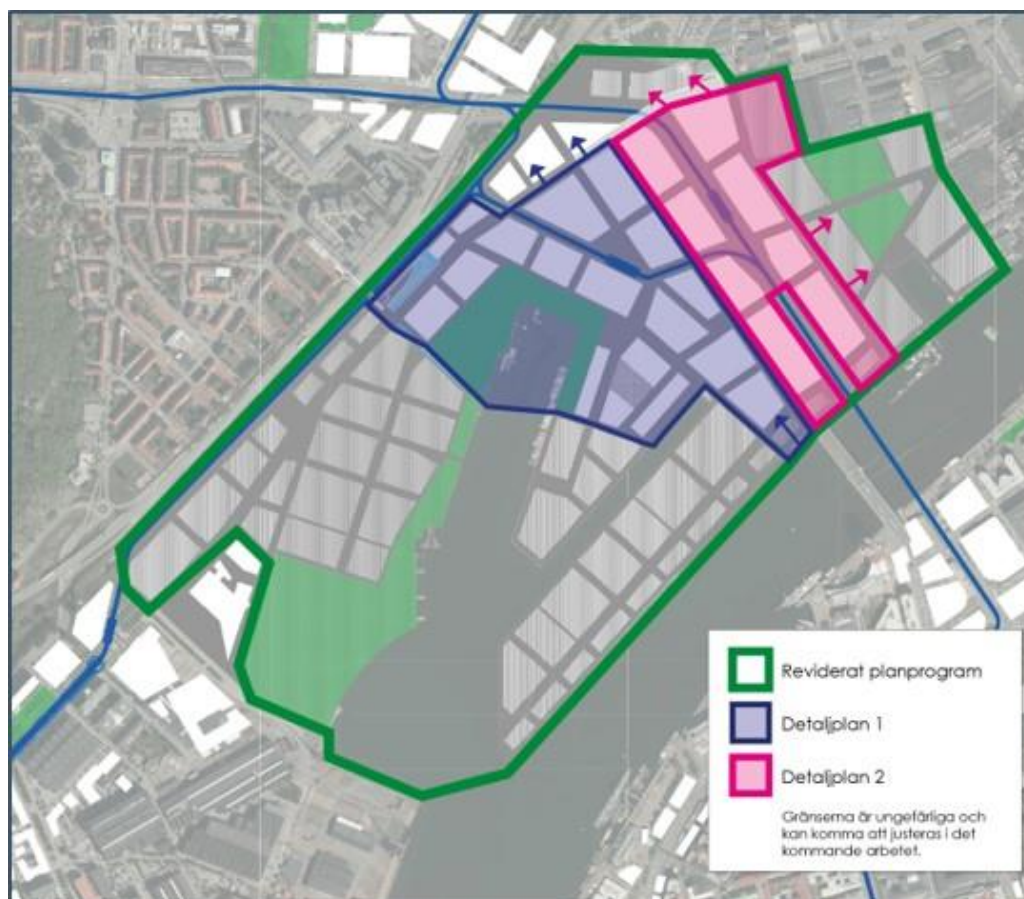


RAPPORT  
KLIMATANALYS FRIHAMNEN



**UPPDRAG** 308275, Klimatanalys Frihamnen

Titel på rapport: Klimatanalys frihamnen

Status: Rapport

Datum: 2021-04-01

#### **MEDVERKANDE**

Beställare: Älvstranden utveckling

Kontaktperson: Åsa Lindell

Konsult: John Ellbin Andersson, Ida Bohlin och Anna Pantze, Tyréns AB

Uppdragsansvarig: Anna Pantze, Tyréns AB

Kvalitetsgranskare: Ida Adolfsson, Tyréns AB

#### **REVIDERINGAR**

Revideringsdatum 2021-06-07

Version: 4

Initialer: AP

Uppdragsansvarig: Anna Pantze



---

Datum: 2021-06-07

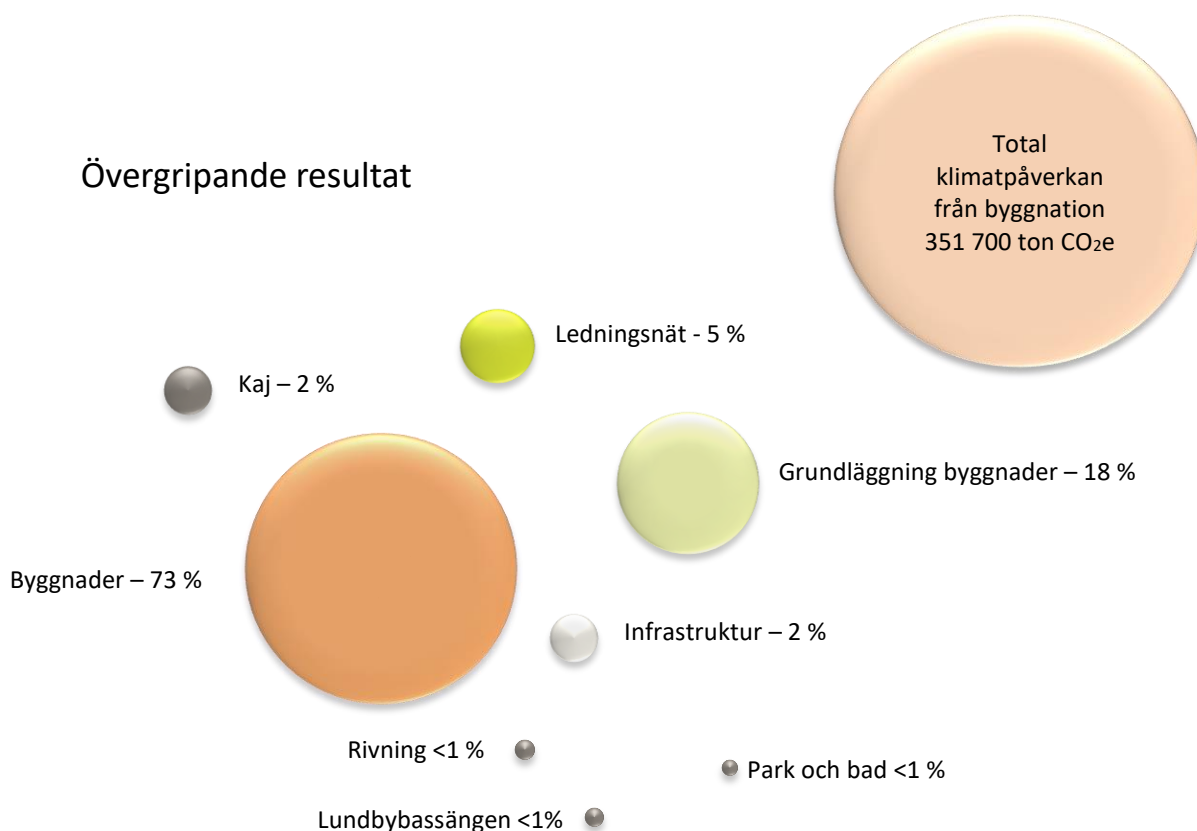
## SAMMANFATTNING

Älvstranden Utveckling vill minska utsläpp av växthusgaser från all ny bebyggelse och ombyggnad i Älvstaden med 50 %. Detta omfattar utvecklingen inom Frihamnen och som ett första steg har Tyréns på uppdrag av Älvstranden Utveckling kartlagt hur stor klimatpåverkan den planerade utbyggnaden medför. Kartläggningen sker i ett tidigt skede utan färdigprojekterade lösningar eller mängder, vilket medför att klimatanalysen baseras på grova uppskattningar och antaganden samt erfarenhet.

Klimatanalysen omfattar inre Frihamnen (DP1 och DP2) inklusive: byggnader, markarbete, infrastruktur, spårväg, sociodukt, jubileumspark och badanläggning. Analysen omfattar dessutom nya ledningar för hela Frihamnsområdet, utfyllnad av Lundbybassängen, nya kajkonstruktioner och rivning av befintliga byggnader och temporära bostäder.

Klimatpåverkan har beräknats för hela livscykeln, det vill säga både bygg- och driftsskede. Byggskedet inkluderar utvinning och tillverkning av byggmaterial, (A1-A3), transporter (A4) samt byggnation (A5). I drift- och underhållsskedet har klimatpåverkan från drift av byggnader och infrastruktur under 50 år beräknats, på en schematisk nivå. Detta innefattar underhåll, utbyte och driftenergi (B2, B4 & B6) för byggnader och underhåll och utbyte (B2 & B4) för infrastruktur.

Den totala klimatpåverkan för byggnation av inre Frihamnen har beräknats till totalt ca 351 700 ton CO<sub>2</sub>e, varav byggnaderna och deras grundläggning står för 91 %.



Analys av klimatpåverkan fördelat på materialproduktion, transporter och byggnation visar att materialproduktionen står för den största klimatpåverkan med 81 % av klimatpåverkan under byggnation.

Transporter till och från samt arbetet inom byggarbetsplatsen bidrar med cirka 19 % av klimatpåverkan under byggnation, där förbränning av diesel vid transporter och i arbetsmaskiner står för cirka 15,5 % och spill för resterande 3,5 %.

Produktion av betong och armering står tillsammans för 61 % av klimatpåverkan från byggnation. Resultaten är inte förvånande eftersom bebyggelsen är relativt tät och de flesta byggnaderna utgörs av bostäder och kontor för vilka betongkonstruktioner antagits. Dessutom har grundförstärkning med betongpålar antagits för samtliga byggnader och större ledningar.

Drygt 20 % av klimatpåverkan från byggnation härstammar från grundläggning av hus, ledningar och kajer. Detta är en direkt konsekvens av platsens geotekniska förutsättningar med ett lerlager på 100 m.

Klimatpåverkan från drift och underhåll har beräknats till totalt ca 106 000 ton CO<sub>2</sub>e under 50 år. Drift och underhåll utgör därmed cirka 23 % av den sammanlagda klimatpåverkan.

Att kartlägga klimatpåverkan från ett projekt i tidigt skede med Frihamnens storlek och komplexitet är mycket svårt. Erfarenhet från andra projekt där beräknad klimatpåverkan reviderats efterhand, från tidig planering till färdig bygghandling pekar på att den beräknade klimatpåverkan ökar i takt med att detaljeringsnivån på projektering ökar. Fördelningen av klimatpåverkan mellan material, arbeten och aktiviteter som beräknas i dessa tidiga skeden brukar erfarenhetsmässigt spegla fördelningen i slutresultatet. Detta ger en trygghet i att kartläggningen fyller syftet att höja kunskapsnivån, vägleda samt underlätta prioriteringar för att åstadkomma ett aktivt arbete med att minska klimatpåverkan av projektet. Ett arbete som bör prioriteras och finnas med genom hela projektets alla steg där beslut fattas. Vilka fokusområden och möjliga åtgärder som har identifierats kommer redovisas i ett separat PM.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>6</b>
1.1 BAKGRUND .....	6
1.2 SYFTE .....	6
1.3 MÅL .....	7
<b>2 METOD KLIMATBERÄKNINGAR.....</b>	<b>7</b>
2.1 OMFATTNING OCH UNDERLAG .....	7
2.2 INDATA OCH SCHABLONER FÖR KLIMATVÄRDEN.....	9
2.3 GEMENSAMMA ANTAGANDEN I STUDIEN.....	10
<b>3 INVENTERING.....</b>	<b>11</b>
3.1 BYGGNADER.....	11
3.2 MARKARBETEN INOM HELA FRIHAMNEN .....	12
3.3 MARKARBETEN OCH FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR BYGGNADER OCH KVARTERSMARK .....	13
3.4 INFRASTRUKTUR .....	16
3.5 KAJER.....	18
3.6 NYA LEDNINGAR (FÖR HELA FRIHAMNEN) .....	18
3.7 PARKYTOR OCH BAD.....	19
3.8 UTFYLLNAD LUNDBYBASSÄNGEN.....	21
3.9 RIVNING AV BEFINTLIGA FASTIGHETER OCH ASFALTERADE YTOR.....	22
3.10 DRIFT OCH UNDERHÅLL .....	25
<b>4 RESULTAT .....</b>	<b>26</b>
4.1 KLIMATPÅVERKAN FRÅN BYGGMATERIALPRODUKTION, TRANSPORTER OCH BYGGNATION.....	26
4.2 KLIMATPÅVERKAN FRÅN 50 ÅRS DRIFT .....	30
<b>5 OSÄKERHETSANALYS .....</b>	<b>31</b>
5.1 BYGGNADER.....	31
5.2 GRUNDLÄGGNING.....	33
<b>6 DISKUSSION OCH REFLEKTIONER .....</b>	<b>36</b>
<b>7 REFERENSER.....</b>	<b>38</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.

På uppdrag av Älvstranden utveckling har Tyréns kartlagt storleksordningen av de klimatutsläpp som de olika bygginvesteringarna är förenade med. Med "bygginvestering" avses de delmoment som krävs för utvecklingen av Frihamnen, så som rivning, marksanering samt uppbyggnad av infrastruktur och byggnader. Kartläggningen var i ett tidigt skede utan färdigt projekterade lösningar eller mängder, vilket medför att klimatanalysen baseras på grova uppskattningar utifrån publicerade rapporter, antaganden samt erfarenhet. Älvstranden Utveckling har bidragit med underlag i form av en första kostnadskalkyl. Därefter har uppskattningar gjorts i dialog mellan Älvstranden Utveckling och Tyréns egna erfarna specialister inom bland annat geoteknik och konstruktion. Antaganden och uppskattningar har gjorts för bland annat mängder, behov av grundförstärkning, konstruktionslösningar, material och/eller arbetsmoment i olika bygginvesteringar.

I klimatanalysen togs driftsperspektivet med på en schematisk nivå för både byggnader och infrastruktur. Kartläggningen omfattade inre Frihamnen (DP1 och DP2) samt de delar som sannolikt kommer att realiseras i närtid:

- Byggnader
- Markarbete
- Infrastruktur
- Spårväg
- Sociodukt
- Jubileumsparken inklusive badet
- Nya ledningar
- Utfyllnad Lundbybassängen
- Temporära bostäder.
- Rivning av befintliga byggnader

Vidare har Tyréns analyserat inom vilka bygginvesteringar och/eller delområden det finns störst potential att reducera klimatavtrycket, och vilka åtgärder detta är förenat med. Genomlysningen av besparingspotentialen ska ligga som bas för beslut kring hur klimatfrågan hanteras i Frihamnen. I förlängningen är målet att Frihamnens klimatavtryck ska kunna minskas med 50%.

