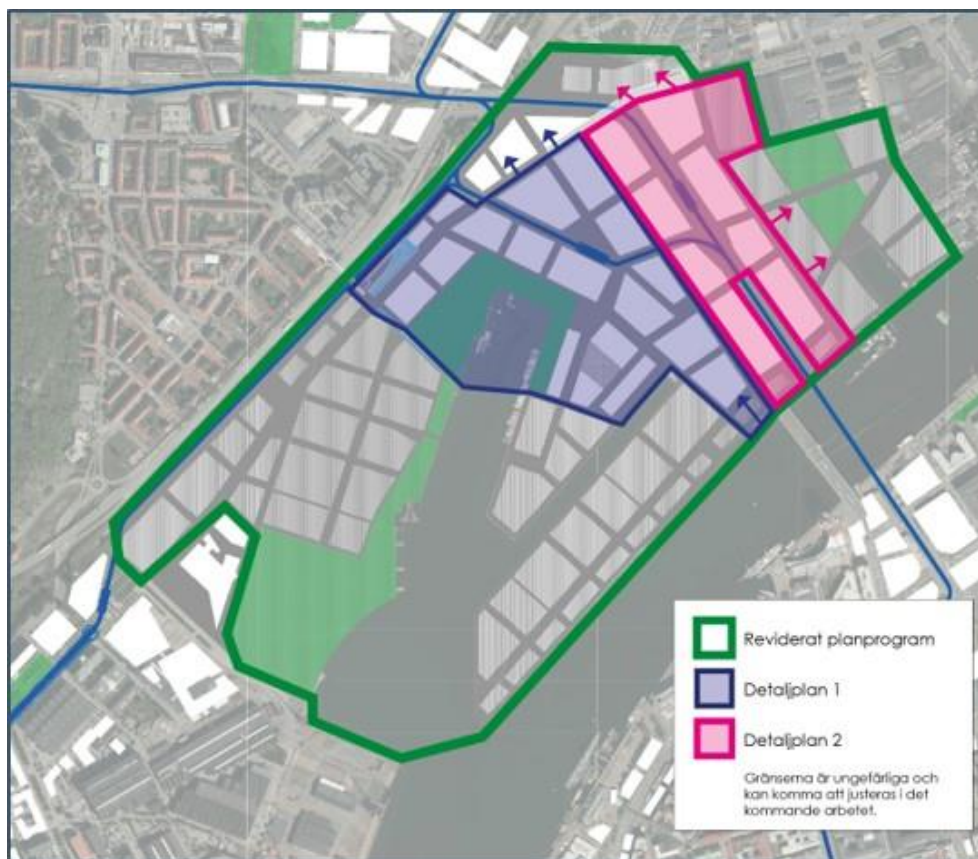


# ÅTGÄRDER FÖR MINSKAD KLIMATPÅVERKAN - FRIHAMNEN



**UPPDRAG**

308275, Klimatanalys Frihamnen

Titel på rapport:

Åtgärder för minskad klimatpåverkan - Frihamnen

Status:

Rapport

Datum:

2021-04-21

**MEDVERKANDE**

Beställare:

Älvstranden utveckling

Kontaktperson:

Åsa Lindell

Konsult:

John Ellbin Andersson, Anna Pantze och Ida Bohlin Tyréns AB

Uppdragsansvarig:

Anna Pantze, Tyréns AB

Kvalitetsgranskare:

Veronica Östman, Tyréns AB

**REVIDERINGAR**

Revideringsdatum

2021-06-07

Version:

3

Initialer:

AP

Uppdragsansvarig:



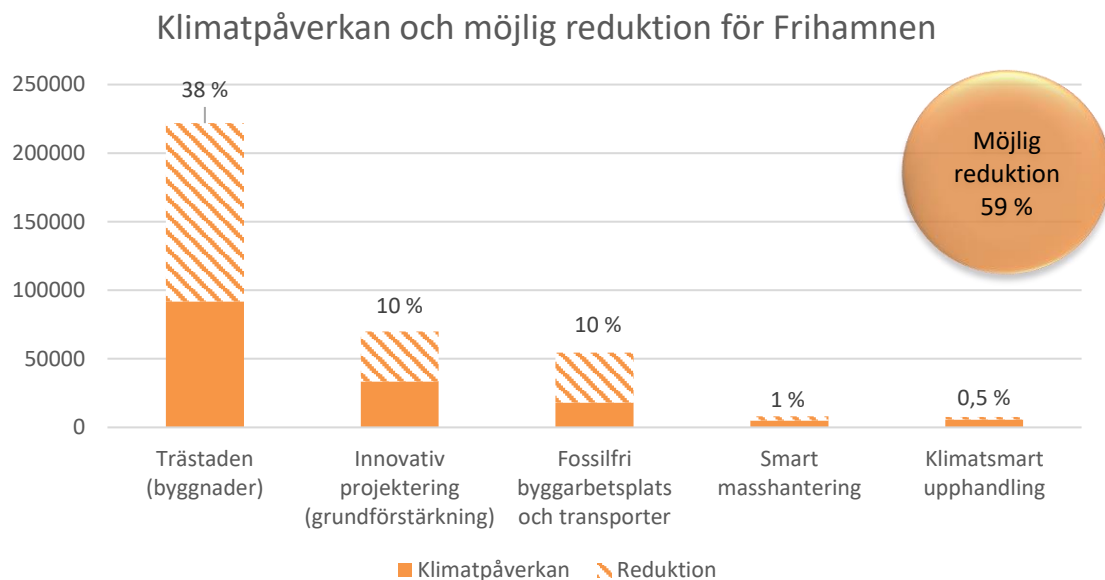
Datum: 2021-06-07

## SAMMANFATTNING

Älvstranden Utveckling vill minska klimatavtrycket från ny bebyggelse och infrastruktur i Älvstaden. För projektet inre Frihamnen är målet att uppnå en minskning av klimatpåverkan med 50%. Tyréns har tidigare på uppdrag av Älvstranden Utveckling kartlagt storleksordningen av klimatpåverkan för de planerade bygginvesteringarna.

Syftet med föreliggande rapport har varit att beräkna besparingspotentialen inom projektet. Analysen av åtgärder omfattar inre Frihamnen (DP1 och DP2) inklusive: byggnader, markarbete, infrastruktur, spårväg, sociodukt, jubileumspark och badanläggning. Analysen omfattar dessutom nya ledningar för hela Frihamnsområdet, utfyllnad Lundbybassängen, nya kajkonstruktioner och rivning av befintliga byggnader och temporära bostäder.

Tyréns vision för hur 50 % reducerad klimatpåverkan kan uppfyllas för utvecklingen av frihamnen sammanfattas i figuren nedan.



Att välja rätt byggsystem för byggnaderna och jobba med klimatsmarta byggnadsmaterial som trä eller klimatoptimerad betong och armering har den enskilt största besparingspotentialen i projektet.

Ett alternativ till byggnader av volymelement av trä är prefabricerade betongstommar med klimatoptimerad betong och armering som har en förväntad besparingspotential på 32%, vilket ger en möjlig besparingspotential på 53 %.

För att nå uppsatt mål krävs enligt Tyréns erfarenhet ett systematiskt arbetssätt och uppföljning genom hela projektet. Klimatfrågan och beräknade effekter på klimatpåverkan behöver tas fram när beslut fattas och projektet står inför olika vägval. Upphandling med klimatkrav är ett annat viktigt redskap som behöver beaktas för att nå det högt uppsatta målet. Det mest effektiva sättet att beräkna effekten av projektets olika åtgärder/beslut är att sammanställa alla genomförda åtgärder och dess reduktion kontinuerligt under projektets gång. Därefter jämförs summan av alla åtgärders besparingar mot projektets slutkalkyl, för att beräkna om målet uppnåtts.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INLEDNING.....</b>	<b>5</b>
	1.1 BAKGRUND .....	5
	1.2 SYFTE.....	5
<b>2</b>	<b>SAMMANFATTNING AV BERÄKNAD KLIMATPÅVERKAN.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>UPPFÖLJNING AV KLIMATPÅVERKAN UNDER PROJEKTETS GÅNG.....</b>	<b>8</b>
	3.1 BERÄKNA KLIMATBESPARINGAR FÖR PROJEKTET.....	8
<b>4</b>	<b>KLIMAT BESPARANDE ÅTGÄRDER.....</b>	<b>9</b>
	4.1 BESPARINGSPOTENTIAL BYGGNADER.....	9
	4.2 BESPARINGSPOTENTIAL GRUNDFÖRSTÄRKNING .....	13
	4.3 BESPARINGSPOTENTIAL SMART MASSHANTERING .....	18
	4.4 BESPARINGSPOTENTIAL DRIVMEDEL OCH ENERGI.....	22
	4.5 BESPARINGSPOTENTIAL UPPHANDLING AV ÖVRIGT MATERIAL .....	26
<b>5</b>	<b>SAMMANFATTNING AV ÅTGÄRDER -VISION FÖR INRE FRIHAMNEN ....</b>	<b>28</b>
	5.1 REFLEKTIONER.....	30
<b>6</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>31</b>

## 1 INLEDNING

### 1.1 BAKGRUND

Bygg- och fastighetssektorn står för cirka 20% av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Älvstranden Utveckling har, som ett led i att minska sektorns totala utsläpp, antagit målet att minska utsläpp av växthusgaser från all ny bebyggelse och ombyggnad i Älvstaden med 50 % till år 2025. Detta omfattar utvecklingen inom Frihamnen. Projektet att utveckla Frihamnen är i ett tidigt skede, vilket innebär att det finns utrymme att påverka klimatbelastningen genom att kartlägga klimatpåverkan och därefter prioritera de klimatåtgärder som ger störst effekt. För att nå målet, att minska utsläppen med 50%, behöver Älvstranden Utveckling generellt en ökad kunskap kring hur planerad utveckling av Frihamnen påverkar klimatet ur ett livscykelperspektiv.

Tyréns har som ett första steg tagit fram en rapport med en grov klimatkalkyl som redovisar klimatpåverkan för utbyggnaden av Frihamnen, etapp 1 och 2 inklusive de delar som med stor sannolikhet ska realiseras i området. Resultaten visade vilka bygginvesteringar och/eller delområden som har störst klimatpåverkan i projektet samt vilka moment och material som står för den största påverkan. Resultaten återspeglar den förväntade klimatpåverkan om det byggs enligt dagens praxis och innehåller även en osäkerhetsanalys. Tyréns tidigare framtagna rapport bör läsas som underlag innan föreliggande rapport, som fokuserar på klimatbesparande åtgärder och besparingspotential.

I föreliggande kompletterande PM analyseras inom vilka bygginvesteringar och/eller delområden det finns störst potential att reducera klimatavtrycket, och vilka åtgärder detta är förenat med, samt en uppskattad besparingspotential för projektet. Tyréns delar även med sig av sina erfarenheter av arbete med åtgärder och uppföljning i större projekt.

### 1.2 SYFTE

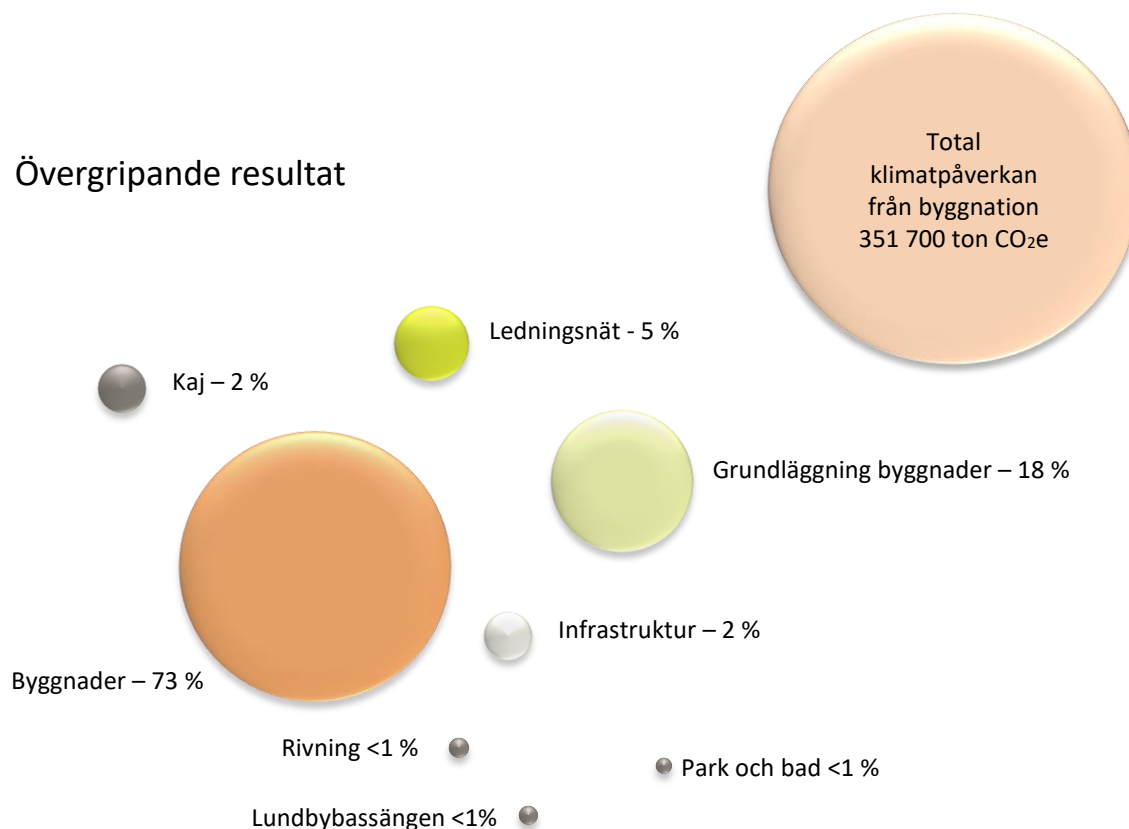
Genomlysningen av besparingspotentialen syftar till att utgöra underlag för beslut kring hur klimatfrågan hanteras i Frihamnen. I förlängningen är målet att Frihamnens klimatavtryck ska minskas med 50%.

