



CHALMERS



Jämförelse av olika kajkonstruktioners klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

Martin Hedlund
Alexander Hernqvist

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Jämförelse av olika kajkonstruktioners klimatpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Martin Hedlund

Alexander Hernqvist

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Jämförelse av olika kajkonstruktioners klimatpåverkan
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

© MARTIN HEDLUND, ALEXANDER HERNQVIST, 2023

Handledare: Alexander Hollberg

Examinator: Holger Wallbaum

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Hållbart byggande
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Utbyggnation av Pampushamnen i Norrköping.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2023

Jämförelse av olika kajkonstruktioners klimatpåverkan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Martin Hedlund

Alexander Hernqvist

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Hållbart byggande
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete innefattar en utredning av klimatpåverkan från två vanligt förekommande typer av kajkonstruktioner: spontkaj och påldäckskaj. Dessutom utfördes en undersökning kring vilka åtgärder materialleverantörer inom bygg- och anläggningssektorn planerar på att implementera för att minska klimatpåverkan från sina produkter. Metoden som användes var Life Cycle Assessment (LCA) baserad på data från det schweiziska Ecoinvent-databasen samt miljövarudeklarationer (EPD:er) från produktspecifika leverantörer. Den del av livscykeln som inkluderades i analysen var byggskedet, och den miljöpåverkanskategorin som studerades var global uppvärmningspotential (GWP) vilket mättes i koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv). För utredningen av åtgärder från materialleverantörerna genomfördes en kvalitativ studie av deras strategier för att minska klimatpåverkan.

Resultaten visade att spontkajen hade lägre klimatpåverkan jämfört med påldäckskajen. Valet av konstruktionslösning samt materialval hade en signifikant inverkan på resultatet, där användningen av betong ledde till en ökad klimatpåverkan jämfört med spontning och utfyllning med muddringsmassor. Vidare så stod transportererna av material till byggplatsen för en stor del av utsläppen. Detta berodde på att en betydande andel av den totala mängden byggmaterial i dessa typer av anläggningsprojekt bestod av fyllnadsmaterial såsom bergkross eller ballast. Dessa material har relativt låga utsläpp i produktionskedet jämfört med transportskedet.

Materialleverantörerna planerar enligt deras strategier och färdplaner att implementera flera åtgärder för att minska klimatpåverkan. Heidelberg Materials Cement Sverige AB planerar bland annat att genomföra Carbon Capture and Storage (CCS), vilket handlar om att fånga upp och lagra koldioxid från omvandlingsprocessen. SSAB har som mål att implementera Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology (HYBRIT) för ståltillverkning, vilket innebär att ersätta nuvarande ståltillverkningsprocess med vätgasreduktion som drivs av fossilfri el. För insatsmaterial som ballast arbetar Skanska för att minska transportsträckorna genom att strategiskt placera fabrikerna nära byggarbetsplatserna. De arbetar också med samordning av transporter och utvecklar återvinningsmöjligheter.

Nyckelord: spontkaj, påldäckskaj, koldioxidekvivalenter, livscykelanalys, cement, konstruktionsstål.

A comparison of the climate impact of different quay structures

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

Martin Hedlund

Alexander Hernqvist

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology
Sustainable Building
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This thesis involved an investigation of the climate impact from two commonly used types of quay structures: sheet pile quay and piled deck quay. In addition, a survey was conducted on the measures that material suppliers in the construction and civil engineering sector plan to implement to reduce the climate impact from their products. The method used was Life Cycle Assessment (LCA) based on data from the Swiss Ecoinvent database and Environmental Product Declarations (EPDs) from product-specific suppliers. The part of the life cycle included in the analysis was the construction phase, and the environmental impact category studied was global warming potential (GWP), measured in carbon dioxide equivalents (CO₂-eq). For the investigation of measures from material suppliers, a qualitative study was conducted on their strategies to reduce climate impact.

The results showed that the sheet pile quay had lower climate impact compared to the piled deck quay. The choice of construction solution and material selection had a significant impact on the results, where the use of concrete led to increased climate impact compared to sheet piling and filling with dredging materials. Furthermore, the transport of materials to the construction site accounted for a large portion of the emissions. This was because a significant proportion of the total amount of construction materials in these types of civil engineering projects consisted of filling materials such as crushed rock or ballast. These materials have relatively low emissions in the production phase compared to the transport phase.

According to their strategies and roadmaps, material suppliers plan to implement several measures to reduce climate impact. Heidelberg Materials Cement Sweden AB plans, among other things, to implement Carbon Capture and Storage (CCS), which involves capturing and storing carbon dioxide from the conversion process. SSAB aims to implement Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology (HYBRIT) for steel production, which involves replacing the current steel production process with hydrogen reduction powered by fossil-free electricity. For input materials such as ballast, Skanska is working on reducing transport distances by strategically placing factories near construction sites. They are also working on coordinating transportation and developing recycling opportunities.

Key words: sheet pile quay, piled deck quay, carbon dioxide equivalents, life cycle analysis, cement, structural steel.

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställning	1
1.3	Metod	2
1.3.1	Livscykelanalys	2
1.3.2	Kvalitativ undersökning	3
1.4	Avgränsningar	3
2	TEORI	4
2.1	Kajtyper	4
2.1.1	Spontkaj	4
2.1.2	Påldäckskaj	5
2.2	Livscykelanalys	6
2.2.1	Två typer av livscykelanalyser	6
2.2.2	Koldioxidekvivalenter	7
2.2.3	Miljövarudeklaration	7
2.2.4	Ecoinvent	7
2.3	Dagens beräkningsverktyg inom anläggningsprojekt	7
2.3.1	Trafikverkets klimatkalkyl	7
2.3.2	BREEAM - certifieringssystem	7
3	REFERENSPROJEKT	8
3.1	Trelleborgs hamn - Spontkaj	8
3.1.1	Miljö och geotekniska förutsättningar	9
3.1.2	Konstruktion och material	10
3.2	Norrköpings hamn - påldäckskaj	13
3.2.1	Miljö och geotekniska förutsättningar	14
3.2.2	Konstruktion och material	15
4	BERÄKNINGSGÅNG	17
4.1	Beräkning i skede A1-A3	17
4.2	Beräkning i skede A4	17
4.2.1	Utsläpp för lastbilstransporter	18
4.2.2	Utsläpp från muddringsarbete	19
4.2.3	Dimensionerad livslängd	20
4.3	Känslighetsanalys	20
5	RESULTAT	21
5.1	Vilken kajtyp har störst klimatbelastning?	21
5.1.1	Känslighetsanalys	23

5.2	Vilka material bidrar mest till klimatpåverkan?	25
5.3	Vad är industrins strategier för att minska utsläppen?	26
5.3.1	Stålindustrin och SSAB	26
5.3.2	Anläggningscement	27
5.3.3	Skanskas hållbarhetsstrategi för insatsmaterial	27
5.3.4	Sammanfattning över strategierna	28
6	DISKUSSION	29
6.1	Osäkerheter kring antaganden och val av metod	29
6.1.1	Vikt i skede A4	29
6.1.2	Muddring	29
6.1.3	Transport	29
6.1.4	Genomsnittlig lastfaktor	30
6.1.5	Dieselförbrukning	30
6.1.6	Antagna cementhalter	30
6.1.7	Val av EPD	30
6.2	Förslag på vidare studier	31
7	SLUTSATSER	32
8	LITTERATURFÖRTECKNING	34

Förord

Detta examensarbete innefattar 15 högskolepoäng och är det sista arbete inom vår utbildning i programmet högskoleingenjör samhällsbyggnadsteknik. Det har varit en rolig tid på Chalmers och börjar bli dags att knyta ihop säcken för att påbörja nya äventyr utanför skolan. Vi vill tacka vår handledare Louise Nilsson på Ramboll för din tid och ditt engagemang i detta arbete. Vi vill även passa på att tacka övriga från Ramboll som hjälpt oss. Vi vill även rikta stort tack till Alexander Hollberg från Chalmers som har varit till stor hjälp i detta arbete.