## 1.2 SYFTE

Syftet med uppdraget var att skapa en förståelse för hur stor klimatpåverkan utbyggnaden av Frihamnen medför, samt vilka delar som står för den största klimatpåverkan. Resultatet skulle sedan utgöra underlag i det fortsatta arbetet med att identifiera de bygginvesteringar och/ eller delområden som har störst potential att reducera klimatavtrycket.

### 1.3 MÅL

Uppdragets mål var att presentera en klimatkalkyl som redovisar klimatpåverkan för utbyggnaden av Frihamnen, etapp 1 och 2, omfattande de delar som med stor sannolikhet ska realiseras i området. Resultat skulle visa 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. Uppdraget omfattade även en osäkerhetsanalys för att hantera de osäkerheter som identifierats för att utvärdera hur de påverkar resultatet av klimatkalkylen.

## 2 METOD KLIMATBERÄKNINGAR

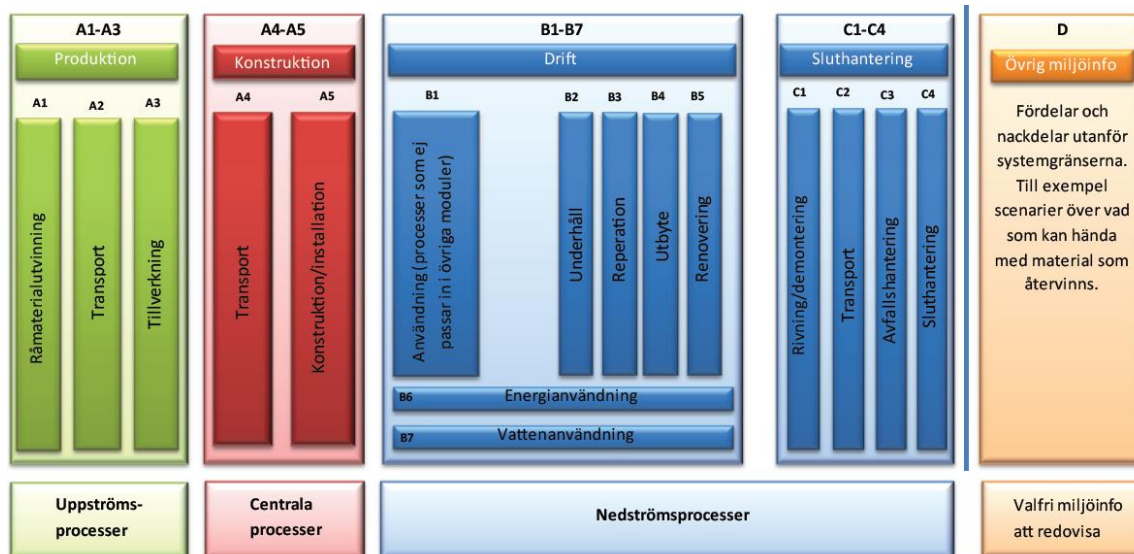
### 2.1 OMFATTNING OCH UNDERLAG

I detta avsnitt beskrivs omfattningen av genomförd analys samt de indata och schabloner som använts som underlag för beräkningar.

#### 2.1.1 OMFATTNING

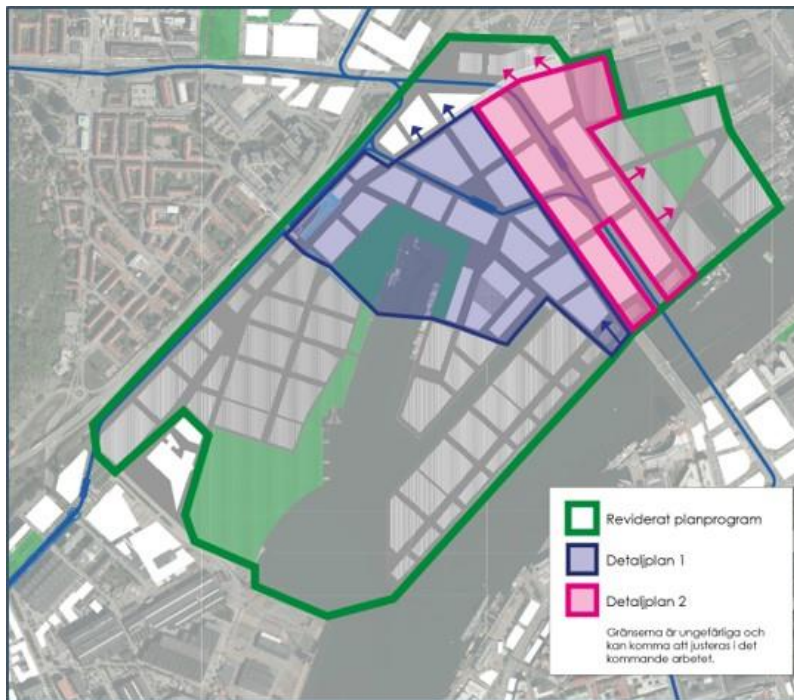
I denna övergripande LCA har endast global warming potential (GWP) från utvinning och tillverkning av material, transporter och energianvändning i arbetsmaskiner på byggarbetsplatsen utvärderats, se Figur 1. I klimatanalysen togs även delar av driften med på en schematisk nivå för både byggnader och infrastruktur.

I figur 1 nedan beskrivs en anläggnings livscykel schematiskt. Den börjar med utvinning av råvaror eller energi. Dessa används sedan för att tillverka byggmaterial eller används som drivmedel för anläggningsarbetet. Under anläggningens användning krävs drift och underhåll. När anläggningen sedan byggs om, eller rivs, tas materialet om hand på olika sätt. De olika skedena i en livscykel har olika bokstavs-beteckningar. I denna utredning inkluderas materialproduktionsskedet A1-A3 och konstruktionskedet (A4-A5) och delar av Driftskedet (B2, B4 & B6). Sluthantering (C1-C4) inkluderas inte.



Figur 1. Schematisk översikt över anläggnings livscykel. Illustration: Tyréns.

Klimatanalysen omfattar utbyggnad av den inre Frihamnen i Göteborg (DP1 & DP2), se Figur 2 nedan. Området för hela utbyggnaden av Frihamnen illustreras i grön färg. Inre frihamnen är de blå- och rödmarkerade områdena.



Figur 2. Området för hela utbyggnaden av Frihamnen i Göteborg illustreras med grön färg. Klimatberäkningar i föreliggande rapport omfattar utbyggnad av inre Frihamnen (DP1 & DP2). Inre Frihamnen är de blå och rödmarkerade områdena. Dessutom inkluderas utfyllnad av Lundbybassängen, nya kajkonstruktioner, rivning av befintliga byggnader, temporära bostäder samt nya ledningar för hela Frihamnsområdet i klimatberäkningarna.

Följande delmoment ingår:

- Byggnader
- Markarbete (sanering, höjning, geotekniska förstärkningsåtgärder)
- Infrastruktur (gator, park, torg)
- Rivning av befintliga byggnader

Förutom utbyggnad den inre Frihamnen (DP1 & DP2) omfattar klimatanalysen även:

- Utfyllnad Lundbybassängen
- Nya kajkonstruktioner
- Temporära bostäder
- Nya ledningar för hela Frihamnsområdet
- Sociodukt
- Spårväg
- Jubileumsparken inklusive badanläggning med utomhusbassänger.

Då underlaget i detta tidiga skede var grovt och på en översiktlig nivå var inte ambitionen att kunna inkludera alla material och alla arbetsmoment som kommer krävs för att genomföra projektet. Ambitionen var att utifrån erfarenhet av livscykelanalyser för anläggningsarbete, infrastruktur och byggnader inkludera så



mycket som möjligt och framförallt inte utelämna någon del som kan ha en betydande klimatpåverkan.

Många uppskattningar behövde göras både när det gäller indata och schabloner. Vidare är den en ögonblicksbild utifrån den kunskap som fanns vid beräkningstillfället kring vad som skulle byggas samt kunskaper och erfarenhet av klimatberäkningar.

## 2.2 INDATA OCH SCHABLONER FÖR KLIMATVÄRDEN

Älvstranden Utveckling har bidragit med underlag för indata för bygginvesteringarna samt klimatvärden (kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA) för flerbostadshus och kontor.

Tyréns har kompletterat både indata och klimatdata samt omsatt mängder, ytor, massor, transportsträckor för massor, längder, byggnadsstorlekar till de enheter som behövs för att koppla ihop med relevanta schabloner för klimatvärden.

När det gäller infrastruktur och anläggningsarbete användes främst klimatvärden från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl. När det gäller byggnader användes tillhandahållna klimatvärden som tagits fram av IVL samt Tyréns egna erfarenhetsvärden från tidigare genomförda livscykelanalyser av byggnader. All potentiell klimatpåverkan redovisas i koldioxidekvivalenter (kg CO<sub>2</sub>e).

I kapitel 3 redovisas vad som ingår i beräkningarna för de olika delarna av Frihamnen. Där beskrivs även vilken indata och klimatdata som använts för beräkningarna samt viktiga antaganden och avgränsningar.

Det fanns bra schabloner för många arbetsmoment/bygginvesteringar medan schabloner för exempelvis specialbyggnader behövde tas fram utifrån grova uppskattningar av sakkunniga och liknande byggnadstyper.

### 2.3 ÖVERGRIPANDE ANTAGANDEN I STUDIEN

Övergripande viktiga antaganden som gäller för hela studien presenteras i Tabell 1. Fler antaganden och djupare förklaringar för varje bygginvesteringar och/eller delområden finns under kapitel 3.

Tabell 1. Övergripande antaganden i studien

<b>Avstånd till asfaltverk</b>	20 km (Svevia, Skanska och Peab har asfaltverk inom 20 km från Frihamnen)
<b>Avstånd bergtäkt</b>	30 km (schablon från Klimatkalkyl)
<b>Avstånd rena jordmassor</b>	30 km (schablon från Klimatkalkyl)
<b>Avstånd massor borttransport</b>	30 km (schablon från Klimatkalkyl)
<b>Antal våningar för bostäder &amp; kontor</b>	5-8 våningar
<b>Antal våningar för handel/verksamhet</b>	5-8 våningar
<b>Antal våningar för förskola/skola/idrott/kyrka</b>	2 våningar
<b>Antal våningar övrigt, hotell</b>	8 våningar
<b>Antal våningar magasin</b>	5 våningar
<b>Antal våningar temporära bostäder</b>	2 våningar
<b>Markarbeten under byggnader</b>	Under alla byggnader antas att marken saneras ned till 1,25 meter
<b>Källare</b>	Samtliga bostäder/kontor/ handel/verksamhet antas ha en källare som är lika stor som byggnadens markanspråksyta
<b>Grundförstärkning samtliga byggnader</b>	Pålgrund med centrumavstånd 2 meter och 50 meters betongpålar. Pålarna ligger under bärande delar men i snitt antas 1 påle per 4 m <sup>2</sup> (centrumavstånd 2 meter)
<b>Grundförstärkningen för viktiga ledningar</b>	Påldäck 4 meters bredd för parallella ledningar Centrumavstånd 2 meter och 50 meters betongpålar
<b>Grundläggning spårväg &amp; huvudgata</b>	Förstärkningslager ca 900 mm Total schaktdjup ca 1,2 m
<b>Grundläggning lokalgator, gånggator och parkgator</b>	Förstärkningslager ca 700 mm. Total schaktdjup ca 0,9 m
<b>Asfalt</b>	Bitumenbundna lager 180mm för huvudgator och 120 mm för lokalgator, gånggator och parkgator
<b>Schakt och fyll inom projektet<sup>1</sup></b>	Majoriteten av alla massor inom projektet, 350 000 m <sup>3</sup> , antas vara Fall B massor, men en mindre mängd, 30 000 m <sup>3</sup> , antas vara Fall A massor

1. I stort sett alla massor inom projektet har valts att klassas som fall B, (massor som köras iväg för omhändertagande eller tillfälliga upplag. Detta eftersom massorna i Frihamnen till stor del är förorenade och bedöms vara för dåliga, rent geotekniskt, för att fungera som underbyggnad till vägar, spårvägar eller byggnader. Till parkområdena eller kvartersytor under grönytor eller grusgångar har både schakt- och fyllmassor klassats som fall A, vilket antas representera de rena massor som kan återanvändas inom projektet just till underbyggnad för grönytor eller grusgångar.

## 3 INVENTERING

### 3.1 BYGGNADER

Byggnaderna inom området kommer att bestå av bostäder, kontor, handel/verksamhet, förskola/skola/idrott, hotell, kyrka, magasin samt temporära bostäder. Bostäder utgör merparten av de byggnader som ska byggas inom området. Övergripande förutsätts de flesta bostäder, kontor, förskola/skola/idrott, hotell och kyrka konstrueras i betong. Handel/verksamhet samt magasin antas ha stålstomme och temporära bostäder antas konstrueras i volymelement i trä.

För att uppskatta de kommande byggnadernas klimatavtryck har Tyréns använt klimatdata som täcker in en byggnads alla större delar såsom grund, stomme, tak, ytter- och innerväggar, dörrar och fönster, inredning och installationer. Ambitionen har varit att följa riktlinjerna i Boverkets kommande klimatdeklarationer där bland annat invändiga ytskikt inte igår. Boverkets systemgränser fram till år 2027 är framtagna utifrån bland annat tillgång till underlagsdata. Då lämpliga schabloner för installationer och inredning funnits att tillgå (Landén M. et. Al. 2020) har dessa valts att inkluderas. För samtliga byggnader inkluderas hela byggnaden inklusive inredning och installationer. För antaganden och undantag se kapitel 3.1.2 och 313.

#### 3.1.1 INDATA OCH KLIMATDATA

I Tabell 2 presenteras de indata som använts för beräkning av byggnadernas klimatpåverkan. Klimatdata för olika typer av byggnader ligger mellan 300 - 500 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> BTA förutom för hotell. För hotell har klimatdata hämtats från en EPD för ett hotell. Systemgränserna är lite annorlunda och inkluderar i stort sett allt i hela byggnaden. Tyréns har valt att använda en konservativ klimatpåverkan för hotellet eftersom klimatpåverkan erfarenhetsmässigt ökar avsevärt i specialdesignade byggnader med mycket glas och stål.