## 2 SAMMANFATTNING AV BERÄKNAD KLIMATPÅVERKAN

Potentiell klimatpåverkan från byggnation av inre frihamnen inklusive nya ledningar inom hela frihamnen har beräknats till cirka 351 700 ton CO<sub>2</sub>e (koldioxidekvivalenter). Klimatpåverkan från byggnation (A1-A5) inkluderar utvinning och tillverkning av byggmaterial (A1-A3), transporter av byggmaterial (A4) och transporter av massor samt energi och dieselförbrukning för byggnation (A5).

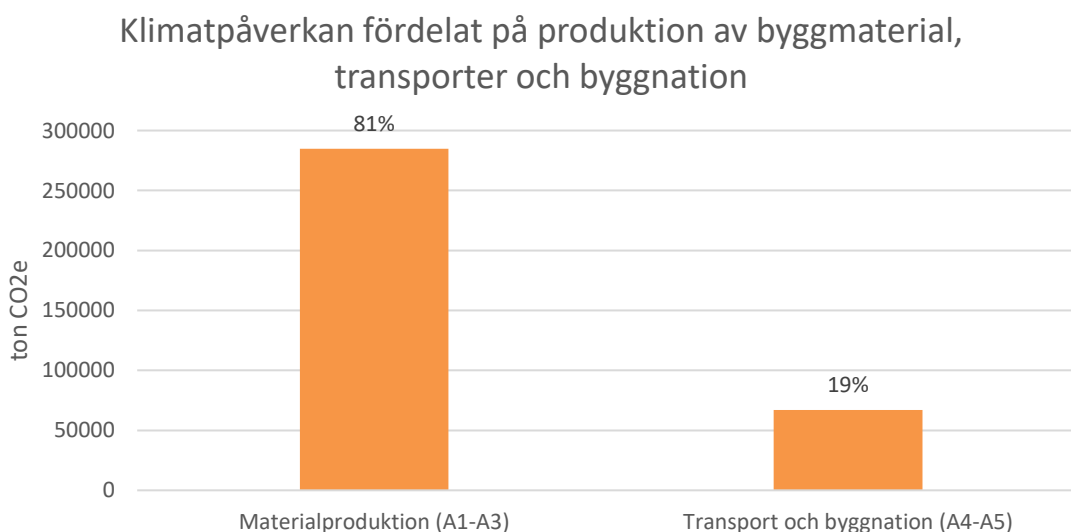
Byggnader står för cirka 73 % av projektets klimatpåverkan, grundläggning av byggnaderna bidrar med ytterligare 18 %. Ledningsnätet inklusive grundläggning av ledningar beräknas bidra med cirka 5 % av projektets klimatpåverkan. Infrastruktur och kaj bidrar med omkring 4 % av projektets klimatpåverkan. Resterande 1 % är kopplat till parkytor, jubileumsbadet, rivning av befintliga byggnader och asfalt samt utfyllnad av Lundbybassängen, se Figur 1.

## Övergripande resultat



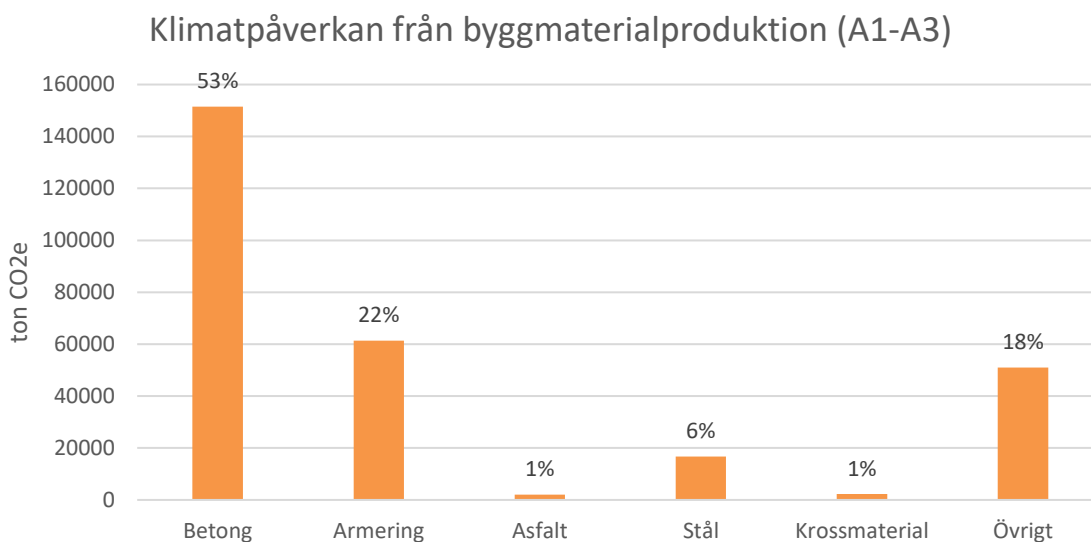
Figur 1. Total potentiell klimatpåverkan från byggnation av inre frihamnen (A1-A5)

Majoriteten (cirka 81 %) av klimatpåverkan från byggnation av frihamnen beräknas komma från byggmaterialproduktion (A1-A3). Resterande 19 % kommer från bränsleförbrukning i arbetsmaskiner, transporter av massor och material samt spill på byggarbetsplatsen (A4-A5), se Figur 2.



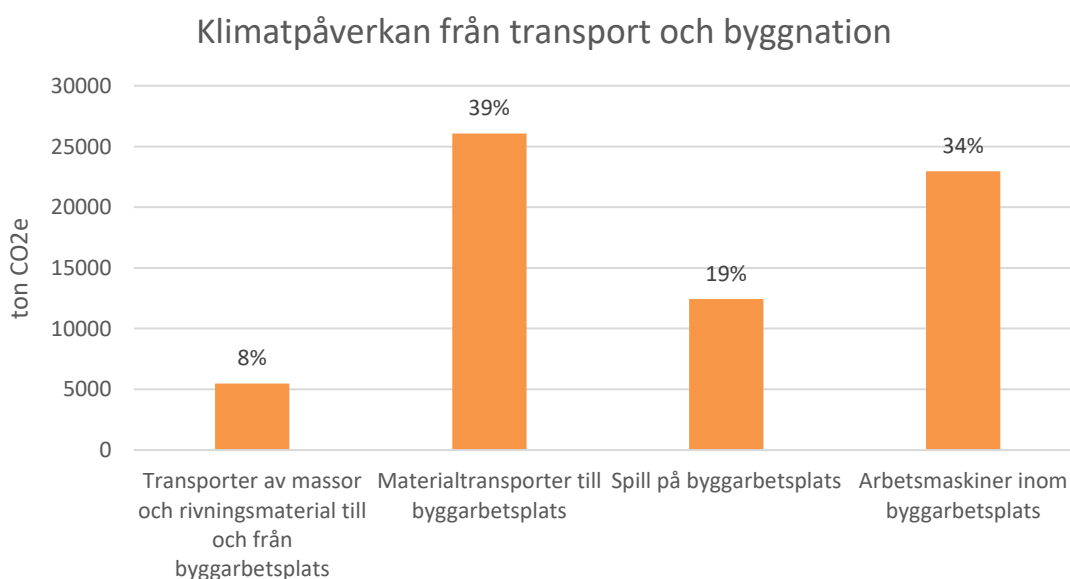
Figur 2. Klimatbelastning fördelat på produktion av byggmaterial (A1-A3) samt transport av byggmaterial och massor (A4) samt byggnation (A5).

Inom byggmaterialproduktion är det betong och armering som står för den enskilt största klimatpåverkan, se Figur 3. Dessa material är främst kopplat till byggnader samt grundläggning och står för cirka 75 % av klimatpåverkan från materialproduktion.



Figur 3. Klimatbelastning för produktion av byggmaterial (A1-A3). Kategorin övrigt innehåller andra material vanliga i byggnader så som installationer, trä, fönster, profiler, isolering etc.

Klimatpåverkan från transporter och byggnation kommer främst från byggmaterialtransporter från fabrik till byggarbetsplats samt användning av arbetsmaskiner inom byggarbetsplats. Även spill på byggarbetsplatsen och transporter av massor och rivningsmaterial bidrar till klimatpåverkan under byggskedet, se Figur 4.



Figur 4. Klimatbelastning för transport av byggmaterial till byggplats (A4) samt byggnation (A5).

Drift och underhåll har beräknats mycket övergripande för inre Frihamnen till cirka 106 000 ton CO<sub>2</sub>e under en period på 50 år. Drift och underhåll utgör omkring en fjärdedel av projektets totala klimatpåverkan. Driften innefattar underhåll, utbyte och driftenergi (B2, B4 & B6) för byggnader och främst underhåll och utbyte (B2 & B4) för infrastruktur.

### **3 UPPFÖLJNING AV KLIMATPÅVERKAN UNDER PROJEKTETS GÅNG**

Beräknad klimatpåverkan baseras på bedömningar av vad ett normalt utförande kan innebära under de förutsättningar som är kända i dagsläget. Under projektets gång kan förutsättningarna komma att förändras, projekteringslösningar kommer att inarbetas och resultatet av en detaljprojektering kommer erfarenhetsmässigt att skilja sig en del från initiala antaganden. Det är därför inte meningsfullt att följa upp klimatpåverkan utifrån det resultat som presenteras i dagsläget. De beräkningar som tagits fram i nuläget har som funktion att vägleda och utgöra underlag för att prioritera det fortsatta klimatarbetet.

För att minska klimatpåverkan i projektet är det viktigt att klimatpåverkan följs upp löpande under projektets gång. Tillräcklig information om olika alternativs klimatpåverkan behöver tas fram i samband med att beslut ska fattas. Det gäller både tidiga beslut rörande gestaltning och arkitektur till senare beslut i projektering, detaljprojektering och materialinköp. Krav i upphandling eller markanvisning kommer att krävas för att kunna jobba mot ett så lågt klimatavtryck som möjligt.

För att uppnå målet att reducera klimatpåverkan i projektet med 50 % krävs att klimatpåverkan är styrande när beslut tas. Under planering och projektering behöver alternativ kring gestaltning och tekniska lösningar utvärderas och beslut tas för att förverkliga den lösning som innebär minsta möjliga klimatpåverkan. I samband med dessa utvärderingar kan klimatpåverkan från standardlösningen jämföras med alternativ lösning, Skillnaden dem emellan är detsamma som åtgärdens reduktionspotential. Åtgärderna och beräknad klimatbesparing (reduktion) dokumenteras kontinuerligt under projektets gång.

När detaljprojekteringen är färdig återstår val av leverantörer, materialsammansättning och produktion. I detta skede är det avgörande att klimatpåverkan från produktionen av materialen utvärderas och att åtgärder implementeras för att sänka klimatpåverkan från transporter och arbetsmaskiner. Exempel på åtgärder kan vara att använda HVO istället för fossil diesel i transporter och arbetsmaskiner eller att en specifik leverantör väljs för att dess produktion innebär lägre klimatpåverkan än konkurrenterna. Effekten av denna typ av åtgärder kan följas upp mot generella data exempelvis emissionsfaktorer från Trafikverkets modell Klimatkalkyl och byggsektorns miljöberäkningsverktyg BM. Alternativt beräknas reduktionen genom att jämföra den valda leverantörens klimatpåverkan mot genomsnittet från de leverantörer som har lämnat anbud.

