningsavtal. Det skulle möjligtvis även motivera arbete med klimatberäkning i tidiga skeden för att erhålla så goda resultat som möjligt på den färdiga deklARATIONEN.

## Kajpromenadens klimatpåverkan

Eftersom klimatberäkningen avgränsar sig till att beräkna Kajpromenadens koldioxidutsläpp i produktionsskedet av materialen, bör resultatet inte antas som definitivt eller fullständigt. Som Alma Bokenstrand beskriver skapas inte klimatberäkningar i första hand för de specifika siffrorna eller för att varje decimal ska bli rätt, utan att få en uppfattning om utsläppen och uppmuntra ett arbete mot mer klimatpositiva projekt. Syftet med klimatberäkningar är att projekten ska släppa ut mindre koldioxid, där siffrorna i sig är inte det viktigaste, utan hur de kan utvecklas.

## Materialens livslängd

Klimatberäkningens resultat bidrar till ett medvetande om produktens klimatpåverkan i produktionsskedet, men utesluter faktumet att ett material kan ha en lång livslängd och inte behöva ersättas på många år, till skillnad från ett material som har låga koldioxidutsläpp men en kortare livslängd.

Utifrån klimatberäkningen av Kajpromenaden påvisade räcken i stål och möbler i rosttrögt stål ha bland de högsta utsläppen i projektet, trots resultatet är stål ett bra material med oersättliga egenskaper som motiverar användning av stålräcken i stället för räcken i exempelvis trä. Om räckena hade ersatts med räcken i trä hade det gett ett bättre resultat på klimatberäkningen, men eftersom trä har en livslängd på ca 30 år hade det inte hållit lika länge som ett stålärke. Trots att platsen kanske står i 30 år, och materialen inte längre kommer att

användas efter det, har ett stålärke bättre chanser till återbruk än ett träärke och skulle därför kunna återanvändas inom kommunen, eller återvinnas.

## Användning av stål och fossilfritt stål

Klimatberäkningen visar att användningen av stål har höga koldioxidutsläpp i produktionsskedet, men också en lång livslängd. Även om fossilfritt stål inte ännu används i utrustning, kan det vara en anledning att ändå använda stål, eftersom stålets koldioxidutsläpp på sikt har stor potential att minska. Stål som material har stora fördelar och vi borde inte sluta designa med det, vi borde snarare använda mindre mängder och stål som tillverkats med nya tekniker som har lägre klimatpåverkan. Det går också att spekulera kring om utrustning i stål faktiskt stannar på platsen i 100 år, om det återanvänds eller återvinns när det byggs om efter 30 år.

## Platsens livslängd

I en klimatberäkning är det lika viktigt att resonera kring materialens livslängd som platsens livslängd. För att skapa hållbara platser, är det viktigt att ha i åtanke hur länge platsen kommer att leva. I Kajpromenadens klimatberäkning och i exemplet på klimatberäkningar inom landskapsarkitektur uppskattades en tidsperiod på 50 år, och i intervjun med Alfred Nerhagen berättade han att platser i staden sällan kvarstår orörda längre än 30 år. Han menade att många platser i staden byggs om oftare eftersom behoven förändras snabbt genom ändrade beteenden, förutsättningar och funktioner vilket utmanar det som byggs. Ovissheten kring platsens faktiska livslängd innebär att om det byggs goda platser som uppskattas ha en lång livslängd, men platsens funktion ändras och därför måste byggas om, kanske det hade för höga koldioxidutsläpp när det byggdes i förhållande till hur länge det faktiskt skulle leva. Detta orsakar en komplexitet både vid klimatberäkningar, och i den traditionella designprocessen, och det är omöjligt att veta om projektet har för höga koldioxidutsläpp i relation till sin livslängd. Antingen borde det införas begränsningar för hur snabbt staden tillåts förändras, eller är det särskilt viktigt med ett fungerande system för återbruk inom kommuner för att material ska kunna återanvändas eller lagras hos kommunen.

Den uppskattade tidshorizonten i klimatberäkningar skulle också kunna förkortas till exempelvis 30 år för att uppnå ett mer realistiskt tidsperspektiv.

## God landskapsarkitektur

I alla tider, före klimatberäkning, har städer byggts med en medvetenhet kring materialens beständighet och det har tidigare varit ett fokus på att bygga med material med god hållbarhet. Historiskt har det använts mycket smågatsten och granit, inte för att det har höga eller låga koldioxidutsläpp, utan för att det är bra material som har god hållbarhet. Detta förstärker vikten av att inte byta fokus och betrakta material som siffror, utan att fortsätta gestalta miljöer med god kvalitet. Klimatberäkningar borde därför verka vägledande och som en ytterligare lins att betrakta gestaltningen utifrån, snarare än att tillåtas avgöra vilka material som används. Trots att användning av goda och hållbara material förmodligen kan få bra resultat i en omfattande beräkning, är det viktigt att målet vid utformning av en plats inte enbart är att erhålla goda resultat på en klimatberäkning. Siffror och resultat bör inte vara det primära som eftersträvas, utan det primära vid gestaltning av platser behöver fortsätta vara skapandet av god landskapsarkitektur.

## Transparens

Transparens är essentiellt i en klimatberäkning och resultat kan verka missvisande om det inte tydliggörs vad som är inkluderat och inte. Det är viktigt att tydliggöra beräkningens avgränsningar för att utsläppen inte ska tolkas som utsläpp för ett helt projekt utan gäller klimatpåverkan för beräknade delar snarare än totalt.

När koldioxidutsläpp beräknas i 3D-modeller går det att beräkna det enskilda slitlagrets koldioxidutsläpp eftersom det är det yttersta lagret som syns i modellen, eller kan hela marköverbyggnaden inkluderas i utsläppet, vilket då genererar en högre klimatpåverkan. Därför är viktigt att det tydliggörs om en beräkning enbart inkluderar slitlager eller en hel marköverbyggnad. Det är mer realistiskt att inkludera marköverbyggnaden, men det gör det svårare att tyda slitlagrets utsläpp visuellt. Exempelvis färgkodades den återanvända smågatstenen först i

grön, eftersom den släpper ut 0 kg CO<sub>2</sub>e, men när marköverbyggnaden inkluderades i beräkningen omvandlades ytan till en gulare färg.

Det är också viktigt att kunna skilja data åt och att läsa resultatet separat och sammanfogat. Om koldioxidutsläppen av hårdgjorda ytor och element beräknas med den potentiella kollagringen av planterad vegetation och befintlig vegetation kan det ge ett vilseledande resultat på beräkningen, eftersom vegetationen beräknas för en tidsperiod om 50 år och resterande material i enbart i deras produktionsskede (A1-3). Under tidsperioden på 50 år skulle troligtvis ett utbyte av flertal material som trätrall och utrustning också behöva utföras.