Tabell 2. Indata för beräkning av klimatpåverkan för byggnader.

	m <sup>2</sup> BTA	m <sup>2</sup> Källare	Antal våningar (snitt)	Klimatdata byggnad A1-A5 (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> BTA)	Klimatdata källare A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Bostäder	309 827	47 666	6,5	380	488
Kontor	112 736	17 344	6,5	410	488
Handel/verksamhet	33 901	5 216	6,5	444	488
Förskola/skola/idrott	21 172		2	314	
Övrigt, hotell	12 000		8	858	
Övrigt, kyrka	8 000		2	444	
Magasin D, 113, 107	34 660		5	501	
Temporära bostäder	22 401		2	266	

Det klimatdata som används för de olika byggnaderna har följande referenser:

- Bostäder och Kontor (Landén 2020)
- Handel/verksamhet, Kyrka och Magasin (Tyréns 2017)
- Förskola/Skola/Idrott (Tyréns 2020)
- Hotell (EPD NXT TEC Ltd 2018)
- Temporära bostäder kommer från ett internt projekt inom Tyréns

### 3.1.2 ANTAGANDEN

- För de studier där inte transporter till byggplats (A4) eller uppförande av byggnaden (A5) är inkluderade används schablonvärden. Detta gäller för handel/verksamhet, förskola/skola/idrott, hotell och magasin.
  - A4 antas vara 27 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> BTA enligt (Erlandsson 2018).
  - A5 antas vara 50 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> atemp enligt Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM 1.0) (se bilaga 11 till BM).
- För handel/verksamhet, förskola/skola/idrott och temporära bostäder läggs schabloner för inredning och installationer till (IVL rapport U 6391).
  - Schabloner för ytskikt 39 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> BTA.
  - Schabloner för installationer 47 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> BTA.
- GIA antas motsvara BTA.
- Magasin byggs med stålstomme, och schablon för installationer inkluderat
- Handel/verksamhet byggs med stålstomme.
- Förskola/skola/idrott byggs med betongstomme.
- Kyrka antas vara likvärdigt med handel/verksamhet.
- Omräkningsfaktor Atemp = 0,9\*BTA.
- För byggnader som inrymmer bostäder, kontor och handel/verksamhet antas att det är en källare under byggnaden. Storleken på källaren är densamma som byggnadens markanspråksyta (se Tabell 2).
  - Schablon för källare beräknas vara 488 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> markanspråksyta (Tyrens 2015).
- Klimatdata för hotell, A1-A3, tas från EPD NXT™ Concept Building - Wyndham LUX Perth Hotel (S-P-01167).
  - Klimatdata från A4-A5 anpassas till svenska förhållanden och hämtas från beräkningsverktyget BM och Erlandsson 2018.
- Klimatdata för temporära bostäder kommer från ett internt pågående projekt gällande volymbyggnader i trä.

### 3.1.3 AVGRÄNSNINGAR

- Förskola saknar fasadbeklädnad
- För källaren är enbart A1-A3 inkluderat och schablonen är per m<sup>2</sup> Atemp.
- Magasinen exkluderat ytskikt

## 3.2 MARKARBETEN INOM HELA FRIHAMNEN

### 3.2.1 UNDERLAG

Att bedöma behovet av markarbeten i området är komplext. Inre frihamnen omfattar ca 350 000 m<sup>2</sup>. Området är idag ett industriområde som till största delen består av hårdgjorda ytor så som asfalt och en del byggnader. Längs med vissa körbanor finns gräsytor och träd.

I den översiktliga miljötekniska markundersökningen (Sweco, 2015) står att "Hela området är så gott som uteslutande täckt av asfalt, mäktigheten uppgår till ca 5 - 10 cm. Asfalten har okulärbedömts i fält. Karaktären har bedömts vara i stort sett enhetlig inom hela den undersökta ytan och det saknas tydliga indikationer på tjärasfalt".

Den översiktliga markundersökningen visar på en hel del föroreningar i Frihamnen. Det är svårt att uppskatta hur många kubikmeter som kommer att behöva saneras och avyttras. Tyréns har i samråd med geotekniker gjort en bedömning av hur mycket massor som av miljötekniska eller geotekniska anledningar antas behöva avyttras under byggnader och hur mycket massor som antas behöva avyttras i samband med

anläggning av infrastruktur. I Tabell 3 visas en sammanställning av alla markarbeten i inre Frihamnen samt markarbete för alla ledningar i hela Frihamnen.

Enligt uppskattningar av geotekniker på Tyréns är det främst under planerade byggnader som marken behöver saneras på djupet eftersom det handlar om föroreningar som kan diffundera in i byggnaderna underifrån. Tyréns geotekniker uppskattar att 1–1,5 meter massor behöver schaktas bort under byggnaderna.

I tabell 3 nedan sammanställs alla markarbeten för inre Frihamnen samt ledningsområden för hela Frihamnen. Dessa har tagits fram av Tyréns genom konsultation med geotekniker och husgrundskonstruktörer.

*Tabell 3. Sammanställning av alla markarbeten.*

<b>Summan av markarbeten för olika delmoment</b>	<b>Kommentar</b>
Ca 350 000 m <sup>3</sup> massor behöver transporteras bort från arbetsområdet motsvarande 110 cm över hela projektområdet (315 000 m <sup>2</sup> )	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 22 000 ton asfalt rivs och transporteras bort	Från hela inre Frihamnen
Ca 310 000 m <sup>3</sup> fyllnadsmassor (bergkross) behöver köras till projektet (exkl muddermassor)	Till förstärkning av vägar, spårvägar, ledningar, kvartersytor, torg och parkområden etc.
Ca 1,4 miljoner meter betongpålar för förstärkning av 110 000 m <sup>2</sup> under hus och viktiga ledningar	
Ca 41 000 ton asfalt för ny beläggning	
Ca 30 000 m <sup>3</sup> rena jordmassor antas kunna återanvändas under grönytor och grusgångar	

Enligt den geotekniska undersökningen (Norkonsult 2015) är jordlagerföljden i Frihamnen:

- Asfaltslager,
- Fyllningsmaterial (1-2 meter) bestående av krossmaterial (sten/grus/sand) och tegel. Fyllningsmassorna är generellt att betrakta som förorenade.
- Fyllnadsmaterial, muddermassor (2-5 m)
- Naturlig lera, "klassisk göteborgslera" ca 100 m eller mer

### **3.3 MARKARBETEN OCH FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR BYGGNADER OCH KVARTERSMARK**

Utifrån den geotekniska undersökningen har Tyréns geotekniker antagit att samtliga byggnader behöver pålgrund. Enligt erfaren husgrundskonstruktör är ungefär 75 pålar per 350 m<sup>2</sup> husavtryck/markanspråksyta ett rimligt antagande utifrån byggnadernas höjd, tidigare projekt och markförhållanden i Frihamnen. Tätheten av pålar kommer att variera mellan olika byggnader och byggnadstyper men antagandet baseras på att de flesta byggnader är bostäder med mellan 5-8 våningar. Påltypen antas vara 50 meters betongpålar (standardpålar 270x270 SP2). För de byggnader som har källare fästs

pålarne direkt under källarplattan. För de byggnader som saknar källare behövs återfyllnad med bergkross och isolering.

### 3.3.1 INDATA OCH KLIMATDATA

I tabell 4 nedan sammanställs indata för beräkning av klimatpåverkan från saneringsarbeten. För att beräkna markanspråksytan för kommande byggnader har ett snitt för antal våningar för de olika byggnadstyperna antagits, varefter ytan kunde beräknas utifrån BTA. Schaktmängder har beräknats utifrån antagandet att marken i snitt behöver saneras ned till 1,25 meter under alla byggnader. Indata för grundförstärkning samt indata för kvartersytor/innegårdarna mellan husen visas i Tabell 5 och Tabell 6

Tabell 4. Indata för beräkning av klimatpåverkan från saneringsarbete under byggnader.

Sanering under byggnader	Antal våningar (snitt)	Byggnadernas markanspråksyta
Bostäder	6,5	47 666 m <sup>2</sup>
Kontor	6,5	17 344 m <sup>2</sup>
Handel/verksamhet	6,5	5 216 m <sup>2</sup>
Förskola/skola/idrott	2	10 586 m <sup>2</sup>
Övrigt, hotell	8	1 500 m <sup>2</sup>
Övrigt, kyrka	2	4 000 m <sup>2</sup>
Magasin D, 113, 107	5	6 932 m <sup>2</sup>
Temporära bostäder	2	3 734 m <sup>2</sup>
<b>SUMMA, yta för bostäder</b>		96 977 m <sup>2</sup>
<b>SUMMA, saneringsbehov</b>		121 221 m <sup>3</sup>

Tabell 5. Indata för beräkning av klimatpåverkan från grundförstärkning under byggnaderna

Grundförstärkning under byggnader	
Grundförstärkning för byggnader med källare. Bostäder, Kontor & Handel/verksamhet. Betongpålar (50 meter) betongpålar (standardpålar 270x270 SP2), CC 2 meter. Betongpålarna fästs direkt i källarplan.	70 230 m <sup>2</sup>
Grundförstärkning för byggnader utan källare. Pålar och påldäck under 1 meter bergkross och isolering. Betongpålar (50 meter) betongpålar (standardpålar 270x270 SP2), CC 2 meter. Förskola/skola/idrott, hotell, Kyrka, Magasin och Temporära bostäder	26 750 m <sup>2</sup>

Tabell 6. Indata för beräkning av klimatpåverkan från kvartersmark mellan byggnaderna (inte vägarna)

Kvartersmark		
Jord	7 850 m <sup>2</sup>	Motsvarar 10% av kvartersytan
Grus	23 560 m <sup>2</sup>	Motsvarar 30% av kvartersytan
Asfalt	23 560 m <sup>2</sup>	Motsvarar 30% av kvartersytan
Marksten (betongmarkplattor)	23 560 m <sup>2</sup>	Motsvarar 30% av kvartersytan
Kvartersytor totalt	78 530 m <sup>2</sup>	

### 3.3.2 ANTAGANDEN

#### SANERING UNDER BYGGNADER

- Endast marken under byggnaderna, byggnadens markanspråksyta, bedöms behöva saneras på djupet
- Marken under alla kommande byggnader antas i snitt behöva saneras ned till 1,25 meter
- Klimatdata för sanering under byggnader har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5).

#### GRUNDFÖRSTÄRKNING BYGGNADER

- För samtliga byggnader antas pålgrund
- Grundförstärkning för byggnader med källare bedöms behöva grundförstärkning med betongpålar som fästs in i källarbottenplattan
- Alla bostäder, kontor samt handel/verksamhet antas byggas med källare
- Grundförstärkning för byggnader utan källare bedöms behöva grundförstärkning med 1 meter bergkross och isolering samt betongpålar och pådäck.
- Förskola/skola/idrott, hotell, kyrka, magasin och temporära bostäder antas byggas utan källare
- För samtliga byggnader antas att betongpålarna ligger under bärande delar och i snitt antas 1 påle per 4 m<sup>2</sup>, vilket ger ett centrumavstånd på 2 meter. Betongpålarna under byggnaderna antas vara 50 meters standardpålar 270x270 SP2.
- Klimatdata för grundförstärkning byggnader har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5).

#### ÖVRIGT MARKARBETE I KVARTEREN

- Intill byggnader antas grönytor på 10 %, grusgångar på 30%, asfalt på 30% och betongplattor på 30 % av kvartersytorna mellan byggnaderna
- För uppbyggnad av ytor med asfalt eller betongplattor antas att 0,8 m schaktas bort (fall B massor) och ersätts med:
  - Geotextil
  - 0,65 m Förstärkningslager
  - 0,08 m Obundet bärlager
  - 50 mm Asfalt eller betongplattor
- För uppbyggnad av ytor med jord eller grus antas att 0,8 m schaktas (fall A massor) och ersätts med:

- Geotextil
- 0,7 m (Rena massor från området)
- 100 mm gruslager för grusgångar eller 300 mm jord för grönytor
- Klimatdata för markarbete i kvarteren har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5).

Observera att alla antaganden för markarbete, schakt och fyll i samband med infrastruktur, ledningsdragningar och utfyllnad av Lundbybassängen redovisas separat under respektive kapitel.

### 3.3.3 AVGRÄNSNINGAR

- Markarbeten för kommande temporär arena inkluderas inte i beräkningarna

## 3.4 INFRASTRUKTUR

### 3.4.1 INDATA OCH KLIMATDATA

Indata för infrastruktur har tillhandahållits av beställaren och visas i Tabell 7.

*Tabell 7. Indata infrastruktur*

Funktion	Yta	Enhet
Huvudgata	30 951	m <sup>2</sup>
Lokalgata	61 902	m <sup>2</sup>
Gågata	24 761	m <sup>2</sup>
Parkgata	6 190	m <sup>2</sup>
Spårväg	9 434	m <sup>2</sup>
Torgyta	5 166	m <sup>2</sup>
Sociodukt	1125	m <sup>2</sup>

Underlaget som tillhandahållits från beställaren, i form av ytor med olika funktion, har omsatts till mängder material och arbeten såsom schakt, fyll och beläggning. Utgångspunkten har varit standardritningar för väg, spårväg och torgytur ur Göteborgs Stad Teknisk Handbok 2020:2. Övergripande justeringar har gjorts med hänsyn till geotekniska förhållanden, se 3.2.1 antaganden.

Klimatdata har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5).

Klimatpåverkan för sociodukten, som är 375 meter lång och 3 meter bred, har beräknats med hjälp av Klimatkalkyl version 7.0 och typåtgärden för gång- och cykelbro som beskriver ingående material och arbetsmoment för ett normalt utförande.

### 3.4.2 ANTAGANDEN

- För väg, spårväg och torgytur antas ingen grundförstärkning krävas i form av pålar eller pelare. Tyréns geotekniker bedömer att en rimlig hantering av dåliga grundläggningsförhållanden är uppdimensionerade förstärkningslager, uppskattningsvis mellan ca 800-1000 mm för spårväg och huvudgata.



- Sociodukten antas kräva grundläggning med betongpålar. Brons spännvidd har antagits till cirka 15 meter och varje stöd antas kräva 5 pålar till ett djup av 30 meter, standardpåle SP2.

#### UPPBYGGNAD AV HUVUDVÄG

- Ett lager av geotextil
- 510 mm förstärkningslager enligt standardritning (4562)
- 400 mm ytterligare förstärkningslager med hänsyn till dåliga grundläggningsförhållanden
- 80 mm obundet bärlager enligt standardritning
- 180 mm bitumenbundna lager
- Total schaktdjup blir därmed ca 1,2 m

#### UPPBYGGNAD AV LOKALGATOR, GÅGATOR OCH PARKGATOR

- Ett lager av geotextil
- 510 mm förstärkningslager enligt standardritning (4562)
- 200 mm ytterligare förstärkningslager med hänsyn till dåliga grundläggningsförhållanden
- 80 mm obundet bärlager enligt standardritning
- 120 mm bitumenbundna lager
- Total schaktdjup blir därmed ca 0,9 m

#### UPPBYGGNAD AV SPÄRVÄG

- Ett lager av geotextil
- 500 mm förstärkningslager enligt standardritning (3540)
- 300 mm ytterligare förstärkningslager med hänsyn till dåliga grundläggningsförhållanden.
- 450 mm stoppmakadam i flera lager enligt standardritning
- Totalt schaktdjup blir därmed ca 1,2 m
- Majoriteten av spärvägen antas utföras med gräsöverbyggnad men vissa delar antas asfalteras i samband med till exempel korsningar och hållplatser.
- De översta lagren av makadam ersätts med gräs eller asfalt utan att påverka det totala djupet av under- och överbyggnaden.
- Spår, slipers och kontaktledningar har inkluderats med hjälp av schabloner från Klimatkalkyl version 7.0
- Två hållplatser har inkluderats som antagits vara 40 m långa och 3 m breda, dessa har modellerats på liknande sätt utifrån standardritning innehållande kantstöd och asfaltsbeläggning.