#### **3.1 BERÄKNA KLIMATBESPARINGAR FÖR PROJEKTET**

Det mest effektiva sättet att beräkna effekten av projektets olika åtgärder/beslut är att kontinuerligt dokumentera alla genomförda åtgärder och dess reduktion under projektets gång. Därefter jämförs summan av alla åtgärders besparingar mot projektets slutkalkyl. Att använda den nu beräknade klimatpåverkan och resultaten av olika åtgärder med dess grova uppskattningar och antaganden är inte meningsfullt



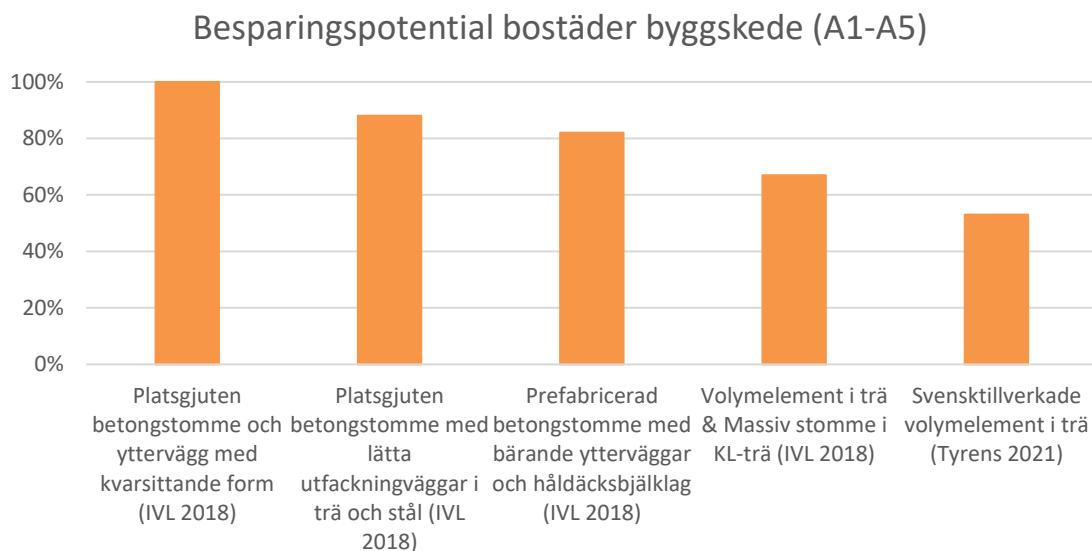
enligt Tyréns. Erfarenhetsmässigt ökar klimatpåverkan i takt med att detaljeringsgraden ökar när projekterade mängder och verkliga transportavstånd ersätter schabloner.

## 4 KLIMATBESPARANDE ÅTGÄRDER

### 4.1 BESPARINGSPOTENTIAL BYGGNADER

#### 4.1.1 BESPARINGSPOTENTIAL BYGGSYSTEM

Byggnader står för den enskilt största klimatbelastningen i Frihamnen, totalt ca 257 000 ton CO<sub>2</sub>e varav bostäder står för merparten av klimatbelastningen, ca 141 000 ton CO<sub>2</sub>e och kontor för ca 55 000 CO<sub>2</sub>e För att uppskatta besparingspotentialen för olika byggsystem används tidigare resultat från klimatberäkningar för några vanliga byggsystem (IVL 2018) och projekt inom Tyréns (Tyréns 2021). Den procentuella klimatbesparingspotentialen antas vara likvärdig för bostäder och kontor.



Figur 5. Visar relativ klimatpåverkan för bostäder och kontor konstruerade med olika byggsystem

Genom att använda andra byggsystem än platsgjuten betong, för kontor och bostäder, finns stor potential för klimatbesparingar, se Figur 5 och Tabell 1. Generellt kan klimatpåverkan minska med närmare 50 % om byggnaderna uppförs med det mest klimatsmarta alternativet; svensktillverkade volymelement i trä.

Då generella transportavstånd legat till grund för beräkningarna är det viktigt att ta hänsyn till verkliga transportavstånd och transportslag vid val av byggmaterial och specifika leverantörer. Transporter av exempelvis prefabricerade betongelement eller volymelement kan få stor betydelse och öka klimatpåverkan, framförallt om leveranserna innebär långa transportavstånd. För att klimatpåverkan fortfarande ska vara relativt låg för långväga prefabricerade element krävs klimatsmarta transporter (tåg eller lastbilar drivna med biodrivmedel/el). Båt kan eventuellt vara ett miljövänligt alternativ men det beror på båtens drivmedelsförbrukning. För längre transporter är det därför viktigt att den specifika klimatpåverkan från transporten beräknas.

Tabell 1. Klimatbesparing för bostäder och kontor vid val av andra byggsystem än platsgjuten betongstomme och yttervägg i kvarsittande form.

Bostäder och Kontor	Besparingspotential ton CO <sub>2</sub> e
Bygga platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar i trä och stål	43 100
Bygga med prefabricerad betongstomme med bärande ytterväggar och håldäcksbjälklag	54 800
Bygga med volymelement i trä eller massiv stomme i KL-trä	64 600
Bygga med prefabricerade Volymelement i trä (Tyréns 2021)	92 000

Genom att bygga med andra byggsystem än stålstomme/betongstomme för övrig verksamhet finns ytterligare potential för klimatbesparingar, se Tabell 2. Generellt kan klimatpåverkan minska med cirka 30 % för övriga byggnadstyper om de uppförs med trästomme istället för stålstomme/betongstomme.

Tabell 2. Generell klimatbesparing för övriga handel/verksamhet, magasin och förskola/skola/idrott genom att bygga med trästomme istället för stålstomme eller betongstomme.

Övriga Byggnader	Besparingspotential ton CO <sub>2</sub> e
Handel/Verksamhet	7 100
Magasin	4 200
Förskola/Skola/Idrott	4 600
Hotell	2 500
Kyrka	900

#### 4.1.2 BESPARINGSPOTENTIAL ANDEL KÄLLARE/ MINDRE BYGGNADSYTA

Byggnadernas källare innehåller relativt mycket betong och armering. Ytterligare klimatbesparingar kan därför uppnås genom att välja bort källarutrymmen. Om hälften av alla byggnader istället uppförs med platta på mark kan klimatpåverkan minska med 16 000 CO<sub>2</sub>e, se Tabell 3. Utrymmen som skulle inrymts i källarplan, exempelvis förråd, kan placeras i ouppvärmade enklare gårdsbyggnader i trä.

En annan besparingspotential för byggnader som inte beräknas, eftersom det är svårt utan specifika uppgifter, är effekten av mindre antal kvadratmeter byggnad. Besparingspotentialen för ett effektivt nyttjande av byggnadsytorna bedöms som stor. Åtgärden innebär att mindre byggnadsytorna (antal m<sup>2</sup> BTA) uppfyller samma funktion. Åtgärder kan exempelvis vara lägenheter och kontor med mindre yta, samnyttjande av lokaler och mindre förråd/garage.

Tabell 3. Generell klimatbesparing för minskade källarutrymmen och mindre total byggnadsyta

Åtgärd	Besparingspotential ton CO <sub>2</sub> e
Om 50% av källarplan under byggnaderna istället byggs med platta på mark	16 000
Mindre byggnadsytorna (antal m <sup>2</sup> BTA) som uppfyller samma funktion som mer byggnadsytorna, exempelvis genom samnyttjande	Stor

#### 4.1.3 BESPARINGSPOTENTIAL MATERIALVAL

Med en klimatförbättrad betong kan 10, 25 eller 40 % reduktion uppnås för en byggnads betonganvändning (Svensk betong, 2021). Besparingspotentialen för klimatförbättrad betong redovisas i Tabell 4. Potentialen beror på byggsystem, leverantör, tillgång på alternativa bindemedel och inte minst samverkan mellan beställare, konstruktör, betongleverantör och entreprenör. För armering är besparingspotentialen leverantörsberoende och med en klimatförbättrad armering kan utsläpp av ungefär 30 500 ton CO<sub>2</sub>e undvikas. För armering skiljer sig klimatpåverkan mellan vanlig armering och spännarmering och det kan vara svårare att hitta klimatoptimerad spännarmering.

*Tabell 4. Besparingspotential om byggnaderna i Frihamnen uppförs med klimatförbättrad betong och armering*

Material	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)
Klimatförbättrad betong 10% kan uppnås genom optimerad bindemedelssammansättning utan någon betydande påverkan på betongens egenskaper	9 700
Klimatförbättrad betong 25 % kräver samverkan mellan beställare, konstruktör, betongleverantör och entreprenör. Kan uppnås för de flesta betongsorter för både byggnader och anläggningar	24 200
Klimatförbättrad betong 40 % ställer höga krav på samverkan mellan beställare, konstruktör, betongleverantör och entreprenör. Är möjlig att uppnå för husbyggnation	37 700
Grön armering, klimatförbättrad (EPD, Celsa)	30 500

Beräknad klimatpåverkan för byggnader är baserade på ett snitt för klimatpåverkan för produktion av byggmaterial använda i Sverige och ett snitt för klimatpåverkan från transporter av byggmaterial till och inom Sverige. Det innebär att billig armering från Kina eller importerat limträ från Tyskland kan innebära betydligt högre klimatpåverkan, ibland mer än dubbelt så stor. Uppföljning av klimatpåverkan genom hela byggprocessen är viktig för att förhindra att klimatdrivande byggmaterial används.

#### 4.1.4 BEST CASE KLIMATOPTIMERADE BYGGSYSTEM AV TRÄ

Om samtliga byggnader uppförs med byggsystem i trä (volymelement/trästomme) istället för platsgjuten betong, medför det en klimatbesparing på cirka 114 700 ton CO<sub>2</sub>e. För byggnader i trä finns även möjlighet att använda klimatförbättrad betong och armering i grundläggningsplattan. Eventuell ytterligare optimering, där till exempel hälften av byggnaderna uppförs utan källare, skulle ge en total besparing om 131 000 ton CO<sub>2</sub>e, se Figur 6.

#### 4.1.5 BEST CASE KLIMATOPTIMERADE BYGGSYSTEM AV PREFAB BETONG

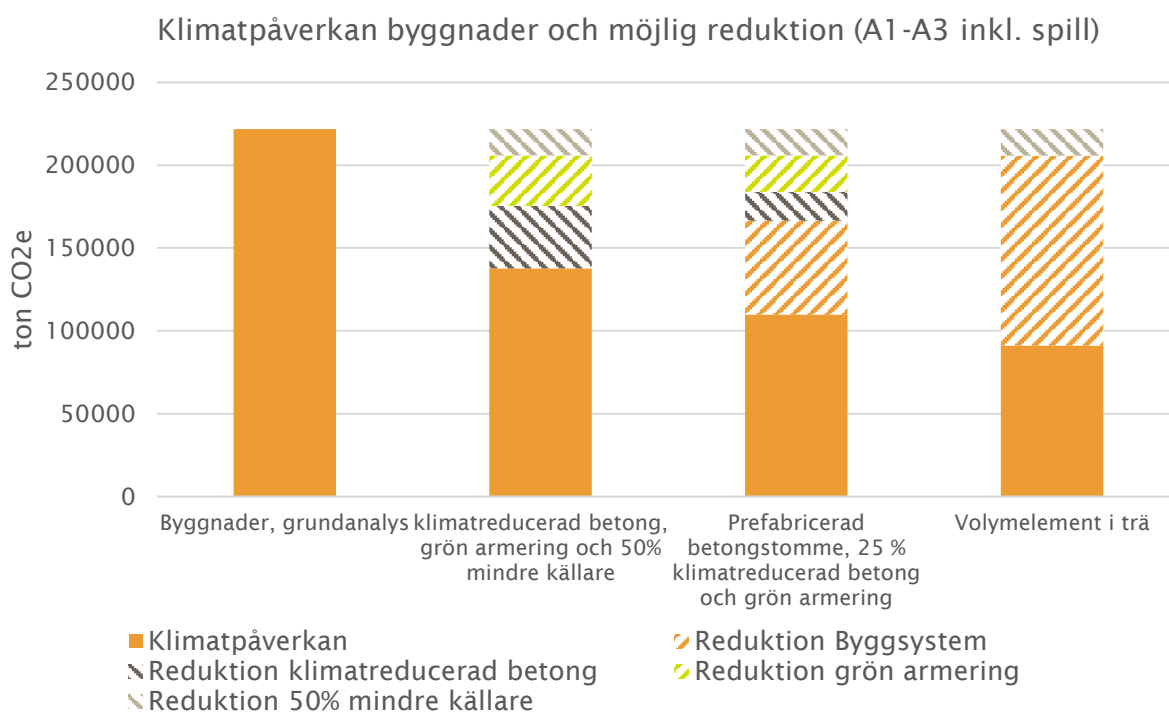
Om byggnaderna uppförs med prefabricerad betongstomme, med både klimatförbättrad betong och armering, och hälften av byggnaderna uppförs utan källare blir besparingen 112 000 ton CO<sub>2</sub>e, se Figur 6.

Det finns en stor osäkerhet angående möjligheten till klimatförbättrad Prefab betong. Prefab tillverkare behöver tillgång till alternativa bindemedel samtidigt som alternativa bindemedel kräver längre torktider. Av kostnadsskäl kan det vara svårt att blanda in

stora mängder bindemedel då det krävs snabba torktider för de prefabricerade elementen i fabriken. Prefabelement har generellt en betydande klimatpåverkan från transporter till byggarbetsplatsen. Vid beräkningar har antagits att prefab betongen kan klimatförbättras med ca 25 %, samt har klimatförbättrad armering. Detta kan jämföras med Riksbyggens bostadsprojekt Brf Viva som färdigställdes år 2018 där betongen i snitt hade ca 30 % lägre klimatpåverkan för en mix av platsgjuten och prefabricerad betong. Om en enskild Prefab tillverkare kan tillåta långa torktider kan ytterligare klimatbesparingar göras för Prefab-betong, upp mot 40%.

