EXAMENSARBETE INOM BYGGTEKNIK OCH DESIGN,
GRUNDNIVÅ, 15 HP
STOCKHOLM, *SVERIGE 2019*

Automatisering av LCA- och LCC-beräkningar för anläggningskonstruktioner

Ett verktyg för hänsynstagande av miljö och kostnad i tidigt projekteringsskede

ANDREAS LINDER

EMIL LUNDBERG

KTH
SKOLAN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD

Automatisering av LCA- och LCC-beräkningar för anläggningskonstruktioner

Ett verktyg för hänsynstagande av miljö och kostnad i tidigt projekteringsskede

ANDREAS LINDER

EMIL LUNDBERG

EXAMENSARBETE INOM BYGGTEKNIK OCH DESIGN

Titel på svenska:	Automatisering av LCA- och LCC-beräkningar för anläggningskonstruktioner
Titel på engelska:	Automation of LCA and LCC calculations for civil works
Akademisk handledare:	Patrice Godonou, KTH ABE
Näringslivshandledare:	Majid Solat Yavari, WSP Sverige
Examinator:	Johan Silfwerbrand, KTH ABE

Sammanfattning

Vid projektering av ett byggnadsverk är det viktigt att ta hänsyn till miljöpåverkan och kostnader under hela konstruktionens livslängd. Detta görs genom så kallade livscykelanalyser (LCA) och livscykelkostnadsanalyser (LCC-analys).

En LCA berör miljöaspekter och potentiell miljöpåverkan genom en produkts hela livscykel d.v.s. ”från vaggan till graven”. I en LCC-analys summeras investeringskostnad samt kostnader för drift och underhåll under produktens livslängd.

BIM 3D-modelleringsverktyg används för att modellera flertal olika byggkonstruktioner. Det optimala vore om det gick att utnyttja de kraftfulla BIM-verktygen tillfullo och kunna använda den information som redan finns i modellerna för att utföra LCA och LCC-analyser. Önskvärt vore om det även gick att koppla till företagsinterna moduler, t.ex. i detta projekt Trafikverkets Klimatkalkyl (ett verktyg som baseras på den vedertagna metoden för LCA).

Syftet med examensarbetet är att integrera kostnad och miljöpåverkan i tidigt projekteringsskede genom automatisering av koppling mellan BIM-program och LCA-/LCC-verktyg. Genom automatisering av denna process kan optimering av konstruktioner effektiviseras.

Ett Excelark har skapats genom programmering i Visual Basic for Applications (VBA) som hämtar materialmängder från antingen Tekla Structures, Excel eller genom manuell inmatning och sedan generar LCA- och LCC-rapporter. Dessa har sedan jämförts med tidigare genomförda LCA och LCC-analyser för att säkerställa utfallets reliabilitet.

Resultatet av arbetet visar att framtagna LCA- och LCC-rapporter kan bidra till en effektivare projekteringsprocess för optimering av konstruktioner med hänsyn till miljö och kostnad.

Excelarkets användarvänliga uppbyggnad gör det möjligt för personer med begränsad kunskap inom LCA och LCC att göra mer hållbara val vid projektering av en konstruktion. Detta bidrar till att främja hållbarhetstänk i företag och uppmuntrar anställda att arbeta mot ett gemensamt mål om en koldioxidneutral infrastruktursektor.

Nyckelord: *Automatisering, BIM, Tekla Structures, Excel, VBA, Programmering, Klimatkalkyl, LCA, LCC*

Abstract

While carrying out structural design work, it is important to take into consideration the environmental impacts and costs throughout the life time of the structure. This is done through life cycle assessment (LCA) and life cycle cost analysis (LCC analysis), respectively.

LCA addresses the environmental aspects and potential environmental impacts throughout a product's life cycle i.e. from cradle to grave. An LCC analysis summarizes the investment cost and costs for operation and maintenance during the life time of the product.

BIM 3D modeling tool are used for modeling several different types of buildings and civil works. Ideally, digital information readily available through these powerful BIM tools, should be reused to perform LCA and LCC analyses. It would also be beneficial if it was possible to connect it to a company's internal systems for instance in this study, the Swedish Transport Administration's "Klimatkalkyl" (a tool based on the method for LCA).

The purpose of the thesis project is to integrate cost and environmental impact into the early design phase through an automated connection between BIM programs and LCA / LCC tools. By automating this process, optimization of structures can be made more efficient.

An Excel sheet has been created through programming in Visual Basic for Applications (VBA) which retrieves quantities from either Tekla Structures, Excel or manual input and then generates LCA and LCC reports. These have then been compared with existing LCA and LCC analyses to ensure the program's quality.

The result of the work shows that produced LCA and LCC reports can contribute to a more efficient structural design process for optimizing structures regarding environmental impacts and investment cost.

The Excel sheet's user-friendly structure also enables people with limited knowledge in LCA and LCC to make more sustainable choices when undertaking structural design tasks. This helps to promote sustainable thinking in companies and encourages employees to work towards a common goal of a carbon-neutral infrastructure sector.

Keywords: *Automation, BIM, Tekla Structures, Excel, VBA, programming, Klimatkalkyl, LCA, LCC*

Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet i högskoleingenjörsutbildningen Byggteknik och design vid Kungliga Tekniska högskolan. Arbetet genomfördes under vårterminen 2019 och motsvarar 15 högskolepoäng.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Majid Solat Yavari på WSP Bro och vattenbyggnad Stockholm för visat intresse och god handledning under hela arbetet. Vi vill även tacka vår handledare Patrice Godonou på KTH för all hjälp och vägledning.

Ett stort tack till Daron Omed på WSP Bro och vattenbyggnad Stockholm som möjliggjort detta examensarbete och som stöttat oss genom hela arbetet. Vi vill även rikta ett stort tack till Azita Hosseinzade och Mohamad Samir Abed för allt ert stöd och goda rådgivning.

Vi tackar Yevgeniya Arushanyan på WSP Miljömanagement och Antonio Lainez på WSP Kalkyl Stockholm, som tog sig tid för att hjälpa oss och besvara våra frågor under arbetets gång.

Slutligen vill vi tacka Simon Iversen på WSP Byggprojektering Göteborg för visat intresse och assistans inom Tekla Structures.

Stockholm, juni 2019

Andreas Linder

Emil Lundberg

Ordlista

Definitioner

Abiotic depletion	Utarmning av icke förnybara resurser och mäts i kg Sb eq.
Acidification	Försurningspotentialen hos en resurs relativt svaveldioxid och mäts i kg SO_2 eq.
Argument/Parameter	Är inom programmering ett värde som skickas mellan subrutiner eller funktioner. När ett argument används för att anpassa en funktion, kallas det för parameter.
Array	En variabel som innehåller flera värden av samma typ.
BaTMan	Ett hjälpmedel framtaget av Trafikverket för effektiv förvaltning av broar, tunnlar och andra typer av byggnadsverk.
Eutrophication	Övergödningspotentialen hos en resurs relativt fosfat och mäts i kg PO_4 eq.
Funktion	En del av ett program som kan anropas på flera olika sätt för att utföra en viss uppgift.
Global warming	En resurs klimatpåverkan på växthuseffekten relativt koldioxid och mäts i kg CO_2 eq.
Grasshopperskript	Grafisk (visuell) kod som används för att automatisera repetitiva arbetsuppgifter.
Klimatkalkyl	Trafikverkets verktyg för att beräkna klimatpåverkan och energiförbrukning.
Makro	Följd av datorrutiner som är samlade under en subrutin. Används för att automatisera repetitiva arbetsuppgifter.
MsgBox	Dialogruta i Visual Basic for Applications.
Ozone depletion	En resurs påverkan på förtunning av ozonskiktet relativt fluortriklormetan och mäts i kg CFC-11 eq.
Photochemical oxidation	En resurs påverkan på bildning av marknära ozon relativt eten och mäts i kg C_2H_4 eq.
Sub	Subrutin (Subroutine), en funktion som inte returnerar något värde.
Userform	Interaktivt formulär i Excel.

Förkortningar

ADP	Abiotic depletion potential
AP	Acidification potential
BIM	Byggnadsinformationsmodellering (Building Information Modeling) Byggnadsinformationsmodell (Building Information Model)
CSV	Comma Seperated Values
EP	Eutrophication potential
Eq	Ekvivalent (equivalent)
GWP	Global warming potential

LCA	Livscykelanalys (Life Cycle Assessment)
LCC	Livscykelkostnad (Life Cycle Cost)
LCI	Livscykelinventering (Life Cycle Inventory)
ODP	Ozone depletion potential
POCP	Photochemical oxidant creation potential
TRV	Trafikverket
VBA	Visual Basic for Applications

Innehåll

Sammanfattning I
Abstract III
Förord V
Ordlista VII
1 Inledning 1
1.1 Syfte och frågeställning 1
1.2 Mål och delmål 2
1.3 Avgränsningar 2
2 Metod 3
2.1 Litteraturstudie 3
2.2 Programmering 3
3 Nulägesbeskrivning 5
3.1 Allmänt om WSP 5
3.2 BIM-verktyg vid projektering 5
3.3 Parameterstyrd projektering 5
3.4 LCA och LCC vid projektering av konstruktioner 5
4 Teoretisk referensram 7
4.1 LCA – Livscykelanalys 7
4.1.1 Metod 7
4.1.2 Normalisering 8
4.1.3 Omfattning LCA 8
4.1.4 TRV Klimatkalkyl 8
4.2 LCC – Livscykelkostnad 10
4.2.1 Ägarkostnad 10
4.2.1.1 Investeringskostnader 11
4.2.1.2 Drift och underhållskostnader 11
4.2.1.3 Reparationskostnader 12
4.2.1.4 Inspektioner 12
4.2.1.5 Rivningskostnader 12
4.2.2 Användarkostnad 13
4.2.3 Samhällskostnad 14
4.2.4 Kalkylränta 14
4.2.5 Definition av byggnadsverks livslängd 15
4.3 Allmänt om BIM 15
4.4 Använda datorprogram 15
4.4.1 Microsoft Excel 15
4.4.2 Visual Basic for Applications 15
4.4.3 Tekla Structures 16

4.4.4 Grasshopper ... 16
4.4.5 SimaPro ... 16
5 Genomförande ... 17
5.1 Skapandet av Excelarket ... 17
5.1.1 Relativa sökvägar ... 18
5.1.2 Inläsning av indata från Excel ... 18
5.1.3 Inläsning av indata från Tekla ... 18
5.1.4 LCA: emissionsfaktorer och beräkningar ... 20
5.1.5 Klimatkalkyl: emissionsfaktorer och beräkningar ... 21
5.1.6 LCC-beräkningar ... 22
5.1.7 Rapportmallar ... 22
5.2 Manual över användarens arbetsgång ... 24
5.2.1 Användargränssnittets uppbyggnad ... 24
5.2.2 Indata ... 25
5.2.3 Inställningar för LCA ... 26
5.2.4 Inställningar för LCC ... 27
5.2.5 Framtagning av rapporter ... 29
6 Resultat ... 31
6.1 LCA-resultat ... 31
6.2 Klimatkalkyl resultat ... 31
6.3 LCC-resultat ... 32
6.4 Kvalitetskontroll ... 34
6.4.1 Inläsning av mängder ... 34
6.4.2 Kontroll av LCA ... 35
6.4.3 Kontroll av Klimatkalkyl ... 35
6.4.4 Kontroll av LCC-beräkningar ... 35
7 Analys och diskussion ... 37
8 Slutsats ... 39
9 Rekommendationer ... 41
Referenser ... 43
Bilagor ... 47
Bilaga A Skapandet av Excelarket ... A1
Bilaga B Kvalitetskontroll inläsning av mängder från Tekla ... B1
Bilaga C Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 1 ... C1
Bilaga D Kvalitetskontroll LCA, Klimatkalkyl och LCC-fallstudie 1 ... D1
Bilaga E Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 2 ... E1
Bilaga F Kvalitetskontroll Klimatkalkyl och LCC-fallstudie 2 ... F1
Bilaga G Exempel LCA-rapport ... G1
Bilaga H Exempel Klimatkalkyl rapport ... H1

Bilaga I Exempel LCC-rapport I1
Bilaga J Användarmanual J1

1 Inledning

Bygg- och fastighetssektorn står idag för omkring en femtedel av landets utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2019). I takt med att våra samhällen växer ökar efterfrågan på ett mer hållbart byggande. De anläggningskonstruktioner som byggs idag ska vara hållbara sett såväl ur miljö- och klimatmässig synvinkel som ur ett ekonomiskt perspektiv. Det nationella målet är att det sammanlagda nettoutsläppet i Sverige ska nå noll senast år 2045 (Naturvårdsverket, 2018).

För att kunna uppnå detta är det viktigt att vid projektering av en konstruktion beakta miljöpåverkan och kostnader under dess livslängd. Idag görs detta genom så kallad livscykelanalys (LCA) och livscykelkostnadsanalys (LCC-analys), med hjälp av datorprogram och/eller företagsinterna verktyg som kan vara kostsamma eller tidsödande (Solat Yavari. M, personlig kommunikation, 20 mars, 2019).

En LCA undersöker hur stor miljöpåverkan som en produkt har från produktionsstadiet och under hela dess livslängd, till resthanteringen av den uttjänade produkten. En LCC tar, likt en livscykelanalys, hänsyn till alla kostnader som produkten medför under livslängden.

I takt med att miljömedvetenheten ökar avancerar byggbranschen samtidigt tekniskt framåt och övergår från 2D-handlingar till att modellera och även leverera 3D-handlingar. En arbetsmetod som kopplas ihop med 3D-modellering är BIM, Building Information Modeling.

Tekla Structures är ett BIM 3D-modelleringsverktyg som används för att modellera ett flertal olika konstruktionstyper. Modellerna som skapas med hjälp av Tekla Structures innehåller mycket information, däribland mängder och materialtyper.

Det optimala vore om det gick att utnyttja det kraftfulla BIM-verktyget tillfullo och kunna använda den information som redan finns i modellerna för att utföra LCA och LCC-analyser. Önskvärt vore om det även gick att koppla till Trafikverkets Klimatkalkyl (ett verktyg som baseras på metoden för LCA). Trafikverket har som krav i Sverige att infrastrukturprojekt som omfattar mer än 50 miljoner kronor ska använda sig av Klimatkalkylen (Trafikverket, 2019).

Kopplingen mellan BIM-verktyget skulle effektivisera framtagandet av LCA och LCC-analyser och förenkla optimering av konstruktioner med hänsyn till miljö och kostnad.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet är att integrera kostnad och miljöpåverkan i tidigt projekteringsskede genom automatisering av koppling mellan BIM-program och LCA-/LCC-verktyg. Ett annat syfte är att främja och underlätta LCA/LCC-rutiner vid projektering av konstruktioner, genom en effektiv återanvändning av befintlig BIM-data.

De frågeställningar som ska undersökas i följande order är:

”Är det möjligt att automatisera framställningen av LCA- och LCC-rapporter baserade på en BIM-modell? Om ja, är resultatet tillräckligt korrekt för att tillämpas i projekt?”

För att kunna svara på ovanstående fråga uppstår frågan om:

”Vilka miljöpåverkanskategorier och kostnader är av stor/störst vikt i en LCA och LCC?”

1.2 Mål och delmål

Målet är att programmera fram ett Excelark i VBA, som hämtar mängder från antingen Tekla Structures, Excel eller manuell inmatning och sedan generar LCA- och LCC-rapporter.

Följande delsteg eller delmål genomförs under arbetets gång:

Delmål 1: Skapa ett Excelark med hjälp av Visual Basic for Applications (VBA) som ska kunna hämta mängder från en modell i Tekla Structures, Excel eller manuell inmatning.

Delmål 2: Lägga till inställningar för LCA och LCC och skapa beräkningsmotorerna för dessa i Excelarket.

Delmål 3: Skapa rapportmallar för LCA och LCC där resultatet av analyserna ska föras in.

Delmål 4: Jämföra resultatet med färdiga LCA och LCC-analyser.

Delmål 5: Skapa en manual för att beskriva hur programmet ska användas. Manualen ska även underlätta för framtida förbättringar och utvecklingar.

1.3 Avgränsningar

Vid tillämpning av den s.k. CML 2001 baseline metoden i LCA kan upp mot elva miljökategorier behöva studeras (MyEcoCost. 2019). På grund av den avsatta tidsramen för arbetet beaktas endast sju av dessa i Excelarkets LCA. De är följande: global uppvärmning, energiförbrukning, försurning, ozonuttunning, eutrofiering, fotokemisk oxidation och abiotisk resurs. Dessa har valts ut eftersom de är de vanligast förekommande i de flesta miljödeklarationer. De som inte finns med är kopplade till ekotoxicitet. Det ska däremot vara möjligt att lägga till de återstående vid ett senare skede.

Av samma anledning tar LCA heller inte hänsyn till närområdet om var konstruktionen är uppförd utan endast de miljöutsläpp som uppstår vid materialtillverkningen.

Det framtagna Excelprogrammet är mest lämpad för små och medelstora anläggningsprojekt. För mer komplexa och omfattande anläggningsprojekt som kräver fler/större specialistinsatser, kan dyrare ändamålsenliga datorprogram som GaBi eller SimaPro vara bättre lämpade.

De material och arbeten som behandlas i examensarbetet är de vanligast förekommande vid uppförande av anläggningskonstruktioner.

2 Metod

Denna rapport kommer att innehålla ett teoretiskt- samt ett empiriskt avsnitt. I det teoretiska avsnittet ges en detaljerad beskrivning på vad LCA och LCC är för något och hur det används. Det empiriska avsnittet består av programmering i VBA där det teoretiska avsnittet ska tillämpas och till sist resultera i LCA och LCC rapporter.

Programmeringen sker i Visual Basic for Applications (VBA). Anledningen till detta är att det är integrerat i Excel som finns tillgängligt vid de flesta konsultföretagen. Det gör att Excelarket enkelt kan underhållas i framtiden.

Den teoretiska referensramen utgår från hur LCA och LCC görs för broar då examensarbetet skrevs på broavdelningen på teknikkonsultbolaget WSP. Av samma anledning exemplifieras Excelarket med en bro för vilken befintliga data används.

2.1 Litteraturstudie

Majoriteten av litteraturstudien består av att få en förståelse över vad LCA och LCC är, och hur de fungerar och används. Informationsinsamlingen görs genom att studera gamla examensarbeten, doktorsavhandlingar och övrig litteratur från internet.

Den andra delen av litteraturstudien består av inlärning av grunderna i programmeringsspråket VBA. Detta sker genom videolektioner och guider på internet. Informationsinsamlingen fortlöper sedan parallellt med arbetets gång, då det inte går att förutspå vilka problem som kommer att uppstå under programmeringsprocessen.

Dessa steg är nödvändiga för att kunna använda nästa metod.

2.2 Programmering

Programmeringen kommer att vara den viktigaste delen i arbetet. Med hjälp av VBA skapas ett Excelark som hämtar in materialmängder på tre olika sätt:

1. från konstruktioner modellerade i Tekla Structures
2. genom ett redan befintligt automatiserat Grasshopperskript som är kopplat till en Excelfil
3. genom manuell inmatning

Efter att mängderna hämtats ska sedan beräkningar utföras automatiskt. Resultatet ska sedan redovisas i form av grafer och tabeller i Worddokument (rapporter).

3 Nulägesbeskrivning

Nulägesbeskrivningen omfattar allmän information om WSP och i vilken utsträckning BIM-verktyg, LCA och LCC används vid projektering av konstruktioner idag.

3.1 Allmänt om WSP

WSP står för Williams Sale Partnership och grundades i England år 1969 men huvudkontoret är numera beläget i Montreal, Kanada. Bolaget har 48 000 medarbetare utspridda i 40 olika länder varav 4000 i Sverige. WSP har vuxit till att bli ett av världens största teknikkonsultbolag genom flera olika förvärv runt om i världen, bland annat ett i Sverige. År 2001 blev Jacobsson & Widmark (J&W) uppköpta av WSP och antalet medarbetare ökade kraftigt i Sverige. J&W grundades redan 1938 i Stockholm och ligger till grund för WSP Sverige (WSP, 2019b).

WSP Sverige har 4000 medarbetare (WSP, 2019b) utspridda på 40 kontor i Sverige, med huvudkontor i Stockholm (WSP, 2019d). WSP Sverige jobbar med transport och infrastruktur, fastigheter och byggande, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling (WSP, 2019a).

WSP Bro och Vattenbyggnad har ca 200 medarbetare med avdelningar i bland annat Stockholm, Göteborg, Malmö och Norrköping (WSP, 2019c).

3.2 BIM-verktyg vid projektering

Det finns olika BIM-baserade projekteringsverktyg som används inom branschen. Ett exempel på ett verktyg som används på WSP Bro- och vattenbyggnad för att utföra modellering i 3D av flertal olika konstruktioner är Tekla Structures. Programmet brukas även på andra avdelningar och kan användas i olika skeden, från projektering i förstudien till förfrågningsunderlag och slutligen färdiga ritningar.

3.3 Parameterstyrd projektering

Det finns olika verktyg/sätt att effektivisera modelleringsprocessen i projekteringsskedet. Ett exempel på detta är parameterstyrd projektering. WSP broavdelning har idag utvecklat flera olika automatiserade Grasshopperskript för parametrisk modellering av standardkonstruktioner, som till exempel stödmur och plattrambro. Grasshopperskriptet för stödmuren är kopplad till en Excelfil där bland annat dimensioner och information om konstruktionen matas in.

3.4 LCA och LCC vid projektering av konstruktioner

Kraven om redovisning av miljöpåverkan vid projekt blir allt striktare från Trafikverket, detta för att uppnå målen om en koldioxidneutral infrastruktursektor. Trafikverket kräver däremot bara redovisning av klimatutsläpp och energianvändning, men det finns fler miljöpåverkanskategorier som är relevanta att ta hänsyn till (Solat Yavari. M, 2017).

I nuläget görs inte LCA och LCC i någon större utsträckning på WSP broavdelning i Stockholm. Avsaknaden av ett effektivt verktyg för att utföra dessa analyser gör att denna typ av arbetsuppgifter hamnar långt ner på prioritetslistan. En bidragande faktor till detta är också att många oerfarna ingenjörer saknar kunskap inom ämnet.

Optimering av konstruktioner görs istället av enstaka personer utifrån tidigare erfarenheter. Detta görs oftast utifrån ett ekonomiskt perspektiv, men numera läggs allt mer fokus på att konstruktioner även ska optimeras utifrån ett miljöperspektiv.

Det är sällan fullständiga LCC-analyser utförs på WSP bro. Att göra en sådan analys kan vara en tidskrävande process utan rätt verktyg. Beräkning av materialmängder, kostnadsberäkningar och skrivande av rapport är uppskattat att ta upp till 40h för ett projekt (Solat Yavari. M, personlig kommunikation, 20 mars, 2019).

WSP har därför efterfrågat ett verktyg som är anpassat till anläggningskonstruktioner som kan användas för att effektivisera arbetet att ta fram dessa analyser. Verktyget ska även göra det möjligt att optimera konstruktioner med hänsyn till fler miljöpåverkanskategorier än bara koldioxidutsläpp och energianvändning. Slutligen ska verktyget vara så pass användarvänligt att även personer med begränsad kunskap inom ämnet ska kunna tillämpa det i det dagliga arbetet.

4 Teoretisk referensram

Den teoretiska referensramen behandlar LCA, LCC och de program som används under arbetet.

4.1 LCA – Livscykelanalys

LCA (Life Cycle Assessment) är en metod för att bedöma miljöpåverkan för en produkt. LCA har utvecklats då betydelsen av minimering av miljöpåverkan vid tillverkning och förbrukning av produkter har ökat (ISO14040, 2006).

4.1.1 Metod

Enligt ISO 14044 kan en livscykelanalys göras för att räkna ut den totala miljöpåverkan som en produkt har under hela dess livslängd i samband med ett projekt. En livscykelanalys tar hänsyn till en produkts hela livslängd, det vill säga ”från vaggan till graven”. En noggrannare beskrivning sträcker sig; från anskaffning av råmaterial, produktion, användning, återvinning och till slut kvittblivning.

LCA delas upp i fyra olika faser, definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning samt tolkning av resultat, se Figur 4.1 för flödesschema över processen. ISO 14044 förklarar faserna enligt följande:

Mål och omfattning

Meningen med målfasen är att redogöra syftet och målet med studien. Det ska även framgå till vem studien är avsedd för, hur redovisningen av resultatet ska se ut och om allmänheten ska få tillgång till studien.

I omfattningsdelen bestäms omfattningen av studien. Systemgränser sätts utefter de mål som studien har angivit. Gränserna tydliggör vilka enhetsprocesser studien tar hänsyn till och vilka inflöden och utflöden som ska ingå i LCA. På så sätt redogörs och bestäms även begränsningarna.

Inventeringsanalys

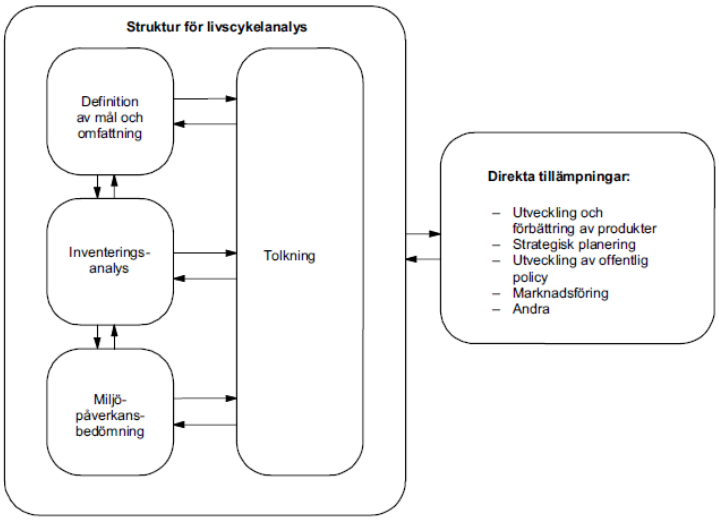
Andra fasen är livscykelinventeringsanalysen som kan förkortas LCI. Planen för hur LCI ska genomföras definieras i mål och omfattningsfasen där alla inflöden och utflöden som är satta inom systemgränser ska tas fram. LCA är en iterativ process, vilket medför att systemgränsen kan behövas justeras för att få ut ytterligare eller mer relevant data.

Miljöpåverkansbedömning

Den tredje fasen, miljöpåverkansbedömning, kallas även LCIA-fasen. Här används de tidigare angivna inventeringsdata, som resulterar i att man får fram den totala miljöpåverkan. Detta görs genom att man specificerar de miljöaspekter som ska studeras, så som till exempel den globala uppvärmningen, försurning eller övergödning. Resultatet från miljöpåverkansbedömningen används sedan i nästa fas, livscykeltolkningen.

Tolkning

I sista fasen tolkas och diskuteras det resultatet som erhållits från de tidigare faserna. Eftersom LCA är en iterativ process, innebär det att man kan behöva gå tillbaka och ändra i de tidigare faserna för att uppnå det ursprungliga målet. Resultatet av tolkningen ska användas som rekommendationer och slutsatser till de avsedda mottagarna.



Figur 4.1 Flödesschema LCA enligt ISO14044

4.1.2 Normalisering

Syftet med normalisering i en LCA är att göra resultatet mer lättolkat. Detta görs genom att sätta det totala utsläppet i proportion mot ett referensvärde. Exempel på två referensvärden som kan användas enligt ISO14044 är:

- Utsläppet från ett visst geografiskt område
- Utsläppet från ett visst geografiskt område räknat per capita, något som också kan uttryckas i personekvivalenter (PE).

4.1.3 Omfattning LCA

Den LCA som görs i detta examensarbete är begränsat till modul A1-A3, vilket betyder att det är miljöpåverkan och energianvändningen i produktskedet som är inkluderade i emissionsfaktorerna. Mer noggrant beskrivet är A1 råvaruförsörjningen, A2 transport till tillverkningsanläggning och A3 själva tillverkningen. Det som uteblir är byggprocessen, användningsskedet och slutskedet.

De miljöpåverkanskategorier som har beaktats inom LCA i detta examensarbete är:

1. Global warming, klimatpåverkan
2. Abiotic depletion, abiotisk resurs
3. Acidification, försurning
4. Eutrophication, övergödning
5. Ozone depletion, nedbrytning av ozonlager
6. Photochemical oxidation, fotokemisk oxidation

4.1.4 TRV Klimatkalkyl

Trafikverkets Klimatkalkyl är ett verktyg som baseras på metoden för LCA och används för att beräkna energianvändningen (primärenergi) och utsläppet av klimatgaser (uttryckt i koldioxidekvivalenter). Trafikverket har som krav att en Klimatkalkyl ska upprättas då ett infrastrukturprojekt omfattar mer än 50 miljoner kronor (Trafikverket, 2018d).