#### UPPBYGGNAD AV TORGYTOR

- Ett lager geotextil
- 650 mm underbyggnad av krossmaterial
- 80 mm Obundet bärlager
- Betongmarkplattor eller dylikt som beläggning
- Totalt schaktdjup blir därmed ca 0,8 m

#### 3.4.3 AVGRÄNSNING

- Huvudvägens anslutning mot Hisingsbron kommer sannolikt innebära någon typ av förstärkningsåtgärd med syfte att skapa en övergång från den fasta konstruktionen (bron) och vägen i marknivå. Detta antas vara ett arbete som ligger inom projektet för Hisingsbron och beräknas därför inte inom denna studie.

### 3.5 KAJER

#### 3.5.1 INDATA OCH KLIMATDATA

Beställaren har tillhandahållit indata avseende längd och yta för planerade kajkonstruktioner inom inre Frihamnen, se Tabell 8. Detta underlag har omsatts till mängder material och arbeten såsom betong, armering och stålspont.

*Tabell 8. Indata kajkonstruktion*

Område	Längd (m)	Yta (m <sup>2</sup> )
Kaj 40	150	2400
Kaj 41	150	2400
Kaj 113	150	2400

#### 3.5.2 ANTAGANDEN

- Kajen antas utformas som en betongbelagd yta understödd av betongpålar som avgränsas mot vattnet med en stålspont.
- Grundläggning av kajen antas göras med betongpålar (SP2) till 30 meters djup med ett centrumavstånd på 2 meter.
- Längs kajen antas en 10 meter djup stålspont installeras

### 3.6 NYA LEDNINGAR (FÖR HELA FRIHAMNEN)

#### 3.6.1 INDATA OCH KLIMATDATA

Tillhandahållna indata från beställaren omfattar nya ledningar för hela Frihamnen med information om ledningstyp, dimension och längd, se Tabell 9. Detta omfattar vatten-, spill och dagvattenledningar, kablar samt fjärrvärme- och kyla.

*Tabell 9. Indata ledningar*

Ledningstyp	Total längd (km)
Dagvatten	6,9
Vatten	7,7
Fjärrvärme	11
Fjärrkyla	10,6
Spillvatten	4,7
Trycksatt avlopp	1,1
El	5,2
Pumpstation (st)	4

Underlaget som tillhandahållits från beställaren har omsatts till mängder material och arbeten såsom schakt, fyll, plast och stål. Utgångspunkten har varit standardprodukter på den svenska marknaden.

Klimatdata har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5).

### 3.6.2 ANTAGANDEN

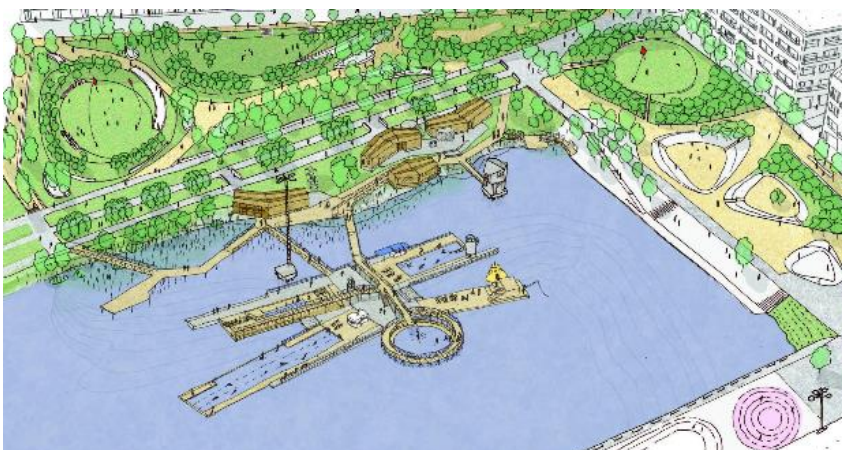
- Mängden schakt och fyllnadsmaterial för ledningsomläggningen har uppskattats utifrån en 4 meter bred schaktgrop med ett genomsnittligt djup på 2 meter. Schaktgropen antas innehålla samtliga ledningar.
- Schaktgropens längd har antagits vara 11 km, samma längd som den längsta sträckan ledningar för ett ändamål (fjärrkyla).
- Dag- och spillvattenledningar samt vattenledningar mindre än 250 mm antas vara plaströr. Underlag för beräkning har hämtats från fler olika leverantörer i samband med tidigare projekt inom Tyréns. Vikten och därmed mängden material för olika ledningar varierar mycket beroende på flera faktorer såsom styvhetsklass och leverantör vilket innebär att osäkerheten är stor.
- Fjärrvärme- och kyla samt vattenledningar större än 250 mm antas vara stålrör. Underlag för stålrör har hämtats från SSAB produktbeskrivning av spiralsvetsade rör.
- Dåliga grundläggningsförhållanden på platsen innebär troligtvis att grundförstärkning behövs för att minimera risken för sättningar som skadar viktiga ledningar, enligt geotekniker på Tyréns. Grundförstärkning bedöms krävas för fjärrvärme, fjärrkyla samt för vattenledningar av dimension 400 mm eller större. Detta innebär att totalt 6,9 km ledning antas vara grundförstärkt.
- Grundförstärkningen för viktiga ledningar antas göras med ett påldäck med en total bredd på totalt 4 meter där samtliga ledningar går parallellt. Centrumavståndet mellan pålar antas vara 2 meter och pållängden 50 meter efter avstämning med geotekniker på Tyréns.

### 3.6.3 AVGRÄNSNINGAR

- Rivning av asfalt redovisas separat under Kapitel 3.7
- Ny asfaltsbeläggning antas göras i samband med färdigställande av infrastruktur och andra ytor och redovisas därmed inte under detta avsnitt.

## 3.7 PARKYTOR OCH BAD

Det finns två parkytor som inkluderats i beräkningarna. Den större jubileumsparken som kommer ligga i anslutning till den flytande badanläggningen samt en park som kommer ligga insprängd bland bebyggelsen.



Figur 3. Principskiss Jubileumsparken och badanläggningen

### 3.7.1 INDATA OCH KLIMATDATA

En del Klimatdata har hämtats från Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Klimatdata finns i verktyget för ingående material (A1-A3), transporter till och från arbetsplatsen (A4) och arbeten inom arbetsområdet (A5) och resterande data har hämtats från Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM 1.0, se Tabell 10

Tabell 10. Indata jubileumsparken och bad samt övrig parkyta

	m <sup>2</sup>	Klimatdata
Jubileumspark Gröna ytor (plantering, gräs, äng)	14 000	Klimatkalkyl 7.0
Jubileumspark Hårdgjorda ytor (asfalt)	6 000	Klimatkalkyl 7.0
Jubileumspark Hårdgjorda ytor (betongmarkplattor)	6 000	Klimatkalkyl 7.0
Jubileumspark Genomsläppliga ytor (grusgångar)	3 500	Klimatkalkyl 7.0
Övrig park	3 230	Klimatkalkyl 7.0
Trädäck	2 700	Beräknat med BM 1.0 <sup>1</sup>
Hårdgjorda ytor på den flytande badanläggningen (betongpontoner 1/3 klädda med trädäck)	1 750	Beräknat med BM 1.0 <sup>1</sup>
Badytor (bassäng eller öppet vatten)	700	Klimatkalkyl 7.0
Byggnader för badet; som ex.omklädning, kiosk, pumpanordningar etc	100	Samma klimatdata som för temporära bostäder har använts

1. Byggsektorns beräkningsverktyg

### 3.7.2 ANTAGANDEN

- Jubileumsparkens områden med gröna ytor, asfalterade partier, betongmarkplattor och grusgångar i parkerna antas få samma uppbyggnad som kvartersmarken mellan husen, se kapitel 3.4.2
- Övriga parkytan på 3230 m<sup>2</sup> kommer att ha samma uppbyggnad och proportioner som kvartersytorna mellan husen, se kapitel 3.4.2

#### UPPBYGGNAD AV TRÄDÄCK

- Mängder till trädäcket beräknades med Byggplaneraren från Byggmax (2021)
- Trall 34\*145 tryckimpregnerad löpmeter: 20 500 m
- Regel 45\*145 tryckimpregnerad löpmeter: 5 500 m
- Vikt tryckimpregnerat virke NTR A: 830 kg/m<sup>3</sup> (Materialmännen 2021)
- Räknats i BM: Tryckimpregnerat virke, NTR A (IVL LCR)

#### UPPBYGGNAD AV BETONGPONTON

- Betongponton från Top marine (2021)
- Räknats i BM: Övrig armerad betongprefab, ospecificerad (C45/55, 5% arm.) (IVL LCR) och Tryckimpregnerat virke, NTR A (IVL LCR)
- Vikt 0,5 ton/m<sup>2</sup>
- 875 000 kg armerad betong
- 25 261 kg Trä (600 m<sup>2</sup>)
  - Trall 34\*145 tryckimpregnerad löpmeter: 4552 m
  - Regel 45\*145 tryckimpregnerad löpmeter: 1225 m
  - Vikt tryckimpregnerat virke NTR A: 830 kg/m<sup>3</sup> (Materialmännen 2021)

#### UPPBYGGNAD AV BADYTOR

- Öppna badytor som separeras med ett 1 400 m<sup>2</sup> membran
- Klimatpåverkan för membranet antas vara likvärdigt med geotextil i Klimatkalkyl 7.0

#### BYGGNAD FÖR BAD

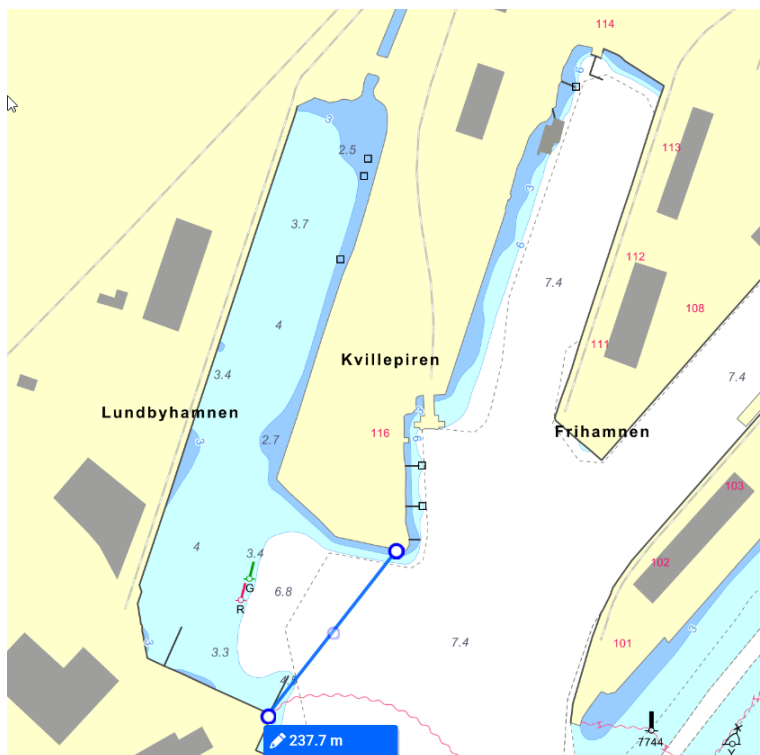
- På skisserna över jubileumsparken finns det byggnader utritade för omklädningskiosk mm., byggnaderna antas vara 100 m<sup>2</sup>. Schablonen för klimatpåverkan från temporära byggnader används för dessa byggnader, se avsnitt 3.1

#### 3.7.3 AVGRÄNSNINGAR

- För trätrall och betongponton har inga arbetsmaskiner i A5 inkluderats då underlag saknas och påverkan är försumbar i sammanhanget.

#### 3.8 UTFYLLNAD LUNDBYBASSÄNGEN

Utfyllnad av Lundbybassängen är tänkt att ske genom att bassängen fylls ut med muddermassor. För att få en stabil strandkant och hålla muddermassorna på plats antas att en vall på ca 240 meter byggs mot Göta älv, se Figur 4. Muddermassorna är tänkta att komma från den regelbundna muddring som Göteborgs Hamn gör i Göta Älvs farled och hamnbassänger.



Figur 4. Lundbybassängen och ungefärlig placering för vall av stenkröss som ska hålla inne muddermassorna (blå linje).

Lundbybassängen har sedan tidigare fyllts ut med muddermassor. Enligt sjökortet har större delen av bassängen ett djup på 4 meter innanför en tidigare byggd stenkrössvall som ligger under ytan lite längre in i bassängen, se Figur 4. Hamndjupet längst ut där den nya vallen är tänkt att byggas är 7,4 meter. Utifrån bassängdjupen och den yta som ska fyllas (93 936 m<sup>2</sup>) har det beräknats att 522 336 m<sup>3</sup> behövs för att fylla igen bassängen med en marknivå på 1 meter över befintlig vattennivå.

### 3.8.1 INDATA OCH KLIMATDATA

Tabell 11. Indata för beräkning av klimatpåverkan från byggande av skyddsvall och utfyllnad av Lundbybassängen med ca 522 000 m<sup>3</sup> muddermassor

	Mängd	Klimatdata
Ca 522 000 m <sup>3</sup> muddermassor	836 000 ton	Ingen klimatbelastning för själva muddringen, den avgränsas bort
Transport med pråm till Frihamnen ca 15 km	836 000 ton	Källa Ecoinvent; Transport, freight, inland waterways, barge {RER}  processing   Cut-off, U
Hantering av muddermassor med grävare och dumper	522 000 m <sup>3</sup>	Klimatkalkyl 7.0
Bergkross för uppbyggnad av stödwall	24 000 m <sup>3</sup>	Klimatkalkyl 7.0

### 3.8.2 ANTAGANDEN

#### VALLEN

- Vallen för att hålla inne muddermassorna är av stenkross och en lutning på 1:1,5
- Vallen antas sticka upp 1 meter över befintlig vattennivå
- Avstånd till bergtäkt där stenkross hämtas antas vara 30 km
- Bergkrossen hanteras med grävmaskin och dumper för avlastning och formning av vall

#### MUDDERMASSOR

- Muddermassorna antas fylla upp Lundbybassängen och få en marknivå ca en meter över vattennivån.
- Hantering för att lasta av muddermassorna antas göras med grävskopa.
- Antagen densitet för muddermassor 1 600 kg/m<sup>3</sup>

### 3.8.3 AVGRÄNSNINGAR

- Klimatbelastningen för själva muddringsarbetet avgränsas bort eftersom den utförs oavsett om Lundbybassängen ska fyllas ut eller inte.