#### 4.1.6 BEST CASE - KLIMATOPTIMERADE BYGGSYSTEM AV PLATSGJUTEN BETONG

Platsgjuten betong bedöms vara lättare att klimatoptimera och 40 % klimatbesparing av platsgjuten betong och klimatförbättrad armering ger en reduktion med 68 207 ton CO<sub>2</sub>e, se Figur 6



Figur 6. Klimatpåverkan från byggnader i grundanalys samt klimatpåverkan vid implementering av åtgärder. Reducerad klimatpåverkan för åtgärder visas som skrafferad del av stapel. Grön armering avser klimatförbättrad armering.

#### 4.1.7 BESPARINGSPOTENTIALER ÅTERBRUK/SPILL

Andra besparingspotentialer förknippade med byggnader är exempelvis noggrann planering i ett tidigt skede för att minimera spill av byggmaterial samt återbruk av byggnader, byggdelar och byggmaterial. För att beräkna besparingspotential för återbruk av byggnader och material krävs ett omfattande arbete som inte ingår i detta uppdrag. Återbruk kräver inventering av vilka material som finns att tillgå samt samverkan mellan arkitekter, konstruktörer och projektledare. Detta har därför inte beräknats inom ramen för detta uppdrag.

#### 4.1.8 KOSTNADER FÖR ÅTGÄRDER MED KLIMATSMARTARE BYGGSYSTEM

Kostnader för olika byggsystem kan visa på stora variationer beroende på vilken entreprenör som anlitas. Det är därmed svårt att bedöma kostnader för olika byggsystem utan att begära in offerter. Generellt sett har byggbranschen och de stora byggbolagen betydligt större erfarenhet av att bygga i stål och betong än i trä. Det medför att byggsystem i trä generellt har varit mer kostsamt eftersom entreprenörernas osäkerhet och ovana medför mer jobb/upplärning, vilket avspeglats i offerter.

I Tyréns tidigare arbete med klimatkrav i upphandling av bostäder för en kommun handlade prisskillnaden mellan byggsystem i betong och trä om några få procent. På några års sikt kommer troligtvis prisskillnaden att försvinna med ökad erfarenhet, eftersom själva byggmaterialkostnaden är lägre för byggnader i trä.

#### 4.1.9 KOSTNADER FÖR INKÖP FRÅN SPECIFIKA MATERIALLEVERANTÖRER

Val av specifika materialleverantörer med lägre klimatpåverkan för likvärdiga produkter kan vara kostnadsdrivande. Dagens praxis är att leverantörer väljs utifrån pris, det vill säga att den billigaste leverantören väljs. Med det som utgångspunkt kan ingen av åtgärderna antas innebära någon kostnadsbesparing men det kommer finnas exempel där både kostnad och klimatpåverkan är lägst hos samma leverantör. Att välja leverantör utifrån klimatpåverkan snarare än pris bedöms kunna innebära tillkommande kostnader för inköp.

#### 4.1.10 KOSTNADER FÖR ÅTGÄRDER MED KLIMATSMART BETONG

Ersättning av cement med alternativa bindemedel såsom flygaska eller slagg har inneburit både lägre och högre materialkostnader i tidigare projekt jämfört med traditionell anläggningsbetong. Kostnaden för materialet kan variera mellan olika entreprenörer och tillgång till restprodukter.

Uppskattningsvis innebär en inblandning av 20% alternativa bindemedel en tillkommande kostnad på cirka 50 kr/m<sup>3</sup> betong och kostnaden ökar linjärt med högre inblandning. Utifrån dessa antaganden kan åtgärdens kostnad i projektet uppskattas till mellan 7,5 och 12,5 miljoner kr.

#### 4.1.11 REKOMMENDATIONER OCH KRAV VID UPPHANDLING

För byggnader är det mycket viktigt att krav ställs redan i tidiga skeden eftersom val av byggsystem/stomlösning är avgörande och har stor påverkan på projektets totala klimatpåverkan. Det betyder att hållbarhetskrav behöver ställas när både arkitekter, projektörer och entreprenörer handlas upp.

Att ge tydliga systemavgränsningar och ställa krav på högst tillåtna klimatpåverkan CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA för olika byggnadstyper är en bra utgångspunkt. Det är även viktigt att kräva redovisning i form av klimatkalkyler samt att ha en effektiv uppföljning, se mer i Kapitel 3.

## 4.2 BESPARINGSPOTENTIAL GRUNDFÖRSTÄRKNING

Klimatpåverkan kopplat till grundförstärkning under byggnader och ledningar har bedömts till 70 000 ton CO<sub>2</sub>e motsvarande ca 20 % av klimatpåverkan från

byggnationen av inre Frihamnen. Osäkerheten är stor när det gäller grundläggningen och klimatpåverkan kan vid detaljprojektering landa mellan 35 000 - 95 000 ton CO<sub>2</sub>e.

#### 4.2.1 PROJEKTERING OCH ALTERNATIVA UTFÖRANDEN

Grundläggning av byggnader och infrastruktur kan göras på fler olika sätt och det finns ett stort antal tekniska lösningar som uppfyller samma funktion. Det är därför viktigt att undersöka alternativa lösningar med målet att hitta en så klimatsmart lösning som möjligt.

Det bedöms troligt att byggnader och infrastruktur kommer att grundläggas med betongpålar, men även denna metod omfattar ett stort antal tekniskt möjliga lösningar. Extremfallen är att byggnaderna grundläggs på några få stora och extremt djupa pålar eller på många mindre pålar med kortare djup. Utöver antalet pålar påverkar andra parametrar vilka lösningar som klarar tekniska krav. Andra exempel på parametrar är pålarnas längd/djup i förhållande till dess dimension, geotekniska egenskaper i jorden och lastfördelningen i byggnaderna. Ett sätt att utforska alternativa lösningar och optimera grundläggning med pålar är parametrisk design. Nödvändiga parametrar beskrivs och med hjälp av algoritmer kan tusentals lösningar genereras och utvärderas automatiskt.

Tyréns konstruktörer har använt parametrisk design i ett projekt där antalet pålar under tre hus kunde minskas med 15 %. Grundläggningen av husen hade detaljprojekterats och den byggfärdiga lösningen omfattade 357 pålar av dimension 350x350 mm. Kvarteret stod på arkeologiskt intressant mark och på grund av detta behövde antalet pålar minimeras eftersom de riskerar att förstöra värden i marken. Med utgångspunkten att minska antalet pålar genererades och valdes en lösning med 305 pålar med hjälp av parametrisk design. Vilket resulterade i både minskade kostnader, minskad klimatpåverkan och mindre påverkan på kulturhistoriska värden i marken.

I Frihamnen kan parametrisk design vara ett kraftfullt verktyg eftersom grundläggningen är komplex. Pålarnas djup och storlek kan varieras och målet med optimeringen kan sättas till minsta möjliga klimatpåverkan istället för minsta antal pålar. Minsta möjliga klimatpåverkan ger större frihet i de genererade alternativen där både flera mindre och färre större pelare kan utvärderas tillsammans med övriga parametrar.

Utifrån tidigare exempel bedöms parametrisk design kunna optimera grundläggningen och minska klimatpåverkan med ca 10–20 % jämfört med en traditionell optimering och detaljprojektering. För grundläggningen av byggnader och infrastruktur i inre frihamnen betyder det en reduktion på upp emot 14 000 ton CO<sub>2</sub>e vilket motsvarande 4 % av projektets totala klimatpåverkan, se Tabell 5.

Valet av byggsystem, se Kapitel 4.1.1, kan även påverka grundförstärkningen. Lättare byggsystem i trä ger lättare byggnader vilket potentiellt påverkar grundförstärkningen och medför minskat behov av pålar. Utredning av behov av pålar vid byggsystem har inte utförts inom ramen för denna studie, men rekommenderas ingå i framtida fördjupande utredningar.

Tabell 5. Besparingspotential för optimerad grundläggning med hjälp av parametrisk design och lättare byggnader.

Åtgärd	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
Parametrisk design, optimering för minimerad klimatpåverkan	14 000	Ökade kostnader för projektering, minskad materialkostnad. Sannolikt en lägre kostnad totalt.
Lättare byggsystem för byggnader (träkonstruktioner) kräver mindre grundförstärkning	Osäker	Om minskat behov av grundförstärkning blir det även kostnadsbesparingar

#### 4.2.2 VAL AV MATERIAL OCH LEVERANTÖR

Majoriteten av pålarnas klimatpåverkan härstammar från betong och armering. Utöver dessa material tillkommer en del stålbeslag till ett antal skarvar beroende på pålarnas längd. Antaget att grundläggning sker med betongpålar är det viktigt att använda rätt materialsammansättning i pålarna med bra klimatprestanda.

Betongens klimatpåverkan härstammar primärt från cement och tillverkningen av cementklinker. För att sänka klimatpåverkan från betong kan alternativa bindemedel blandas in, antingen i betongreceptet eller i cementen för att minska mängden cementklinker.

Hur stor klinkerersättning som är möjlig beror på betongens önskade egenskaper och exponering. Tillåten ersättning av cementklinker med alternativa bindemedel enligt svensk standard SS 137003 visas i Tabell 6

Tabell 6. Minsta andel klinker och högsta andel alternativa bindemedel i betong beroende på exponeringsklass enligt SS 137003.

Exponeringsklass	Andel klinker	Silikastoft	Flygaska	GGBS (slagg)
X0	≥ 30 %	≤ 10 %	≤ 35 %	≤ 70 %
XC1-2, XS1-2, XD1-2, XA1	≥ 35 %	≤ 10 %	≤ 35 %	≤ 65 %
XC3-4, XS3, XD3, XF1-2	≥ 65 %	≤ 10 %	≤ 35 %	≤ 35 %
XF3	≥ 65 %	≤ 5 %	≤ 35 %	≤ 35 %
XF4	≥ 80 %	≤ 5 %	≤ 20 %	≤ 20 %
XA2	≥ 35 %	≤ 10 %	≤ 35 %	≤ 35 %
XA3	-	-	-	-

Enligt Trafikverkets kravdokument Krav brobyggande kan exponeringsklassen för betongpålar, som inte befinner sig i väg- eller marin miljö, sättas till XC2, XF1. Enligt standard för betong innebär detta att en klinkerersättning upp till 35 % är tillåten. En klinkerersättning på 35 % innebär en reducerad klimatpåverkan från betongen i pålarna med cirka 30-35 %.



Tyréns har även erfarenhet från andra projekt i Göteborg där geokonstruktioner i lera har gjutits med upp till 50 % klinkersättning. EPD'er för dessa betongrecept har visat en reducerad klimatpåverkan på mellan 45–60 % jämfört med traditionell anläggningsbetong. Huruvida klinkersättning till så hög grad är möjlig även för en prefabricerad påle är osäkert.

Exempel på prefabricerade pålar där klinkersättning har implementerats i produktionen är Skanskas betongpålar med hållfasthetsklass C50/60 och exponeringsklass XC2, XF1. Klimatpåverkan från dessa är deklarerade i en EPD (EPD Skanska). Cementen som används är en typ II cement med ett klinkerinnehåll på 80 - 85 % och 12 - 20 % slagg. Cementens deklarerade klimatpåverkan ligger på 689 kg CO<sub>2</sub>e/ton (EPD Cemex) vilket är ca 21 % lägre jämfört med en traditionell cement för anläggningsbetong.

För pålarna i sin helhet innebär detta att klimatpåverkan reduceras med omkring 15 % vilket motsvarar cirka 10 500 ton CO<sub>2</sub>e utifrån grundanalysen. I förhållande till projektet i sin helhet motsvarar detta en reduktion på 3 %. Samtidigt finns utrymme för större andel slagg eller andra restprodukter som ersättning för cementklinker. Vid 35 % klinkersättning, vilket är i enlighet med svensk standard för betong, skulle en minskad klimatpåverkan på närmre 20 000 ton CO<sub>2</sub>e uppnås för pålarna motsvarande 5,5 - 6 % reducerad klimatpåverkan i projektet.

För armering varierar klimatpåverkan till stor grad beroende på vilken producent som tillverkat stålet och hur stor del återvunnet stål som använts. Leverantören Celsa steel producerar armering med en deklarerad klimatpåverkan på 420 kg CO<sub>2</sub>e/ton (EPD, Celsa), vilket är 40 % lägre än Trafikverkets generiska emissionsfaktor för armering på 700 kg CO<sub>2</sub>e/ton. Det finns ett stort antal leverantörer som både har högre och lägre klimatpåverkan än Trafikverkets generiska data. Vid upphandling är det därför viktigt att utvärdera klimatpåverkan från specifika armerings leverantörer.