Målet med Klimatkalkylen är att göra det lättare att uppnå de nationella målen om att inte ha några nettoutsläpp av koldioxid år 2045. Ytterligare ett mål är att redovisningen av energianvändning och klimatpåverkan ska bedömas och redovisas på ett konsekvent och effektivt sätt.

Klimatbelastningen och energianvändningen beräknas genom att generella emissionsfaktorer multipliceras med projektspecifik resursanvändning. Klimatkalkylen omfattar följande moduler (Trafikverket, 2018c):

1. utvinning av råvaror
2. förädling av råvaror till produkter
3. transporter under förädlingskedjan

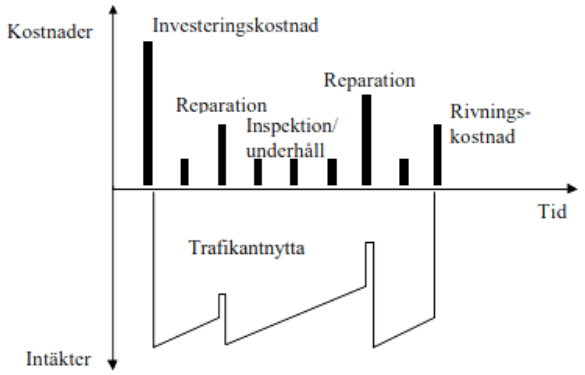
I vissa fall inkluderas även byggandet av konstruktionen inklusive transporter kopplat till byggandet. Dessa kan vara transporter för exempelvis berg- och jordmassor (Trafikverket, 2018c).

4.2 LCC – Livscykelkostnad

Livscykelkostnad, LCC, är en teknik som används för att jämföra kostnadsbedömningar över en specifik tidsperiod. I en LCC tas relevanta ekonomiska faktorer så som investeringskostnader och drift- och underhållskostnader med i beräkning. Genom en LCC-analys ges möjligheten att jämföra kostnader för olika konstruktioner, och på så sätt kunna välja den lämpligaste lösningen (ISO15686, 2003). En LCC kan göras på olika sätt men delas vanligtvis in i tre kategorier; ägarkostnad, användarkostnad och samhällskostnad. Ägarkostnad är den kostnad som tillfaller ägaren av konstruktionen, det vill säga kostnaden för att uppföra konstruktionen och hålla den i bruk. Användarkostnad är den kostnad som påverkar användaren negativt när konstruktionen inte uppfyller sin funktion. Samhällskostnad är den kostnad som uppstår för samhället i form av hur miljön påverkas samt eventuella olyckor som uppkommer på grund av den nya konstruktionen (Sundquist & Karoumi, 2012).

4.2.1 Ägarkostnad

Ägarkostnaderna är de kostnader som ägaren av produkten står ansvarig för. Kostnaderna brukar delas upp i sju underkategorier – byggprocess, investeringskostnad, drift och underhåll, reparationer, inspektioner, uppgradering och rivning. Byggprocessen innefattar de kostnader som uppstår vid projekteringen. Om det finns planer för att i framtiden uppgradera konstruktionen kan detta räknas med redan från början under kategorin uppgradering (Sundquist & Karoumi, 2012). Examensarbetet tar inte hänsyn till dessa två aspekter och kommer därför inte förklaras närmare. Figur 4.2 visar en schematisk bild över kostnader och trafikantnyttor utefter en bros livslängd (Vägverket, 1999a).



Figur 4.2 Illustration över kostnader och trafikantnyttor utefter en bros livslängd.

$LCC_{\text{Ägarkostnad}}$ beräknas enligt ekvation 4.1 (Sundquist & Karoumi, 2012).

$$LCC_{\text{Ägarkostnad}} = LCC_{\text{investering}} + LCC_{\text{DoU}} + LCC_{\text{konsekvens}} \quad (4.1)$$

Där

$LCC_{\text{Ägarkostnad}}$ är livscykelkostnaden ur ett ägarperspektiv.

$LCC_{\text{investering}}$ är de kostnader som uppstår från projekteringsskedet till att konstruktionen tas i bruk.
LCC_{DoU} är de kostnader som uppstår under konstruktionens livslängd. Med detta menas drift och underhåll, reparationer, inspektioner och eventuell rivning.
$LCC_{\text{konsekvens}}$ är de kostnader som uppstår på grund av framtida negativa konsekvenser

Då alla kostnader uppkommer vid olika tidpunkter, måste de diskonteras med en kalkylränta till ett nuvärde och sedan summeras till ett enda livscykelkostnadsvärde. Detta kallas nuvärdesmetoden och beräknas enligt ekvation 4.2.

$$LCC_{\text{Ägarkostnad}} = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_{\text{t}}}{(1+\text{r})^{\text{t}}} \qquad (4.2)$$

Där

C_t är summan av alla kostnader vid tiden *t*.
T är den förväntade livslängden.
t är tiden i år.
r är kalkylräntan.

Om konstruktioner med olika livslängder ska jämföras kan det vara bättre att istället använda annuitetsmetoden (Vägverket, 1999). Ytterligare två andra sätt att jämföra alternativ är genom internräntemetoden och Pay off-metoden. Den sistnämnda tar dock inte hänsyn till vare sig livslängden eller räntan, vilket resulterar i en väldigt grov uppskattning. Pay off-metoden kan därför bara användas för översiktliga kalkyler och då livslängden är kort (Levin, Lilliehorn & Sandesten, 2008).

4.2.1.1 Investeringskostnader

De kostnader som ingår i investeringskostnader är materialet och arbetet som krävs för att uppföra den nya konstruktionen.

Ett exempel på två av de vanligaste materialen i en anläggningskonstruktion är betong och armering. Vid byggande av broar är det också vanligt att en samverkan mellan betong och stål används.

Utöver materialkostnader tillkommer i många fall även kostnader för arbete, exempel på detta är schakt och återfyllning.

4.2.1.2 Drift och underhållskostnader

För att undvika att komma till det stadium där en konstruktion behöver repareras (kallas även oplanerat underhåll) är det viktigt att drift och underhåll sker på rätt sätt. Med drift menas åtgärder som har ett förväntat intervall på mindre än ett år (Levin et al., 2008). Underhåll definieras enligt ISO15686 (2003) som en kombination av åtgärder som krävs för att behålla den krävda funktionen under livslängden. Det finns inget krav från Trafikverket hur ofta underhåll krävs, utan det beror på var konstruktionen är placerad med tanke på väder och trafik (Siklander & Åqvist, 2016).

Allmänt för konstruktioner som står i anslutning till vägar behövs driftåtgärder i form av rengöring göras varje år för borttagning av bekämpningsmedel för vinterhalka, damm och smuts. För en bro gäller det även att underhålla borttagande av växtlighet i anslutning till konstruktionen. Enligt Krav Brounderhåll ska det vara fritt från växtlighet högre än 0,5 m över markytan inom ett avstånd av 2,0 m från slänt, kon och stöd (Trafikverket, 2017). Stålkonstruktioner måste även underhållas genom ytbehandling med rostskyddssystem. Detta för att säkerhetsställa att stålet fortsätter vara skyddat från korrosion (Trafikverket, 2018b).

Priser för drift och underhåll av bro och tunnel erhålls av Trafikverket genom ” A-priser för broåtgärder 2018”. (Trafikverket, 2015).

4.2.1.3 Reparationskostnader

Trots underhåll finns det risk att en konstruktion kommer att behöva repareras under dess livstid. Reparationerna görs för att konstruktionen ska kunna fortsätta klara den belastning som den är dimensionerad för. Detta görs genom utbyte, lagning eller förnyelse av skadade eller utslitna delar (ISO15686, 2003). Exempel på betongreparationer är när man avlägsnar den skadade betongen och gjuter på ny eller betongreperationer i form av injektering och sprutning.

Injektering kan användas när sprickor har uppkommit i konstruktionen. Förutom att bärigheten påverkas finns det också risk för att korrosion uppstår vid armeringsjärnen på grund av karbonatisering och kloridinträngning. Injektering sker vanligtvis med epoxi eller olika typer av polyuretan (BESAB, 2019).

Betongsprutning kan användas för att förstärka konstruktioner och appliceras direkt på ytan genom att betongmassa slungas med hjälp av tryckluft. På så sätt bildar sprutbetongen ett starkt skyddande lager på ytan. En fördel med sprutbetong jämfört med att gjuta på ny är att formställning inte behövs (Stabilt berg, 2019).

Priser för reparationer är beroende av hur stor yta som behöver repareras, ju större yta desto lägre kvadratmeterpris. Priser för reparationer finns också tillgängliga i Trafikverkets ”A-priser för broåtgärder 2018” (Trafikverket, 2015).

4.2.1.4 Inspektioner

För att säkerställa att en konstruktion fortfarande uppfyller sin funktion, görs inspektioner regelbundet. Dessa kan delas in i fyra olika typer av inspektioner enligt BaTman, som är ett förvaltningsverktyg för broar och tunnlar framtaget av trafikverket. De olika inspektionerna är: översiktlig inspektion, allmän inspektion, huvudinspektion och särskild inspektion.

Den översiktliga inspektionen ska ske minst en gång varje år och är den inspektion som sker oftast. Där ska de krav som ställts på underhållsentreprenaderna säkerställas att de uppfyllts.

Huvudinspektionen är den mest omfattade inspektionen. Den har som syfte att upptäcka och avgöra huruvida brister kan påverka konstruktionens funktion inom en tioårsperiod. Konstruktionens alla synliga och åtkomliga delar ska inspekteras. I vissa fall kan även konstruktionsdelar som ligger under vatten behöva kontrolleras. Det är inspektörens ansvar att bedöma om sådana inspektioner behövs. Huvudinspektionen ska ske minst en gång var sjätte år och görs första gången innan konstruktionen sätts i bruk för allmänheten.

De allmänna inspektionerna ska göras mellan huvudinspektionerna för att följa upp de skador eller brister som ännu inte har åtgärdats. Även här ska samtliga synliga delar av konstruktionen inspekteras.

Den särskilda inspektionen ska göras när det är nödvändigt för att undersöka eller följa upp de brister och skador som hittats vid de regelbundna inspektionerna. Inspektionen görs endast på de enskilda konstruktionsdelarna som kräver åtgärder.

4.2.1.5 Rivningskostnader

För att ta hänsyn till hela konstruktionens livscykel kan även rivningskostnader inkluderas i beräkningarna. Rivning av en konstruktion sker då det är mer lönsamt att riva och möjligtvis bygga nytt, istället för att reparera och fortsätta underhålla. Rivningen är tänkt att ske när konstruktionens livslängd är uppnådd (Siklander & Åqvist, 2016).

Att förutsäga rivningskostnader kan vara svårt, men historiskt sett kan en rivningskostnad uppskattas till runt 10% för broar (Safi, 2012).

4.2.2 Användarkostnad

En bro har en lång livslängd och kommer att behöva inspekteras, underhållas och repareras under livstiden. Detta påverkar trafiken genom vägarbeten och avstängningar vilket medför kostnader för användaren. Den kostnad som tillkommer för användaren redovisas i ekvation 4.3. (Sundquist & Karoumi, 2012)

$$LCC_{\text{Användarkostnad}} = LCC_{\text{Användarförsening}} + LCC_{\text{driftkostnad}} \tag{4.3}$$

Kostnader för förseningar som uppstår kan vara att användaren kommer sent till jobbet eller att godstrafik inte kommer i tid med leveranser. Dessa kostnader beräknas enligt ekvation 4.4 (Sundquist & Karoumi, 2012). Formeln gäller då vägen inte är avstängd och det fortfarande går att köra samma sträcka med reducerad hastighet. Däremot om vägen är avstängd och en omväg krävs ersätts $\frac{S}{v_r}$ med den tid som det tar att köra omvägen.

Värdet av w (timkostnaden) bör sättas till den timlön som användaren förlorar på grund av förseningen (Safi, 2012). I Sverige 2019 är den genomsnittliga timlönen 210 kr (SCB, 2018), vilket sätts till timkostnaden för personbilar. Värdet för kommersiell trafik kan enligt Safi antas vara det dubbla.

$$LCC_{\text{Användarförsening}} = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{S}{v_r} - \frac{S}{v_n}\right) \mathit{ÅDT}_t \cdot N_t(p_L w_L + (1 - p_L) w_D) \frac{1}{(1+r)^t} \tag{4.4}$$

Där utöver tidigare förklarade

$LCC_{\text{Användarförsening}}$ är livscykelkostnaden för användaren på grund av förseningar
S är den drabbade sträckans längd.
v_r är den reducerande hastigheten vid vägarbete.
$v_n$är den normala hastigheten.
$\mathit{ÅDT}_t$ är den dagliga genomsnittliga trafiken, antal bilar per dag vid tiden *t*.
N_t är antalet dagar vägarbetet fortgår vid tiden *t*.
P_L är mängden kommersiell trafik.
w_L är timkostnaden för kommersiell trafik.
w_D är timkostnaden för personbilar.

Utöver användarförseningen beräknas även en driftkostnad för fordonen. Detta inkluderar till exempel drivmedel, olja och underhåll och kan beräknas genom ekvation 4.5 (Safi, 2012)

$$LCC_{\text{driftkostnad, fordon}} = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{S}{v_r} - \frac{S}{v_n}\right) \mathit{ÅDT}_t \cdot N_t(p_L O_L + (1 - p_L) O_D) \frac{1}{(1+r)^t} \tag{4.5}$$

Där utöver tidigare förklarade

$LCC_{\text{driftkostnad, fordon}}$ är livscykelkostnaden för användaren på grund av driftkostnad.
O_L är den genomsnittliga driftkostnaden per timme för en lastbil.
O_D är den genomsnittliga driftkostnaden per timme för en personbil.

Ekvation 4.4 och ekvation 4.5 kan slås ihop och den totala $LCC_{\text{Användarkostnad}}$ blir då enligt ekvation 4.6

$$LCC_{\text{Användarkostnad}} = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{S}{v_r} - \frac{S}{v_n}\right) \mathring{A}DT_t \cdot N_t (p_L(O_L + w_L) + (1 - p_L)(O_D + w_D)) \frac{1}{(1+r)^t} \qquad (4.6)$$

4.2.3 Samhällskostnad

Samhällskostnader uppstår när nya konstruktioner uppförs till följd av skador på miljön eller olycksfall och dödsfall. Skador på miljön räknas ut i en LCA, men olycksfall och dödsfall som uppstår på grund av vägarbeten kan adderas i en LCC. Denna kostnad räknas ut genom ekvation 4.7. Antalet döda i brorelaterade olyckor uppskattas till 0,009 personer per olycka och antalet skadade till 0,991 (Safi, 2012). Den genomsnittliga kostnaden för samhället vid ett dödsfall värderades 2014 enligt trafikverket till 6 100 000 kr och en allvarligt skadad till 950 000 kr med hänsyn till de materiella kostnaderna (Trafikverket, 2018a).

$$LCC_{\text{Samhällskostnad}} = \sum_{t=0}^{T} (A_r - A_n)\, \mathring{A}DT_t \cdot N_t \cdot [(C_F \cdot P_F) + (C_I \cdot P_I)] \frac{1}{(1+r)^t} \qquad (4.7)$$

Där utöver tidigare förklarade

$LCC_{\text{Samhällskostnad}}$ är livscykelkostnaden för samhället på grund av olyckor.
A_r är olycksfrekvensen under vägarbeten.
$A_n$är olycksfrekvensen under normala förhållanden.
C_F är genomsnittliga kostnaden för ett dödsfall för samhället
C_I är genomsnittliga kostnaden för en skadad person för samhället
P_F är det genomsnittliga antalet döda personer i brorelaterade olyckor
P_I är det genomsnittliga antalet skadade personer i brorelaterade olyckor

4.2.4 Kalkylränta

Kalkylräntan/diskonteringsräntan är en viktig faktor som tillsammans med livslängden har stor påverkan på resultatet. Detta på grund av att den har en betydande roll i nuvärdesmetoden. Kalkylräntan är förräntningskravet hos ett företag, eller i detta fall förvaltaren, och kan vara både real och nominell (Levin et al., 2008).

Kalkylräntan beräknas enligt ekvation 4.8 (Muñoz, 2016) men ska enligt Trafikverket sättas till 3,5% (Trafikverket, 2018a).

$$r = \frac{r_L - r_i - r_c}{1 + r_i} \qquad (4.8)$$

Där

r är kalkylräntan
r_L är den nominella räntan för långtidslån
r_i är inflationen
r_c är en faktor som motsvarar en positiv eller negativ effekt i användandet av konstruktionen

4.2.5 Definition av byggnadsverks livslängd

Livslängden avser hur länge en konstruktion ska vara i bruk innan den eventuellt rivs. Däremot skiljer man på teknisk och ekonomisk livslängd, där teknisk livslängd är det som vanligtvis benämns som livslängd. Den ekonomiska livslängden kan sättas kortare för att säkerställa lönsamhet även om den tekniska livslängden blir kortare än förväntat (Levin et al., 2008). Broar ska förslagsvis dimensioneras för en livslängd om 120 år (Westerberg, 2010).

4.3 Allmänt om BIM

BIM beskriver en process som innebär att en 3D-modell skapas. Resultatet blir en digital modell av en konstruktion som innehåller information och kan förmedla projektbeslut (Autodesk, 2019). Fördelarna med att kunna arbeta i en 3D-modell är många. Till exempel kan modellen betraktas ur ett verklighetsperspektiv och information om exempelvis material och termiska egenskaper går att läsa av direkt från modellen (Eastman, Liston, Sacks & Teicholz, 2008).

BIM står för Building Information Model eller Building Information Modeling. Building Information Model (Byggnadsinformationsmodell) syftar på de digitala modellerna medan Building Information Modeling (Byggnadsinformationsmodellering) är själva arbetsprocessen (BIM Alliance, 2019).

4.4 Använda datorprogram

I detta avsnitt beskrivs de program som använts under arbetet.

4.4.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel är ett program som utvecklades av Microsoft Corporation och lanserades första gången 1985 för Macintosh och 1987 för Windows (Microsoft, 1985). Programmet fungerar som ett kalkylblad uppdelat i rader och kolumner som tillsammans bildar celler. Excel kan utföra komplexa beräkningar och är ett kraftfullt verktyg för att hantera och analysera data.

4.4.2 Visual Basic for Applications

VBA är ett tillägg som tillhör programmeringsspråket Visual Basic och är skapat av Microsoft. VBA är framtaget och konstruerat för att fungera till flera av Microsofts program, speciellt Office programmen Excel och Word. I VBA förenklar man de annars manuella arbetena med hjälp av makron och på så sätt automatiserar repetitiva arbetsuppgifter (Microsoft, 2019).

Makron kan antingen skapas genom en inspelningsfunktion eller genom programkod, i form av subroutines (subs) eller funktioner. Det är viktigt att hålla isär dessa två begrepp då de är väldigt lika och kan leda till förvirring.

En funktion är inom programmering en del av ett program som kan anropas på flera olika sätt för att utföra en viss uppgift. Den är oberoende av resten av koden och utformas ofta för att kunna anropas flera gånger från olika ställen i programmet. När en funktion anropas kan argument skickas med till funktionen för att anpassa funktionens resultat (Tutorialspoint, 2019).

En sub fungerar på samma sätt som en funktion, med skillnaden att den inte kan returnera något värde. Se Figur 5.3 för ett exempel på hur en sub och funktion används (Excel Easy, 2019).

4.4.3 Tekla Structures

Tekla grundades år 1966 i Finland under namnet Teknillinen laskenta Oyj. Tekla är ett programvaruföretag som specialiserar sig på 3D-modellering och är skaparen till Tekla Structures. Tekla är sedan 2011 uppköpta av Trimble Group som numera är ett ledande företag inom BIM (Trimble, 2016).

Tekla Structures används för 3D-modellering och brukas bland annat av projektörer, konstruktörer och stål- och betongtillverkare. Programmet kan hantera komplexa konstruktioner och erbjuder förinställda komponenter samt möjliggör modellering med alla material. Tekla Structures har bland annat används till att konstruera skyskrapor, broar och arenor (Tekla, 2019).

4.4.4 Grasshopper

Grasshopper utvecklades av David Rutten på Robert McNeel & Associates och är ett visuellt programmeringsspråk som finns integrerat i 3D-modelleringsprogrammet Rhinoceros (Rhino) (rhino3d, 2019). Grasshopper Tekla-live link tillåter Rhino att styra modelleringsmiljön i Tekla i realtid.

4.4.5 SimaPro

SimaPro utvecklades av PRé Consultants och är ett av de ledande programmen i världen för hantering av LCA. Programmet har under de senaste 25 åren använts av företag, organisationer och akademiska institut i mer än 80 länder. SimaPro erbjuder ett stort utbud av LCA data som kan tillämpas i enlighet med ISO standard (SimaPro, 2019).

5 Genomförande

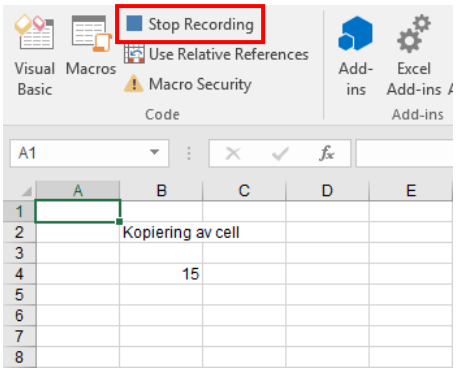
Även om arbetet främst bestod av programmering i VBA för att framställa Excelarket, var det naturligt att börja med att få en djupare inblick inom LCA och LCC. Genom litteraturstudie och tillgång till Excelfiler (som hanterade LCA och LCC beräkningar) tillhandhållna av WSP och Trafikverket, bildades den kunskap som behandlades i den teoretiska referensramen under kapitel 4. Parallellt med detta gjordes en informationsinsamling om VBA genom manualer och undervisningsvideor på internet. Denna typ av informationsinsamling fortsatte under hela arbetets gång då nya problem uppstod som var svåra att förutsäga och förbereda sig för i förväg.

Efter skapandet av Excelarket har dess funktioner kvalitetskontrollerats med hjälp av den studerade bron.

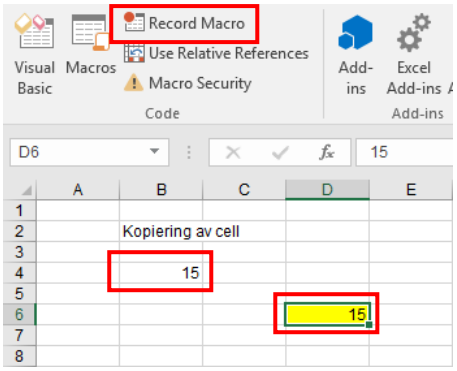
5.1 Skapandet av Excelarket

Verktygen för att kunna programmera i VBA visas inte som standard i Excel utan måste läggas till under ”Customize Ribbon” under inställningar. För en mer detaljerad beskrivning av skapandet av Excelarket se Bilaga A.

Under fliken ”Developer” finns alla verktyg som behövs för att kunna spela in och även skriva egna makron. När funktionen ”Record Macro” väljs spelas alla kommandon som görs i Excel in tills att användaren väljer att stoppa inspelningen. Efter att inspelningen av makrot stoppats kan man sedan välja att titta på koden för det inspelade makrot. Se exemplet nedan illustrerat i Figur 5.1 och Figur 5.2.



Figur 5.1 Hur det ser ut innan makrot spelats in



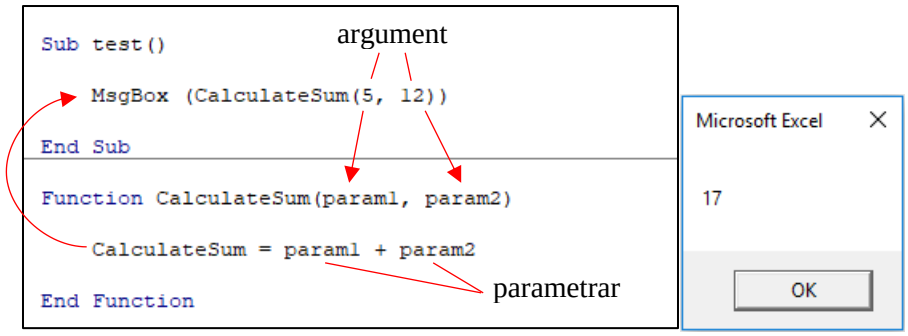
Figur 5.2 Efter att makrot spelats in

Exemplet spelar in ett makro då man väljer cell ”B4” och kopierar den till cell ”D6”, och sedan färgar den markerade cellen gul.

Koden för makrot redovisas och beskrivs tydligare i Bilaga A.

Att använda verktyget ”Record Macro” för att skapa makron fungerar bra på enklare uppgifter men blir snabbt för begränsat vid mer komplexa rutiner. Trots detta har det varit till stor hjälp i inlärningsprocessen av programmeringsspråket då man kan se hur olika kommandon i Excel kodas i VBA.

För att skapa Excelarket har funktioner och så kallade makron/subs använts genomgående under hela programmeringsprocessen. Ett exempel på hur subs och funktioner använder sig av argument respektive parametrar illustreras i Figur 5.3.



Figur 5.3 Exempel på hur subs och funktioner använder sig av argument respektive parametrar och resultat till höger

Sub ”test” anropar funktionen ”CalculateSum” och skickar siffrorna 5 och 12 som argument. Funktionen tar emot värdena som parametrar och returnerar summan av dessa till sub ”test” som sedan visar summan i en MsgBox (dialogruta), se Figur 5.3. Värdet som returneras från funktionen CalculateSum visas i en MsgBox.

5.1.1 Relativa sökvägar

För att Excelarket inte ska vara låst och kunna flyttas och användas av så många som möjligt har relativa sökvägar varit oerhört viktigt i programmeringsprocessen. Relativa sökvägar innebär att funktionerna utgår från arbetskatalogen där själva Excelarket ligger. På detta sätt kan Excelarket placeras på valfri plats och fortfarande fungera utan problem.

Ett exempel på en relativ sökväg är en funktion som öppnar utforskaren i Windows-miljö och låter användaren välja mappen som filerna ska hämtas ifrån, se Bilaga A. På detta sätt är inte filerna bundna till en specifik sökväg (absolut sökväg) utan kan placeras utifrån användarens preferenser.

5.1.2 Inläsning av indata från Excel

Som tidigare nämnt under kapitel 3.3**Error! Reference source not found.** finns det automatiserade Grasshopperskript som är kopplade till Excelfiler. Från dessa skript är det möjligt att få ut information om volymen av konstruktionsdelarna. En koppling har sedan gjorts tillbaka från skriptet till Excelfilen där information om materialmängderna i konstruktionen skrivs ut. För att möjliggöra avläsning av informationen med Excelarket har en kopia av fliken indata skapats i denna Excelfil. En funktion har sedan skapats som läser av mängderna och kopierar över dem till fliken ”indata” i Excelarket.

5.1.3 Inläsning av indata från Tekla

För att kunna hämta in information från Tekla på ett tidseffektivt sätt har ett makro skapats som skriver ut rapporter om materialmängd och armeringsförteckning automatiskt. De utskrivna rapporterna sparas då under mappen ”Reports” i Teklamodellens mapp. Rapporterna sparas som .csv, som är en slags typ av Excelfil.

CSV (Comma Seperated Values) filer kan vara svårhanterliga då filerna lagrar information åtskilda av semikolon istället för kolumner. All data i rapporterna visas därför i den första kolumnen vilket gör det svårt att avläsa informationen, se exempel i Figur 5.4 och Figur 5.5.