## 3.9 RIVNING AV BEFINTLIGA FASTIGHETER OCH ASFALTERADE YTOR

Ett antal befintliga fastigheter behöver rivas inför utbyggnaden i Frihamnen. Nuvarande område är även till stor del täckt med asfalt som behöver rivas bort.

### 3.9.1 INDATA OCH KLIMATDATA

Indata för befintliga asfalterade ytor kommer från Översiktlig miljöteknisk markundersökning (Sweco 2015), se Tabell 12. Indata för hur många BTA befintliga byggnader av olika byggnadstyper som behöver rivas är tillhandahållen av beställaren.

Tabell 12. Indata för befintliga asfaltlager som ska rivas

Rivning asfalt	m <sup>2</sup>	Klimatdata
Asfalterande ytor	130 000	Klimatkalkyl

Tabell 13. Indata för beräkning av klimatpåverkan från rivning av befintliga byggnader

Rivning byggnader	m <sup>2</sup> BTA	Klimatdata
Lagerbyggnad	8 000	10 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup>
Kontor	1 800	50 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup>
Industri	10 000	50 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup>
Övriga ospecificerade byggnader samt restauranger, ca 8 st	10 000	50 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup>

För rivning av byggnader finns inte så många referenser i litteraturen kring klimatpåverkan från rivning och omhändertagande av avfall. Det klimatdata som används i beräkningarna redovisas i Tabell 13.

Underlaget till antaget klimatdata redovisas i Tabell 14. Det finns tre referenser där den teoretiska klimatpåverkan vid en framtida rivning av bostadshus utifrån ingående material och schabloner tagits fram. Dessa schabloner baseras på att husen rivs med dagens befintliga teknik och där är klimatbelastningen högre när betongbostadshus jämfört med träbostadshus rivs. I Tabell 14 redovisas även klimatpåverkan från avfall. Detta beräknades utifrån avfallsstatistik tillhandahållen av en entreprenör från tidigare projekt där en skolbyggnad, uppförd på 1950-talet samt till- och ombyggd på 1980-talet, rivs stomren och saneras. Klimatpåverkan från dessa beräkningar är betydligt högre, 90 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, jämfört med de teoretiskt beräknade 5-9 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> för rivning av bostadshus i trä och 23 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> för bostadshus i betong.

Osäkerheten är alltså stor och mer träffsäkra metoder för beräkning av avfallshantering är ett av de områden som behöver utvecklas för att kunna göra mer tillförlitliga klimatberäkningar för rivning av byggnader.

Tabell 14. Befintligt underlag till klimatdata för klimatpåverkan från rivning av byggnader

Klimatpåverkan	Rivningen inkluderar	Referens
9 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Atemp	Rivning, borttransport, avfallshantering och sluthantering, C1-C4 enligt EN 15798	Byggandets klimatpåverkan (IVL, 2016), Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä
23 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Atemp	Rivning, borttransport, avfallshantering och sluthantering, C1-C4 enligt EN 15798	Byggandets klimatpåverkan (IVL 2015), IVL, Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong
5 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> Atemp	Rivning, borttransport, avfallshantering och sluthantering, C1-C4 enligt EN 15798	Folkhem's concept building (EPD, Folkhem 2015), Bostadshus hus byggt i främst trä
44 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> BTA	Rivning, borttransport, avfallshantering och sluthantering, C1-C4 enligt EN 15804	Internt projekt Tyréns
90 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup>	Borttransport, avfallshantering och sluthantering, C2-C4 Klimatpåverkan från avfall beräknades utifrån avfallsstatistik tillhandahållen av entreprenören	Klimatneutral ombyggnation (White arkitekter 2019). Skolbyggnad uppförd på 1950-talet samt till- och ombyggd på 1980-talet rivs stomren och saneras. Utsläppvärden för rivningen är hämtade ur en IVL-rapport av klimatpåverkan för hela Sveriges avfall (Sundqvist & Palm, 2010) och grovt matchade mot avfallsslagen i statistiken. Beräkningarna inkluderar insamling, transport, återvinning, förbränning och deponering, och bör därmed kunna sägas motsvara skedena C2-C4. Däremot ingår inte C1, demontering/rivning.

### 3.9.2 ANTAGANDEN

#### BEFINTLIGA BYGGNADER

- De byggnader som ska rivas antas vara byggda i främst betong och stål och mindre mängd trä
- Utifrån befintliga klimatdata, se Tabell 13 antas att klimatpåverkan för rivning av lagerlokaler är 10 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>
- Utifrån befintliga klimatdata, se Tabell 13 antas att klimatpåverkan för rivning av kontor, industribyggnader, restaurangbyggnader och övriga ospecificerade byggnader är 50 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

#### ASFALTERADE YTOR

- Asfalten i Frihamnen uppskattas i den miljötekniska undersökningen vara 5-10 cm och täcker större delen av Frihamnen. För rivning av asfaltlagret antas att 7,5 cm asfalt täcker ett område på 130 000 m<sup>2</sup>, vilket ger 168 kg/m<sup>2</sup> (densitet 2244 kg/m<sup>3</sup>).
- Asfalten antas rivas upp och transporteras 20 km till asfaltverk



### 3.9.3 AVGRÄNSNINGAR

- Ingen inventering av byggnaderna som ska rivras har gjorts, därför är både byggnadsytorna och byggnadstyper grovt uppskattade.

### 3.10 DRIFT OCH UNDERHÅLL

En övergripande schematisk beräkning för drift och underhåll över en 50-årsperiod har gjorts för byggnader samt vägar och gator. Antagandet på 50 år har gjorts utifrån gällande produktspecifika beräkningsregler för byggnader (PCR, 2014).

#### 3.10.1 DRIFT OCH UNDERHÅLL AV VÄGAR OCH GATOR

Drift och underhåll av infrastrukturen utgår ifrån de schabloner som finns i Trafikverkets verktyg Klimatkalkyl version 7.0. Detta omfattar lagning av asfalt såsom sprickor och hål samt underhåll i form av skottning, sandning och saltning av vägarna. Utöver detta antas det övre lagret av asfalten behöva fräsas och ersättas med ny beläggning totalt två gånger under perioden på 50 år. I innerstadsmiljö kan asfaltens livslängd begränsas av andra faktorer än dess tekniska livslängd med detta antagande ger en fingervisning av det löpande underhåll som förväntas för vägar och gator.

#### 3.10.2 DRIFT AV BYGGNADER

Indata till beräkningarna för drift och underhåll för byggnader kommer från en rapport från Sveriges byggindustrier (2018). I rapporten beräknas klimatpåverkan för fem olika byggplattformar för bostadshus med 6 våningar. Byggnaderna i rapporten uppfyller samma grundläggande krav enligt BBR (Boverkets byggregler), samt högre krav på Ljudklass (B) och ett värmebehov definierat till 41 kWh/m<sup>2</sup> och är köpt fjärrvärme och ett elbehov på 12 kWh/m<sup>2</sup> och år fastighetsel. Enligt denna rapport är klimatpåverkan från driftenergin under 50 år, i storleksordningen 188 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> Atemp, för samtliga byggplattformar. När det gäller underhåll och utbyte redovisas en klimatpåverkan på 18 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> Atemp över en 50 årsperiod för en byggnad av betong.

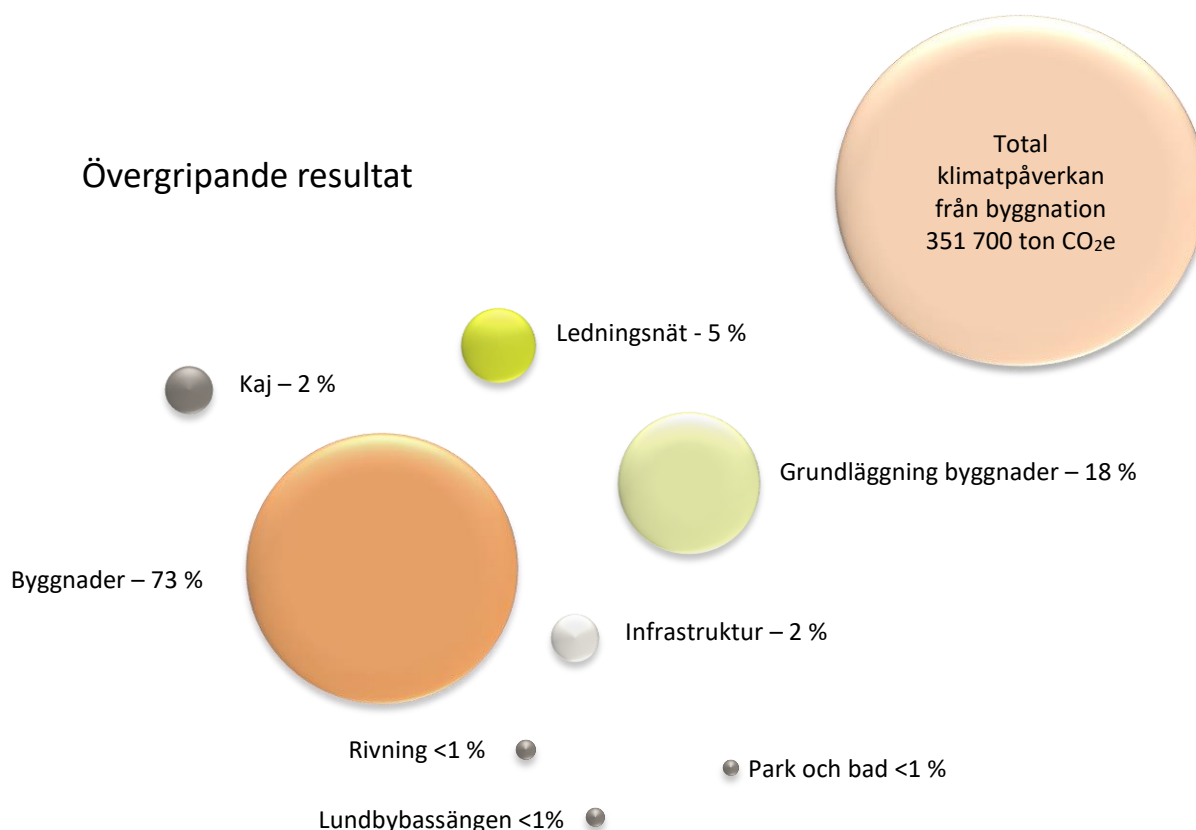
#### 3.10.3 AVGRÄNSNINGAR FÖR DRIFT OCH UNDERHÅLL

- I driften för byggnader inkluderas inte karbonatisering i betongbyggprodukter eller kollagring i träbyggprodukter (B1), reparationer (B3), renovering (B5) eller vattenanvändning (B7), se figur 1.
- Inga beräkningar görs för drift och underhåll av parker, badanläggningen, kvartersytor, sociodukt, spårväg, ledningar, kajer eller övriga markarbeten.

## 4 RESULTAT

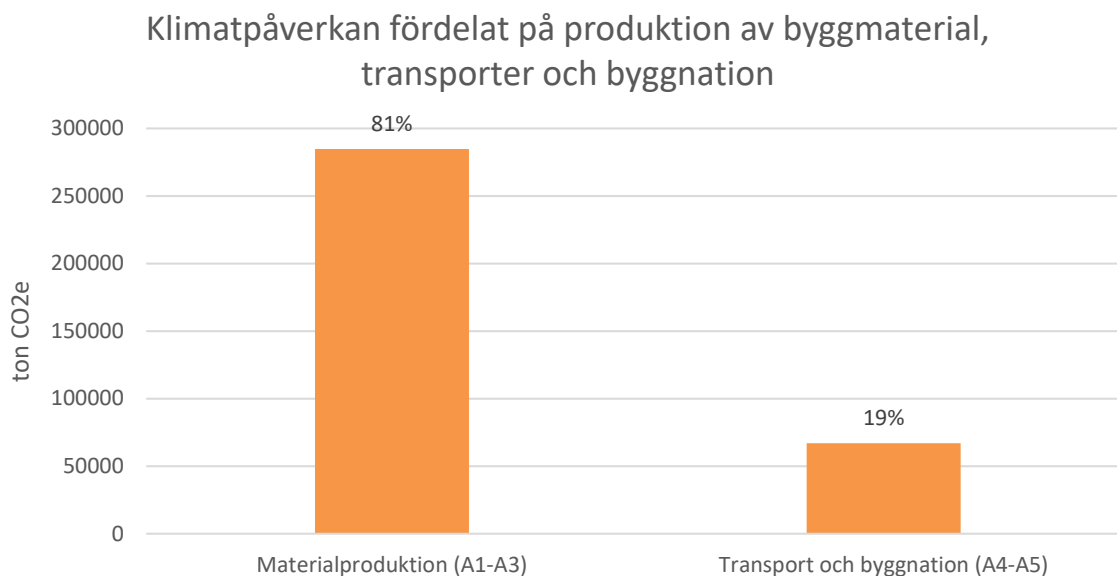
### 4.1 KLIMATPÅVERKAN FRÅN BYGGMATERIALPRODUKTION, TRANSPORTER OCH BYGGNATION

Total klimatpåverkan från byggnation uppgår till 351 700 ton CO<sub>2</sub>e där byggnaderna står för den enskilt största klimatpåverkan med 256 900 ton CO<sub>2</sub>e. Byggnaderna står tillsammans med grundläggningen (62 000 ton CO<sub>2</sub>e) för 91 % klimatbelastningen, se Figur 5.