Med en armering med låg klimatpåverkan kan klimatpåverkan från pålarna i sin helhet minskas med upp emot 10 %. Utifrån grundanalysen innebär det en reduktion på omkring 7 000 ton CO<sub>2</sub>e vilket motsvarar en reduktion på ca 2 % för hela projektet.

*Tabell 6. Beräknad klimatbesparing för klimatoptimerad cement och armering i pålar för grundförstärkning*

Åtgärd	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
Klimatoptimerad cement i pålar	20 000	Kostnadsdrivande
Klimatoptimerad armering i pålar	7 000	Kostnadsdrivande

#### 4.2.3 BEST CASE KLIMATOPTIMERAD GRUNDFÖRSTÄRKNING

I bästa möjliga scenario projekteras grundförstärkningen med målet att minimera klimatpåverkan. Parametrisk design används för att minska materialåtgången för pålarna.

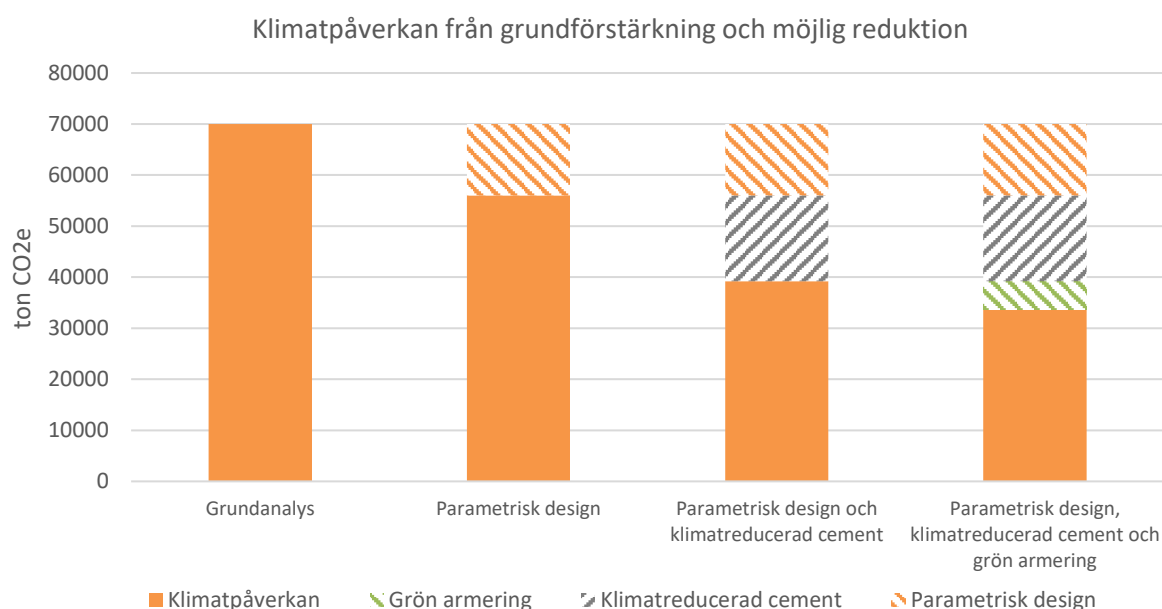
Därefter inleds ett samarbete med en leverantör för att ta fram en så klimatsmart produkt som möjligt där alternativa bindemedel används för att ersätta cementklinker. Armering köps in från bästa möjliga leverantör. Optimeringen med parametrisk design innebär en reducerad materialförbrukning med 20 % och därefter minskar klimatsmarta pålar klimatpåverkan från grundläggningen ytterligare. Totalt kan en reduktion på 52 % uppnås för grundförstärkning av byggnader och infrastruktur. Det



motsvarar cirka 36 400 ton CO<sub>2</sub>e och en reduktion på 10 % för projektet, se Tabell 7 och Figur 7.

Tabell 7. Åtgärder för reducerad klimatpåverkan från grundförstärkning

Åtgärd	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
Parametrisk design, optimering för minimerad klimatpåverkan	14 000	Ökade kostnader för projektering, minskad materialkostnad. Sannolikt en lägre kostnad totalt.
Klimatoptimerad cement i pålar	16 800	Kostnadsdrivande
Klimatoptimerad armering i pålar	5 600	Kostnadsdrivande



Figur 7. Klimatpåverkan från grundförstärkning i grundanalys, samt klimatpåverkan vid implementering av åtgärder. Reducerad klimatpåverkan för åtgärder visas som skrafferad del av stapel.

#### 4.2.4 KOSTNAD FÖR ÅTGÄRDER

Kostnaden för nämnda åtgärder är svåra att uppskatta men som beskrivet i Tabell 7 finns både kostnadsdrivande och besparande delar av åtgärderna. Parametrisk design innebär ett större arbete under projektering vilket kommer innebära kostnader men dessa kan antas vara betydligt mindre än den besparing som kan göras för minskad mängd pålar.

Klimatreducerad cement och betong innebär i många fall högre kostnader men det finns också exempel där hög slagginblandning har inneburit lägre materialkostnad. Anläggningsbetong med 15 % flygaska kostar cirka 50 kr mer än traditionell anläggningsbetong per kubikmeter och kostnaden ökar linjärt med högre inblandning av flygaska. Grön armering kan också antas innebära vissa tillkommande kostnader eftersom valmöjligheten mellan leverantörer blir mindre. Praxis idag är att den billigaste leverantören väljs och möjligtvis är detta samma leverantör som den med

bäst klimatprestanda, men sannolikt inte. Eftersom det handlar om prefabricerade produkter kommer också ett samarbete krävas med en leverantör där beställare och leverantör tillsammans utforskar möjligheten att hitta den mest klimatsmarta lösningen. Detta är också ett arbete som kommer vara kostnadsdrivande.

Den totala kostnaden om alla åtgärder genomförs går inte att uppskatta i detta skede.

#### 4.3 BESPARINGSPOTENTIAL SMART MASSHANTERING

När det gäller massor sparar man både pengar och minskar klimatpåverkan om fler massor kan återanvändas på plats. Området innehåller betydande mängder massor som behöver omhändertas för att de är förorenade och/eller för att de inte fungerar geotekniskt under vägar och byggnader. I Tabell 8 nedan sammanställs de uppskattade mängder som använts i grundkalkylen för att beräkna klimatpåverkan för projektet.

*Tabell 8. Sammanställning av uppskattade mängder för utfyllnad, återanvändning och behov av borttransport av massor i ursprungskalkylen.*

Mängder	Kommentar
Ca 520 000 m <sup>3</sup> material behövs för utfyllnad av Lundbybassängen	Muddermassor eller andra schaktmassor från schakter under byggnader och vägar frihamnen
Ca 350 000 m <sup>3</sup> massor behöver transporteras bort från arbetsområdet varav: Ca 135 000 m <sup>3</sup> är för väg spårväg och torgyta Ca 50 000 m <sup>3</sup> ledningsomläggningar Ca 155 000 m <sup>3</sup> sanering under byggnader hus	Massor under byggnader, vägar, spårvägar, ledningar, kvartersytor, torg och parkområden etc.
Ytterligare ca 45 000 m <sup>3</sup> massor behöver transporteras bort i samband med ledningsomläggningar utanför inre frihamnen	
Ca 310 000 m <sup>3</sup> fyllnadsmassor (bergkross) behöver köras till projektet (exkl. muddermassor). En del (ca 87 000 m <sup>3</sup> ) av schaktmassorna under byggnaderna är ersatta med källare	Till förstärkning av vägar, spårvägar, ledningar, under byggnader, kvartersytor, torg och parkområden etc.
Ca 30 000 m <sup>3</sup> rena massor antas kunna återanvändas under grönytor och grusgångar	Detta antagande gjordes för grundklimatkalkylen
Valfria mängd (för modellering av Jubileumparken. Framförallt använda massorna i "höjder"/kullar.	Modelleringen täcks av rena massor som läggs på ytan.

Att jobba med gränsvärden för att kunna återanvända fler massor inom projektet, tillsammans med innovativt tänkande kring vart massorna ska placeras, bedöms vara det bästa arbetssättet för smart masshantering inom frihamnen. Att inte köra iväg massor bedöms vara det bästa sättet att minska klimatpåverkan från masshantering från alla förorenade områden i Sverige.

##### 4.3.1 ÅTERANVÄNDNING AV FYLLNADSMASSOR UNDER BYGGNADER

Då den översiktliga markundersökningen visar på en hel del föroreningar i frihamnen krävs arbete och acceptans av myndigheter för att kunna uppföra

byggnader på delvis förorenad mark. Alternativa lösningar där byggnader kunnat uppföras på förorenad mark har kunnat accepteras av myndigheter i andra projekt där Tyréns jobbat aktivt med platsspecifika riktvärden och förebyggande åtgärder. För att kunna ställa byggnader på återanvänt förorenat krossmaterial behövs åtgärder som exempelvis sortering/siktning/tvättning av förorenade massor eller att anlägga garage under bostadshus med egen ventilation som minimerar risken för att flyktiga föroreningar når ovanliggande bostäder eller radontäta grunder.

#### 4.3.2 ÅTERANVÄNDNING AV FYLLNADSMASSOR UNDER VÄG OCH SPÅRVÄG

Det finns en större frihet när det gäller att återanvända krossmaterial men även förorenat krossmaterial under vägar. När nya vägar projekteras är det först och främst Fall B massor (inköpt bergkross av viss kvalitet som hämtas från bergtäkt), som används i uppbyggnaden av vägen. De flesta geotekniker och vägprojektörer har idag begränsad erfarenhet av att projektera/rekommendera annat än vanlig bergkross under vägar och spårvägar.

Enligt AMA (Svensk Byggtjänst 2021) får massor i skydds- och förstärkningslager i vägar på djup större än 0,8 meter utgöras av både Fall B och Fall A massor. Alla massor ned till 0,8 meters djup ska enligt AMA utgöras av krossade Fall B massor. Ska Fall B massor användas till skydds- och förstärkningslager under 0,8 meters djup kan de behövas siktas.

Nuvarande frihamnen är uppbyggd av bland annat fyllnadsmaterial bestående av krossmaterial (sten/grus/sand) och tegel. Fyllnadsmassorna är generellt att betrakta som förorenade, men ur geotekniska synpunkt kan delar av massorna vara lämpliga för användning som fyllnadsmassor i väg och spårväg om återanvändning sker på minst 0,8 meters djup. Noggrannare undersökningar av befintligt material kommer att krävas innan återanvändning.

#### 4.3.3 UTFYLLNAD LUNDBYBASSÄNGEN

När det gäller Lundbybassängen har Älvstranden Utveckling en initial plan som innebär att man fyller ut den med muddermassor från Göta älv. Ungefär 522 000 m<sup>3</sup> behövs för att fylla igen bassängen med en marknivå på 1 meter över befintlig vattennivå. Lundbybassängen har sedan tidigare delvis fyllts ut med muddermassor.

En klimatbesparande åtgärd är att först och främst projektera för att fylla ut Lundbybassängen med schaktmassor från området.

De överskottsmassor som ur geoteknisk synpunkt inte uppfyller kraven för fyllnadsmassor i vägar och under byggnader, samt de massor som är alltför förorenade för att kunna finnas kvar i markytan i parkområden eller innergårdar, kan användas för utfyllnad i Lundbybassängen. När överskottsmassor från projektet använts kan förslagsvis muddermassor användas för resterande utfyllnad, som därefter kompletteras med rena massor upp till ny marknivå.

Tyréns jobbar aktivt med riskbedömningar och förebyggande åtgärder inom andra uppdrag. Erfarenheter visar att för att kunna fylla Lundbybassängen med förorenade massor krävs provtagning av aktuella massor för bedömning om föroreningsnivå och riskbedömning av massorna. Därefter kan vid behov förslag på lämpliga försiktighetsåtgärder eller riskreducerande åtgärder tas fram.

Fördelen med att återanvända använda förorenade massor från området är det minskade transportbehovet. Särskilda åtgärder kommer att krävas för bostäder på den tidigare Lundbybassängen, se Kapitel 4.3.1 och exempelvis spont kan eliminera risken för spridning av föroreningar till Göta älv. Det är viktigt att komma ihåg att även muddermassor ofta är förorenade och kräver särskild behandling vid utfyllnad. Massor som deponeras/ytor som fungerar som deponi kan i viss utsträckning ändå användas för andra ändamål. En tillståndsansökan för att anlägga deponi är ganska omfattande och tidskrävande men kan i vissa fall ändå visa sig vara det bästa alternativet.