Göteborg juni 2023
Martin Hedlund
Alexander Hernqvist

Begreppslista

- LCA Livscykelanalys: En metod som för att beräkna samt utvärdera miljöpåverkan från en produkt eller en tjänst under hela eller delar av dess livscykel.
- EPD Environmental Product Declaration, miljövarudeklaration, är ett standarddokument som beskriver klimatpåverkan av en specifik produkt över de olika skedena av dess livscykel.
- CO2-ekv Koldioxidekvivalent: en måttenhet som används för att kunna jämföra flera olika växthusgasers klimatpåverkan.
- GWP Global Warming Potential, global uppvärmningspotential: ett mått på hur mycket en växthusgas bidrar till klimatpåverkan och används för att beräkna koldioxidekvivalenter.

1 Inledning

I Sverige står bygg- och anläggningssektorn för ca 20 % av de totala utsläppen inom landet och de flesta aktörer inom branschen är enade om att en kraftig omställning behöver vidtas för att uppnå Sveriges klimatmål (Fossilfritt Sverige, 2018). Konsulter inom anläggningssektorn har i tidiga skeden potential att bidra med en skillnad i klimatarbetet genom att föreslå och utveckla hållbara lösningar till beställaren, men det kräver också kunskap och förståelse kring livscykelräkningar och miljö inom exempelvis infrastrukturprojekt. Genom att vara informerad och ha underlag så kan konsulter fatta goda beslut om utformning i projekteringsstadiet som leder till mindre klimatpåverkan. Detta kan exempelvis handla om förståelse kring utsläpp från olika typer av material såsom betong och konstruktionsstål. Det kan även handla om förståelse kring utsläpp som följd av olika konstruktionsutformningar, där man i byggskedet behöver utföra olika typer av åtgärder såsom lastbilstransporter och muddringsarbete. En gemensam färdplan har tagits fram där man har jobbat fram en vision vilket handlar om att sträva efter en klimatneutral och konkurrenskraftig industri (Fossilfritt Sverige, 2018). Färdplanen tar bland annat upp uppmaningar till olika aktörer inom byggsektorn, bland annat till konsulter och arkitekter. Dessa uppmaningar handlar om att i tidiga skeden föreslå klimatbesparande åtgärder och lösningar med specifikt livscykelräkningar i fokus.

1.1 Bakgrund

Examensarbetet kommer att genomföras i samarbete med avdelningen för hamn på Ramboll Sweden AB i Göteborg. Ramboll är en ledande konsultfirma som strävar efter att förbli en föregångare inom hållbar utveckling genom att leverera innovativa lösningar som bidrar till att uppnå FN:s globala mål. Företaget har som mål att öka sin förståelse för den klimatpåverkan som olika typer av kajer kan ha och avser att utarbeta en jämförelsegrund för dessa kajtyper. Genom att utarbeta denna jämförelsegrund, kommer företaget att kunna erbjuda mer rådgivning till sina kunder och hitta hållbara lösningar som är lämpliga för både kunden och samhället.

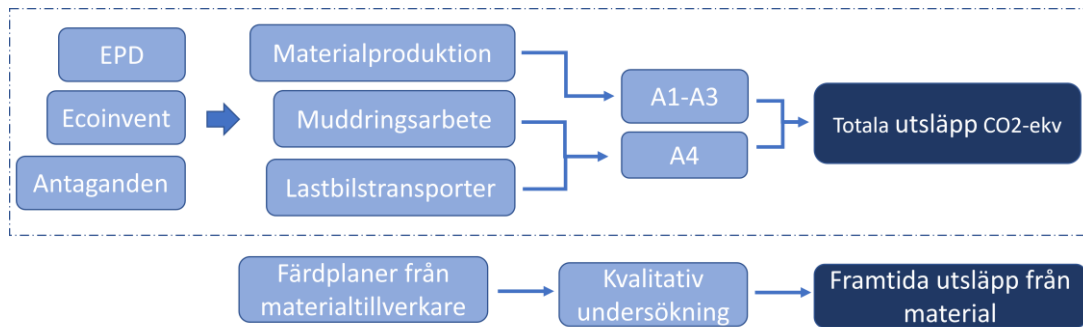
1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta examensarbete är att utreda och sammanställa den bedömda miljöpåverkan för kajkonstruktionerna spontkaj och pådäckskaj, för att i framtiden möjliggöra och underlätta bättre beslutsfattande för infrastrukturprojekt i tidiga skeden för att främja hållbara lösningar. En del av utredningen ska även innefatta att undersöka möjliga förändringar av utsläppen från materialproduktionen inom en nära framtid samt att identifiera vilka åtgärder som materialleverantörer planerar att genomföra för att adressera dessa förändringar. Examensarbetet kommer att fokusera på följande frågeställningar:

- (1) Konstruktionsutformning - Vilken kajtyp av spontkaj och pådäckskaj har störst klimatbelastning med avseende på koldioxidekvivalenter?
- (2) Materialval - Vilka material bidrar mest till klimatpåverkan?
- (3) Nya material - Hur ser framtidens utsläpp ut för de material som identifierats i tidigare fråga?

1.3 Metod

Utredningen riktar in sig på de två vanligaste kajtyperna: påldäckskaj och spontkaj och fokuserar på projekt utförda i Sverige. Ramboll Sweden AB har tillhandahållit två tidigare utförda projekt av dessa typer, och dessa kommer att användas som referensprojekt. Metoden består av en livscykelanalys (LCA) samt en kvalitativ undersökning av olika materialleverantörers strategier. Figur 1.1 visar ett flödesschema över arbetsmetodiken för utredningen, där det punktstreckade området är livscykelanalysen.



Figur 1.1: Flödesschema över metoden för utredningen.

1.3.1 Livscykelanalys

För att besvara frågeställning ett och två kommer en LCA att utföras. Livscykelanalysen fokuserar på skede A1-A4 i kajernas livscykel, där endast en del av byggskedet beaktas och bortser från användningsskedet och rivningsskedet, se figur 1.2. Skedena A1-A4 inkluderar följande:

- A1: Råvaruförsörjning/råvaruutvinning
- A2: Transport till fabrik
- A3: Tillverkning av material
- A4: Transport till byggsplatsen

A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Råvaruförsörjning	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installation	Användning	Underhåll	Reparation	Utbyte	Ombyggnation	Driftenergi	Vattenanvändning	Demontering/rivning	Demontering/rivning	Restprodukthantering	Bortskaffning
A Byggskedet					B Användningsskedet						C Slutskedet				

Figur 1.2: Olika skeden som ingår i en livscykelanalys enligt EN15804. Det grönmärkade området är vad som ingår i denna studie.