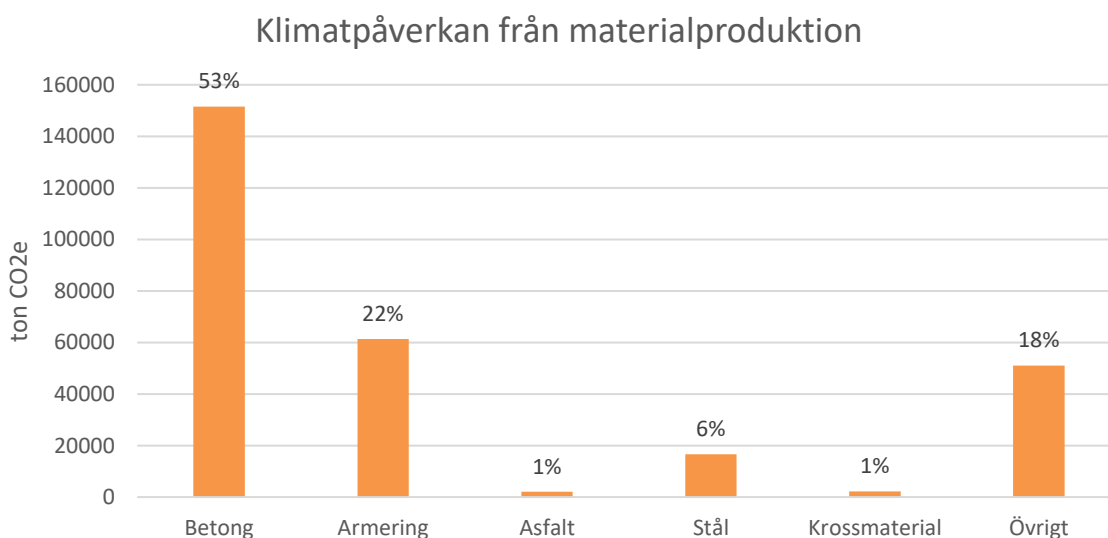
Figur 5. Total klimatbelastning för produktion av byggmaterial, transporter av byggmaterial och massor samt byggnation.

Klimatpåverkan fördelat på produktion av byggmaterial, transport och byggnation visar att det är byggmaterialproduktionen (A1-A3) som står för den största klimatpåverkan, se Figur 6.



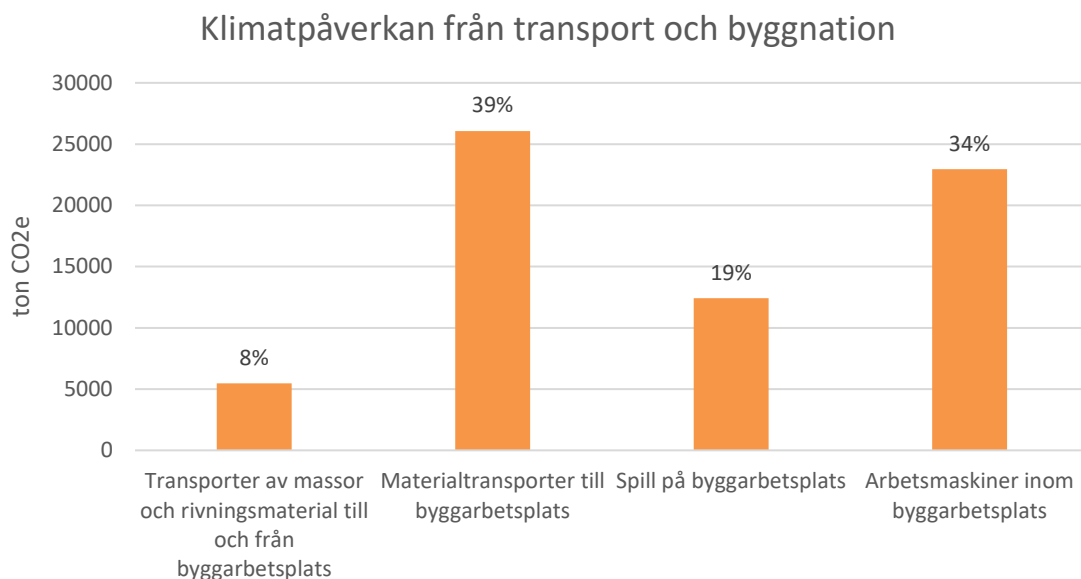
Figur 6. Klimatbelastning fördelat på produktion av byggmaterial, transport av byggmaterial och massor samt byggnation..

Klimatpåverkan från produktion av byggmaterial kommer främst från mängden betong och armering, se Figur 7. Under posten övrigt ingår bland annat övrigt byggmaterial som exempelvis trä, isolering, inredning, ytskikt och installationer primärt kopplat till byggnaderna.



Figur 7. Klimatbelastning för produktion av byggmaterial fördelat på typ av byggmaterial.

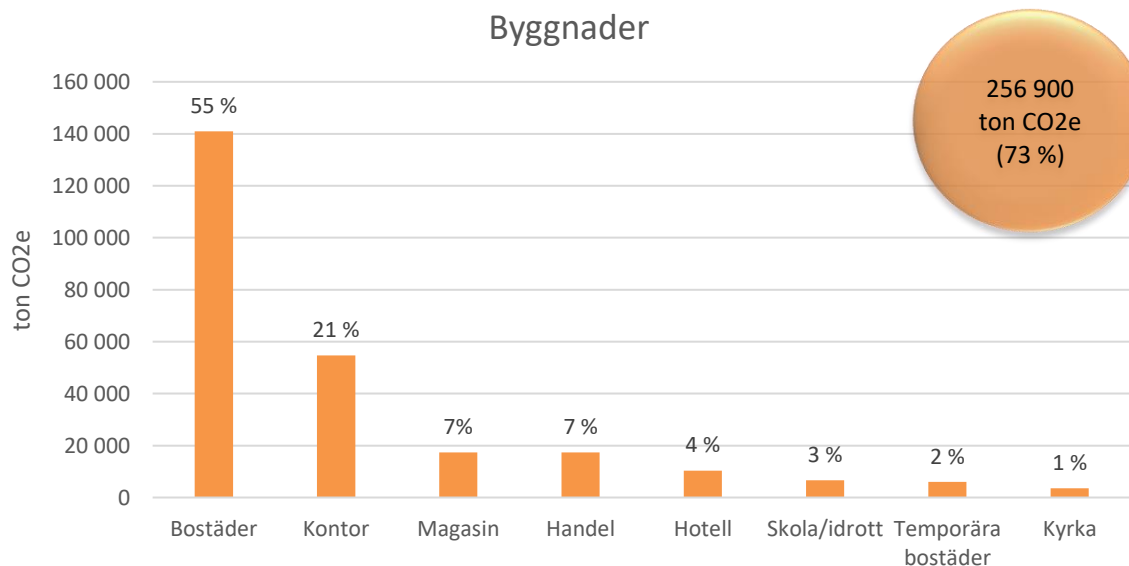
Resultatet visar att materialtransporterna till byggarbetsplats har något större klimatpåverkan än arbetsmaskinerna, se Figur 8.



Figur 8. Klimatbelastning för transport av byggmaterial till bygplats (A4) samt byggnation (A5).

#### 4.1.1 BYGGNADER

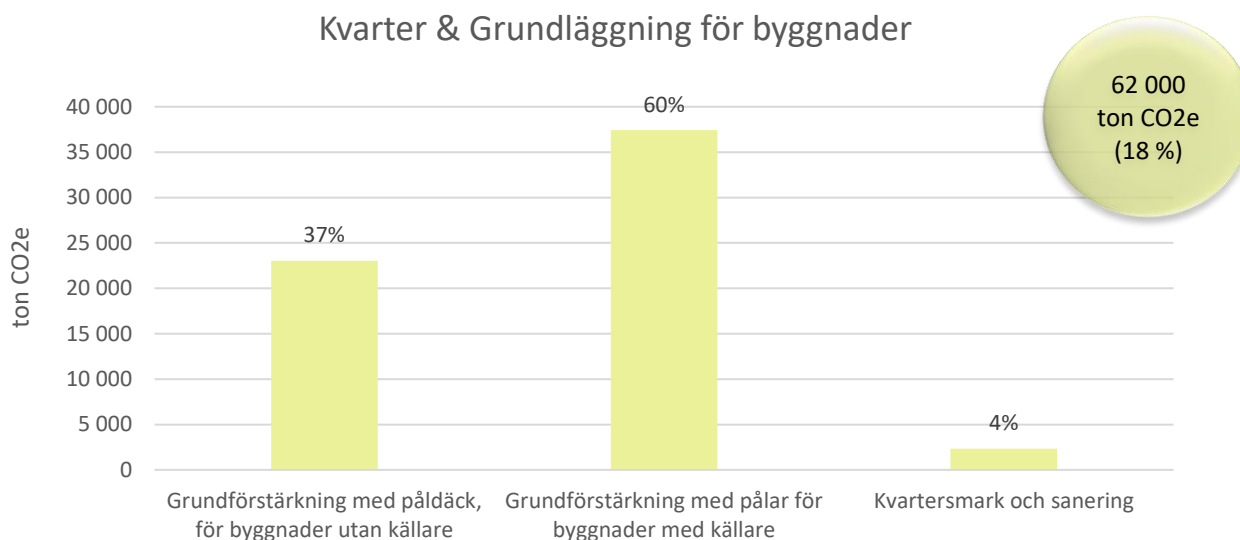
Resultatet uppdelat per byggnadstyp visar att det är bostäder som står för den största klimatpåverkan, ca 140 000 ton CO<sub>2</sub>e, se Figur 9.



Figur 9. Klimatbelastning för byggnader, fördelat per byggnadstyp.

#### 4.1.2 MARKARBETEN OCH FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR BYGGNADER OCH KVARTERSMARK

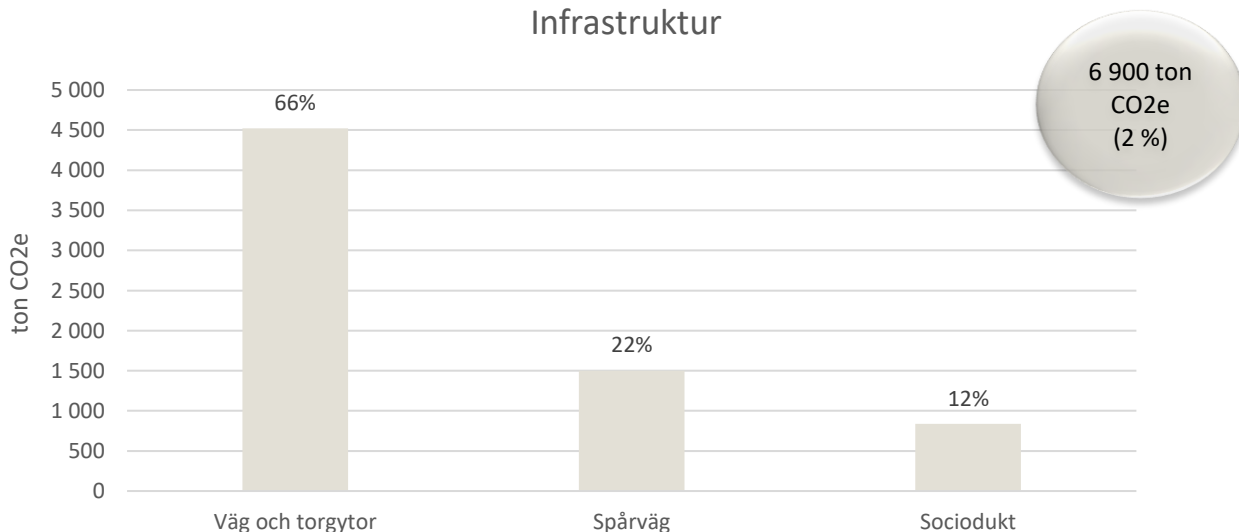
Resultatet för grundförstärkningsåtgärder för byggnader och allt markarbeten i kvarteren visar att det är grundförstärkning för byggnader med och utan källare som står för majoriteten av klimatpåverkan, nämligen 97 %, se Figur 10.



Figur 10. Klimatbelastning för kvarter och grundläggning för byggnader.

#### 4.1.3 INFRASTRUKTUR (GATOR, PARK, TORG)

Resultatet för Infrastrukturen visar att det är väg och torgytor som står för majoriteten av klimatpåverkan, nämligen 66 %, se Figur 11.

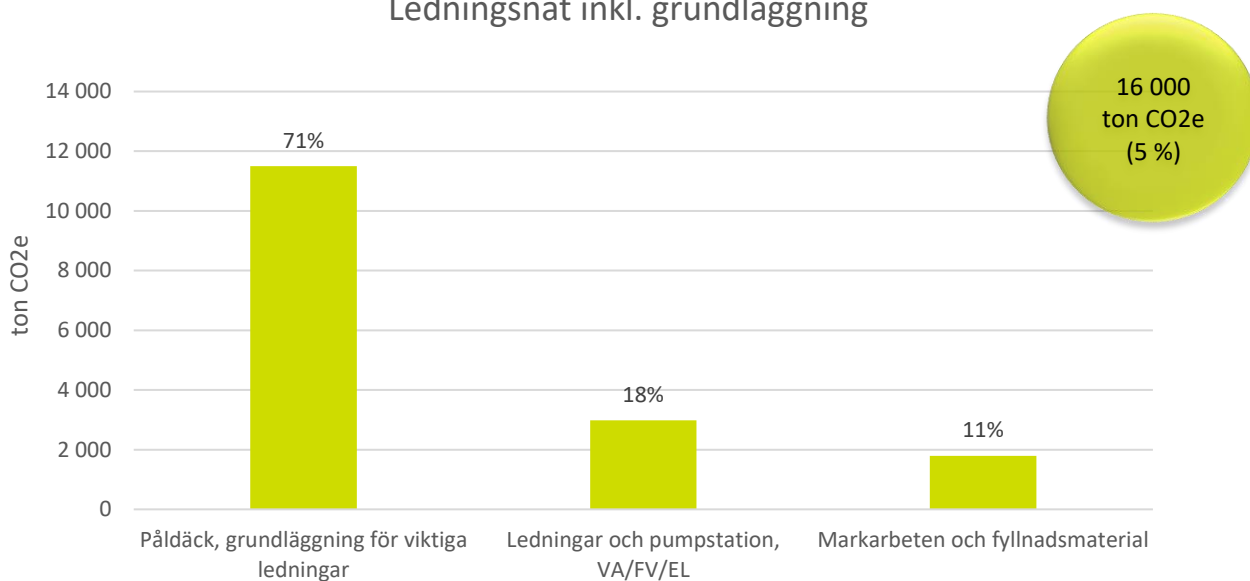


Figur 11. Klimatbelastning för infrastruktur, fördelat på väg och torgytor, spårväg och sociodukt.

#### 4.1.4 NYA LEDNINGAR (FÖR HELA OMRÅDET)

Resultatet för ledningarna visar att det är grundläggningen av ledningar som står för den största av klimatpåverkan, nämligen 71 %, se Figur 12.