## Utmaningar vid klimatberäkning

### ”Eller likvärdig”

Lagen om offentlig upphandling kan innebära svårigheter vid klimatberäkningar. Lagen innebär att landskapsarkitekter inte kan föreskriva en viss produkt eller leverantör i AMA-beskrivningen, utan behöver skriva ”eller likvärdig”, för att entreprenören själv får välja leverantör. Vid klimatberäkning i tidiga skeden innebär det en mindre problematik eftersom landskapsarkitekten själv väljer produkt och skriver ”eller likvärdig”, men vid klimatberäkning i sena skeden kan det försvåra möjligheterna att utföra produktspecifika klimatberäkningar. Detta försvårar möjligheten att utföra mer precisa och trovärdiga klimatberäkningar.

Den som skriver AMA-beskrivningen kan därför välja att skriva produktens namn ”eller likvärdig” och därefter ställa ett miljökrav som krav på att produkten inte får överskrida ett max tillåtet koldioxidutsläpp. Det går därför att upprätta en kravställning som efterfrågar en produkt med en tillhörande EPD för att kunna läsa av produktens koldioxidutsläpp. Det innebär att entreprenören kan välja mellan marksten från exempelvis ST: Eriks eller Benders som båda utför EPD:er för sina betongmarkstenar, och välja den sten som understiger det maximala utsläppet.

## Miljödata

Vid studerande av material och deras olika klimatpåverkan identifierades ett behov av inläsning av klimatdata som potentiella utsläpp och eftersom de anger mer av en uppskattning snarare än exakta siffror. Det är därför inte meningen att studera resultaten bokstavligen, utan mer som vägledning, någonting som även Alma Bokenstrand belyste i intervjustudien. I tillämpningsstudien upptäcktes att vilka intervaller som bestäms har en stor inverkan på hur klimatberäkningen läses visuellt, om exempelvis röd färg selekterats för 1000 kg CO<sub>2</sub>e hade betydligt fler ytor varit röda.

Data om klimatpåverkan (GWP-värden) hämtades i första hand från produktspecifika EPD:er, i de fall som EPD:er inte var tillgängliga samlades generiska data från olika källor. Detta innebär att materialens klimatpåverkan redovisats med olika exakthet, vilket är något att ha i åtanke vid studerande av projektets totala utsläpp. I uppsatsen användes EPD:er och generiska data för att undersöka klimatpåverkan av hårdgjorda ytmaterial, medan klimatpåverkan av växtmaterial var svårare att mäta eftersom vegetationens livscykel beror på lyckad etablering och ståndort. Klimatdata för vegetation inhämtades från Pathfinder vilket är verifierad klimatdata som även exemplen av klimatberäkningar inom landskapsarkitektur använt sig av. Eftersom Pathfinder är ett verktyg från USA kan växtmaterialens data kan därför betraktas som mindre tillförlitlig, och studerades mer som potentiella värden än data för exempelvis de hårdgjorda ytmaterialen.

Det gjordes jämförelser mellan klimatdata av vegetationen från Pathfinder med en studie av Lind et al. (2023) för klimatpåverkan av olika träd i Sverige, och det gjordes en bedömning av att data från Pathfinder var tillförlitlig och därmed användbar i klimatberäkningen. I de fall som materialen inte hade EPD:er valdes generiska data, och i de fall som det inte heller fanns generiska data användes EPD:er av snarlika material. Eftersom Kajpromenaden projekterats i en offentlig upphandling och leverantör inte funnits föreskrivet för alla material, innebär det att antaganden har gjorts genom att miljödata för ett visst material representerar och antar utsläppet som om det hade varit från en leverantör som exempelvis Benders eller Hasselfors Garden.

## Klimatberäkning i 3D

Klimatberäkning i 3D innebär svårigheter för avgränsning av de element och ytor som tillhör landskap, eftersom alla teknikområdens delar utgör en del av landskapet. Genom tillämpningsstudien upptäcktes det att klimatberäkning i 3D skapar ett större behov av att involvera konstruktioner eller element som är utformade av andra teknikområden än de som en landskapsarkitekt hanterar.

Eftersom klimatberäkningen utförts visuellt har det också identifierats ett behov av att beräkningen ska omfatta alla komponenter och element som är synliga i modellen. Detta innebär att landskapsarkitekten kan försöka att beräkna även de delar som inte tillhör teknikområdet landskap, exempelvis konstruktioner som murar och belysningsarmatur som tillhör el. För en landskapsarkitekt innebär det svårigheter att förstå ritningar från andra teknikområden och därmed svårigheter att beräkna konstruktionernas klimatpåverkan. Eftersom murar och belysning tillhör platsen och utgör viktiga delar av 3D-modellen kan de vara svårare att utesluta ur beräkningen. Klimatberäkningen inkluderade därför inte delar som exempelvis utförts av konstruktion som krönbalkar, spontar, murarnas konstruktioner, utan har främst innefattat de konstruktioner som tillhör landskap.

För klimatberäkningar inom landskap kan 3D-modellens alla komponenter ritas, och därefter uteslutas ur beräkningen genom att lämna övriga teknikområdens konstruktioner vita och därmed oberäknade. Om alla teknikområden utför fullständiga klimatberäkningar av sina respektive teknikområden i 3D, går det därefter att sätta ihop 3D-modellerna och utföra gemensamma klimatberäkningar. I de klimatberäkningar som inte utförs i 3D eller där övriga teknikområden utesluts är avgränsningen mer given, och det är tydligare att varje teknikområde beräknar för sig. Vid klimatberäkningar som inte utförs i 3D finns inget visuellt behov av klimatberäkningen och att beräkna projektets helhet och avgränsningen är därför mer given.



Klimatberäkningar i 3D-modelleringsverktyg syftar inte till att ersätta de övriga handlingarna eller processerna i vid en gestaltning, såsom 2D-ritningar, skisser eller riktigt modellbyggande, utan är ytterligare ett perspektiv för landskapsarkitekten att utforska sin gestaltning för att därefter gå tillbaka eller vidare i utformningen. I kommentarer från enkätstudien framgick det att ett kontor utför klimatberäkningar i 3D-modeller direkt när de modellerat något, och på så sätt har en kontinuerlig uppfattning kring materialens utsläpp under projekteringen, vilket tyder på att metoden fungerar och kan vara ett sätt att främja arbetet med klimatberäkning på inom landskapsarkitektur.