#### 4.3.4 FYLLNADSMASSOR FÖR MODELLERING AV JUBILEUMSPARKEN

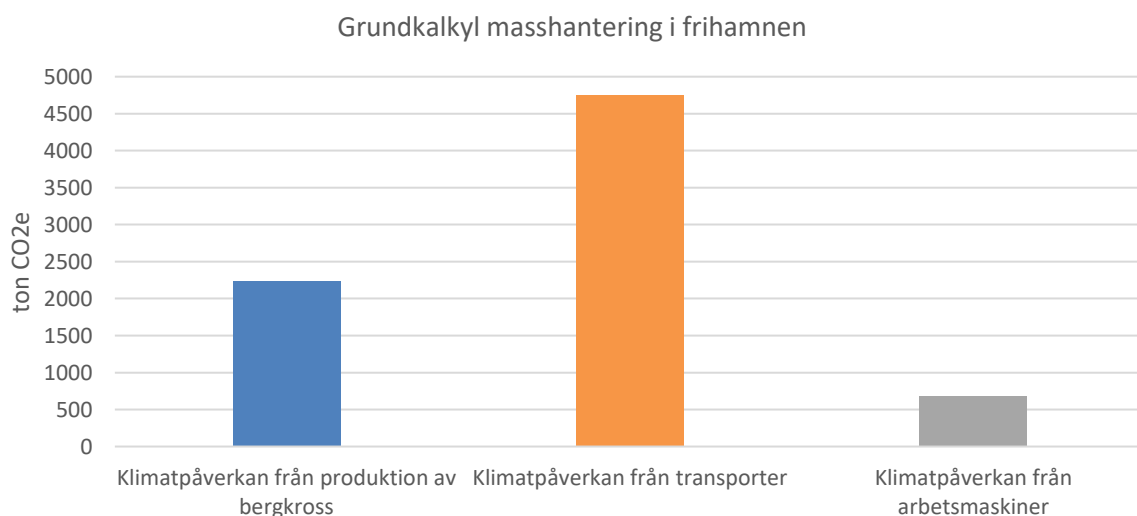
När det gäller jubileumsparken kan mer massor återanvändas genom att framförallt använda massorna i "höjder"/kullar. Detta har gjorts i bl.a. Nederländerna i ganska stor omfattning genom att projektera med tätskikt, som skyddar utan att vara lika tätt som deponitäckning. Detta skulle innebära att parkmarksområde skulle behöva restriktioner angående intag av bär och svamp.

Enligt Tyréns specialister inom förorenad mark behöver återanvända massor i parkmarksområden troligtvis täckas. Tyréns föreslår att möjligheten att få fram relevanta riktvärden undersöks.

#### 4.3.5 KLIMATBESPARINGAR FÖR MASSHANTERING

Beräknad klimatpåverkan i grundanalysen för masshanteringen är cirka 8 000 ton CO<sub>2</sub>e, motsvarande omkring 2,5 % av projektets totala klimatpåverkan. Cirka 4 400 ton CO<sub>2</sub>e härstammar från fyllnadsmaterial av krossat berg, varav hälften av klimatpåverkan är från produktionen av bergkross och knappt hälften från transport av bergkross till byggarbetsplats. Omkring 2 500 ton CO<sub>2</sub>e kommer från schaktarbeten och borttransport av befintliga massor. Resterande 1 100 ton CO<sub>2</sub>e kommer från utfyllnaden av Lundbybassängen med muddermassor.

Från projektets masshantering kommer drygt 60 % av klimatpåverkan från transporter, 30 % från produktion av bergkross och 10 % från arbetsmaskiner (schakt och fyll med grävmaskiner), se Figur 8.



Figur 8. Klimatpåverkan från masshantering i Frihamnen fördelat på produktion, transporter och arbetsmaskiner

För att minska klimatpåverkan från masshantering behöver transporter minimeras och mängden inköpt bergkross minskas. Den mest effektiva åtgärden är att återanvända massor på plats samt att de återanvända massorna delvis kan ersätta inköpt bergkross. Åtgärden innebär att både borttransporten av massorna samt att produktion och transport av ny bergkross undviks.

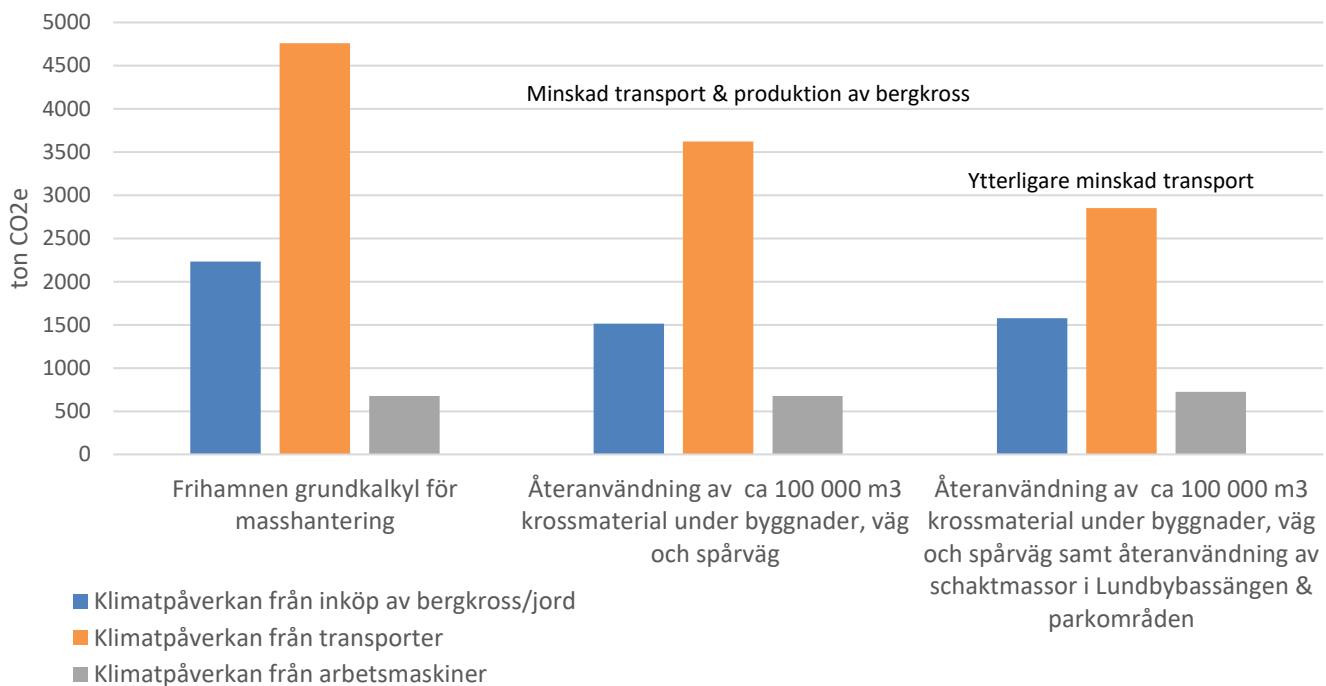
De resurser som finns på platsen, både massor och rivningsmaterial, behöver undersökas för att kunna återanvändas. De relativt dåliga grundläggningsförhållandena på platsen medför att stora volymer krossmaterial krävs för att skapa tillräcklig stabilitet under bland annat infrastruktur, torg och byggnader, se Kapitel 4.3.1 och 4.3.2.

Att alla förorenade massor från området kan återanvändas är inte troligt, trots platsspecifika riktvärden, dispenser och olika åtgärder. En mindre andel antas behöva transporteras till deponi. I utförda beräkningar har antagits 10 % av projektets schaktmassor behöver deponeras.

Om en tredjedel av krossmaterialet som behövs under byggnader och infrastruktur kan tillhandahållas inom projektet minskar klimatpåverkan med omkring 1 900 ton CO<sub>2</sub>e. Om projektets samtliga schaktmassor kan avsättas lokalt i Lundbybassängen och parkområden minskar klimatpåverkan med cirka 1 000 ton CO<sub>2</sub>e, även om 100 000 m<sup>3</sup> tillkommande rena jordmassor behövs för att täcka föroreningarna, se Tabell 9 och Figur 9. Förväntad klimatbesparing av smart masshantering är därmed cirka 2 900 ton CO<sub>2</sub>e vilket nästan halverar klimatpåverkan för själva masshanteringen. Klimatbesparingen från smart masshantering motsvarar knappt 1 % av projektets totala klimatpåverkan.

*Tabell 9. Åtgärder för smartmasshantering*

Åtgärd	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
En tredjedel av krossmaterialet som behövs inom projektet, ca 100 000 m <sup>3</sup> fyllnadsmassor (bergkross) kan tillhandahållas inom projektet som Fall A massor.	1 900	Kraftigt minskade kostnader, ca 10 miljoner
Om 90% av projektets schaktmassor kan avsättas lokalt (beräknat 2 km radie), i Lundbybassängen och parkområden och täcks av 100 000 m <sup>3</sup> tillkommande rena jordmassor.	1 000	Kraftigt minskade kostnader, ca 100 - 200 miljoner



Figur 9. Beräknad klimatpåverkan från masshantering för olika åtgärder

#### 4.3.6 KOSTNADER FÖR ÅTGÄRDER

Lokal masshantering kan antas innebära stora ekonomiska fördelar kopplat till mindre transportbehov, lägre avgifter för deponering och mindre behov av att köpa in material. Kostnad för att köra bort och lämna förorenade massor till mottagningsanläggning brukar schablonmässigt bedömas kosta ca 1000 kr/m<sup>3</sup> i saneringskostnad. Om en stor andel av massorna (100 000 - 200 000 m<sup>3</sup>) är förorenade och behöver transporteras bort från arbetsområdet motsvarar det en kostnad på 100 - 200 miljoner.

Om 90 % av massorna kan återanvändas på plats trots att de är förorenade skulle det kunna innebära en besparing på ca 100 - 200 miljoner. Tillkommande arbete med riktvärden och skyddsåtgärder kostar betydligt mindre.

Hur stor besparingen blir för minskat inköp av bergkross är svår att uppskatta eftersom ytterligare åtgärder kan behövas för att kunna återanvända krossmaterial från området. Bergkross kostar cirka 100 kr/ton och har en densitet på 2 ton/m<sup>3</sup>. Under antagande att återanvändning av massor skulle minska behovet av nya massor med 100 000 m<sup>3</sup> kommer den ekonomiska besparingen uppgå till ca 10 miljoner kronor.

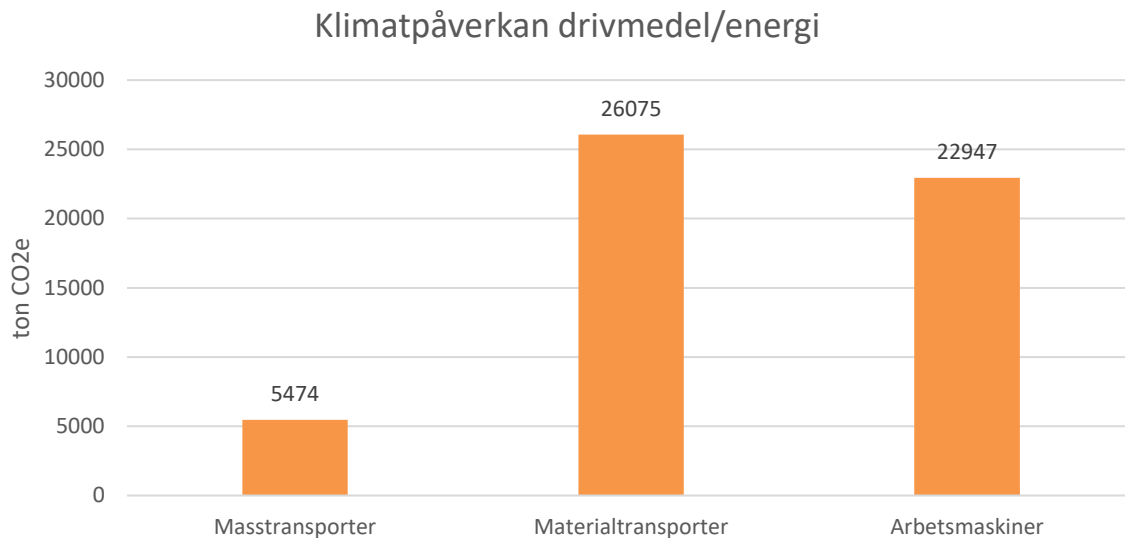
#### 4.3.7 REKOMMENDATIONER OCH KRAV VID UPPHANDLING

Vid upphandling av entreprenör bör krav på återanvändning av massor finnas med.

#### 4.4 BESPARINGSPOTENTIAL DRIVMEDEL OCH ENERGI

Klimatpåverkan kopplat till förbrukning av energi och drivmedel i transporter och arbetsmaskiner har beräknats till cirka 55 000 ton CO<sub>2</sub>e, vilket motsvarar 16 % av projektets totala klimatpåverkan. Ungefär hälften av klimatpåverkan från drivmedel och energi kommer från transporter av byggmaterial från fabrik till byggarbetsplats. Andra

hälften kommer från arbetsmaskiner och en mindre andel från transport av massor, se Figur 10.



Figur 10. Klimatpåverkan från förbrukning av energi och drivmedel fördelat på transporter och arbetsmaskiner

#### 4.4.1 BESPARINGSPOTENTIAL PROJEKTERING OCH ALTERNATIVA UTFÖRANDEN

Att reducera klimatpåverkan från drivmedelsförbrukning kan göras delvis genom att minska användningen av bränsle genom att hantera massor lokalt (se kapitel 4.3), välja materialleverantörer nära projektet eller enkla byggsystem som kräver mindre arbete.