Denna modell är utformat enligt svensk standard SS-EN15804 (Svenska Institutet för Standarder, 2019). Analysen kommer att utföras med databasen Ecoinvent 3.9.1 samt

miljövarudeklarationer (EPD) från projektspecifika materialleverantörer, för mer ingående beskrivning av beräkningen se kapitel 4.

För att göra en bedömning av miljöpåverkan studeras CO₂-ekv utsläpp per meter byggd kaj för att objekten ska kunna bli jämförbara. Detta värde fås genom att utföra LCA för båda referensprojekten och beräkna totala CO₂-ekv utsläpp, och därefter dividera värdet med den totala längden för den kajen. Eftersom kajerna har olika tekniska livslängder tas även detta i anspråk vilket görs genom att studera det motsvarande utsläppet per år för respektive kajer.

För att kunna bedöma och resonera kring metodens trovärdhet utförs en känslighetsanalys. Denna känslighetsanalys bestod av att studera de antagna parametrarna och se hur mycket resultatet påverkas i förhållande till vad man ansätter för värde, exempelvis transportsträcka.

1.3.2 Kvalitativ undersökning

För att besvara frågeställning tre så utfördes en kvalitativ undersökning. Denna bestod av att samla in och granska information från olika materialtillverkares interna dokument såsom färdplaner, sammanfatta och presentera de olika hållbarhetsstrategier som materialleverantörerna har.

1.4 Avgränsningar

I denna klimatbelastningsanalys så beaktas endast global uppvärmningspotential (GWP) från material och transport som bidrar till kajkonstruktionens bärighet, se vidare kapitel 3 för ingående beskrivning om vilka materialdelar som är med i analysen. Andra miljöpåverkanskategorier såsom energiåtgång, utsläpp av andra partiklar som belastar klimatet kommer inte beaktas i denna analys.

För att få en full bild av ett byggprojekts miljöpåverkan bör man studera hela dess livscykel eftersom det kan finnas aktiviteter och processer utöver användningsskedet och rivningsskedet som bidrar till klimatbelastning. I dagsläget pågår många utredningar och forskning där byggbranschens aktörer diskuterar och försöker utvidga och inkludera fler delskeden av ett byggnadsverks livscykel.

För denna studie så saknas det miljödata för skeden utanför A1-A4 för de två referensprojekten. Därav har vi i studien valt att endast betrakta och fokusera på skede A1-A4 av livscykeln då en större omfattning bedöms ligga utanför ramarna för detta examensarbete.

2 Teori

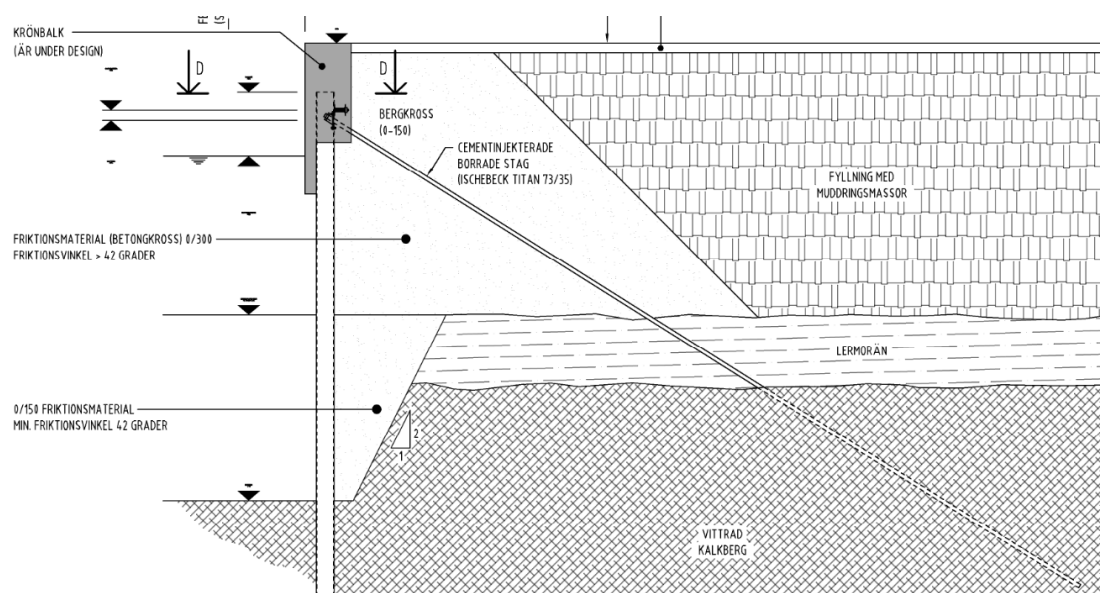
I detta kapitel presenteras den teoretiska ramen för arbetet. Teorin utgör en grund för analysen och slutsatserna i arbetet och är viktig för att kunna bedöma resultatens relevans och tillförlitlighet. I detta avsnitt kommer relevanta teorier och modeller att diskuteras, såsom livscykelanalys, hållbar utveckling och miljöpåverkan.

2.1 Kajtyper

Spontkaj och pådäckskaj är två av de vanligaste förekommande kajtyper som byggs idag. Båda kajtyper har sina respektive fördelar och nackdelar men det är oftast de geotekniska förhållande som bestämmer vilka konstruktionsmetoder som är möjliga att använda (Stockholms Hamnar, 2013).

2.1.1 Spontkaj

De ingående delarna av en spontkaj är en spontvägg av stål eller trä med en krönbalk av betong ovanpå (Stockholms Hamnar, 2013). Figur 2.1 visar ett exempel på en utformning av typen spontkaj. Vanligtvis byggs spontkaj vid en strandkant med lösare jordarter som gör det möjligt att genomföra neddrivning av spont. Först så grävs muddringsmassor upp från sjöbotten för att se till att inget förhindrar nerslagning av spontväggen. Efteråt gjuts en krönbalk ovanpå sponten för att skapa en kajkant som även fungerar som ett hammarband och överför externa laster till förankringsstagen. Dragstag ska förankras i ankarplattor eller i jord genom injektering eller borrhning. Slutligen kan man fylla upp bakom sponten med olika material, exempelvis stenkross, betongkross eller muddringsmassor. När det har blivit fyllt innanför sponten gäller det att påskynda konsolidering innan bygandet kan fortsätta (Källfors, 2013).