Både Nicholas Gulick och kommentarer från enkätstudien uttryckte svårigheter kring skapande av bygghandlingar enligt Bygghandlingar 90 utifrån både Rhino och Revit. Det skapar en förundran kring om branschen bör ta ett steg fram eller ett steg bak? Bör utformning av bygghandlingar moderniseras eller bör vi verkligen översätta 3D-modeller till 2D för bygghandlingar. I intervjun med Nicholas Gulick berättade han att det utformas bygghandlingar i 3D i Norge. Möjligtvis är det någonting som bygghandlingar i Sverige skulle kunna ta efter för att förenkla arbetsflöden?

## Bransch- och användbarhetsstudie

Både i intervjuerna och enkäterna kunde det identifieras mönster mellan intervjupersoner och respondenter.

### Intervjuer

I intervjuerna gick det att identifiera de mönster som Hallin & Hellin (2018) och Kvale & Brinkmann (2014) beskriver kan identifieras genom den narrativa strategin där intervjupersonernas upplevelser och erfarenheter återberättas. Intervjupersonerna hade gemensamma berättelser kring tillämpning av klimatberäkning och LCA där de menade att kommuner borde upprätta klimatmål som sedan behöver följas av beställare och resterande aktörer i kedjan. Intervjuerna ökade förståelsen för den

kedja som landskapsarkitekter är en del av, och det bildades en förståelse för varför landskapsarkitekter och andra discipliner inte utför klimatberäkningar i dag. Eftersom intervjuerna utfördes med en intervjuperson per företag eller myndighet borde det tas i hänsyn att deras svar inte representerar branschen utan snarare gav en inblick till möjliga perspektiv.

I intervjun med Kristina Einarsson redogjorde hon för att krav för klimatberäkning bör komma från kommuner, exempelvis genom klimatmål för att kravställningen därefter ska tillämpas av beställare som ställer krav på både entreprenörer och projektörer där entreprenörer vidare ställer kraven på leverantörer av material och växter i projekt inom landskapsarkitektur. Eftersom det finns en bristande efterfrågan på klimatberäkning hos leverantörer som Essunga plantskola, är ett krav på klimatberäkning någonting som kanske skulle kunna öka prioritering av EPD:er hos leverantörer.

Kristina beskriver att upprättande av lagstiftning för krav på klimatdeklaration inom landskapsarkitektur behöver genomgå samma process som det gjordes för kravet på klimatdeklaration av byggnader. Det innebär att de landskapsarkitekter som arbetar med klimatberäkning behöver skapa ett nätverk och visa vilken kompetens vi innehar, för att visa på nödvändigheten av en gemensam klimatdatabas och referensvärden.

### Enkäter

Utifrån resultatet av enkäterna går det att konstatera att landskapsarkitekter som utexaminerats de senaste 13 åren använder digitala 3D-modelleringsverktyg i högre grad än de som utexaminerats tidigare år. Det går också att konstatera att en stor majoritet av deltagarna arbetar inom privat sektor vilket gör att resultatet inte är en representation för alla landskapsarkitekter eller de som jobbar offentligt på exempelvis myndighet eller kommun.

De vanligast förekommande verktygen inom landskapsarkitektur är Autodesk Revit och SketchUp. Revit Architecture är ett 3D-modelleringsverktyg utformat för byggnadsarkitekter, men det är också ett av det 3D-modelleringsverktyg som är vanligast förekommande bland landskapsarkitekter i Sverige.

## Digitala 3D-modelleringsverktyg på landskapsarkitektprogrammet

Enkäterna visade att 25,7% av respondenterna lärt sig 3D-modelleringsverktyg under sin utbildning. Vid landskapsarkitektprogrammet i Alnarp lärs digitala verktyg ut under ett antal tillfällen under kandidatutbildningen, samt genom Digital landskapsvisualisering som är en valbar kurs på avancerad nivå inom 3D-modellering och visualisering. Vid de tillfällen som 3D-modellering förekommer under utbildningen, och i kursen Digital landskapsvisualisering används SketchUp som 3D-modelleringsverktyg, vilket kan vara en anledning till att det var bland de vanligaste använda verktygen trots att de flesta inte lärt sig programmen under sin utbildning.

# Metoddiskussion

För att besvara frågeställningen kring hur landskapsarkitekter kan arbeta med klimatberäkning i designprocessen genomfördes först en litteraturstudie. I följande fas användes kunskaperna i en tillämpningsstudie där en arbetsmetod för klimatberäkning i 3D utformades. Därefter utfördes det kvalitativa och kvantitativa studier i form av intervjuer och enkäter som förankrade uppsatsen i den samtid som branschen infinner sig i. I intervjuerna undersöktes vilka möjligheter det finns för klimatberäkning inom olika teknikområden, och hur alla kan bidra och underlätta för ett främjat arbete med klimatberäkning. Enkäterna undersökte om yrkesverksamma landskapsarkitekter besitter de kunskaper som är nödvändiga för klimatberäkning i 3D och undersökte hur många som arbetar med klimatberäkning i dag. Metoderna kompletterade varandra och bidrog med olika perspektiv på klimatberäkning och landskapsarkitektur.

## Litteraturstudie

Litteraturstudien hjälpte till att få en inblick i klimatförändringar, klimatberäkning, 3D-modellering och de koldioxidutsläpp som genereras av byggbranschen. Litteraturgenomgången presenterade och jämförde också några av de befintliga verktyg som finns för klimatberäkning, samt exempelprojekt på klimatberäkning inom landskapsarkitektur. Litteratur som undersökts är böcker, studentarbeten, avhandlingar, vetenskapliga artiklar, rapporter och studier som utgår från uppsatsens nyckelord. Fakta kring klimatförändringar har inhämtats från myndigheters hemsidor som Naturvårdsverket och Boverket, samt från organisationer som FN, IPCC och Naturskyddsföreningen. Litteratur och generiska data kring materialens klimatpåverkan inhämtades från bland annat Boverket, Trafikverket, Svenska Miljöinstitutet, och produktspecifika data från EPD:er av produkter. Litteratur kring klimatberäkning inhämtades från vetenskapliga artiklar och

Boverket där Boverkets information i första hand har riktat sig mot klimatberäkning av byggnader. Litteratur som redogör för 3D-modellering och parametrisk design inhämtades främst från avhandlingar och böcker. Studentarbeten som har använts var kandidat- och masteruppsatser som studerat klimatförändring, klimatberäkning, LCA och byggelsematerial. Uppsatsernas källförteckningar utforskades för sökning av relevant litteratur utifrån uppsatsens nyckelord. Litteratur om klimatförändringar och LCA inhämtades främst från svenska källor, medan litteratur kring klimatberäkning och parametrisk design var engelska källor.