Transportarbetet och behovet av arbetsmaskiner är dock kopplat till val av material, leverantör och byggsystem.

I många fall är klimatpåverkan större för själva materialet än transporten eller arbetet inom byggarbetsplatsen. I projektet i sin helhet är 81 % av klimatpåverkan kopplat till produktionen av byggmaterial. Att reducera klimatpåverkan från transporter och byggnation bör därför inte vara det primära målet i samband med upphandling av material och val av byggsystem även om detta också bör ingå i utvärderingen.

#### 4.4.2 BESPARINGSPOTENTIAL DRIVMEDEL OCH ENERGIKÄLLOR

För att minimera klimatpåverkan från energianvändning och drivmedelförbrukning kan fossil diesel ersättas med biodrivmedel som exempelvis HVO eller eldrift. Livscykeldata för drivmedel och energikällor finns beskrivna i Trafikverkets modell Klimatkalkyl och redovisas i Tabell 10Tabell.

Tabell 10. Klimatpåverkan för olika drivmedel och energikällor per energienhet

Energikälla	Emission (g CO <sub>2</sub> e/MJ)*
Diesel MK1	65
HVO	9
FAME100	22
Biogas	14
El, ursprungsmärkt förnyelsebar	3
El, marginalet Sverige	15,0

\*Källa: Klimatkalkyl version 7.0



Vanlig diesel (MK1) har en klimatpåverkan motsvarande 65 g CO<sub>2</sub>e per MJ. Biodrivmedlet HVO har en klimatpåverkan på 9 g CO<sub>2</sub>e/MJ, vilket är 86 % lägre än vanlig diesel (MK1). Förnyelsebar el har en klimatpåverkan på 3 g CO<sub>2</sub>e/MJ, vilket är hela 95 % lägre än vanlig diesel (MK1). Ytterligare fördelar med eldrivna maskiner och transportfordon är att verkningsgraden generellt är högre än för dieseldrivna maskiner. För enkelhetens skull antas att verkningsgraden är samma för eldrivna och dieseldrivna maskiner och transportfordon när reduktionspotentialen beräknats.

Utifrån grundanalysen kan projektets klimatpåverkan reduceras med cirka 47 000 ton CO<sub>2</sub>e motsvarande en reduktion på 15 % för hela projektet genom att ersätta all vanlig diesel med HVO. Hur stor del av projektets klimatpåverkan som slutligen kommer från drivmedel beror på exempelvis antalet masstransporter och avstånd till valda leverantörer. Reduktionspotentialen i denna åtgärd är naturligtvis beroende av transportbehovet och behovet av arbetsmaskiner som helhet.

Fossilfria drivmedel är i dagsläget en relativt billig åtgärd för att sänka klimatpåverkan, men tillgången är i dagsläget begränsad och osäker i framtiden. Drivmedelsleverantörernas reduktionsplikt för diesel innebär att stora delar av den HVO som tillverkas kommer användas för att blandas med vanlig diesel för att klara reduktionsplikten. Det finns osäkerheter om det kommer finnas tillräckligt med biodiesel för att klara reduktionsplikten i framtiden vilket innebär att osäkerheten är ännu större kring tillgången på ren HVO för tunga transporter och arbetsmaskiner. Genom att minska mängden drivmedel som behöver ersättas förbättras möjligheterna att efterfrågan kan tillgodoses, inte bara i detta projekt men också i ett större perspektiv. En möjlighet är att använda eldrivna arbetsmaskiner och transporter.

Utbudet av eldrivna arbetsmaskiner är i dagsläget begränsat. De flesta tillverkarna har pågående satsningar att utveckla små eldrivna maskiner. Utvecklingen av större eldrivna maskiner ligger fortfarande i framtiden. Några exempel från Volvo CE är dess eldrivna grävmaskin ECR25 med en arbetsvikt på 2,7 ton och deras eldrivna hjullastare L25 med en arbetsvikt på 5 ton. Små eldrivna arbetsmaskiner bedöms inte användas i större utsträckning i ett projekt som Frihamnen. För större arbetsmaskiner finns hybrida maskiner, med 5–15 % lägre dieselförbrukningen beroende på maskin och tillämpning. Hybrida arbetsmaskiner tillsammans med HVO den bästa lösningen i dagsläget för att både minimera klimatpåverkan och minska förbrukningen av biodrivmedel. Utvecklingen går snabbt inom området och fler och större eldrivna maskiner kan förväntas finnas tillgängliga innan byggnation av projektet påbörjas. För att skapa möjligheter för en helt eller delvis eldriven maskinpark krävs planering för att tillgodose tillräcklig kraftförsörjning och nödvändiga laddstationer.

Eldrivna transportfordon finns i större utsträckning än arbetsmaskiner och de tillverkas redan idag av flera fordonstillverkare. Några exempel är Volvo FE Electric som har en arbetsvikt på 27 ton med en räckvidd på cirka 120 km eller Volvo FL Electric med en arbetsvikt på 16 ton och en räckvidd på 300 km. Dessa kan vara lämpliga för masstransporter och vissa materialtransporter även om räckvidden kan utgöra ett visst hinder. Batteriernas vikt innebär också att räckvidden och lastkapaciteten står i konflikt med varandra. I dagsläget har en tillverkare uppskattat att elektriska lastbilar kostar dubbelt så mycket som dieseldrivna, men målet är att livscykelkostnaden ska vara neutral inom 5 år. Inköpspriserna kommer sannolikt vara betydligt högre även om 5 år men driftkostnaderna betydligt lägre.

För materialtransporter finns det ytterligare svårigheter eftersom olika material och därmed transporter är mycket stort. Vissa material samtransporteras tillsammans med



andra produkter och material med andra slutmål än projektet. Transporter av material kommer vara kopplat till val av leverantör och klimatpåverkan är i många fall större för själva materialet än transporten. Att reducera klimatpåverkan från transporten kommer därför inte vara det primära målet i samband med upphandling av material och alla leverantörer kommer inte vara lika flexibla med transportalternativ och bränslen. I många fall kan beställaren ändå ha möjlighet att påverka vilka bränslen som används men kostnaden och arbetsmängden som krävs för att säkerställa att alla transporter tankas med enbart fossilfria drivmedel kan bli oproportionerligt stor. Sannolikt behöver denna åtgärd riktas mot ett fåtal leveranser där transportens klimatpåverkan förväntas bli stor. I detta projekt kan detta handla om transporten av betong och armering, byggelement i betong eller trävolymmer och transporten av betongpålar för grundläggning. Sannolikt kan en relativt stor del av materialtransporternas klimatpåverkan härledas till ett hanterbart antal leverantörer där åtgärder såsom eldrivna transporter, biodrivmedel eller alternativa transportslag kan implementeras.

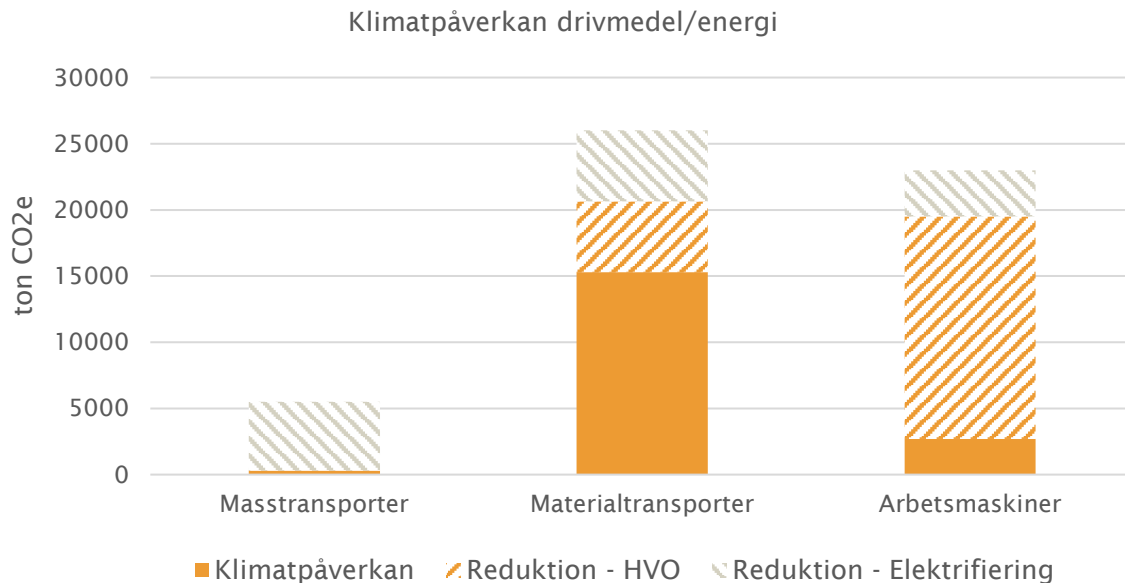
I bästa möjliga scenario används hybrida och eldrivna arbetsmaskiner i så stor grad som är möjlig. Masstransporter elektrifieras och resterande dieselbehov i arbetsmaskiner tillgodoses med HVO. På så sätt sker arbeten och masstransporter helt fossilfritt och mängden biodrivmedel som behövs minimeras. Detta innebär totalt en reduktion på ca 24 700 ton CO<sub>2</sub>e. Enligt grundanalysen motsvarande det en reduktion på 7 % i hela projektet.

För materialtransporter identifieras de mest klimatbelastande transporterna och samarbeten med dessa leverantörer initieras för att köra transporterna med HVO eller elektriska lastbilar. Hur stor del av alla materialtransporter som denna typ av åtgärd kan implementeras på är svårt att säga. En rimlig målsättning kan vara att hälften av transportarbetet ska omfattas. Detta skulle innebära en reduktion på ca 45 % för materialtransporterna vilket i sin tur bidrar till en reduktion på ca 11 700 ton CO<sub>2</sub>e motsvarande 3 % av projektets klimatpåverkan.

Totalt innebär detta en reduktion på 36 400 ton CO<sub>2</sub>e motsvarande 10 % av projektets klimatpåverkan. Som tidigare nämnt finns flera osäkerheter i huruvida detta kommer vara möjligt att genomföra kopplat till tillgång på, och kostnad för, eldrivna fordon och maskiner samt tillgång på HVO. Trots detta finns det redan idag möjligheter att genomföra dessa åtgärder åtminstone delvis och utvecklingen går framåt i högt tempo.

Tabell 11. Åtgärder för reducerad klimatpåverkan från drivmedel och energi

Åtgärd	Beräknad Klimatbesparing (ton CO <sub>2</sub> e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
Hybrid/delvis elektrifierad maskinpark (15 % reducerad dieselanvändning)	3 500	Neutralt
Elektriska masstransporter	5 200	Kraftigt kostnadsdrivande i nuläget
HVO i arbetsmaskiner	16 000	Kostnadsdrivande, 15 - 20 mkr
Delvis elektrifiering eller HVO i materialtransporter	11 700	Kostnadsdrivande
Summa	36 400	Kostnadsdrivande



Figur 11. Klimatpåverkan från drivmedel och energi vid implementering av åtgärder, reducerad klimatpåverkan för åtgärder visas som skrafferad del av stapel, stapelns fulla höjd visar klimatpåverkan i grundanalys.

#### 4.5 BESPARINGSPOTENTIAL UPPHANDLING AV ÖVRIGT MATERIAL

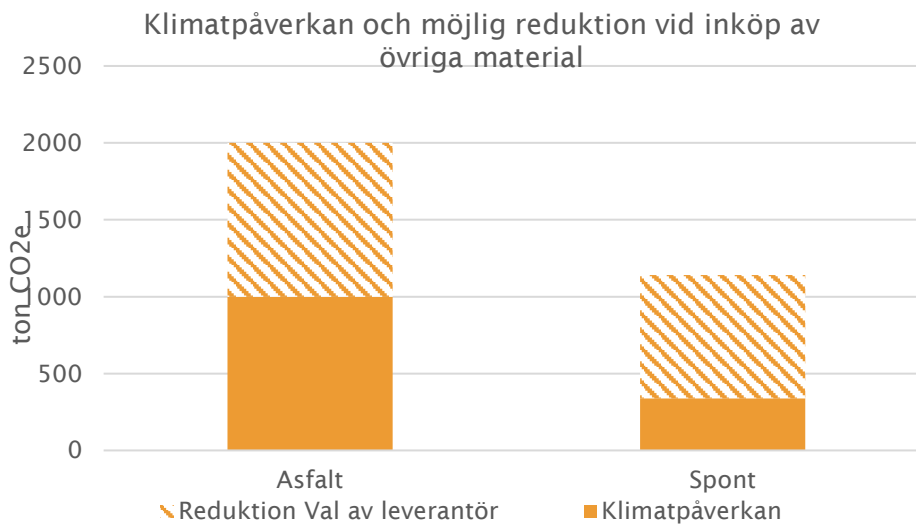
Flera föreslagna åtgärder handlar om att välja klimatsmarta produkter och drivmedel från leverantörer som arbetar för att sänka klimatpåverkan i tillverkningsledet. Detta görs genom att ta in underlag från leverantörerna som beskriver produktens klimatpåverkan, så kallade EPD (Environmental Product Declaration). Produktens klimatpåverkan behöver vara avgörande vid val av material och leverantör. Många leverantörer har redan EPD:er för sina produkter framme och ett bra sätt att initiera arbetet är att inventera tillgängliga EPD:er för att se vilka leverantörer som är bäst utifrån de material som behövs i projektet.

