

Avdelningen för Installationsteknik  
Examensarbete TVIT—24/5107  
Lund 2024

# Klimatpåverkan vid silobyggen

Nils Göransson  
Alexandra Wiking



## Klimatpåverkan vid silobyggen

Nils Göransson  
Alexandra Wiking

Examensarbete 30 hp

Avdelningen för Installationsteknik  
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

© Nils Göransson och Alexandra Wiking

ISRN LUTVDG/TVIT—24/5107--SE(88)  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 LUND

## Sammanfattning

En livscykelanalys (LCA) (A1-A5) har gjorts på objektet genom att ta fram och sammanställa EPD:er från aktuella och potentiella leverantörer samt från generisk data av Boverket och Trafikverket. I vissa delar av projektet, exempelvis volym schaktade massor och vikt för olika material i elektroniken, har entreprenören tillhandahållit uppskattningar för dessa. Livscykelanalysen har sammanställts baserat på tre olika case; best case scenario (4600 ton CO<sub>2</sub>e) , worst case scenario (7200 ton CO<sub>2</sub>e) och generisk data från Trafikverket och Boverket (7700 ton CO<sub>2</sub>e).

Det framgår av resultatet att materialtillverkning för olika material är det i en livscykelanalys som genererar störst mängd CO<sub>2</sub>e. Betong och galvaniserat stål är de material som toppar denna lista. Utöver dessa två material visar de uppskattade värdena från entreprenören för elektroniken att denna post tros stå för ca 10 procent av det totala utsläppet av CO<sub>2</sub>e. Genom att välja rätt leverantör för materialen tyder resultatet på att stora insparningar av utsläpp ska åstadkommas. Exempelvis kan betongens utsläpp variera mellan 1400 ton och 1900 ton CO<sub>2</sub>e från olika leverantörer. Genom att byta ut drivmedlet i entreprenadmaskiner och lastbilar från diesel till HVO minskar posternas utsläpp med 84,5 procent.

Information om entreprenadmaskiners genererade CO<sub>2</sub>e har sammanställts för olika leverantörer. Leverantörer har generellt inte information om sina produkters utsläpp. Detta medförde att endast ett fåtal leverantörer kunde användas som underlag i denna livscykelanalys. Med hjälp av beställaren har drifttiden för samtliga entreprenadmaskiner kunnat uppskattas. Beroende på val av drivmedel mellan diesel och HVO kan de genererade CO<sub>2</sub>e minska markant.

En siloanläggning är komplex att projektera och bygga. Därav krävs stor kompetens och tidigare erfarenhet från beställare. När denna kunskap inte finns tillgänglig påverkar det smidigheten i utförandet av en livscykelanalys i ett så pass tidigt skede. Detta har varit fallet för livscykelanalysen under detta arbete vilket medfört att antaganden har gjorts för vissa delar av projektet: exempelvis volym betong i plattan och hur stor den asfalterade ytan förväntas vara. Andra delar har fått uteslutas eftersom dessa delar i dagsläget inte varit färdigprojekterade eller att beställare inte har tillräckligt specificerad information för att kunna inkludera posten i livscykelanalys, exempelvis ventilation.

En jämförelse med siloanläggningen i Sala har genomförts för att se hur betongväggarna i referensobjektet förhåller sig till galvaniserade stålväggar samt potentiella betongväggar i anläggningen i Uddevalla. Det påvisades att val av konstruktion och vad som inkluderades i jämförelse var avgörande för vilket av de två materialen som ledde till minst utsläpp av CO<sub>2</sub>e. Därav går det inte att säga huruvida en silovägg bör byggas i betong eller galvaniserat stål.

Slutligen gjordes kostnadsanalyser för olika delar av projektet med målet att ta fram underlag för vilka åtgärder som minskar utsläppet av CO<sub>2</sub>e satt i relation till vilken kostnad åtgärden får. För krossverket minskar både kostnad och genererade CO<sub>2</sub>e om verket kopplas upp till elnätet i stället för att gå på HVO eller diesel. För resterande åtgärder ökar kostnaden i relation med att utsläppen av CO<sub>2</sub>e minskar.

<b>Titel:</b>	Klimatpåverkan vid siloanläggningsprojekt
<b>Författare:</b>	Nils Göransson Civilingenjör i väg- och vattenbyggnad, LTH Alexandra Wiking Civilingenjör i väg- och vattenbyggnad, LTH
<b>Handledare:</b>	Ulla Jansson, Institutionen för Bygg- och miljöteknologi, Avdelning för Installations- och klimatiseringslära, LTH
<b>Biträdande handledare:</b>	Karin Farsäter, Institution, avdelning för Installations- och klimatiseringslära, LTH

<b>Externa handledare:</b>	Henrik Nilsson, Real Estate Business Developer, Lantmännen Fastigheter
	Gustaf Tynelius, Teknik- och processutveckling, Lantmännen Lantbruk
<b>Examinator:</b>	Dennis Johansson, Institution, avdelning för Installations- och klimatiseringslära, LTH
<b>Nyckelord:</b>	Livscykelanalys, LCA, Anläggningsprojekt, Klimat, Hållbart byggande.

## **Abstract**

A life cycle assessment (LCA) was conducted on an object using EPD data from suppliers and generic data from authorities. E provided estimates for certain aspects. The analysis comprised three scenarios: best (4600 ton CO<sub>2</sub>e), worst (7200 ton CO<sub>2</sub>e), and generic data (7700 ton CO<sub>2</sub>e). Results show that material manufacturing, especially of concrete and galvanized steel, generates the most CO<sub>2</sub>e. Electronics are estimated to contribute around 10 percent of emissions. Choosing suppliers wisely can lead to significant emission savings. Switching fuel in machinery from diesel to HVO can reduce emissions by 84,5 percent. Information on machinery emissions was limited. The project's complexity affected the LCA execution, leading to assumptions and exclusions. Comparison with another facility demonstrated the significance of material choice on emissions. Finally, cost analyses showed that connecting to the grid reduces both cost and emissions for the crusher plant, while other measures increase costs with decreasing emissions.





## Förord

Detta examensarbete har skrivits på avdelningen för installationsteknik som en avslutande del på civilingenjörsutbildning inom väg och vatten på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har pågått under vårterminen 2023 i tätt samarbete med Lantmännen.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Ulla Janson som under arbetets gång bistått oss med konkreta förslag och positiv feedback. Vi vill också rikta ett stort tack till Gustaf Tynelius och Henrik Nilsson från Lantmännen som väglett oss i arbetet samt hjälpt oss driva arbetet framåt i rätt riktning. Slutligen vill vi tacka vår examinator Dennis Johansson för att ha bidragit med värdefulla kommentarer och utvecklingsförslag på arbetet.

*Lund i juni 2024*

*Nils Göransson & Alexandra Wiking*



## Nomenklatur

B - Beställare

BBR – Boverkets Byggregler. Allmänna råd och föreskrifter för hur byggsektorn ska bedriva sin verksamhet (Sjølvgren, 2023).

BTA – Bruttoarea, vilket är den totala arean av samtliga våningsplan i en byggnad.

CO<sub>2e</sub> – Koldioxidekvivalent. Gaser bidrar till växthuseffekten med varierande uppvärmningspotential Global Warming Potential, (GWP). Gasernas GWP räknas i förhållande till koldioxidens GWP och visar gasens totala bidrag till uppvärmningen. Exempelvis har metan 28 gånger högre bidrag till uppvärmningen i jämförelse med koldioxid. Därför räknas ett ton metan som 28 CO<sub>2e</sub> (Naturvårdsverket, 2023).

E – Entreprenör

EPD:er – Environmental Product Declaration Miljövarudeklaration för byggprodukter

Funktionell enhet – den enhet som används för att kvantifiera all miljöpåverkan av ett material eller aktivitet. Exempelvis: kg CO<sub>2e</sub> / ton stål, kg CO<sub>2e</sub> / m<sup>2</sup> fönster.

Generisk data – ett medelvärde på generade CO<sub>2e</sub> för en produkttyp. Datan är framtagen via ett medelvärde av flera olika produkter inom samma grupp.

GWP – Global warming potential

Restprodukt – En restprodukt innefattar material som uppstår under tillverkningsprocesser av en produkt. Materialet kan användas som biprodukt eller vara avfall (Strokirk, 2019).



## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	v
Abstract .....	vii
Förord .....	ix
Nomenklatur .....	xi
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Siloanläggningen Fröland.....	1
1.3 Målsättningar .....	2
1.4 Frågeställningar.....	2
1.5 Avgränsningar .....	3
1.6 Metod.....	4
2. Teori .....	5
2.1 Globala och nationella miljömål.....	5
2.2 Livscykelanalys & klimatdeklaration .....	6
2.2.1 LCA .....	6
2.2.2 Livscykelkedan .....	7
2.2.3 GWP-faktor .....	7
2.2.4 EPD och generisk data .....	8
2.2.5 Informationsmoduler .....	8
2.2.6 Funktionell enhet.....	9
2.2.7 Klassifikationssystem.....	9
2.3 Sprängarbeten .....	9
2.4 Grundläggningsmetoder.....	10
2.5 Material & tillverkningsprocesser i fallstudie .....	11
2.5.1 Betong .....	11
2.5.2 Bergmaterial .....	12
2.5.3 Asfalt .....	14
2.5.4 Stål.....	15
2.5.5 Galvaniserat stål .....	16
2.6 Alternativa material & drivmedel .....	17
2.6.1 Klimatförbättrad betong .....	17
2.6.2 Återvunnet & återanvänt stål.....	17
2.6.3 Återvunnen asfalt .....	17
2.6.4 Limträ .....	17
2.6.5 Krossverk .....	18
2.6.6 Biodiesel – HVO .....	18
2.7 Projekt inom byggbranschens privata sektor .....	19

2.7.1 Byggprocessen .....	19
2.7.2 Referensobjekt, Sala.....	19
3. Resultat.....	21
3.1 Entreprenadmaskiner och schakt .....	21
3.2 Bergkrossning - process .....	23
3.3 Asfalt.....	26
3.4 Betong & armering.....	30
3.5 Lastbilar .....	32
3.5.1 Zaragoza - Uddevalla .....	32
3.5.2 Arbetsplats – Lokaltipp .....	34
3.6 Förzinkat stål - silo .....	35
3.7 Maskiner, elektronik & kringutrustning.....	35
3.7.1 Torkar & isoleringskassetter .....	36
3.7.2 Övrig utrustning .....	37
3.8 Tiphall .....	37
3.8.1 Klimatsmart åtgärd.....	41
3.8.2 Kostnadseffektivitet .....	42
3.9 Maskintorn .....	42
3.9.1 Klimatsmart åtgärd.....	45
3.9.2 Kostnadseffektivitet .....	46
3.10 Referensobjekt Sala.....	47
3.11 Branschanpassning .....	48
4. Analys.....	49
4.1 Total klimatpåverkan.....	49
4.2 Kostnadseffektivitet .....	51
4.3 Betong och armering.....	52
4.4 Silo, galvat stål.....	52
4.4.1 Referensobjekt Sala.....	53
4.5 Konstruktionsstål.....	55
4.6 Entreprenadmaskiner .....	55
4.7 Asfalt.....	56
4.8 Drivmedel & transporter.....	56
4.9 Elektronik och invändiga maskiner.....	56
5. Diskussion .....	57
5.1 Byggprocessen.....	57
5.1.1 Upphandlingsform och dess logistiska svårigheter .....	57
5.2 Lastbilar .....	58

5.3	<i>Krossverk</i> .....	58
5.4	<i>Åtgärder på plats och klimatkompensation</i> .....	59
5.5	<i>Generisk data vs EPD</i> .....	59
5.6	<i>Referensobjekt Sala</i> .....	60
5.7	<i>Karbonatisering</i> .....	60
5.8	<i>Galvanisera bara det som behövs</i> .....	60
5.9	<i>Asfalt</i> .....	61
5.10	<i>Elektronik och invändiga maskiner</i> .....	61
5.11	<i>Limträ</i> .....	61
5.12	<i>Metoddiskussion</i> .....	62
6.	<i>Slutsatser</i> .....	63
7.	<i>Vidare forskning</i> .....	65
	<i>Litteraturlista</i> .....	67





## 1. Inledning

I följande kapitel ges en kort bakgrund till arbetet. Därefter presenteras frågeställningar och de avgränsningar som gjorts i rapporten.

### 1.1 Bakgrund

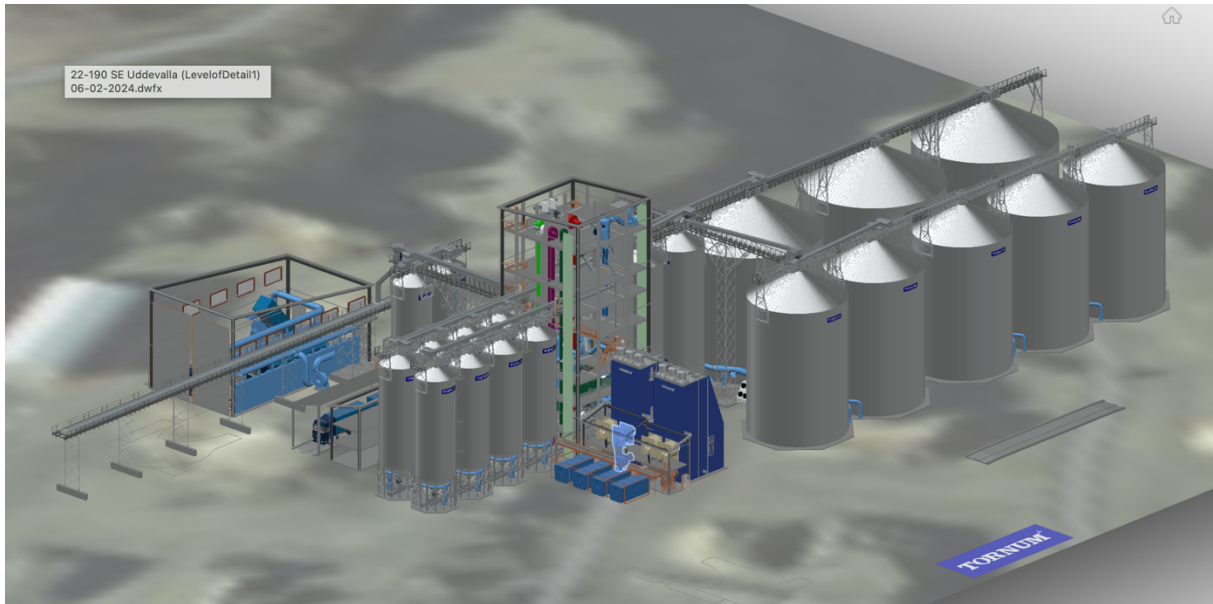
Lantmännen har i flera år toppat listan från Sustainable brand index som ett av de klimatsmartaste varumärkena (Lantmännen, 2023). Med höga ambitioner vill företaget bedriva klimatneutral primärproduktion år 2050. Lantmännen Lantbruk ska uppföra en ny siloanläggning i Uddevalla (Lantmännen, 2023). En studie av IVL visar att tillverkning av nya material är det som under byggprocessen genererar störst utsläpp av CO<sub>2</sub>e (Larsson, et al., 2016). Fler studier visar på samma trend, exempelvis undersökte Wadsten klimatutmaningar vid nyproduktion av småhus där resultatet också visar att materialtillverkningen, i synnerhet betong, är den enskilt största posten för klimatutsläpp av CO<sub>2</sub>e (Wadsten, 2020). Nybyggnation kan därför anses klinga negativt med miljöpåverkan. Under förstudien av projektet i Uddevalla som pågått i två år har ambitionen varit att ta klimatsmarta beslut kring utförandet (Lantmännen, 2023). Klimatsmarta beslut är en komplex term. Analysen av ett besluts miljöpåverkan kan variera beroende på synvinkel och vilka faktorer som analyseras.

I Boverkets byggregler ställs sedan 2022 krav på klimatdeklaration för bostäder och lokaler med undantag för mark- och grundläggningsarbeten. Industribyggnader av slaget som undersöks i denna rapport inkluderas inte heller för tillfället (Boverket, 2023). Det förutspås däremot att mark- och grundläggningsarbeten samt fler byggnadstyper kommer adderas till listan för byggnader som kräver klimatdeklarationer inom några år. Klimatberäkningar genomförs till största del genom införskaffning av tillförlitliga data som sedan summeras i en total klimatpåverkan, varför det är av yttersta vikt att samla in dessa data korrekt. För att göra förändringar i byggsektorn och minska dess klimatavtryck är det kritiskt att samla in jämförbara och korrekta data för olika byggnadsverk (Boverket, 2020).

### 1.2 Siloanläggningen Fröland

Till följd av att Uddevalla kommun planerar för framtida bostäder på den mark där Lantmännens nuvarande siloanläggning är lokaliserad har kommunen sagt upp Lantmännens arrendeaftalet för marken. Utöver detta leder de dåliga markegenskaperna till sättningar i den gamla silon. Den nuvarande anläggningen klarar av att lagra och torka 43 000 ton spannmål och är i majoritet byggd av betong och stål. Den nya anläggningen kommer att ha kapacitet för att lagra och torka cirka 38 000 ton spannmål. Den kommer till största del bestå av galvaniserat stål. För att ge läsaren perspektiv är de största silotornen, varav det finns 3 styck, cirka 26 meter höga och 22 meter i diameter. Den nya anläggningen är förvisso något mindre i lagringskapacitet men detta kompenseras av dess modernitet samt höga mottagningskapacitet. Anläggningen består kort av dumpgropar, torkar, transportband samt flertalet lagrings-silor. Dagens anläggning ligger mycket lämpligt på en kaj längst in i Byfjorden varifrån en stor del av allt spannmål som lagras på plats går på export via båt. Detta kommer fortgå med den nya anläggningen som kommer att ligga några hundra meter från den nya kajen, som skall byggas av Uddevalla hamn AB. Från den nya siloanläggningen till hamnen planeras ett transportband som förenklar transporten av spannmål från silo till båt. Byggnationen kommer ske i en gammal bergtäkt vilket kommer innebära sprängarbeten samt att grundläggning sker på stabil mark enligt geotekniska undersökningar. Lantmännen har valt Tornum som siloleverantör genom en totalentreprenad. Tornum anlitar därefter underentreprenörer för att genomföra resterande

projektering och produktion av anläggningen eftersom Tornum endast tillverkar vissa delar själva. En 3D-ritning över den planerade anläggningen presenteras i Figur 1.



Figur 1, 3D ritning från Tornum som illustrerar anläggningens utformning.

Lantmännen använder frekvent sloganen ”Vi tar ansvar från jord, till bord”. För att göra detta och linjera med Parisavtalet jobbar Lantmännen aktivt för att minska sin klimatpåverkan. Deras klimatmål är, likt parisavtalet, klimatneutralitet år 2050 med stegvis minskning av utsläpp till dess. En del i detta är att arbeta för minskad klimatpåverkan i ett sådant här projekt, där stora utsläpp av växthusgaser genereras. Det finns inte underlag för klimatberäkningar av liknande anläggningar sedan tidigare, varför detta är ett första steg mot en större medvetenhet i Lantmännens arbete. Ett av målen med projektet är att ge underlag och stöd till Lantmännens planer för fler nya planerade siloanläggningar i Sverige (Lantmännen, 2023).

### 1.3 Målsättningar

Målet med detta examensarbete är att beräkna klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter för olika utförandealternativ av Lantmännens kommande anläggning i Uddevalla, inom ramen för "cradle to gate", alltså från framtagande av byggmaterial till färdigställande av anläggning. Stort fokus kommer att ligga på entreprenadmaskinernas miljöpåverkan av schakt- och grundarbeten. Ambitionen är att arbetet ska kunna ligga till grund för liknande anläggningar som Lantmännen planerar uppföra det kommande decenniet. Vidare är ett delmål att presentera kostnadseffektivitet av olika åtgärder, dvs. hur stor kostnaden är per besparat ton CO<sub>2</sub>e. Därefter kommer konkreta förslag gällande processer och materialval som minskar klimatpåverkan att redovisas.

### 1.4 Frågeställningar

För att undersöka klimatavtrycket från en anläggningsbyggnad med silor ska följande frågeställningar besvaras:

- Hur mycket CO<sub>2</sub>e kommer genereras under uppförandet av en siloanläggning, baserat på Lantmännens anläggning i Uddevalla (inkluderande faserna A1-A5 i en LCA)?
- Hur görs en LCA för markarbeten med rimliga antaganden, indata och avgränsningar?

- Vad finns det för utmaningar med att göra en klimatberäkning för ett byggnadsverk som en siloanläggning samt dess tekniskt utmanande komponenter?
- Vilka rimliga samt kvantifierbara åtgärder finns som kan minska projektets utsläpp och framtida liknande projekt? Vad är kostnaden för dessa åtgärder?

## 1.5 Avgränsningar

Flertalet faktorer kan tänkas ingå i bedömningen av klimatpåverkan och utförandet av klimatberäkningar. Arbetet har därför avgränsats enligt nedanstående punkter för att göra projektet överskådligt och rimligt att utföra på utsatt tid.

- Rapporten följer Boverkets avgränsningar gällande vad som ska inkluderas i en klimatdeklaration till skede A1-A5. Utöver detta har markarbeten och asfalt beräknats med undantag för material till vattenavledning samt brunnar. Vissa av Boverkets inkluderade delar har inte räknats med på grund av att B och E inte detaljerat produktens typ och/eller omfattning.
- Enligt Trafikverkets program klimatkalkyl 7.0 ger avverkning eller förändring av markanvändning betydande miljöpåverkan (Trafikverket, 2024). Detta inkluderas inte i denna rapport då skogen som stått på marken togs bort för en lång tid sedan innan grustaget som fanns innan öppnades.
- En entreprenadmaskins bränsleförbrukning varierar beroende på körsätt (WSP Sverige AB, 2012). I denna rapport har medelvärden från källor använts.
- Transporter som redovisas i A4 görs i denna rapport på olika sätt och väljs i följande rangordning:
  - o Om materialet kan antas finnas regionalt och har värde för A4 i EPD används detta värde.
  - o Saknas värde i produktens EPD tillfogas i första hand värde för A4 från likvärdig EPD.
  - o Saknas värde helt från EPD används Boverkets klimatdata för A4 transport för likvärdig produkt.
  - o Då materialet inte kan antas finnas regionalt, alltså att längre transporter förekommer, används projektspecifika transportuppgifter där klimatpåverkan beräknas med generiska klimatdata för bränslen. Exempel: stål från Zaragoza (Spanien) till Uddevalla.
- I flertalet EPD:er som används i denna rapport saknas skede A5. För att göra en rättvis jämförelse har det i dessa fall tillfogats ett värde för A5 från annat håll. Dessa kommer i första hand från en annan likadan, eller liknande produkt eller i andra hand från boverkets generiska data. I de fall där produktspecifika värden presenteras, alltså från andra EPD:er, tillfogas det högsta värdet av de tillgängliga.
- De emissioner som genereras vid förpackning av byggmaterial redovisas i A1-A3. För generisk data redovisas sällan emissionerna vid förpackning (Boverket, 2018). I denna rapport anses förpackningen försumbar och denna aspekt bortses därför ifrån.
- På området kommer ett kontor att uppföras. Denna del beräknas inte i denna rapport eftersom den i ett senare skede skall klimatdeklareras till Boverket.

## 1.6 Metod

En LCA för livscykelkedan A1-A5 har genomförts. För att utföra LCA:n har en litteraturstudie gjorts för att samla in information om:

- Tillvägagångssätt
- EPD:er
- Produktionsprocesser

EPD:er varierar i transparens och utförlighet. Därför har EPD:er/information om genererade CO<sub>2e</sub> valts ut i följande rangordning:

- EPD:er enligt standard EN 15804 + A2
- EPD:er enligt standarden EN 15804 + A1
- EPD:er för likvärdiga material
- EPD:er för samma produktkategori
- Generisk data

Inhämtning av EPD:er har i huvudsak gjorts genom att söka i databaserna EPD international och EPD Norway. I vissa fall har även direktkontakt med företag förekommit. Generisk data inhämtades i Boverkets klimatdatabas.

Med hjälp av ovanstående insamlad data har en handberäknad uppskattning av den totala klimatpåverkan för anläggningen gjorts. Dessa har sammanställts i tre olika scenarion, best case, worst case och generic case. Detta ger en tydlig bild av minimalt och maximalt utsläpp av byggnationen samt ett värde att förhålla sig till.

Beräkningen gjordes som nämnts för hand. Den initiala tanken var dock att använda ett digitalt verktyg för detta. Emellertid visade det sig dock att detta inte var möjligt då de ritningsfiler som tagits fram var för detaljerade för att kunna användas i verktyget.

Under arbetets gång pågick löpande kommunikation med Lantmännen och Tornum för att ta del av nya beslut och förändringar i projekteringen. För de poster där Lantmännen eller Tornum delgivit kostnader, eller där dessa funnits tillgängliga på annat lämpligt tillvägagångssätt har kostnadsanalys gjorts för åtgärden i fråga.

## 2. Teori

I följande del av rapporten beskrivs de processer och material som påverkar byggnationen av en siloanläggning ur klimatsynpunkt. Först förklaras hur en LCA genomförs och vad analysen utgår ifrån. Allt från globala klimatmål till standarder. Materialens egenskaper och framställningsprocesser redovisas sedan för att få en uppfattning kring hur varje material påverkar klimatet.

### 2.1 Globala och nationella miljömål

2015 bestämdes 17 globala mål genom FN under namnet Agenda 2030 (FN-förbundet, u.å.). De globala mål som påverkar byggsektorn och siloanläggningen i Uddevalla ur ett LCA-perspektiv redovisas i Tabell 1. Baserat på Agenda 2030 och dess 169 delmål har Sverige satt upp egna mål. Sverige har påbörjat den omställning som behöver göras för att nå målen, men än behövs stora kraftanstängningar för att nå dessa mål (Sveriges Miljömål, 2020).

Tabell 1, De mål i Agenda 2030 som berör en LCA för de genererade emissionerna vid upprättande av en silo-anläggning (FN-förbundet, u.å.)

Mål nummer	Förklaring
Mål 7	Hållbar energi för alla
Mål 9	Hållbar industri, innovation och infrastruktur
Mål 11	Hållbara städer för alla
Mål 12	Hållbar konsumtion och produktion
Mål 13	Bekämpa klimatförändringarna

De globala målen syftar till ett större internationellt perspektiv medan Sveriges miljömål i större omfattning är konkreta och bygger på ekonomiska, sociala och miljömässiga hållbarhetsperspektiv. Dessa mål är således enklare att applicera på nationell nivå (Sveriges Miljömål, 2020).

Sveriges miljömålssystem riktar sig till det miljömässiga hållbarhetsperspektivet och består av ett antal olika inriktningar:

- Generationsmål
- 16 miljö kvalitetsmål
- Etappmål inom områdena avfall, biologisk mångfald, farliga ämnen, hållbar stadsutveckling, luftföroreningar och klimat

Det miljö kvalitetsmål som ligger i linje med en LCA av det totala utsläppet av  $CO_2e$  till atmosfären är *Begränsad klimatpåverkan* (Sveriges miljömål, u.å.).

Sveriges miljömålssystem behandlar Agenda 2030s mål att hålla uppvärmningen av jordens medeltemperatur långt under två grader. För att åstadkomma detta har Sverige som mål att vara klimatneutrala år 2045 (Sveriges Miljömål, u.å.). Listan på vad företag kan göra för att nå målet är lång. Bland annat bör företag minska körsträckor, gå från fossila drivmedel till el/förnybara drivmedel och byta ut jungfruliga råvaror till återanvändningsbara och återvunna varor (Sveriges Miljömål, u.å.).