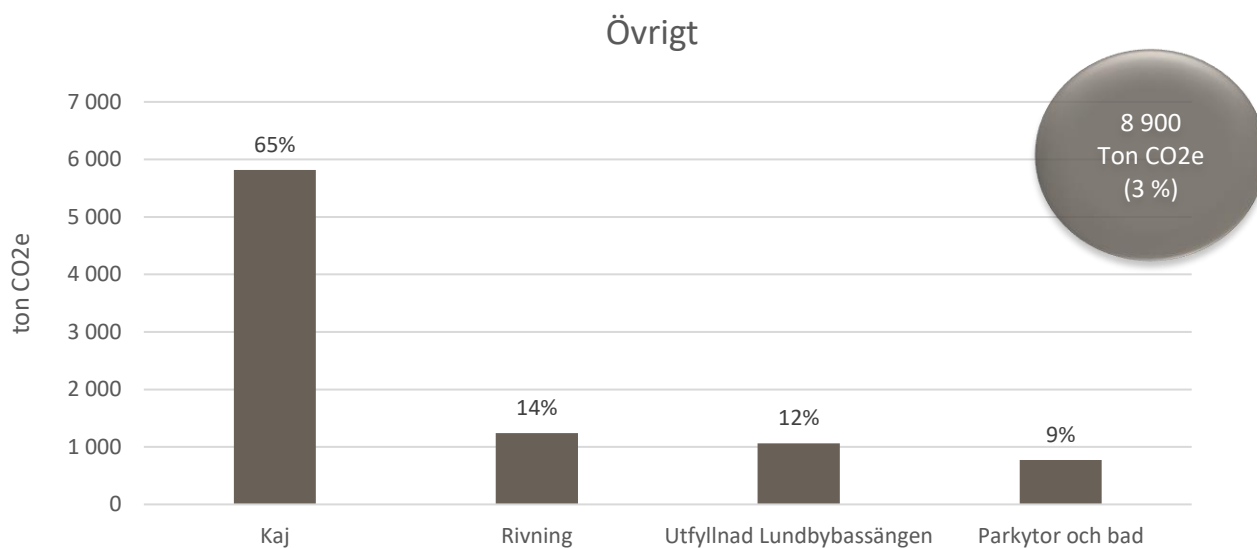
### Ledningsnät inkl. grundläggning



Figur 12. Klimatbelastning för ledningsnät inklusive grundläggning.

#### 4.1.5 ÖVRIGT

Resultatet för resterande poster visar att det är kajen som står för majoriteten av klimatpåverkan, nämligen 65 %, se Figur 13.

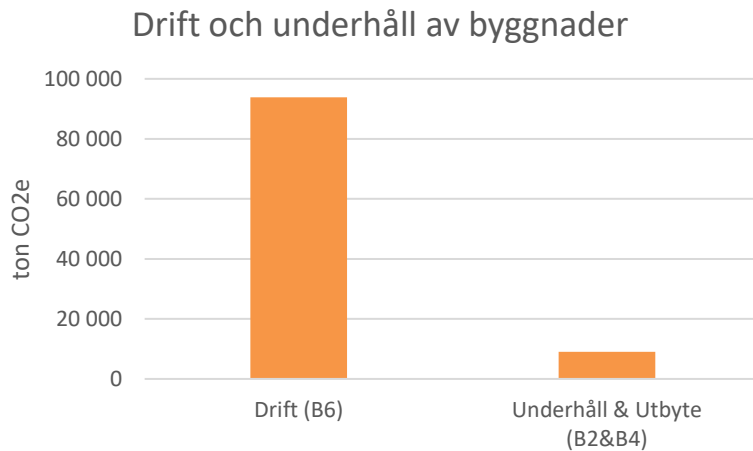


Figur 13. Klimatbelastning för Kaj, Rivning befintliga byggnader, utfyllnad Lundbybassängen samt parkytor och bad.

## 4.2 KLIMATPÅVERKAN FRÅN 50 ÅRS DRIFT

### 4.2.1 DRIFT OCH UNDERHÅLL BYGGNADER

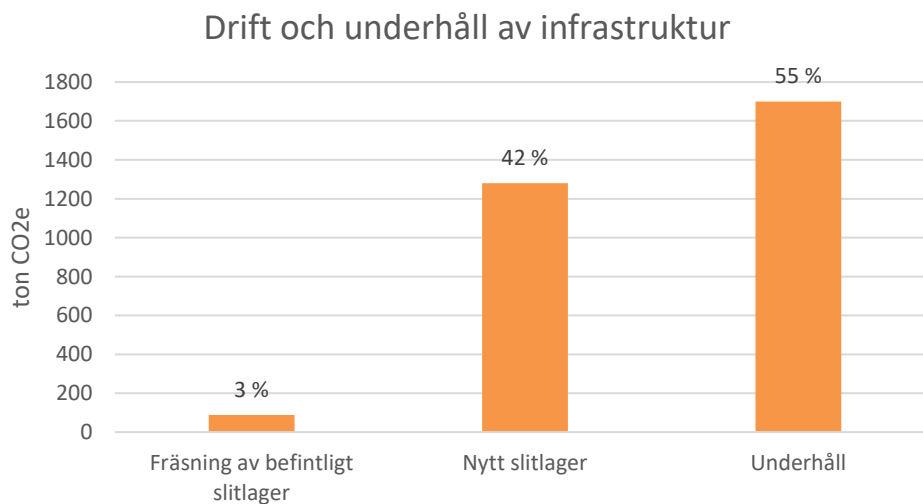
Drift och underhåll av byggnader inom inre Frihamnen har beräknats till cirka 102 800 ton CO<sub>2</sub>e, vilket utgör cirka 23 % av den sammanlagda beräknade klimatpåverkan.



Figur 14. Klimatpåverkan från drift och underhåll av byggnader inom inre Frihamnen under 50 år

#### 4.2.2 DRIFT OCH UNDERHÅLL AV VÄGAR OCH GATOR

Drift och underhåll av vägar och gator inom inre Frihamnen har beräknats till cirka 3050 ton CO<sub>2</sub>e, motsvarande en genomsnittlig årlig klimatpåverkan på 61 ton CO<sub>2</sub>e. Detta utgör mindre än 1 % av den totala beräknade klimatpåverkan från byggnation samt drift och underhåll under 50 år av inre Frihamnen. Cirka 55 % av klimatpåverkan beräknas härstamma från löpande underhåll såsom snöröjning, saltning och sandning och resterande 45 % från fräsning och ny beläggning, se Figur 15.



Figur 15. Klimatpåverkan från drift och underhåll av vägar och gator inom inre Frihamnen under 50 år

## 5 OSÄKERHETSANALYS

### 5.1 BYGGNADER

För byggnader påverkar framförallt andelen betong, stål och glas den totala klimatpåverkan. Större mängder betong, stål och glas ökar generellt klimatpåverkan för byggskedet (A1-A5). I klimatanalyserna har betonghus antagits eftersom det är

vanligast förekommande, men även en byggnad betongstomme kan designas och konstrueras olika sätt.

#### 5.1.1 STÅL

Tidigare erfarenheter inom Tyréns visar att klimatpåverkan för olika typer av hus eller byggsystem kan variera stort. En specialdesignad byggnad med mycket stål och glas ger fyra gånger högre klimatpåverkan per m<sup>2</sup> än om konstruktionen görs med limträbalkar. Slutsatsen från det arbetet är att designlösningar med hög användning av stål kan öka klimatpåverkan långt mer än vad man tror.

#### 5.1.2 ANDELEN GLAS I BYGGNADEN

För byggnader påverkar andelen glas i fasaden klimatpåverkan vid tillverkning av materialen och klimatpåverkan vid energianvändningen i den färdiga byggnaden. Tidigare arbeten inom Tyréns och resultat från ett examensarbete (Moucho and Farhat, 2017) visar att andelen glas och dess påverkan på klimatpåverkan över hela livscykeln är komplex. Den sammantagna klimatpåverkan från tillverkning av byggmaterialprodukter kan minska med en ökad glasyta (om det går spara på andra byggnadsmaterial). Den specifika energianvändningen för uppvärmning och behov av kyla i fastigheter med hög andel glas är beroende av geografi, årstid och väderstreck.

#### 5.1.3 BETONG OCH TRÄ

För byggnaderna är det stor skillnad i klimatpåverkan beroende på typ av betongbyggnad. En livscykelanalys för bostadshuset Blå jungfrun (Erlandsson 2018) visar att om en platsgjuten betongstomme och yttervägg med kvarsittande form istället byggs med lätta utfackningsväggar minskar klimatpåverkan med ca 12 %. Om den platsgjutna betongstomme och yttervägg med kvarsittande form istället byggs som en prefabricerad betongstomme med bärande ytterväggar och håldäcksbjälklag minskar klimatpåverkan med ca 18 %. Om den platsgjutna betongstomme och yttervägg med kvarsittande form istället byggs med volymelement i trä eller en massiv stomme i KL-trä minskar klimatpåverkan med ca 33 %.

Blå jungfrun (Erlandsson 2018) var ett projekt som fokuserade på att minska klimatpåverkan från betongkonstruktioner. Tyréns har viss erfarenhet från några tidiga klimatkalkyler för olika typer av betongstommar från olika producenter i ett upphandlingsskede, där kostnaden var styrande. Dessa tidiga klimatkalkyler visar att olika byggsystem från olika leverantörer av bostadshus i betong kan variera med 40%.

#### 5.1.4 DRIFTFASEN

Osäkerheten för driften är stor och resultaten kan variera kraftigt. Klimatdata för driften har hämtats från en rapport där uppvärmning till största delen sker med fjärrvärme samt att en mindre andel energi förbrukas som fastighetsel. Driften för Inre Frihamnen är kan se olika ut beroende på om byggnaderna värms med fjärrvärme, jordvärme, solpaneler, luftvärmepumpar eller en kombination av dessa. Vilka värmesystem ska användas i husen och vilken klimatpåverkan framtidens fjärrvärmesystem eller kylsystem har är osäkert. Erfarenhetsmässigt verkar indata för energiförbrukningen ligga lågt, men i framtiden antas driftens klimatpåverkan per kWh minska.

#### 5.1.5 SAMMANFATTNING OSÄKERHETSANALYS BYGGNADER

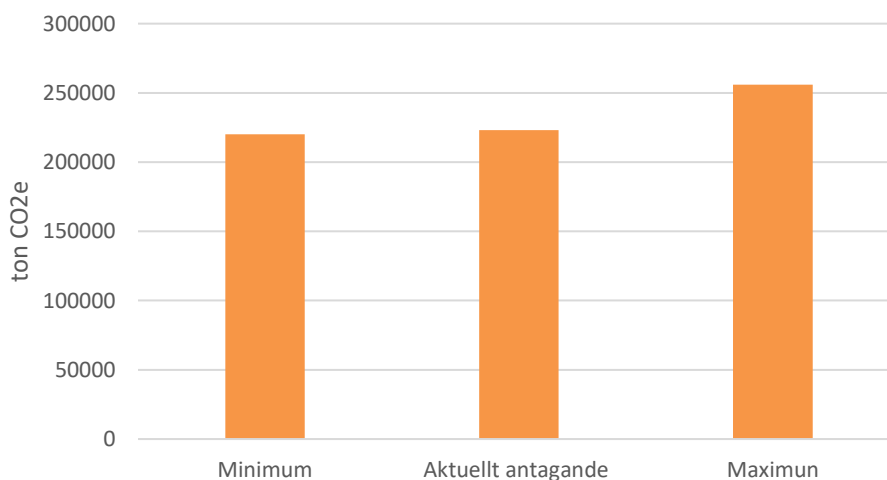
Osäkerheten för byggnader och drift av byggnader baseras till stor del på vilka byggnader, byggsystem samt framtida energisystem som kommer att användas. Klimatberäkningarna i föreliggande rapport baseras främst på framtagna klimatdata i



rapporten från IVL (Landén 2020) och Tyréns egen erfarenhet av genomförda LCA beräkningar för byggnader. Både författarna för IVL studien och Tyréns kan konstatera att underlaget, det vill säga att genomförda klimatberäkningar för hela byggnader idag är få. Det är dessutom möjligt att det finns andra väletablerade byggsystem i Sverige som har sämre klimatprestanda och som inga klimatberäkningar gjorts för. Det finns även andra faktorer som ökar klimatprestandan i specifika projekt som till exempel lokala förutsättningar. Osäkerheten för byggnaderna är därför stor. Klimatberäkningarna i föreliggande rapport motsvarar ett medelvärde för de få betonghus där fullständiga klimatberäkningar genomförts men skulle andra typer av byggsystem med betong projekteras skulle klimatpåverkan kunna öka upp till 30-40 % för ett antal byggnader.

Sammanfattningsvis kan klimatpåverkan från byggnaderna variera stort och klimatpåverkan kan skjuta i höjden med "fel" typ av byggsystem. Samtidigt är sannolikheten att samtliga byggnader byggs på ett mer klimatbelastande sätt liten så länge man kontinuerligt följer upp och ställer krav på klimatpåverkan under projektering och produktion. Tyréns bedömer att klimatpåverkan kan öka med upp till 15% om vissa byggnader byggs med mer klimatbelastande betongbyggsystem, vilket motsvarar en ökning med 33 000 ton CO<sub>2</sub>e. Däremot är det mindre troligt att klimatpåverkan för normala betongbyggsystem överskattats, se Figur 16.

Osäkerhetsanalys klimatpåverkan byggnader



Figur 16. Osäkerhetsanalys för byggnader

## 5.2 GRUNDLÄGGNING

Den djupa leran i området innebär att grundläggning med betongpålar sannolikt kommer bli aktuellt för byggnader, ledningar, sociodukt och kaj. Hur omfattande detta arbete kommer bli är ännu osäkert och variationen kan bli stor beroende på flera faktorer.

Grundläggning med pålar kan göras med olika påltyper, med olika längd och med varierande avstånd från varandra. Det finns en osäkerhet i samtliga parametrar som kort resoneras kring i följande avsnitt. Samtliga parametrar beror av varandra och det finns flera kombinationer av dessa som innebär liknande funktion, men eftersom informationstillgången vid beräkningstillfället var begränsat kan det vara så att alla parametrar varierar åt samma håll i den slutliga lösningen jämfört med använda antaganden.

### 5.2.1 PÅLAR UNDER BYGGNADER

Byggnadernas totala markanspråk är cirka 97 000 m<sup>2</sup>. Dessa antas grundläggas med pålar av typen SP2 (270 x 270 mm), på ett centrumavstånd på 2 meter, till ett djup av 50 meter. Detta innebär att den totala längden av betongpålar för grundläggning av byggnaderna landar på ca 1,2 miljarder meter (12,5 meter påle per m<sup>2</sup>). Osäkerhetsanalysen omfattar enbart pålarna och inte eventuella däck under byggnader utan källare.