## Bransch- och användbarhetsstudie

Uppsatsens kvantitativa och kvalitativa studier förankrade uppsatsen i det sammanhang som klimatberäkning inom landskapsarkitektur är en del av.

## Kvantitativa studier

Enkätstudien som genomfördes var en fungerande metod för att undersöka om och hur yrkesverksamma landskapsarkitekter arbetar med 3D och klimatberäkning. Enkäterna gav en inblick i yrkesgruppens arbetssätt och undersökte om branschen är mottaglig eller har kompetens inom 3D-modelleringsverktyg och klimatberäkning. Enkätstudien hade en god variation på företag, men en bristande variation på åldrar, eftersom majoriteten av svarspersonerna var utexaminerade de senaste 23 åren och förmodligen hade ett intresse för enkätens ämne. En enkätstudie visade sig vara en mindre bra metod för insamling av svar från olika åldrar. Enkätstudien skickades till landskapsarkitekter som arbetar privat och till myndigheter som Boverket och Trafikverket. För ett mer övergripande resultat kunde även

kommuner inkluderats, eftersom de representerar en del av yrkesgruppen och kanske de som inte arbetar i 3D. Ett problem i enkätstudien var också att många av de som inte arbetar i exempelvis 3D avstod från att svara på enkäten, vilket bidrog till en obalans i svaren och ett mindre trovärdigt resultat.

I majoriteten av enkätfrågorna valdes fasta svarsalternativ vilket enligt Hagevi & Viscovi (2016) innebar en möjlig informationsbrist i resultatet och de menar att öppna svarsalternativ kan vara ett alternativ. I enkätstudien upptäcktes brister i svarsalternativ där respondenter önskade att kommentera sina svar, vilket de då gjorde via e-post. En mer optimal metod hade varit att komplettera de fasta svaren med en öppen fråga för att tillåta kommentarer. De kommentarer som inkom via e-post bidrog med transparens och en bredare inblick i yrkesgruppen.

## Kvalitativa studier

Intervjustudien gav en inblick i hur klimatberäkning kan tillämpas i branschen och den kedja som landskapsarkitekturen är en del av. Intervjuerna redogjorde också för de utmaningar som arbete med klimatberäkning innebär. Intervjupersonerna hittades genom att företaget, kommunen eller myndigheten kontaktades via e-post med en sammanfattning om uppsatsen och en motivering kring intervjuernas värde i uppsatsen. I mejlet efterfrågades en representant som arbetar med klimatberäkning och medarbetare hänvisade till intervjupersonerna. Intervjupersonerna hade olika bakgrund, men flera intervjupersoner hade en bakgrund som landskapsarkitekt, där alla hade klimat gemensamt. Trots de goda insikterna som intervjuerna bidrog med, hade metoden kunnat kompletteras genom att specifikt efterfråga representanter som inte arbetar med klimat eller klimatberäkning, vilket hade kunnat ge en större inblick i de utma-

ningar som kan finnas med klimatberäkning från personer som inte arbetar med klimatberäkning. Eftersom några av intervjupersonerna arbetar inom hållbarhet och miljö var de nog inte helt subjektiva inför intervjun utan hade troligtvis en tendens i sina svar. Intervjuer av personer som inte förespråkar klimatberäkning hade möjligtvis gett mer subjektiva perspektiv på klimatberäkningens utmaningar. Textanalysen som utfördes utifrån transkriberingen av intervjuerna var också en personlig tolkning av intervjupersonernas berättelser, vilket förmodligen innebär en viss subjektivitet på grund av den mänskliga faktorn.

## Tillämpningsstudie

Tillämpningsstudien bidrog till att besvara frågeställningen och undersökte hur klimatberäkning i parametriska 3D-modelleringsverktyg kan utföras i praktiken. Tillämpningen i Kajpromenaden placerade uppsatsen i ett verkligt sammanhang, och testade projektet för de utmaningar som klimatberäkning innebär. Om klimatberäkningen inte utfördes i 3D hade ett flertal av de utmaningar som identifierats troligtvis inte upptäckts, exempelvis komplexiteten vid avgränsning mellan olika teknikområden och markmaterialens olika utsläpp beroende på marköverbyggnaden. Tillämpningsstudien hade kunnat göras annorlunda genom att tydligt avgränsas till att inte inkludera konstruktioner från andra teknikområden, till exempel genom att utsluta belysningsarmatur eller murar som inte tillhör landskap. I klimatberäkningen togs inte ekonomiska aspekter som materialens och produkternas kostnader i hänsyn. Klimatberäkningen avgränsade sig även till att inte inkludera fler LCA-skeden än materialens produktionskede (A1-A3). Detta medför att klimatberäkningen exkluderar några av de aspekter som har stor inverkan på projektet, och resultatet blir därför mindre realistiskt och genomförbart.



# SLUTSATSER

Avsnittet samlar uppsatsens slutsatser och redogör för om resultatet uppfyllt uppsatsens inledande syften och mål.

# Slutsatser

Klimatberäkningen vid Kajpromenaden visade några av de möjligheter som finns för klimatberäkning inom landskapsarkitektur och stärkte medvetenheten om den klimatpåverkan som material inom landskapsarkitektur har. Resultatet visar att landskapsarkitekter kan arbeta med klimatberäkning i designprocessen genom att klimatberäkna i en 3D-modell. Klimatberäkning går att implementera i den iterativa designprocessen genom 2D-projektering i CAD parallellt med klimatberäkning i en 3D-modell för att testa alternativ.

Genom klimatberäkning i designprocessen går det att minska Kajpromenadens koldioxidutsläpp med 11 187 kg CO<sub>2</sub>e. Vid klimatberäkning tidigt i designprocessen kan medvetenheten av materialens klimatpåverkan ha en inverkan på designbeslut och de material och element som utformas. Klimatberäkning borde tillämpas i högre grad inom landskapsarkitektur, och det skulle också vara en fördel och enklare att utföra beräkningar om det fanns en jämförbar metod eller standard att använda sig av för att ta fram likvärdiga resultat. Som flera intervjupersoner påpekar är frågan inte om det kommer krav på klimatdeklaration för landskapsarkitektur utan när, och av denna anledning är de möjligheter som presenteras i uppsatsen ett alternativt verktyg för det.

# VIDARE STUDIER

Avsnittet föreslår vidare forskning inom klimatberäkning och hur klimatberäkning inom landskapsarkitektur kan utvecklas i den snara framtiden.



# Vidare studier

Dagens och morgondagens hållbara landskapsarkitektur kan skapas genom en miljömedvetenhet hos landskapsarkitekter som kan använda klimatberäkning som vägvisare i designprocessen.