## 2.2 Livscykelanalys & klimatdeklaration

### 2.2.1 LCA

I en LCA beräknas miljöpåverkan från det att råmaterial utvinns tills dess att den slutgiltiga produkten kasseras (Kiilsgaard, 2019). ISO 14044:2006 beskriver genomförandet av en LCA-analys genom fyra steg:

1. Definition av mål och omfattning
2. Inventeringsanalys
3. Miljöpåverkansbedömning
4. Tolkning

(Swedish Standard Institute, 2006). Dessa steg redovisas också nedan i figur 2.



Figur 2, Genomförandet av en LCA-analys enligt ISO 14044:2006.

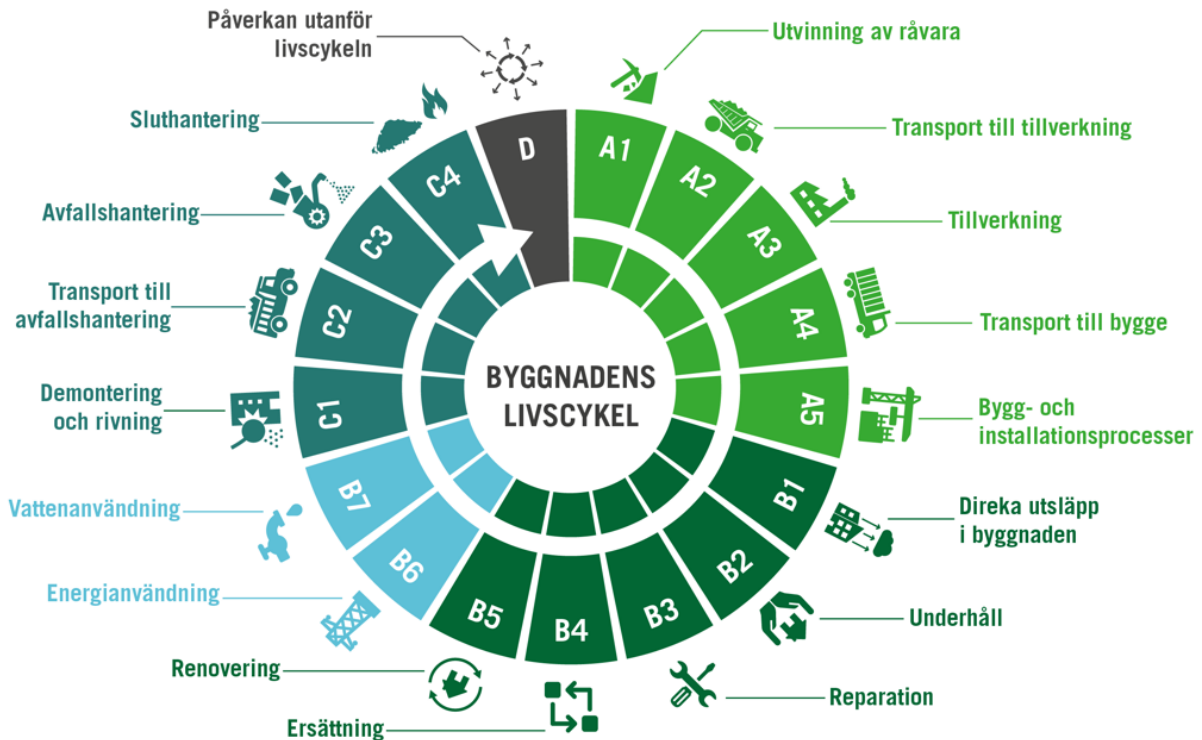
I steg ett identifieras syfte och målgrupp samt varför analysen utförs (Andersson & Swärdh, 2021). Analysen visar när klimatpåverkan är som störst och kan sedan användas för att minimera utsläppen (Lilja, 2019). Analysen delas in i tre skeden, A – byggskede, B – Användningsskede, C – slutskede, och ett D-skede som innefattar övriga faktorer. De delas i sin tur in i ytterligare informationsmoduler (Lilja, 2019) innefattande relevant information som material, volymeräkning, genererande emissioner, energianvändning och bemanning (Andersson & Swärdh, 2021). I bedömningsfasen tolkas den övergripande emissionsgenerering för att eventuellt göra justeringar som kan minska emissionerna. Slutligen tolkas resultatet genom att kontrollberäkna volymer samt identifiera och kontrollera den information som tagits fram i analysen. Informationen sammanfattas och avslutar LCA-analysen (Andersson & Swärdh, 2021).

2045 har Sverige som mål att ha en klimatneutral värdekedja. Detta innebär i praktiken att värdekedjan av alla de aktörer eller processer som påverkar en produkt under hela dess livslängd inte ska bidra till klimatutsläppen (Stenevi, 2021). Efter första januari 2022 ställer Boverket krav på att deklarerat klimatpåverkan för uppförandet av nya byggnader. Denna deklARATION omfattar idag byggskedet A1-A5 (Ahlgren & Cismaru, 2023). Boverket skriver följande ”Förordningens begränsning till klimatskärm, bärande konstruktionsdelar och innerväggar gör att klimatpåverkan från markarbeten, installationer eller fast inredning i en byggnad inte omfattas av reglerna.” (Boverket, 2023). För tillfället exkluderas alltså markarbeten från deklARATIONEN. Detta trots att markarbeten tros stå för upp till 50 procent av de koldioxidekvivalenter som genereras under en byggnads livslängd (Kiilsgaard, 2019). En klimatdeklARATION med gränsvärden för del A1-A5 föreslås från och med januari 2025. Därefter förväntas gränsvärdena succesivt minska vart femte år. Från 2027 föreslås att samtliga delar, A1-C4 ingår i en klimatdeklARATION med gränsvärden samt att markarbeten redovisas i en separat deklARATION. Separeringen beror främst på de olika markförhållanden som finns, vilket skulle göra det svårt att uppföra vissa byggnader utan att gå över de satta gränsvärdena. Dessutom förenklar separeringen tillsynen av gränsvärdena. En klimatdeklARATION som omfattar

samtliga delar planeras alltså träda i kraft senare än gränsvärdena för A1 till A5. Detta görs för att kunna göra förändringar baserat på eventuella nya direktiv från EU (Sjølvgren, 2023).

Ingående skeden i en livscykelanalys presenteras ingående i Figur 3.

## 2.2.2 Livscykelkedan



Figur 3, schematisk figur över alla skeden i en byggnads livscykel (Sweden Green Building Council, 2020-09-21).

I Figur 3 illustreras de olika livscykelkedorna mer ingående. Det finns även ett D skede, vilken beskriver påverkan utanför livscykeln av själva materialet. Detta kan innebära ytterligare belastningar eller fördelar ur ett klimatperspektiv. Typexempel på ett material där belastningen skulle minska är träprodukter som innan användning tar upp koldioxid eller som det även kallas, biogent lagrar kol. Skede D skall enligt Boverkets föreskrifter för klimatdeklarationen inte inkluderas i en LCA (Boverket, 2023).

## 2.2.3 GWP-faktor

Klimatpåverkan är ett brett ord som i det här sammanhanget refererar till GWP – global warming potential – eftersom det är den kvantiteten som används i LCA. I andra sammanhang kan till exempel emissioner, övergödningspotential eller försurningspotential vara intressanta. Alla dessa och fler finns i produktspecifika EPD:er (Boverket, 2019). Olika gaser bidrar till växthuseffekten när de släpps ut i atmosfären och kallas för växthusgaser. Gaserna har olika växthuspotential – alltså att de bidrar till den globala uppvärmningen med olika värden. En GWP-faktor beskriver hur mycket ett kilogram av en gas bidrar till växthuseffekten mätt i antalet ekvivalenta kilogram koldioxid även kallat CO<sub>2</sub>e (Naturvårdsverket, u.å.).

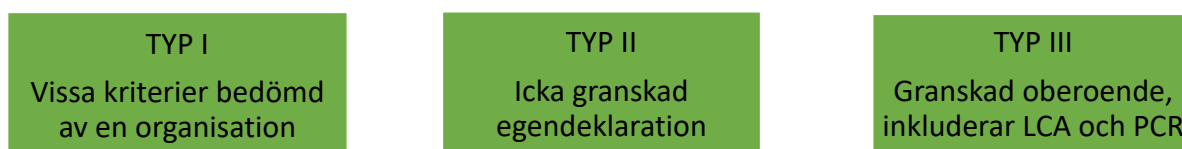
## 2.2.4 EPD och generisk data

En miljövarudeklaration, environmental product declaration (EPD) innehåller kort produktspecifik miljöinformation som är nödvändig för att utföra en LCA för ett projekt. Syftet är att skapa en fackmannamässig basis, ofta för en gemensam bransch. Men EPD:er kan även användas mellan olika branscher och för konsumenter. Genom att ha gemensamma EPD:er för CO<sub>2</sub>e blir det enklare att mäta, jämföra och sätta upp gemensamma mål inom branschen (Andersson & Swärdh, 2021). En EPD gäller ofta i 3-5 år från det att den granskats och godkänts. För att ta fram en EPD ska en LCA göras enligt produktspecifika regler, product category rules (PCR). PCR tas oftast fram i samråd med branschorganisationerna och ska resultera i att olika produkter är jämförbara, om dess EPD:er tagits fram baserade på samma PCR. Ofta delas dessa in i produktgrupper som exempelvis, isoleringsmaterial och dörrar. I PCR finns det bland annat detaljerade riktlinjer kring avgränsningar i form av vilka steg som beaktas i LCA, metodval och dataunderlag. Fler riktlinjer för PCR är specificerade i standarden SS-EN 15804:2012+A2:2019 (Boverket, 2019).

Mer detaljerat behandlar denna standard bland annat

- Ingående förklaringar av vilken fakta varje livscykelkedje skall innehålla
- Funktionella enheter och hur dessa skall beaktas/bestämmas
- Referenslivslängd vid givna omgivningsvillkor och hur denna skall uppskattas
- Datakvalitetshandtering och gradering baserad på bland annat ålder av fakta
- Information om eventuella emissioner från material i kontakt med inomhusluft eller mark och vatten
- Biogent bundet kol
- Andelar farligt avfall vid slutskedet

Ett företag kan redogöra för en EPD på tre olika sätt enligt ISO 14020-serien, se Figur 4.



Figur 4, Tre granskningsgrader av en EPD (Boverket, 2019).

Ibland finns inte EPD:er tillgängliga. Detta kan bero på att leverantören för produkten inte tillhandahåller en EPD eller att projektet är i ett tidigt skede vilket kan medföra att produkt inte har specificerats. I dessa fall har Boverket samlat in generisk data baserad på svenska byggprodukter. Generisk data bygger på ett medelvärde för likvärdiga produkter inom en produktkategori. Detta generiska värde på CO<sub>2</sub>e som sammanställts har ett tillägg på cirka 25 procent. Alltså är värdena för generisk data inte sällan högre än de EPD:er som används när produkten specificerats i ett senare skede. Anledningen till detta är att Boverket inte vill att en LCA ska få ett lägre värde när generisk data används då detta kan innebära att generisk data används i syfte att undan gömma produkter som genererar stora mängder CO<sub>2</sub>e (Boverket, 2023).

## 2.2.5 Informationsmoduler

Att behandla all den mängd data som samlas in genom EPD:er kan vara komplicerat och tidskrävande. Men det finns relativt enkla program som gör detta möjligt utan större förkunskap (Andersson & Edsman, 2022).



Sedan 1970-talet har BIM (Building Information Models) utvecklats för att underlätta detta steg. BIM hanterar information i form av data-filer som gör det möjligt att presentera administration, design och kontraktion för samtliga involverade i ett projekt. Entreprenörer och underentreprenörer kan förmedla information om en produkt, exempelvis genererade EPD:er innan projektet startar. Med hjälp av BIM går det att certifiera projekt ur klimatsynpunkt (Andersson & Swärdh, 2021).

### 2.2.6 Funktionell enhet

Det krävs en samordning av byggdelars klimatpåverkan för att branschen ska kunna redovisa likvärdiga deklarerationer (Sjølvgren, 2023). För att kunna jämföra resultat mot varandra införs en funktionell enhet med syftet att spegla funktionen för en produkt eller byggnad (Taheri & Stiefler, 2023). Ett exempel på detta kan vara klimatpåverkan per ”kvadratmeter BTA” för en byggnad.

### 2.2.7 Klassifikationssystem

För att få beräkningsresultat som är likvärdigt det faktiska värdet är det av stor vikt att data samlas in och sammanställs på ett konsekvent sätt. För att lyckas med detta bör rutiner och mallar skapas i ett tidigt skede och uppdateras löpande under arbetet (Andersson & Edsman, 2022). EN 15804 är en europeisk standard som omfattar en produkts miljövarudeklaration. Standarden behandlar tre skeden för en byggprodukt: Byggskede, användningsskede och slutskede (Boverket, 2023). Den tidigare standarden hade namnet EN 15804+A1. År 2019 kom en uppdaterad version vid namn EN15804+A2. Den uppdaterade standarden innehåller nya krav så som:

- Modul C och D som behandlar avfallshantering och konsekvenser utanför livscykeln.
- Miljöindikatorerna som EPD:n bygger på är uppdaterade. Detta innebär att EN 15804+A1 och EN 15804+A2 generellt inte går att jämföra med varandra.

Under en övergångsperiod är det möjligt att hitta både den äldre och den uppdaterade versionen av standarden. Detta är på grund av att standarden ofta är giltig i fem år. De äldre standarderna används därför fortfarande. I den nya EPD:n ska det biogena kolet redovisas separat, i den äldre versionen kan det biogena kolet vara inkluderat i GWP-faktorn (Greendesk, 2023). Detta påverkar EPD:erna när de sätts i relation till varandra eftersom biogent kol kan ha ett negativt värde. Detta kan skapa förvirring eftersom det inte går att följa det biogena kolet under dess livscykel i de äldre EPD:erna (OneClick, 2023). A1 och A2 jämför olika saker i sina LCA, varför de kan anses som ej jämförbara. Däremot kan de vara kompatibla om endast den globala uppvärmningspotentialen (GWP) studeras (Pasanen, u.å.). För att göra detta adderas ”Global Warming Potential – Fossil” med ”Global Warming Potential – Biogenic” i den nya versionen (A2) för att spegla ”Global Warming Potential (GWP)” i den äldre versionen (A1) (OneClick, 2023). Dessa anledningar gör det avgörande att ha koll på skillnaderna mellan A1 och A2 och konsekvent räkna på samma sätt genom hela analysen för att få jämförbara resultat.

## 2.3 Sprängarbeten

Ett sprängarbete utförs genom att en explosiv vara detonerar på ett kontrollerat sätt med målet att bland annat sönderdela material ovan jord, under jord och i vatten (Arbetsmiljöverket, 2019). Vid en detonation utsätts berget för tre olika sorters genererade krafter som sönderdelar materialet. Vid detonationen utvidgas borrhålet och bergets tryckhållfasthet överskrids vilket leder till att materialet omkring borrhålet pulveriseras och små sprickbildningar i anslutning till

borrhålet uppstår. Tryckvågorna som skickas ut vid detonationen möter en fri yta varpå vågen reflekteras tillbaka. Berget har lägre draghållfasthet än tryckhållfasthet. I berget skapas därför längre sprickor och bryts sönder. I det tredje steget tränger spränggas in i sprickorna. Detta gör att sprickorna initialt utvidgas för att därefter brytas loss (Olsson, et al., 2014).

När materialet lossgjorts kan det krossas till mindre kornstorlekar för att återanvändning. Detta kan göras vid fasta anläggningar, exempelvis i anslutning till en bergtäkt, varpå energianvändningen blir mindre. Ett annat alternativ är att använda en mobil kross, varpå mer energi krävs. Energiåtgången varierar beroende på bergart, utrustningens prestanda och energikälla. Om det krossade materialet skall transporteras varierar energiåtgången även på fordonstyp, drivmedel och avstånd (Strokirk, 2019).

Strokirk nämner en rad åtgärder som kan göras för att minska energianvändningen vid framställning av krossat berg:

- Krossar, siktar och transportband drivs med direktel. Alternativet dieseldrivna maskiner används i andrahand.
- Där dieseldrivna maskiner är nödvändiga bör biodiesel användas som drivmedel.
- Planera transporten av material för att minimera antalet transporter och sträcka.
- Återvinn bergmaterialet i den mån det är försvarbart ur ett klimat, ekonomiskt och tekniskt perspektiv.

## 2.4 Grundläggningsmetoder

Anläggningsteknikers negativa bidrag till klimatpåverkan sker genom materialtillverkan, transporter samt anläggningsarbeten (Kiilsgaard, 2019). Det finns metoder som sker vid marknivå, ytgrundläggning, och metoder som innefattar ingrepp djupare i marken, djupgrundläggning. Grundläggningskonstruktionens uppgift är i första hand att säkerställa god hållfasthet ur ett sättningsperspektiv. Val av grundläggningsmetod kan också bero på ekonomiska förutsättningar, isolerande egenskaper, skydd mot radon eller dräneringsegenskaper (Bergman, 2018).

Ytgrundläggning avser oftast platta på mark. Djupgrundläggning omfattar bland annat pålning eller KC-pelare. Ahlgren och Cismaru skriver att betongen i plattan och pålning är de två faktorer som genererar störst koldioxidutsläpp i ett grundläggningsarbete (Ahlgren & Cismaru, 2023).

Platta på mark är en enkel grundläggning som medför mindre kostnader (Bergman, 2018). Djupgrundläggning används vid markförhållanden med dålig bärighet. Genom att påla ner till stabilare material stabiliseras grundläggningen (Ahlgren & Cismaru, 2023).

Från tidigare livscykelanalyser framkommer det att grundplattans betong står för majoriteten av de genererade utsläppen i de fall där ytgrundläggning används som anläggningsmetod. Vid djupgrundläggning har pålning likvärdig utsläppsbelastning som betongen i plattan på mark (Ahlgren & Cismaru, 2023). Ahlgren och Cismaru menar att pålning således är en metod som har relativt stor klimatbelastning. Fortsättningsvis menar de däremot att detta inte är vedertaget. En byggnad som byggs på höjden med pålning har lägre klimatpåverkan i jämförelse med samma byggnad som byggs på större mark-area. Med denna bakgrund kan frågan om pålning anses ha större eller mindre klimatpåverkan vara komplex (Ahlgren & Cismaru, 2023).

## 2.5 Material och tillverkningsprocesser i fallstudie

I detta avsnitt presenteras och beskrivs de material som planeras att användas mest frekvent i Uddevalla-projektet.

### 2.5.1 Betong

Betong är det överlägset vanligaste byggmaterialet världen runt sett till volym. Både i nutid och historiskt. Redan under romartiden användes olika typer av betong för att möjliggöra byggnadsverk av olika typer (Concretenetwork, u.å.). Det kan framför allt kopplas till att det är ett billigt, mångsidigt samt lokalt material (Barcelo, et al., 2014). Idag står användningen av betong för cirka 40 procent av all byggmaterialanvändning globalt. Detta eftersom endast betong klarar de krav som ställs på materialet avseende kvalitets och beständighet (Axelsson & Löfsjögård, 2023).

Betong består traditionellt av främst tre ingående delar: cement (Portland), ballast och vatten. Man kan till detta även välja olika tillsatsmedel som alternerar betongens egenskaper till önskat resultat. I princip all modern betong innehåller tillsatsmedel i någon eller flera former. Detta gör betong till ett komplext sammansatt material (Huang, et al., 2020).

Cementtillverkningen är den process i framställning av betong som bidrar till stora utsläpp av CO<sub>2e</sub>. I förhållande till resterande framställningsprocesser står cementtillverkningen för 90 procent av de genererade koldioxidutsläppen (Helsing, et al., 2022) Globalt står betongtillverkningen för 7 procent av koldioxidutsläppen (Thomas Betong, u.å.). Under betongens driftskede sker en reducerad process, s.k. karbonatisering där 15-20 procent av de genererade CO<sub>2e</sub> kan absorberas av materialet (Axelsson & Löfsjögård, 2023).

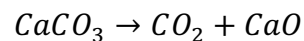
#### 2.5.1.1 Cement och kalk

Som nämnt ovan vid redovisning för förstärkningsmetoder av jord framgår det att cement är ett vanligt förekommande material som används. Cement och kalk används även vid andra grundläggningsarbeten som platta på mark. Kiilsgaard skriver att cement och kalk är bindemedel som kopplas till stor klimatpåverkan där 3-4 procent av världens totala bidrag till växthuseffekten kommer från cementtillverkning. Kalciumkarbonat förekommer naturligt i berggrunden, exempelvis i form av kalksten, och används vid framställning av cement. Kalksten består till största del av kalciumkarbonat (Kiilsgaard, 2019), varför det kommer användas som redovisningsexempel nedan.

För att framställa cement bryts först två olika kalkstensarter genom sprängning. I vissa fall kan kalkstensarterna lösgöras med hjälp av maskiner, med förutsättningen att kalkstenen är av mjuk art. Kalkstenen transporteras sedan till en grovkross för att krossas och siktas. Processen benämns vid namnet *Krossning*. Efter detta skede har kalksten framställts. I vissa fall mals kalkstenen ytterligare för att framställa kalkstensmjöl och processen kallas för *Malning*. Därefter bränns kalkstenen i en schakt- eller roterugn för att sönderfalla till kalciumoxid (bränd kalk, CaO) och koldioxid (CO<sub>2</sub>). I detta steg genereras CO<sub>2e</sub> vid uppvärmning av ugnen. Den nu brända kalken (QL) krossas för att sedan skiktas till olika kornfaktioner. Slutligen kan kalken genomgå två olika processer. Den första är att kalken mals igen varpå produkten blir mald QL. Den andra processen är att tillsätta vatten för att framställa Släkt kalk (SL). 2/3 av koldioxidemissionerna kommer från processen där kalkstenen bränns till kalciumoxid (Kiilsgaard, 2019).

För att framställa cement bränns kalciumoxid med sandsten tillsammans i en temperatur på ca 1450 grader Celsius för att sedan kylas ner av luften. 1/3 av koldioxidutsläppen i cementtillverkningen kommer från detta steg. Efter denna process har cementklinker framställts. Denna klinker mals ned tillsammans med gips. Kalksten, även kallat kalkfiller, kan även vara tillsatsämne som tillsätts receptet. Efter malningen har cement framställts (Kiilsgaard, 2019).

Den kemiska processen som sker när energi, i form av värme, tillförs kalkstenen är alltså följande:



Av de totala utsläppen för cement står den kemiska processen ovan för cirka 50 procent förbränning av fossila bränslen till processen för 40 procent och resterande 10 procent för drivmedel till brytning av stenmaterial samt transport (Timperley, 2018). Det finns olika siffror för klimatpåverkan vid cementklinker produktion, men intervallet 790 – 1060kg CO<sub>2</sub>e/ton producerad cementklinker är vanligt förekommande. Nyare metoder och anläggningar medför lägre utsläpp (Barcelo, et al., 2014).

Denna process har en naturlig förmåga att vara reversibel varför färdiga betongprodukter tar upp koldioxid genom karbonatiseringsprocessen. Hur stor mängd den tar upp beror på ett antal faktorer såsom exempelvis exponerad yta och mängden cement i betongen (Andersson, 2016).

### 2.5.1.2 Tillsatsmedel

Det finns många olika sorters tillsatsmedel i betong som kan tillsättas för att uppnå önskade egenskaper. De har gemensamt att de behövs i mycket liten mängd jämfört med den totala mängden betong, ofta under 1 promille av betongens totala vikt. De olika tillsatsmedlen och dess bidrag till betongens egenskaper presenteras nedan.

- Flytmedel/vattenreducerande medel: gör betongen mer lättflytande utan tillsats av mer vatten vilket gör den mer lätthanterlig. Detta är de absolut vanligaste tillsatsmedlen.
- Luftporbildande medel: har till uppgift att se till att rätt luftporstruktur bibehålls eller att skapa en fördelaktig luftporstruktur för bättre frostbeständighet.
- Retarder: används för att bromsa härdningsprocessen i betongen, exempelvis användbart vid långa transporter eller vid gjutning av tjocka konstruktioner där temperaturen annars riskerar att bli för hög.
- Accelerator: motsatsen till retarder, accelererar härdningsprocessen. Användbart om det t.ex. är kall temperatur (Engström & Örnescog, 2021).

Under tillsatsmedel kan även puzzolaner nämnas som presenteras lite längre fram i rapporten.

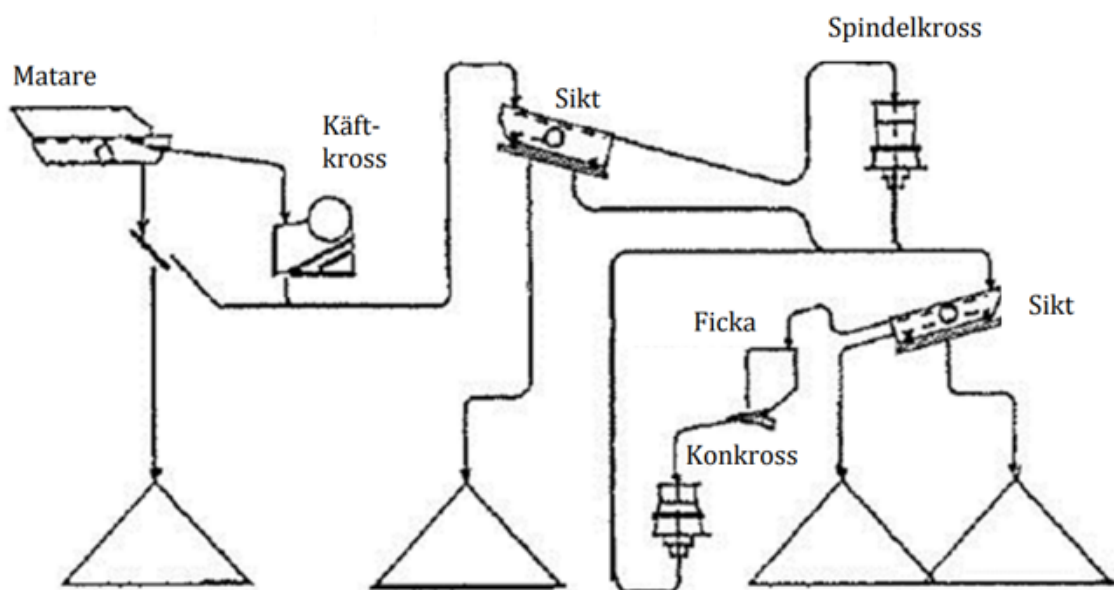
### 2.5.2 Bergmaterial

I princip alla nybyggnadsprojekt använder på något sätt krossat och sorterat bergmaterial. Exempelvis används det som dränerande lager under grunder eller, som tidigare nämnts, som ballast i betong. I Sverige erhålls bergmaterialet huvudsakligen i två olika typer av täkter, naturgrustäkter och bergtäkter. Naturgrus utvinns ofta ur rullstensåsar vilka uppstått till följd

av glaciärisar från den senaste istiden. I bergtäkter produceras materialet genom sprängning samt krossning. Sprängningsfasen startar med att en borrhög borrar flera hål i berget som sedan fylls med sprängmedel. Antalet hål och avståndet mellan de varierar med bergets hållfasthet, kross och sprickzoner samt hur fint material entreprenören vill producera. Sprängmedlen som används är NG (nitroglycerin), SME (emulsionssprängmedel) samt ANFO (ammoniumnitrat och diesel). SME är det vanligaste sprängmedlet eftersom det levereras i lastbil och pumpas ned i borrhålen precis innan sprängning. Alltså finns det inget behov att lagerhålla sprängämnet på plats, vilket är fördelaktigt ur både ekonomi och säkerhetssynpunkt.