10	
11	PROFIL ; KVALITET ; ANTAL ; LÄNGD ; AREA ; VIKT
12	380*380 ;C30/37 ; 1; 7000 ; 10.9 ; 2527.0
13	
14	; TOTALT PROFIL: ;; 7000; 10.9; 2527.0
15	
16	500*6000 ;C35/45 ; 1; 7200 ; 99.6 ; 54000.
17	
18	; TOTALT PROFIL: ;; 7200; 99.6; 54000.0
19	
20	780*380 ;C25/30 ; 1; 7200 ; 17.3 ; 5335.2
21	780*380 ;C30/37 ; 1; 14400 ; 34.0 ; 10670.
22	780*380 ;C45/55 ; 1; 12000 ; 28.4 ; 8892.0
23	
24	; TOTALT PROFIL: ;; 33600; 79.7; 24897.6

Figur 5.4 Exempel på materiallista från Tekla i CSV format

2	; ; ; ; ; ; ; ; ;
3	TYP; NUMMER ;STÅLSORT ; GRP ;ST/GRP ;TOTAL;DIAM ; KLIPPLÄNGD ; Ände;a;b;c;d;e;f;g;ände;x;y;v;s;
4	? ;0(?) ;K600B-T;;;1 ;12 ;0 ; ; 0 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; 0.0; ;
5	B ;0(?) ;K500C-T;;;8 ;20 ;1385 ; ; 1200 ;300 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;200; 3.4; ;
6	B ;0(?) ;K600B-T;;;1 ;12 ;2828 ; ; 1450 ;1450 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;125; 2.7; ;
7	C ;0(?) ;K500C-T;;;156 ;8 ;865 ; ; 300 ;300 ;300 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;12 ; 0.3; ;
8	L ;0(?) ;K500C-T;;;2 ;8 ;1797 ; ; 82 ;430 ;430 ;430 ;430 ;82 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;12 ; 0.7; ;
9	N ;0(?) ;K600B-T;;;31 ;12 ;12584 ; ; 5950 ;450 ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;125;12.0; ;

Figur 5.5 Exempel på armeringsmängdsförteckning från Tekla i CSV format

För att lösa problemet med CSV filer skapades en funktion i VBA som läser in all data från CSV-filen, tar bort de semikolon som finns och placerar informationen bakom varje semikolon i en ny kolumn. Sedan öppnas en tom Excelfil med standardformatet .xlsx där innehållet från CSV-filen kopieras in i.

Den omgjorda materiallistan blir uppbyggd enligt Figur 5.6. Avläsningen sker genom att programmet först går igenom alla materialnamn som finns under fliken ”indata”, se Figur 5.11. Därefter går den in i materiallistan och letar efter materialnamnen i varje rad i den andra kolumnen. Stämmer namnen överens mellan indata och materiallistan, lagras vikten multiplicerat med antalet för materialet i en Array. När hela materiallistan lästs igenom stängs Excelfilen utan att sparas.

Mängderna som kommer från Tekla är i kilogram, men för betong är den väsentliga enheten kubikmeter. Därför måste vikten divideras med densiteten. För stål och armering mäts klimatpåverkan och pris i ton, och därför divideras vikten med 1000. Efter att detta har gjort skrivs värdena in i fliken ”indata”.

10						
11	PROFIL	KVALITET	ANTAL	LÄNGD	AREA	VIKT
12	380*380	C30/37	1	7000	10.9	2527.0
13						
14			TOTALT PRC	7000	10.9	2527.0
15						
16	500*6000	C35/45	1	7200	99.6	54000.
17						
18			TOTALT PRC	7200	99.6	54000.0
19						
20	780*380	C25/30	1	7200	17.3	5335.2
21	780*380	C30/37	1	14400	34.0	10670.
22	780*380	C45/55	1	12000	28.4	8892.0
23						
24			TOTALT PRC	33600	79.7	24897.6

Figur 5.6 Materiallistan omgjord till .xlsx format

Armeringsförteckningen, enligt Figur 5.7, har en annan utformning än materiallistan, men informationsinsamlingen och utskriften till ”indata” sker på samma sätt. Det vill säga antalet multiplicerat med vikten och sedan dividerat med 1000 för att få ut det i ton.

2															
3	TYP	NUMM	STÅLSORT	TOTAL	DIAM	KLIPPLÄ	Ände	a	b	c	d	e	f	bockning	kg/st
4	?	0(?)	K600B-T	1	12	0		0							0.0
5	B	0(?)	K500C-T	8	20	1385		1200	300					200	3.4
6	B	0(?)	K600B-T	1	12	2828		1450	1450					125	2.7
7	C	0(?)	K500C-T	156	8	865		300	300	300				12	0.3
8	L	0(?)	K500C-T	2	8	1797		82	430	430	430	430	82	12	0.7
9	N	0(?)	K600B-T	31	12	12584		5950	450					125	12.0

Figur 5.7 Armeringsmängdförteckningen omgjord till .xlsx format

För att kvalitetskontrollera Excelarkets inläsningsfunktion användes en tunnel tillhandhållen av WSP. Detta för att den studerade bron inte var modellerad i Tekla.

5.1.4 LCA: emissionsfaktorer och beräkningar

Emissionsfaktorer är framförallt hämtade från SimaPro, men då inte alla material finns inlagda i programmet har vissa hämtats från diverse miljödeklarationer på internet. Emissionsfaktorerna för LCA redovisas i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Utdrag ur tabellen för emissionsfaktorer LCA

		kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11 eq	kg C2H4 eq		
Material	**Typ**	**Klimat (ton CO2-ekv.)**	**Abiotic depletion**	**Acidification**	**Eutrophocation**	**Ozon layer depletion (ODP)**	**Photochemical oxidation**	**Energi(GJ)**	**Hämtad från**
Betong	C25/30								SimaPro, Ecoinvent 3
Betong	C30/37								SimaPro, Ecoinvent 3
Betong	C35/45								SimaPro, Ecoinvent 3
Betong	C40/50	326,4	0,0007104	0,5088	0,10656	0	0,05136	1,2144	För hålbjälklag. Strän content/uploads/2019/
Betong	C45/55	313,3	0,000517	0,42	0,0646	0,000000825	0,0504	0,85	InformationsZentrum E 2013451-D

(Emissionsfaktorerna som hämtats från SimaPro har dolts på grund av upphovsrättsliga skäl.)

Ekvationerna för att räkna ut de olika miljökategoriernas påverkan beräknas enligt ekvation 5.3 och 5.4.

$$Betong\ C30/37\ ton\ CO_2 = Mängd \cdot emissionsfaktor \quad (5.3)$$

$$Stål\ S420\ ton\ CO_2 = Mängd \cdot emissionsfaktor \quad (5.4)$$

5.1.5 Klimatkalkyl: emissionsfaktorer och beräkningar

För att uppnå samma resultat som skulle ha uppnåtts enligt Trafikverkets Klimatkalkyl, har emissionsfaktorer kopierats rakt av. Detta medför även att emissionsfaktorerna enkelt kan uppdateras vid ändringar av Trafikverket. Dessa har ett eget blad i Excelarket vid namn ”Emissionsfaktorer Klimatkalkyl” och anger emissionsfaktorer för koldioxidutsläpp och energi per enhet, se Tabell 5.2. Det finns även extra information om var datakällan är hämtad från, vilken geografisk täckning värdena gäller för och övriga noteringar, se Bilaga A.

Klimatkalkylen tar inte hänsyn till materialkvaliteter som till exempel olika betongklasser, utan tar ett genomsnittligt värde för emissionsfaktorerna.

Tabell 5.2 Utdrag ur tabellen för emissionsfaktorer Klimatkalkyl

	Klimatpåverkan		Primärenergi	
Resurs	Emissionsfaktor	Enhet	Emissionsfaktor	Enhet
Betong	0,16	kg CO2e /kg	0,94	MJ/kg
Jordschakt Fall A	2,2	kg CO2/m^3	34,5	MJ/m^3
Bergschakt Fall A	3,4	kg CO2/m^3	49,4	MJ/m^3
Stål, armering	1,03	kg CO2e /kg	10,63	MJ/kg
Stål, konstruktion	1,5	kg CO2e /kg	20,1	MJ/kg

Beräkning av miljöpåverkan för betong- och stålpålar görs genom att hänsyn tas till både material och det arbete som krävs för att slå ner pålarna. Arbetet beräknas per meter påle.

I början var det tänkt att informationen om pålarnas dimensioner skulle läsas in från Tekla. Detta visade sig vara svårare än väntat då det var svårt att urskilja pålarna från de andra materialen i den utskrivna materiallistan. Problemet löstes genom att betong- och stålpålar summeras med respektive material. Längden på betong- och stålpålarna behöver sedan anges manuellt i Excelarkets flik för indata. För att beräkningarna sedan ska stämma har emissionsfaktorerna för pålarna justerats för att endast ta hänsyn till arbetet som krävs för att slå ner pålarna.

Vissa arbeten som står angivna under resurs som till exempel schakt, består av flertal sammansatta faktorer som till exempel kapacitet för en dumper och diesel. Dessa faktorer står uppskrivna i en annan tabell (övriga indata) under samma flik, se Bilaga A.

I klimatkalkylbladet utförs sedan de beräkningar som är nödvändiga för att få fram det resultat som eftersöks, det vill säga koldioxidutsläppet och energianvändningen. Resultatet redovisas i form av tabeller och grafer som även är underlaget till de framställda Wordrapporterna.

Som tidigare nämnt tar inte klimatkalkylen hänsyn till olika materialkvaliteter. Därför måste olika typer av samma material summeras till en mängd. Gemensamt för alla mängder är att de multipliceras med dess emissionsfaktor. Exempel på klimatkalkylberäkningar ges i ekvation 5.1 och 5.2.

$$Betong\ ton\ CO_2\ utsläpp = \frac{Mängd \cdot emissionsfaktor \cdot \rho_{betong}}{1000} \quad (5.1)$$

$$Stål\ ton\ CO_2\ utsläpp = Mängd \cdot emissionsfaktor \quad (5.2)$$

Betongen multipliceras med sin densitet för att omvandla från kubikmeter till kg. Sedan divideras vikten med 1000 för att få det till ton.

5.1.6 LCC-beräkningar

LCC beräkningarna utförs automatiskt i ett eget blad i Excelarket beroende på vilka inställningar som har valts.

Beräkningstabellen, se Tabell 5.3, fungerar som ett mellansteg där användaren själv inte behöver göra något utan är endast till för att utföra beräkningarna. Däremot finns det mer dokumenterad information i beräkningstabellen än vad som skrivs ut i rapporterna, som till exempel alla kostnader för varje enskilt år från 0 till livslängden. Investeringskostnaden kommer alltid under år 0 och rivningen på det sista året. Varje år summeras den årliga kostnaden och beräknas om till ett nuvärde.

Tabell 5.3 visar ett exempel av en LCC, där inspektion sker var sjätte år, driftåtgärd varje år och underhållsåtgärd var tionde år. Drift- och underhållsåtgärder benämns som förbättring i tabellen.

Tabell 5.3 Utdrag ur beräkningstabellen för LCC

Ägarkostnad							
År	Investeringskostnad	Underhåll			Årlig summa	Nuvärdesmetoden	Ackumulativ
		Inspektioner	Förbättring	Rivning			
0	2189885				2189885	2189885	2189885
1			1475625		1475625	1425725	3615609
2			1475625		1475625	1377512	4993121
3			1475625		1475625	1330929	6324050
4			1475625		1475625	1285922	7609972
5			1475625		1475625	1242437	8852409
6		8000	1475625		1483625	1206930	10059339
7			1475625		1475625	1159828	11219167
8			1475625		1475625	1120607	12339773
9			1475625		1475625	1082712	13422485
10			2026825		2026825	1436854	14859339
11			1475625		1475625	1010723	15870062
12		8000	1475625		1483625	981838	16851901

5.1.7 Rapportmallar

Sista steget i Excelarket är att rapporter skrivs ut som Worddokument. Anledning till att rapporterna skapas i Word är för att användaren av programmet ska kunna komplettera rapporten med projektspecifik information och kunna anpassa utseendet av rapporten. Genom att skapa en rapportmall ökade möjligheterna för anpassning av rapporternas innehåll och utseende.

Under arbetets gång har olika sätt testats för att kunna föra över data och tabeller från Excelarket till ett Worddokument. Första tanken var att ett tomt Worddokument skulle skapas automatiskt av Excelarket med resultaten. Denna metod skulle snabbt visa sig vara allt för begränsad då det inte gick

att anpassa utseendet av dokumentet. Alla tabeller och data hamnade under varandra och det var svårt att strukturera rapporten på ett bra sätt.

För att få mer kontroll över hur och var data och tabeller skulle placeras i Worddokumentet föddes istället idén om användning av så kallade bookmarks (bokmärken). Bookmarks i Word kan användas för att identifiera ett specifikt ord, avsnitt eller plats i ett dokument och kan namnges för framtida referens. På så sätt skapades en rapportmall i Word där bookmarks placerades ut i dokumentet där resultatet sedan skulle komma in, se Figur 5.8. För en mer detaljerad beskrivning om hur bookmarks användes för utformning av rapporter, se Bilaga A.

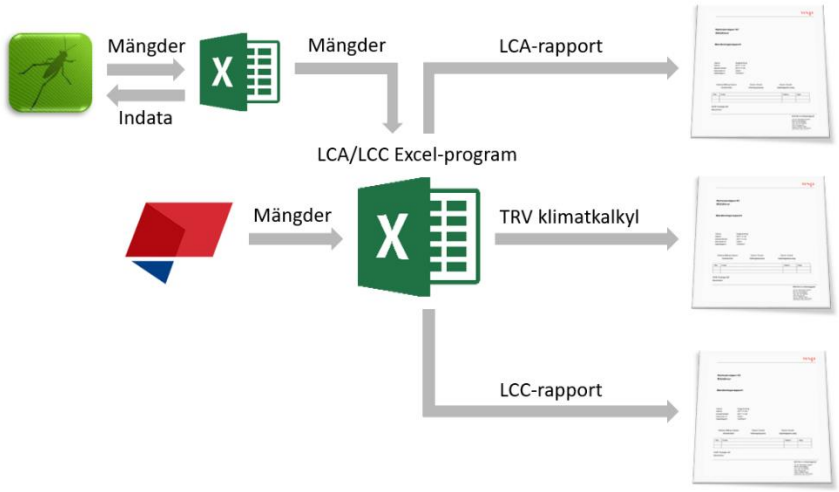
Figur 5.8. Utplacerade bookmarks i en av Wordmallarna där figurer och tabeller kommer in

I Bilaga A visas ett exempel på en sub som används för att kopiera över en tabell från Excelarket till Wordrapporten. När denna sub anropas skickas bland annat bokmärksnummer och tabellnummer in som argument, vilket gör att samma sub kan användas för alla tabeller.

5.2 Manual över användarens arbetsgång

Stort fokus har lagts på användarvänlighet genom hela skapandeprocessen av Excelarket då det ska kunna användas av så många som möjligt. Excelarket ska vara enkelt att följa och kunna användas av personer med begränsade förkunskaper inom LCA och LCC.

Flödesschema över automatiseringsprocessen visas i Figur 5.9. Se Bilaga G, Bilaga H och Bilaga I för en tydligare beskrivning av rapporternas utformning.

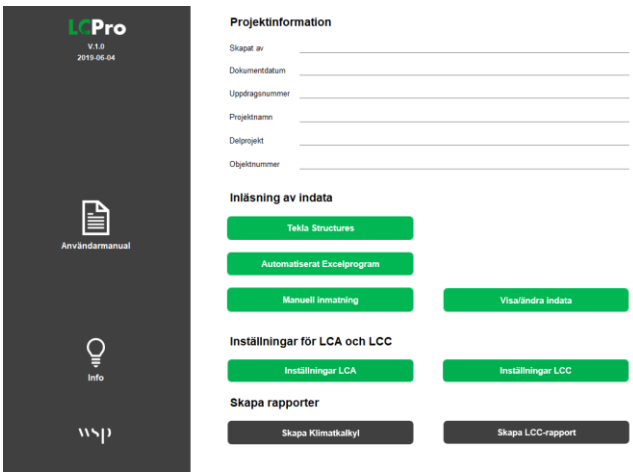


Figur 5.9 Flödesschema över automatiseringsprocessen

5.2.1 Användargränssnittets uppbyggnad

Excelarket är uppbyggt med ett användargränssnitt enligt Figur 5.10. En användarmanual i PDF-format finns tillgänglig för att underlätta för nya användare. Där ges en detaljerad beskrivning av hur Excelarket används steg för steg, se Bilaga J Användarmanual.

Efter att projektinformation fyllts i av användaren sker inläsningen av mängderna. Användaren ges då möjligheten att göra detta på tre olika sätt: Tekla Structures, automatiska Excelprogram eller via manuell inmatning. Om inställningar ska skrivas in för LCA eller LCC finns knappar som för en vidare till respektive flik. Slutligen finns knappar för att skapa rapport.



Figur 5.10 Användargränssnittet till Excelarket

5.2.2 Indata

När inläsning av mängder har skett förflyttas användaren automatiskt till indatafliken där mängderna står angivna under respektive material, se Figur 5.11.

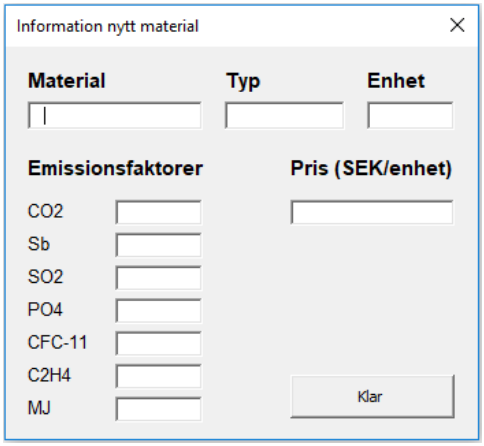
De mängder som inte går att få ut från Tekla Structures är markerade i rött och måste skrivas in manuellt av användaren. Dessa är varmförzinkning av stål, pålar, schakt, återfyllning och form. Detsamma gäller för den detaljerade informationen om betongen. Användaren ges möjligheten att specificera vilken cementtyp, andel flygaska och mängden PP-fiber som använts för respektive betongkvalitet.

Material	Typ	Enhet	Mängd	Cementtyp	Flygaska (%)	PP-fiber (kg/m^3)
Betong	C25/30	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C30/37	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C35/45	m^3	929,25	CEM I	0	0
Betong	C40/50	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C45/55	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C50/60	m^3	0	CEM I	0	0
Stål	S235	ton	0			
Stål	S275	ton	0			
Stål	S355	ton	0			
Stål	S420	ton	630			
Stål	S460	ton	0			
Varmförzinkat stål	-	ton	0			
Rostfritt stål	1,4462	ton	0			
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,265			
Armering	K600B-T	ton	0			
Armeringsnät	NK500AB-W	ton	0			
Betongpålar	SP1	m	0		RÖDA FÄLT ÄNDRAS	
Betongpålar	SP2	m	0			
Betongpålar	SP3	m	0			
Stålpålar	Stålkärnepålar	m	0			
Stålpålar	Stålrörspålar	m	0			
Jordschakt	Fall A	m^3	0			
Jordschakt	Fall B	m^3	0			
Bergschakt	Fall A	m^3	0			
Bergschakt	Fall B	m^3	0			
Fyllning jord	Fall A	m^3	0			
Fyllning jord	Fall B	m^3	0			
Fyllning berg	Fall A	m^3	0			
Fyllning berg	Fall B	m^3	0			
Form	Av valfri typ	m^2	0			
Form	Av sågade bräder	m^2	3622,5			

Startsida Lägg till material

Figur 5.11 Indata fliken i Excelarket

I händelse av att användaren saknar ett material i tabellen finns det en knapp för att lägga till ett nytt. En Userform (formulär) dyker då upp där användaren får fylla i information om det nya materialet, se Figur 5.12. Efter att informationen fyllts i och bekräftats kommer en ny rad att läggas in i tabellen och Excelarket kommer att uppdateras automatiskt med det angivna priset och emissionsfaktorerna.

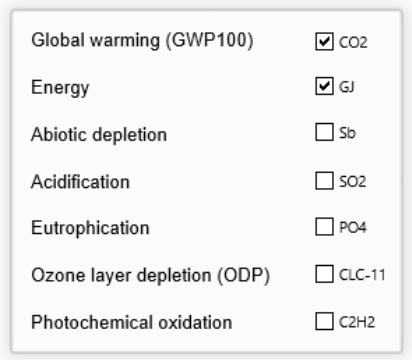


Figur 5.12 Userform för att lägga till ett nytt material

5.2.3 Inställningar för LCA

I ”inställningar LCA” ges möjligheten att välja mellan att göra en LCA enligt Trafikverkets Klimatkalkyl eller att göra en komplett LCA, se Figur 5.13. Om klimatkalkylen väljs kommer alla miljöpåverkanskategorier utom koldioxid och energi att bockas ur, se Figur 5.14. Om komplett LCA väljs kommer alla miljöpåverkanskategorier att bockas i. Användaren kan sedan bocka ur de kategorier som inte ska studeras.

Figur 5.13 Alternativ för hur LCA ska beräknas



Figur 5.14 Filtrering över vilka miljöpåverkanskategorier som ska studeras

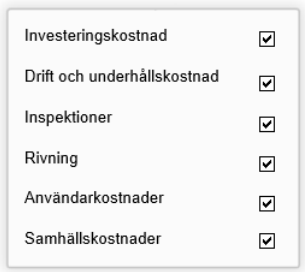
Efter att filtreringen gjorts ska allmänna förutsättningar fyllas i enligt Figur 5.15. Livslängd finns även med under inställningar LCC och ändras automatiskt då cellerna är beroende av varandra.

Figur 5.15 Allmänna förutsättningar för LCA

5.2.4 Inställningar för LCC

I kapitel 4.2 behandlas de olika aspekter som kan studeras i en LCC. Genom kryssrutor kan användaren filtrera bort och endast ta med de kostnader som anses vara relevant för den aktuella analysen, se Figur 5.16.

I inställningsfliken får användaren, beroende på vad som filtrerats bort, fylla i den information som krävs för att beräkningar ska kunna utföras i beräkningsbladet. Det som inte ska vara med i analysen göms för att göra det så användarvänligt som möjligt.



Figur 5.16 Filtrering över vilka kostnader som ska analyseras

Oberoende av vilka kostnader som har valts måste allmänna förutsättningar fyllas i, se Figur 5.17. Livslängden och kalkylräntan är två viktiga faktorer för beräkningarna. Om livslängd redan skrivits in under inställningar LCA, behöver den inte ändras. Kalkylräntan är förinställd på 3,5%, men går att ändra vid behov. Basår, restvärde och vilket år investeringskostnaden har antagits infalla följer endast med som text till rapporterna.

Basår	2019
Kalkylränta (%)	3,5%
Restvärde vid kalkylperiodens slut	0
Livslängd	120
Investeringskostnad har antagits infalla vid basåret	2019

Figur 5.17 Allmänna förutsättningar för LCC

Prislistan visas i en tabell enligt Tabell 5.4. Standardpriser har lagts in men dessa kan ändras för att anpassas till ett specifikt projekt. Återigen för att göra det så användarvänligt som möjligt syns endast de mängder som skrivits in under ”indata”.

Tabell 5.4 Utdrag ur prislista över material/arbete för LCC

Material/Arbete	Typ	Enhet	Mängd	Pris (SEK)
Betong	C25/30	m3	145	2250
Betong	C30/37	m3	415	2500
Betong	C40/50	m3	385	3000
Betong	C45/55	m3	231	3245
Stål	S235	ton	515	33000
Stål	S275	ton	516	34250
Stål	S460	ton	630	38000
Armering	K500C-T/B500B	ton	167	7000
Jordschakt	Fall B	m3	450	260
Bergschakt	Fall A	m3	290	240
Fyllning jord	Fall B	m3	690	380
Form	Av sågade bräder	m2	250	456

Posten ”Drift och underhåll” fylls i som en tabell där information om åtgärden måste fyllas i, se Figur 5.18. Först anges vilket material som ska underhållas eller repareras. Därefter kommer en förklaring till underhållsåtgärden, som exempelvis rengöring eller ommålning. Hur ofta underhållet ska göras fylls i under tidsintervall om det är någonting som sker upprepande gånger eller under åtgärdsår om det sker ett specifikt år. Val av enhet görs beroende på vilken underhållsåtgärd som ska göras. För att räkna ut drift och underhållskostnaden kan beräkningarna göras på två olika sätt. Om enheten m^3, m^2 eller m väljs kommer priset att multipliceras med den andel som skrivs in under procent, och den angivna volymen, arean eller längden. Om ”st” väljs kommer priset bara att multipliceras med procenten.

Om användarkostnad ska tas hänsyn till, fylls i denna tabell antalet dagar som trafikstörningen äger rum och längden på den drabbade sträckan. Denna indata ligger till grund för uträkningen av användarkostnad och samhällskostnad där de resterande parametrarna fylls i under respektive rubrik

Möjligheten att lägga till eller ta bort åtgärder ges genom två knappar.

Underhållsåtgärder								Trafikstörning	
Material	Beskrivning	Tidsintervall	Åtgärdsår	Längd/area	Enhet	%	Pris (SEK/enhet)	Dagar	Längd (km)
Betong	Rengöring	1		5902,5	m2	100%	250	0,5	0,06
Stål	Ommålning	10		2756	m2	0%	2000	0,5	0,06

m3
m2
m
st

Lägg till rad Ta bort rad

Figur 5.18 Tabell för drift och underhållsåtgärder där användarkostnad har valts

För posten ”Inspektioner” gäller samma som för ”Drift och underhåll” med skillnaden att enheten bara kan uttryckas i styck, se Figur 5.19.

Inspektioner								Trafikstörning	
Konstruktion	Beskrivning	Tidsintervall	Åtgärdsår	Längd/area	Enhet	%	Pris (SEK/enhet)	Dagar	Längd (km)
Stål	Huvudinspektion	6			st	100%	8000	1	0,06

Lägg till rad Ta bort rad

Figur 5.19 Tabell för inspektioner där användarkostnad har valts

Att ange kostnaden för posten ”Rivning” ges i två möjligheter i form av en rullista, antingen i procent som avser en procentandel av investeringskostnaden eller genom att skriva in den totala summan, se Figur 5.20.

Figur 5.20 Rivning angivet i procent av investeringskostnaden

Användarkostnader är, som tidigare nämnt, beroende av drift och underhåll och inspektioner som medför trafikstörningar. Resterande parametrar som normal hastighet och reducerad hastighet fylls i tabellen för användarkostnad, se Tabell 5.5.

Tabell 5.5 Parametrar till användarkostnad

Användarkostnad		
V_r	10	*Reducerade hastigheten km/h*
V_n	50	*Vanliga hastigheten km/h*
$ÅDT_t$	5000	*Dagliga trafiken*
P_l	0,1	*Andel kommersiell trafik*
W_l	420	*Pris för kommersiell trafik/h*
WD	210	*Pris för personbilar/h*
O_T	200	*Pris för driftkostnad för lastbilar/h*
O_p	89	*Pris för driftkostnad för personbilar/h*

Samhällskostnadsberäkningarna behöver ingen ytterligare information utan baseras på $ÅDT_t$ som fyllts i under användarkostnad och antal dagar som trafikstörningen äger rum, ifyllt under inställningar. De återstående parametrarna redovisas i Tabell 5.6 och är förinställda, men går att ändra om värden uppdateras.

Tabell 5.6 Parametrar till samhällskostnad

Samhällskostnad		
A_n	5,58995E-08	*Olycksfrekvensen under normala förhållanden*
A_r	7,7659E-08	*Olycksfrekvensen under vägarbeten*
C_F	6100000	*Genomsnittliga kostnaden för ett dödsfall för samhället*
C_I	950000	*Genomsnittliga kostnaden för en skadad person för samhället*
P_F	0,009	*Genomsnittliga antalet döda personer i brorelaterade olyckor*
P_I	0,991	*Genomsnittliga antalet skadade personer i brorelaterade olyckor*

5.2.5 Framtagning av rapporter

Efter att alla inställningarna gjorts skapas rapporterna. Projektinformationen som fyllts i Excelarket kommer in i försättsbladet på rapporterna med en knapp som framgår av Figur 5.10. Resultat i form av tabeller och diagram redovisas under tillhörande rubriker. Användaren kan sedan komplettera med egen text för att anpassa rapporten till det aktuella projektet, se exempel på färdiga rapporter i Bilaga G, Bilaga H och Bilaga I.

6 Resultat

Resultatet av examensarbetet är ett Excelark som hämtar mängder från antingen Tekla, Excel eller manuell inmatning och sedan generar LCA- och LCC-rapporter. Rapporternas utformning och innehåll redovisas i Bilaga G, Bilaga H och Bilaga I.

Detta kapitel är uppdelat i två delar: redovisning av resultat från den exemplifierade bron och kvalitetskontroll av resultatet. Ytterligare en fallstudie har gjorts men redovisas endast i Bilaga E och Bilaga F.

6.1 LCA-resultat

Tabell 6.1 visar resultatet av miljöpåverkan för alla de miljöpåverkanskategorier som finns med i Excelarket. För kompletterande grafer, se Bilaga C.