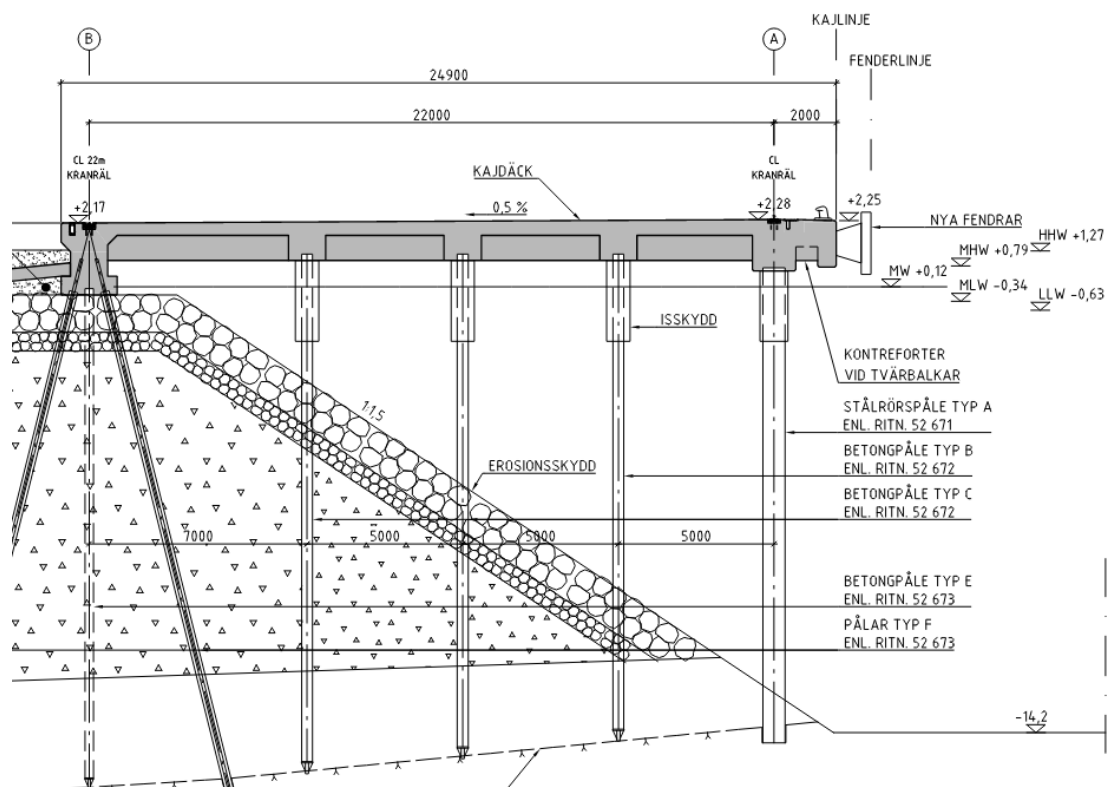


Figur 2.1: Typsektion spontkaj. Källa: Ramboll Sweden AB.

Fördelarna med att bygga en spontkaj är att den tar kortare tid att bygga än en påldäckskaj och blir därför oftast mer kostnadseffektiv (Stockholms Hamnar, 2013). Kajen kan enkelt överföra laster ner i jorden och har därför ofta en högre kapacitet jämfört med andra kajtyper. Nackdelar med spontkaj är att den kräver djupa lager med jord som möjliggör neddrivning av spont och är inte lämpligt i dåliga grundläggningsförhållanden såsom blockiga jordar.

2.1.2 Påldäckskaj

En påldäckskaj även kallat däckskaj byggs genom att man slår eller borrar ner pålar i botten som förankras ned i berggrunden (Stockholms Hamnar, 2013). Ovanpå pålarna byggs ett betongdäck som blir kajens plattform. Vid strandkanten så byggs en vall med fyllningsmaterial som ska vara stabil och motstå erosion. I däckets bakkant kan dragstag placeras som ska kunna ta upp horisontella krafter. Figur 2.2 visar ett exempel på hur en utformning av påldäckskaj kan se ut.



Figur 2.2: Typsektion påldäckskaj. Källa: Ramboll Sweden AB.

Det vanligaste upplägget är att man bygger kajdäcket av betong (Svenska kommunförbundet, 2003). Betongdäcket kan antingen vila direkt på pålarna, men det är även vanligt att man bygger ett system av balkar som stödjer kajdäcket (Stockholms Hamnar, 2013).

Den vanligaste utformningen på pålarna är att de är gjorda av stålrör fyllda med betong alternativt betongpålar (Stockholms Hamnar, 2013). Eftersom det ofta ställs krav på lång livslängd för denna kajtyp, samt att det kan finnas svårigheter med underhållning av dessa typer av pålar krävs ofta att man bygger på ett så kallat iskydd som ska fungera som ett korrosionsskydd mot nötning från isbildning. Det består av

ett utanpåliggande stålrör med ett mellanrum mellan pålarna där man fyller med betong. Iskyddet placeras på överdelen av pålarna strax under medelvattennivån.

Påldäckskaj är ett passande alternativ för byggande på stora vattendjup och när grundförhållandet består av hårdare jordarter eller andra förutsättningar som skulle göra nedslagning av spont svårt. Kajens nackdelar är att det är svårt att reparera på undersidan av plattformen och vallen, relativt dyr att producera och känslig för överbelastning.

2.2 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en metod som används för att utvärdera miljöpåverkan från produkter eller tjänster under hela eller delar av dess livscykel. Analysen kan innefatta alla steg i produktionen från utvinning av råvaror till avfallshantering, även kallat ”vagga till grav”. Syftet med analysen är att kunna identifiera och kvantifiera miljöpåverkan som en produkt eller tjänst medför. På så sätt kan man fastställa vilka steg i processen som har störst miljöpåverkan, så kallade hotspots (Boverket, 2019a). Informationen som samlas in kan sedan leda till att processer eller tjänster blir mer hållbara genom att kunna prioritera åtgärder.

En LCA kan delas in i fyra huvudsakliga steg: definition av omfattning, inventering av utsläpp, bedömning av miljöpåverkan samt framtagande av åtgärder (Bergerson & Lave, 2004). För att praktiskt kunna genomföra en LCA behöver man göra vissa antaganden och avgränsningar eftersom det finns oerhört många aspekter att beakta. En beräkningsregel för utförandet av en LCA enligt EN15804 är att det skall finnas en tydligt formulerad funktionell enhet eller deklarerad enhet (Svenska Institutet för Standarder, 2014). Enligt ISO 14044 som beskrivs i EN15804, är syftet med denna funktionella enhet att ge en referenspunkt för att exempelvis normalisera materialflöden eller resultatet från en LCA för att kunna jämföra olika produkter som uppfyller samma enhet. För en miljövarudeklaration (EPD) för konstruktionsmaterial kan det vara lämpligt att definiera den deklarerade enheten som ett ton av detta material för till exempel produktion av cement.

2.2.1 Två typer av livscykelanalyser

Det finns två typer av LCA: bokförings- och konsekvens-LCA (Erlandsson, Ekvall, Lindfors, & Jelse, 2014). Skillnaden på dessa två är att en bokförings-LCA strävar efter att sammanfatta den uppskattade miljöpåverkan för alla produkter i världen så att det stämmer överens med de globala utsläppen vilket är känt som ”100% regeln”. En konsekvens-LCA däremot beskriver effekterna av förändringar på ett större och mer komplext system och dess miljöpåverkan.

Bokförings LCA även förkortat ALCA utifrån engelska *attributional LCA*, är den vanligaste analysmetoden och är lämplig för studier som har en tydligt formulerad funktionell och där det framgår vilka processer eller aktiviteter som krävs för att uppnå denna enhet (European Council for Automotive R&D, 2020). Vidare är denna metod även bra för de fall där vissa parametrar är okända såsom produktspecifika leverantörer eller vilken typ av lastbil som används för transport.