Efter att losshållning (sprängning) är gjord skall materialet krossas. Detta steg börjar ofta med att så kallade skut, de största stenblocken, knackas sönder till mindre block med en hydraulhammare som är monterad på en grävmaskin.

Därefter transporteras materialet till krossmaskinen, oftast med hjälp av en hjullastare. I en krossmaskin finns upp till fyra olika krossmekanismer, se Figur 5, hur många som används beror på vilken typ av material som skall produceras. I krossmaskinen finns även sikt/sorteringsmekanismer som ser till att sortera materialet så att rätt fraktioner hamnar på rätt ställe. Generellt gäller att ju fler krossmekanismer som används desto finare material produceras och att det 3e och 4e stegen oftast bara används för tillverkning av ballast till betong och asfalt. Krossmaskiner kan vara både stationära och mobila. I Sverige är det vanligast med mobila eftersom det inte finns särskilt många stora täkter, sett ur ett internationellt perspektiv. I Figur 5 nedan redovisas hur ett krossverk opererar.



Figur 5, schematisk figur på en krossmaskin (Strokirk, 2019).

Beroende på hur mycket material ska krossas genereras olika mängder CO<sub>2</sub>e. Mekano levererar mobila krossverk med benämningen 1200-serien som kan producera mer än dubbelt så mycket material vid sortering 0/32 i jämförelse med 0/11 enligt, Tabell 2 (Mekano, u.å.). Det mobila krossverket måste vara i bruk längre vid mindre sorteringsstorlekar och således generera mer CO<sub>2</sub>e.

Tabell 2, Produktionstakt ton/h för mobila krossverk 1200-serien (Mekano, u.å.).

Sortering	GWP / (ton CO <sub>2</sub> e/h)
0/11	138
0/32	250

När materialet är färdigproducerat är det vanligt att den ballast som inte ska innehålla stenmjöl tvättas med vatten eller rengörs med hjälp av luft. Stenmjöl är mycket finkornigt stenmaterial. Efter tvätt lagras materialet till dess att en lastbil kommer och hämtar materialet för användning i byggbranschen. Lastbil är den absolut vanligaste metoden att transportera ballasten från täkt även om tåg och fartyg också förekommer i liten utsträckning (Strokirk, 2019).

Att gå igenom alla dessa steg i tillverkningen kräver stora mängder energi. I en fast anläggning är energibehovet för 1 ton material mellan 7-12 kWh vilket motsvarar utsläpp mellan 1,7 kg och 2.9 kg CO<sub>2</sub>e för dieseldrivna anläggningar. För eldrivna anläggningar motsvarar detta utsläpp på 0,18 kg respektive 0,31 kg CO<sub>2</sub>e baserat på svensk elmix. (Energimyndigheten, 2023) (Strokirk, 2019). Mobila anläggningar kräver ofta större mängd energi eftersom de oftare drivs med diesel än med direktel som fasta anläggningar lättare kan kopplas till. Energiåtgången varierar från täkt till täkt beroende på bergets beskaffenhet, status och underhåll på maskiner och mycket mer (Strokirk, 2019). Enligt en rapport av Gustafsson (2019, s.23) är detta dock inte nödvändigtvis sant då dessa värden pekar mot en total energianvändning om cirka 10 kWh/ton producerad ballast. Detta inkluderar även borring, sprängning samt transporter inom täkten. Enligt Gustafssons beräkningar och analys innebär detta ett genomsnittligt växthusgasutsläpp på 2,39 kg CO<sub>2</sub>e/ton producerad ballast (Gustafsson, 2019).

Efterbehandling av täkter är en viktig parameter som ska behandlas i ansökan som skickas in till relevant länsstyrelse om att öppna täkten. En täkt innebär ofta stora ingrepp på naturen men kan i många fall bidra till biologisk mångfald efter att täkten är stängd genom nyöppnade ytor. Det talas ofta om successiv efterbehandling vilket innebär att producenten/ägaren av täkten fyller igen exempelvis slänter så att det efterliknar existerande natur samt planterar växter som redan förekommer i närheten (Strokirk, 2019).

### 2.5.3 Asfalt

Asfalt består av ballast (krossat bergmaterial) och bitumen. Bitumen förekommer naturligt men används sällan i dagens produktion utan framställs från olja genom raffinering. Bitumen utgör viktmässigt endast 3-7 procent av asfalten och är avgörande för kompositmateriallets totala egenskaper. Det går att likna asfalt med armerad betong där stålet ger flexibilitet samt tolerans mot dragkrafter och cementen med ballasten klarar av stora tryckkrafter. Bitumen ger asfalten flexibilitet vilket gör att den klarar av långtidslaster bättre och bidrar till att asfalten kan forma sig efter de laster den utsätts för utan att brytas sönder. Ballasten klarar av stora tryckkrafter. Inom kategorin asfalt finns flera olika sorter och recept med differentierade egenskaper vad gäller bitumen och ballast som gör dem mer eller mindre lämpliga att använda i olika situationer (Chikho, 2021).

För att tillverka asfalt värms ballasten upp i ett asfaltverk av två anledningar. Dels för att torka den, dels för att den ska blandas bättre med bitumen till en homogenare massa. Bituminet värms också upp. Komponenterna blandas sedan samman, de håller då vanligtvis en temperatur på >120°C. Det finns även varianter som befinner sig i intervallet 50-120°C. År 2021 skedde uppvärmningen i hälften av Sveriges asfaltverk med bioolja och resterande del med eldningsolja.

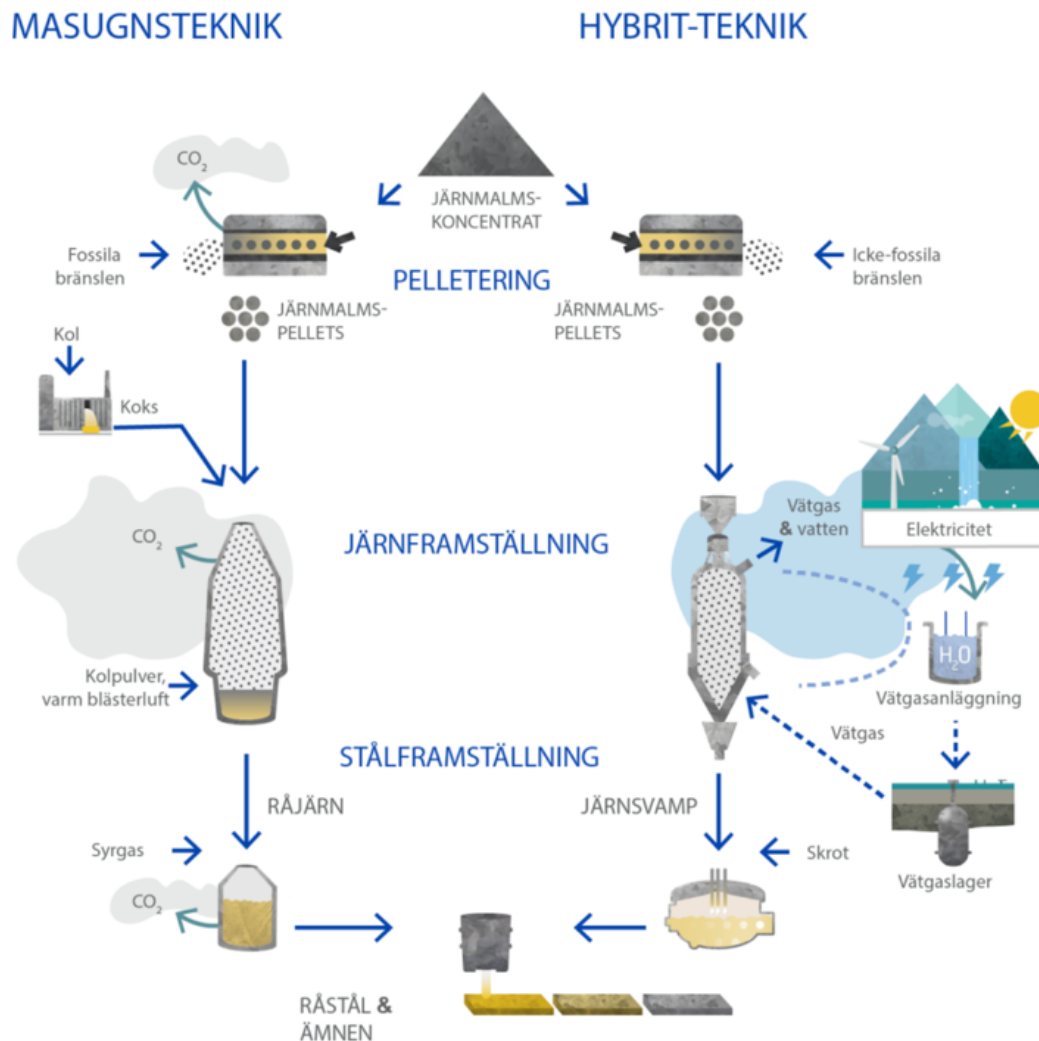
Enligt Pantze kan den enskilt största minskningen av miljöpåverkan uppnås genom att ersätta eldningsoljan med bioolja. Utöver detta går det att blanda i gammal återvunnen asfalt som frästs upp från vägar eller sänka temperaturen på den tillverkade asfalten (Pantze, et al., 2020).

#### 2.5.4 Stål

Stål är en benämning för diverse förädlade produkter tillverkade av järnmalm eller skrot. För att kalla materialet stål krävs att det är en legering av järn och kol men med max 2 procent kol. Högre andel kol innebär högre hållfasthet men lägre seghet och svetsbarhet. Densiteten för stål bestäms ofta till  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

För att framställa stål ingår två olika processer som kräver olika typer av anläggningar. Råjärn kallas materialet som tillverkas ur merparten järnmalm. Malmen utvinns ur gruvor som sedan krossas och hettas upp med hjälp av syrgas i en LD-konverter. Detta steg kallas färskning. Under färskning frigörs syre ur malmen och reagerar med kol eller kisel vilket gör att stora mängder energi frigörs. Detta skapar den nödvändiga temperaturhöjningen. Skrotbaserad ståltillverkning görs i ljusbågugnar vilket betyder att de endast använder elektricitet. För att tillverka stål med denna process krävs endast en femtedel av energin, räknat i kWh/ton, jämfört med tidigare beskriven process. I Sverige står denna process för cirka en tredjedel av allt producerat råstål. Resterande del, två tredjedelar, sker genom utvinning rakt ifrån järnmalmen. En annan process som är vanlig utanför Sverige är att tillverka stål genom järnsvamp. Detta innebär att syre avlägsnas ur järnmalmen med hjälp av koloxid och vätgas som framställts ur naturgas (Escobar-Jansson, 2019).

I skrivande stund sker försök i Gällivare för att producera helt fossilfritt stål ur järnmalm. Projektet kallas för HYBRIT och är ett samarbete mellan SSAB, LKAB och Vattenfall. Där skall i princip samma process ske som beskrivits ovan för järnmalm men skillnaden är att reduktionen, alltså när syret extraheras ur järnmalmen, inte drivs av eldningsmedel med kol eller andra fossila bränslen utan i stället av vätgas som tillverkats med fossilfri el. När denna process körs tillverkas järnsvamp som sedan kan smältas i ljusbågsugnar (Hybrit, u.å.). Illustration av processen redovisas i Figur 6.



Figur 6, Illustration av tillverkning från järnmalm till råstål (SSAB/Hybrit Development, u.å.).

### 2.5.5 Galvaniserat stål

Galvaniserat stål är ett samlingsnamn för två olika typer av förzinkade stålprodukter, kall- respektive varmförzinkning. Kallförzinkning innebär att en stålprodukt antingen målas med en färg som innehåller mycket zink eller sänks ner i en vattenlösning med zinksalt samt plattor av rent zink varpå det sedan tillförs elektricitet. Då skapas en beläggning på stålprodukten av zink. Metoden kallas även elektrolys eller elförzinkning. Varmförzinkning sker genom att stålprodukten noggrant rengörs och avfettas i flera steg för att sedan sänkas ner i ett bad av smält zink. Zinket har då en temperatur på cirka 450-460 °C. Efter detta kyls produkten ned i antingen vattenbad eller i luften. Förzinkning av tunnplåt sker oftast i en kontinuerlig produktionslinje där plåten passerar ugnar, zinkbad och zinktjockleksjusterare för att slutligen formatklippas eller upphaspling på rullar (Hirn, 2019).

De olika metoderna för galvanisering resulterar i olika tjocklek av zink, kallförzinkning <100µm och varmförzinkning >200µm, vilket även medför variation i skydd mot korrosion. Av denna anledning är varmförzinkning vanligast då detta ger ett skydd, om hanteringen är korrekt, mot korrosion i minst 50 år (Hirn, 2019).

Klimatpåverkan från varmförzinkning beror till stor del av två faktorer: andelen jungfruligt stål som används i processen samt zinkframställningen. Att framställa zink görs genom att bryta



malmen (sphalerit), krossa och anrika den samt lösa materialet i elektrolyt varpå man får ut zink (Hirn, 2019). Denna process är mycket energikrävande vilket tillsammans med galvaniseringsprocessen där både stora mängder naturgas och elektricitet används resulterar i att zinket har 3 gånger högre GWP-värde än stål. Därför ger galvaniseringen en märkbar skillnad i GWP-värde hos den slutliga produkten även om zinket bara utgör en liten del. Som tidigare nämnts varierar tjockleken av den påförda zinkbeläggningen, varför det också är rimligt att GWP-värdet varierar beroende på tjockleken av zinket (Kubar & Nyström, 2022).

## **2.6 Alternativa material och drivmedel**

### **2.6.1 Klimatförbättrad betong**

Genom att minska mängden cement i betongen minskas den huvudsakliga källan till klimatpåverkan. För att minska mängden cement i betong utan att nedkalla på fysiska egenskaper kan tillsatsämnen i form av puzzolaner tillsättas. I gruppen puzzolaner finns flygaska, masugnsslagg, vissa typer av brända leror samt vulkanisk aska. Puzzolaner reagerar likt cement med vatten och bidrar till en porstruktur som skapar god hållfasthet. Vid viss inblandning skapas en tätare porstruktur med högre beständighet och högre hållfasthet än i de fall med ren cement. Blir inblandningen av puzzolaner för hög riskerar dock resultatet bli negativt med dålig hållfasthet och beständighet. Det pågår forskning och utveckling i både näringslivet som institutionellt på området för att hitta den bästa inblandningen av puzzolaner ur ekonomisk och klimatmässig hållbarhet. Eftersom inte all cement går att ersätta kommer storskalig cementproduktion även vara en viktig del av framtiden, dock kan cementen göras klimatneutral med hjälp av CCS (Carbon Capture Storage) (Svensk & betong, 2022). En studie på Malmö Universitet visar att användning av klimatförbättrad betong i stommen till ett flerbostadshus kan minska klimatpåverkan med 35 procent (Khalil & Tokovic, 2022).

### **2.6.2 Återvunnet och återanvänt stål**

Att framställa stål av återvunnet skrot är enkelt på grund av skrotets magnetiska egenskap, där en magnet kan sortera ut skrotet från en större massa av blandat material. Stål är 100 procent återvinningsbart. I jämförelse med framställning av stål från råmaterialet malm minskar utsläppen med 75 procent (Celsa, u.å.).

### **2.6.3 Återvunnen asfalt**

Samtliga komponenter i asfaltmaterial är återvinningsbara och kan återanvändas i framställningen av nya asfaltbeläggningar. Returasfalt (RA) framstår som gynnsamt utifrån ekonomiska, miljömässiga och klimatmässiga perspektiv. Användningen av förnybara resurser, såsom råolja och naturgrus, som normalt används i asfaltblandningar, reduceras avsevärt. En integrering av 15 procent reutasfalt i asfaltblandningen resulterar i en minskning av koldioxidutsläppen med 13 procent (Chikho, 2021).

### **2.6.4 Limträ**

Limträ produceras genom att lameller av sågat och torkat trä limmas samman till önskade storlekar. Sågningen och torkningen sker på sågverk. Trä är en oändlig resurs eftersom det konstant genereras nya volymer trä ur den skog som växer. En av egenskaperna som kan beskrivas som problematisk för trä är att det är ett anisotrop material, dvs. olika egenskaper i olika riktningar. Detta gäller främst träets mekaniska egenskaper, som hållfasthet. Hållfastheten är som störst när laster verkar parallellt med fiberriktningen.

För att skapa raka limträelement används vanligtvis 45 mm tjocka lameller och för att skapa böjda element 33 mm tjocka lameller eftersom de är lättare att böja. I teorin skulle dessa kunna limmas ihop till oändligt stora tvärsnittshöjder men det klarar inte hyvlingmaskinerna. Martinssons levererar element med högst 1710 mm höga tvärsnitt. Bredden av elementen begränsas normalt efter tillgången på sågat virke som oftast är 215 mm. För att skapa bredare element är en vanlig teknik att skruvlimma ihop flera likadana element. Densiteten för trä vid industristandarden 12 procent fuktkvot är 468 kg/m<sup>3</sup> (Jansson & Erlbacher, 2023).

### 2.6.5 Krossverk

Vanligt förekommande är mobila krossverk som opererar med dieselaggregat som kraftkälla, emellertid existerar även alternativ där mobila krossverk kan anslutas till elnätet (ABB, 2022). Effektiviteten av sådana krossverk har redovisats av Adam Bergqvist, vilket visar att nyare modeller tenderar att vara mer produktiva (Bergqvist, 2017).

El-mixen för ett land beskriver hur och från vilka källor elektriciteten genereras. För Sveriges el-mix 2022 som presenterats av SCB framgår det att 69 procent av Sveriges el produceras från förnybara energikällor (SCB, 2023). I Sverige genererar 1 kWh ett utsläpp på 26 g CO<sub>2e</sub> på lokalnätetsnivå (Energimyndigheten, 2023). Framträder ett yngre krossverk som drivs av direkt elektricitet, förverkligas en optimal klimatprestanda. Under 2023 var snittpriset över året 0,592 kr/kWh enligt Vattenfall (Vattenfall, 2024).

### 2.6.6 Biodiesel – HVO

Utmaningarna för att nå en fossilfri transportsektor är många. Idag finns det en rad drivmedel som ersätter fossila bränslen så som ren HVO, fordonsgas och el (Energimyndigheten, 2022).

HVO var i princip obefintligt på marknaden 2010 och är ett förnybart drivmedel. Idag är drivmedlet den vanligaste biodieseln. Anledningen är att HVO går att använda i en befintlig dieselmotor. Sverige framställer HVO i form av tallolja och avfallsolja (Energimyndigheten, 2018). Dessa oljor hydrogeneseras för att bli till ett substitut för diesel (Mansikka, 2020). Frankrike, Tyskland, Sverige och Spanien är i skriften ordning de länder som konsumerar störst mängd HVO i Europa (EurObserv'ER, 2019).

Även om HVO är ett biodrivmedel och anses förnybart finns det också negativa aspekter med dess implementering i samhället. HVO kan framställas av palmolja vilket bidrar till en acceleration av regnskogskövlingen. Neste och Preem är två av de största producenterna av HVO i Sverige. I Sverige ska företag, sedan 2021, enligt hållbarhetsdeklarationen redovisa vad deras drivmedel är framställt på och ifrån vilket land komponenterna i drivmedlet härstammar. Så är inte fallet för alla länder. Med detta i åtanke kan alltså företag välja att använda den beskärda delen av palmolja i länder där redovisning inte är obligatoriskt (Gröna mobilister, 2023). Denna aspekt kommer inte att behandlas i rapporten.

Partikelutsläppen hos HVO är mindre i jämförelse med fossil diesel (Energimyndigheten, 2018). Den fossila koldioxiden som släpps ut vid HVO kan minskas upp till 90 procent i jämförelse med konventionell diesel (Mansikka, 2020). När 100 procent av diesel är utbytt mot HVO kallas det för HVO100 (Gustavsson Binder, 2022). Detta drivmedel släpper ut 0,357 kg CO<sub>2e</sub> per liter. Vilket kan sättas i relation till Diesel MK1 som genererar 2,4 kg CO<sub>2e</sub> per liter. Diesel MK1 innehåller 35,3 MJ/l. HVO100 innehåller 34 MJ/l (Energimyndigheten, 2023). Detta innebär att ett fordon som tankas med HVO100 kräver ca 4 procent mer bränsle i relation till Diesel MK1. Prisskillnaden för det klimatvänligare alternativet i jämförelse med diesel är

ca 1-5 kr dyrare. Variationen beror på hur reduktionsplikten förändrats, tillgång och efterfråga och Tysklands sanktionsavgifter kopplade till reduktionsplikten (Gustavsson Binder, 2022). Den 23 mars 2024 var dieselpriiset enligt Circle K 18,69 kr/l och HVO-priiset 21,84 kr/l. Drivmedlen diesel och HVO med respektive genererat utsläpp per liter och dess energiinnehåll presenteras nedan i Tabell 3.

Tabell 3, GWP och energiinnehåll i vanliga drivmedel.

Drivmedel	GWP / (kg CO <sub>2</sub> e / l)	Energiinnehåll/ (kWh/l)
Diesel MK1	2,36	9,81
HVO100	0,36	9,44

## 2.7 Projekt inom byggbranschens privata sektor

### 2.7.1 Byggprocessen

En byggprocess kan delas in i fyra olika faser: förstudie, projektering, genomförande och avslut (Byggfakta, u.å.).

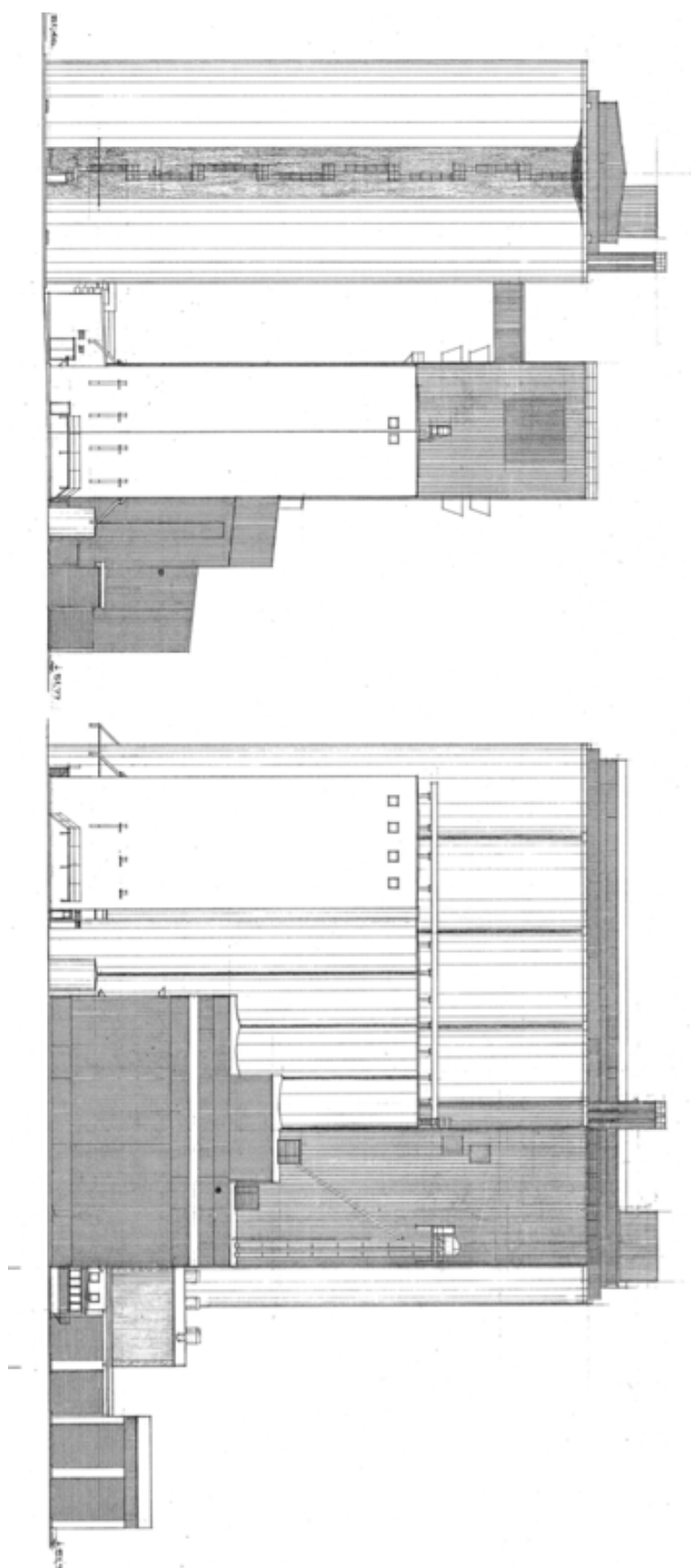
I en totalentreprenad handlar B upp E som sedan ansvarar för både projektering, genomförande och avslut. Således innebär detta att E ofta får mängda projektet och bestämma hur arbetet ska utföras i praktiken. För att fullfölja detta kan E ta in underentreprenörer. B anger vilka funktionskrav som finns för projektet med syftet att entreprenaden bland annat skall kunna estimera ett pris och göra en korrekt projektering. För totalentreprenad finns det ett branschgemensamt avtal vid namn ABT06 som ofta inkluderas i kontraktet med syfte att underlätta vid en eventuell tvist (Projektledning, 2019). För det projekt som studeras i denna rapport har E handlats upp på totalentreprenad.

I en utförandeentreprenad har B redan gjort förstudie och projektering innan upphandling. Således är E verksamma under genomförande och avslut. För denna upphandlingsform har E inte förfogandet att bestämma hur arbetet ska utformas eftersom B tidigare utfört projekteringen och sitter på funktionsansvaret. E har däremot krav på sig att arbetet utförs fackmannamässigt (Berg & Sundberg, 2017).

### 2.7.2 Referensobjekt, Sala

Lantmännen äger idag flertalet silo-anläggningar runt om i Sverige. Gemensamt har alla dessa anläggningar att de är uppförda innan 2000 talet och är konstruerade i betong. I Sala äger och förvaltar Lantmännen just en sådan. I mailkontakt med driftchefen på Sala-anläggningen, Anders Olby<sup>1</sup>, framkom det att den nya delen av anläggningen har en kapacitet på 30 000 ton. I originalkonstruktionsritningar framgår det att den nya delen av anläggningen byggdes 1979-1980. Vidare används även dessa ritningar för att mängda betongen. Antaganden görs baserade på att anläggningen skulle byggas i nutid. Exempel på fasadritning för Salaanläggningen visas i Figur 7. Övriga ritningar publiceras ej i denna rapport pga. sekretess.

<sup>1</sup> Anders Olby, Lantmännen, driftschef Sala siloanläggning



Figur 7, exempel på fasadritning för Sala-siloanläggning.

### 3. Resultat

I detta avsnitt presenteras de beräknade resultaten för klimatpåverkan av den planerade siloanläggningen i Uddevalla. Resultaten är något generaliserade, då arbetet med projekteringen pågår och det funnits svårigheter att ta fram underlag till examensarbetet avseende specificering av mängder för material och val av leverantörer. Detta på grund av att projekteringen är i ett tidigt stadiet och att E/B för vissa delar av projektet inte projekterat tillräckligt utförligt, valt leverantör, eller vilka material som ska ingå. Exempel på detta är specifik leverantör för olika produkter eller EPD:er för produkter av bestämd leverantör. Då detta varit fallet har data från Trafikverket, Boverket eller likvärdiga leverantörer använts. För elektronik har även uppskattningar gjorts av E i form av vikt, antal och procentandel av olika material för produkter.