Tabell 6.1 Resultat av LCA

				kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11	kg C2H4 eq	GJ
Resurs	**Typ**	**Enhet**	**Mängd**	**GWP**	**ADP**	**AP**	**EP**	**ODP**	**PCOP**	**GJ**
Betong	C35/45	m3	929,25	3,03E+05	8,06E-03	6,37E+02	1,91E+02	1,41E-02	2,79E+01	1,63E+03
Stål	S460	ton	630	1,50E+06	4,34E-01	3,36E+03	3,05E+02	0,00E+00	4,75E+02	1,48E+04
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,25	3,82E+05	1,37E-01	1,06E+03	8,88E+01	0,00E+00	1,02E+02	3,77E+03
TOTALT				**2,18E+06**	**5,80E-01**	**5,05E+03**	**5,85E+02**	**1,41E-02**	**6,06E+02**	**2,02E+04**

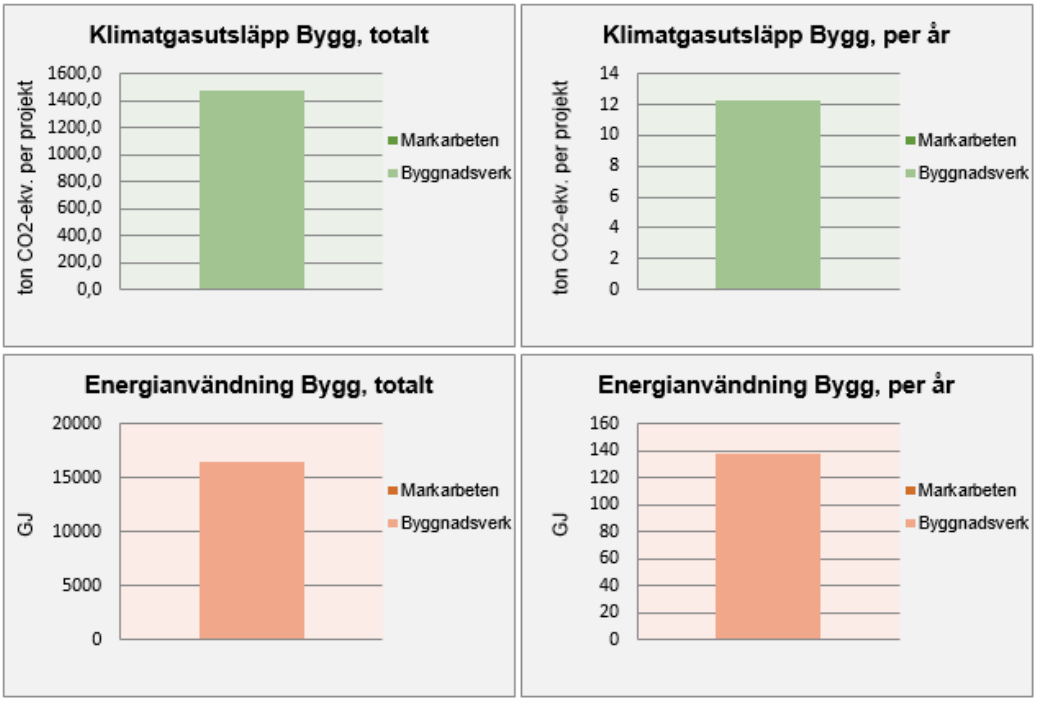
6.2 Klimatkalkyl resultat

Tabell 6.2 visar klimatutsläpp och energianvändning för de material som ingår i fallstudien. Se Bilaga C för fullständigt resultat med kompletterande tabeller.

Tabell 6.2 Tabell över byggdelar, koldioxidutsläpp och energianvändning

			Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
BYGGDELAR	*Enhet*	*Mängd*	*Totalt*	*Per år*	*Totalt*	*Per år*
Betong	m^3	929,3	356,8	3,0	2096,4	17,5
Stål, armering	ton	167,3	172,3	1,4	1778,0	14,8
Stål, konstruktion	ton	630,0	945,0	7,9	12663,0	105,5
TOTALT			**1474**	**12**	**16537**	**138**

Resultatet redovisas även i grafer i form av fyra stapeldiagram, se Figur 6.1Tabell 6.2. De innehåller information om det totala koldioxidutsläppet, totala energianvändningen samt det årliga för bägge aspekter. Materialen och arbetena är uppdelade i markarbeten och byggnadsverk, där betong och all typ av stål tillhör byggnadsverk medan resterande tillhör markarbeten.



Figur 6.1 Stapeldiagram över klimatgasutsläpp och energianvändning

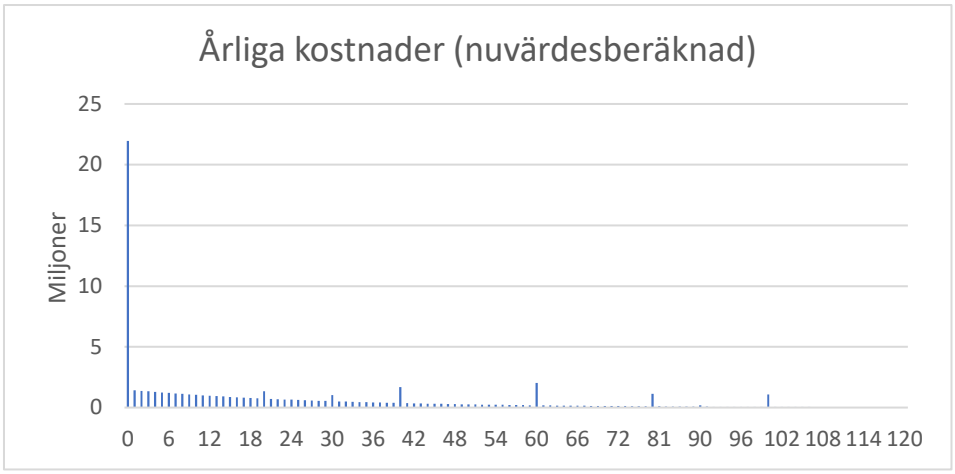
6.3 LCC-resultat

Resultat från LCC visas i Figur 6.2, Figur 6.3, Figur 6.4 och Figur 6.5. Materialmängder, priser och inställningar som använts anges i Bilaga C.

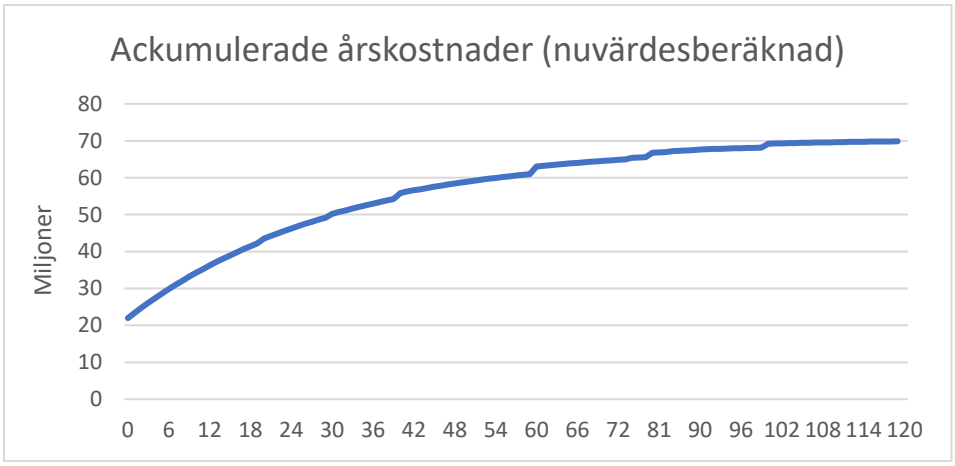
Investeringskostnad	**21 954 930 kr**
Underhållskostnad nuvärde	**47 902 532 kr**
LCC Nuvärde	**69 857 462 kr**

Figur 6.2 Resultat investeringskostnad, underhållskostnad nuvärde och LCC nuvärde

Figur 6.3 Jämförelse mellan investeringskostnad och underhållskostnad nuvärde



Figur 6.4 Årliga kostnader



Figur 6.5 Ackumulerade årskostnader

6.4 Kvalitetskontroll

Kvalitetskontroll av Excelarket görs för att granska resultatets trovärdighet.

6.4.1 Inläsning av mängder

För att säkerställa att materialmängder som kommer från Tekla stämmer, kvalitetskontrolleras Excelarkets inläsningsfunktion. Ett projekt från WSP som har modellerats i Tekla har tillhandhållits där deras manuella mängdberäkningar jämförts med Excelarkets. Projektet omfattar en tunnel som innehåller betong, stål och armering, se Bilaga B för fullständig kvalitetskontroll.

Betongmängd

Excelarket: 796,6834 m^3

Manuell beräkning av WSP: 798 m^3

Noggrannhet: $\frac{796,6834}{798} = 0,9983 \approx 99,8\%$

Stålmängd

Manuell beräkning av WSP: 0,7082 ton

Excelarket: 0,7096 ton

Noggrannhet: $\frac{0,708182255}{0,7096} = 0,9980 = 99,8\%$

Armeringsmängd

Excelarket: 93,0892 ton

Manuell beräkning av WSP: 93,563 ton

Noggrannhet: $\frac{93,0892}{93,563} = 0,9949 \approx 99,5\%$

6.4.2 Kontroll av LCA

Kontroll av LCA beräkningar görs med resultat från SimaPro för vilket resultatet redovisas i Tabell 6.3. Se Bilaga D för fullständig kvalitetskontroll.

Tabell 6.3 Resultat från SimaPro LCA

Impact category	Unit	Concrete, 35MPa	Steel cold rolled coil/EU	Steel rebar/EU
Abiotic depletion (ADP)	kg Sb eq	0,01	0,43	0,14
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1634865,60	14783278,00	3768237,40
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	302508,01	1498137,70	381762,00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,01	-0,01	0,00
Photochemical oxidation (PCOP)	kg C2H4 eq	27,95	475,43	102,28
Acidification (AP)	kg SO2 eq	637,22	3358,54	1057,10
Eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	191,17	305,29	88,80

6.4.3 Kontroll av Klimatkalkyl

Kontroll av Excelarkets beräkningar görs med resultat från Trafikverkets Webapplikation för Klimatkalkylen. Indata är samma som i fallstudien. Tabell 6.4 visar resultatet från Trafikverkets Klimatkalkyl, se Bilaga D för fullständigkvalitetskontroll.

Tabell 6.4. Klimatpåverkan och energianvändning enligt Trafikverkets Klimatkalkyl

Ingående objekt		Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
		Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*
Totalt för projekt				**1 474**	**12**	**16 537**	**138**
Byggdelar							
⊕	Betong (6.3)	929	m3	357	3	2 096	17
⊕	Stål, armering (6.3)	167	ton	172	1	1 778	15
⊕	Stål, konstruktion (6.3)	630	ton	945	8	12 663	106

6.4.4 Kontroll av LCC-beräkningar

Kontroll av LCC beräkningar görs genom att använda en redan upprättad LCC-analys av den studerade bron av WSP, se Bilaga D för fullständigkvalitetskontroll.

Investeringskostnad	21 954 930 kr
Underhållskostnad nuvärde	47 902 532 kr
LCC Nuvärde	69 857 462 kr

Figur 6.6 Resultat investeringskostnad, underhållskostnad nuvärde och LCC nuvärde gjord av WSP

7 Analys och diskussion

För att lyfta fram potentialen och effektiviteten med det skapade Excelarket analyseras och kvalitetskontrolleras de rapporter som skapats av Excelarket för LCA, LCC och Klimatkalkylen. Utifrån dessa aspekter kan sedan för- och nackdelar med Excelarket utvärderas och slutligen resultera i en slutsats.

För att hålla examensarbetet inom den angivna tidsramen har inte alla material och arbeten lagts in. De som är inlagda i Excelarket är de vanligast förekommande vid uppförande av anläggningskonstruktioner. Möjligheten att lägga till fler material/arbeten har däremot gjorts väldigt enkel. Som tidigare beskrivet i kapitel 5.2.2, kan ett nytt material/arbete läggas till med ett knapptryck där användaren endast behöver fylla i emissionsfaktorer och priset. Tabeller och grafer uppdateras sedan automatiskt utefter den informationen.

Emissionsfaktorerna för betong- och stålpålar i Trafikverkets Klimatkalkyl baseras på materialet och arbetet som krävs för pålningen. I Excelarket är däremot emissionsfaktorerna för pålarna bara baserade på arbetet, då betong och stål redan är inkluderat under respektive material. Detsamma gäller för varmförzinkat stål. Excelarket tar bara hänsyn till själva arbetet för varmförzinkningen av stålet. Konsekvensen av detta blir att redovisningen för respektive material skiljer sig mot Trafikverkets Klimatkalkyl, men det totala utsläppet blir detsamma.

Klimatkalkylen från Trafikverket är begränsad på grund av två stora anledningar. Den första anledningen är att den bara tar hänsyn till klimatpåverkan i form av koldioxidutsläpp och energianvändning. Den andra anledningen är att den inte skiljer på olika materialkvaliteter utan använder genomsnittliga emissionsfaktorer. Därför har en mer detaljerad LCA skapats som tar hänsyn till fler miljöpåverkanskategorier och har olika emissionsfaktorer beroende på materialkvalitet.

Även om det främst diskuteras om koldioxidutsläpp i byggbranschen finns det fler miljöpåverkanskategorier att ta hänsyn till. Excelarket gör det möjligt att få ut resultat på sju kategorier för varje material/arbete. Emissionsfaktorerna för dessa kategorier har framförallt hämtats från SimaPro. Nackdelen med detta är att värdena från SimaPro är genomsnittliga värden för material i Europa. Önskvärt vore om Excelarket istället hade emissionsfaktorer med data från Sverige.

LCC-analyser används för att jämföra kostnadsbedömningar över en specifik tidsperiod. Denna information kan sedan användas för att lyfta fram alternativ på konstruktioner med hänsyn till kostnad. I en LCC-analys finns det olika aspekter att ta hänsyn till där materialval är en styrande faktor gällande investeringskostnaden och framtida drift- och underhållsåtgärder. Materialval som ger en hög investeringskostnad kan bli gynnsammare ur ett ekonomiskt perspektiv, om drift- och underhållskostnaden under konstruktionens livstid blir låg.

Vad som är viktigast i en LCC beror på vilken kategori som är av störst vikt vid den aktuella analysen. Då en konstruktion ska uppföras centralt i Stockholm kan ägarkostnaden bli låg, men till följd av avstängningar av väldigt trafikerade vägar kommer användarkostnaden bli hög. På motsatt sätt kan ägarkostnaden bli hög om konstruktionen uppförs på landsbygden, medan användarkostnaden kan bli låg.

I vissa fall är det inte heller kostnaden av konstruktionen som är av störst vikt. Det kan vara andra faktorer som styr, som till exempel krav på att det ska vara byggt ur ett miljövänligt perspektiv eller att estetiska skäl väger tyngre än kostnaden.

En utgångspunkt för att Excelarkets beräkningsfunktioner skulle vara relevanta var att mängderna som läses in från Tekla var korrekta. De inlästa mängderna jämfördes därför med manuella mängdberäkningar gjorda av WSP. Tekla-modellen som användes bestod av en tunnel som innehöll betong, stål och armering. Resultatet stämde till 99,8% för både betong och stål, medan armering stämde till 99,5%. Den marginella skillnaden i resultatet kan bero på att de utskrivna rapporterna från Tekla endast innehåller en decimal. För att uppnå ett resultat av högre noggrannhet skulle det därför krävas att rapporterna från Tekla innehöll fler decimaler.

Kvalitetskontrollen av Excelarkets Klimatkalkyl visar att samma resultat uppnås som vid användning av Trafikverkets Klimatkalkyl. Då beräkningar av klimatkalkylen är det som efterfrågas av Trafikverket är redovisningen av resultatet utformat med liknande tabeller och grafer. Detta för att Excelarket ska kunna användas vid projekt.

Kontroll av LCC beräkningar gjordes genom att jämföra Excelarkets beräkningsfunktion med två befintliga LCC-analyser. De kostnader som studerades var investeringskostnader samt drift-och underhållskostnader. Resultatet blev detsamma vilket visar att Excelarkets beräkningar stämmer för de två kostnadsaspekterna.

8 Slutsats

Syftet med examensarbetet var att underlätta för integrering av kostnad och miljöpåverkan i tidigt projekteringsskede genom att automatisera kopplingen mellan BIM-program och LCA-/LCC-verktyg. Målet var att programmera fram ett Excelark i VBA som skulle hantera denna process. Resultatet visar att Excelarket gör det mer tidseffektivt och lättare att optimera konstruktioner med hänsyn till miljö och kostnad.

Ett Excelark har skapats som kan hantera de miljöpåverkanskategorier och kostnader som är av stor vikt vid LCA och LCC-analyser. Med hjälp av VBA har en automatisering gjorts som effektiviserar hela processen vid skapande av LCA och LCC-analyser från hantering av materialmängder till färdiga rapporter.

Möjligheten till att få ut LCA och LCC rapporter genom ett Excelark som läser in mängder från Tekla resulterar i en stor tidsbesparing. För att få fram rapporter i nuläget krävs det tre steg: mängdberäkning, användande av LCA- eller LCC-program och en egenskriven rapport. Dessa tre steg är nu integrerade i ett Excelark som bara kräver ett fåtal knapptryckningar.

Den tidsbesparing som görs genom användning av Excelarket för optimering av konstruktioner har visat sig vara signifikant jämfört med de metoder som idag används på WSP-bro. Ett exempel på detta är fallstudien som redovisats under resultatet. Det tog en medarbetare på WSP ca 40h att utföra LCC-analysen på bron och skriva rapporten. Med hjälp av Excelarket kunde tidsåtgången för detta arbete reduceras till ca 1h. Detta exempel visar en tydlig effektivisering av arbetsprocessen och belyser den framtida potentialen av denna arbetsmetod.

De kvalitetskontroller som gjorts under examensarbetet visar att trovärdigheten är hög. Däremot skulle fler kontroller behöva göras innan det helt kan säkerställas att Excelarket fungerar och kan användas i projekt.

Genom utbildningar inom LCA och LCC samt användning av Excelarket underlättas arbetet att göra mer hållbara val vid projektering av en konstruktion. Detta bidrar till att främja hållbarhetstänk i företag och uppmuntrar anställda att arbeta mot ett gemensamt mål om en koldioxidneutral infrastruktursektor.

9 Rekommendationer

För att möta den stora efterfrågan av hållbart byggande, rekommenderas företaget att börja tillämpa Excelarket i projekt. Slutsatserna som redovisats i arbetet visar att verktyget gör det mer tidseffektivt och lättare att optimera konstruktioner med hänsyn till miljö och kostnad.

Genom användning av verktyget kan eventuella tillkortakommanden och utvecklingsmöjligheter upptäckas. Fler miljöpåverkanskategorier som till exempel ekotoxiciteten skulle kunna läggas till för att täcka hela CML 2001. Även fler material samt drift- och underhållsåtgärder för klimatkalkylen vore önskvärda att lägga till för att komplettera verktyget.

Excelarket erbjuder ett flertal olika inställningar som är av stor betydelse för LCA och LCC-analyser. Dock kan eventuella vidareutvecklingar i form av fortsatta studier medföra ett större utbud av valmöjligheter för att uppnå ett noggrannare resultat.

För att Excelarket ska kunna nå ut till en större målgrupp kan implementeringen av två olika användarlägen vara en god idé. Dessa skulle kunna vara ”enkel” och ”avancerad” och väljs beroende på kunskapen som användaren besitter inom ämnet. Vid användarläget ”enkel” begränsas antalet inställningar för att underlätta för användaren av verktyget.

Slutligen skulle emissionsfaktorerna kunna kopplas till externa program som till exempel Trafikverkets Klimatkalkyl. Detta skulle eliminera behovet av manuell uppdatering av värdena och på så sätt minska underhållsarbetet av Excelarket.

Ett förslag till fortsatta studier kan vara en vidareutveckling av Trafikverkets Klimatkalkyl. Genom att lägga till fler miljöpåverkanskategorier kan verktyget göras mer omfattande och därmed kunna tillämpas i större utsträckning.

Referenser

Autodesk. (n.d). *BIM: Byggnadsinformationsmodeller.* Hämtad 2019-05-26 från https://www.autodesk.se/solutions/building-information-modeling/overview

BESAB (n.d.) *Keminjektering.* Hämtad 2019-04-09 från https://www.besab.se/produkter-tjanster/betong/keminjektering/

BIM Alliance. (n.d). *Vad är BIM?*. Hämtad 2019-05-26 från https://www.bimalliance.se/vad-aer-bim/

Boverket. (2019). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn.* Hämtad 2019-04-10 från https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/

Du, G. (2015). *Life cycle assessment of bridges, model development and case studies.* (Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm) Hämtad från http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:793949/FULLTEXT03.pdf

Eastman, C., Liston, K., Sacks, R., & Teicholz, P. (2008). *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling. New Jersey: Wiley*.

ExcelEasy. (n.d.). *Function and Sub*. Hämtad 2019-06-13 från https://www.excelfunctions.net/vba-functions-and-subroutines.html

ISO14040. (2006). *Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur.* Stockholm: Swedish Standards Institute.

ISO14044. (2006). *Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning.* Stockholm: Swedish Standards Institute.

ISO15686. (2003). *Byggnader och byggnadsverk – Livslängdsplanering – Del 1: Allmänna principer*. Stockholm: Swedish Standars Institute.

Levin, P., Lilliehorn, P., & Sandesten, S. (2008). *Livscykelekonomi vid planering, byggande och förvaltning.* Boverket.

Microsoft. (1985). *Microsoft Multiplan Verison 1.11*. Hämtad 2019-05-06 från https://archive.org/details/mac_MSMultiplan_1.11

Microsoft. (2019). *Getting started with VBA in Office.* Hämtad 2019-05-01 från https://docs.microsoft.com/sv-se/office/vba/Library-Reference/Concepts/getting-started-with-vba-in-office

MyEcoCost. (n.d.). *Overview of CML 2001*. Hämtad 2019-05-23 från https://www.adm-global.org/productionsupporttools/Impact_Analysis_CML.html

Naturvårdsverket. (2018). *Så följer vi upp klimatmålen.* Hämtad 2019-04-10 från https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Sa-foljer-vi-upp-klimatmalen/

Rhinoceros. (n.d.) *Grasshopper – New in Rhino 6 for Windows.* Hämtad 2019-05-22 från https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper

RISE - Research Institutes of Sweden. (n.d.). *Anläggningskonstruktioner*. Hämtad 2019-04-29 från https://www.sp.se/sv/index/services/construction/anlaggning/Sidor/default.aspx

SCB. (2018). *Medellöner i Sverige.* Hämtad 2019-04-22 från https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/utbildning-jobb-och-pengar/medelloner-i-sverige/

Siklander, O., & Åqvist, A. (2016). *Livscykelanalyser för en öppningsbar vägbro – Studie av Nya Flottsundsbron byggd i konventionellt, rostfritt eller rosttrögt stål*. (Masteruppsats, Kungliga Tekniska

Högskolan, Stockholm) Hämtad från http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:933940/FULLTEXT01.pdf

SimaPro. (n.d.). *Det här är SimaPro.* Hämtad 2019-05-22 från http://simapro.se/simapro/

Solat Yavari, M. (2017). *Slab Frame Bridges: Structural Optimization Considering Investment Cost and Environmental Impacts.* (Licentialavhandling, Kunga Tekniska Högskolan, Stockholm). Hämtad från http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1079393/FULLTEXT01.pdf

Stabilt berg. (n.d.). *Betongsprutning med sprutbetong för torrsprutning eller våtsprutning.* Hämtad 2019-04-09 från https://www.stabiltberg.se/tjanster/betongsprutning

Tekla. (2019). *Tekla Structures BIM-programvara.* Hämtad 2019-05-02 från https://www.tekla.com/se/produkter/tekla-structures

Trimble. (2016). *Company History.* Hämtad 2019-05-02 från https://www.trimble.com/corporate/about_history.aspx

Trafikverket. (2015). *BaTMan Bro och Tunnel Management. Handbok för inspektion av byggnadsverk.* Hämtad 2019-03-28 från https://batman.trafikverket.se/batinfo/Batman/biblioteket/Dokument/Handbok%20foer%20inspektion%20av%20byggnadsverk.pdf

Trafikverket. (2017). *Krav Brounderhåll, TDOK 2013:0415.*

Trafikverket. (2018a). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1.* Hämtad 2019-04-03 från https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-6.1/asek_6_1_hela_rapporten_180412.pdf

Trafikverket. (2018b). *Krav Brobyggande, TDOK 2016:0204.*

Trafikverket. (2018c). *RAPPORT Klimatkalkyl – Beräkning av infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv.* Hämtad 2019-05-10 från https://www.trafikverket.se/contentassets/eb8e472550374d7b91a4032918687069/klimatkalkyl_rapport_v_5_0_-och_-6_0.pdf

Trafikverket. (2018d) *Klimatkalkyl – infrastrukturhållningens energianvändning och klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv, TDOK 2015:0007.*

Trafikverket. (2019). *Klimatkrav.* Hämtad 2019-05-23 från https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/klimatkrav/

Tutorialspoint. (n.d.). *Computer Programming – Functions.* Hämtad 2019-06-13 från https://www.tutorialspoint.com/computer_programming/computer_programming_functions.htm

Vägverket. (1999a). *Förstudie till FoU-ramprojekt LCC-modeller (bro).* Hämtad 2019-04-05 från https://www.trafikverket.se/contentassets/8425704897db43059cb747ece4421b95/forstudie_till_fou_ramprojekt_lcc_modeller_bro.pdf

Westerberg, B. (2010). *Beskrivning av Eurokoder för betongkonstruktioner* (2010:39) Strålsäkerhetsmyndigheten.

WSP Sverige. (2019a). *Sektorer.* Hämtad 2019-04-30 från https://www.wsp.com/sv-SE/sektorer

WSP Sverige. (2019b). *Vår historia.* Hämtad 2019-04-30 från https://www.wsp.com/sv-SE/vilka-vi-ar/var-historia

WSP Sverige. (2019c). *WSP Bro & Vattenbyggnad.* Hämtad 2019-04-30 från https://karriar.wsp.com/departments/wsp-bro-vattenbyggnad

Karoumi, R., & Sundquist H. (2012) *Life Cycle Cost Methodology and LCC Tools.* ETSI

WSP Sverige. (2019d). *Våra kontor*. Hämtad 2019-04-30 från https://www.wsp.com/sv-SE/vilka-vi-ar/vara-kontor

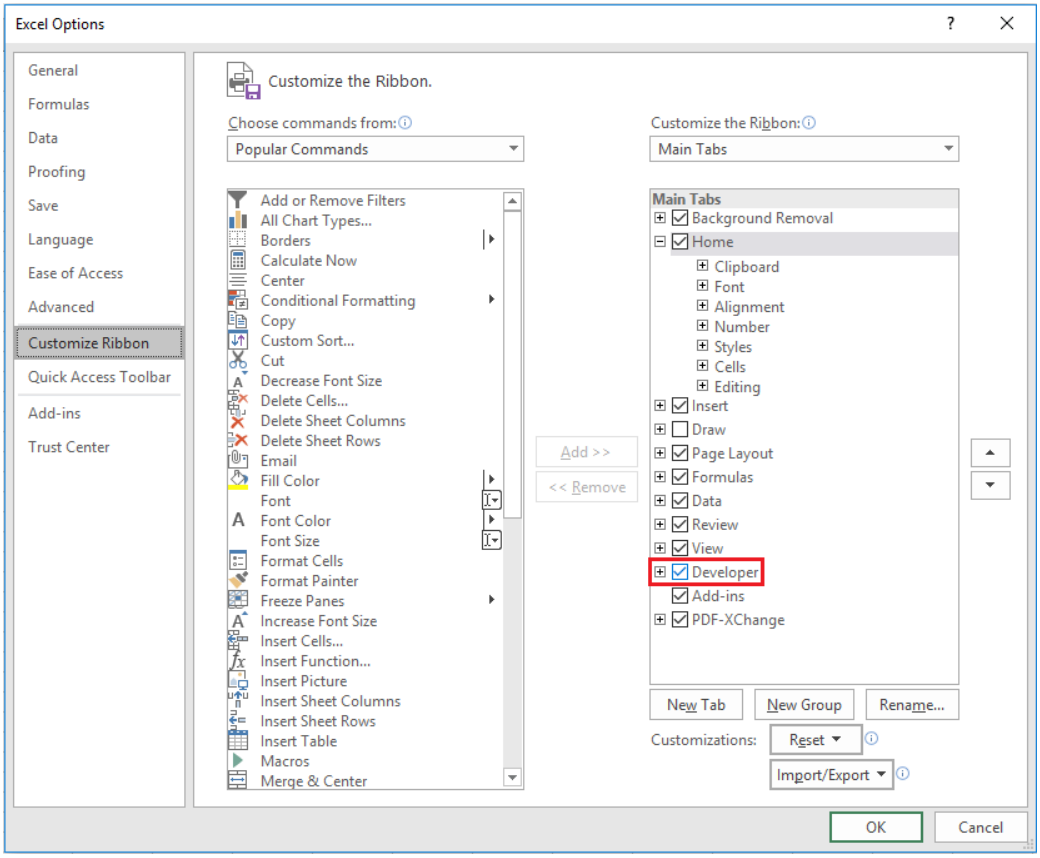
Bilagor

Bilaga A	Skapandet av Excelarket
Bilaga B	Kvalitetskontroll inläsning av mängder från Tekla
Bilaga C	Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 1
Bilaga D	Kvalitetskontroll LCA, Klimatkalkyl och LCC fallstudie 1
Bilaga E	Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 2
Bilaga F	Kvalitetskontroll Klimatkalkyl och LCC fallstudie 2
Bilaga G	Exempel LCA rapport
Bilaga H	Exempel Klimatkalkyl rapport
Bilaga I	Exempel LCC rapport
Bilaga J	Användarmanual

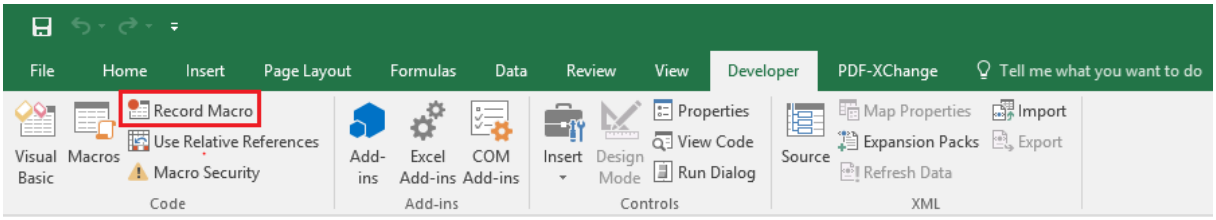
Bilaga A Skapandet av Excelarket

I Bilaga A ges en mer detaljerad beskrivning av skapandet av Excelarket.