Klimatberäkning kan fungera som ett komplement till landskapsarkitektens befintliga arbetsprocesser och verktyg. Genom att landskapsarkitekter undersöker gestaltningens klimatpåverkan redan i tidiga skeden finns det möjligheter att minska projektens koldioxidutsläpp. Genom att beställare ställer krav på klimatberäkning skapas också en efterfrågan i byggbranschens kedja vilket kan sätta fart på utveckling av EPD:er för fler material, vilket innebär att det går att skapa mer omfattande och precisa klimatberäkningar.

I dag är branschen i ett inledande skede av klimatberäkning och samtliga intervjupersoner, respondenter och författare efterfrågar branschgemensam vägledning, klimatdata och en standardisering för landskapsarkitektur. Dagen detta tas fram kommer det gå att skapa mer jämförbara klimatberäkningar inom landskapsarkitektur.

Eftersom ekonomiska aspekter väger tungt vid avvägningar i projekt, kan vidare studier inom området inkludera kostnader i klimatberäkningen. Genom komplettering av kostnader i materialdatabasen kan även denna parameter inkluderas i skriptet för klimatberäkningen. Likt koldioxidutsläppens representation i 3D-modellen kan kostnader för materialen inkluderas från höga till låga kostnader i röd till grön.

Vidare studier skulle också kunna inkludera en utvecklingspotential i arbetsmetoden genom att inkludera ytterligare LCA-skeden i klimatberäkningen. Beräkningen skulle framför allt kunna inkludera transportskedet från tillverkning till byggarbetsplats (A4) samt bygg- och installationsprocessen (A5). Även skeden i användningsskedet (B) och slutskedet (C) hade kunnat inkluderas som exempelvis underhåll (B2) och utbyte (B4).

Inkludering av dessa skeden hade bidragit till en mer tillförlitlig och realistisk klimatberäkning eftersom materialens livslängd även hade haft en inverkan på beräkningens resultat. Ytterligare forskning kan även vara skapande av mer omfattande klimatberäkningar som inkluderar schaktmassor, en aspekt med stor inverkan på projektets faktiska klimatpåverkan.

Vidare studier och faktorer som hade kunnat utveckla arbetet med klimatberäkning är att använda produktspecifika data från EPD:er även för vegetation, men uppsatsen har påvisat att den typen av data inte finns tillgänglig i dag. Uppsatsen har visat att en anledning till bristen på EPD:er av vegetation kan bero på en bristande efterfrågan från beställaren. Om kommuner upprättar klimatmål som ställer krav på klimatberäkningar i anläggningsprojekt, hade det varit ett krav med möjlighet att förändra hela kedjan.

# REFERENSER

# Referenser

Ackerman, A. & Cave, J. & Lin, C.Y. & Stillwell, K. (2019). *Computational modeling for climate change: Simulating and visualizing a resilient landscape architecture design approach*. International Journal of Architectural Computing. 17. 147807711984965. 10.1177/1478077119849659.

Alvem, B-M. & Grönjörd, R. (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok*. 3:e uppl. Stockholm: Stockholm stad.

Benders (u.å.). *Bohusgranit*.  
<https://issuu.com/benders/docs/broschyr-bohusgranit-2022-lu?fr=sYWU1MTQyMjA5MDc> [2023-10-31]

Bernes, C. (2003). *En varmare värld: växthuseffekten och klimatets förändringar*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Bitus (2023). *Environmental Product Declaration for Linax impregnated timber*. [https://www.beijerbygg.se/wcsstore/BeijerCAS/HP-MAAssets/d220001/medias/docus/163/EPD-4333-3564\\_Linax-impregnated-timber.pdf](https://www.beijerbygg.se/wcsstore/BeijerCAS/HP-MAAssets/d220001/medias/docus/163/EPD-4333-3564_Linax-impregnated-timber.pdf)

Bordes, I. & Lindell, M. (2021). *Hållbar användning av marksten i utemiljö*. (Examensarbete på avancerad nivå). [2023-11-12]

Boverket (2019 a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2023-09-14]

Boverket (2019 b). *Miljödata*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljodata/> [2023-09-18]

Boverket (2019 c). *Standarder för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/standarder-for-lca/> [2023-09-18]

Boverket (2019 d). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> [2023-10-19]

Boverket (2021). *Grönytefaktor för kvartersmark*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/verktyg/gronytefaktor/kvartersmark/> [2024-01-10]

Boverket (2022 a). *Klimatdata till beräkningen*. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/klimatdata-till-berakningen/> [2023-09-18]

Boverket (2022 b). *Mark – ett kommunalt verktyg för bostadsförsörjningen*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsforsorjning/kommunernas-verktyg/mark/> [2024-01-10]

Boverket (2023 a). *Sök i Boverkets klimatdatabas*. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/klimatdatabas/GetResourceByCategoryID/> [2023-09-14]

Boverket (2023 b). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer--aktuell-status/vaxthusgaser/> [2023-09-14]

Cantrell, B & Mekies, A. (2018). *Codify - parametric and computational design in landscape architecture*. Taylor & Francis Ltd.

Climate Positive Design (2023). *BEYOND NEUTRAL - 2022 Annual Report*. [https://climatepositivedesign.com/wp-content/uploads/2023/08/CPD\\_Beyond-Neutral\\_2022-Annual-Report.pdf](https://climatepositivedesign.com/wp-content/uploads/2023/08/CPD_Beyond-Neutral_2022-Annual-Report.pdf) [2023-09-19]

Confindustria Ceramica (2023). *Environmental Product Declaration for Italian Ceramic Tiles*. [https://www.hoganaskakel.se/app/uploads/2023/02/EPD-Europe\\_2023.pdf](https://www.hoganaskakel.se/app/uploads/2023/02/EPD-Europe_2023.pdf)

Erlandsson, M., Mattsson, E., & Nilsson, J. (2022). *Negativa klimatutsläpp genom användning av biogena kolsänkor*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-3986> [2023-11-12]

<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-3986> [2023-11-12]

Ervin, S. (2018). *Turing landscapes*. I: Cantrell, B & Mekies, A. (.W. (red.) (2018). *Codify - parametric and computational design in landscape architecture*. Taylor & Francis Ltd. 89-115.