2.2.2 Koldioxidekvivalenter

CO₂-ekvivalenter är en standardiserad måttenhet som används för att kunna jämföra flera olika växthusgaser med koldioxid. Eftersom växthusgaser såsom koldioxid, metan och dikväveoxider har olika uppvärmningspotential (GWP) måste de därför omvandlas till CO₂-ekvivalenter för att kunna på ett enklare sätt jämföra och mäta dess påverkan på växthuseffekten (Naturvårdsverket, u.d-a).

2.2.3 Miljövarudeklaration

En miljövarudeklaration (EPD) är en form av standardiserat dokument som redovisar klimatpåverkan av en specifik produkt över de olika skedena av dess livscykel (Boverket, 2019b). EPD:er kan användas för att jämföra olika materials klimatpåverkan och identifiera de komponenter som har den högsta graden av klimatbelastning. Fördelar med använda produktspecifika data som EPD:er erbjuder, jämfört med generiska data, är att de ger ett noggrannare och mer tillförlitligt resultat för ett specifikt projekt (Boverket, 2019b). Vidare så har produktspecifika data generellt sett gett lägre klimatbelastning än generiska data.

2.2.4 Ecoinvent

Som ett komplement till EPD:er användes databasen Ecoinvent, version 3.9.1. Ecoinvent är en livscykelinventeringsdatabas som används för att analysera produkter och tjänsters miljöpåverkan (Ecoinvent, u.d.). Ecoinvent för detta projekt användes för att uppskatta utsläppen i skede A4.

2.3 Dagens beräkningsverktyg inom anläggningsprojekt

Det finns olika beräkningsverktyg som har utvecklats i samband med de ökade kraven på redovisning av miljöpåverkan inom projekt. Trafikverkets klimatkalkyl är ett exempel på ett verktyg i Sverige. Det utvecklas även olika typer av certifieringssystem såsom BREEAM Infrastructure.

2.3.1 Trafikverkets klimatkalkyl

Som följd av Sveriges klimatmål har Trafikverket fått i uppgift att minska på infrastrukturens klimatpåverkan. En del av arbetet är att sätta klimatkrav på materialerna så som stål, betong, cement och drivmedel. För att kunna ställa krav på entreprenörer så har Trafikverket skapat Trafikverkets klimatkalkyl med generiska data för material, element och transport för att kunna kvantifiera klimatbelastning och energianvändning (Trafikverket, 2023).

2.3.2 BREEAM - certifieringssystem

För att främja hållbarhet så har British Reserch Establishment (BRE) tagit fram certifieringen BREEAM Infrastructure vars syfte är att uppmuntra företag att välja mer hållbara lösningar. Certifikatet hjälper även till genom att förenkla dialogen mellan beställare och övriga intressenter genom att systematisera hållbarhetsarbetet (Sweden Green Building Council, 2023).

3 Referensprojekt

Detta kapitel fungerar som en utförlig beskrivning av de två referensprojekten. Alla parametrar och värden som användes för att utföra LCA redovisas samt de olika projektens förutsättningar och mer ingående beskrivningar av dem. Dessa parametrar är mängder material och egenskaper såsom densitet, cementshalter med mera.

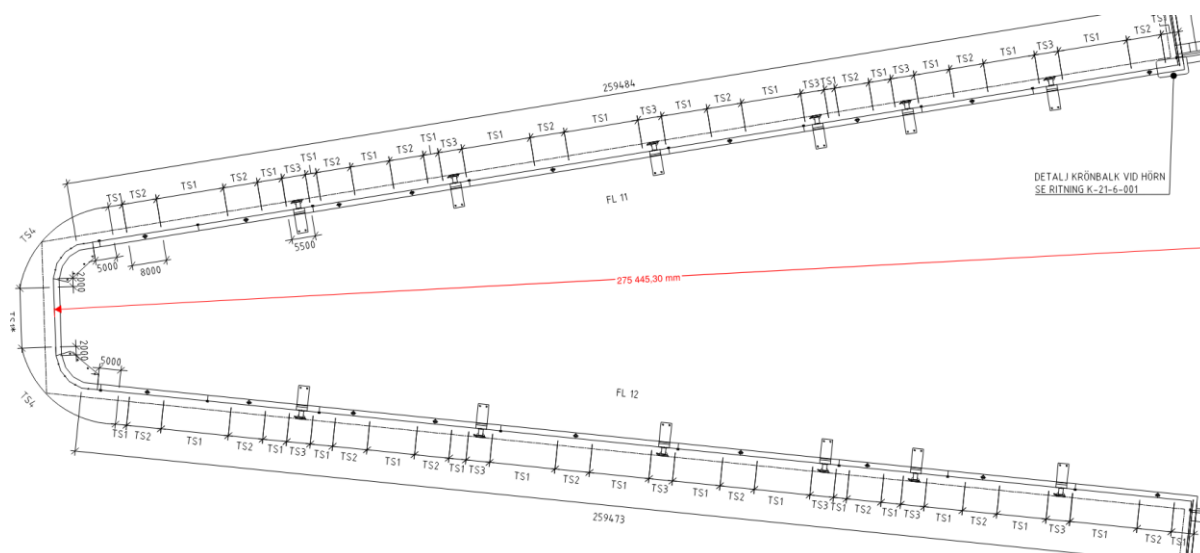
3.1 Trelleborgs hamn - Spontkaj

En del av utbyggnationen av Trelleborg hamn är byggandet av färjeläge 11 och 12 som ska öka hamnens kapacitet och kunna tillgodose framtida behov (Trelleborg hamn, u.d.). De två nya färjelägena har ett kajdjup på 11,5 meter och ska kunna ta emot fartyg upp till 240 meter långa. För att se en bild på referensprojektet i ett tidigt byggskede just efter att nedslagning av spont blivit klar, se figur 3.1.



Figur 3.1: Bild från referensprojektet i ett tidigt byggskede. Källa: PEAB. Hämtad 2023-01-02.

Eftersom kajen gav två färjelägen så drogs en symmetrilinje längs med mitten för att dela in kajen i delar, se figur 3.2. Detta val motiverades av att kunna ge kajen en liknande kajlängd och storlek för en rättvis jämförelse med det andra referensprojektet.



Figur 3.2: Symmetrilinje som delar in kajen. Källa: Ramboll Sweden AB.

3.1.1 Miljö och geotekniska förutsättningar

Under den marktekniska undersökningsrapporten från PEAB (2020) av det befintliga området visade det jordlagerföljden enligt tabell 3.1, gav goda förutsättningar för att kunna bygga en spontkaj.

Tabell 3.1: Jordlagerföljd vid undersökta punkter.