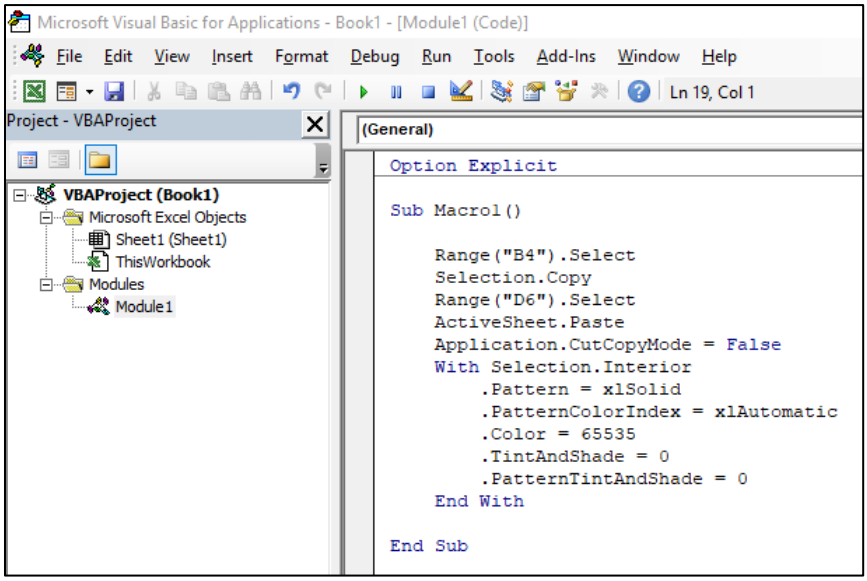
Aktivera fliken Developer under inställningar i Excel för att få tillgång till VBA



Record Macro under fliken Developer i Excel



Koden för det inspelade makrot från exemplet i Figur 5.1 och Figur 5.2



Funktion för att välja en mapp från utforskaren

```
'Öppnar utforskaren där en mapp väljs av användaren. Funktionen returnerar sedan
'mappsökvägen om en mapp har valts.
Function SelectModelFolder() As String

    Dim modelFolder As String

    'Öppna utforskaren
    With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)

        'Om användaren trycker på "OK"
        If .Show = -1 Then

            modelFolder = .SelectedItems(1)

        End If

    End With

    'Om en fil väljs returneras mappsökvägen
    If modelFolder <> "" Then

        SelectModelFolder = modelFolder

    End If

End Function
```

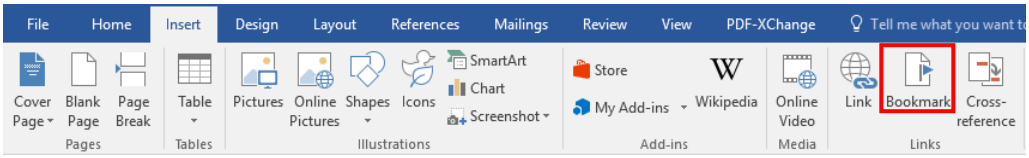
Exempel på datakälla, geografisk täckning och övriga noteringar för betong i Klimatkalkylen

Datakälla	Geografisk täckning	Övriga noteringar
Klimatpåverkan och primärenergi-användning har beräknats utifrån en sammansättning av anläggningsbetong från Cementa (2015). Data för cement avser Cementa AB, HeidelbergCement Group. Ansvarig för EPD-program: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Deklarations-nummer EPD-HCG-20140186-CAD1-EN. Redan beslutat effektsamband för Grus (vikt 1,5 ton/m3) har använts för att beräkna klimatpåverkan och primärenergianvändning för ballast. - Taget från Trafikverkets Klimatkalkyl.	Sverige	CEM I 42.5 N-SR 3/MH/LAbulk Portland cement (anläggningscement Std P). Avser ett medelvärde av all cement (Portland) som tillverkas av Cementa AB i Slite och Degerhamn (Sverige) under år 2013. Avser en typisk sammansättning för anlägg-ningsbbetong (K35/45) med vct (vatten/cement) 0.4. Cementhalt 18%. Vatten, tillsatsmedel och processenergi ingår ej. - Taget från Trafikverkets Klimatkalkyl.

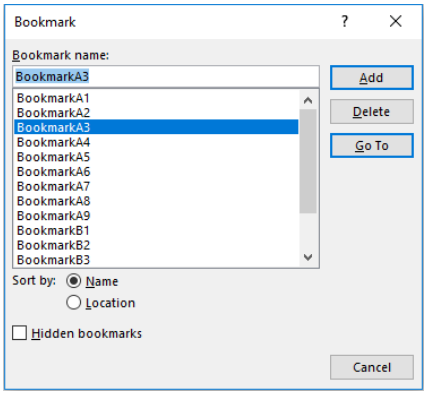
Exempel på övriga indata för Klimatkalkylens emissionsfaktorer

Övrig indata			Datakälla
Grävlastare			
Kapacitet	55	m^3/h	Expertbedömning, Mats Johansson-Thelander, Förbifart Stockholm
Drivmedelanvändning (Diesel MK1)	10,23622047	l/h	SNV_schablonmall-utslapp-av-koldioxid-2011. Baserat på data från SMHI, IVL och Trafikverket
Dumper			
Kapacitet	20	m^3/h	SNV_schablonmall-utslapp-av-koldioxid-2011. Baserat på data från SMHI, IVL och Trafikverket. (www.naturvardsverket.se/...i.../schablonmall-utslapp-av-koldioxid.xlsx)
Drivmedelanvändning (Diesel MK1)	11,37795276	l/h	SNV_schablonmall-utslapp-av-koldioxid-2011. Baserat på data från SMHI, IVL och Trafikverket. (www.naturvardsverket.se/...i.../schablonmall-utslapp-av-koldioxid.xlsx)
Lastbil			
Transportsträcka/vända	10	km	Expertbedömning, Mats Johansson-Thelander, Förbifart Stockholm
Krossning, mobilt verk, energianvändning,	71,08208228	MJ/m^3	Botniabanan: LCA-modell Terrass model 2009 09 09, KCL-Eco
Sprängmedel	0,5	kg/m^3	Botniabanan: LCA-modell Terrass model 2009 09 09, KCL-Eco

Bookmarks hittas under fliken ”insert”.



Lista över bookmarks som användes i en av rapporterna



Sub för att kopiera en tabell från Excel till ett Worddokument

```
Sub CopyTableToWord(objWord As Word.Application, objDoc As Word.Document, ws As Worksheet, bookMarkNumber As Integer, tableNumber As Integer)

    Dim excelTable As Excel.Range
    Dim wordTable As Word.table

    Set excelTable = ws.ListObjects("Table" & tableNumber).Range

    excelTable.Copy

    objDoc.Bookmarks(bookMarkNumber).Range.PasteExcelTable _
        LinkedToExcel:=False, _
        WordFormatting:=False, _
        RTF:=False

    tableNumber = CheckIfTableExists(objWord, tableNumber)

    Set wordTable = objDoc.Tables(tableNumber)

    wordTable.Rows.SetHeight RowHeight:=objWord.CentimetersToPoints(0.53), _
        HeightRule:=wdRowHeightExactly

    wordTable.Borders.OutsideLineStyle = wdLineStyleSingle

    wordTable.AutoFitBehavior (wdAutoFitWindow)

End Sub
```

Bilaga B Kvalitetskontroll inläsning av mängder från Tekla

Kvalitetskontroll inläsning av mängder armering

Manuell mängdberäkning av armering i en tunnel gjord av WSP

EBC.113	armering totalt	93,563	ton
	Armering, monolit 1, gjutetapp 1 (bottenplatta)	4,37	ton
	Armering, monolit 1, gjutetapp 2 (vägg, takbjälklag)	12,12	
	Armering, monolit 2, gjutetapp 1 (bottenplatta)	5,99	ton
	Armering, monolit 2, gjutetapp 2 (vägg, takbjälklag)	14,13	
	Armering, monolit 3, gjutetapp 1 (bottenplatta)	5,18	ton
	Armering, monolit 3, gjutetapp 2 (vägg, takbjälklag)	12,76	
	Armering, monolit 4, gjutetapp 1 (bottenplatta)	4,71	ton
	Armering, monolit 4, gjutetapp 2 (vägg, takbjälklag)	12,92	
	Armering, monolit 5, gjutetapp 1 (bottenplatta)	4,84	ton
	Armering, monolit 5, gjutetapp 2 (vägg, takbjälklag)	13,54	
	Armering, monolit 0 (bergpåslag)	3,004	ton

Mängdberäkning av armering enligt Excelarket

Armering	K500C-T/B500B	ton	93,0892
Armering	K600B-T	ton	0
Armeringsnät	NK500AB-W	ton	0

Noggrannhet

$$\frac{93{,}0892}{93{,}563} = 0{,}9949 \approx 99{,}5\%$$

Kvalitetskontroll inläsning av mängder betong

Manuell mängdberäkning av betong i en tunnel gjord av WSP

EBE.215	Betong totalt	798	m3
	Betong vägg, ofärgad	213	m3
	Betong vägg, färgad	157	m3
	Betong tak, ofärgad	106	m3
	Betong tak, färgad	82	m3
	Betong bottenplatta, ofärgad	221	m3
	Betong bottenplatta, färgad	0	m3
	Betong påslag/fasad, ofärgad	19	m3
	Betong påslag/fasad, färgad	0	m3

Mängdberäkning av betong enligt Excelarket

Betong	C25/30	m^3	0
Betong	C30/37	m^3	796,6834
Betong	C35/45	m^3	0
Betong	C40/50	m^3	0
Betong	C45/55	m^3	0
Betong	C50/60	m^3	0

Noggrannhet

$$\frac{796{,}6834}{798} = 0{,}9983 \approx 99{,}8\%$$

Kvalitetskontroll inläsning av mängder stål

Manuell mängdberäkning av stål i en tunnel gjord av WSP

GBD.2	Stål i port, del 1	L=6670 mm	mått	6670	VKR 220*10
	Stål i port, del 2	L=1000 mm	mått	1000	UPE220(3 st.)
	Stål i port, del 3	L=3000 mm	mått	3000	UPE220(2 st.)
	Fästplåt till stål i port, underkant VKR	420x420x25	mått	420x420x25	

$$m_{stål} = (A_{VKR\ 220\cdot10} \cdot L_{VKR\ 220\cdot10} + A_{UPE220} \cdot L_{UPE220} \cdot Antal + A_{UPE220} \cdot L_{UPE220} + V_{fästplåt} \cdot Antal) \cdot \rho_{stål}$$

$$m_{stål} = (8290 \cdot 6670 + 3390 \cdot 1000 \cdot 3 + 3390 \cdot 3000 \cdot 2 + 420 \cdot 420 \cdot 25) \cdot 10^{-9} \cdot 7850$$

$$m_{stål} = 708{,}182255\ kg = 0{,}708182255\ ton$$

Mängdberäkning av stål enligt Excelarket

Stål	S235	ton	0,0346
Stål	S275	ton	0,4341
Stål	S355	ton	0,2409
Stål	S420	ton	0
Stål	S460	ton	0

$$m_{stål} = 0{,}0346 + 0{,}4341 + 0{,}2409 = 0{,}7096\ ton$$

Noggrannhet

$$\frac{0{,}708182255}{0{,}7096} = 0{,}9980 = 99{,}8\%$$

Bilaga C Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 1

Bilaga C omfattar en fallstudie för en bro med samverkan mellan stål och betong. Indata, inställningar och resultat redovisas från Excelarket.

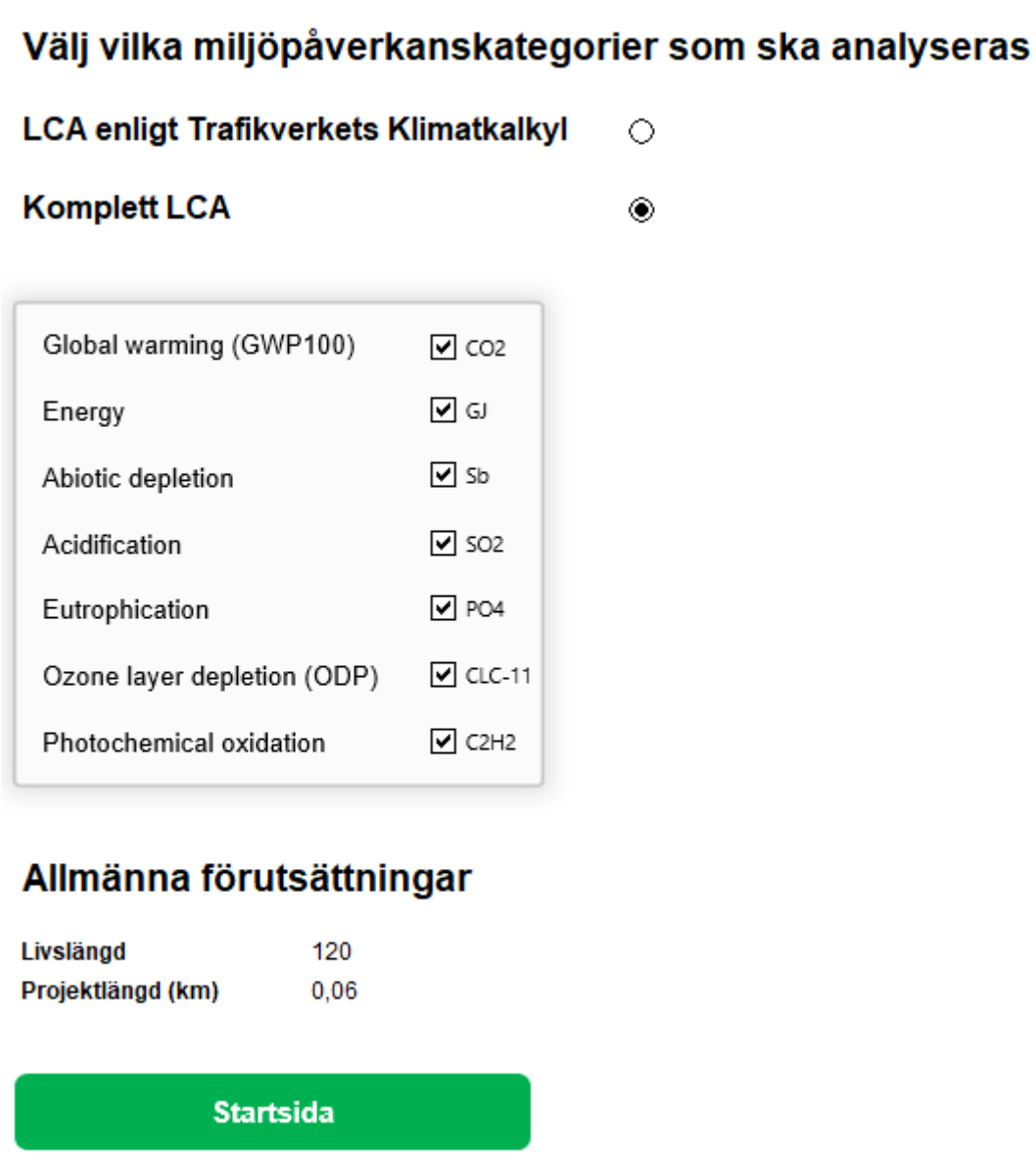
Indata

Material	Typ	Enhet	Mängd	Cementtyp	Flygaska (%)	PP-fiber (kg/m^3)
Betong	C25/30	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C30/37	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C35/45	m^3	929,25	CEM I	0	0
Betong	C40/50	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C45/55	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C50/60	m^3	0	CEM I	0	0
Stål	S235	ton	0			
Stål	S275	ton	0			
Stål	S355	ton	0			
Stål	S420	ton	630			
Stål	S460	ton	0			
Varmförzinkat stål	-	ton	0			
Rostfritt stål	1,4462	ton	0			
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,265			
Armering	K600B-T	ton	0			
Armeringsnät	NK500AB-W	ton	0			
Betongpålar	SP1	m	0			
Betongpålar	SP2	m	0			
Betongpålar	SP3	m	0			
Stålpålar	Stålkärnepålar	m	0			
Stålpålar	Stålrörspålar	m	0			
Jordschakt	Fall A	m^3	0			
Jordschakt	Fall B	m^3	0			
Bergschakt	Fall A	m^3	0			
Bergschakt	Fall B	m^3	0			
Fyllning jord	Fall A	m^3	0			
Fyllning jord	Fall B	m^3	0			
Fyllning berg	Fall A	m^3	0			
Fyllning berg	Fall B	m^3	0			
Form	Av valfri typ	m^2	0			
Form	Av sågade bräder	m^2	3622,5			

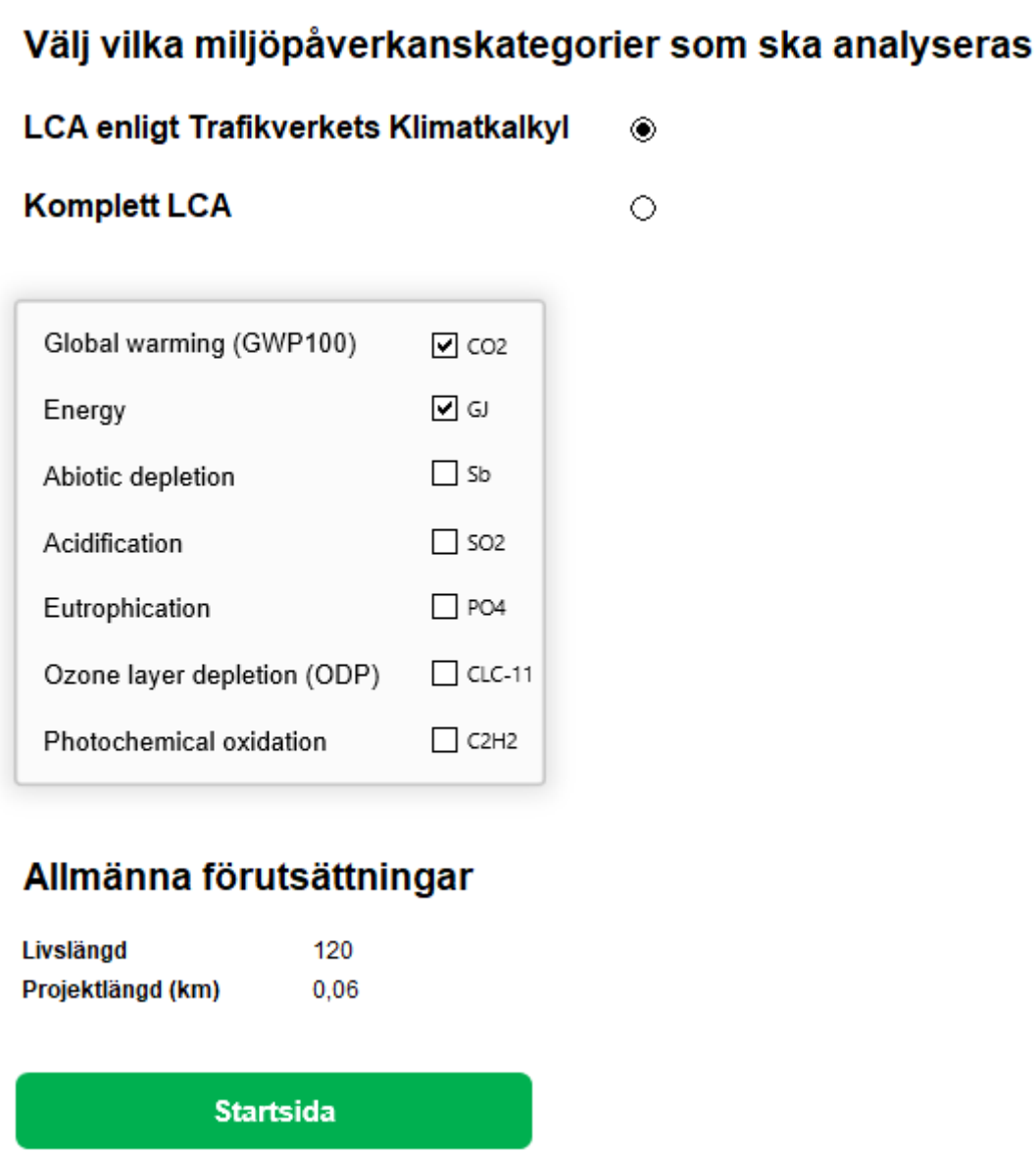
RÖDA FÄLT ÄNDRAS

Startsida Lägg till material

Inställningar LCA



Inställningar Klimatkalkyl



Inställningar LCC

Välj vilka kostnader som ska analyseras

Investeringskostnad	☑
Drift och underhållskostnad	☑
Inspektioner	☐
Rivning	☐
Användarkostnader	☐
Samhällskostnader	☐

Prislista material

Material/Arbete	Typ	Enhet	Mängd	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m3	929,25	1900
Stål	S460	ton	630	26738
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,25	7000
Form	Av sågade bräder	m2	3622,5	600

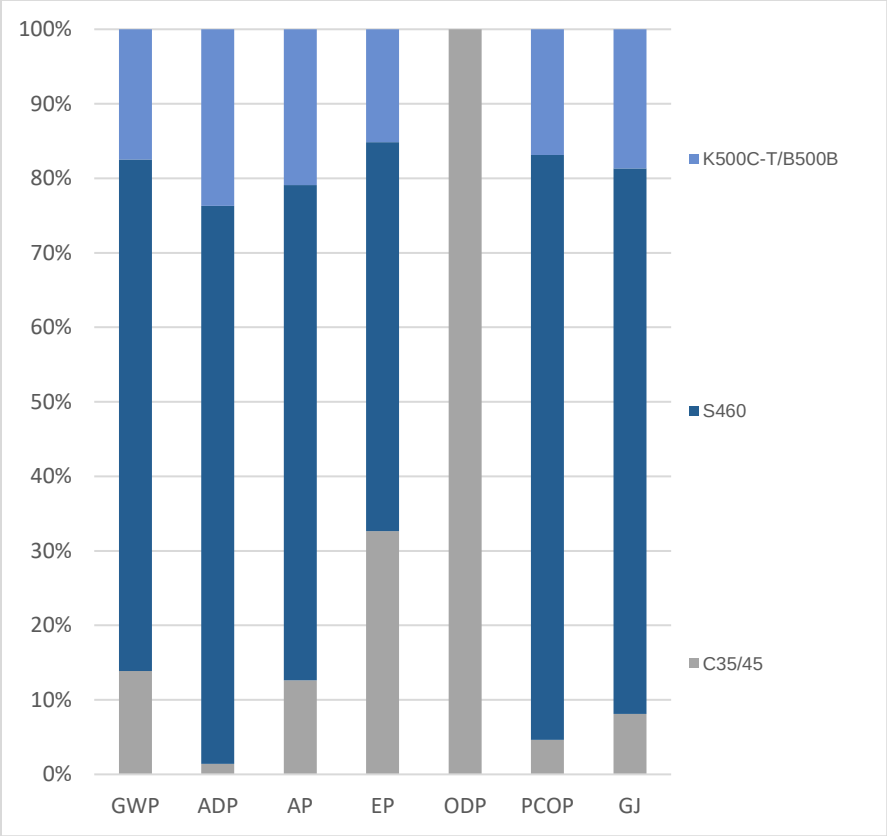
Drift & underhåll

Underhållsåtgärder							
Material	**Beskrivning**	**Tidsintervall**	**Åtgärdsår**	**Längd/area**	**Enhet**	**%**	**Pris (SEK/enhet)**
Stål	Cleaning	1		5902,5	m2	100%	250
Stål	Paint improvement		20	5902,5	m2	10%	2000
Betong	Improvement		30	7245	m2	5%	3900
Stål	Partial repaint		40	5902,5	m2	20%	2000
Betong	Improvement		40	7245	m2	10%	3900
Stål	Repaint		60	5902,5	m2	100%	1800
Betong	Minor repairs		60	7245	m2	15%	3600
Stål	Paint improvement		80	5902,5	m2	10%	2000
Betong	Major repair		80	7245	m2	50%	4200
Betong	Improvement		90	7245	m2	10%	3900
Stål	Partial repaint		100	5902,5	m2	30%	2000
Betong	Major repair		100	7245	m2	100%	3900

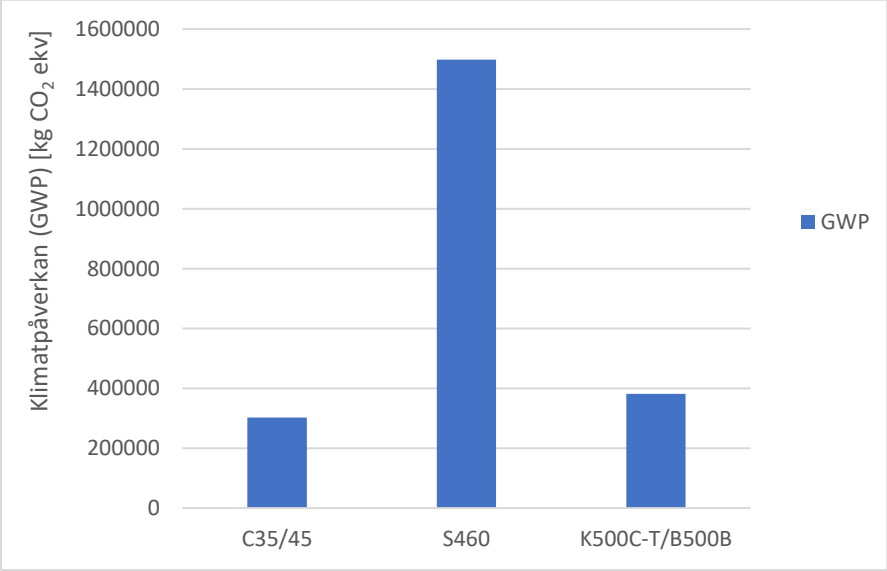
Resultat LCA

				kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11	kg C2H4 eq	GJ
Resurs	**Typ**	**Enhet**	**Mängd**	**GWP**	**ADP**	**AP**	**EP**	**ODP**	**PCOP**	**GJ**
Betong	C35/45	m3	929,25	3,03E+05	8,06E-03	6,37E+02	1,91E+02	1,41E-02	2,79E+01	1,63E+03
Stål	S460	ton	630	1,50E+06	4,34E-01	3,36E+03	3,05E+02	0,00E+00	4,75E+02	1,48E+04
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,25	3,82E+05	1,37E-01	1,06E+03	8,88E+01	0,00E+00	1,02E+02	3,77E+03
TOTALT				**2,18E+06**	**5,80E-01**	**5,05E+03**	**5,85E+02**	**1,41E-02**	**6,06E+02**	**2,02E+04**

Materialens miljöpåverkan uttryckt relativt i %



Total klimatpåverkan (GWP) för betong, stål och armering



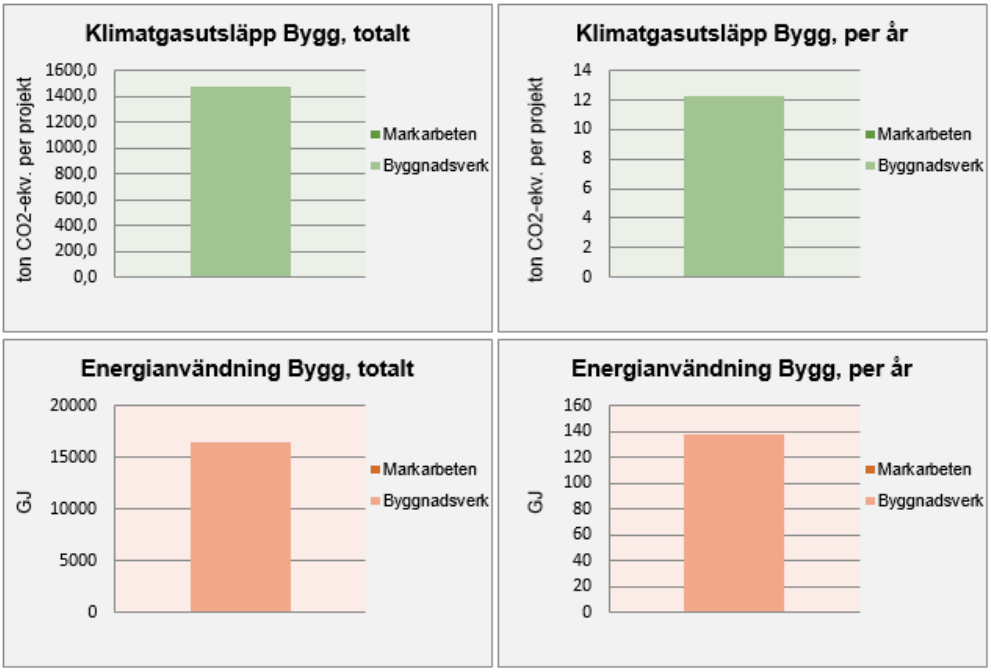
Resultat Klimatkalkyl

BYGGDELAR	Enhet	Mängd	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Betong	m^3	929,3	356,8	3,0	2096,4	17,5
Stål, armering	ton	167,3	172,3	1,4	1778,0	14,8
Stål, konstruktion	ton	630,0	945,0	7,9	12663,0	105,5
TOTALT			**1474**	**12**	**16537**	**138**

BYGG	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Byggnadsverk	1474,1	12,3	16537,4	137,8
Markarbeten	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTALT	**1474**	**12**	**16537**	**138**

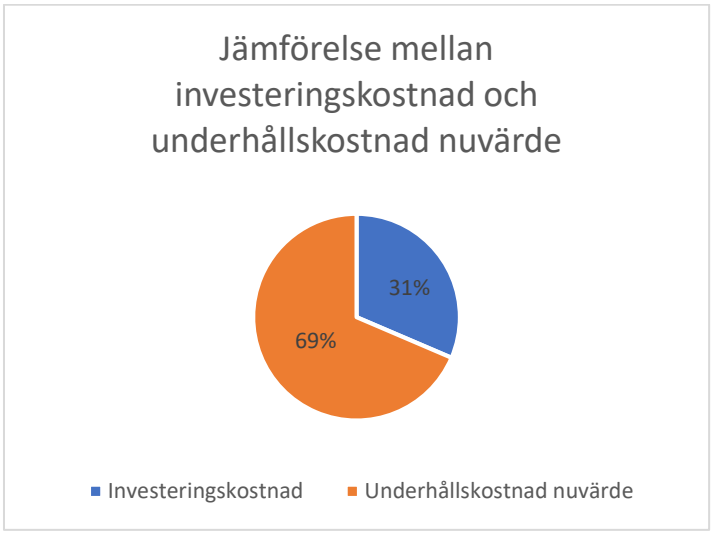
Tabellen nedan visar resultatsammanställning enligt EPD-format. Detta är en redovisning på det totala koldioxidutsläppet och energianvändningen per projektkilometer.