FN (u.å.). *Globala målen för hållbar utveckling*. <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/> [2023-10-24]

Fossilfritt Sverige (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft- Bygg- och anläggningssektorn*. [https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/10/Fardplan\\_for\\_fossilfri\\_bygg\\_och\\_anlaggningssektor\\_20181228-1.pdf](https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/10/Fardplan_for_fossilfri_bygg_och_anlaggningssektor_20181228-1.pdf) [2023-09-20]

GRK Infra Oyj (2023) *Environmental Product Declaration for BRK Biocarbon*. <https://manage.epdhub.com/declarations/file/download/epdSigned/154/>

Hagevi, M. & Viscovi, D. (2016). *Enkäter: att formulera frågor och svar*. (1 uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Hallin, A. & Helin, J. (2018). *Intervjuer*. (Upplaga 1). Lund: Studentlitteratur

Harden, J., Hugelius, G., Ahlström, A., Blankinship, J., Bond-Lamberty, B., Lawrence, C., Loisel, J., Malhotra, A., Jackson, R., Ogle, S., Phillips, C., Ryals, R., Todd-Brown, K., Vargas, R., Vergara, S., Cotrufo, M., Keiluweit, M., Heckman, K., Crow, S. & Nave, L. (2017). *Networking our science to characterize the state, vulnerabilities, and management opportunities of soil organic matter*. Global Change Biology. 24. 10.1111/gcb.13896.

Hardy, C. & Frechette, M. (2023). *Designing with a Carbon Conscience V2: A web-based application to inform planning and urban design projects on potential carbon impacts*. Sasaki Associates.

Hasselfors Garden (2023) *LCA beräkning, jordjämförelser 2023-12*. [Internt material].

Holmgren, A. & Nilsson, J. (2022). *Klimatpositiva bygg- och anläggningsprojekt*. <https://lfm30.se/wp-content/uploads/2022/07/SBUF-14037-Slutrapport-Klimatpositiva-bygg-och-anla%CC%88ggningar.pdf> [2023-10-24]

HS30 (2023, 9 oktober). *30 med HS30 om klimatkalkyl för landskap* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=iEi-R0e-utQQ&t=1275s>

Hudson, R. (2010). *Strategies for parametric design in architecture. An application of practice led research*.

Ignatieva, M. (2017). *Alternativ till gräsmatta i Sverige - från teori till praktik* [Elektronisk resurs] : en manual. Uppsala: Institutonen för stad och land.

IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [2023-09-14]

IVL (2023 a). *Byggsektorns miljöberäkningsverktyg*. Hämtat från ivl.se: <https://www.ivl.se/projektwebbar/byggsektorns-miljoberakningsverktyg.html> [2023-11-12]

IVL (2023 b). *Kunskapsbank för klimat och bebyggelse*. <https://www.ivl.se/projektwebbar/kunskapsbank-for-klimat-och-bebyggelse/byggnation/klimatberakning-for-byggnation.html>

Johansson, D. (2007). *Material i landskapet - om att åldras med skönhet*. Klippan: Ljungbergs tryckeri.

Khabazi, Z. (2012). *Generative Algorithms (using Grasshopper)*. Ebok. <https://labdigifab.files.wordpress.com/2014/03/generative-algorithms.pdf> [2023-11-08]

Klimatkommunerna (u. å. a). *Vad vi gör*.  
<https://klimatkommunerna.se/vad-vi-gor/> [2023-09-29]

Klimatkommunerna (u. å. b). *Vad vi vill – Energi och bygg*.  
<https://klimatkommunerna.se/vad-vi-vill/vad-vi-vill-energi-och-bygg/> [2023-09-29]

Klimatkommunerna (u. å. c). *Medlemmar*.  
<https://klimatkommunerna.se/medlemmar/> [2023-09-29]