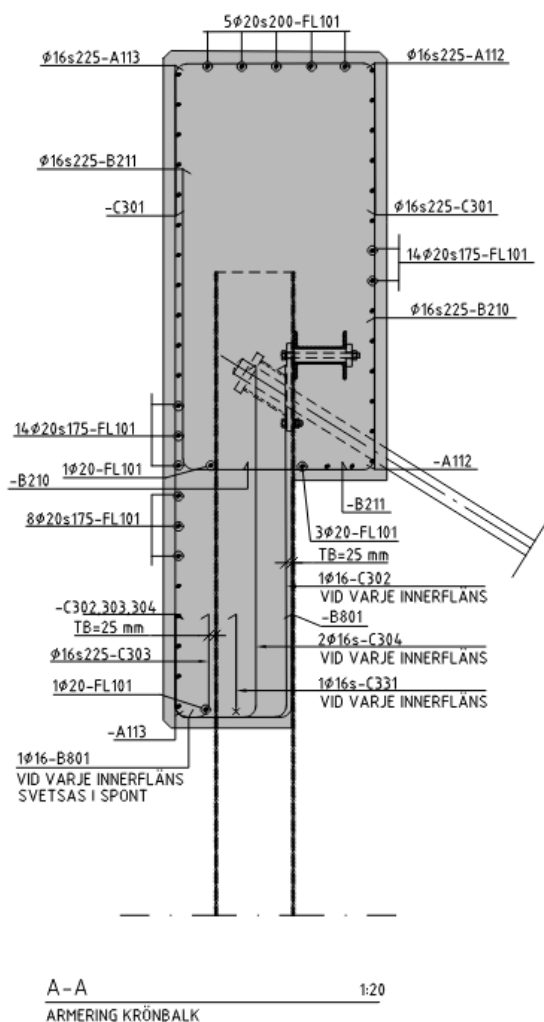
Jordlagerföljd	Nivå
Vattenyta	+0,15
Vatten	-2,7 - -3,7
Sediment	-3,7 - -4,2
Lermorän	-5 - -6
Vittrat kalkberg	-6 - -25
Kalkberg	< -25

Markundersökningen visade att närområdet där muddermassor skulle tas ifrån hade stora mängder finkorniga schaktprodukter med silt- och lerfraktioner som skulle påverka dess användning som fyllningsmassor negativt (PEAB, 2020). Finmaterial med vatteninnehåll är svårare att packa och kan leda till svårigheter att uppnå tillräcklig packning innanför sponten. För att erhålla tillräcklig packning av finkorniga material kan åtgärder som ökad liggtid och avvattning, ökad överlast eller bindemedel behövas användas (Stockholms Hamnar, 2013). När projektet hade börjat visade det sig även att jordlagarskiktet lermorän även delvis bestod av kalixpinnmo som är en hårdare variant av morän som kräver mer arbete för att bryta loss. Uppskattning av mängden diesel som krävs för att utvinna olika fyllningsmaterial tas upp i kapitel 4.2.2.

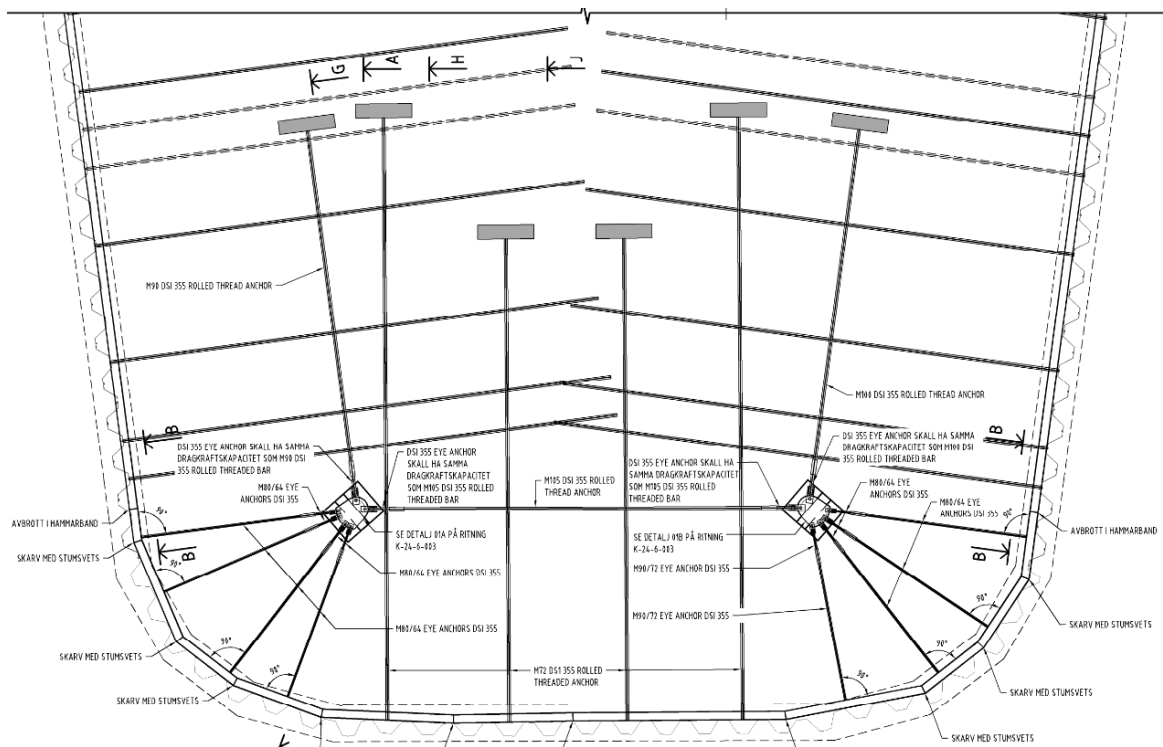
Den marina miljön med havsvatten medförde att konstruktionen behövde dimensioneras för exponeringsklass XS3, korrosion orsakad av klorider samt exponeringsklass XF4, angrepp av frysning. Dessa exponeringsklasser definieras i SS-EN 1992-1-1:2005, som är den svenska versionen av den europeiska standarden för utformning av betongkonstruktioner (SIS, 2014). Som följd av dessa utmaningar så har kajen dimensionerats för en livslängd på 50 år och säkerhetsklass 2. För denna säkerhetsklass räknas byggnadsdelar som, vid en kollaps, medför en begränsad risk för personskador (Boverket, 2023).

3.1.2 Konstruktion och material

Referensprojektet har delats in i tre olika konstruktionsdelar som bidrar till bärigheten och dessa är stödmur, förankring samt stag och ankarplattor. I stödmuren ingår stålspont och krönbalk ovanpå. Stålsponten var av typen AZ-28-700 som produceras av ArcelorMittal syns i kapitel 2, figur 2.2. Den armerade krönbalken hade olika tvärsektioner men det huvudsakliga tvärsnittet var TS1 som syns i figur 3.3.



Figur 3.3: Huvudtvärsnitt TS1 i krönbalken. Källa: Ramboll Sweden AB.



Figur 3.5: Dragstag med ankarplattor för att uppnå jämvikt i kajens ände. Källa: Ramboll Sweden AB.

Utifrån ritningar från referensprojekt spontkaj kunde samtliga mängder material estimeras som visas i tabell 3.2.

Tabell 3.2. Materialåtgång vid byggandet av spontkaj, enhet: ton.

Material	Vikt [ton]
Betong	2752
Armering	78
Konstruktionsstål	53
Spontstål	582
Betongkross	27 691

I projektet uppskattades en initial mängd fyllningsmassa bakom sponten till 43 840 kubik material som kom från muddringsarbete i hamnområdet och farled. För att räkna på muddringsarbetets utsläpp gjordes en uppskattning av andelen av de olika fyllningsmassorna, se tabell 3.3.