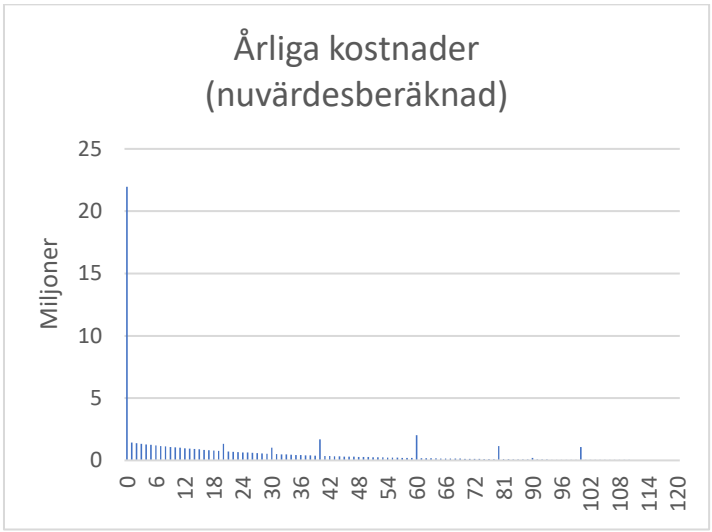
BYGG	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Bygg totalt per projektkm	**24569**	**205**	**275624**	**2297**

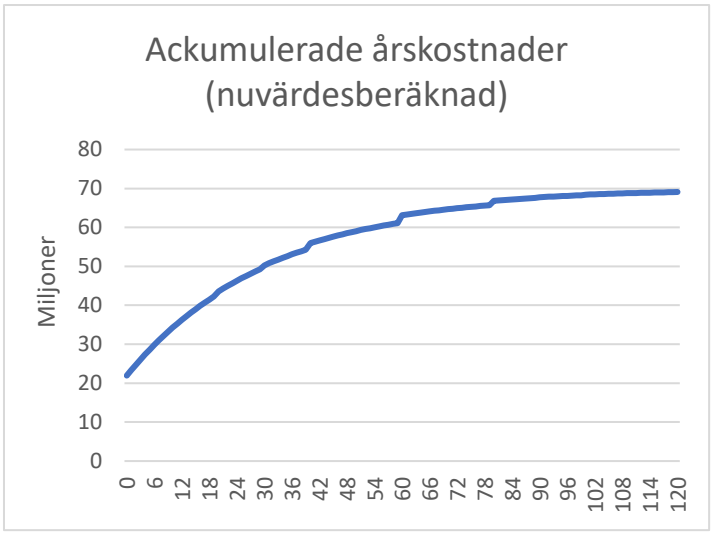


Resultat LCC

Investeringskostnad	**21 954 930 kr**
Underhållskostnad nuvärde	**47 902 532 kr**
LCC Nuvärde	**69 857 462 kr**






Ackumulerade årskostnader
(nuvärdesberäknad)
Miljoner
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
6
12
18
24
30
36
42
48
54
60
66
72
78
84
90
96
102
108
114
120

Bilaga D Kvalitetskontroll LCA, Klimatkalkyl och LCC-fallstudie 1

I Bilaga D kvalitetskontrolleras Excelarkets resultat mot SimaPro, Trafikverkets Klimatkalkyl och en LCC gjord av WSP. Indata är samma som i Bilaga C. I LCC-analysen skiljer sig priset för stål då Excelarket räknar in den första rostskyddsmålningen i materialpriset, medan det ses som ett underhåll i LCC-analysen gjord av WSP. Resultatet blir däremot detsamma.

Resultat från SimaPro

Calculation:	Compare
Results:	Impact assessment
Product 1:	167,265 ton Steel rebar/EU (of project Industry data 2.0)
Product 2:	929,25 m3 Concrete, 35MPa {GLO}| market for | APOS, U (of project
Product 3:	630 ton Steel cold rolled coil/EU (of project Industry data 2.0)
Method:	CML-IA baseline V3.05 / EU25
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	Yes
Exclude long-term emissions:	No
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

Impact category	Unit	Concrete, 35MPa	Steel cold rolled coil/EU	Steel rebar/EU
Abiotic depletion (ADP)	kg Sb eq	0,01	0,43	0,14
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1634865,60	14783278,00	3768237,40
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	302508,01	1498137,70	381762,00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,01	-0,01	0,00
Photochemical oxidation (PCOP)	kg C2H4 eq	27,95	475,43	102,28
Acidification (AP)	kg SO2 eq	637,22	3358,54	1057,10
Eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	191,17	305,29	88,80

Resultat från Excelarkets LCA

				kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11	kg C2H4 eq	GJ
Resurs	**Typ**	**Enhet**	**Mängd**	**GWP**	**ADP**	**AP**	**EP**	**ODP**	**PCOP**	**GJ**
Betong	C35/45	m3	929,25	3,03E+05	8,06E-03	6,37E+02	1,91E+02	1,41E-02	2,79E+01	1,63E+03
Stål	S460	ton	630	1,50E+06	4,34E-01	3,36E+03	3,05E+02	0,00E+00	4,75E+02	1,48E+04
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,25	3,82E+05	1,37E-01	1,06E+03	8,88E+01	0,00E+00	1,02E+02	3,77E+03
TOTALT				**2,18E+06**	**5,80E-01**	**5,05E+03**	**5,85E+02**	**1,41E-02**	**6,06E+02**	**2,02E+04**

Resultat från Trafikverkets Klimatkalkyl

Ingående objekt		Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
		Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*
Totalt för projekt				**1 474**	**12**	**16 537**	**138**
Byggdelar							
⊕	Betong (6.3)	929	m3	357	3	2 096	17
⊕	Stål, armering (6.3)	167	ton	172	1	1 778	15
⊕	Stål, konstruktion (6.3)	630	ton	945	8	12 663	106

Resultat från Excelarkets Klimatkalkyl

BYGGDELAR	*Enhet*	*Mängd*	Klimat (ton CO2-ekv.) *Totalt*	*Per år*	Energi (GJ) *Totalt*	*Per år*
Betong	m^3	929,3	356,8	3,0	2096,4	17,5
Stål, armering	ton	167,3	172,3	1,4	1778,0	14,8
Stål, konstruktion	ton	630,0	945,0	7,9	12663,0	105,5
TOTALT			**1474**	**12**	**16537**	**138**

Kvalitetskontroll LCC

Materialmängder, form och målningsarea för stål i en LCC gjord av WSP

Material	Betong	Form	slakarmering	Stål	målningsarea för stål
Enhet	m^3	m^2	Ton	Ton	m^2
Alt 1	929,25	3622,5	167,265	630	5902,5

Prislista i en LCC gjord av WSP

Material/Arbete	Typ	Enhet	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m^3	1900
Formställning	-	m^2	600
Armering	K500C-T	Ton	7000
Spännarmering	K500C-T	Ton	8000
Konventionellt	420MC	Ton	8000

Drift- och underhållsåtgärder för stål i en LCC gjord av WSP

Remedial action		Intervals (Year)	Action time (Year)	Reference Quantity			Price (SEK)
Structural member	Description			From	Unit	%	
Steel superstructure	Cleaning	1		Steel External surface area	m^2	100	250
	Paint Improvement		20	Steel External surface area	m^2	10	2000
	Partial repaint		40	Steel External surface area	m^2	20	2000
	Repaint		60	Steel External surface area	m^2	100	1800
	Paint Improvement		80	Steel External surface area	m^2	10	2000
	Partial repaint		100	Steel External surface area	m^2	30	2000

Drift- och underhållsåtgärder för betong i en LCC gjord av WSP

Remedial action		Intervals (Year)	Action time (Year)	Reference Quantity			Price (SEK)
Structural member	Description			From	Unit	%	
Concrete superstructure	Improvements		30	External surface area	m^2	5	3900
	Improvement		40	External surface area	m^2	10	3900
	Minor Repairs/ Improvement		60	Steel External surface area	m^2	15	3600
	Major Repair		80	External surface area	m^2	50	4200
	Improvement		90	Steel External surface area	m^2	10	3900
	Major repair		100	Steel External surface area	m^2	100	3900

Resultat i en LCC gjord av WSP

Investeringskostnad	21 954 930 kr
Underhållskostnad nuvärde	47 902 532 kr
LCC Nuvärde	69 857 462 kr

Resultat LCC av Excelarket

Investeringskostnad	21 954 930 kr
Underhållskostnad nuvärde	47 902 532 kr
LCC Nuvärde	69 857 462 kr

Bilaga E Materialmängder, inställningar och resultat fallstudie 2

Bilaga E omfattar en fallstudie för en bro i betong. Indata, inställningar och resultat redovisas från Excelarket. Inställningar för LCA och Klimatkalkyl är samma som i bilaga A.

Indata

Material	Typ	Enhet	Mängd	Cementtyp	Flygaska (%)	PP-fiber (kg/m^3)
Betong	C25/30	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C30/37	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C35/45	m^3	2094,75	CEM I	0	0
Betong	C40/50	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C45/55	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C50/60	m^3	0	CEM I	0	0
Stål	S235	ton	0			
Stål	S275	ton	0			
Stål	S355	ton	0			
Stål	S420	ton	0			
Stål	S460	ton	0			
Varmförzinkat stål	-	ton	0			
Rostfritt stål	1,4462	ton	0			
Armering	K500C-T/B500B	ton	377,685			
Armering	K600B-T	ton	0			
Armeringsnät	NK500AB-W	ton	0			
Betongpålar	SP1	m	0			
Betongpålar	SP2	m	0			
Betongpålar	SP3	m	0			
Stålpålar	Stålkärnepålar	m	0			
Stålpålar	Stålrörspålar	m	0			
Jordschakt	Fall A	m^3	0			
Jordschakt	Fall B	m^3	0			
Bergschakt	Fall A	m^3	0			
Bergschakt	Fall B	m^3	0			
Fyllning jord	Fall A	m^3	0			
Fyllning jord	Fall B	m^3	0			
Fyllning berg	Fall A	m^3	0			
Fyllning berg	Fall B	m^3	0			
Form	Av valfri typ	m^2	0			
Form	Av sågade bräder	m^2	8914,5			

RÖDA FÄLT ÄNDRAS

Startsida

Lägg till material

Inställningar LCC

Välj vilka kostnader som ska analyseras

Investeringskostnad	☑
Drift och underhållskostnad	☑
Inspektioner	☐
Rivning	☐
Användarkostnader	☐
Samhällskostnader	☐

Allmänna förutsättningar

Basår	2019
Kalkylränta (%)	3,5%
Restvärde vid kalkylperiodens slut	0
Livslängd	120
Investeringskostnad har antagits infalla vid basåret	2019

Prislista material

Material/Arbete	Typ	Enhet	Mängd	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m3	2094,75	1900
Armering	K500C-T/B500B	ton	377,685	7187
Form	Av sågade bräder	m2	8914,5	600

Drift & underhåll

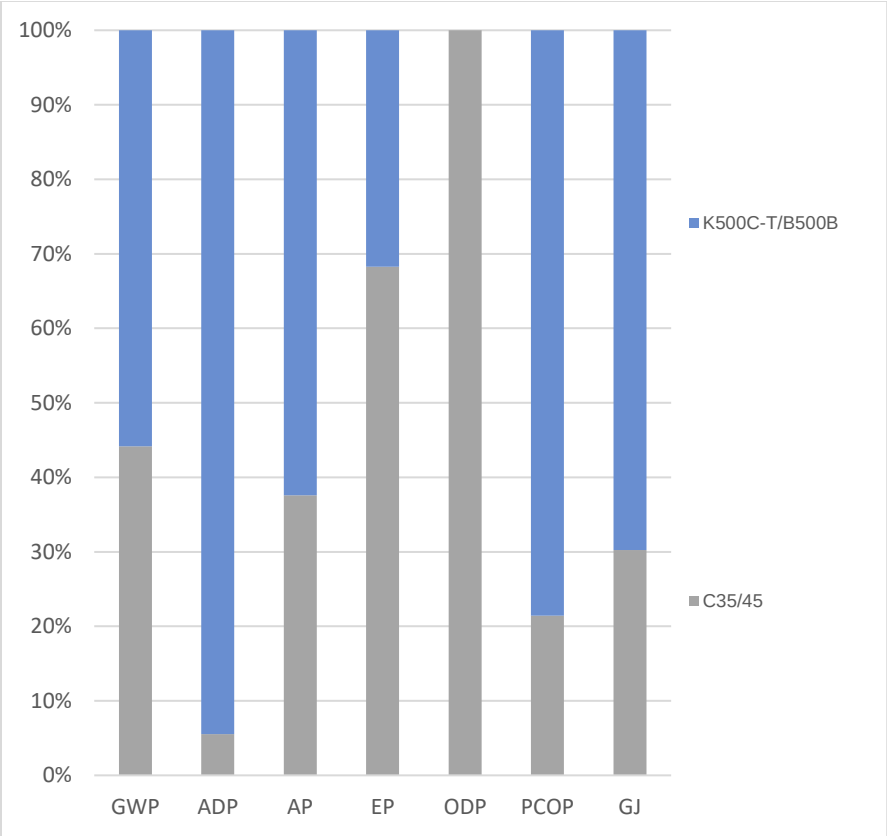
Underhållsåtgärder							
Material	**Beskrivning**	**Tidsintervall**	**Åtgärdsår**	**Längd/area**	**Enhet**	**%**	**Pris (SEK/enhet)**
Betong	Improvement		30	17829	m2	5%	3900
Betong	Improvement		40	17829	m2	10%	3900
Betong	Minor repairs		60	17829	m2	15%	3600
Betong	Major repair		80	17829	m2	50%	4200
Betong	Improvement		90	17829	m2	10%	3900
Betong	Major repair		100	17829	m2	100%	3900

Lägg till rad Ta bort rad

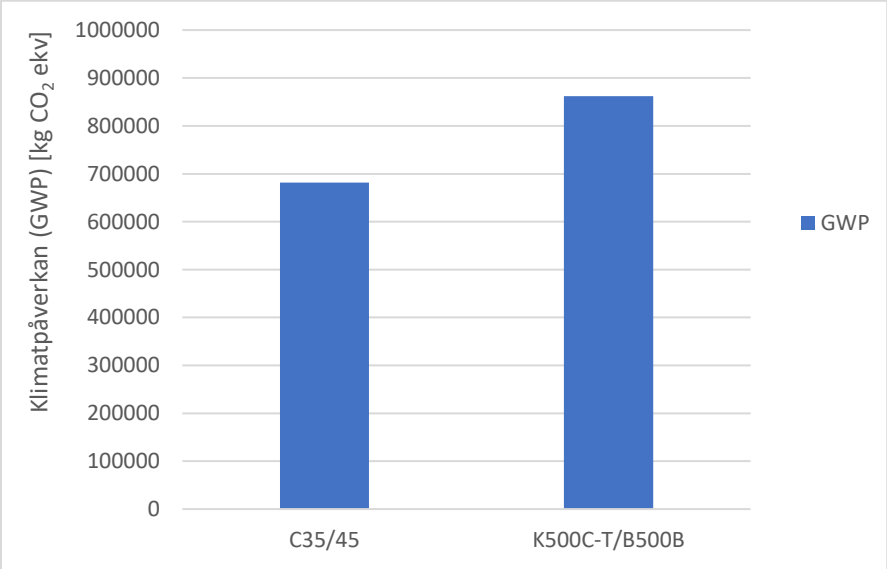
Resultat LCA

				kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11	kg C2H4 eq	GJ
Resurs	**Typ**	**Enhet**	**Mängd**	**GWP**	**ADP**	**AP**	**EP**	**ODP**	**PCOP**	**GJ**
Betong	C35/45	m3	2094,75	6,82E+05	1,82E-02	1,44E+03	4,31E+02	3,18E-02	6,30E+01	3,69E+03
Armering	K500C-T/B500B	ton	377,685	8,62E+05	3,10E-01	2,39E+03	2,01E+02	0,00E+00	2,31E+02	8,51E+03
TOTALT				**1,54E+06**	**3,28E-01**	**3,82E+03**	**6,31E+02**	**3,18E-02**	**2,94E+02**	**1,22E+04**

Materialens miljöpåverkan uttryckt relativt i %



Total klimatpåverkan (GWP) för betong och armering



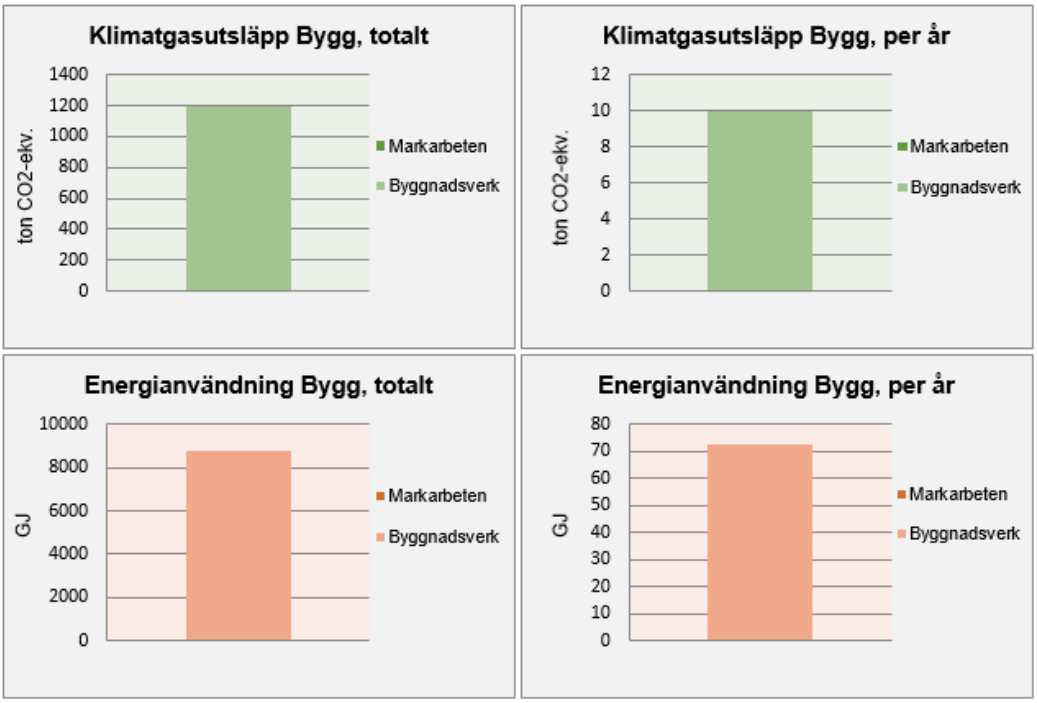
Resultat Klimatkalkyl

BYGGDELAR	Enhet	Mängd	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Betong	m^3	2094,8	804,4	6,7	4725,8	39,4
Stål, armering	ton	377,7	389,0	3,2	4014,8	33,5
TOTALT			**1193**	**10**	**8741**	**73**

BYGG	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Byggnadsverk	1193,4	9,9	8740,5	72,8
Markarbeten	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTALT	**1193**	**10**	**8741**	**73**

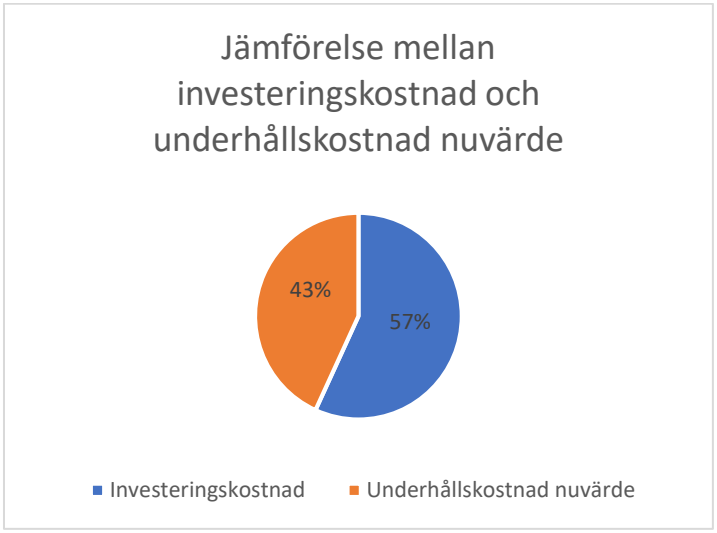
Tabellen nedan visar resultatsammanställning enligt EPD-format. Detta är en redovisning på det totala koldioxidutsläppet och energianvändningen per projektkilometer.

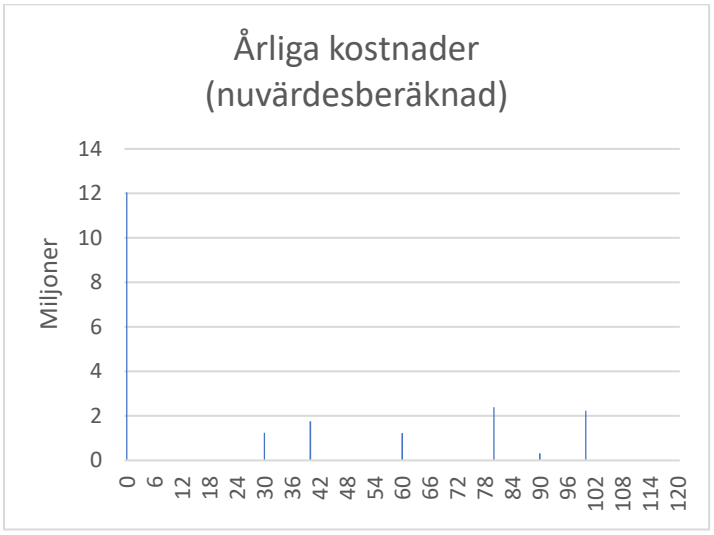
BYGG	Klimat (ton CO2-ekv.) Totalt	Klimat (ton CO2-ekv.) Per år	Energi (GJ) Totalt	Energi (GJ) Per år
Bygg totalt per projektkm	**19890**	**166**	**145676**	**1214**

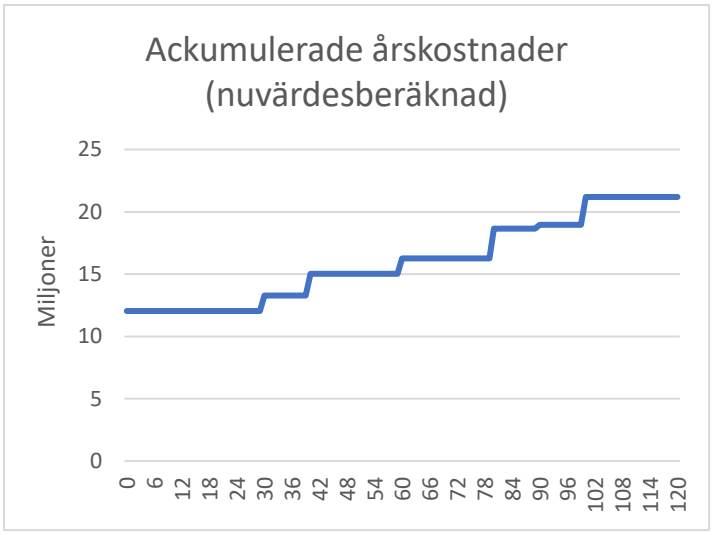


Resultat LCC

Investeringskostnad	**12 043 080 kr**
Underhållskostnad nuvärde	**9 149 109 kr**
LCC Nuvärde	**21 192 189 kr**






Ackumulerade årskostnader
(nuvärdesberäknad)
Miljoner
25
20
15
10
5
0
0
6
12
18
24
30
36
42
48
54
60
66
72
78
84
90
96
102
108
114
120

Bilaga F Kvalitetskontroll Klimatkalkyl och LCC-fallstudie 2

I Bilaga F kvalitetskontrolleras Excelarkets resultat mot SimaPro, Trafikverkets Klimatkalkyl och en LCC gjord av WSP. Indata är samma som i Bilaga D. I LCC-analysen skiljer sig priset för armering då priset för spännarmering och slakarmering har olika pris, trots att det är samma stålkvalitet i LCC-analysen gjord av WSP. Ett genomsnittligt pris har räknats ut av dessa i Excelarket.