- Klimatkommunerna (u. å. d). *Helsingborg*. <https://klimatkommunerna.se/medlemmar/helsingborg/> [2023-09-29]
- Konkurrensverket (2023). *LOU i korthet*. <https://www.konkurrensverket.se/upphandling/lagar-och-regler/lou-i-korthet/#anchor2> [2024-01-09]
- Kuittinen, M. & Hautamäki, R. & Tuhkanen, E-M. & Riikonen, A & Ariluoma, M. (2021). *Environmental Product Declarations for plants and soils: how to quantify carbon uptake in landscape design and construction?*. The International Journal of Life Cycle Assessment. 26. 10.1007/s11367-021-01926-w.
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2014). *Den kvalitativa forskningsintervjun*. (Upplaga 3). Lund: Studentlitteratur.
- Lin, H. & Lin, Y-J. (2022). *Component-level embodied carbon database for landscape hard works in Taiwan*. Environment, Development and Sustainability. 24. 10.1007/s10668-021-01640-5.
- Lind, E. & Prade, T. & Sjöman, J. & Levinsson, A. & Sjöman, H. (2023). *How green is an urban tree? The impact of species selection in reducing the carbon footprint of park trees in Swedish cities*. Frontiers in Sustainable Cities. 5. 10.3389/frsc.2023.1182408.
- Malmqvist, T. Borgström, S. Brismark, J. & Erlandsson, M. (2023). *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader*. Version 2, 2023. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-324853> [2023-09-29]
- Mareld Landskapsarkitekter (2023). *Återbrukshandbok*. <https://ccbuild.se/media/35beu24l/%C3%A5terbrukshandbok-landskap-mareld-komprimerad.pdf?id=%2Fsites%2Fivl%2Dsustainable%2Dbuilding%2Dab%2Fshared%20Documents%2FCBuid%2FEvents%20och%20presentationer%2FN%C3%A4tverkstr%C3%A4ffar%2F20230517%20mark%20och%20utemilj%C3%B6%2F%C3%85terbrukshandbok%20Landskap%20%2D%20MARELD%20version%201%2E0%2Epdf&parent=%2Fsites%2Fivl%2Dsustainable%2Dbuilding%2Dab%2Fshared%20Documents%2FCBuid%2FEvents%20och%20presentationer%2FN%C3%A4tverkstr%C3%A4ffar%2F20230517%20mark%20och%20utemilj%C3%B6>
- Meier, D. (2012). *Generative Modeling as a tool in Urban Riverfront Design; an exploration of Parametric Design in Landscape Architecture*. (Master of Landscape Architecture 2012) The Ohio State University. Graduate Program in Landscape Architecture. [https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws\\_etd/send\\_file/send?accession=osu1338355682&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1338355682&disposition=inline)
- Milford (2023). *Environmental Product Declaration Milford Contrast Freestyle*. [https://milford-resources.com/Approvals/EPD-Milford-Contrast\\_Freestyle-md-23061-en.pdf](https://milford-resources.com/Approvals/EPD-Milford-Contrast_Freestyle-md-23061-en.pdf) [2023-11-14]
- Moosavi, S. & Stephan, A. & O’Dea, M. (2022). *Landscape architects need to address life cycle greenhouse gas emissions in designs—A case study near Sydney, Australia*. In Proceedings of the 55th International Conference of the Architectural Science Association, Perth, Australia, 1–2 December 2022.
- Mässing, M. & Logrim Wikander, F. (2019). *Trä-ish: Vad kan ersätta trä i konstruktioner i offentlig utemiljö?* (Examensarbete på avancerad nivå). [2023-09-18]
- Naturvårdsverket (2022). *Därför blir det varmare*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/dar-for-blir-det-varmare/> [2023-09-14]
- Naturvårdsverket (2023 a). *Sveriges klimatarbete*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/> [2023-09-14]
- Naturvårdsverket (2023 b). *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> [2023-09-22]
- Naturvårdsverket (2023 c). *Industri, utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> [2023-11-14]
- Naturvårdsverket (u.å. a). *Klimatet och skogen*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-skogen/> [2023-09-19]
- Naturvårdsverket (u. å b). *Klimatet och bygg-och fastighetssektorn*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-bygg--och-fastighetssektorn/> [2023-09-20]
- Naturvårdsverket (u. å c). *Globala utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-klimatarbetet/globala-utslapp-av-vaxthusgaser/> [2023-09-22]
- Naturskyddsföreningen (2022). *Vanliga frågor om klimatförändringarna*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vanliga-frgor-om-klimatforandringarna/> [2023-09-22]
- Naturskyddsföreningen (2023 a). *Cement, klimat och miljö*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/> [2023-11-12]
- Naturskyddsföreningen (2023 b). *Odla med torv – så påverkar det klimatet*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/odla-med-torv-sa-paverkar-det-klimatet/> [2023-12-04]
- Naturstenskompagniet (u.å). *Handbok för Granithällar*. <https://www.naturstenskompagniet.se/produkter/hallar/granit/?pdf> [2023-11-12]
- Naturstenskompagniet (2021). *Miljövarudeklaration (EPD) Naturstensprodukter av granit och kalksten*. <https://www.naturstenskompagniet.se/assets/EPD-Naturstenskompagniet.pdf> [2023-11-12]
- Nikologianni, A. & Albans, A. (2023). *The Complex Case of Carbon-Measuring Tools in Landscape Architecture*. C – Journal of Carbon Research. 9. 69. 10.3390/c9030069.
- Nola (2023). *Skötsel och underhåll*. [https://nola.se/site/assets/files/1/nola\\_-\\_skotsel\\_och\\_underhall\\_-\\_2023-05.pdf](https://nola.se/site/assets/files/1/nola_-_skotsel_och_underhall_-_2023-05.pdf) [2023-11-13]
- Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen*. (4., [rev.] uppl.) Stockholm: Liber.
- OrganoWood® (2022). *Environmental Product Declaration OrganoWood®*. <https://organowood.com/wp-content/uploads/2022/09/EPD-OrganoWood.pdf>
- Pathfinder (2023). *Projects*. <https://app.climatepositivedesign.com/projects/6509a81bcce8ab0d34d1137b/edit?version=6509a892cce8ab0d34d11391> [2023-09-14]
- Riksantikvarieämbetet (2022). *Europeiska landskapskonventionen (ELC)*. <https://www.raa.se/samhallsutveckling/internationellt-arbete-och-eu-samarbete/europaradet/europeiska-landskapskonventionen/> [2023-09-20]
- Skanska (2019). *Environmental Product Declaration Grön betong*. <https://www.skanska.se/49f098/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/gron-betong/epd-gron-betong.pdf> [2023-11-12]
- Skanska (u.å). *Betong med lägre klimatpåverkan*. <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/betong-produkter/betong-med-lagre-klimatpaverkan/> [2023-10-19]
- Skanska (2021). *Environmental Product Declaration for ABT Skanska Grön AsphaltBio Zero*. <https://www.skanska.se/49d982/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/asfalt/gron-asfalt-kampanj/epd-environmental-product-declaration-gron-asfalt-bio-zero-pdf-.pdf> [2023-11-23]
- SSAB (2023). *Allt grönt stål är inte fossilfritt – lär dig varför*. <https://www.ssab.com/sv-se/fossilfri/insikter/allt-gront-stal-ar-inte-fossilfritt> [2023-12-28]
- Stockholms stad (2023). *Hållbarhetskrav vid byggande*. <https://tillstand.stockholm/tillstand-regler-och-tillsyn/lokal-och-fastigheter/hallbarhetskrav-vid-byggnation/> [2024-01-10]
- Svensk Byggtjänst (u.å.). *Vad är AMA?* <https://byggtjanst.se/ama/vad-ar-ama> [2023-10-31]
- Svenska miljöinstitutet (2022). *Miljövarudeklaration (EPD)*. <https://www.ivl.se/vart-erbjudande/vara-tjanster/miljovarudeklaration-epd.html> [2023-09-14]
- Svensson, B. (2013). *Trämateriäl i offentlig utemiljö – en studie av park- & lekutrustning*. (Examensarbete på grundnivå). [2023-11-12]
- Sveriges Arkitekter (u.å.). *Guide till klimatdeklaration för arkitekter*. <https://www.arkitekt.se/sa-tycker-vi/var-politik/var-klimatpolitik/vagen-framat/guide-till-klimatdeklaration-for-arkitekter/#3-starka-var-position> [2023-09-18]

Sveriges lantbruksuniversitet (2022). *Vad är livscykelanalys?* <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/> [2023-09-14]

Sweden Green Building Council (2023 a). *LEED*. <https://www.sgbc.se/certifiering/leed/> [2023-11-23]

Sweden Green Building Council (2023 b). *BREEAM*. <https://www.sgbc.se/certifiering/breeam-se/> [2023-11-23]

Sällberg, A. (2020). *Klimatkalkyl för landskapsprojektering: Verktyg och riktlinjer för material- och vegetationsval för en koldioxids-nål utförning*. (Examensarbete på avancerad nivå). [2023-09-18]

Tibnor (2020). *Environmental Product Declaration for Merchant bars*. <https://www.environdec.com/library/epd2046> [2023-11-14]

Trafikverket (2012). *Förstudie livscykelanalys i planering och projektering*. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364621/FULLTEXT01.pdf> [2023-11-14]

Trafikverket (2020). *Klimatkalkyl - Beräkning av infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv, modellversion 7.0*. <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/eb8e472550374d7b91a4032918687069/klimatkalkyl-rapport-v-7.0.pdf> [2023-09-18]

Trafikverket (2023 a). *Klimatkalkyl – infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv*. <https://bransch.trafikverket.se/klimatkalkyl> [2023-09-18]

Trafikverket (2023 b). *Södertälje sluss och kanal, ombyggnad*. <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-stockholms-lan/sodertalje-sluss-och-kanal/> [2023-10-23]

UN (2023). *Global Issues: Climate Change*. <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change> Hämtad 2023-09-14.