Samtliga EPD:er och generisk data som presenteras har källhänvisats i Bilaga 1.

#### 3.1 Entreprenadmaskiner och schakt

Innan sprängning kommer ovanliggande material att schaktas bort av grävmaskiner. Därefter kommer grävmaskinerna att utföra arbete på anläggningen under byggskedet. En dumper kommer att användas för att flytta massor på området. En vält kommer att packa marken efter att massorna lagts ut. Information om modell, bränsleförbrukning och vikt har tagits fram för olika grävmaskiner, dumprar och vält. Ett medelvärde har sedan tagits fram för att estimerade genererade utsläppen.

Antaganden för beräkningar:

- Dennis<sup>2</sup> uppskattar att avtäckning av berg utförs under två veckor och utförs av två grävmaskiner som är 30-40 ton tunga. Samma maskiner används sedan i ett år under byggskedet.
- Dennis<sup>3</sup> uppskattar att en dumper kommer att användas i sex månader under byggfasen.
- Dennis<sup>4</sup> uppskattar att en vält kommer att användas under 4 månader.
- En entreprenadmaskin antas vara i bruk under 8h per dag, 40h per vecka och så vidare.

En sammanställning av klimatpåverkan för grävmaskiner vid avtäckning presenteras i Tabell 4. Tabell 5 presenterar grävmaskiners utsläpp under byggtiden och Tabell 6 presenterar värden dumpers utsläpp under byggtiden. Slutligen redovisas utsläppen för vält under byggtiden i Tabell 7. I tabellerna 4-7 nedan står förkortningarna för nedanstående:

M – modell

V – vikt

DF – dieselförbrukning

$GWP_D - GWP_{diesel}$

D – drifttid.

---

<sup>2</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

<sup>3</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

<sup>4</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

## Möjliga hållbarhetkliv i siloanläggningsprojekt – En vägledning för klimatsmarta val

Tabell 4, Märke och modell av grävmaskin med respektive bränsleförbrukning i diesel och HVO samt utsläpp för dessa under avtäckning av berg. Från Bilaga 1.

Märke	M	V/ ton	DF (l/h)	GWP <sub>D</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	GWP <sub>HVO</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	D /h	GWP <sub>D</sub> / ton CO <sub>2</sub> e	GWP <sub>HVO</sub> / ton CO <sub>2</sub> e
Volvo	EC 300	34	25,2	59,3	9,3	160	9,5	1,5
Liebherr	R934	35	18,5	43,5	6,6	160	7,0	1,1
Liebherr	R938	37	20,7	48,7	7,4	160	7,8	1,2
Caterpillar	336F	37	22,0	51,8	7,9	160	8,3	1,3
Medel		35,8	21,6	50,8	7,8		8,1	1,2

Tabell 5, genererad bränsleförbrukning och utsläpp för grävmaskiner under byggtiden. Från Bilaga 1.

Märke	M	V/ ton	DF (l/h)	GWP <sub>D</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	GWP <sub>HVO</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	D /h	GWP <sub>D</sub> / ton CO <sub>2</sub> e	GWP <sub>HVO</sub> / ton CO <sub>2</sub> e
Volvo	EC 300	34	25,2	59,3	9,3	3840	228	36
Liebherr	R934	35	18,5	43,5	6,6	3840	167	25
Liebherr	R938	37	20,7	48,7	7,4	3840	187	28
Caterpillar	336F	37	22,0	51,8	7,9	3840	199	30
Medel		35,8	21,6	50,8	7,8		195,2	29,9

Tabell 6, genererad bränsleförbrukning och utsläpp för dumpers under byggtiden. Från Bilaga 1.

Märke	M	V/ ton	DF (l/h)	GWP <sub>D</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	GWP <sub>HVO</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e /h)	D /h	GWP <sub>D</sub> / ton CO <sub>2</sub> e	GWP <sub>HVO</sub> / ton CO <sub>2</sub> e
Volvo	A25	25	19,4	45,7	7,2	960	44	7
Volvo	A30	30	21,9	51,7	8,1	960	50	8
Volvo	A35	35	26,1	61,5	9,7	960	59	9
Volvo	A40	40	31,4	73,9	11,6	960	71	11
Volvo	A45	45	31,2	73,4	11,6	960	70	11
Liebherr	TA230	25	15,1	35,5	5,6	960	34	5
Medel		33,3	24,2	56,9	9,0		54,7	8,6

Tabell 7, genererad bränsleförbrukning och utsläpp för vält under byggtiden. Från Bilaga 1.

Märke	M	V/ ton	DF (l/h)	GWP <sub>D</sub> / (kg CO <sub>2e</sub> /h)	GWP <sub>HVO</sub> / (kg CO <sub>2e</sub> /h)	D /h	GWP <sub>D</sub> / ton CO <sub>2e</sub>	GWP <sub>HVO</sub> / ton CO <sub>2e</sub>
Volvo	SD115	11	16,3	38,3	6,0	640	25	4
Caterpillar	CP56 B	11,6	14	33,0	5,2	640	21	3
Medel		11,3	15,1	35,6	5,6		22,8	3,6

### 3.1.1 Kostnadseffektivitet

För att kunna bedöma hur effektiv åtgärden att byta ut diesel mot HVO är ur ett kostnadsperspektiv har en kostnadsanalys gjorts. Kostnadseffektiviteten för diesel och HVO har jämförts med respektive generell kostnad för drivmedlet. Därefter har kostnaden för insparat ton CO<sub>2e</sub> beräknats. Beräkningarna visar att kostnaden för ett insparat ton CO<sub>2e</sub> är ca 2000kr. Detta redovisas nedan i Tabell 8.

Tabell 8, åtgång, kostnad och krona/klimatbesparing för olika drivmedel för entreprenadmaskiner.

Maskintyp	Diesel / l	Kostnad / kr	HVO / l	Kostnad / kr	Extra kostnad / kr	Effektivitet / (kr/sparat ton CO <sub>2e</sub> )
Grävmaskiner	86300	1612943	89599	1956852	343909	1998
Dumper	23204	433686	24091	526156	92470	2008
Vält	9682	180957	10052	219541	38583	2008

## 3.2 Bergkrossning - process

För ballast och krossprodukter finns EPDer från flertalet producenter som skulle kunna användas i detta projekt. Denna del är dock baserad på Gustafssons rapport där energier och utsläpp för olika steg i processen redovisas, vilket möjliggör förslag till åtgärder för Frölandprojektet (Gustafsson, 2019). De steg som redovisas är: borrhning, sprängning, skutknackning, olika krossteg för att producera olika dimensioner på ballasten samt transporter inom tälkten. Maskinanvändningen och arbetssättet liknar till stor del det som kommer tillämpas i Uddevalla projektet.

I Tabell 9 redovisas genererade utsläpp för olika delprocesser som studerades i Eker bergtäkt.

Tabell 9, GWP /kg CO<sub>2</sub>e per processteg i Eker bergtäkt presenterad av (Gustafsson, 2019)

Resultat för Eker bergtäkt	
Delprocesser	GWP/ton CO <sub>2</sub> e
Producerad mängd	223 172
Allmän el	1041
Borrning	9055
Sprängmedel	10 364
Skutknackning	11 430
Krossteg 1	56 398
Krossteg 2	87 025
Krossteg 3	111 884
Transport i täkt till steg 1	145 545
Transport i täkt till steg 2	53 851
Transport i täkt till steg 3	47 840
Kg CO <sub>2</sub> e / ton bergprodukt	2,39

Efter möte med Ulf Håkansson<sup>5</sup> bestämdes den mängd berg som skall sprängas och krossas till 17 300 m<sup>3</sup>. Antagen densitet är 3 ton/m<sup>3</sup>. Fördelningen av andelen material över de olika krosstegen antas vara densamma på Fröland som i Gustafssons rapport vilka kan ses i Tabell 10 nedan där 100 procent går igenom det första krossteget, 84 procent går igenom det andra och 50 procent går igenom det sista.

Tabell 10, fördelning över olika krossteg i Eker bergtäkt (Gustafsson, 2019).

Fördelning över olika krossteg i Eker bergtäkt		
Krossteg 1	223172 ton	100 %
Krossteg 2	186437 ton	84 %
Krossteg 3	112443 ton	50 %

För att beräkna kg CO<sub>2</sub>e per ton stenmaterial under en viss del av processen användes värden i Tabell 9 och dividerades med den totala producerade mängden i bergtäckten, som redovisas i Tabell 10. Exempelvis beräknades utsläpp relaterade till borrning enligt Ekvation 1:

Ekvation 1, kg CO<sub>2</sub>e per ton krossat bergmaterial.

$$\frac{GWP_{borrning}}{\text{producerad mängd ballast}} = \frac{9055}{223172} = 0,041 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{ton ballast}}$$

Antaganden för beräkning av siffror i tabell 12:

- Mängden förbrukad diesel, HVO och el beräknades genom att använda värden ur Tabell 3.
- För att beräkna hypotetisk förbrukad el om krossverken drivs av direktel istället för generatorer används en antagen verkningsgrad om 35 procent för generatorerna (Alfredson & Swenson, 2017). För elmotorerna används verkningsgraden 85 procent (Demirel, 2014).

<sup>5</sup> Ulf Håkansson, konsult entreprenadkonsult i Mälardalen AB



- Enligt Dennis<sup>6</sup> kommer uppskattningsvis hälften av det sprängda bergmaterialet att transporteras bort från anläggningen och den andra hälften kommer användas för att jämna ut marknivåer, som grundstabilisering under asfalt eller under platta på mark. Om samtliga projekt antas göra en LCA kommer den delen av berget som transporteras bort från anläggningen att räknas med i en LCA för ett annat projekt. Därför allokeras endast halva mängden krossat bergmaterial till detta projekt, alltså 8650 m<sup>3</sup>.

I Tabell 11 redovisas genererade utsläpp av CO<sub>2</sub>e för processen där ballast framställs genom krossningsprocessen.

Tabell 11, utsläpp för ballast/bergprodukter.

Process	Volym / m <sup>3</sup>	Mängd / ton	GWP <sub>D</sub> / (kg CO <sub>2</sub> e/ ton ballast)	GWP <sub>D</sub> / ton CO <sub>2</sub> e	DF / 1	GWP <sub>HVO</sub> / ton CO <sub>2</sub> e	El / kWh	GWP <sub>el</sub> / ton CO <sub>2</sub> e
Borring	8650	25950	0,041	1,1	447	0,16	-	-
Sprängmedel	8650	25950	0,046	1,2	-	1,2	-	-
Skutknackning	8650	25950	0,051	1,3	564	0,20	-	-
Krossteg 1	8650	25950	0,253	6,6	2783	0,99	11238	0,3
Krossteg 2	7226	21679	0,390	8,5	3588	1,28	14487	0,4
Krossteg 3	4358	13075	0,501	6,6	2782	0,99	11233	0,3
Transport krossteg 1	8650	25950	0,652	16,9	7183	2,56	-	-
Transport krossteg 2	7226	21679	0,241	5,2	2220	0,79	-	-
Transport krossteg 3	4358	13075	0,214	2,8	1190	0,42	-	-
Summa:			2,390	50,1	20758	8,6	-	-

I tidigare EPD:er publicerade av Skanska ligger utsläppen för ballastproduktion (A1-A3) mellan 0,952 och 4,00 kg CO<sub>2</sub>e /ton (Skanska, 2023) (Skanska, 2024). Detta bekräftar att de antaganden som gjorts i detta arbete och resultatet som redovisas är rimliga.

### 3.2.1 Kostnadseffektivitet

Nedan presenteras två case, ett case där diesel ersätts med HVO i maskiner och generatorer till krossverk och ett annat där diesel ersätts med HVO i maskiner och krossverken istället drivs på direkt el. Dessutom presenteras nutidskostnader (2024-03-15) för detta.

<sup>6</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

Antaganden för vidare beräkningar:

- Enligt konsumenternas energimarknadsbyrå var medelpriset för en kWh i elområde 3 (som Uddevalla ligger i) 59,2 öre/kWh (Energimarknadsbyrå, 2024-02-29).
- Hänsyn tas ej till eventuella extra kostnader för framdragning av el till arbetsplatsen då detta ändå bör dras fram.
- Priset på HVO och diesel var den 15 Mars 2024 21,84 kr/l respektive 18,69 kr/l (CircleK, 2024-03-15). Detta pris tar inte hänsyn till eventuella företagspriser eller leveranskostnader.
- I detta fall används svensk-elmix. Utsläpp för svensk el-mix, diesel och HVO hittas i Tabell 3.

Nedan i Tabell 12 redovisas olika scenarier för hur krossverket kan drivas. Diesel, HVO, el samt en blandning av HVO och el har undersökts. Därefter har en kostnadsanalys för de olika alternativen redovisats längst till höger i tabellen. Kostnadsanalysen redovisas i kronor per besparat ton CO<sub>2e</sub> för åtgärden.

Tabell 12, kostnad per sparad ton CO<sub>2e</sub> för olika energikällor.

Energikälla	Förbrukning	Kostnad per volym energi	Total kostnad / kr	Extra kostnad/ kr	Besparing GWP/ CO <sub>2e</sub> ton	Kostnad/ (kr / ton CO <sub>2e</sub> )
Diesel	20758 l	18,69 kr/l	387964	-	-	-
HVO	21552 l	21,84 kr/l	470686	82721	41,5	1994
El	36959 kWh	0,592 kr/kWh	21879,6	-149203	20,6	-7241
HVO + el	155095 kWh		285004	-102960	43,8	-2351

Det framgår av Tabell 12 att en uppkoppling av krossverket på elätet minskar både utsläppen av CO<sub>2e</sub> och kostnaden. Dessutom påvisar Tabell 12 att ett byte till el i krossverket och HVO i övriga maskiner minskar både utsläppen av CO<sub>2e</sub> och kostnaden.

### 3.3 Asfalt

I möte med Dennis Johansson<sup>7</sup> framkom att i förfrågningsunderlaget som skickats ut till entreprenörer skall asfalten dimensioneras för en tågvikt om 74 ton och en frekvens om 80 fordon per dygn. Med hjälp av Sven Agardh<sup>8</sup> beräknades detta till 2 336 000 standardaxlar per år. Enligt Sven är Trafikverkets standardmetod för dimensionering inte optimal för denna typ av anläggning eftersom hastigheterna är låga och långtidslasterna i stället är dominerande. Standardmetoden bygger på att förhindra sprickor, vilka troligare uppstår när hastigheterna är höga. I detta fall är deformationer det största problemet pga. långtidslasterna vilket gör att asfalten bör vara så styv som möjligt. En trolig konstruktion enligt Sven skulle då kunna vara följande: från botten till toppen:

- 40 mm AG-16 (asfaltgrus)
- 40 mm ABB-16 (asfaltbetongbindlager)
- 40 mm ABS-16 (asfaltbetongstenrik)

<sup>7</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

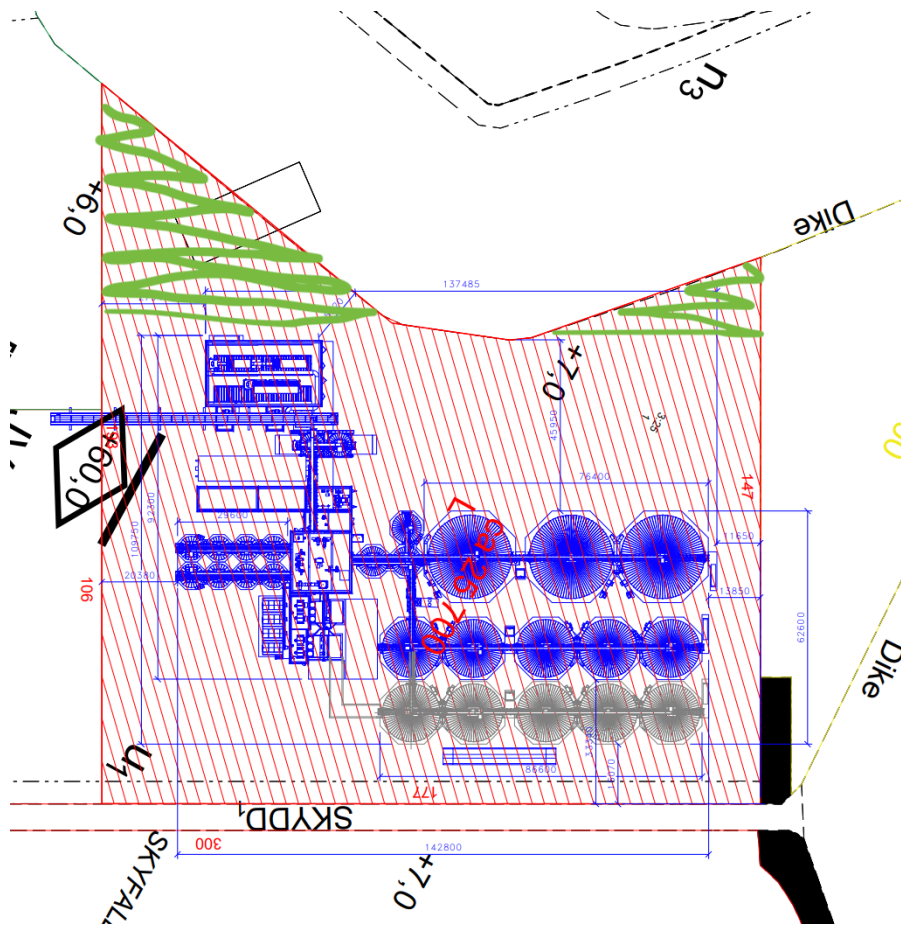
<sup>8</sup> Sven Agardh, Universitetslektor vägteknik, Lunds tekniska högskola, 11/3 - 2024

En tänkbar lösning skulle enligt Sven kunna vara att denna konstruktion endast används i de stråk som oftast trafikeras och att man på övriga ytor använder en tunnare beläggning eller annan typ av beläggning, exempelvis endast grus. Den tunnast accepterade tjockleken av asfalt är 45 mm enligt Sven. En annan tänkbar lösning är gräsarmeringsplattor av betong.

Antaganden för vidare beräkningar:

- Densiteten antogs till 2,4 ton/m<sup>3</sup> (Veidekke, 2024).
- Lastbilar med asfalt lastar 30 ton (Svensson, et al., 2005)
- Lastbilars genomsnittliga utsläpp av CO<sub>2</sub>e är 0,82 kg/km, se mer under rubriken lastbilar.
- Avståndet från NCCs asfaltverk på Glimmingen i Uddevalla till Fröland är 12 km
- Avståndet för de andra leverantörerna antas till 50 km enligt trafikverkets klimatkalkyl 7.0
- För utläggningsarbete (A5) antas värdet 0,81 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> från trafikverkets klimatkalkyl 7.0 (120 mm utläggningsarbete)
- För klimatavtryck A1-A3 används specifika EPD värden. För trafikverket valdes ”bitumenbundna lager 120 mm” i klimatkalkyl 7.0.
- Olika varianter av samma asfaltstyp, alltså exempelvis ABS – 16 och ABT – 11 antas ha motsvarande egenskaper och ingen betydande skillnad i klimatpåverkan.

För tomten uppskattas en maximal asfalterad yta bli 16 256 m<sup>2</sup>, se Figur 8. Denna yta kallas ”Hela ytan” i Tabell 13 till Tabell 17. Minimeras den asfalterade ytan genom att asfaltera de grönmarkerade ytorna i Figur 8 med tunnare asfalt, 45 mm ABT, uppskattas den asfalterade ytan till 13 181 m<sup>2</sup> med full tjocklek samt 3075 m<sup>2</sup> med tunnare asfalt. Denna yta kallas ”Mindre yta” i Tabell 13 till Tabell 17. Den mindre ytan illustreras nedan i Figur 8 som de två gröna ytorna högst upp i figuren.



Figur 8, ritning från Tornum som illustrerar en översikt på tomten och anläggningen. Grönmarkerad area indikerar yta som potentiellt kan beläggas med en tunnare asfalt.

I Tabell 13 redovisas de mängder för AG, ABB och ABT för hela ytan och den mindre ytan. Hela ytan och mindre ytan förkortas HY respektive MY. Totala vikten i ton redovisas slutligen.

Tabell 13, två olika case, hela ytan: asfalteras med full tjocklek, mindre delar: asfalteras delvis med tunnare asfalt samt total mängd av olika asfalter för dessa case.

Case	Mängd AG / ton	Mängd ABB / ton	Mängd ABT / ton	Total vikt / ton
Hela ytan	1561	1561	1561	4682
Mindre delar	1265	1265	1265	3796

I Tabell 14 redovisas de genererade CO<sub>2</sub>e baserat på en EPD från NCC.

Möjliga hållbarhetkliv i siloanläggningsprojekt – En vägledning för klimatsmarta val

Tabell 14, tre olika asfaltstyper från NCC och deras respektive klimatpåverkan.

Fabrikat	Typ	GWP A1-A3 / (kg CO <sub>2</sub> e /ton asfalt)	GWP A4 HY / ton CO <sub>2</sub> e	GWP A4 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 Hela ytan/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP HY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP MY/ ton CO <sub>2</sub> e
NCC	AG - 16	20	3,1	2,5	13	11	47	39
NCC	ABB - 16	20	3,1	2,5	13	11	47	39
NCC	ABS - 16	28	3,1	2,5	13	11	60	53
<b>Summa</b>							155	131

I Tabell 15 redovisas de genererade CO<sub>2</sub>e baserat på en EPD-underlag från PEAB.

Tabell 15, tre olika asfaltstyper från PEAB och deras respektive klimatpåverkan.

Fabrikat	Typ	GWP A1-A3 / (kg CO <sub>2</sub> e /ton asfalt)	GWP A4 HY / ton CO <sub>2</sub> e	GWP A4 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 Hela ytan/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP HY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP MY/ ton CO <sub>2</sub> e
PEAB	AG - 16	26,2	6	5	13	11	60	49
PEAB	ABB - 22	27,5	6	5	13	11	62	51
PEAB	ABS - 11	34,3	6	5	13	11	73	64
<b>Summa</b>							196	164

I Tabell 16 redovisas de genererade CO<sub>2</sub>e baserat på en EPD-underlag från Skanska.

Tabell 16, tre olika asfaltstyper från Skanska och deras respektive klimatpåverkan.

Fabrikat	Typ	GWP A1-A3 / (kg CO <sub>2</sub> e /ton asfalt)	GWP A4 HY / ton CO <sub>2</sub> e	GWP A4 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 HY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP A5 MY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP HY/ ton CO <sub>2</sub> e	GWP MY/ ton CO <sub>2</sub> e
Skanska	AG - 16	16,9	6	5	13	11	46	37
Skanska	ABB - 100	17,5	6	5	13	11	47	38
Skanska	ABS	12,3	6	5	13	11	39	33
<b>Summa</b>							131	109

En sammanställning för den totala klimatpåverkan har gjorts baserat på om hela eller delar av ytan asfalterats. EPD:er för olika leverantörer har sammanställts där besparingen vid asfaltering av delar av ytan har redovisats. Resultatet har sammanställts nedan i Tabell 17.

Tabell 17, genererade CO<sub>2</sub>e för olika indelning av ytan baserat på tre olika asfaltleverantörer samt Trafikverket.

Fabrikör	GWP HY / ton CO <sub>2</sub> e	GWP MY / ton CO <sub>2</sub> e	GWP besparing / ton CO <sub>2</sub> e
NCC	155	131	24
PEAB	196	164	32
SKANSKA	131	109	23
Trafikverket	254	206	48

### 3.3.1 Kostnadseffektivitet

För att beräkna kostnadseffektiviteten användes dels trafikverket som “baslinje” dels ett medelvärde av de 3 aktörer som presenterats innan. Entreprenören som lämnat anbud har angivit att de kan erbjuda en kolsänka men det är oklart hur stor denna kan tänkas vara varför 0 ton CO<sub>2</sub>e har använts i Tabell 18. Entreprenörens erbjuder sig att genomföra arbetet med klimatförbättrad asfalt för ett pris av 900 000kr. Totalpriset för asfaltsentreprenaden uppges till 4 msek. Med hjälp av denna kostnad beräknades besparingen då delar av ytan asfalteras tunnare samt den klimatförbättrade asfalten använts. Eventuella fasta kostnader i detta pris såsom exempelvis etableringskostnader tas ej hänsyn till då dessa är okända. Kostnaden för att spara in 1 ton CO<sub>2</sub>e för de två olika asfaltsytorna har sammanställts i Tabell 18 baserat på dels Trafikverket dels ett medelvärde av NCCs, Skanskas och PEABs EPD:er för asfalt.

Tabell 18, klimatbesparingar ton CO<sub>2</sub>e och ekonomiska kostnader för detta.

Förslag	GWP, entreprenörs erbjudande / ton CO <sub>2</sub> e	Referensvärdets ursprung	GWP besparing / CO <sub>2</sub> e ton	Extra kostnad / kr	Extra kostnad / (kr / ton CO <sub>2</sub> e)
Hela ytan	0	Trafikverket	254	900000	3549
Delyta	0	Trafikverket	206	900000	1272
Hela ytan	0	Medelvärde	161	900000	5599
Delyta	0	Medelvärde	135	900000	1942

## 3.4 Betong & armering

Betong och dess innehållande armering används i anläggningen som grundplatta mellan mark och anläggning. Det finns även en mindre källare där betongväggar ska gjutas.

Antaganden för vidare beräkningar:

- I möte med både Dennis Johansson<sup>9</sup> och Ulf Håkansson<sup>10</sup> har mängden betong fastställts till 6000 m<sup>3</sup>.

<sup>9</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 11/3 - 2024

<sup>10</sup> Ulf Håkansson, konsult entreprenadkonsult i Mälardalen AB

- I möte med Ulf Håkansson<sup>11</sup> konstaterades att den betong som troligtvis kommer användas är en C30/37 med anläggningscement. Senare kom det in ett anbud på C32/40 som också är inkluderat nedan.
- I Boverkets klimatdatabas fanns ingen anläggningsbetong varför detta inte redovisas.
- I en rapport av Stanley Ugochukwu mfl. konstateras det att mängden armering i betongplattor och fundament enligt experter och tidigare rapporter varierar mellan cirka 80 – 130 kg/ m<sup>3</sup> (Ugochukwu, et al., 2020). I denna rapport används värdet 100 kg/ m<sup>3</sup>.

Genererade utsläpp för armering har sammanställts baserat på EPD:er från fyra leverantörer i Tabell 19 och generisk data från Trafikverket i Tabell 20.

Tabell 19, EPD:er för armering.

Ursprung	GWP A1-A5/ kg CO <sub>2</sub> e	Material / ton	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Celsa	445	600	267
BE group	428	600	257
qTata Group	2727	600	1636
CMC	707	600	424

Tabell 20, Generisk data för armering. Från Bilaga 1.

Ursprung	GWP A1-A5 / kg CO <sub>2</sub> e	Material / ton	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Boverket	825	600	495

Genererade utsläpp av CO<sub>2</sub>e för betong baserat på EPD:er redovisas i Tabell 21.

Tabell 21, EPD:er för olika leverantörers betong enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Mängd / m <sup>3</sup>	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Swerock	Anläggningsbetong	6000	229	1373
Sydsten	C30/37 anläggning	6000	265	1590
Skanska	Anläggning, ej klimatförbättrad	6000	316	1893
Skanska	Anläggning, grön btg C32/40	6000	249	1491
Thomas betong	Anläggning C30/37	6000	232	1393

### 3.4.1 Klimateffektivitet

Likt tidigare avsnitt görs en kostnadsanalys av åtgärden att byta betong. Från förfrågningsunderlaget har ett svar inkommit för byte av betong till ett klimatsmartare alternativ. För denna betong anges att besparingen är 472 ton CO<sub>2</sub>e jämfört med branschstandard och priset är 500 000 kr, alltså 1059 kr/ton CO<sub>2</sub>e besparing. Vilket GWP-värde som är branschstandard framgår inte.