Tabell 3.3: Andel av olika material som använts som fyllningsmassa

Fyllningsmassa	Volym (m3)	Andel
Lermorän	21 919	50%
Kalixpinmo	10 960	25%
Vittrat kalkberg	10 960	25%

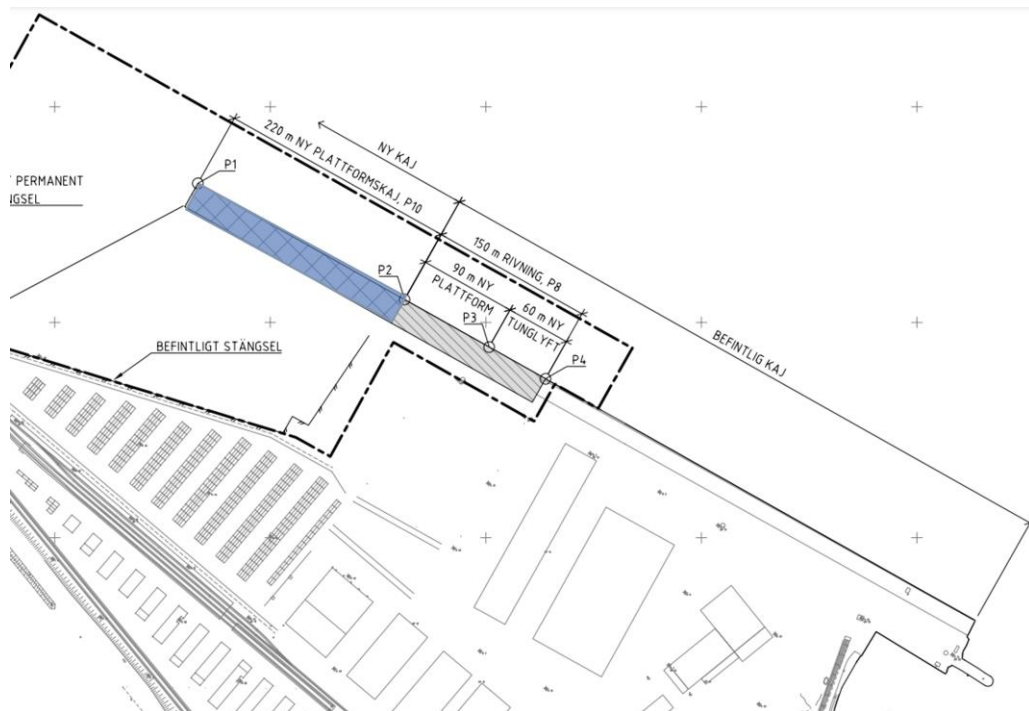
3.2 Norrköpings hamn - påldäckskaj

Norrköpings hamn AB beslutade att bygga ut Pampushamnen på Händelö vilket är beläget öster om Norrköping och syftet var att utöka verksamheten och förlänga befintlig containerkaj. Figur 3.6 visar en bild, tagen under byggskedet av utbyggnationen av Pampushamnen.



Figur 3.6: Bild från byggskedet utbyggnation Pampushamnen. Källa: PEAB. Hämtad 2023-01-02.

Utbyggnationen är uppdelat i tre deletapper: en tunglyftskaj, längd 60 meter, samt en plattformskaj på 310 meter vilket är uppdelat i två deletapper: 220 meter respektive 90 meter. I denna utredning studeras endast delsträckan 220 meters kajen som referensprojekt. Figur 3.7 visar en översiktsplan av utbyggnationen, där det blåmarkerade området är den delsträcka som studeras i projektet.



Figur 3.7. Översiktsplan utbyggnation Pampushamnen, område markerat med blått är den deletapp som studeras i analysen. Källa: Ramboll Sweden AB.

3.2.1 Miljö och geotekniska förutsättningar

Kajen dimensioneras för en teknisk livslängd på 100 år. Exponeringsklasserna för påldäckskajen är XF4 och XS3 utifrån riktlinjerna i SS-EN 1992-1-1:2005 (SIS, 2014). Exponeringsklass XF4 innebär att konstruktionen är mycket utsatt för vatten med tölsalter. Kajen befinner sig i skvalpzonen med saltvatten samt är utsatt för frysning. XS3 innebär att konstruktionen är utsatt för korrosion orsakat av klorider från havsvatten.

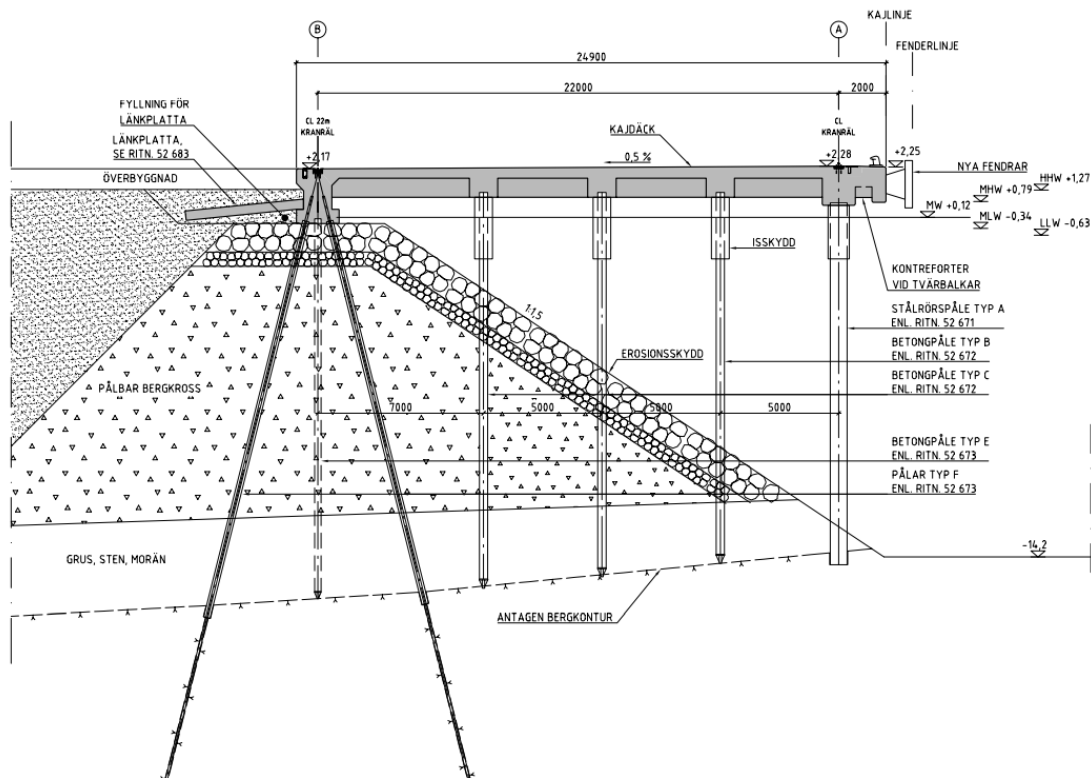
De geotekniska förhållandena har utifrån tidigare geotekniska undersökningar tolkats av Bredenberg teknik (2017) och följande citat är refererat från geotekniskt PM Pampus: ”Underst finns berg, ofta nedslipade hällar. Däröver påträffas ofta block och sten, sedan grus som övergår i sand. Över sanden finns ofta skiktade jord i form av omväxlande silt- respektive lerlager, [...]” (Ramboll Sweden AB, 2021).