Att ta in EPD:er och utvärdera leverantörer är en process som behöver implementeras även för de material som bidrar med en relativt liten del av projektets klimatpåverkan. Några exempel är asfalt, stålspons, isolering, slippers och räl.

Produktion av asfalt beräknas bidra med en klimatpåverkan omkring 2 000 ton CO<sub>2</sub>e i projektet. Flera tillverkare har implementerat åtgärder i produktionen för att sänka klimatpåverkan exempelvis genom att återanvända returafalt och genom att använda biobränslen vid upphettning av asfaltsmassan. Jämfört med Trafikverkets generiska data för asfalt finns leverantörer som kan reducera klimatpåverkan med upp till 50 % i dagsläget och utvecklingen mot klimatneutral beläggning går snabbt.

Klimatpåverkan från stålspons varierar mellan tillverkare och på samma sätt som för armeringsstål kan klimatpåverkan reduceras betydligt genom att välja en leverantör som producerar sposten från återvunnet stål och med hög andel fossilfri energi. I samband med EPD-inventering i tidigare projekt har den bästa leverantören cirka 70 % lägre klimatpåverkan vid produktion av stålspons jämfört med Trafikverkets generiska värde för stål.

För dessa två exempel finns en reduktionsmöjlighet på cirka 1 800 ton CO<sub>2</sub>e vilket motsvarar en reduktion på cirka 0,5% i hela projektet, se Figur 12. Varje material för sig kommer inte vara avgörande för projektets slutliga klimatpåverkan men med detta arbetssätt kan summan av flera innebära en betydande klimatreduktion.



Figur 12. Klimatpåverkan från asfalt och spont vid implementering av klimatbesparande åtgärder. Reducerad klimatpåverkan för åtgärder visas som skrafferad del av stapel, stapelns fulla höjd visar klimatpåverkan i grundanalysen.

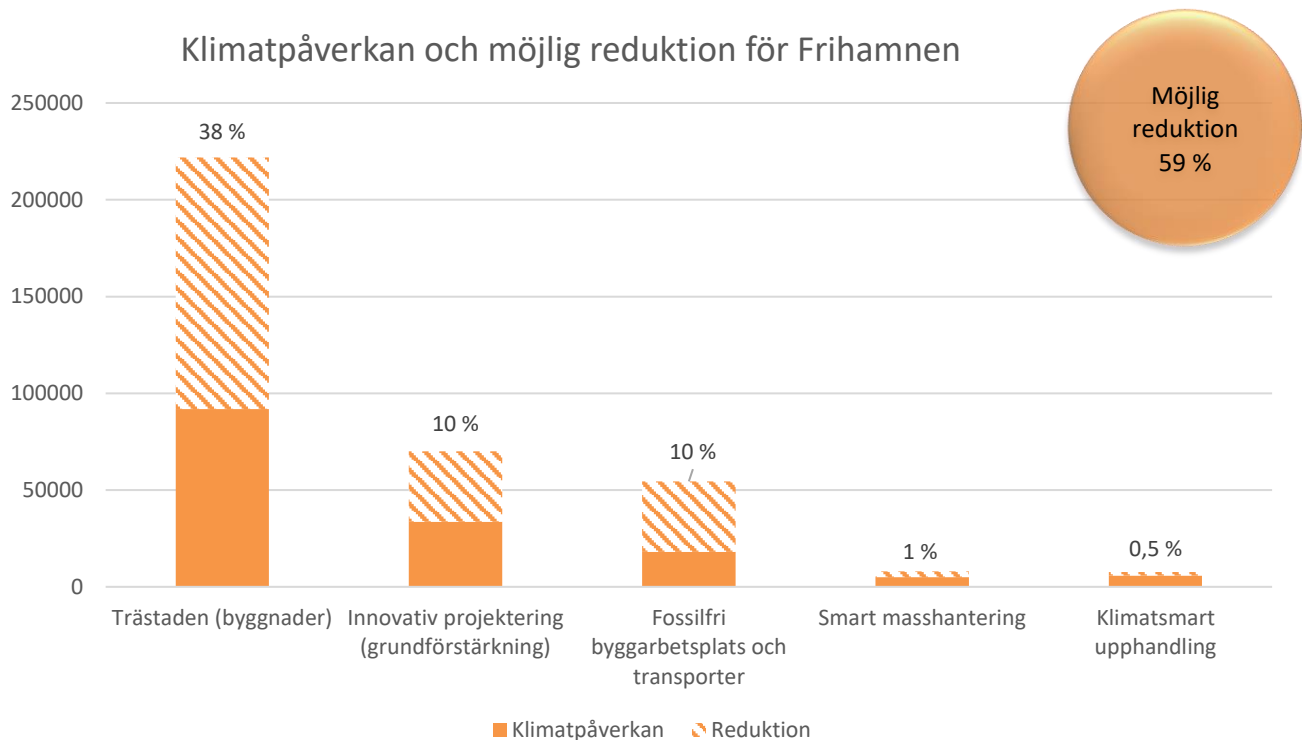
#### 4.5.1 KOSTNADER FÖR ÅTGÄRDER

Flera föreslagna åtgärder bygger på att inköp av material och produkter görs med hänsyn till klimatpåverkan. Dagens praxis är att leverantörer väljs utifrån pris, det vill säga att den billigaste leverantören väljs. Med det som utgångspunkt kan ingen av åtgärderna antas innebära någon kostnadsbesparing men det kommer finnas exempel där både kostnad och klimatpåverkan är lägst hos samma leverantör. Samtliga produkter som utgör exempel på reducerad klimatpåverkan i beskrivna åtgärder är från konkurrenskraftiga leverantörer vilket innebär att prisskillnaden är relativt liten. Att välja leverantör utifrån klimatpåverkan snarare än pris kommer sannolikt innebära något högre kostnader från inköp av material.

## 5 SAMMANFATTNING AV ÅTGÄRDER -VISION FÖR INRE FRIHAMNEN

Tyréns vision för hur 50 % reducerad klimatpåverkan kan uppfyllas för utvecklingen av frihamnen kan sammanfattas i fem fokusområden med tillhörande målbilder. Här sammanfattas tidigare beskrivna åtgärder och beräknad besparingspotential. Samtliga åtgärder som omfattas av visionen sammanställs i Figur 13.

- Trästadsdelen (byggnader i volymelement av trä)
- Innovativ projektering (grundförstärkning)
- Smart masshantering
- Fossilfri byggarbetsplats och transporter (drivmedel och energi)
- Klimatsmart upphandling



Figur 13. Klimatpåverkan och möjlig reduktion inom fokusområden, möjlig reduktion visas som skrafferad del av stapeln.

Ett alternativ till byggnader av volymelement av trä är prefabricerade betongstommar med klimatoptimerad betong och armering som har en förväntad besparingspotential på 32%, vilket ger en total möjlig besparingspotential på 53 %.

Föreslagna åtgärder är beroende av varandra, vilket beskrivits i tidigare kapitel. Exempelvis är huvuddelen av klimatpåverkan från masshantering kopplad till drivmedelsförbrukning. Dess besparingspotential redovisas i stapeln för fossilfri byggarbetsplats och transporter, se Tabell 12. Hur stor reduktion som kan göras genom att ersätta fossil diesel med HVO beror naturligtvis på hur stor mängd diesel som kommer förbrukas. Ingen av åtgärderna som föreslås inom varje fokusområde är dubbelräknade.

Tabell 12 Sammanställning av föreslagna åtgärder inom projektet Frihamnen

Åtgärd	Beräknad klimatbesparingspotential (ton CO2e)	Bedömning av kostnadspåverkan för åtgärden
Byggnaderna uppförs med byggsystem i trä, där även betong och armering i bottenplattan är klimatoptimerad	114 700	Neutral/kostnadsdrivande
Alternativt: Byggnaderna uppförs med byggsystem i prefabbetong, där betong och armering är klimatoptimerade	112 000	Neutral/kostnadsdrivande
Bygga med 50 % färre källare och ersätta med platta på mark	16 000	Kostnadsdrivande
Parametrisk design, optimering för minimerad klimatpåverkan av grundförstärkning	14 000	Ökade kostnader för projektering, minskad materialkostnad. Sannolikt en lägre kostnad totalt.
Klimatoptimerad cement i grundförstärkning	16 800	Kostnadsdrivande
Klimatoptimerad armering i grundförstärkning	5 600	Kostnadsdrivande
Ca 100 000 m <sup>3</sup> fyllnadsmassor (bergkross) kan tillhandahållas inom projektet som Fall A massor.	1900	Ökad kostnad för utredningar. Minskade kostnader för transporter, Sannolikt lägre total kostnad på ca 10 miljoner.
Om 90% av projektets schaktmassor kan avsättas lokalt i Lundbybassängen och parkområden	1000	Kraftigt minskade kostnader, ca 250 miljoner
Hybrid/delvis elektrifierad maskinpark (15 % reducerad dieselanvändning)	3 500	Neutralt
Elektriska masstransporter	5 200	Kraftigt kostnadsdrivande i nuläget
HVO i arbetsmaskiner	16 000	Kostnadsdrivande, 15-20 mkr
Delvis elektrifiering eller HVO i materialtransporter	10 700	Kostnadsdrivande, 10-15 mkr
Val av leverantör, asfalt	1000	Neutral/kostnadsdrivande
Val av leverantör Stålspont	800	Neutral/kostnadsdrivande

## 5.1 REFLEKTIONER

### 5.1.1 KOSTNADER OCH GENOMFÖRBARHET FÖR KLIMATÅTGÄRDER

Att bedöma kostnader och genomförbarhet för klimatåtgärder är mycket svårt i det tidiga skede som projektet befinner sig i just nu. Upphandling av entreprenörer och detaljprojektering återstår. Mängderna som klimatkalkylen och den beräknade kostnaden bygger på kommer att förfinas och ändras i takt med att projektet går framåt och bättre underlag hela tiden tas fram. Erfarenhetsmässigt brukar klimatpåverkan öka i takt med ökad detaljprojektering.

En viktig förutsättning för kostnader och genomförbarhet är val av entreprenörer. Olika entreprenörer har olika avtal och förutsättningar att genomföra åtgärder. Vilka avtal entreprenören har, och med vilka underleverantörer, påverkar både möjligheterna och kostnaden för exempelvis klimatsmarta drivmedel, armering, betong osv. Dessutom kan exempelvis HVO eller flygaska (en förutsättning för grön betong) bli en bristvara vilket kan innebära en stor prisökning för leverantörer och entreprenörer som inte har rätt avtal på plats eller som inte knutit till sig rätt samarbetspartners.

De schabloner som ligger till grund för kostnadsberäkningarna är därför troligtvis inte representativa utan kan förändras innan genomförandet är aktuellt.

### 5.1.2 SYSTEMATISKT ARBETSSÄTT

För att nå uppsatta mål och visioner med en 50 % reduktion i projektet krävs ett systematiskt arbetssätt och uppföljning genom hela projektet. Klimatfrågan och beräknade effekter på klimatpåverkan behöver finnas med när beslut fattas och man står inför olika vägval. Upphandling med klimatkrav är ett annat viktigt redskap som kommer att behövas. Sammanfattningsvis görs bedömningen att målet om att uppnå en 50% reduktion är möjligt, förutsatt att projektet framgent fortsätter prioritera och arbeta med klimatfrågan högt på agendan, i enlighet med de åtgärder som presenterats i detta PM.

## 6 REFERENSER

EPD, Celsa	Steel reinforcement products for concrete, Programme operator: EPD international, EPD registration number: S-P-00305
EPD, Cemex	Cemex Ltd, Portland-composite cement CEM II/A-M (S-LL) 52.5 N, EPD-CEM-20160146-CAA1-EN, Institut bauen und Umwelt e.V. (IBU)
EPD, Skanska	Skanska Sverige AB, Betongpålar, NEPD-2029-894-SE, EPD-Norge
Svensk betong, 2021	Klimatförbättrad betong hämtad: 2021-04-14
Sveriges Byggindustrier, 2018	Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport, Martin Erlandsson, Tove Malmqvist, Nicolas Francart, och Johnny Keller. IVL Rapport C350
Svensk Byggtjänst, 2021	AMA, Allmän material- och arbetsbeskrivning, <a href="https://byggtjanst.se/ama">https://byggtjanst.se/ama</a> hämtad 2021
Tyréns, 2021	Klimatpåverkan från industriellt producerade flerbostadshus i trä