Valbo Trä (2023). *Environmental Product Declaration for planed wood (impregnated)*. <https://www.valbotra.se/core/files/EPD%20Impgrenerat.pdf> [2023-11-12]

Veidekke (u.å.). *Tips när du ska asfaltera*. <https://www.veidekke.se/tjanster/asfalt/tips-nar-du-ska-asfaltera/> [2023-10-24]

Vestlund, N. (2023). *En kritisk granskning av kalkylvertyget BIMitigation. Möjligheter och begränsningar i ett användarperspektiv*. (Examensarbete på avancerad nivå). [2023-09-18]

Vestin, P., Ardö, J., Andersson, E., Olsson, L., Westerbergh, A. & Crews, T. (2022). *Att fånga in och binda koldioxid i perenna odlings-system*. Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet, Sveriges lantbruksuniversitet, The Land Institute. <https://portal.research.lu.se/sv/projects/capturing-carbon-in-perennial-cropping-systems> [2024-01-13]

Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie (2023). *Polyester Powder Coating*. [https://www.tiger-coatings.com/fileadmin/user\\_upload/Polyester\\_Powder\\_Coating\\_en.pdf](https://www.tiger-coatings.com/fileadmin/user_upload/Polyester_Powder_Coating_en.pdf) [2023-11-14]

Vestre (2021) *Environmental Product Declaration City 150L curved*. [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1320015-1629977350/EPDer/M%C3%B8bler/NEPD-3022-1710\\_City-150L-curved-.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1320015-1629977350/EPDer/M%C3%B8bler/NEPD-3022-1710_City-150L-curved-.pdf) [2023-11-14]

White arkitekter (2022). *Klimatneutrala landskapsprojekt*. [https://whitearkitekter.com/se/wp-content/uploads/sites/3/2023/06/WRL\\_2021\\_07\\_Klimatneutrala-landskapsprojekt.pdf](https://whitearkitekter.com/se/wp-content/uploads/sites/3/2023/06/WRL_2021_07_Klimatneutrala-landskapsprojekt.pdf) [2023-10-24]

Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Abingdon: Routledge.

WSP (2021). *Net Zero Carbon Construction Future Ready Research*. <https://www.wsp.com/-/media/insights/sweden/documents/2021/net-zero-carbon-construction-swe-210305.pdf> [2023-10-29]

WSP (2023 a). *Returasfalt – ett måste för att minska vägarnas klimatpåverkan*. <https://www.wsp.com/sv-se/insikter/returasfalt-minska-vagarnas-klimatpaverkan> [2023-11-23]

WSP (2023 b). *WSP lanserar applikation för att minska klimatpåverkan vid konstruktion*. <https://www.wsp.com/sv-se/nyheter/2023/wsp-lanserar-applikation-for-att-minska-klimatpaverkan-vid-konstruktion> [2023-09-18]

# Muntliga källor

Elisa Khouri Chalouhi, produktägare och ingenjör, WSP Stockholm, Teamssamtal den 11 september 2023.

Kristina Einarsson, expert miljö och klimat/uppdragsledare Boverket, Teamssamtal den 27 november 2023.

Carolina Carlsson, hållbarhetschef Essunga plantskola, Teamssamtal den 28 november 2023.

Gustav Stål, landskapsarkitekt och försäljare Essunga plantskola, Teamssamtal den 28 november 2023.

Alma Bokenstrand, hållbarhetspecialist Skanska, Teamssamtal den 11 december 2023.

Nicholas Gulick, landskapsarkitekt WSP Stockholm, Teamssamtal den 13 december 2023.

Alfred Nerhagen, landskapsarkitekt och klimatstrateg Helsingborgs stad, Teamssamtal den 18 december 2023.



# Bilagor

## Bilaga 3. Enkätfrågor

### Enkät till yrkesverksamma landskapsarkitekter

I min masteruppsats undersöker jag vilka möjligheter som finns för klimatberäkning inom landskapsarkitektur, samt hur landskapsarkitekter kan klimatberäkna i designprocessen. Uppsatsen utforskar 3D-modelleringsverktyget Rhinoceros 3D och det parametriska tillägget Grasshopper för att utföra klimatberäkningar. För att ta reda på om denna arbetsmetod går att användas av landskapsarkitekter är det intressant att undersöka om yrkesverksamma landskapsarkitekter i Sverige använder 3D-modellering och klimatberäkning i sitt vardagliga arbete.

Denna information kommer att användas för att få en överblick kring landskapsarkitekters användning av digitala 3D-modelleringsverktyg och klimatberäkning.

Svaren kommer att behandlas anonymt.

Tack för ditt svar!

E-post \*

Giltig e-postadress

### Vilket år tog du din landskapsarkitektexamen?

- Innan 1970
- 1970-1980
- 1980-1990
- 1990-2000
- 2000-2010
- 2010-2022
- 2023

### Var studerade du landskapsarkitektur?

- Ultuna
- Alnarp
- Ultuna och Alnarp
- I EU
- Utanför EU
- Annat

### Vilken är din nuvarande arbetsplats?

Kort svarstext

### I vilken stad arbetar du?

Kort svarstext

### Arbetar du i digitala 3D-modelleringsverktyg?

- Ja
- Nej

### Hur ofta arbetar du i 3D?

- Varje dag
- 2-4 ggr per vecka
- 1 gång per vecka
- Några gånger i månaden
- Någon gång per år
- Aldrig

### Vilket 3D-modelleringsverktyg använder du?

- Autodesk Revit
- Rhinoceros 3D
- Rhinoceros 3D och Grasshopper
- SketchUp
- ArchiCAD
- AutoDesk AutoCAD Civil 3D
- VectorWorks

### Var lärde du dig 3D-modelleringsverktyg?

- Utbildningen
- Arbetslivet
- Privat
- Annat

### Arbetar du med klimatberäkning i designprocessen?

- Ja
- Nej

### I vilken fas arbetar du med klimatberäkning?

- Produktionsskede (A1-A3)
- Byggproduktionsskede (A4-A5)
- Användningsskedet (B1-B7)
- Slutskedet (C1-C4)

### I vilket verktyg arbetar du med klimatberäkning?

- Excel
- Autodesk Revit
- Rhinoceros 3D
- Trafikverkets klimatkalkyl
- Eget verktyg
- Annat

### Är du intresserad av att klimatberäkna i en 3D-modell?

- Ja
- Nej
- Kanske

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i JA, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i NEJ, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.