<sup>11</sup> Ulf Håkansson, konsult entreprenadkonsult i Mälardalen AB

## 3.5 Lastbilar

I denna rapport har två scenarion beräknats. Det första scenariot är för transporten av galvaniserat stål som bygger upp siloväggarna från Zaragoza till Uddevalla. Den andra är transporten av de massor som schaktas bort innan sprängning från arbetsplatsen till en lokaltipp.

### 3.5.1 Zaragoza - Uddevalla

Antaganden för beräkningar:

- För transportsträckor har l/km använts som enhet vid beräkning av genererade CO<sub>2e</sub>.
- Enligt Trafikverket förbrukar en lastbil i snitt 3,4 kWh/km (Lindbohm & Selin, 2023).
- Endast den transport för att leverera ståldelar till silor från Zaragoza till Uddevalla är inkluderad i beräkningarna nedan.
- Avståndet från Zaragoza till Uddevalla är 2700 km.
- För att ta sig från Spanien passerar rimligen Frankrike och Tyskland för att sedan anlända i Sverige. Eftersom länderna är de största konsumenterna av HVO i Europa antas tankställen med HVO finnas tillgängligt längs hela transportvägen.
- Lastbilarna antas transportera annat gods på tillbakavägen, varpå denna sträcka exkluderas i följande beräkningar.
- 49 lastbilar kommer att köra från Zaragoza till Uddevalla<sup>12</sup>.

I Tabell 22 redovisas indata för diesel omfattande kWh/km, kWh/l och kg CO<sub>2e</sub>/l

Tabell 22, Indata för transport med diesel MK1 från Bilaga 1.

			Källa
Energianvändning per kilometer /(kWh/km)	per	3,4	Trafikverket
Energiinnehåll /(kWh/l)	per liter	9,81	Energimyndigheten
GWP/(kg CO <sub>2e</sub> /l)		2,356	Energimyndigheten

I Ekvation 2 och Ekvation 3 nedan beräknas genererade CO<sub>2e</sub> om en lastbil drivs på diesel på en sträcka av 1 km.

Ekvation 2, bränsleförbrukning för diesel i l/km.

$$\begin{aligned} \text{Dieselförbrukning per kilometer} &= \frac{\text{Energianvändning per kilometer}}{\text{Energiinnehåll per liter}} = \frac{3,4 \text{ kWh/km}}{9,8 \text{ kWh/l}} \\ &= 0,35 \text{ l/km} \end{aligned}$$

Ekvation 3, genererade kg CO<sub>2e</sub> per kilometer vid användning av diesel mk1 som drivmedel.

$$\begin{aligned} GWP_{\text{diesel}} &= GWP \text{ per liter} \cdot \text{dieselförbrukning per kilometer} = 2,356 \cdot 0,35 \\ &= 0,82 \text{ kg CO}_2\text{e/km} \end{aligned}$$

Totala utsläpp för transport med diesel MK1 som bränsle beräknas nedan i ekvation 4:

<sup>12</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 25/3 - 2024



Ekvation 4, Totalt utsläpp av CO<sub>2</sub>e vid transport med diesel som bränsle.

$$GWP_{transporter,diesel} = \text{utsläpp per kilometer} \cdot \text{total sträcka} \cdot \text{antal lastbilar} \\ = 0,82 \cdot 2700 \cdot 49 = 108 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

I Tabell 23 redovisas indata för HVO100 omfattande kWh/km, kWh/l och kg CO<sub>2</sub>e/l.

Tabell 23, Indata för transport med HVO100 från Bilaga 1.

Förbrukning, GWP			Källa
Energianvändning per kilometer /(kWh/km)	per	3,4	Trafikverket
Energiinnehåll /(kWh/l)	per liter	9,44	Energimyndigheten
GWP/(kg CO <sub>2</sub> e /l)		0,357	Energimyndigheten

I ekvation 5 och ekvation 6 nedan beräknas genererade CO<sub>2</sub>e om en lastbil drivs på HVO på en sträcka av 1 km.

Ekvation 5, bränsleförbrukning för HVO i l/km.

$$HVO\text{förbrukning per kilometer} = \frac{\text{Energianvändning per kilometer}}{\text{Energiinnehåll per liter}} = \frac{3,4 \text{ kWh/km}}{9,4 \text{ kWh/l}} \\ = 0,36 \text{ l/km}$$

Ekvation 6, genererade kg CO<sub>2</sub>e per kilometer vid användning av HVO som drivmedel.

$$GWP_{HVO} = GWP \text{ per liter} \cdot HVO\text{förbrukning per kilometer} = 0,35 \cdot 0,36 \\ = 0,13 \text{ kg CO}_2\text{e/km}$$

Totala utsläpp för transport med HVO som bränsle beräknas nedan i Ekvation 4:

Ekvation 4, Totalt utsläpp av CO<sub>2</sub>e vid transport med HVO som bränsle.

$$GWP_{transporter,HVO} = \text{Utsläpp per kilometer} \cdot \text{total sträcka} \cdot \text{antal lastbilar} \\ = 0,13 \cdot 2700 \cdot 49 = 17 \text{ ton CO}_2\text{e}$$

### 3.5.1.1 Kostnadseffektivitet

Nedan i Tabell 24 beräknas kostnadseffektiviteten för ett byte från diesel till HVO. Det framgår i tabellen att åtgärden kostar ca 2000kr per insparat ton CO<sub>2</sub>e.

Tabell 24, åtgång, kostnad och krona/klimatbesparing för olika drivmedel för lastbilstransporter från Spanien.

Drivmedel	Förbrukning / l	Kostnad / (kr/l)	Totalkostnad / kr	GWP besparing / ton CO <sub>2</sub> e	Kostnad / (kr / ton)
Diesel	45874	18,69	857385	0	NA
HVO	47628	21,84	1040196	91	2007

Genom att använda drivmedlet HVO100 under transporten från Spanien till Uddevalla minskar CO<sub>2e</sub> med 91 ton. Åtgärden medför en kostnad av 2007 kr/ton och uppgår till en total kostnad av ca 183 000kr.

### 3.5.2 Arbetsplats – Lokaltipp

Antaganden för beräkningar:

- Enligt Trafikverket förbrukar en lastbil i snitt 3,4 kWh/km (Lindbohm & Selin, 2023)
- Bränsleförbrukning är då 0,35 l/km och 0,36 l/km för diesel respektive HVO.
- Avståndet från arbetsplatsen till lokaltippen antas till 25 km enkelväg, 50 km dubbla vägar.
- Antagen lastvikt är 17 ton.
- 1 kubikmeter schaktmassor väger 2,5 ton.

kg CO<sub>2e</sub> /l för diesel och HVO har tidigare redovisats i Tabell 22 & Tabell 23. Nedan redovisas genererade CO<sub>2e</sub> för transporter med drivmedlet diesel i Tabell 25. I Tabell 26 redovisas genererade CO<sub>2e</sub> för transporter med HVO.

Tabell 25, ton CO<sub>2e</sub> genererade av transporter med drivmedlet diesel, enligt Bilaga 1.

Fall 1, diesel	
Massor / m <sup>3</sup>	6000
Vikt / ton	15000
Antal lastbilar / st	882
Sträcka / km	44118
Bränsleförbrukning / l	15297
GWP / ton CO <sub>2e</sub>	36

Tabell 26, ton CO<sub>2e</sub> genererade av transporter med drivmedlet HVO, enligt Bilaga 1.

Fall 2, HVO	
Massor / m <sup>3</sup>	6000
Vikt / ton	15000
Antal lastbilar / st	882
Sträcka / km	44118
Bränsleförbrukning / l	15882
GWP / ton CO <sub>2e</sub>	5,67

### 3.5.2.1 Kostnadseffektivitet

Genom att byta ut drivmedlet från diesel visar resultatet ovan att en stor del av det totala utsläppet för entreprenadmaskiner kan reduceras. Det är av intresse för både E och B att sätta detta i relation till en potentiell förändring i kostnader. Insparat ton CO<sub>2e</sub> vid byte från diesel till HVO för transporter av schaktmassor redovisas nedan i Tabell 27.

Tabell 27, åtgång, kostnad och krona/klimatbesparing för olika drivmedel för lokala lastbilstransporter (schaktmassor).

Drivmedel	Förbrukning / l	Kostnad / (kr/l)	Totalkostnad / kr	Besparing / ton CO <sub>2e</sub>	Kostnad / (kr/ton CO <sub>2e</sub> )
Diesel	15297	18,69	285909	0	NA
HVO	15882	21,84	346871	30	2007

Genom att använda HVO som drivmedel under transporten minskar CO<sub>2e</sub> med ca 30 ton. Åtgärden medför en kostnad av 2007 kr/ton och uppgår till en total kostnad av ca 61 000 kr.

## 3.6 Förzinkat stål - silo

Generellt består allt utvändigt stål i anläggningen av galvaniserat/förzinkat stål. Leverantören av det förzinkade stålet är Simeza. EPD:er från leverantören har inte erhållits under arbetets gång, varpå alternativa leverantörer redovisas nedan i Tabell 28. Det är inte specificerat att leverantörerna nedan tillverkar just silor, endast att de tillverkar förzinkad plåt. Enligt Carl-Otto Knopp<sup>13</sup> uppgår den totala mängden förzinkat stål till 640 ton. I Tabell 29 redovisas även Boverkets generiska data av CO<sub>2e</sub> för galvaniserade stålprodukter. Det ska tilläggas att Boverket har sammanställt ett värde för många olika sorters galvaniserade stålprodukter. Vilket kan vara anledningen till att CO<sub>2e</sub> i den generiska datan var upp emot tre gånger så stor.

Tabell 28, EPD:er för förzinkat stål från bilaga 1.

Tillverkare	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2e</sub> / ton material)	Material / ton	GWP / ton CO <sub>2e</sub>
Acciaieria Arvedi Spa	1120	640	730
ArcelorMittal	947	640	606
Dongkuk	2795	640	1789

Tabell 29, Generisk data av CO<sub>2e</sub> för galvaniserade stålprodukter redovisat av Boverket.

Tillverkare	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2e</sub> / ton material)	Material / ton	GWP / ton CO <sub>2e</sub>
Boverket	3330	640	2147

### 3.6.1 Kostnadseffektivitet

Eftersom priser för förzinkat stål till siloväggarna endast erhållits från en leverantör samt ett stålalternativ presenterats har ingen kostnadseffektivitet kunnat beräknas eller analyseras.

## 3.7 Maskiner, elektronik & kringutrustning

På anläggningen finns stora mängder industriell utrustning såsom spannmålstorkar, fläktar, filter och transportband som inte kan betraktas att ingå i en klimatdeklaration enligt Boverkets

<sup>13</sup> Carl-Otto Knopp, projektledare Tornum, möte 11/3 - 2024

regler då “inredning” av denna typ inte är inkluderad. Generellt erbjuder leverantörer av färdiga elektroniska och mekaniska produkter såsom de ovannämnda sällan information om produktens klimatpåverkan. Under litteraturundersökningens gång framgick det att denna bransch inte har en gemensam standard eller krav på att deklarerat klimatpåverkan offentligt mot kund. Det finns heller inga lagkrav som kräver detta eftersom dessa produkter generellt endast används i industribyggnader som inte omfattas av klimatdeklarationen eller i ett fåtal tillfällen i bostadshus eller kontor där denna del ännu inte inkluderas i klimatdeklarationen. I ett sent skede av detta arbete framkom det i möte med Stefan Birnbach att leverantörerna “brukar bli något misstänksamma” när kunder eller intressenter frågar om exakt materialinnehåll i deras produkter.<sup>14</sup> Detta motiverar ytterligare det faktum att information om materialinnehåll i produkter varit svårt att få tag i.

Vid slutförandet av denna studie var inte maskiner, elektronik och kringutrustning specifikt valda men en Excel lista med ungefärliga vikter och vilka typer av maskiner som skulle köpas in fanns. En del av maskinleverantörerna hade själva svarat vad deras produkter innehöll. Övriga uppskattades av Tornum och Stefan Birnbach.<sup>15</sup> På grund av detta användes endast generiska data i klimatberäkningarna vars resultat presenteras i Tabell 31 nedan. Den generiska datan inhämtades från boverket, den finska klimatdatabasen (co2.data.fi) och den tyska klimatdatabasen Ökobaudat. Då de utländska databaserna ovan inte tillhandahåller värden för A4 och A5 inkluderades inte dessa parametrar i denna beräkning. För elkabel gäller dock specifika EPD:er där även A4 och A5 inkluderades då kabellängder och typer specificerades noggrant av installatören.

### 3.7.1 Torkar & isoleringskassetter

Spannmål torkas genom att det transporteras genom en tork samtidigt som eldning av valt bränsle. Detta kan vara pellets, RME eller eldningsolja. Runt torkarna finns isoleringskassetter för att göra processen effektivare. Klimatpåverkan för torkar valdes att presenteras separat eftersom dessa snarare liknar byggnader än maskiner och annan kringutrustning. Torkarna består av 90 procent galvaniserat stål och 10 procent elektronik. Isoleringskassetter består av 90 procent stenull och 10 procent galvaniserat stål. Elektroniken antas motsvara det värde som erhållits för elcentral.

Nedan redovisas ingående material i torkar och dess totala utsläpp av CO<sub>2</sub>e i Tabell 30.

Tabell 30, ingående material i spannmålstork och isoleringskassetter samt klimatpåverkan för respektive del.

Databas	Produkt	Mängd / ton	GWP A1-A5 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Boverket	Galvade stålprodukter	63,8	3,6	228,4
Boverket	Isolering, stenull	7,2	1,7	12,6
CO2 data FI	Elektronik (elcentral)	7	2,78	7,7
Summa				249

<sup>14</sup> Stefan Birnbach, projektledare Tornum, möte 22/4 – 2024

<sup>15</sup> Stefan Birnbach, projektledare Tornum, möte 22/4 – 2024

### 3.7.2 Övrig utrustning

Under denna rubrik återfinns följande delar: el- och styrkabel, elevatorer och transportörer, fläktar och filter, rensmaskiner och aspiratörer, stoftavskiljare, sveperskruvar, luftningsfläktar, behållarvåg, kompressor, magnet, utlastningsbälgar, avfallscontainrar med fläkt, styrskåp, centraldammsugare, templinor och övergångar. Genererade utsläpp av CO<sub>2</sub>e för övrig utrustning redovisas nedan i Tabell 31.

Tabell 31, komponentmaterial, mängder och total klimatpåverkan för dessa material.

Databas	Material	Mängd	GWP A1 – A3 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Boverket	Galvade stålprodukter	64 ton	3,330	215
Boverket	Stål (primär råvara)	95 ton	2,52	240
Boverket	Rostfria vattenrör	0,006 ton	4,5	0,027
Boverket	Aluminium (primär råvara)	0,05 ton	10	0,5
Ökobaudat	Gummi/plast	9,96 ton	3,64	36,2
CO2 data FI	Elektronik (elcentral)	12,8 ton	2,78	35,7
Prysmian	Elkabel	254551 m	Varierande	180
Summa				707

I mailkonversationer med elprojekteringsbolaget Caverion har det framkommit att flera delar av en entreprenad av denna typ är mycket svåra att få med i ett tidigt skede eftersom utförandet ofta inte är helt bestämt. De saker som nämndes som exempel var: ställverk, transformatorer, kabelstegar, belysningsmaster och potentialutjämnare.

### 3.8 Tipphall

Från Tornum har följande underlag för konstruktion av tipphall erhållits och tagits hänsyn till:

Stålstomme: Utvändigt stål levereras varmförzinkat med Fe/Zn 85 till hållbarhetsklass hög.

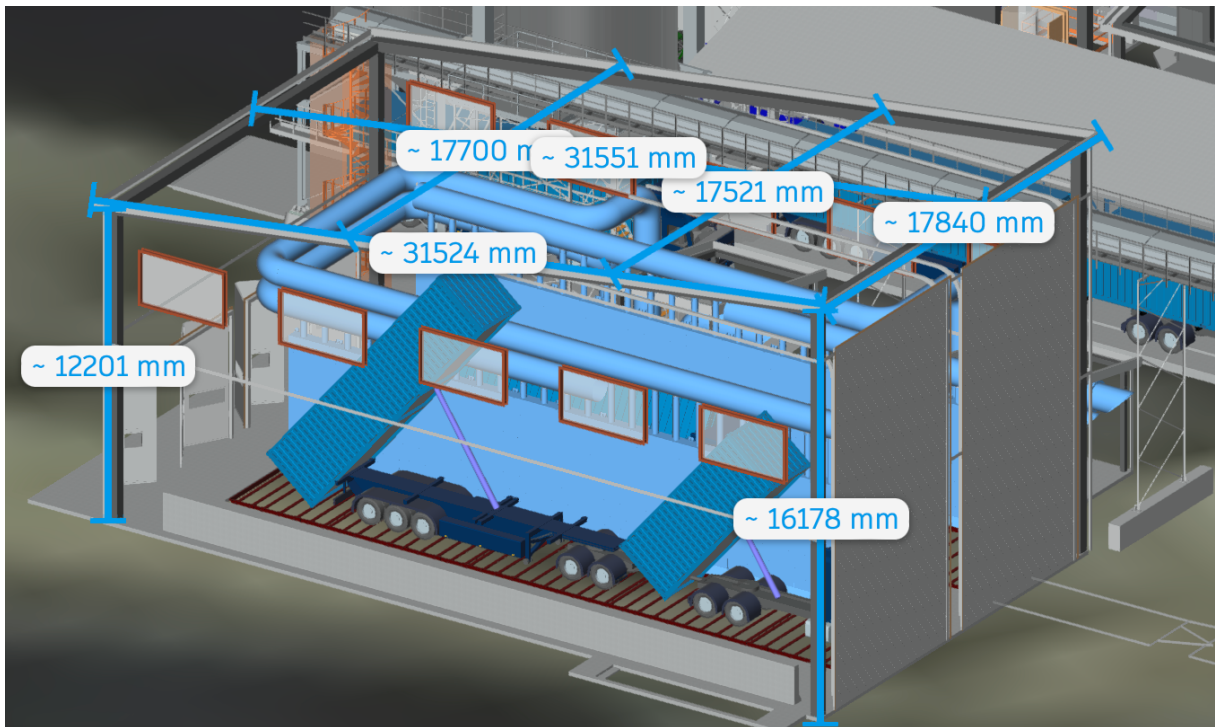
Yttertak: Paptak  
Isolering 20+80 mm mineralull  
Högprofilerad stålplåt galvad  
Kantbalkar av bockad plåtprofil i långsidor

Yttervägg: Stålplåt 20/0,5 lackerad i standardkulör polyester  
Reglar av fzv lättbalk  
Stålplåt 20/0,5 lackerad i standardkulör polyester

Portar: 2 st Dukportar, 7,0x14,0 m  
2 st Takskjutportar, 7,0x4,5 m

Dörrar: 6st Ståldörrar, 1,0x2,1 m

I Figur 9 nedan illustreras hur balkar och pelare antas vara placerade i tipphallen.



Figur 9, Ritning från Tornum av tipphallen med mått på bredd och höjd av byggnaden.

Antaganden för beräkningar:

- Takpelare i HEA-profil har dimensionen 350<sup>16</sup>.
- Från mätningar av ritningen, se Figur 9, har avrundning till närmaste decimeter gjorts.
- Fackverket består av 7 takbalkar och antas vara placerade enligt Figur 9.
- KKR-profilen är antingen 100 eller 200 för pelare och portomfång<sup>17</sup>. Därför har KKR150 använts i beräkningarna eftersom det är medelvärdet av de verkliga profilerna.
- Höjden på pelarna skiljer sig mellan 16,2 och 12,2 meter. Samtliga balkar antas vara medelvärdet av detta: 14,2m.
- Papptak inkluderas inte i LCA.

I Ekvation 5 beräknas totala längden för balkar av typen HEA-350. I nästföljande Ekvation 6 beräknas totala längden för balkar av typen KKR-150. Arealen för taket av tipphallen beräknas i Ekvation 7. Slutligen beräknas arean för samtliga fyra fasader i Ekvation 8.

Ekvation 5, total längd för balkar av typen HEA-350.

$$Total\ längd_{HEA-350} = 31,5 \cdot 3 + 17,7 \cdot 4 = 165\ m$$

Ekvation 6, total längd för profiler av typen KKR-150.

$$Total\ längd_{KKR-150} = 14,2 \cdot 23 = 327\ m$$

Ekvation 7, area av tipphallens tak.

$$A_{tak} = 31,5 \cdot 17,7 = 558\ m^2$$

<sup>16</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 20/3 - 2024

<sup>17</sup> Dennis Johansson, projektchef, Tornum, möte 20/3 - 2024

Ekvation 8, area av tipphallens samtliga fyra fasader.

$$A_{fasad} = 14,2 \cdot 31,5 \cdot 2 + 17,7 \cdot 14,2 \cdot 2 = 1397 \text{ m}^2$$

Nedan redovisas de EPD:er som har samlats in för olika material samt dess klimatpåverkan som installeras vid byggnationen av tipphallen. För att göra det tydligt för läsaren har materialen delats in i olika tabeller med olika materialkategorier. I Tabell 32 redovisas insamlade klimatdata för dörrar och portar. I Tabell 33 redovisas klimatdata för portomfattningen konstruerad av KKR-150 profiler. Tabell 34 redovisas profilerna HEA-350 och KKR-150 för resterande delar av konstruktionen. Klimatdata för mineralull och profilerat tak redovisas i Tabell 35. Slutligen redovisas klimatdata för stålplåt i Tabell 36.

Tabell 32. LCA för dörrar och portar enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd / m <sup>2</sup>	GWP A1-A5	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Vikport					
AJAB SMIDE AB	Vikport	kg/m <sup>2</sup>	72	89	6
Dukport/Taksjuktport					
Assa Abloy	Rolling door	kg CO <sub>2</sub> e /st	63	34	2
Ståldörr					
Boverket	Ståldörr	kg CO <sub>2</sub> e /kg	480	4	2
Sakumetall	Ståldörr	kg CO <sub>2</sub> e /kg	16	118	2

Tabell 33. LCA för portomfattning enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Mängd / kg	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2</sub> e /kg material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Portomfattning				
Tibnor	KKR-150	1346	3	4
Stena stål	Återbrukat	1346	0,1	0,1
Boverket	Stål (80% skrot)	1346	3	4

Tabell 34. LCA för pelare, takbalkar samt lättbalkar enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Mängd / kg	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2</sub> e /kg material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Takbalkar HEA-profil				
Tibnor	HEA-350	18514	1,2	22
Stena stål	Stålprodukter	18514	0,8	14
Stena stål	Återbrukat	18514	0,1	1,3
BE-group	Stålprodukter	18514	0,8	16
Boverket	stål (100% skrot)	18514	1,3	24
Lättbalk Z-profil				
Lindab	Z-profil 120	2562	3	7
Boverket	Stål (100% skrotbaserad)	2562	1	3
Boverket	Stål (80% skrotbaserad)	2562	3,4	9
Fasadpelare och mittpelare KKR-profil				
Boverket	stål (80% skrot)	8622	3,4	29
Tibnor	KKR-150	8622	2,7	24
Stena stål	Återbrukat	8622	0,1	0,6

Tabell 35. LCA för mineralull och profilerat tak enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd	GWP A1-A5	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Mineralull					
Boverket	Glasull	kg CO <sub>2</sub> e /kg	5 ton	1,2	6,3
Knauf	Mineralull	kg CO <sub>2</sub> e /kg	5 ton	1,4	6,9
Profilerat tak					
Boverket	Galvaniserade produkter	kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup> material	20072 m <sup>2</sup>	4	72
Lindab	Högprofilerad plåt	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> material	20072 m <sup>2</sup>	3	56



Tabell 36. LCA för stålplåt enligt Bilaga 1.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd	GWP A1-A5	GWP / (ton CO <sub>2</sub> e)
			(ton)		
Tata	Stålplåt	kg CO <sub>2</sub> e / ton material	54	2800	153
			(m <sup>2</sup> )		
Sidma	Aluminiumplåt	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> material	1397	40	55

### 3.8.1 Klimatsmart åtgärd

Som ett alternativ till stommen i stål föreslås en stomme i trä. För att beräkna klimatpåverkan för en fiktiv trästomme mängdas först mängden trä. Följande antaganden görs:

- Antalet pelare oförändrat, dvs. 24 st.
- Oförändrad längd på pelarna.
- Antagen dimension för pelare är 0,5x0,5 meter.
- Antalet balkar är oförändrade.
- Antagen dimension för balkar är 0,35x0,15 meter.
- Antagen densitet för trä är 0,468 kg/m<sup>3</sup> (används för Boverkets beräkning).

En sammanställning av beräkningar för limträ och presenteras sedan i Tabell 37 nedan.

Tabell 37, klimatpåverkan av en fiktiv limträkonstruktion för tippshall.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd	GWP A1-A5	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Stora enso (exkl.biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	60,6	6,0
Stora enso (inkl.biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	-701,4	-69
Moelven (inkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	58,0	5,7
Moelven (exkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	-685,3	-68
Setra (exkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	56,7	5,6
Setra (inkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	98,8 m <sup>3</sup>	-695,7	-69
Boverket	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e /kg	46,2 ton	175,9	8,1
Boverket	Stål (80% skrotbaserat)	kg CO <sub>2</sub> e /kg	0,71 ton	3,4	2,4

Denna åtgärd skulle innebära en besparing på cirka 35 ton CO<sub>2</sub>e baserat på Stora Ensos siffror och best case för stålet.

Klimatdatan för de olika delarna i tippshallen har sammanställts baserat på tre olika scenarier: best case, worst case och ett case som bygger på data från Boverket. Genererade ton CO<sub>2</sub>e för varje scenario redovisas i Tabell 38.

Tabell 38. Resultat av LCA A1-A5 för tipphallen enligt Bilaga 1.

Scenario	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Best case	177,9
Worst case	294,3
Boverket	287,2

### 3.8.2 Kostnadseffektivitet

Se rubriken klimateffektivitet under rubriken Maskintorn för mer information.

### 3.9 Maskintorn

Från Tornum har följande underlag för konstruktion av maskintorn erhållits och tagits hänsyn till:

Stålstomme:

- 2 st Fackverksbalkar L=16m
- 2 st Gaveltakbalkar HEA-profil
- 4 st Mittbalkar HEA-profil
- 1 st Telferbalk IPE-profil
- 6 st Gallerdurksplan
- 2 st Tårplåtsplan
- Bjälklagsbalkar KKR-profil
- 24 st Pelare KKR-profil

Stålstomme: Invändigt stål levereras rostskyddsbehandlat (målat)

Yttertak:

- Takpapp
- Isolering 150 mm mineralull
- Isolering 50 mm mineralull
- Högprofilerad stålplåt galvad

Yttervägg:

- Liggande 200 mm plåtsandwichelement med mineralullsisolering

Mellanvägg:

- Liggande 150 mm plåtsandwichelement med mineralullsisolering  
Gäller två sidor vid spiraltrappa samt tre sidor vid hiss

Dörrar:

- 15st Ståldörrar, 1,0x2,1 m

Trappor:

- 1 st spiraltrappa
- 4 st raka trappor
- Räckan runt telferhål

För vidare beräkningar vars resultat presenteras nedan görs ett antal antaganden enligt nedan. Som ett alternativ till stålstomme finns limträ. Detta alternativ presenteras i Tabell.