Resultat från SimaPro

Calculation:	Compare
Results:	Impact assessment
Product 1:	377,685 ton Steel rebar/EU (of project Industry data 2.0)
Product 2:	2094,75 m3 Concrete, 35MPa {GLO}| market for | APOS,
Method:	CML-IA baseline V3.05 / EU25
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	Yes
Exclude long-term emissions:	No
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

Impact category	Unit	Concrete, 35MPa	Steel rebar/EU
Abiotic depletion (ADP)	kg Sb eq	0,02	0,31
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	3685375,00	8508694,24
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	681924,84	862020,03
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,03	0,00
Photochemical oxidation (PCOP)	kg C2H4 eq	63,00	230,94
Acidification (AP)	kg SO2 eq	1436,46	2386,93
Eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	430,94	200,51

Resultat från Excelarkets LCA

				kg CO2 eq	kg Sb eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq	kg CFC-11	kg C2H4 eq	GJ
Resurs	**Typ**	**Enhet**	**Mängd**	**GWP**	**ADP**	**AP**	**EP**	**ODP**	**PCOP**	**GJ**
Betong	C35/45	m3	2094,75	6,82E+05	1,82E-02	1,44E+03	4,31E+02	3,18E-02	6,30E+01	3,69E+03
Armering	K500C-T/B500B	ton	377,685	8,62E+05	3,10E-01	2,39E+03	2,01E+02	0,00E+00	2,31E+02	8,51E+03
TOTALT				**1,54E+06**	**3,28E-01**	**3,82E+03**	**6,31E+02**	**3,18E-02**	**2,94E+02**	**1,22E+04**

Resultat från Trafikverkets Klimatkalkyl

Ingående objekt		Inom intervall		Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
		Mängd	Enhet	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*	Bygg totalt *totalt per projekt*	Bygg & reinvest *per projekt & år*
Totalt för projekt				**1 193**	**10**	**8 741**	**73**
Byggdelar							
⊕	Betong (6.3)	2 095	m3	804	7	4 726	39
⊕	Stål, armering (6.3)	378	ton	389	3	4 015	33

Resultat från Excelarkets Klimatkalkyl

BYGGDELAR	*Enhet*	*Mängd*	Klimat (ton CO2-ekv.) *Totalt*	*Per år*	Energi (GJ) *Totalt*	*Per år*
Betong	m^3	2094,8	804,4	6,7	4725,8	39,4
Stål, armering	ton	377,7	389,0	3,2	4014,8	33,5
TOTALT			**1193**	**10**	**8741**	**73**

Kvalitetskontroll LCC

Materialmängder, form och målningsarea för stål i en LCC gjord av WSP

Material	Betong	Form	slakarmering	spännarmering	Stål	målningsarea för stål
Enhet	m^3	m^2	Ton	Ton	Ton	m^2
Alt 2	2094,75	8914,5	307,125	70,56	0	0

Prislista i en LCC gjord av WSP

Material/Arbete	Typ	Enhet	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m^3	1900
Formställning	-	m^2	600
Armering	K500C-T	Ton	7000
Spännarmering	K500C-T	Ton	8000
Konventionellt	420MC	Ton	8000

Drift- och underhållsåtgärder för betong i en LCC gjord av WSP

Remedial action		Intervals (Year)	Action time (Year)	Reference Quantity			Price (SEK)
Structural member	Description			From	Unit	%	
Concrete superstructure	Improvements		30	External surface area	m^2	5	3900
	Improvement		40	External surface area	m^2	10	3900
	Minor Repairs/ Improvement		60	Steel External surface area	m^2	15	3600
	Major Repair		80	External surface area	m^2	50	4200
	Improvement		90	Steel External surface area	m^2	10	3900
	Major repair		100	Steel External surface area	m^2	100	3900

Resultat i en LCC gjord av WSP

Investeringskostnad	**12 043 080 kr**
Underhållskostnad nuvärde	**9 149 109 kr**
LCC Nuvärde	**21 192 189 kr**

Resultat LCC av Excelarket

Investeringskostnad	**12 043 080 kr**
Underhållskostnad nuvärde	**9 149 109 kr**
LCC Nuvärde	**21 192 189 kr**

Bilaga G Exempel LCA-rapport

Bilaga G redovisar LCA rapporten som skrivits ut från Excelarket

Skapat av	Dokumentdatum	Leverans/Ändrings PM
Andreas och Emil		
Projektnamn	Objektnummer / KM	Uppdragsnummer
KTH		

KTH

PM-LCA

Ändringsbeteckning	Ändring avser	Ändring godkänd av	Ändringsdatum

Godkänd av	Datum	Teknikområde	Företag
			KTH

Innehåll

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund och syfte 1
1.2 Byggnadsverk 1
1.3 Omfattning 1
1.4 Begränsningar 1
1.5 Förutsättningar 1
2 Resultat 2

Röd text = Hjälptext. Tas bort i slutligt dokument. Glöm ej att uppdatera innehållsförteckningen efter eventuella ändringar.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Vid samrådsunderlag, samrådshandling och framtagande av förfrågningsunderlag för entreprenad utgör PM Reducerad klimatpåverkan en del av konsultens leverans, där klimatarbetet för det aktuella skedet sammanfattas. PM ska också användas som beslutsunderlag löpande under projektet för lokalisering, standard, utformning och avvägning mellan intressen, och redovisa arbetet med att ta fram och hantera åtgärdsförslag.

1.2 Byggnadsverk

1.3 Omfattning

Beskriv vad som ingår i LCA-rapporten.

1.4 Begränsningar

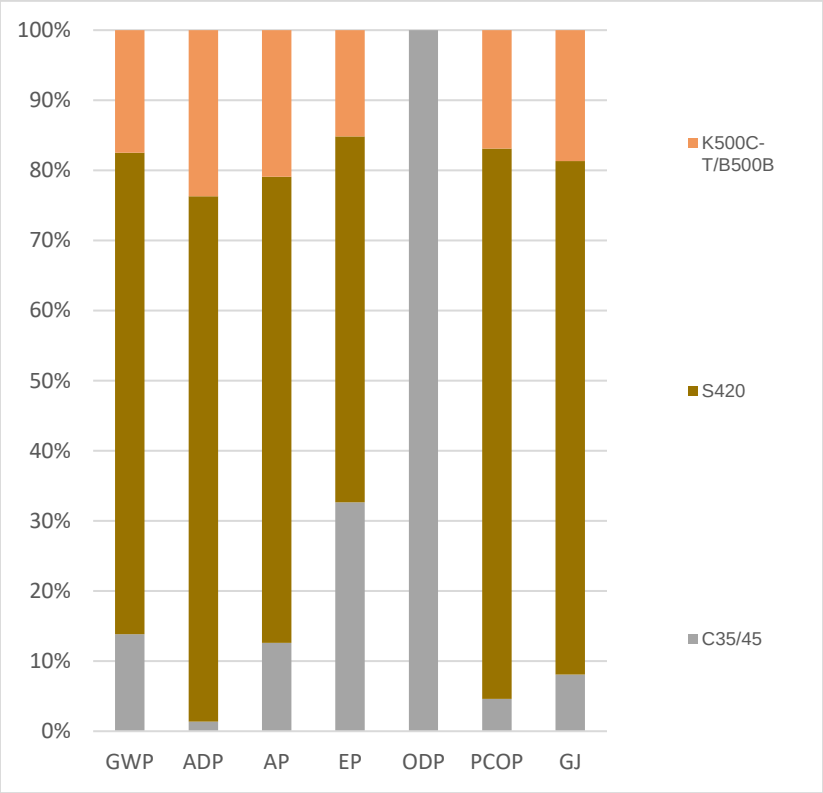
Tydliggör vad som inte ingår i LCA-rapporten. Skäl för avgränsningar kan till exempel vara om en typåtgärd eller byggdel saknas i LCPro och likvärdig typåtgärd eller byggdel inte har kunnat bestämmas. Redovisa också vilka tillfälliga och permanenta delar i projektet som inte ingår.

1.5 Förutsättningar

Ange relevanta förutsättningar

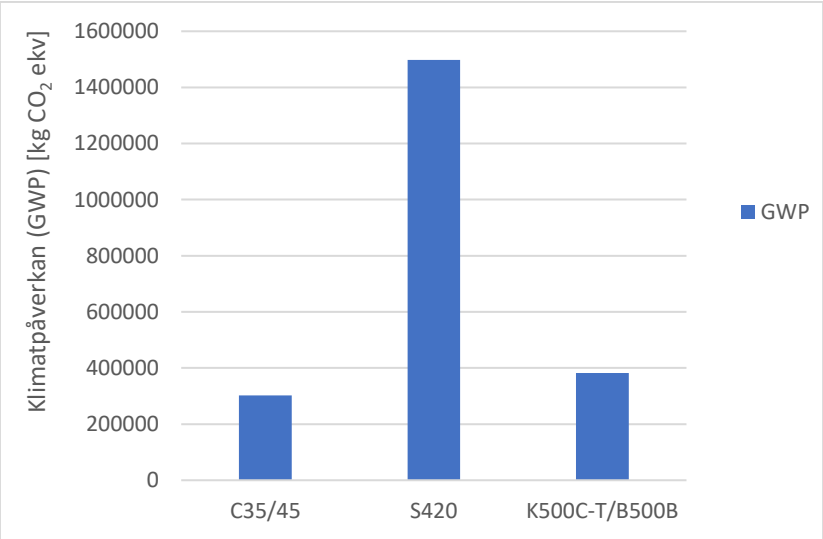
2 Resultat

Figur 1 visar resultatet av livscykelanalysen fördelat på de material och arbeten som använts.



Figur 1. Resultatet av livscykelanalysen fördelat på de olika materialen som använts

Figur 2 visar den totala klimatpåverkan (GWP) för de material och arbeten som använts.



Figur 2. Total klimatpåverkan (GWP) för de olika materialen som använts

Tabell 1 redovisar klimatpåverkan och energianvändningen för varje material och arbete som ingår i projektet.

Tabell 1. Sammanställning av material och miljöpåverkan

Resurs	Typ	Enhet	Mängd	GWP	ADP	AP	EP	ODP	PCOP	GJ
Betong	C35/45	m3	929,25	3,03E+05	8,06E-03	6,37E+02	1,91E+02	1,41E-02	2,79E+01	1,63E+03
Stål	S420	ton	630	1,50E+06	4,34E-01	3,36E+03	3,05E+02	0,00E+00	4,75E+02	1,48E+04
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,265	3,82E+05	1,37E-01	1,06E+03	8,88E+01	0,00E+00	1,02E+02	3,77E+03
TOTALT				**2,18E+06**	**5,80E-01**	**5,05E+03**	**5,85E+02**	**1,41E-02**	**6,06E+02**	**2,02E+04**

Bilaga H Exempel Klimatkalkyl rapport

Bilaga H redovisar Klimatkalkylsrapporten som skrivits ut från Excelarket

Skapat av	Dokumentdatum	Leverans/Ändrings PM
Andreas och Emil		
Projektnamn	Objektnummer / KM	Uppdragsnummer
KTH		

KTH

PM-Klimatkalkyl

Ändringsbeteckning	Ändring avser	Ändring godkänd av	Ändringsdatum

Godkänd av	Datum	Teknikområde	Företag
			KTH

Innehåll

1 Inledning 1

1.1 Bakgrund och syfte 1

1.2 Byggnadsverk 1

1.3 Omfattning 1

1.4 Begränsningar 1

1.5 Förutsättningar 1

2 Resultat 2

2.1 Resultatsammanställning klimat & energi 2

2.2 Resultatsammanställning enligt EPD-format 3

2.3 Indatasammanställning 3

Röd text = Hjälptext. Tas bort i slutligt dokument. Glöm ej att uppdatera innehållsförteckningen efter eventuella ändringar.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Vid samrådsunderlag, samrådshandling och framtagande av förfrågningsunderlag för entreprenad utgör PM Reducerad klimatpåverkan en del av konsultens leverans, där klimatarbetet för det aktuella skedet sammanfattas. PM ska också användas som beslutsunderlag löpande under projektet för lokalisering, standard, utformning och avvägning mellan intressen, och redovisa arbetet med att ta fram och hantera åtgärdsförslag.

1.2 Byggnadsverk

1.3 Omfattning

Beskriv vad som ingår i kalkylen.

1.4 Begränsningar

Tydliggör vad som inte ingår i kalkylen. Skäl för avgränsningar kan till exempel vara om en typåtgärd eller byggdel saknas i klimatkalkylverktyget och likvärdig typåtgärd eller byggdel inte har kunnat bestämmas. Redovisa också vilka tillfälliga och permanenta delar i projektet som inte ingår.

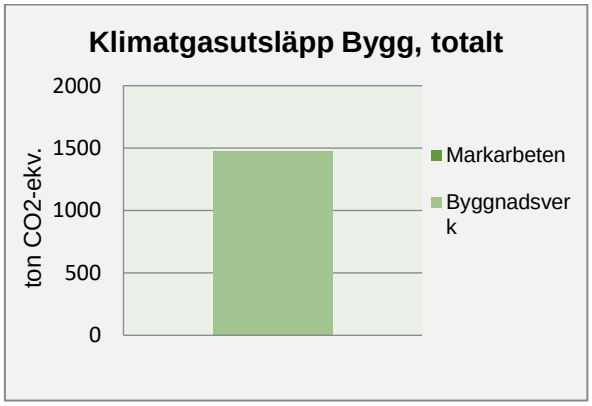
1.5 Förutsättningar

Beräkningarna utgår från Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1.

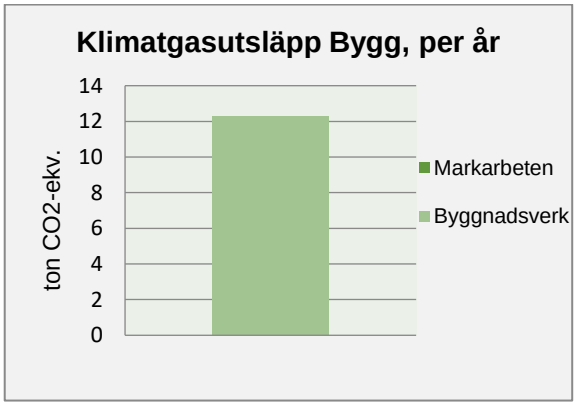
2 Resultat

2.1 Resultatsammanställning klimat & energi

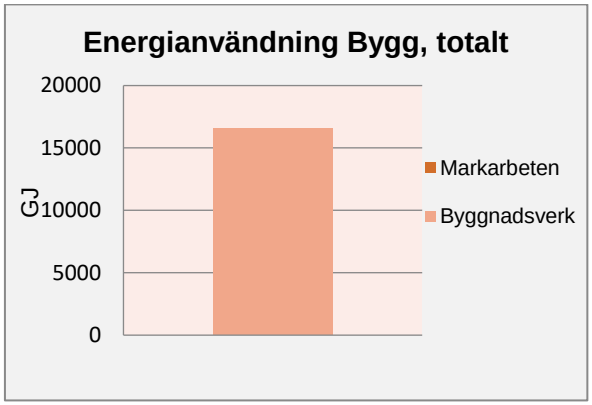
Figur 1 visar det totala koldioxidutsläppet uppdelat i markarbeten och byggnadsverk, Figur 2 visar det årliga koldioxidutsläppet. Figur 2 visar den totala energianvändningen uppdelat i markarbeten och byggnadsverk, Figur 4 visar den årliga energianvändningen.



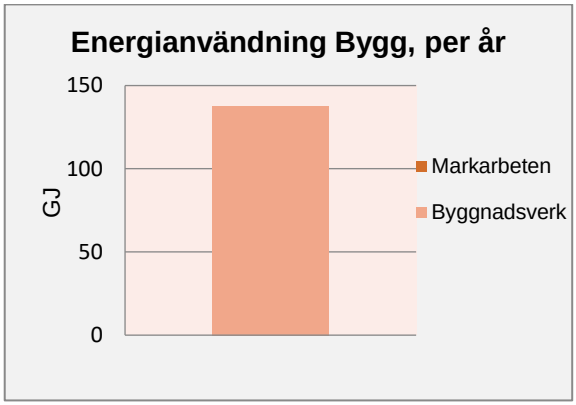
Figur 1. Koldioxidutsläpp



Figur 3. Koldioxidutsläpp per år



Figur 2. Energianvändning



Figur 4. Energianvändning per år

Tabell 1 redovisar den totala, samt den årliga klimatpåverkan och energianvändningen uppdelat i byggnadsverk och markarbeten.

Tabell 1. Tabell över koldioxidutsläpp och energianvändning

	Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
BYGG	*Totalt*	*Per år*	*Totalt*	*Per år*
Byggnadsverk	1474,1	12,3	16537,4	137,8
Markarbeten	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTALT	**1474**	**12**	**16537**	**138**

2.2 Resultatsammanställning enligt EPD-format

Tabell 2 redovisar den totala klimatpåverkan och energianvändningen per projektkilometer, samt det årliga.

Tabell 2. Tabell över koldioxidutsläpp och energianvändning per kilometer

	Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
BYGG	*Totalt*	*Per år*	*Totalt*	*Per år*
Bygg totalt per projektkm	**24569**	**205**	**275624**	**2297**

2.3 Indatasammanställning

Tabell 3 redovisar den totala, samt den årliga klimatpåverkan och energianvändningen för varje material.

Tabell 3. Tabell över byggdelar, koldioxidutsläpp och energianvändning

			Klimat (ton CO2-ekv.)		Energi (GJ)	
BYGGDELAR	*Enhet*	*Mängd*	*Totalt*	*Per år*	*Totalt*	*Per år*
Betong	m^3	929,3	356,8	3,0	2096,4	17,5
Stål, armering	ton	167,3	172,3	1,4	1778,0	14,8
Stål, konstruktion	ton	630,0	945,0	7,9	12663,0	105,5
TOTALT			**1474**	**12**	**16537**	**138**

Bilaga I Exempel LCC-rapport

Bilaga I redovisar LCC rapporten som skrivits ut från Excelarket

Skapat av	Dokumentdatum	Leverans/Ändrings PM
Andreas och Emil		
Projektnamn	Objektnummer / KM	Uppdragsnummer
KTH		

KTH

PM-LCC Analys

Ändringsbeteckning	Ändring avser	Ändring godkänd av	Ändringsdatum

Godkänd av	Datum	Teknikområde	Företag
			KTH

Innehåll

1 Inledning 1

1.1 Bakgrund och syfte 1

1.2 Byggnadsverk 1

2 LCC analys 2

2.1 Introduktion 2

2.2 Metod 2

2.3 Omfattning 3

2.4 Begränsningar 3

2.5 Förutsättningar 3

3 Resultat 5

3.1 Ägarkostnad 5

3.2 Användarkostnad 7

3.3 Samhällskostnad 8

4 Referenser 9

Röd text = Hjälptext. Tas bort i slutligt dokument. Glöm ej att uppdatera innehållsförteckningen efter eventuella ändringar.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Beskriv bakgrund och syftet med analysen

1.2 Byggnadsverk

Beskriv byggnadsverket/byggnadsverken som omfattas av analysen

2 LCC analys

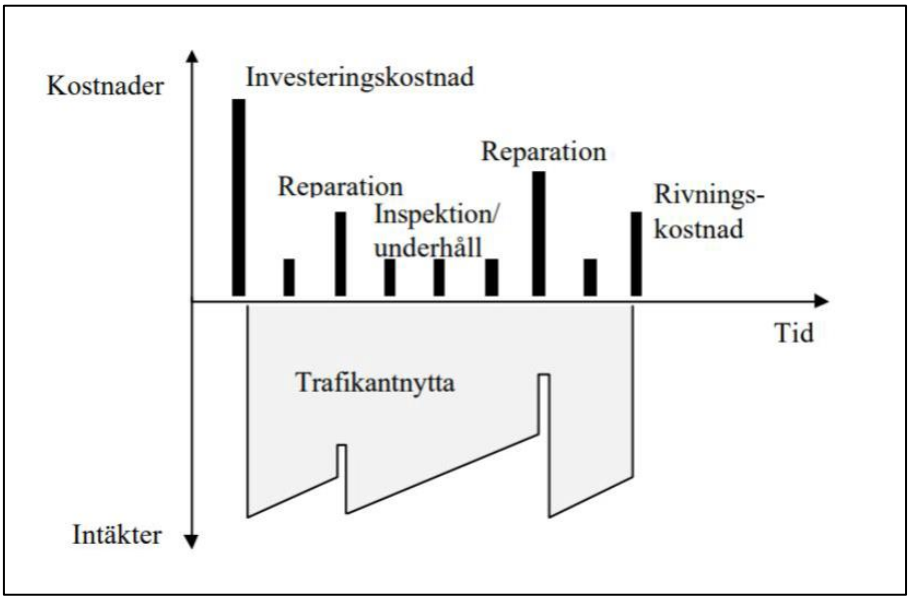
2.1 Introduktion

Livscykelkostnad, LCC, är en metod som används för att jämföra kostnadsbedömningar över en specifik tidsperiod. I en LCC tas relevanta ekonomiska faktorer så som investeringskostnader och drift- och underhållskostnader med i beräkning.

Syftet med livscykelbedömningar (LCC analys) är att räkna (inkludera underhållskostnader i investeringsbeslutet) och optimera totalkostnader samt att väga drift- och underhållskostnader mot relevanta samhällseffekter. Konsekvenserna av olika utformningar, tekniska lösningar och kravställningar ska beskrivas i termer av investeringskostnader och framtida drift och underhållskostnader samt eventuella externa kostnader. Detaljnivån som redovisas i en livscykelbedömning skall vara tillräcklig för att fånga de skillnader i LCC (Life Cycle Cost) som är syftet med alternativen.

2.2 Metod

Livscykelkostnadsbegreppet, innebär att samtliga kostnader och intäkter utefter ett projekts livslängd beaktas och diskonteras till en och samma tidpunkt. Livscykelkonceptet är inte nytt, men det har i mycket liten utsträckning tillämpats på broar. I Figur 1 illustreras schematiskt exempel på kostnader och intäkter utefter livscykeln [2].

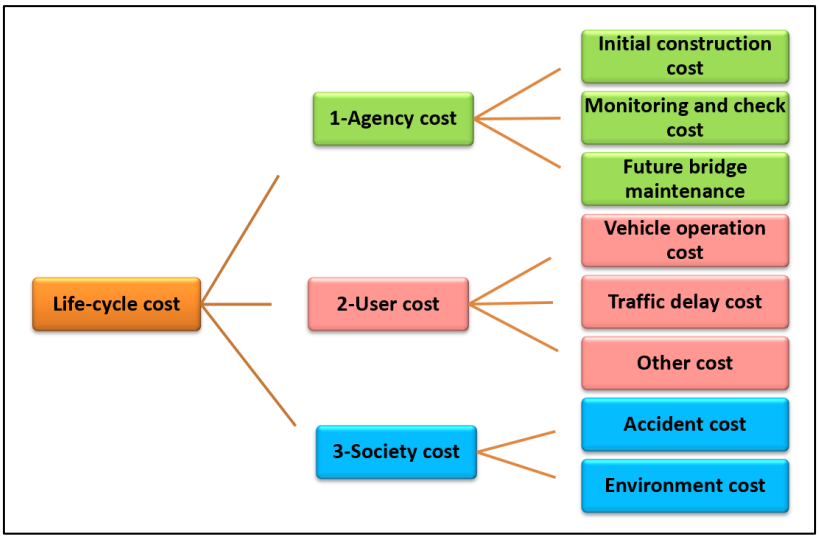


Figur 1. Exempel på kostnader och intäkter (Ur referens [3])

Livscykelkostnaden kan analyseras på flera olika sätt, det vanligaste sättet är att dela upp analysen i tre kategorier; en ägarkostnad, en användarkostnad samt en samhällskostnad.

1) Ägarkostnad är den kostnad som tillfaller ägaren av konstruktionen, det vill säga kostnaden för att uppföra konstruktionen och hålla den i bruk.
2) Användarkostnad är den kostnad som påverkar användaren negativt när konstruktionen inte uppfyller sin funktion.
3) Samhällskostnad är den kostnad som uppstår för samhället i form av hur miljön påverkas samt eventuella olyckor som uppkommer på grund av den nya konstruktionen

I Figur 2 visas en schematisk bild över den totala livscykelkostnaden där uppdelningen av de tre delarna syns.



Figur 2. Olika delar i en LCC analys

Livscykelkostnaden ur ett ägarkostnadsperspektiv är den kostnad som tillfaller ägaren av konstruktionen, det vill säga kostnaden för att uppföra konstruktionen och hålla den i bruk. I denna analys är materialvalen av stor betydelse då materialval styr både investeringskostnaden samt framtida underhåll. Då alla kostnader uppkommer vid olika tidpunkter, måste de diskonteras med en kalkylränta till ett nuvärde och sedan summeras till ett enda livscykelkostnadsvärde. Detta kallas nuvärdesmetoden och beräknas enligt ekvation 4.2.

$$LCC_{\text{Ägarkostnad}} = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Där

C_t är summan av alla kostnader vid tiden *t*.
T är den förväntade livslängden.
t är tiden i år.
r är kalkylräntan.

Figur 3. LCC ekvation för ägarkostnad

2.3 Omfattning

Beskriv omfattningen av projektet

2.4 Begränsningar

Beskriv vilka begränsningar som har gjorts av projektet

2.5 Förutsättningar

Förutsättningar för LCC-beräkningar:

- Basår: 2019
- Diskonteringsränta: 3,5%
- Restvärde vid kalkylperiodens slut: 0

- Livslängd = 120 år
- Investeringskostnad har antagits infalla vid basåret, 2019.

LCC analysen utförs enligt nuvärdesmetoden [1].

Beskriv fler eventuella förutsättningar för projektet

Tabellen nedan visar priser för material och arbeten. Även mängderna redovisas i tabellen.

Tabell 1. Mängder och byggkostnader

Material/Arbete	Typ	Enhet	Mängd	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m3	929,25	1900
Stål	S420	ton	630	26738
Armering	K500C-T/B500B	ton	167,265	7000
Form	Av sågade bräder	m2	3622,5	600

Tabellen nedan visar drift- och underhållsåtgärder som är planerade under projektet.

Tabell 2. Underhåll

Underhållsåtgärder							
Material	**Beskrivning**	**Tidsintervall**	**Åtgärdsår**	**Längd/area**	**Enhet**	**%**	**Pris (SEK/enhet)**
Stål	Cleaning	1		5902,5	m2	100%	250
Stål	Paint improvement		20	5902,5	m2	10%	2000
Betong	Improvement		30	7245	m2	5%	3900
Stål	Partial repaint		40	5902,5	m2	20%	2000
Betong	Improvement		40	7245	m2	10%	3900
Stål	Repaint		60	5902,5	m2	100%	1800
Betong	Minor repairs		60	7245	m2	15%	3600
Stål	Paint improvement		80	5902,5	m2	10%	2000
Betong	Major repair		80	7245	m2	50%	4200
Betong	Improvement		90	7245	m2	10%	3900
Stål	Partial repaint		100	5902,5	m2	30%	2000
Betong	Major repair		100	7245	m2	100%	3900

Tabellen nedan visar inspektioner som är planerade under projektet.

3 Resultat

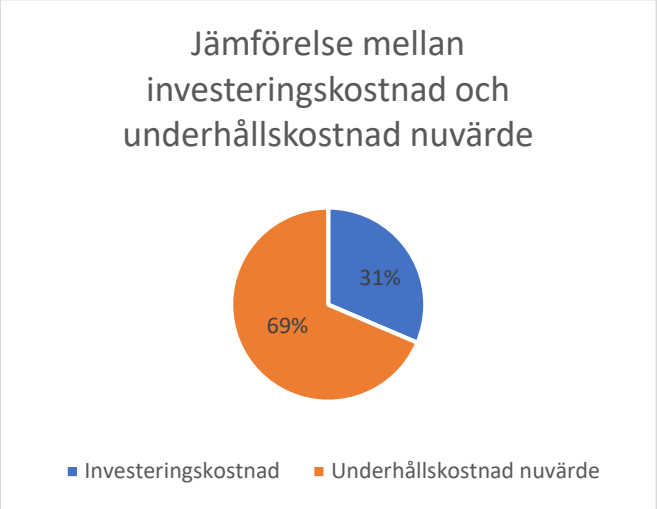
3.1 Ägarkostnad

Baserad på mängder och priser redovisade i 2.6 i denna rapport har följande resultat uppnåtts:

- Investeringskostnad = 21 954 930 kr
- Underhållskostnad nuvärde = 47 902 532 kr
- **LCC Nuvärde = 69 857 462 kr**

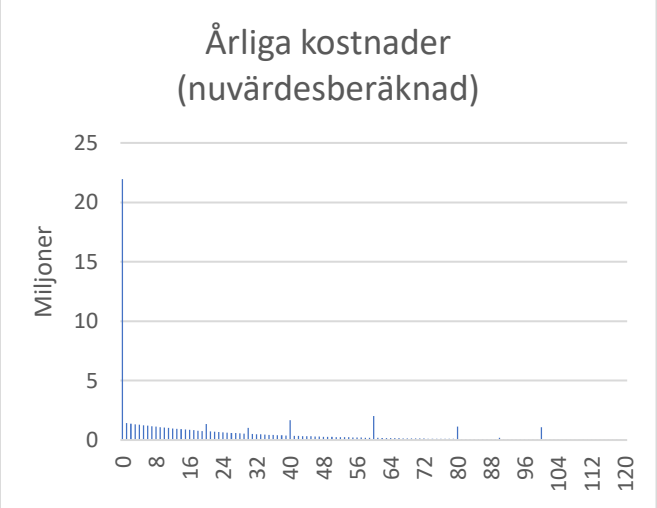
Rivningskostnad =

Figuren nedan visar en jämförelse mellan investeringskostnad och underhållskostnad, nuvärdesberäknad.