#### Påltyp

För grundläggning av byggnader finns det två påltyper som är aktuella där dimensionen är antingen 235 x 235 mm eller 270 x 270 mm. Övriga dimensioner är relativt ovanliga, därför är osäkerheten för denna parameter är låg. Klimatpåverkan varierar samtidigt relativt mycket och minskar med drygt 20 % om pålar med dimension 235 x 235 mm uppfyller de krav som ställs och kan användas istället för 270 x 270 mm. Aktuellt antagande bedöms därmed konservativt för denna parameter.

#### Pållängd

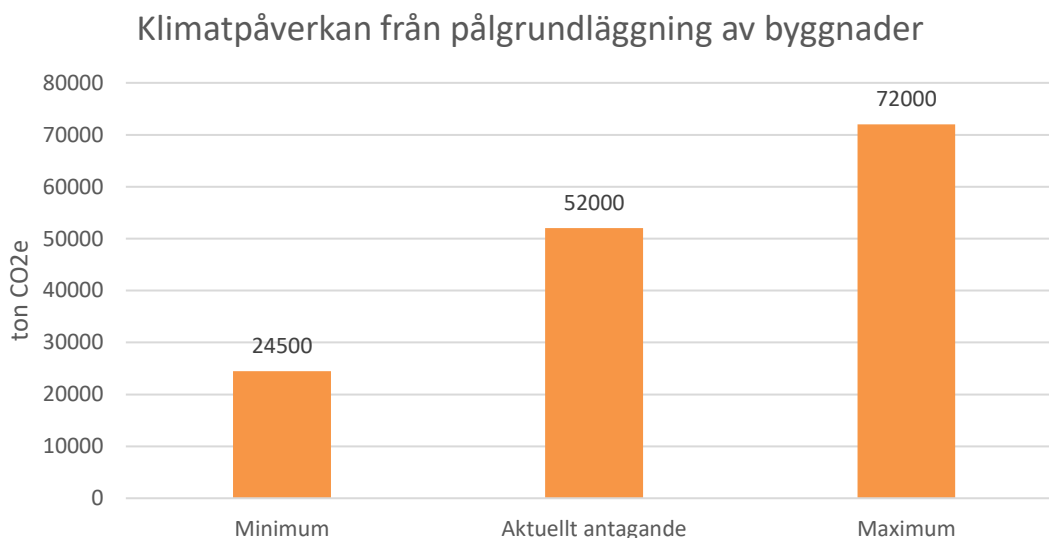
Pålarnas längd kan variera i ett stort spann men sannolikheten att genomsnittliga pållängden landar någonstans mellan 40 och 70 meter bedöms vara stor. Vissa byggnader kommer troligtvis pålas till ett djup som är betydligt större men flera byggnader kommer sannolikt också pålas till ett mindre djup. Klimatpåverkan är direkt relaterad till längden och i förhållande till aktuellt antagande kan detta öka eller minska klimatpåverkan med cirka 20 %. Aktuellt antagande är i mitten av det spann som bedöms mest sannolikt.

#### Centrumavstånd

Centrumavståndet är den parameter som är svårast att bedöma utifrån det underlag som finns tillgängligt i dagsläget. Centrumavståndet är den parameter som beskriver hur många pålar som placeras under byggnaden. Bruttoarea har räknats om med hänsyn till antal våningsplan för att uppskatta byggnadernas bottenarea. Pålarnas placering bestäms dock inte direkt av byggnadens bottenarea utan dessa placeras under bärande väggar och pelare i byggnaden. Vid beräkningstillfället saknades alltså en direkt koppling mellan tillgängliga indata och denna parameter.

Erfarenhet från Tyréns konstruktörer säger att cirka 75 pålar krävs för ett hus på 6,5 våningar med en bottenarea på 350 m<sup>2</sup>. Ett rimligt osäkerhetsintervall bedömdes av konstruktören till +/-15 %. Om pålarna fördelas jämnt under byggnadens bottenplatta motsvarar detta ett centrumavstånd på cirka 2,15 meter med ett osäkerhetsintervall mellan 2 - 2,3 meter centrumavstånd. Aktuellt antagande, centrumavstånd på 2 meter, bedöms därmed vara konservativt. Det största centrumavståndet på 2,3 meter skulle innebära en 25 % lägre klimatpåverkan än aktuellt antagande.

Sammantaget visar osäkerhetsanalysen att klimatpåverkan kan variera stort beroende på dessa tre parametrar se Figur 17.



Figur 17. Osäkerhetsanalys grundläggning av byggnader

Minimum har beräknats utifrån att pålar med dimension 235 x 235 mm ersätter pålarna med dimension 270 x 270 mm i aktuellt antagande. Pålarnas längd har satts till 40 meter istället för 50. Centrumavståndet har satts till 2,3 meter.

Maximum har beräknats utifrån att pålar med den större dimensionen används, det vill säga 270 x 270 mm som i aktuellt antagande. Pålarnas längd har satts till 70 meter istället för 50 meter. Centrumavståndet har satts till 2 meter likt aktuellt antagande.

Totalt syns en variation mellan cirka 24 500 ton CO<sub>2</sub>e upp till 72 000 ton CO<sub>2</sub>e. Utifrån aktuellt antagande syns en möjlig variation mellan ca 50 % och 140 % av beräknad klimatpåverkan. Osäkerhetsintervallet för pålarna under byggnader visar att pålarnas klimatpåverkan i förhållande till projektet i sin helhet kan variera mellan 7,5 % och 19 %.

Centrumavstånd, påltyp och påldjup är parametrar som beror av varandra. Större pålar kan sättas glesare och beroende på jordens egenskaper även till ett mindre djup än en mindre påle. Att alla parametrar skulle behövas justeras åt samma håll är därför inte så troligt och osäkerhetsanalysen innehåller en betydligt större variation än vad som beskrivs inom varje parameter. Ett exempel skulle kunna vara att pålar satts till ett djup på 100 meter men i ett något glesare mönster (CC 2,3m) och med den mindre påltypen (235x235). Detta skulle innebära en klimatpåverkan på cirka 61 000 ton CO<sub>2</sub>e vilket ligger i mitten mellan aktuellt antagande och beräknat maximum.

### 5.2.2 LEDNINGAR

Nödvändig grundläggning av ledningar är mycket svårt att bedöma utifrån tillgänglig information i projektet. Generellt finns samma osäkerheter för grundläggningen av ledningar som beskrivs för grundläggningen av byggnader men utöver detta finns en stor osäkerhet i hur stor yta som behöver grundläggas.

Aktuellt antagande innebär att 13 800 m<sup>2</sup> påldäck installeras under ledningar för vatten, fjärrkyla och fjärrvärme av dimension 400 mm eller större. Detta antagande bygger på att konsekvensen vid skadade ledningar är störst för ledningarna av större

dimension. Det kan också visa sig vara nödvändigt att grundlägga samtliga ledningar eller att ingen grundläggning alls krävs. Det är därför inte otänkbart att klimatpåverkan blir dubbelt eller hälften så stor som den beräknade klimatpåverkan på 11 500 ton CO<sub>2</sub>e.

## 6 DISKUSSION OCH REFLEKTIONER

Den totala klimatpåverkan för byggnationen av Inre Frihamnen har beräknats till cirka 351 700 ton CO<sub>2</sub>e. Byggnaderna och dess grundläggning står för majoriteten av klimatpåverkan, cirka 91 %. Analys av klimatpåverkan för byggnation fördelat på materialproduktion, transporter och byggnation visar att materialproduktionen (A1-A3) står för den största klimatpåverkan med 81 %. Transporter till och från samt arbetet inom byggarbetsplatsen (A4-A5) bidrar med cirka 19 % av klimatpåverkan under byggnation, där förbränning av diesel i transporter och arbetsmaskiner står för cirka 15,5 % och spill för resterande 3,5 %.

Produktion betong och armering står tillsammans för 61 % av den totala klimatpåverkan, vilket beror på att betongkonstruktioner antagits för de flesta byggnader samt att grundförstärkning med betongpålar antagits för samtliga byggnader och större ledningar.

En reflektion som diskuterats utifrån resultatet är byggnadernas stora klimatpåverkan i förhållande till övriga arbeten. Planerna för inre Frihamnen innehåller en relativt tät bebyggelse med ett exploateringsstal omkring 1,7 räknat på hela markytan för inre Frihamnen. Resterande mark mellan husen, infrastruktur och torgytor innebär relativt små ingrepp som framför allt omfattar transport av massor och olika beläggningar. I jämförelse med betong och armering, dvs husens konstruktion, innebär anläggningsarbetet en relativt liten klimatpåverkan.

En ytterligare reflektion är att drygt 20 % av klimatpåverkan från byggnation härstammar från grundläggning av hus, ledningar och kajer. Detta är en direkt konsekvens av platsens geotekniska förutsättningar som innebär en tillkommande klimatpåverkan. Genom att välja en plats med bättre förutsättningar skulle klimatpåverkan från grundläggningen kunna minskas, men de geotekniska förhållandena är långt ifrån unika i Göteborgsregionen.

Drift och underhåll har beräknats mycket övergripande för byggnader och infrastruktur för en period på 50 år. Klimatpåverkan från drift och underhåll har beräknats till totalt ca 106 000 ton CO<sub>2</sub>e under 50 år. Drift och underhåll utgör därmed cirka 23 % av den sammanlagda klimatpåverkan från byggnation samt drift och underhåll under 50 år av inre Frihamnen.

För byggnaderna (exkl. grundläggning) visar resultatet att drift och underhåll bidrar med ungefär en tredjedel av den totala klimatpåverkan från byggnation samt drift och underhåll under 50 år.

Avseende drift och underhåll saknas flera områden i beräkningarna, men det är tydligt att driftskedet spelar en avgörande roll för projektets klimatpåverkan sett över hela livscykeln. Kartläggningen har fokuserat på byggnation men hänsyn behöver tas till effekter på drift och underhåll när beslut tas för att minimera klimatpåverkan av projektet, framförallt gällande byggnaderna.

Att kartlägga klimatpåverkan från ett projekt av denna storlek och komplexitet är mycket svårt i ett så pass tidigt skede. Erfarenhet från andra projekt där

klimatpåverkan beräknats under flera skeden från tidig planering till färdig bygghandling pekar på att den beräknade klimatpåverkan ökar i takt med att detaljeringsnivån ökar. Med denna erfarenhet i ryggen har ambitionen varit att komplettera underlaget till en så hög detaljnivå som möjligt trots att mycket fortfarande är osäkert. Troligtvis kommer beräknad klimatpåverkan trots detta öka i takt med ökad detaljeringsnivå. Allt eftersom projektet och projekteringen fortskrider bör klimatkalkylerna revideras för att bli mer precisa.

Ett specifikt område där klimatpåverkan kan öka relativt mycket när detaljeringsnivån ökar är dieselförbrukningen i arbetsmaskiner. Verktuget Klimatkalkyl som har använts för delar av denna kartläggning beräknar dieselförbrukning schablonartat och detta kan öka avsevärt när en tydligare bild av vilka arbeten och maskiner som krävs finns i projektet.

Fördelningen av klimatpåverkan mellan material, arbeten och aktiviteter som beräknas i tidiga skeden brukar erfarenhetsmässigt spegla fördelningen i slutresultatet. Detta ger en trygghet i att kartläggningen fyller dess syfte att höja kunskapsnivån, vägleda och prioritera för ett aktivt arbete med att minska klimatpåverkan i projektet. Ett arbete som bör prioriteras och finnas med genom hela projektets alla steg där beslut fattas. Vilka fokusområden och möjliga åtgärder som har identifierats kommer redovisas i ett separat PM.

## 7 REFERENSER

BM 1.0	Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM1.0, Svenska Miljöinstitutet IVL
Byggmax 2021	Byggplaneraren Byggplaneraren - Räkna och designa ditt byggprojekt - Byggmax Hämtad: 2021-03-05
EPD, Folkhem 2015	Folkhem's concept building, Programme operator: EPD international, EPD registration number: S-P-00652
EPD, NXT TEC Ltd 2018	Concept Building - Wyndham LUX Perth Hotel, Programme operator: The Australasian EPD Programme Limited, EPD registration number: S-P-01167
Glädt M. et. Al. 2019	Klimatneutral ombyggnation, M. Glädt M., Mokhava V. Nilsson D., Tand J. (2019) WRL2018:14, 2019-09-17. White arkitekter
Landén M. et. Al. 2020	Kunskapsunderlag klimatpåverkan - Kunskapsläge, omvärldsläge och referensvärden för nybyggnation av flerbostadshus och kontor. IVL rapport Nr U 6391
Liljenström C. et. Al. 2015	Byggandets klimatpåverkan, Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong, C. Liljenström C., Malmqvist T., Erlandsson M., Fredén J., Adolfsson I., Larsson G., Brogren M. (2015) Nr B2217 Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
Larsson M. et. Al. 2016	Byggandets klimatpåverkan, Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä, Larsson M., Erlandsson M., T. Malmqvist och J.Kellner (2016) Nr B2260. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
Materialmännen 2021	45X145 K-VIRKE C24 IMP NTR/A 45X145 K-VIRKE C24 IMP NTR/A (materialmannen.se) Hämtad: 2021-03-05
Moucho and Farhat. 2017	Användning av glas i kontorsbyggnader Fokus på energi- och koldioxidutsläpp. Hämtad 2021-02-09
PCR, 2014 Tyréns AB, 2015. Sveriges Byggindustrier, 2018	PCR 2014:02 Buildings, version 2.0 (2018-01-24) LCA Project report: Folkhems koncepthus, Folkhem, Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport, Martin Erlandsson, Tove Malmqvist, Nicolas Francart, och Johnny Keller. IVL Rapport C350
Sundqvist, P., Palm, D. 2010	Miljöpåverkan från avfall: Underlag för avfallsprevention och förbättrad avfallshantering. Sundqvist, P., Palm, D. (2010). Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

Sweco 2015	Översiktlig miljöteknisk markundersökning, Etapp 1 Frihamnen, Uppdragsnummer 1312055.000, Rosdahl J., Holm T. (2015) 2015-06-18
Top Marine 2021	Betongpontoner Betongpontoner från Top Marine för båthamnar och marinor hämtad: 2021-03-05
Tyrens 2017	Framtidsstudie-Bedömning beräkning av klimateffekter av ett ökat träbyggande
Tyrens 2020	Jämförande LCA Stomme förskolebyggnad
Erlandsson M., 2018	Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. IVL rapport C350
Trafikverket	Klimatkalkyl version 7.0 Start - Klimatkalkyl (trafikverket.se)
Göteborgs Stad	1 BA Gällande standardritningar – Teknisk Handbok (goteborg.se)