Antaganden för vidare beräkningar:

- Vikten för samtliga stålpelare och balkar antas följa värden ur Tibnors tabell för konstruktionsstål (Tibnor, 2024).
- Vikten för WELANDS produkter bedöms utifrån denna
- Alla mängduppskattningar är gjorda utifrån ritningsunderlag.
- Boverket tillhandahåller inte vikter, längder eller areor för produkter, istället används värden från producenter.

Konstruktionsstålet som installeras i maskintornet med tillhörande klimatpåverkan och genererade ton CO<sub>2</sub>e redovisas i Tabell 39.

Tabell 39, olika tillverkare av konstruktionsstål, dess klimatpåverkan och total klimatpåverkan för aktuell konstruktion.

Tillverkare	Material	Mängd / ton	GWP A1-A5 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Tibnor	VKR	227	2,65	602
Tibnor	H/I profil	15	1,19	18
Summa				620
Stena stål	VKR	227	2,61	593
Stena stål	H/I profil	15	0,71	11
Summa				603
Stena stål	Återbrukat	242	0,069	17
Boverket	stål (100% skrot)	242	1,3	307
Boverket	stål (80% skrot)	242	3,39	821
Viktat värde (KKR och HEA, boverket)				1057

För att möjliggöra en rättvis jämförelse bedömdes HEA- och KKR-profiler motsvara 100 procent respektive 80 procent skrotbaserat stål. Detta bedömdes utifrån värden i motsvarande EPDer.

Genererade CO<sub>2</sub>e i ton för mineralullen i sandwichpanelerna redovisas i Tabell 40 och Tabell 41. Därefter redovisas utsläppen för bjälklag, durkplåt och durkgaller i Tabell 43. I Tabell 44 redovisas samma information för trappor. Därefter redovisas genererade utsläpp för ståldörrar i Tabell 45. Slutligen redovisas genererade utsläpp för räcken i Tabell 46.

Möjliga hållbarhetkliv i siloanläggningsprojekt – En vägledning för klimatsmarta val

Tabell 40, klimatdata för sandwichpaneler 200mm.

Tillverkare	Material	Mängd / m <sup>2</sup>	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Planja	Mineralull	2453	45,6	111,7
Bewi	Mineralull	2453	74,7	183,2
Ruuki	Mineralull	2453	45,1	110,7
Lindab	Mineralull	2453	55,4	135,8
Boverket	-	-	-	-

Tabell 41, klimatdata för sandwichpaneler 150mm.

Tillverkare	Material	Mängd / m <sup>2</sup>	GWP A1-A5 / (kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Ruuki	Mineralull	729	41,2	30,1
Planja	Mineralull	729	41,4	30,2
Lindab	Mineralull	729	46,0	33,6
Boverket	-	-	-	-

Tabell 42, klimatdata för takkonstruktion.

Tillverkare	Material	Mängd / ton	GWP A1-A5 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Knauf	Mineralull	4,6	1,37	6,3
Lindab	TRP plåt (galvad)	3,1	2,8	8,8
Summa				15,1
Boverket	Mineralull	4,6	1,2	5,5
Boverket	Galvaniserade stålprodukter	3,1	3,6	11,2
Summa				16,7

Tabell 43, klimatdata för bjälklag, durkplåt och durkgaller.

Tillverkare	Material	Mängd / ton	GWP A1-A5 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Weland	Gallerdurk	21,67	3,08	66,66
BE group/weland	Tårplåt	16,82	3,16	53,09
Summa				119,75
Boverket	Galvaniserade stålprodukter	38,50	3,58	137,80

Tabell 44, klimatdata för trappor.

Tillverkare	Material	Mängd / ton	GWP A1-A5 / (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Weland	Spiraltrappa, galvad	6,1	2,9	18,0
Weland	Raktrappa	4,7	2,9	13,8
Summa				31,8
Boverket	Galvaniserade produkter	10,8	3,6	38,7

Tabell 45, klimatdata för ståldörrar.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd	GWP A1-A5	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Boverket	Ståldörr	ton CO <sub>2</sub> e / ton material	1,2 ton	3,5	4,2
Sakumetal	Ståldörr	kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> material	32 m <sup>2</sup>	118	3,7
Daloc	Ståldörr	kg CO <sub>2</sub> e / st dörr	15 st	262	3,9

Tabell 46, klimatdata för räcken.

Tillverkare	Material	Mängd / ton	GWP A1-A5 (ton CO <sub>2</sub> e/ton material)	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Weland	Sektionsräcke	0,896	1,77	1,59
Boverket	Galvaniserade produkter	0,896	3,58	3,21

Det finns material i maskintorn som funnits med i underlag men som inte tagits hänsyn till i denna rapport. Detta beror antingen på att de inte haft en tillräckligt stor klimatpåverkan exempelvis plastfolie och takpapp, eller som befinner sig utanför de avgränsningar som gjorts för detta arbete.

### 3.9.1 Klimatsmart åtgärd

Som ett alternativ till stommen i stål föreslås en stomme i trä. För att beräkna klimatpåverkan för en fiktiv trästomme mängdas först mängden trä. Följande antaganden görs:

- Antalet pelare oförändrat, dvs. 24 st.
- Oförändrad längd på pelarna.
- Antagen dimension för pelare är 0,5x0,5 meter.
- Antalet balkar är oförändrade.
- Antagen dimension för balkar är 0,35x0,15 meter.
- Antagen densitet för trä är 0,468 kg/m<sup>3</sup> (används för Boverkets beräkning)
- Smidesdetaljer uppskattas till 1,5 procent av virkesvikten utifrån rapporten av Jansson & Erlbacher.
- Inga specifika typer av stålprofiler specificeras för smidesdetaljer, därav presenteras endast siffror baserade på boverket.

Mängder för fiktiva limträbalkar och limträpelare redovisas i Tabell 47.

Tabell 47, mängder för fiktiva limträpelare och limträbalkar.

Pelare			
Längd / m	Tvärsnitt / m <sup>2</sup>	Tvärsnitt / m <sup>2</sup>	Volym / m <sup>3</sup>
925,5	0,5x0,5	0,25	231,4
Balkar			
Längd / m	Tvärsnitt / m <sup>2</sup>	Tvärsnitt / m <sup>2</sup>	Volym / m <sup>3</sup>
934,4	0,35x0,15	0,0525	49,1

Leverantörer för limträ, KL-trä och smidesdetaljer med tillhörande genererade ton CO<sub>2</sub>e redovisas i Tabell 48.

Tabell 48, limträ, olika tillverkare, smidesdetaljer och dess klimatpåverkan.

Tillverkare	Material	Funktionell enhet	Mängd / m <sup>3</sup>	GWP A1-A5	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Stora enso (exkl.biogent kol)	KL-trä	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	60,6	17,0
Stora enso (inkl.biogent kol)	KL-trä	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	-701,4	-197
Moelven (exkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	58,0	16,3
Moelven (inkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	-685,3	-192
Setra (exkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	56,7	15,9
Setra (inkl. biogent kol)	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	280,4	-695,7	-195
Boverket	Limträ	kg CO <sub>2</sub> e /ton	131,2 (ton)	175,9	23,1
Boverket	Stål (80% skrotbaserat)	ton CO <sub>2</sub> e /ton	3,4	3150	7

Denna åtgärd skulle innebära en besparing på cirka 580 ton CO<sub>2</sub>e jämfört med best case för stålet.

### 3.9.2 Kostnadseffektivitet

Inget projektspecifikt pris har tagits fram för återbrukat stål eller limträstomme. Däremot presenterar Jansson & Erlbacher i sitt examensarbete om logistikhallar både ekonomiska och miljömässiga siffror av att byta stålstomme mot limträ (Jansson & Erlbacher, 2023). Siffrorna från rapporten presenteras i Tabell 49.

Tabell 49, kostnad och klimatpåverkan för trä och stålstomme ur Jansson & Erlbachers rapport.

Material	Pris / kr	GWP / ton CO <sub>2</sub> e
Trä	27 500 000	258 689
Stål	28 800 000	1 136 947

Detta resulterar i 1480 kr/sparat ton CO<sub>2</sub>e. Rimligtvis skulle limträ som bärande konstruktion kunna tänkas vara en åtgärd för tipphallen också.

### 3.10 Referensobjekt Sala

Betong och tillhörande armering samt galvaniserat stål är två poster som genererar stora mängder CO<sub>2</sub>e. Därför har det varit av intresse att jämföra en siloanläggning där väggarna är gjorda av betong med den siloanläggning som planeras byggas i Uddevalla där väggarna projekterats med galvaniserat stål.

Utifrån ritningar som tillhandahölls av Lantmännen beräknades betongvolym och armeringsmängd enligt nedan. Ritningar bifogas ej som bilaga pga. sekretess. För beräkningar gjordes antagandena:

- I konstruktionsritningar för Sala finns endast detaljer angående lagringssilo och inga för maskintorn eller andra byggnader på anläggningen. Därav beräknas och presenteras endast klimatpåverkan för lagringssilorna och tillhörande betongplatta nedan.
- Sulor är längsgående på både kort och långsidor samt att de är 3m höga.
- Kulvertar är lika långa som hela siloanläggningen
- Armeringsmängden är 100kg/m<sup>3</sup> betong.
- För siloväggar användes två olika ”vägg-betonger”, se bilaga 1.
- Eventuell grundläggning, såsom pålning eller liknande, är inte inkluderad i beräkningarna eftersom det inte fanns någon information om detta.

Volymen av betong ovan och under mark med tillhörande armering redovisas nedan i Tabell 50.

Tabell 50, betongvolym ovan och under mark samt armeringsmängd.

Betongvolym / m <sup>3</sup>	Varav ovan mark / m <sup>3</sup>	Varav under mark / m <sup>3</sup>	Armering / ton
6254	4933,0	1320,8	625

Vidare beräknades klimatpåverkan för denna materialåtgång av betong och armering. För att göra detta antogs att en betong med anläggningscement används under mark och en C35/45 för allt ovan mark, se bilaga 1 för mer information. 75 procent av betongvolym och armeringsmängd i Fröland antas finnas under silor och används i beräkningen. I Tabell 51 har CO<sub>2</sub>e för varje ton lagringskapacitetskvationernligt best case och worst case för de olika siloanläggningarna redovisats.

Tabell 51, lagringskapacitet och klimatpåverkan, Sala respektive Fröland anläggningen.

Lagringskapacitet och utsläpp Sala			
Case	Lagringskapacitet / ton	GWP / ton CO <sub>2</sub> e	GWP per lagringskapacitet / (kg CO <sub>2</sub> e / ton lagringskapacitet)
Best	30000	1488	50
Worst	30000	2090	70
Lagringskapacitet och utsläpp Fröland			
Case	Lagringskapacitet / ton	GWP / ton CO <sub>2</sub> e	GWP per lagringskapacitet / (kg CO <sub>2</sub> e / ton lagringskapacitet)
Best	40000	1941	49
Worst	40000	3662	92

Enligt siffror presenterade i Tabell 51 ligger klimatpåverkan för Uddevalla anläggningen i linje med den gamla i Sala.

### 3.11 Branschpassning

Det är en stor arbetsbelastning som adderas vid valet att göra en LCA-beräkning på ett så pass originellt projekt. Att hitta, sammanställa och jämföra den data som samlats in till arbetet har varit tidskrävande. Om framtida projekt ska klimatberäknas genom att sammanställa klimatdata i en LCA hade endast en medarbetare sannolikt inte varit tillräckligt med resurser. Detta bygger på att medarbetaren antas utföra andra arbetsuppgifter löpande vid sidan av att göra en LCA för projektet.



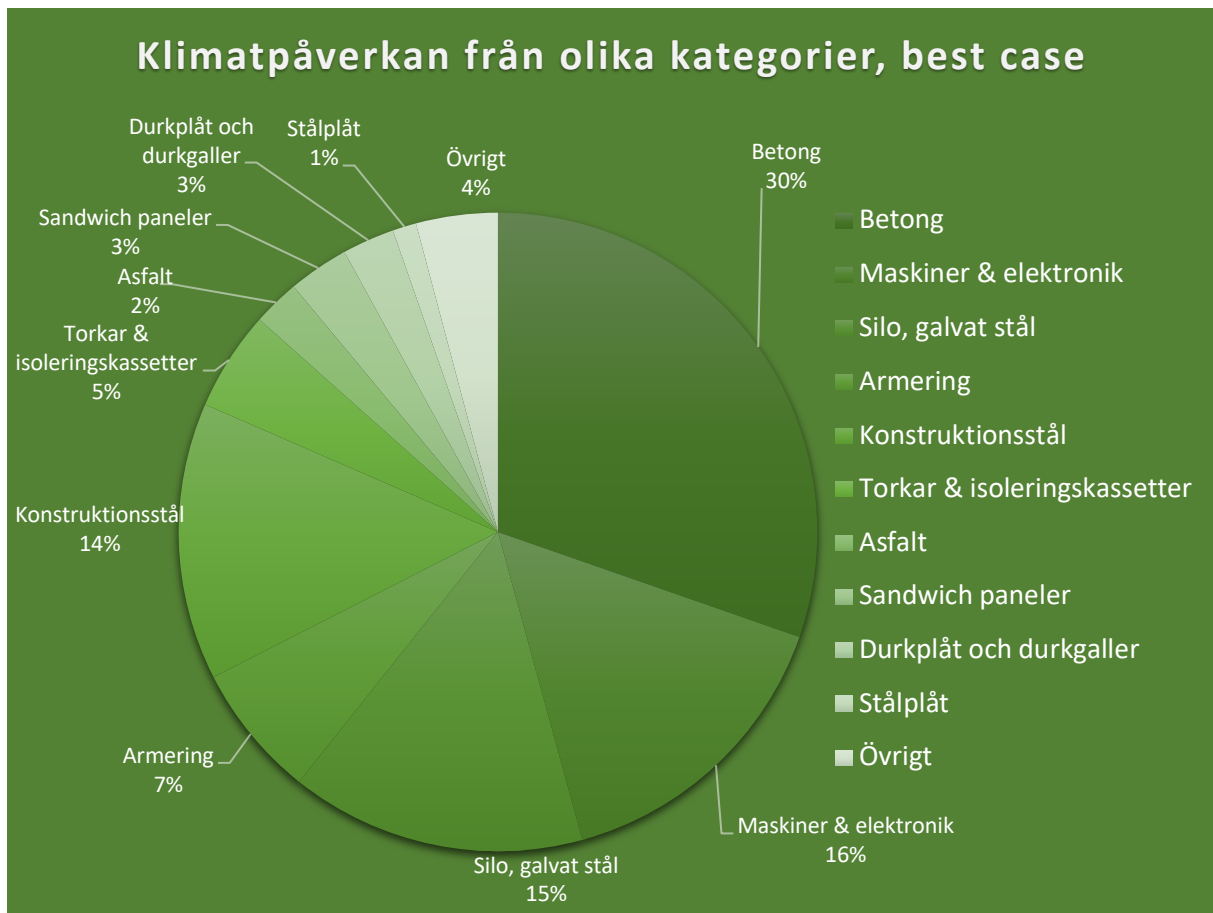
## 4. Analys

### 4.1 Total klimatpåverkan

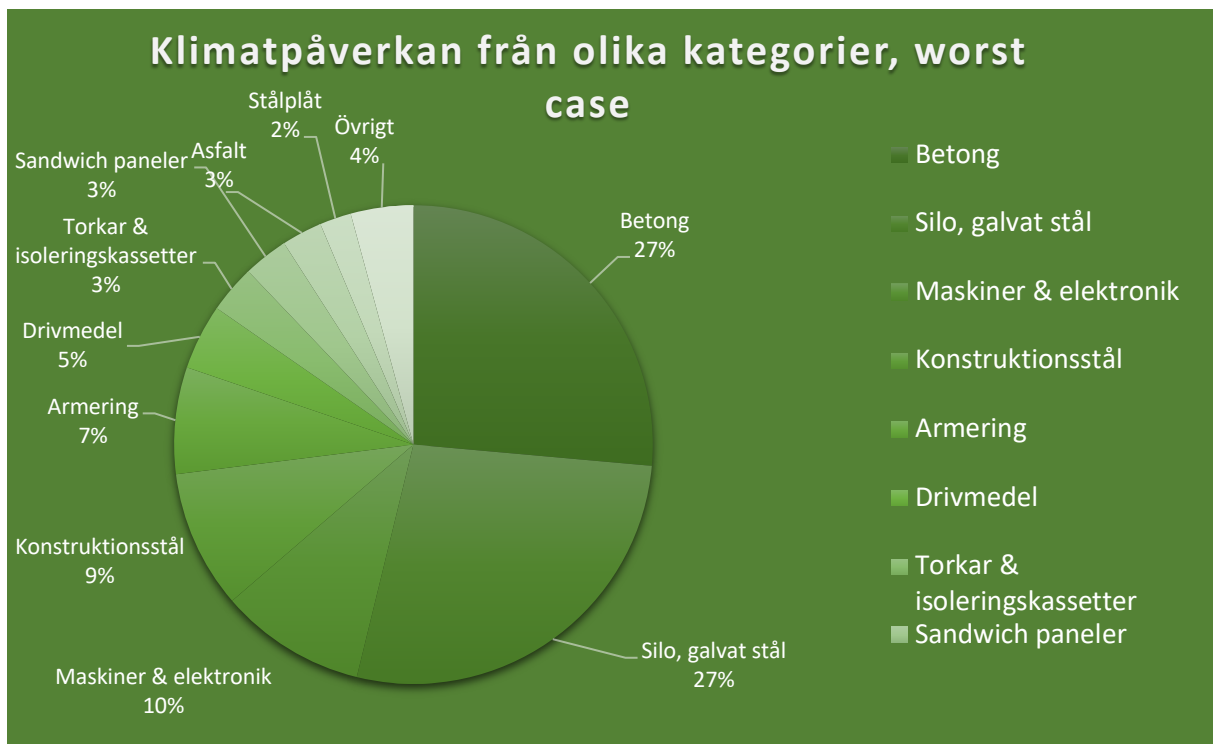
Det estimerade totala utsläppet av CO<sub>2</sub>e i ton för hela anläggningen redovisas i Tabell 52 nedan för olika case. Det första är best case scenario där de bästa alternativen adderats. I det andra caset presenteras det utfallet med högst utsläpp av CO<sub>2</sub>e. I det sista caset redovisas Boverkets generiska data samt Trafikverkets data. Sedan har de tio största posterna redovisats i ett cirkeldiagram i Figur 10. Resterande poster redovisas i detta diagram vid namnet ”Övrigt”.

Tabell 52, total klimatpåverkan av silo-projektet Uddevalla för olika scenario.

Påverkansfaktor	GWP Best Case / ton CO <sub>2</sub> e	GWP Worst Case / ton CO <sub>2</sub> e	GWP Generic Case / ton CO <sub>2</sub> e
Betong	1393,0	1893,0	1548,0
Silo, galvat stål	687,1	1962,6	2348,0
Armering	311,6	516,4	539,2
Asfalt	108,9	196,0	253,6
Drivmedel	49,0	316,8	316,8
Krossning	7,5	50,1	50,1
Maskintorn:			
Konstruktionsstål (inkl.portomfattning)	603,5	620,0	1057,3
Sandwich paneler	140,8	216,8	166,6
Durkplåt och durkgaller	121,5	121,5	137,8
Trappor	31,8	31,8	38,7
Takplåt (TRP)	8,8	8,8	11,2
Isolering	6,3	6,3	5,5
Ståldörrar	3,7	3,9	4,2
Räcken	1,6	1,6	3,2
Tipphall:			
Stålplåt	55,3	152,6	152,6
Takplåt	56,4	56,4	71,8
Konstruktionsstål (inkl.portomfattning)	41,6	49,4	57,1
Lättbalkar	7,3	7,3	9,2
Isolering	6,9	6,9	6,3
Dukport	6,4	6,4	6,4
Vikport	2,2	2,2	2,2
Ståldörr	1,9	1,9	1,7
Torkar & isoleringskassetter	232	232	232
Elektronik och invändiga maskiner	707	707	707
Summa	3651	6227	6786



Figur 10, tårtdiagram som illustrerar de tio enskilt största CO<sub>2</sub>e -utsläppen för best-case scenario.



Figur 11, tårtdiagram som illustrerar de tio enskilt största CO<sub>2</sub>e -utsläppen enligt worst-case scenario.

Genom att bygga en ny siloanläggning genereras uppskattningsvis 3650 – 6227 ton CO<sub>2</sub>e. Det finns många beslut kring materialval och tillvägagångssätt som B och E kan påverka för att förändra detta värde. Genom att driva krossverket på direktel i stället för diesel visade resultatet att både utsläppen och kostnaden minskade. Generellt medförde dock besparingarna av CO<sub>2</sub>e en extra ekonomisk kostnad. Besparingarna för olika poster som studerades i denna rapport skiljer sig åt. Det gör det möjligt att styra var besparingarna av CO<sub>2</sub>e ska ske för att i slutändan minska de kostnader som görs för varje insparat ton CO<sub>2</sub>e.

Det finns idag inget krav på att industribyggnader, som en siloanläggning, ska klimatdeklarerars. En grund till detta är dess komplexitet och stora variation i byggtekniska lösningar. Byggnaderna är alltså inte sällan originella och svåra att sätta i relation till varandra. Många av processerna och materialvalen i denna rapport redovisades översiktligt på grund av dess komplexitet. Detta påverkade resultatet och medförde en differens mot det faktiska värdet.

För att ge kontinuitet och tydlighet till analysdelen har denna del baserats på best case scenariot. Detta innebär att de värden som angetts återfinns i resultatdelen för best case scenariot. Vidare har det i analysen endast hanterats de delar av projektet som ansetts ha betydande klimatpåverkan samt de delar där åtgärder ansetts vara rimliga att utföras.

## 4.2 Kostnadseffektivitet

Genom att sammanställa de kostnader för åtgärder som finns tillgängliga möjliggörs smidigare analys för att identifiera de med kostnadseffektiva åtgärderna.

Tabell 53, sammanställning av kostnadseffektiviteten för olika föreslagna åtgärder med den effektivaste åtgärden längst upp.

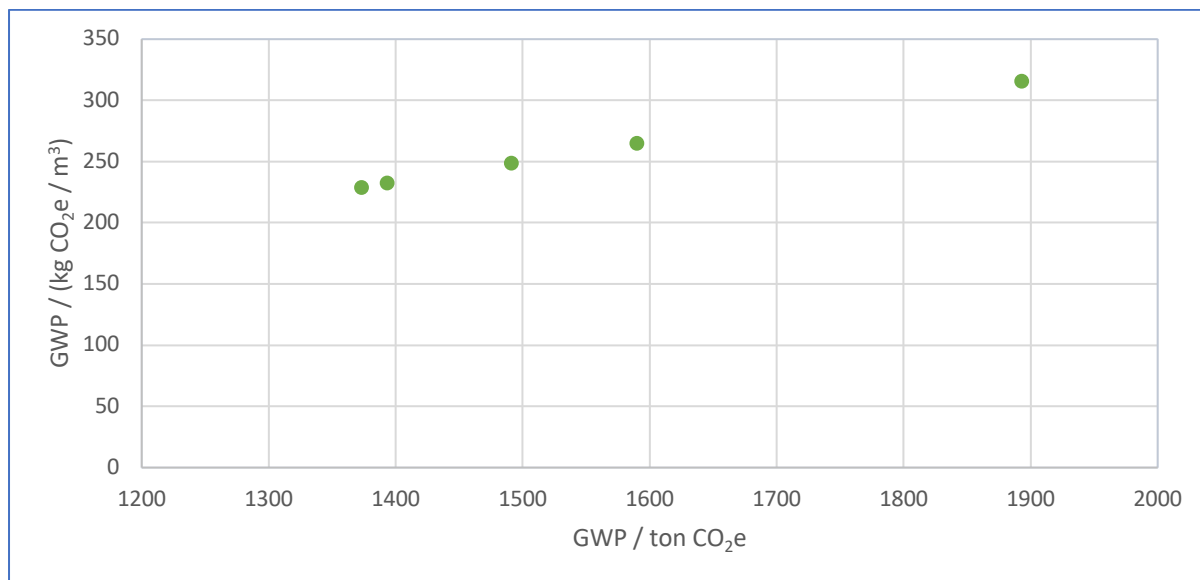
Process eller material	Kommentar	Kostnad / (kr/ton CO <sub>2</sub> e)
Krossningsprocess	El	-7241
Krossningsprocess	HVO+el	-2351
Betong	30 % klimatförbättrad	1059
Limträ		1500
Transporter och entreprenadmaskiner	HVO	2000
Asfalt	Delyta, medelvärde	1942
Asfalt	Hela ytan, medelvärde	5599

Som tabellen ovan påvisar kan asfaltsåtgärden vara den minst kostnadseffektiva samtidigt som det kan vara en av de mest kostnadseffektiva åtgärderna beroende på vilket referensvärde som används. Att effektiviteten av att byta asfalt blir högre för en mindre yta beror på den minskade totalkostnaden för asfaltsentreprenad.

Två materialgrupper med stor klimatpåverkan saknas i denna analys, armering och det galvaniserade stålet. Detta eftersom att B och E under perioden inte kunde tillhandahålla underlag av kostnader för materialen. För att få en tydligare helhetsbild skulle dessa inkluderas i denna analys. Frånsett detta konstaterar Tabell 53 att det i krossningsprocessen går att spara både pengar och koldioxid genom eldrift samt att de övriga topp 3 åtgärderna är 30 procent klimatförbättrad betong och byte till limträ som stomkonstruktion i maskintorn och/eller tipphall.

### 4.3 Betong och armering

Studien visar att val av rätt leverantör ur klimatsynpunkt kan spara in ca 500 ton CO<sub>2</sub>e om den leverantören med lägst CO<sub>2</sub>e ställs emot den leverantören med högst CO<sub>2</sub>e. Detta visualiseras i Figur 12, klimatpåverkan per m<sup>3</sup> och total klimatpåverkan för betong i Uddevalla projektet. nedan. Figuren visualiserar även tydligt hur stor skillnad det gör att välja en betong med till synes små skillnader i utsläpp per m<sup>3</sup>.



Figur 12, klimatpåverkan per m<sup>3</sup> och total klimatpåverkan för betong i Uddevalla projektet.

Den betong som föreslogs av entreprenören kostar 1059 kr per insparat ton CO<sub>2</sub>e. Relativt till de andra åtgärderna var detta en av de effektivare åtgärderna. Resultatet visar dessutom att det finns flera leverantörer som har kapacitet att leverera betong med låg klimatpåverkan. Detta borde i sin tur innebära att konkurrensen är tillräckligt hård för att prisskillnaden inte skall bli orimlig mellan ”traditionell” betong och grönare betongalternativ. I denna rapport har endast pris för 30 procent klimatförbättrad anläggningsbetong undersökts, det vore även intressant att undersöka prisskillnaden för 40 procent samt 50 procent klimatförbättrad anläggningsbetong.

I resultatet framgick det att betong utgjorde den främsta källan till CO<sub>2</sub>e inom projektet. Det är värt att notera att karbonatiseringsprocessen inte inkluderades, då rapporten endast fokuserade på livscykelstegen A1 till A5 och inte driftsfasen. Om karbonatiseringen hade inkluderats i analysen, kan det antas att den totala mängden CO<sub>2</sub>e uppskattningsvis hade minskat med en andel på mellan 15 och 20 procent.