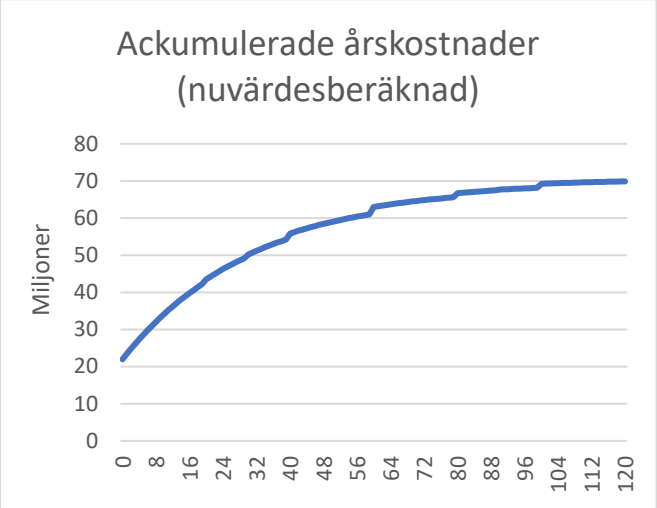
Figur 4. LCC analys

Figuren nedan visar de årliga kostnaderna, nuvärdesberäknad.



Figur 5. Årliga kostnader

Figuren nedan visar de ackumulerade årskostnaderna, nuvärdesberäknad.



Figur 6. Ackumulerade årskostnader

3.2 Användarkostnad

Om användarkostnad inte ska beaktas tas detta kapitel bort.

Tabellen nedan visar trafikstörningar som uppstår på grund av underhållsåtgärder. Tabellen redogör även för hur många dagar som trafikstörningen äger rum.

Tabellen nedan visar trafikstörningar som uppstår på grund av inspektioner. Tabellen redogör även för hur många dagar som trafikstörningen äger rum.

Tabellen nedan visar de värden som har använts som parametrar för användarkostnader.

Resultatet för nuvärdesberäknade årliga kostnader redogörs i figuren nedan.

Figuren nedan redogör för de ackumulerade årskostnaderna, dessa är nuvärdesberäknade.

3.3 Samhällskostnad

Om samhällskostnad inte ska beaktas tas detta kapitel bort.

Tabellen nedan visar de värden som har använts som parametrar för samhällskostnader.

Resultatet för nuvärdesberäknade årliga kostnader redogörs i figuren nedan.

Figuren nedan redogör för de ackumulerade årskostnaderna, dessa är nuvärdesberäknade.

4 Referenser

1) Sundquist, H., Karoumi, R., (2012). Life Cycle Cost Methodology and LCC Tools. Kungliga tekniska högskolan (KTH), Avdelningen för bro- och stålbyggnad.
2) Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel (1999), Förstudie till FoU-ramprojekt LCC-modeller (bro).

Bilaga J Användarmanual

LCPro.

Användarmanual

Innehåll

1 Projektinfo 1

2 Inläsning av indata 1

2.1 Tekla Structures 1

2.2 Excel 3

2.3 Manuell inmatning 3

3 Inställningar 4

3.1 LCA 4

3.2 LCC 4

3.2.1 Drift & underhåll 5

3.2.2 Inspektioner 6

3.2.3 Rivning 6

3.2.4 Användarkostnad 7

3.2.5 Samhällskostnad 7

4 Skapa rapport 8

5 Övrigt 8

5.1 Lägga till ett material 8

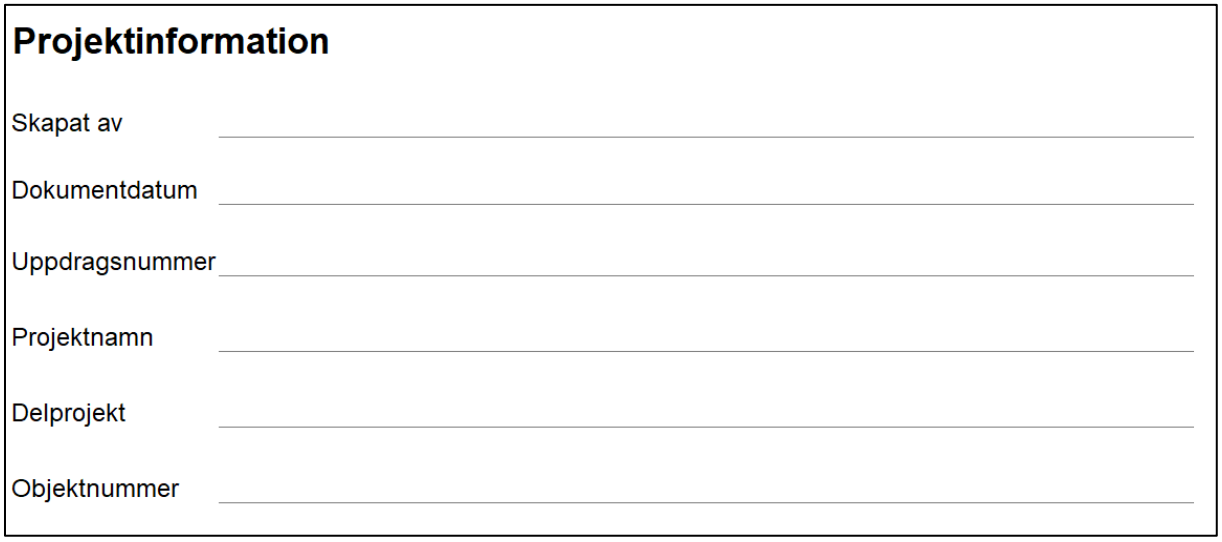
5.2 Beräkningar LCA 8

5.3 Beräkningar Klimatkalkyl 9

5.4 Beräkningar LCC 9

1 Projektinfo

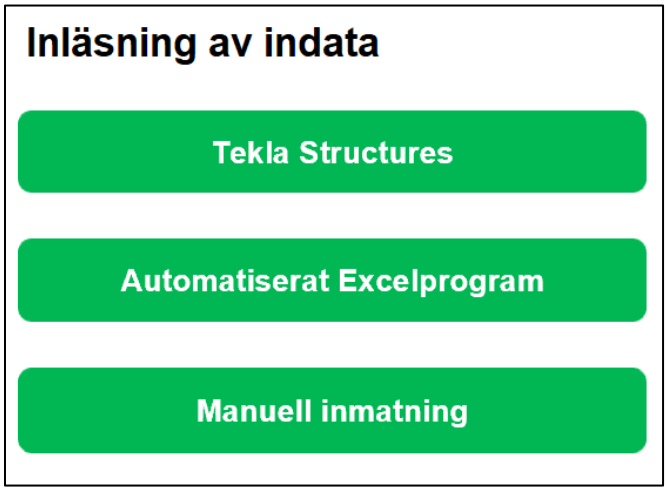
Skriv in information om projektet på de angivna raderna som visas i Figur 1. Denna information kommer att visas på försättsbladet i Word-rapporterna som skrivs ut senare.



Figur 1. Exempel på projektinfo

2 Inläsning av indata

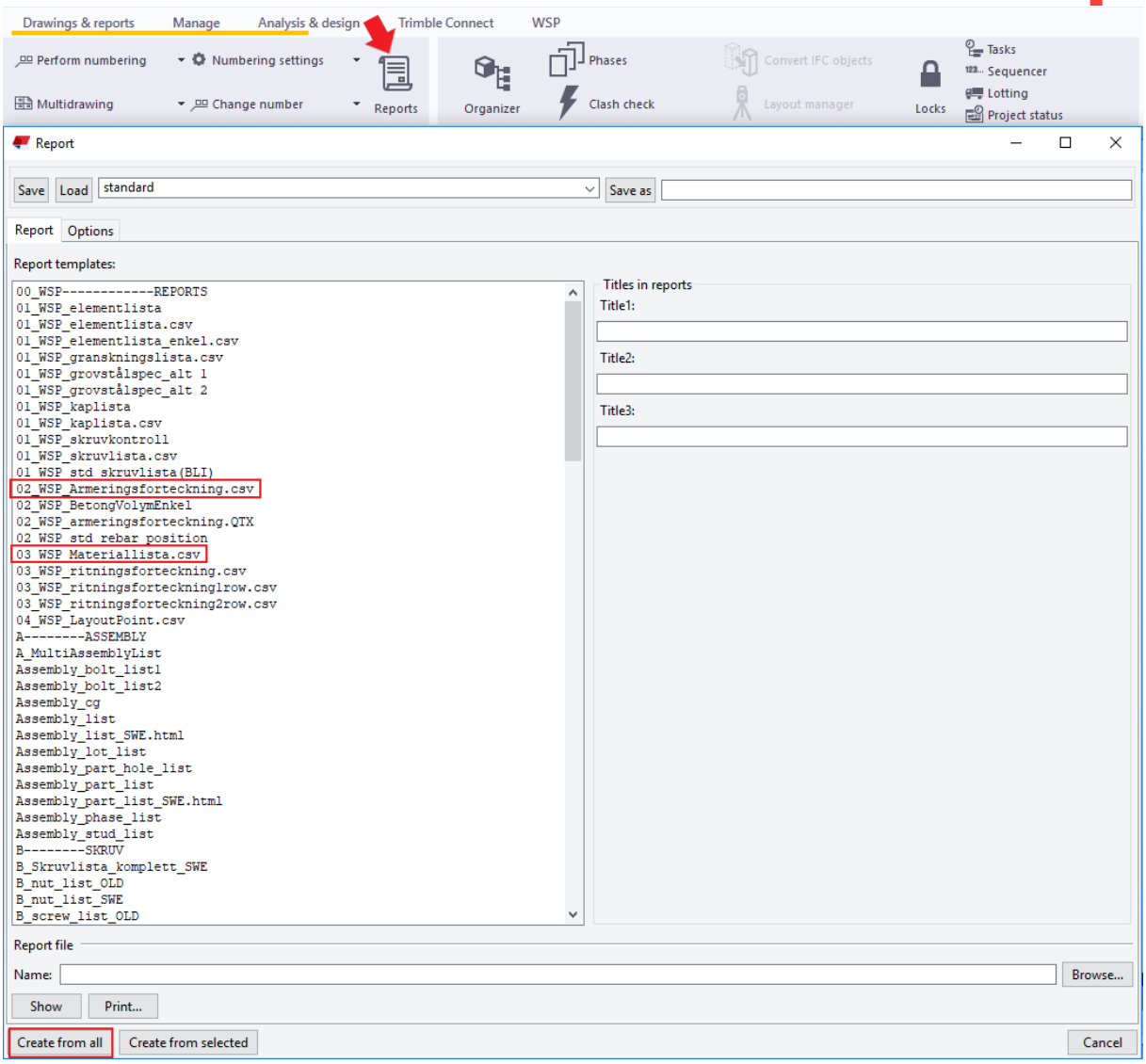
Mängderna från konstruktionen kan hämtas på följande sätt, redovisat i Figur 2:



Figur 2. De tre alternativen för inläsning av mängder

2.1 Tekla Structures

Innan mängderna kan läsas in från en Tekla-modell måste först två rapporter skrivas ut från Tekla. Detta görs automatiskt om LCPro öppnas via Tekla. Om LCPro öppnas manuellt så gå till fliken ”Drawing and reports” i den Tekla-modellmängderna ska hämtas ifrån och klicka på ”Reports”. Välj sedan rapporterna ” 02_WSP_Armeringsforteckning.csv” och ” 03_WSP_Materiallista.csv” och klicka på ”Create from all” (endast en fil kan skrivas ut åt gången). Rapporterna skapas och hamnar automatiskt under mappen ”Reports” i modellmappen. Figur 3 visar hur ”Report” fönstret ser ut i Tekla.



Figur 3. Report-fönstret i Tekla

Var noga med att inte flytta eller ändra namnen på rapporterna från Tekla.

När rapporterna är utskrivna från Tekla är LCPro redo att användas. Klicka på knappen – ”Tekla Structures” och bläddra i utforskaren som kommer upp till den filsökväg där modellmappen ligger (vanligtvis under ”C:\TeklaStructuresModels”). Markera modellmappen och tryck sedan på ”OK”.

LCPro kommer att köras och läsa in mängderna.

Om någon av de två rapporterna inte hittats i modellmappen kommer ett felmeddelande upp med namnet på rapporten som saknas.

Det är viktigt att komplettera med form-arean och eventuell fyllning, schakt, betong- och stålpålar då dessa inte kan läsas in från Tekla automatiskt.

Material	Typ	Enhet	Mängd	Cementtyp	Flygaska (%)	PP-fiber (kg/m^3)
Betong	C25/30	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C30/37	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C35/45	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C40/50	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C45/55	m^3	0	CEM I	0	0
Betong	C50/60	m^3	0	CEM I	0	0
Stål	S235	ton	0			
Stål	S275	ton	0			
Stål	S355	ton	0			
Stål	S420	ton	0			
Stål	S460	ton	0			
Varmförzinkat stål	-	ton	0			
Rostfritt stål	1,4462	ton	0			
Armering	K500C-T/B500B	ton	0			
Armering	K600B-T	ton	0			
Armeringsnät	NK500AB-W	ton	0			
Betongpålar	SP1	m	0			
Betongpålar	SP2	m	0			
Betongpålar	SP3	m	0			
Stålpålar	Stålkärnepålar	m	0			
Stålpålar	Stålrörspålar	m	0			
Jordschakt	Fall A	m^3	0			
Jordschakt	Fall B	m^3	0			
Bergschakt	Fall A	m^3	0			
Bergschakt	Fall B	m^3	0			
Fyllning jord	Fall A	m^3	0			
Fyllning jord	Fall B	m^3	0			
Fyllning berg	Fall A	m^3	0			
Fyllning berg	Fall B	m^3	0			
Form	Av valfri typ	m^2	0			
Form	Av sågade bräder	m^2	0			

Figur 4. Indata

Viktigt att mängden för betong- och stålpålar räknas in i betong- och stålklasserna ovan. Detta för att längden på pålarna endast multipliceras med en dieselfaktor.

Val av Cementtyp och ifyllande av flygaska och PP-fiber berör endast LCA-rapporterna.

2.2 Excel

För att kunna hämta mängderna från en excelfil som t.ex. stödmursprogrammet är det viktigt att det finns en flik i Excelarket som heter ”Output”. Den ska vara utformad på samma sätt som indata fliken i LC-programmet.

Det är mycket viktigt att indata-tabellen är identisk till den i LC-programmet i dess storlek och placering. Den ska vara placerad under en ny flik som döps till ”Output”.

Viktigt att mängden för betong- och stålpålar räknas in i betong- och stålklasserna ovan. Detta för att längden på pålarna endast multipliceras med en dieselfaktor.

Nästa steg är att klicka på knappen – ”Excel” och läsa in mängderna.

2.3 Manuell inmatning

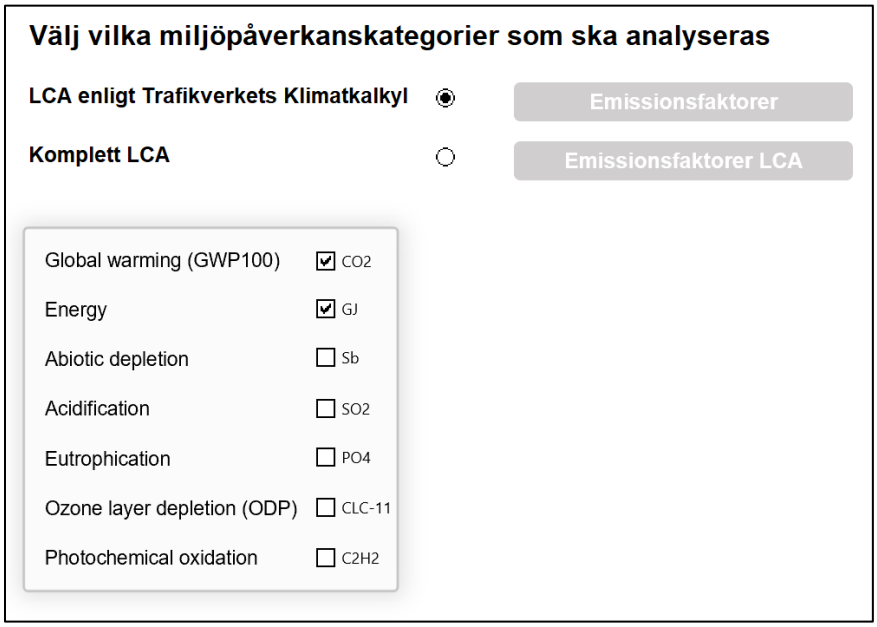
Klicka på knappen – Manuell inmatning för att skriva in mängderna manuellt direkt i LCPro. Mängderna nollställs och fliken ”Indata” öppnas.

Viktigt att mängden för betong- och stålpålar räknas in i betong- och stålklasserna ovan. Detta för att längden på pålarna endast multipliceras med en dieselfaktor.

3 Inställningar

3.1 LCA

Välj först om livscykelanalysen ska göras enligt Klimatkalkylen eller en mer komplett LCA. Vid val av Klimatkalkyl kommer endast koldioxidutsläppet och energianvändningen att bockas i. Vid komplett LCA kan användaren filtrera vilka miljöpåverkanskategorier som ska studeras. För att se vilka emissionsfaktorer som används samt för att ändra emissionsfaktorer erbjuds två knappar som för användaren vidare. Figur 5 visar utseendet för inställningar LCA.



Figur 5. Inställningar LCA

3.2 LCC

Bocka i de kostnader som ska studeras i livscykelkostnadsanalysen (investeringskostnaden kommer alltid att vara i bockad). Figur 6 visar hur utseendet ser ut för filtreringen gällande LCC.

Figur 6. Inställningar LCC

Beroende på vilka kostnader som är ifyllda kommer inställningsfliken se annorlunda ut. Endast de inställningar som är relevanta, det vill säga de kostnader som har valts, kommer att visas. Allmänna förutsättningar kommer alltid finnas med och redovisas i Figur 7.

Allmänna förutsättningar

Basår	2019
Kalkylränta (%)	3,5%
Restvärde vid kalkylperiodens slut	0
Livslängd	120
Investeringskostnad har antagits infalla vid basåret	2019

Figur 7. Exempel på grundinställningar i LCC

Kostnader för material/arbete är endast genomsnittliga och kan ändras av användaren för att anpassas till ett specifikt projekt. De genomsnittliga priserna avser både material och arbetet som krävs för materialet. Figur 8 visar hur prislistan ser ut.

För betong- och stålpålar gäller priser endast arbetet som krävs för att påla, materialet i pålarna ska vara inkluderade i respektive material.

Prislista material

Material/Arbete	Typ	Enhet	Mängd	Pris (SEK)
Betong	C35/45	m3	50	2750
Betong	C40/50	m3	50	3000
Betong	C45/55	m3	50	3245
Stål	S355	ton	50	38000
Armering	K500C-T/B500B	ton	50	26000

Figur 8. Prislista material

3.2.1 Drift & underhåll

För att lägga till en underhållsåtgärd: Klicka på knappen ”Lägg till rad” under tabellen. En rad kommer då att läggas in längst ned. Raden kommer att kopiera information från den rad som är ovan.

För att ta bort en underhållsåtgärd: markera en cell i tabellen i den rad som ska tas bort och klicka på knappen – ”Ta bort rad” under tabellen. Den markerade raden kommer att tas bort.

Ett felmeddelande kommer att visas om en cell utanför tabellen har markerats innan en rad tas bort.

Använd alltid knapparna i Excelarket om en rad ska läggas till eller tas bort.

Figur 9 visar ett exempel på drift- & underhållsåtgärder.

Drift & underhåll

Underhållsåtgärder							
Material	**Beskrivning**	**Tidsintervall**	**Åtgärdsår**	**Längd/area**	**Enhet**	**%**	**Pris (SEK/enhet)**
Betong	Rengöring	2		17829	m2	15%	3000
Betong	Reparation		20	17829	m2	100%	4000
Stål	Ommålning		60	17829	m2	100%	3600
Stål	Ommålning		60	17829	m2	100%	3600

Lägg till rad Ta bort

Figur 9. Exempel på drift & underhåll i inställningar LCC

- **Material:** Material är endast en beskrivning om vad för material som ska underhållas.
- **Beskrivning:** Här beskrivs vad för typ av åtgärd som ska göras. T.ex. impregnering, rengöring etc.
- **Tidsintervall:** Skriv in hur ofta åtgärden ska göras.
- **Åtgärdsår:** Skriv in vilket år åtgärden ska göras (lämnas blank om tidsintervall redan fyllts i).
- **Längd/area:** Här beskrivs vilken yta som åtgärden avser.
- **Enhet:** Välj mellan m^3, m^2, m och st. Om enheten m3, m2 eller m väljs kommer priset att multipliceras med andel %, som skrivs in under procent, och den angivna volymen, arean eller längden. Om ”st” väljs kommer priset bara att multipliceras med procenten.
- **Procent:** Avser hur stor andel av ytan som ska åtgärdas.
- **Pris:** Avser priset per enhet för gällande åtgärd.

3.2.2 Inspektioner

Inspektioner fungerar på samma sätt som drift & underhåll, förutom att enheten ”st” endast kan väljas och material är utbytt mot konstruktion. Se ovanstående information för övriga förklaringar. Figur 10 visar ett exempel på inställningar för inspektioner.

Inspektioner

Inspektioner							
Konstruktion	**Beskrivning**	**Tidsintervall**	**Åtgärdsår**	**Längd/area**	**Enhet**	**%**	**Pris (SEK/enhet)**
Bro	Allmän inspektion	1			st	100%	5000
Bro	Huvudinspektion	6			st	100%	8000

Lägg till rad Ta bort

Figur 10. Exempel på inspektioner i inställningar LCC

3.2.3 Rivning

Kostnaden för rivning ges i två alternativ. Första alternativet är ange rivningen i %, vilket betyder en procentandel av investeringskostnaden. Det andra alternativet är att skriva in hela summan för rivningen. Figur 11 visar hur rivningskostnader kan ändras i form av en rullista.

Figur 11. Rivningskostnader

3.2.4 Användarkostnad

Fyll i hur lång tid genomförandet av åtgärden kommer att påverka trafiken i antal dagar. Fyll i längden för den drabbade sträckan i km. Figur 12 visar ett exempel för användarkostnad.

Underhållsåtgärder								Trafikstörning	
Material	Beskrivning	Tidsintervall	Åtgärdsår	Längd/area	Enhet	%	Pris (SEK/enhet)	Dagar	Längd (km)
Betong	Rengöring	2		17829	m2	15%	3000	1	1
Betong	Reparation		20	17829	m2	100%	4000	1	1
Stål	Ommålning		60	17829	m2	100%	3600	1	1
Stål	Ommålning		60	17829	m2	100%	3600	1	1

Lägg till rad Ta bort

Figur 12. Exempel på användarkostnad i inställningar LCC

Antal dagar och längden är två faktorer för användarkostnader där ekvationen visas nedan.

$$LCC_{\text{Användarkostnad}} = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{S}{v_r} - \frac{S}{v_n}\right) \mathring{A}DT_t \cdot N_t (p_L(O_L + w_L) + (1 - p_L)(O_D + w_D)) \frac{1}{(1+r)^t}$$

Där N_t är antal dagar och S är den drabbade sträckans längd. De övriga parametrarna redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Parametrar för användarkostnader.

Användarkostnad		
V_r	10	*Reducerade hastigheten km/h*
V_n	50	*Vanliga hastigheten km/h*
$ÅDT_t$	5000	*Dagliga trafiken*
P_l	0,1	*Andel kommersiell trafik*
W_l	420	*Pris för kommersiell trafik/h*
WD	210	*Pris för personbilar/h*
O_T	200	*Pris för driftkostnad för lastbilar/h*
O_p	89	*Pris för driftkostnad för personbilar/h*

3.2.5 Samhällskostnad

Samhällskostnader beräknas med antalet dagar som fylls i under drift & underhåll samt inspektioner. $ÅDT_t$ fylls i under användarkostnader. Ekvationen för samhällskostnad visas nedan.

$$LCC_{\text{Samhällskostnad}} = \sum_{t=0}^{T} (A_r - A_n)\, \mathring{A}DT_t \cdot N_t \cdot [(C_F \cdot P_F) + (C_I \cdot P_I)] \frac{1}{(1+r)^t}$$

Figur 13 visar parametrar för samhällskostnader.

Samhällskostnad

Samhällskostnaden beräknas med antalet dagar som fylls i under drift & underhåll samt inspektioner.

$ÅDT_t$ fylls i under användarkostnad.

Samhällskostnad		
A_n	5,58995E-08	*Olycksfrekvensen under normala förhållanden*
A_r	7,7659E-08	*Olycksfrekvensen under vägarbeten*
C_F	6100000	*Genomsnittliga kostnaden för ett dödsfall för samhället*
C_I	950000	*Genomsnittliga kostnaden för en skadad person för samhället*
P_F	0,009	*Genomsnittliga antalet döda personer i brorelaterade olyckor*
P_I	0,991	*Genomsnittliga antalet skadade personer i brorelaterade olyckor*

Figur 13. Parametrar för samhällskostnader.

4 Skapa rapport

När en rapport skrivits ut är det ytterst viktigt att byta namn på den innan den sparas! Annars skrivs mallfilen över av den nya rapporten.

Rapporterna skapas från en befintlig mall. Det är viktigt att användaren kompletterar med projektspecifik information.

5 Övrigt

5.1 Lägga till ett material

Om ett material saknas i indata-tabellen finns det en inbyggd funktion för att lägga till det. Markera en cell i tabellen (materialet kommer att läggas in i raden ovanför den markerade cellen) och klicka på knappen – ”Lägg till material” under tabellen. Ett popupfönster kommer att visas och en ny rad skapas i tabellen. Fyll i alla rutorna i popupfönstret med information om det nya materialet och tryck sedan på ”Klar”. Materialet och dess information kommer att läggas in i de tillhörande tabellerna.

Det nya materialet kommer INTE att kopplas automatiskt i beräkningsflikarna för Klimatkalkylen. Det är därför ytterst viktigt att användaren går in och kopplar/lägger in rätt formler manuellt under dessa flikar. Vid osäkerhet kan formlerna för de befintliga materialen studeras.

Glöm ej att läsa in mängderna på nytt när ett nytt material har skapats.

5.2 Beräkningar LCA

Beräkningarna för LCA fungerar på samma sätt för alla material och miljöpåverkanskategorier, exempel ges nedan.

$$Betong\ C30/37\ ton\ CO_2 = Mängd \cdot emissionsfaktor$$

$$Stål\ S420\ ton\ CO_2 = Mängd \cdot emissionsfaktor$$

5.3 Beräkningar Klimatkalkyl

Emissionsfaktorerna för klimatkalkylen har tagits direkt från Trafikverket, därför ser beräkningarna lite annorlunda ut beroende på material. För att se varje beräkningar för alla material och arbeten, se Trafikverkets Klimatkalkyl http://webapp.trafikverket.se/Klimatkalkyl/Modell

Exempel på beräkningar ges nedan.

$$Betong\ ton\ CO_2\ utsläpp = \frac{Mängd \cdot emissionsfaktor \cdot \rho_{betong}}{1000}$$

$$Stål\ ton\ CO_2\ utsläpp = Mängd \cdot emissionsfaktor$$

5.4 Beräkningar LCC

Beräkningar för drift & underhåll, reparationer och inspektioner görs genom nuvärdesmetoden, se ekvation nedan.

$$LCC_{\text{Ägarkostnad}} = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Där

C_t är summan av alla kostnader vid tiden t.
T är den förväntade livslängden.
t är tiden i år.
r är kalkylräntan.

Beräkningar för användarkostnad och samhällskostnad förklaras under kapitel 3.2.4 och kapitel 3.2.5.

TRITA ABE-MBT-19577