### 4.4 Silo, galvat stål

I resultatet framgick det att galvaniserade stålprodukter hade en stor variation i utsläpp mellan olika leverantörer. Den produkt med lägst GWP-värde (livscykelkedan A1-A3+A5) hade 1047 kg CO<sub>2</sub>e /kg stål och den med högst: 2898 kg CO<sub>2</sub>e /kg stål. Den produkt med högst GWP-värde hade dessutom ursprung från Asien vilket gjorde transportutsläppen betydligt större i jämförelse med stålet producerat i Europa. För att åstadkomma det minsta utsläppsavtrycket visade resultatet att det var av stor vikt att välja rätt leverantör.

#### 4.4.1 Referensobjekt Sala

Både betongen och det galvaniserade stålet var två poster som genererade betydande mängder CO<sub>2e</sub> i projektet. De planerade silorna gjorda av stål jämfördes med betongsilor från anläggningen i Sala för att se vilket alternativ som genererar minst CO<sub>2e</sub>. I analysen har olika jämförelser mellan anläggningarna gjorts. Dessa analyser behandlar endast betong, armering samt galvaniserat stål och alltså ingen annan byggnation eller kringutrustning.

Först sammanställdes genererade utsläpp till följd av mängden armering och betong på de olika anläggningarna, se Tabell 54. För Uddevalla gjordes antagandet att 75 procent av all betong på anläggningen placeras under de berörda delarna av anläggningen. För Sala användes samma anläggningsbetong till grunden som för Uddevalla och en väggbetong introducerades för konstruktioner ovan mark, se Bilaga 1. Eftersom det inte framgick hur stor andel av betongen som ingick i plattan under silorna antogs andelen 75 procent.

Tabell 54, genererade utsläpp av CO<sub>2e</sub> till följd av betong och armering, från Bilaga 1.

Anläggning	GWP / ton CO <sub>2e</sub>	Lagringskapacitet / ton
Best Case		
Uddevalla	1278	38 000
Sala	1488	30 000
Worst case		
Uddevalla	1807	38 000
Sala	2090	30 000

Eftersom anläggningarna kan lagra olika stora mängder beräknades en relativ klimatpåverkan som CO<sub>2e</sub> /ton lagringskapacitet. Baserat på detta beräknades sedan en marginal för hur mycket det galvaniserade stålet i siloväggarna kan tillåtas generera innan det överstiger det relativa värdet i referensprojektet. Marginalen dividerades sedan med den totala materialåtgången för stål, varpå ett maximalt värde för en potentiell EPD kunde tas fram. Detta redovisas i Tabell 55.

Tabell 55, buffert och beräknat värde på EPD för det galvaniserade stålet i siloväggarna för anläggningen i Uddevalla, från Bilaga 1.

Anläggning	Buffert för stål / ton CO <sub>2e</sub>	Värde på EPD / (kg CO <sub>2e</sub> /ton material)
Best Case		
Uddevalla	606	947
Worst Case		
Uddevalla	840	1313

Det framgick i analysen att en EPD för galvaniserat stål bör ligga mellan 947 och 1313 kg CO<sub>2e</sub> /ton för att de två anläggningarna ska vara lika i klimatpåverkan. Den EPD med lägst värde som redovisats i resultatet är 1070 kg/ton. Värdet på en EPD ur best case och den EPD:n som redovisats i denna rapport med lägst GWP-värde skiljer sig med 123 kg CO<sub>2e</sub> /ton, vilket kan anses marginellt. Det är inte heller säkerställt att denna EPD med GWP-värdet på 1070 kg CO<sub>2e</sub> /ton är den lägsta på marknaden. Utöver detta är mängden betong från referensprojektet ett estimerat värde, vilket kan påverka utfallet. Men övergripande kan slutsatsen att merparten av

EPD:erna för galvaniserat stål överstiger den beräknade bufferten göras. Vilket indikerar på att galvaniserat stål ur denna aspekt inte är det mest klimatvänliga alternativet.

I nästa jämförelse undersöktes vad som sker om det galvaniserade stålväggarna hade byggts av betong. För att göra detta antogs att mängden betong i siloväggar korrelerar linjärt med lagringsvolymen från silor i Sala. Först har det totala värdet för CO<sub>2e</sub> som genereras redovisats för betongen i väggarna på anläggningen i Sala och galvaniserade stålväggarna i den planerade anläggningen i Uddevalla (kolumn 2). Därefter dividerades dessa värden med den totala lagringskapaciteten för respektive anläggning (kolumn 3). Slutligen multiplicerades differensen för dessa värden i respektive case som också multiplicerades med den totala lagringskapaciteten för den planerade anläggningen i Uddevalla. På detta sätt kunde en differens redovisas (kolumn 4 i Tabell 56). Differensen är förändringen som ett byte skulle generera i CO<sub>2e</sub>.

Tabell 56, förändring i genererade CO<sub>2e</sub> om stålet i siloväggar byts ut till betong, från Bilaga 1.

Anläggning	GWP / ton CO <sub>2e</sub>	GWP per lagringskapacitet (kg CO <sub>2e</sub> /ton lagringskapacitet)	Förändring i GWP / ton CO <sub>2e</sub>
Best Case			
Uddevalla	687,1	0,018	730,8
Sala	1119,4	0,037	
Worst Case			
Uddevalla	1962,6	0,052	66,3
Sala	1601,8	0,053	

I Tabell 56 framgår det att en byte från galvat stål till betong sett till best case scenario skulle öka utsläppen med 730,8 ton CO<sub>2e</sub> och att worst case scenario indikerar på att ett byte skulle medföra en ökning av 66,3 ton CO<sub>2e</sub>. Ur detta avseende visade det sig att ett byte från galvat stål till betong inte är positivt ur avseendet av hur mycket CO<sub>2e</sub> som genereras.

Däremot är det av intresse att inkludera plattan i beräkningarna, vilket också har gjorts i följande scenario. Det totala utsläppet av CO<sub>2e</sub> från kolumn 2 i Tabell 56 samt utsläppet genererade av betongplattan har redovisats i kolumn 3 i Tabell 57. Därefter har samma metod som ovan applicerats där utsläppen av totala CO<sub>2e</sub> dividerats med lagringskapaciteten för siloanläggningen i Uddevalla.

Tabell 57, förändring i genererade CO<sub>2e</sub> om stålet i siloväggar byts ut till betong och plattan inkluderas, från Bilaga 1.

Anläggning	Platta		GWP / ton CO <sub>2e</sub>	
	Best Case			
	Betongplatta / m <sup>3</sup>	GWP, platta / ton CO <sub>2e</sub>	GWP / ton CO <sub>2e</sub>	GWP per lagringskapacitet / (kg CO <sub>2e</sub> /ton lagringskapacitet)
Uddevalla	4500	1256	1943	51
Sala	1321	369	1488	50
	Worst Case			
Uddevalla	4500	1663	3626	95
Sala	1321	488	2090	70

Det framgår i Tabell 57 att betong i detta fall är ett mer gynnsamt alternativ. Genom att bygga silo-väggar av betong går det att bygga högre. Troligtvis beror detta på betongens egenskaper och hållfasthet. Detta medför att plattans area och i sin tur volym minskar.

I det andra scenariot framgår det att ett byte från galvaniserade stål väggar till betong med stor sannolikhet kommer leda till större utsläpp av CO<sub>2</sub>e. Men om hänsyn tas till plattans storlek och faktumet att det går att bygga på höjden snarare än bredden blir resultatet annorlunda. För det specifika projektet i Uddevalla är det möjligt att bygga på höjden utan större marktekniska åtgärder eftersom markförhållandena är goda och till stor del består av fast berg. I framtida projekt bör markförhållanden beaktas även i klimatkalkyl eftersom exempelvis pålning kan bli nödvändigt och få konsekvenser i en sådan kalkyl.

I denna rapport och analys undersöktes och jämfördes endast A1-A5, inga andra livscykelkedor inkluderades. Om alternativet är att bygga högre silor bör även livscykelkedor B beräknas eftersom säden då måste transporteras betydligt högre vilket kräver mer energi och i sin tur ger klimatpåverkan. För att underbygga påståendet att det är bättre att bygga på höjden ur klimatsynpunkt bör därför en beräkning för bruksskedet utföras.

## 4.5 Konstruktionsstål

Det tredje största utsläppet från resultatet kom från konstruktionsstålet som planeras användas i maskintornet. Som det framgick i resultatet kan aktörer genom medvetna val sänka sin klimatpåverkan betydande. Konkret kan det göras genom att använda stål med hög skrotbaseringsgrad, återbrukat stål eller limträ som stomme.

Vid val av limträ som stomme visade resultatet att utsläppen förväntas minska med cirka 575 ton CO<sub>2</sub>e och kostnaden för detta kan förväntas vara cirka 1500 kr/ton CO<sub>2</sub>e. Vid användning av endast återbrukat stål minskade utsläppen med cirka 585 ton CO<sub>2</sub>e.

## 4.6 Entreprenadmaskiner

Resultatet av bränsleförbrukningen för entreprenadmaskiner byggde på en aggregering av data från olika leverantörer. Det är av vikt att notera att leverantörer generellt saknade detaljerad information om bränsleförbrukning, vilket resulterade i att endast ett begränsat antal maskintyper kunde inkluderas i analysen. Dessutom har E och B av förklarliga skäl för närvarande inte specificerat exakta maskinstorlekar som kommer att användas under byggtiden.

Bränsleförbrukningen för olika entreprenadmaskiner visade sig ha en betydande variation beroende på maskinens dimensioner, vilket utgjorde en faktor som kan resultera i avvikelser från det förväntade resultatet. Ytterligare avvikelser genom förarens körsätt ger påverkan på bränsleförbrukningen. Faktorer såsom perioder av stillastående, acceleration, konstant hög eller låg hastighet, samt bibehållandet av en jämn körhastighet, kan alla påverka bränsleförbrukningens slutgiltiga uppskattning. Slutligen har E bedömt användningsintervallen för varje maskin, vilket var ett antagande som potentiellt kan komma att förändras under projektidens gång. Denna variabel kan därmed påverka det faktiska utfallet av bränsleförbrukningen.

## 4.7 Asfalt

I resultatet har asfalt från Sveriges tre största byggbolag, NCC, Skanska och PEAB, redovisats. Det framgick att skillnaden avseende genererade CO<sub>2e</sub> bolagen emellan inte skiljer sig markant för detta projekt vilket gjorde leverantörsvalet mindre kritiskt. En ”enkel besparing” kan göras genom att minimera den asfalterade ytan till endast nödvändig storlek. Mer om detta tas upp i diskussionen.

## 4.8 Drivmedel & transporter

Genom att byta drivmedel från diesel till HVO kunde en besparing av postens totala utsläpp uppgå till över 80 procent. Detta kan sättas i relation till betongen där den maximala besparingen på det totala utsläppet inte kan överstiga 30 procent. Att genomföra åtgärden kan ses som en enkel omställning eftersom pumpar för HVO finns på samma ställe som diesel. Däremot var kostnaden för minskat ton CO<sub>2e</sub> anses dyr i relation till betong, där relationen är 2000 kr/besparat ton CO<sub>2e</sub> vs ca 1000 kr/besparat ton CO<sub>2e</sub>.

## 4.9 Elektronik och invändiga maskiner

Klimatpåverkan på projektnivå för elektronik och invändiga maskiner redovisades i Tabell 52. Trots att resultatet bygger på uppskattningar från E tyder de höga värdena på utsläpp av CO<sub>2e</sub> att denna post är något som i betydande grad påverkar det totala utsläppet. Anledningen till elektroniken och invändiga maskiner genererar så stora mängder CO<sub>2e</sub> är på grund av deras höga andel av stål. Stål är ett material som under framställning och tillverkningen släpper ut stora mängder utsläpp.



## 5. Diskussion

### 5.1 Byggprocessen

Att beräkna klimatpåverkan för anläggningsprojekt idag kräver mycket information för att utföra klimatberäkningen, vilket kan vara svårt att få fram i Sverige idag. Boverkets krav inkluderar i nuläget inte anläggning, vilket ger en låg efterfrågan och därmed en långsam utveckling inom området. Trots detta visar denna studie att det går att påvisa stora klimatförbättrande åtgärder inom anläggning genom att välja rätt material och ha genomtänkta konstruktioner. Som beställare kan detta nyttjas till att ställa krav i upphandlingar, så att minimal klimatpåverkan genereras från projekten.

Denna fallstudie kan ses som representativ för hur anläggningsprojekt uppförs och hur klimatpåverkan hanteras i processen. Erfarenheter från fallstudien kan framöver användas för att skapa en struktur för beställaren att i framtida projekt inkludera krav på klimatdata i tidigt skede och inkludera gränsvärden i upphandlingen.

I fallstudien fanns det en månad innan första spadtaget ingen detaljerad modell/ritning över området att använda för klimatkalkylen. För B kan det vara svårt att få fram underlag från totalentreprenaden när upphandling sker via totalentreprenad, vilket har varit fallet. Projektet var inte projekterat i tillräcklig detaljrikedom för att skapa sig en tydlig bild av de material och resurser som avser användas. Underlag från B och E var tänkt att ligga till grund för pilotprojektet att testa och utvärdera programmet ProdiKT. Eftersom B och E inte haft möjlighet att ta fram underlag i tid kunde inte detta genomföras.

När upphandlingar sker genom totalentreprenad kan det initialt inte sällan läggas mycket resurser av E för att projektera den slutliga produkten. Alltså saknades produkt- och resursspecifik information i ett tidigt skede. Detta gör att en LCA-analys som ska vara applicerbar på den slutliga produkten blev utmanande att genomföra. Alternativet blev då att göra antagande som förutspår hur projektet kan komma att utföras. Många av de antagande som legat till grund för detta projekts beräkningar har varit svåra att ta fram med bakgrund till ovan. Exempelvis kan en bergkross och dess genererade CO<sub>2</sub>e skilja sig markant beroende på till vilken storlek berget ska krossas. Mindre kornfraktion innebär att berget krossas i fler steg och därför genererar mer CO<sub>2</sub>e. Det antagande som görs kring vilken storlek som ska användas påverkar därför resultatet och kan inte garanteras vara det faktiskt värdet. Genom att ange gränsvärden redan i upphandlingen kan dessa data användas som bas i klimatkalkylen. Om E sedan tillhandahåller en produkt med lägre klimatavtryck kan den utfärdade klimatkalkylen revideras, dock utförs den initiala beräkningen alltid på "säkra sidan" genom att anta högre värden eller generisk data som har en tilläggsfaktor på ca 25 procent.

#### 5.1.1 Upphandlingsform och dess logistiska svårigheter

Resultaten indikerar att upphandlingsformen totalentreprenad kan innebära betydande hinder för tidig framtagning av en LCA för projektet. För att mildra dessa utmaningar hade det varit möjligt för B att inkludera specificerade krav i upphandlingen. Exempel på sådana krav är:

- att en viss procentandel av entreprenadmaskinerna ska drivas med förnybart bränsle såsom HVO.
- att begära att "klimatsmarta lösningar" implementeras i projektet
- att betongen ska vara av miljövänligt slag, såsom grön betong eller likvärdigt.

Genom att specificera detaljer inom projektet, särskilt de som traditionellt resulterar i betydande utsläpp av koldioxidekvivalenter, kan det slutgiltiga LCA-resultatet uppskattas med större precision. En alternativ metod för att uppnå mer exakta LCA-värden är att basera vissa antaganden på tidigare liknande projekt. Emellertid förutsätter detta att LCA-beräkningar redan har genomförts för jämförbara projekt, vilket inte alltid är fallet för mer unika industribyggnader. Om tidigare LCA-beräkningar har utförts för liknande projekt kan det dock fungera som en användbar referenspunkt för beställaren vid formuleringen av krav. Slutligen kan det övervägas att införa krav på E att inkludera förväntade utsläpp av växthusgaser i sitt anbud. På detta sätt införskaffas en uppskattning av projektets förväntade koldioxidutsläpp och kan B få en bättre förståelse för dess potentiella klimatpåverkan.

Både B och E hade stundtals svårt att tillhandahålla information, exempelvis om den specifika betongtyp som skulle användas långt in i rapportens genomförande. För att samla in information krävs löpande och tydlig information från beställare och entreprenad – med inkluderade underentreprenader. För att få ett resultat som kan appliceras på det verkliga projektet kan exempelvis svaret ”jag tror det är betong x som ska användas till plattan på mark” anses som ej godtagbar. Parterna måste vara medvetna om den extra arbetsbörda som förväntas läggas. Information om mängd, material, val av arbetsmaskiner och tid är faktorer som måste bestämmas i ett tidigt skede. Långt in i februari var många av faktorerna inte kvantifierade trots att förfrågningsunderlaget skulle skickas ut i slutet av denna månad. Detta leder till att en LCA-beräkning i ett tidigt skede är svårt att göra för beställaren i en totalentreprenad eftersom den upphandlade entreprenörens val kring hur produktionen ska göras har stor inverkan på resultatet.

Med ovan diskuterade svårigheter i processen vad gäller att få fram grundläggande information går det att diskutera om en LCA bör göras i ett tidigt skede för projekt av denna komplexitet. Det kan vara ett alternativ att göra beräkningarna efter projektet och i stället låta dem ligga till grund för kommande projekt.

## 5.2 Lastbilar

Att hitta värden för hur mycket emissioner en lastbil genererar har varit svårt. Företag som levererar lastbilar, exempelvis Scania och Volvo, har inte lättillgängliga data. För en personbil framgår det vad den drar i timmen. Så är inte fallet för lastbilar. Vi fick uppfattningen att detta är information som är vedertaget inom branschen och att estimerade värden baserat på erfarenhet snarare än fakta används. Detta medför att det blir tidskrävande att räkna på. Det behövs mer information/forskning inom område. Mer exakta värden bör finnas lättillgängligt.

Det finns elektrifierade lastbilar. För entreprenadmaskiner finns redan idag prototyper där ett fåtal går att hitta på marknaden. Däremot saknas information om dess bidrag till växthuseffekten i form av koldioxidekvivalenter. Därför har elektrifierade entreprenadmaskiner och lastbilar inte kunnat jämföras med entreprenadmaskiner och lastbilar som drivs av diesel MK1 och HVO100.

## 5.3 Krossverk

Om krossverket i första hand drivs av direkt-el för att i andra hand drivs på diesel nås det mest kostnadseffektiva resultatet. Direkt-el är det bästa alternativt sett till både kostnad och genererade CO<sub>2e</sub>. Under de perioder som verket drivs av diesel förekommer högre utsläpp i jämförelse med HVO. Därför bör det göras en avvägning mellan insparade ton CO<sub>2e</sub> vs

kostnadsbesparing. Detta eftersom HVO är dyrare i jämförelse med diesel. Prioriteringen bör därför se ut enligt tabell 58.

Tabell 58, Prioriteringar för krossverket sett till kostnad eller insparade ton CO<sub>2e</sub>.

	Kostnadseffektivt	Mest insparade ton CO <sub>2e</sub>
1	Direkt-el	Direkt-el
2	Diesel	HVO
3	HVO	Diesel

## 5.4 Åtgärder på plats och klimatkompensation

Klimatkompensering innebär att företag eller privatpersoner investerar pengar i projekt som sänker klimatpåverkan på annat ställe. Exempel på sådana investeringar är solcellsparker för att ersätta kolkraft eller moderniserande av köksutrustning för att sänka energianvändningen och därigenom klimatpåverkan. Att göra denna typ av investeringar är positivt i ett globalt perspektiv och bör uppmuntras men inte på bekostnad av att göra åtgärder i projekt på lokal nivå. Att göra åtgärder direkt vid källan är det effektivaste och bidrar till utveckling kring minskad klimatpåverkan på samtliga nivåer av näringslivet och samhället. Dessutom kan företag dra nytta av att projektbaserat minska sin klimatpåverkan eftersom de därigenom visar sitt samhällsengagemang, får gott rykte och dessutom kan dra vissa ekonomiska fördelar genom bland annat EU-taxonomin.

## 5.5 Generisk data vs EPD

I Bilaga 1 framgår det att generiska data för de flesta materialen återspeglar högre CO<sub>2e</sub> för skede A1-A5 jämfört med produktspecifika EPD-er. Denna avvikelse kan förklaras av att den generiska datan representerar ett medelvärde baserat på flera leverantörers produkter, medan de valda EPD:erna bygger på en specifik produkt från en specifik leverantör. Genom att använda generisk data för de poster där EPD:er saknas ökar det beräknade totala utsläppet jämfört med det faktiska totala utsläppet.

Under utförandet av detta arbete har det blivit uppenbart att det finns flera metoder att genomföra en LCA. Att samla in EPD:er och generisk data är två alternativ. Om valet blir att samla in EPD:er finns det olika standarder (+A1 och +A2) för produkten beroende på när produktdeklarationen producerades. För att kunna använda fler EPD:er och göra jämförelser rättvisa inkluderades biogent kol i beräkningarna.

Processen att ta fram information om CO<sub>2e</sub> är tidskrävande och för de produkter där informationen finns tillgänglig används olika standarder. När data sammanställs på olika sätt, exempelvis generisk data jämfört med EPD eller olika typer av EPD med olika standarder, kan de anses ojämförbara. I denna rapport gjordes antaganden för att kunna jämföra dessa. Det är trovärdiga siffror, men läsaren behöver vara medveten om att biogent kol är inkluderat i våra beräkningar vidare blir det då upp till läsaren att tolka resultatet. För att underlätta arbetsprocessen, då det går att anta att sammanställning av EPD:er för material i framtiden kommer att öka, bör EPD:er göras offentliga samt att varje leverantör bör ha krav på sig att redovisa en EPD för sin produkt.

Modul D som omfattar fördelar och nackdelar utanför materialets livscykel ur ett klimatperspektiv räknas inte med i slutgiltigt resultat men redovisas i de fall specifika EPD:er används. Modul D är tilläggsinformation som enligt EU-standard EN15978 skall inkluderas

och redovisas i en EPD men inte skall inkluderas i klimatdeklarationen. Detta beror främst på att modul D inte är jämförbar med övriga moduler samt att den inte bidrar till klimatdeklarationens primära syfte – att åskådliggöra aktuella utsläpp. Däremot kan modul D bidra till ett mer cirkulärt byggande i framtiden samt vara kostnadsdrivande (Sjølvgren, 2023).

## 5.6 Referensobjekt Sala

I jämförelsen Sala mot Fröland beaktas enbart klimatpåverkan för betong, armering och galvaniserat stål. Denna jämförelse skulle kunna göras djupare men eftersom det saknas ritnings- och tekniskt underlag för Sala anläggningen skalades jämförelsen ner till endast betong, armering och galvaniserat stål.

Enligt de siffror som presenterades i Tabell 55, Tabell 56 och Tabell 57 är klimatpåverkan för en ny siloanläggning i galvaniserat stål i storleksordningen jämförbar med en ny i betong. Det är dock viktigt att komma ihåg vid beslutstagande att denna rapport dock endast hanterar ”Cradle to Gate”- skedet för anläggningen. I själva verket kan resultatet bli annorlunda när användningen samt demoleringen av anläggningen tas hänsyn till. Som nämnts tidigare kan exempelvis betong absorbera koldioxid under användningstiden vilket skulle sänka den totala klimatpåverkan. På samma spår är stål ett mycket bra material eftersom det relativt enkelt går att återvinna eller återanvända, något som skulle kunna sänka klimatpåverkan för projektet.

## 5.7 Karbonatisering

Under driftfasen av betong absorberar materialet koldioxid från omgivande luft, vilket motsvarar 15–20 procent av de koldioxidutsläpp som genererats under dess tillverkning. Det kan argumenteras för att denna specifika andel av koldioxidutsläppen bör sättas som ett negativt värde i en EPD, med beaktande av dess potentiella positiva inverkan på netto-utsläppen över tid. Detta kan anses riktigt eftersom en hel LCA inkluderar betongens samlade klimatpåverkan över hela dess livscykel. Eftersom betongen är den utan tvekan största boven av samtliga poster som redovisats i resultatet medför inkluderingen i sådana fall en markant minskning av det totala utsläppet av CO<sub>2e</sub>. Eftersom endast A1-A5 är inkluderat i rapporten är karbonatiseringen inte inkluderad. Men det är av intresse att ha en förståelse kring detta för att kunna tolka resultatet.

## 5.8 Galvanisera bara det som behövs

Galvaniserat stål är känt för sin korrosionsbeständighet, vilket kan bidra till längre livslängd för produkten och konstruktionen i sin helhet. Detta kan i sin tur minska behovet av regelbundet underhåll och reparationer, vilket kan vara resurs- och energikrävande. Ur ett livscykelperspektiv skulle det alltså kunna vara positivt att galvanisera stål. Likväl är det ur klimatsynpunkt viktigt att galvat stål bara används där det är nödvändigt och inte i miljöer som är skyddade mot fukt och korrosiva ämnen, exempelvis i inomhusmiljöer, eftersom materialet genererar relativt stora mängde CO<sub>2e</sub> under framställning i jämförelse med många andra material.

Ett alternativ till användningen av galvaniserat stål är att i stället måla stålet. Målningen medför valmöjligheter vad gäller vilken färg, vilket kan anpassas efter specifika krav för korrosionsskydd. Dock bör det noteras att detta alternativ inte nödvändigtvis utgör den mest fördelaktiga lösningen, med tanke på användningen av kemikalier som är en nödvändig del av färgprocessen.

## 5.9 Asfalt

Asfaltbeläggningar dimensioneras inte sällan utefter Trafikverkets standarder. Dessa dimensioner baseras på data från vägar trafikerade med både personbilar och tunga fordon som färdas med en betydande hastighet. Det är ofta sättningar som medför en försämrad kvalitet på vägen i form av sprickor. Detta motverkas genom att dimensionera asfaltreceptet och tjockleken på olika lager efter rådande situation. Exempelvis görs asfalten mjukare för att inte spricka när den utsätts för belastning.

För anläggningen i fråga förekommer inga högre hastigheter, inte heller är det många fordon som passerar i jämförelse med exempelvis en motorväg eller riksväg och slutligen kan personbilar exkluderas ur beräkningen. I detta fall är det snarare så att det är enbart tunga fordon med låg eller ingen hastighet som befinner sig på den asfalterade ytan. Genom en statisk last förekommer, i stället för sprickor, sättningar som kan urskiljas i form av hjulspår på den belagda ytan. För att motverka detta bör asfalten göras styvare. Trots detta dimensioneras asfaltytor ofta efter Trafikverkets scenario i föregående stycke.

Genom att dimensionera efter rådande förhållande förändras livslängden, vilket sedan kommer att minska underhållsarbeten och minska kostnaderna för asfalten. I sin tur kommer asfalten inte att behöva bytas ut lika ofta. Detta ligger utanför rapportens område (A1-A5) vilket inte påverkar resultatet men är en intressant aspekt att ha men när projektering ska appliceras på verkligheten.

## 5.10 Elektronik och invändiga maskiner

Elektroniken och invändiga maskiner visades generera stora mängder CO<sub>2</sub>e. Detta på grund av att det är en stor materialåtgång inom denna post. Att samla in klimatdata kopplat till posten var inte genomförbart. Enligt E beror detta på att många leverantörer inte vill dela med sig av information gällande sina produkter på grund av sekretess. Detta är något som måste förändras. För att kunna ta rätt val kopplat till att minska klimatavtrycket måste branschen kunna öppna upp för att tillhandahålla klimatinformation.

## 5.11 Limträ

Limträ anses ofta av många som ett klimatvänligt och ofta klimatneutral byggprodukt. Även om träprodukter i allmänhet är betydligt klimatsmartare än exempelvis nyproducerad betong och stål så kan det förekomma vissa risker och problem med träprodukter. Alexina Brännlund diskuterar i sin rapport “limträbalkar som substitut för betong” huruvida det endast kan vara positivt att använda limträ i stället för betong. En intressant diskussion är allokeringen av utsläpp från limträproduktion där Brännlund tar upp problematiken med att hela trädet inte kan användas till limträ utan snarare går till produktion av kortlivade produkter som biobränsle eller papper. Brännlund menar dessutom att det i limträ finns ett problem med “payback tiden” och att denna blir lång eftersom nedsågning av träd skapar en förlorad inbindning av koldioxid. Dessa är emellertid intressanta punkter att diskutera där vi dock inte håller med om att allokeringen skulle vara ett problem eftersom dessa restprodukter ändå produceras och dessutom är hållbarare val än till exempel vanliga bränslen. Payback tiden är lång av förklarliga skäl men om man ser till alternativet, att använda stål och betong som producerar koldioxid i nutid är träprodukter ett bra val (Brännlund, 2020). Om inget annat bör materialen betraktas som protagonister snarare än antagonister – de bör användas tillsammans för att bidra till ett hållbart byggande.

Det hade vidare varit intressant att se en uträkning av betongstomme för att kunna jämföra detta med limträ. Att döma av tidigare läst litteratur skulle detta resultera i betydligt mindre klimatpåverkan jämfört med stålstomme.

## 5.12 Metoddiskussion

Att genomföra en handberäkning för ett projekt i denna omfattning är möjligt och har genomförts relativt smärtfritt under vårt arbete. Det var möjligt att få en översikt och att sammanställa data i separata ark för att sedan sammanställa resultatet i ett ark.

I en retrospektiv bedömning av arbetet skulle vi prioritera en mer direkt kommunikation med underleverantörer från projektets inledande skeden. Genom att etablera och upprätthålla regelbunden kontakt samt ställa tydligare krav på insamling av information hade vi förmodligen kunnat öka effektiviteten i informationsinhämtningen betydligt. Att bygga personliga relationer i tidigt skede kan visa sig vara avgörande för att snabbt och effektivt få svar på frågor via mejl eller telefon.

Den ekonomiska aspekten för detta arbete förstod vi sent var en viktig del för Lantmännens arbete framåt i deras klimatarbete. Något som fick prioriteras intensivt i den senare delen av arbetet. Hade arbetet gjorts om hade fokus på att samla in information kring kostnader för olika åtgärder också gjorts i ett tidigare skede.

## 6. Slutsatser

Resultatet visar att projektet kan generera olika mängd CO<sub>2</sub>e baserat på tre olika case under fas A1-A5. För best case scenario kommer projektet generera cirka 4600 ton CO<sub>2</sub>e och för worst case scenariot cirka 7200 ton CO<sub>2</sub>e. Om generisk data från Boverket och Trafikverket används som indata, vilket är case scenario tre, kommer cirka 7700 CO<sub>2</sub>e ton att genereras.

I ett tidigt skede där projektet inte satt i gång krävs antaganden, indata och avgränsningar för att kunna göra en LCA (A1-A5) för markarbeten. Det krävs många antaganden omfattande exempelvis maskinstorlekar, drifttid för entreprenadmaskiner och volym för massor. Det framgick under arbetets gång att europeiska tillverkare (Volvo och Liebherr) av entreprenadmaskiner har information om antingen maskinernas genererade utsläpp eller bränsleförbrukning (och därigenom utsläpp). Så var inte fallet för många andra tillverkare. Detta gjorde att resultatet för entreprenadmaskiner är grundat på information från Volvo och Liebherr. Många avgränsningar kring vilka delar av markarbeten som kunde räknas ihop och vilka som skulle exkluderas helt var nödvändiga för att komma framåt i beräkningarna. Det har varit genomförbart att estimerade genererade utsläpp för markarbeten, men hur pass bra värdet stämmer överens med det faktiska värdet är svårt att bedöma i nuläget.

Det finns många valmöjligheter gällande processer och material som B och E kan göra för att minska klimatavtrycket. Ett exempel i denna rapport har varit att jämföra betongsilor med silor gjorda av galvaniserat stål. Beroende på hur projekten jämförs kan båda materialen anses vara det bästa alternativet. Detta gör frågan komplex. Vilket av materialen som är bäst baserat på en LCA för A1 till A5 går inte att säga eftersom resultatet förändras beroende på vad som inkluderas i analysen. Exempelvis om endast väggarna i galvaniserat stål jämförs med väggar av betong, då galvaniserat stål är bättre. Eller om plattan tas med varpå betongen visar sig vara ett bättre alternativ. Vidare kan det bli avgörande om hela livscykelperspektivet beräknas och utvärderas. Detta eftersom betongen genomgår en karbonatiseringsprocess och att det galvaniserade stålet är 100 procent återvinningsbart. Alltså finns det poster i senare delar av LCA:n som påverkar det totala utsläppet av CO<sub>2</sub>e.

För att underlätta arbetsprocessen av att ta fram en LCA bör branschgemensamma EPD:er göras och finnas tillgängliga offentligt. Det framgick under arbetets gång och i kontakt med företag att vissa leverantörer har tillgång till EPD:er men att dessa inte kan spridas offentligt på grund av sekretess till utvalda kunder. Detta försvårar arbetet med att jämföra klimatpåverkan för olika tillverkares produkter.

Elektronik, maskiner och kringutrustning är poster som tros generera stora mängder CO<sub>2</sub>e eftersom att de innehåller många metaller men framförallt för att de sammantaget förekommer i stora mängder. Det fanns ingen information om elektronikens genererade utsläpp tillgängligt. Branschen måste därför göra ett krafttag inom detta område och tillgodose att EPD:er/miljövarudeklarationer finns tillgängliga. Enligt denna rapport tros dessa komponenter stå för 10-16% av de totala utsläppen för hela anläggningen under byggskedet.

Genom att göra medvetna val omfattande material och processer kan företag vara med och driva den gröna utvecklingen. Valen medför generellt högre pris i jämförelse med traditionella processer och material.

Tabell 53 konstaterar att den mest klimat- och ekonomiskt effektiva åtgärden är att byta energislag för drift av krossningsprocessen till elektrisk energi och HVO. Därefter följs detta

av betong, limträ, mindre asfaltering samt klimatneutral asfalt, HVO till transporter och maskiner och klimatneutral asfalt. Ur ett rent klimatmässigt perspektiv har de olika åtgärderna något olika potential och rangordning. Den med störst effekt, alltså minskning av utsläpp, är att säkerställa att det galvaniserade stålet och den med störst ekonomisk effektivitet är att byta driftsätt för krossningsprocessen. Dessa och fler sammanställs i Tabell 59 nedan.

Tabell 59, åtgärder och deras ekonomiska och klimatavtrycks rangordning

Åtgärd	Rangordning ekonomiskt	Rangordning klimat	GWP besparing / ton CO <sub>2</sub> e
Driftsätt, krossningsprocess	1	10	43
Betong	2	3	472
Limträ	3	2	615
Asfalt (delyta)	4	6	161
HVO, transporter och maskiner	5	4	268
Asfalt (helyta)	6	7	135
Galvaniserat stål	-	1	1275
Armering	-	5	205
Sandwich paneler	-	9	76
Stålplåt, tippvall	-	8	97

Slutsatsen av Tabell 59 är att:

- Att byta till klimatvänligare betong och från stål till limträ ligger bra till i både den ekonomiska klassen och klimatklassen.
- Att byta drivmedel från diesel till HVO är en åtgärd som är relativt effektiv ur klimatsynpunkt men utifrån de undersökta åtgärderna hamnar längre ner på rangordningen ekonomiskt.
- Att som beställare försäkra sig om att leverantören av silorna använder sig av galvaniserat stål med lågt klimatavtryck kan sänka klimatutsläppen mer än alla åtgärder.
- Att byta driftsätt för krossning är ekonomiskt mycket effektiv men climateffekten är mindre än alla andra åtgärder.

Genomgående i denna rapport har jämförelser mellan olika siffror varit av central betydelse. Dessa jämförelser kan utföras på olika sätt och mellan olika källor, vilket betonar vikten av noggrannhet och kritisk granskning vid analys av data. Samtidigt innebär denna jämförelseprocess en potentiell risk, där beslutsfattare kan fastna i en loop av faktaval och jämförelser, vilket kan hindra framsteg. Det är därför avgörande att komma ihåg att alla handlingar som främjar klimatvänliga alternativ är steg i rätt riktning och bör prioriteras.



## 7. Vidare forskning

Det finns många alternativ utöver att välja rätt processer under byggtiden och leverantörer av olika material. En aspekt som inte undersökts i denna rapport är effekterna av att återanvända material från siloanläggningar som ska tas ur bruk. Detta kan vara av intresse för framtida projekt.

När siloanläggningen står färdig hade det varit otroligt spännande att få veta hur bra värdena i denna rapport förhåll sig till de faktiska utsläppen. För det första hade det varit intressant att se om de EPD:er och antaganden som användes i arbetet, blev applicerbara på verkligheten. För det andra hade det varit intressant att se om någon kategori överskred eller underskred framtagna förväntade utsläpp. För det tredje hade det varit intressant för erfarenhetsåterföringen att se om det fanns någon process eller materialtyp som inte inkluderades i denna rapport men som kan vara betydande ur klimatsynpunkt. Förhoppningsvis finns även mer data om klimatpåverkan för elektroniska komponenter då och vid framtida siloprojekt. Om så är fallet, kan en LCA göras träffsäkrare i ett tidigt skede.

Under arbetets gång har artiklar och pressmeddelanden från bland annat Volvo hittats där entreprenadmaskiner och lastbilar utvecklas mot elektrifiering. Elektriska lastbilar förekommer idag på vägarna men det finns för lite information om dess klimatdata kopplat till en livscykelanalys. För entreprenadmaskiner har utvecklingen inte kommit lika långt. De elektrifierade maskinerna som finns är av mindre storlekar eller i prototypstadiet. Volvo och Skanska har i samarbete testat grävmaskiner i 25 tons-storleken. Men detta har endast gjorts på utvalda projekt och är därför inte en vedertagen valmöjlighet. Det hade varit av intresse att veta hur elektrifierade lastbilar och entreprenadmaskiner kan komma att påverka ett arbete likt detta. Mer specifikt ett kvantitativt värde på hur det totala utsläppet förändras samt hur kostnaden påverkas.

Det har i detta arbete uppdagats att hållfasthet och kategori av massor påverkar schakttiden och entreprenadmaskinernas brukstid. Att göra en undersökning som försöker se ett samband mellan produktionstakt och material hade varit av intresse för att kunna göra mer exakta antagande om tidsåtgång om ett liknande arbete skulle utföras i framtiden. En sådan undersökning skulle bli komplex eftersom det finns många andra parametrar som påverkar såsom väder, geografisk position och utrymme men om den kan göras under längre tid kommer extremiteterna fördela sig jämnt över studieobjekten.

I analysen jämfördes stålsilor mot betongsilor. Analysen indikerade att det kan vara gynnsamt att bygga på höjden, snarare än bredden, för att minska plattans area och volym. Vidare är det därför intressant att undersöka hur höga stålsilor som kan byggas utan att äventyra konstruktionens funktioner. Därefter bör även bruksskedet tas med i beräkningen eftersom säden då ska transporteras högre upp. Vilken höjd är den mest gynnsamma om minskning av betongplattan – och därmed utsläppen – sätts i relation till den extra energin som krävs för att transportera säden de extra höjdmetererna.



## Litteraturförteckning

- ABB, 2022. *Elektrifieringen gör det hållbart att krossa sten*. [Online] Available at: <https://new.abb.com/news/sv/detail/90817/elektrifieringen-gor-det-hallbart-att-krossa-sten> [Använd 11 04 2024].
- Ahlgren, T. & Cismaru, I., 2023. *Livscykelanalys av grundläggning – En fallstudie av 11 projekt*, Lund: LTH.
- Alfredson, H. & Swenson, C., 2017. *Bränslecell jämfört med dieselgenerator*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Andersson, A. & Swärdh, A., 2021. *En analys av CoClass & BSAB*, Lund: LTH.
- Andersson, J. & Edsman, W., 2022. *Klimatdeklaration 2022*, Stockholm: KTH.
- Andersson, L., 2016. *Koldioxidupptag i betong*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Arbetsmiljöverket, 2019. *Sprängarbete*, u.o.: Arbetsmiljöverket.
- Axelsson, S. & Löfsjögård, M., 2023. *FÄRDPLAN FÖR KLIMATNEUTRAL KONKURRENSKRAFT Betongbranschen*, u.o.: Betonginitiativet.
- Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G. & Gartner, E., 2014. *Cement and carbon emissions*, St Quentin Fallavier: Lafarge research center.
- Bergkvist, A., 2017. *Mobil bergkrossning*, Luleå: Luleå tekniska universitet.
- Bergman, S., 2018. *Livscykelanalys för grundläggning av byggnader*, Luleå: Luleå tekniska universitet.
- Berg, M. & Sundberg, A., 2017. *Totalentreprenad och utförandeentreprenad*. [Online] Available at: <https://byggteknikforlaget.se/totalentreprenad-och-utforandeentreprenad/> [Använd 10 04 2024].
- Betonginitiativet, u.å.. *Om oss*. [Online] Available at: <https://betonginitiativet.se/om-oss/> [Använd 04 01 2024].
- Boverket, 2018. *Klimatdeklaration av byggnader*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2019. *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovarudeklaration-for-byggprodukter-epd/> [Använd 04 01 2024].
- Boverket, 2020. *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader - förslag på färdplan och gränsvärden*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2021. *Verktyg för minskad klimatpåverkan vid planläggning*, Karlskrona : Boverket.
- Boverket, 2023. *Boverket*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/byggdelar-som-ingar/> [Använd 27 03 2024].
- Boverket, 2023. *Byggdelar som ingår*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/byggdelar-som-ingar/> [Använd 15 03 2024].
- Boverket, 2023. *Indata för transport i byggproduktionskedet*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/indata-transport/> [Använd 15 03 2024].
- Boverket, 2023. *Klimatdeklarationens omfattning*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/> [Använd 16 01 2024].

- Boverket, 2023. *Om Boverkets klimatdatabas.* [Online]  
Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>  
[Använd 24 04 2024].
- Byggfakta, u.å.. *Så här går en byggprocess till.* [Online]  
Available at:  
<https://www.byggfakta.se/kunskap/byggprocessen#:~:text=En%20byggprocess%20består%20av%20fyra,stege%2C%20från%20idé%20till%20förvaltning.>  
[Använd 14 02 2024].
- Celsa, u.å.. *Hållbarhet från Norden.* [Online]  
Available at: <https://celsa-steelservice.se/kvalite-och-miljo/gront-stal/>  
[Använd 04 01 2024].
- Chahine, D. & Nilsson, J., 2019. *Skumglas som ballast i betong*, Lund: LTH.
- Chikho, B., 2021. *Återvinning av asfalt*, Lund: Lund University.
- CircleK, 2024-03-15. *CircleK.* [Online]  
Available at: <https://www.circlek.se/drivmedel/drivmedelspriser>  
[Använd 15 03 2024].
- Concretenetwork, u.å.. *Concretenetwork.* [Online]  
Available at: <https://www.concretenetwork.com/concrete-history/>  
[Använd 05 01 2024].
- Demirel, Y., 2014. *sciencedirect.* [Online]  
Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/motor-efficiency>  
[Använd 08 04 2024].
- Direct, S., 2022. *Science Direct.* [Online]  
Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/supplementary-cementitious-material>  
[Använd 15 01 2024].
- Energimarknadsbyrå, 2024-02-29. *Energimarknadsbyrå.* [Online]  
Available at: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elpriser-statistik/manadspriser-pa-elborsen/>  
[Använd 15 03 2024].
- Energimyndigheten, 2018. *Omvärldsbevakning - biodrivmedelsmarknaden*, u.o.:  
Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2022. *Förnybara drivmedel.* [Online]  
Available at: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/fornybara-drivmedel/>  
[Använd 05 01 2024].
- Energimyndigheten, 2022. *Världens första bränslecelldumper – ett resultat av svensk forskning.* [Online]  
Available at: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/varldens-forsta-branslecelldumper--ett-resultat-av-svensk-forskning/>  
[Använd 16 02 2024].
- Energimyndigheten, 2023. *Växthusgasberäkning.* [Online]  
Available at:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/vaxthusgasberakning/#:~:text=Vilket%20värde%20på%20svensk%20elmix,vilket%20är%20koldioxidintensiteten%20på%20lokalnättnivå.>  
[Använd 09 02 2024].
- Energimyndigheten, 2023. *Växthusgasutsläpp.* [Online]  
Available at:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgas>

utslapp/

[Använd 09 02 2024].

Engström, H. & Örnescog, E., 2021. *Receptoptimering av betong*, Örebro: Örebro Universitet.

Escobar-Jansson, H., 2019. *Jernkontoret*. [Online]

Available at: <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/>

[Använd 22 02 2024].

EurObserv'ER, 2019. *BIOFUELS BAROMETER*, u.o.: EurObserv'ER.

FN-förbundet, u.å.. *Globala målen för hållbar utveckling*. [Online]

Available at: <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/>

[Använd 09 01 2024].

Fordon & Transport, u.å.. *Entreprenadmaskiner*. [Online]

Available at: <https://www.fordon-transport.se/fordon/entreprenadmaskiner/#:~:text=Allmän%20fakta,bulldozer%2C%20vägvärt%2C%20hjulastare%20etc.>

[Använd 22 02 2024].

Gröna mobilister, 2023. *Vad vet vi om vår förnybara diesel HVO?*. [Online]

Available at: <https://gronamobilister.se/artiklar/2020/vad-vet-vi-om-var-fornybara-diesel-hvo/>

[Använd 02 05 2024].

Greendesk, 2023. *Hur skiljer sig standarden EN 15804+A2 mot EN 15804+A1?*. [Online]

Available at: <https://www.greendesk.se/artiklar/en-15804-a2>

[Använd 04 03 2024].

Gustafsson, M., 2019. *Energier och CO<sub>2</sub>, fördelning i flödet vid mobil krossning*, Luleå: Luleå tekniska .

Gustavsson Binder, T., 2022. *HVO100 - analys av nuläge och framtida utveckling*, Stockholm: IVL.

Helsing, E., Malaga, K., Suchorzewski, J. & Gabrielsson, I., 2022. *Klimatförbättrad betong för dricksvattenanläggningar*, Bromma: SVU.

Hirn, A., 2019. *Nordicgalvanizers*. [Online]

Available at: [https://nordicgalvanizers.com/wp-content/uploads/2020/01/NG\\_Handbok-1.pdf](https://nordicgalvanizers.com/wp-content/uploads/2020/01/NG_Handbok-1.pdf)

[Använd 11 01 2024].

Huang, B., Gao, X., Xu, X. & Song, J., 2020. *A life cycle framework to mitigate the environmental impact of building materials*, Shanghai: One earth.

Hybrit, u.å.. *Hybrit*. [Online]

Available at: <https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/direktreduktion-med-vatgas-i-pilotskala/>

[Använd 22 02 2024].

Jansson, F. & Erlbacher, S., 2023. *Ekonomisk och miljömässig jämförelse av logistikhallar byggda i limträ- och stålstomme*, Jönköping: Jönköping University.

Khalil, B. A. & Tokovic, S., 2022. *Jämförelse mellan betong och klimatförbättrad betong*, Malmö: Malmö Universitetet.

Kiilsgaard, R., 2019. *Förutsättningar att bedöma klimatpåverkan från grundläggning och grundkonstruktioner*, Linköping: SGI.

Kourinnoi, B., 2020. *Nyckelfaktorer för Grön Innovation inom Bygg- och Anläggningssektorn*, Stockholm: KTH.

Kubar, A. & Nyström, J., 2022. *Kartläggning av miljöpåverkan för aluminium- och stålprodukter*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Lantmännen, 2023. *Exjobb miljöpåverkan Nya Uddevalla*. u.o., Lantmännen Lantbruk.

Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T. & Kellner, J., 2016. *Byggandets klimatpåverkan*, Stockholm: IVL.

- Lee, C., Asbjörnsson, G., Hulthén, E. & Tegstedt, F., 2022. *Utveckling av ett webbaserat EPD-verktyg för bergmaterialproduktion*, Göteborg: SBUF.
- Lilja, J., 2019. *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [Använd 12 2023].
- Lindbohm, H. & Selin, M., 2023. *Vägtrafikens utsläpp 2022*, u.o.: Trafikverket.
- Mansikka, J., 2020. *HVO – vägen mot ett mer miljövänligt skogsbruk*, Umeå: SLU.
- Materials, H., 2023. *Heidelberg materials*. [Online] Available at: <https://www.sliteccs.se/sv> [Använd 05 01 2024].
- Mekano, u.å.. *T7, VSI 1203*, Jönköping: Maskin Mekano.
- Naturvårdsverket, 2023. *Beräkna klimatpåverkan*. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/> [Använd 10 12 2023].
- Naturvårdsverket, u.å.. *Fluorerade växthusgaser*. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/kemikalier/fluorerade-vaxthusgaser/lackagekontroll-nya-gransvarden/> [Använd 05 01 2024].
- Olsson, M., Åkeson, U. & Loorents, K.-J., 2014. *Spränghandboken*, Borlänge: Trafikverket.
- OneClick, 2023. *The difference between EN 15804+A1 and EN 15804+A2 data*. [Online] Available at: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360017188900-The-difference-between-EN-15804-A1-and-EN-15804-A2-data> [Använd 02 05 2024].
- Pantze, A., Bohlin, I. & Adolfsson, I., 2020. *Förslag på klimatkrav för beläggning*, Stockholm: Trafikverket.
- Pasanen, P., u.å.. *EN 15804+A2 – ETT ÅR EFTER IMPLEMENTERING*. [Online] Available at: <https://www.stalbyggnad.se/hallbarhet/en-15804a2-ett-ar-efter-implemterering/#:~:text=Delvis%20kompatibla%20avseende%20global%20uppvärmningspotential&text=Förutsatt%20att%20bedömningen%20endast%20täcker,data%20från%20båda%20dessa%20standarder.> [Använd 02 05 2024].
- Pasanen, P., u.å.. *EN 15804+A2 – ETT ÅR EFTER IMPLEMENTERING*. [Online] Available at: <https://www.stalbyggnad.se/hallbarhet/en-15804a2-ett-ar-efter-implemterering/#:~:text=I%20november%202019%20beslutade%20den,att%20gälla%20i%20juni%202022.> [Använd 19 02 2024].
- Projektledning, 2019. *Totalentreprenad: Entreprenadform där en enda entreprenör (totalentreprenör) är ansvarig*. [Online] Available at: <https://projektledning.se/totalentreprenad/> [Använd 14 02 2024].
- SCB, 2023. *Elproduktion och förbrukning i Sverige*. [Online] Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/elektricitet-i-sverige/> [Använd 09 02 2024].
- Sjølvgren, A., 2023. *Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan*, Karlskrona: Boverket.
- Stenevi, M., 2021. *Regeringens proposition*, Stockholm: Regeringen.
- Stockholms stad, 2023. *Vätgas som drivmedel*. [Online] Available at: <https://hallbart.stockholm/lar-dig-mer/drivmedel-klimat/vatgas/#:~:text=Vätgas%20är%20en%20energibärare%20som,vätgas%20är%20aktuell>

%20som%20drivmedel.

[Använd 09 01 2024].

Strokirk, B., 2019. *Bergmaterialindustrin i praktik och teori*, Stockholm: Sveriges Bergmaterialindustri.

Swedish Standard Institute, 2006. *SVENSK STANDARD SS-EN ISO 14044:2006*, u.o.: Swedish Standard Institute.

Svensk & betong, S., 2022. *Vägledning klimatförbättrad betong*, Stockholm: Svensk betong.

Svensson, B., Andersson, C. & Sandahl, O., 2005. *Asfaltboken*. [Online] Available at: <https://asfaltboken.se/transport/>

[Använd 13 03 2024].

Sveriges miljömål, u.å.. *Sveriges miljömål*. [Online] Available at: <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/>

[Använd 09 01 2024].

Sveriges Miljömål, 2020. *Så fungerar arbetet med Sveriges miljömål*. [Online] Available at: <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/>

[Använd 12 2023].

Sveriges Miljömål, u.å.. *Begränsad klimatpåverkan*. [Online] Available at: <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/>

[Använd 10 01 2024].

Sveriges Miljömål, u.å.. *Begränsad klimatpåverkan - saker företag kan göra*. [Online] Available at: <https://sverigesmiljomal.se/stod-och-rad-i-miljoarbetet/begransad-klimatpaverkan---saker-foretag-kan-gora/>

[Använd 10 01 2024].

Sveriges miljömål, u.å.. *God bebyggd miljö*. [Online] Available at: <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/>

[Använd 10 01 2024].

Sveriges miljömål, u.å.. *God bebyggd miljö - saker företag kan göra*. [Online] Available at: <https://sverigesmiljomal.se/stod-och-rad-i-miljoarbetet/god-bebyggd-miljo---saker-foretag-kan-gora/>

[Använd 10 01 2024].

Taheri, A. & Stiefler, I. T., 2023. *Klimatberäkning i små- och medelstora företag*, Lund: LTH. Thomas Betong, u.å.. *Betong och koldioxid*. [Online]

Available at: <https://thomasbetong.se/hallbarhet/betong-och-koldioxid>

[Använd 10 04 2024].

Tibnor, 2024. *tibnor.se*. [Online] Available at: <https://www.tibnor.se/medias/konstruktionstabellerSWE-2023.pdf?context=bWVzdGVyfiHJvb3R8MzE0ODU1NnxhcHBsaWNhdGlvi9wZGZ8aDFhL2gwZi85MTEwNDM1ODIzNjQ2L2tvbnN0cnVrdGlvbN0YWJlbnGxlc1NXRS0yMDIzLnBkZnxkZjllN2E2MzBjOGIyOTBhNDkyYTQ5ZGIwY2NiYTllMzAxNjdiN2VmZWZhZGY3>

[Använd 15 03 2024].

Timperley, J., 2018. *Carbonbrief.org*. [Online] Available at: <https://www.carbonbrief.org/qa-why-cement-emissions-matter-for-climate-change/>

[Använd 09 01 2024].

Trafikverket, 2024. *klimatkalkyl trafikverket*. [Online] Available at: <https://klimatkalkyl.trafikverket.se/>

[Använd 15 02 2024].

Trafikverket, 2024. *Lastbil*. [Online] Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/fordonsregler/Lastbil/#:~:text=Lätt%20>

[Använd 15 02 2024].

Trafikverket, 2024. *Lastbil*. [Online] Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/fordonsregler/Lastbil/#:~:text=Lätt%20>

lastbil%20har%20en%20totalvikt,hastighet%20som%20gäller%20för%20vägen.

[Använd 22 02 2024].

Ugochukwu, S., Nwobu, E., Udechukwu-Ukohah, E. I. & Odenigbo, O., 2020. *Regression models for predicting quantities and estimates of steel reinforcements in concrete beams of frame buildings*, Awka: Journal of scientific research & reports.

Wadsten, H., 2020. *Byggbranschens klimatutmaningar för nyproduktion av småhus i framtiden*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Vattenfall, 2024. *Vattenfall*. [Online]

Available at: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/rorligt-elpris/prishistorik/>

[Använd 23 03 2024].

Veidekke, 2024. *Veidekke*. [Online]

Available at: <https://www.veidekke.se/aktuellt/reportage/12-saker-du-inte-visste-om-asfalt/>

[Använd 13 03 2024].

Volvo, u.å.. *Vanliga frågor och svar om eldrivna lastbilar*. [Online]

Available at: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/electric/faq.html#accordion-3ae56d10e1-item-16fae134b0>

3ae56d10e1-item-16fae134b0

[Använd 22 02 2024].

WSP Sverige AB, 2012. *Arbetsmaskinens klimatpåverkan och hur den kan minska*, Stockholm: Trafikverket.