Jordlagerföljden i Pampushamnen redovisas i tabell 3.4.

Tabell 3.4: Jordlagerföljd. Källa: Ramboll Sweden AB.

Jordlagerföljd	Nivå överkant lager [m]
Fyllning av bergkross	Varierar mellan +0 och -12
Morän	-12
Berg	-14

Ungefärliga marknivåer för den befintliga kajen är +2 m och havsbotten är beläget -14 m, vilket medför att kajdjupet är cirka 16 m. Nivån för fyllningen som består av krossat berg varierar enligt figur 3.8 där den har en antagen lutning på 1:1.5.

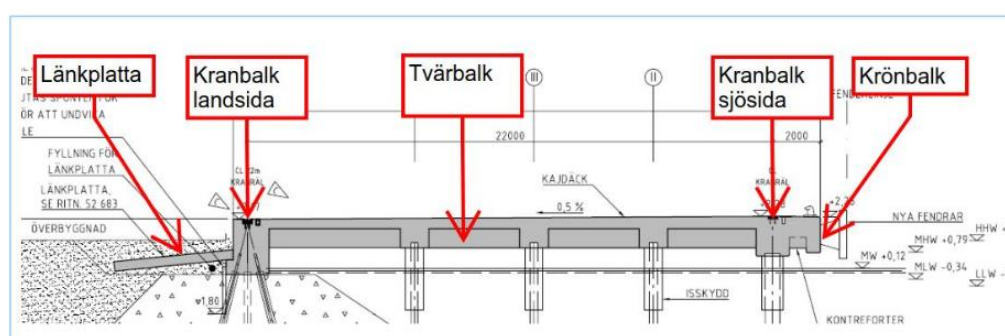


Figur 3.8. Typsektion påldäckskaj, deletapp 220 m. Källa: Ramboll Sweden AB.

3.2.2 Konstruktion och material

Kajen består av ett kajdäck som vilar på ett system av längd- och tvärbalkar, som i sin tur vilar på pälarna. De delarna som ingår i denna studie är de bärande konstruktionsdelarna vilket är kajdäcket och pälarna.

Kajdäcket består av prefabricerade plattor, platsgjuten plattform, länkplatta, kranbalkar, tvärbalkar samt en krönbalk. Pälarna delas in i två huvudtyper: betongpälarna som prefabriceras, samt stålrörspälarna som fylls med betong. Figur 3.9 illustrerar vart de olika balkarna befinner sig i konstruktionen. Utöver dessa delar finns det också en vall av bergkross längs strandlinjen.



Figur 3.9: Benämning på balkar. Källa: Ramboll Sweden AB.

Påldäckskajen utgörs till störst del av betong som antingen är platsgjuten eller prefabricerad. De komponenter som beaktas i betongen är cement, armering och ballast. För stålrörspälarna tillverkade av SSAB skiljer sig utsläppen från A1-A3 något beroende på pälens storlek. SSAB har därför valt att dela upp stålrörspälarna i två kategorier:

- Macropiles: diameter större än 406 mm.
- Micropiles: diameter mindre än 324 mm.

De olika materialens vikt som använts i referensprojektet redovisas i tabell 3.5. Dessa mängder är beräknat utifrån referensprojektets ritningar samt mängdförteckning.

Tabell 3.5: Materialåtgång vid byggandet av referensprojekt påldäckskaj.

Material	Vikt [ton]
Betong	17 465
Armering	857
Micropiles	42
Macropiles	304
Minova stag	29
Bergkross	97 240

Mängden ballast i betongen estimeras vara cirka 80% av den totala volymen (Swedish Concrete Association, u.d.). För estimering av cementinnehållet i betong utgår man

från de hållfasthetsklasser som de olika betongprodukterna skall upprätthålla i projektet. I tabell 3.6 redovisas cementhalter för olika hållfasthetsklasser i referensprojekt pådäckskaj. Densiteten refererar till den uppskattade totala densiteten för betong.

Tabell 3.6. Cementhalter för respektive hållfasthetsklass i referensprojekt pådäckskaj.

Betong	Volym [m3]	Cementhalt [kg/m3]	densitet [kg/m3]	Hållfasthets-klass	dmax [mm]
Plattform	6400	440	2300	C40/50	25
Stålrörspålar	726	490	2300	C40/50	8
Betongpålar	467	560	2300	C50/60	8

4 Beräkningsgång

Detta kapitel beskriver beräkningsmetodiken för analysen och utgår från de tidigare nämnda mängder material från referensprojekten samt metoden beskrivet i kapitel 1.3. De antaganden som görs diskuteras vidare i kapitel 6.

4.1 Beräkning i skede A1-A3

Tabell 4.1 visar de olika materialens CO₂-ekv utsläpp som används i beräkning för skede A1-A3 samt vilka EPD:er som använts som källa. Tabellen visar även vilka material som användes i respektive projekt, markerat med "x". För produktionen av grus i skede A1-A3 för fyllnadsmaterial och ballast i betongen har samma värde antagits, dvs 10 kg CO₂-ekv/ton.

Tabell 4.1. Global warming potential (GWP) för respektive material, skede A1-A3.

Material	[kg CO ₂ ekv/ton]	Påldäckskaj	Spontkaj	Källa
CEM 1	873	x	x	(Heidelberg Materials, 2019)
Ballast, bergkross	10	x	x	Ecoinvent gravel production, crushed, RoW.
Armering	473	x	x	(Steel reinforcement, 2021)
Stålspont	937		x	(ArcelorMittal, 2016)
Ankringsstag	1136		x	(Ischebeck titan, 2023)
Stag	1150		x	Antagande
Konstruktionsstål	1150		x	(Tibnor AB, 2020)
Macropiles/Micropiles	2470/2370	x		(SSAB, 2020)
Självborrhande stag	2190	x		(Minova, 2020)

4.2 Beräkning i skede A4

För skede A4 så delas beräkningen upp i utsläpp från lastbilstransporter och utsläpp från muddringsfartyg. Transporterna för de olika kajerna antas ske med likadana villkor och förhållanden eftersom de ska vara jämförbara. Transportsträckan från material till byggarbetsplats antas vara 50 km för alla materialdelar för båda referensprojekten.

Densiteten för de olika materialen redovisas i tabell 4.2. Densiteten är en betydande parameter för beräkning i skede A4 eftersom man där utgår från materials vikt.

Tabell 4.2 Densitet för de olika materialen

Materialtyp	Densitet [t/m ³]	Källa
Betong (oarmerad)	2,3	Heidelberg Materials
Bergkross 0–16 mm (ballast)	1,7	Svenska miljöinstitutet (IVL)
Betongkross	1,7	Svenska miljöinstitutet (IVL)
Stålrörspålar	7,85	Ramboll Sweden AB
Armering	7,85	Ramboll Sweden AB

4.2.1 Utsläpp för lastbilstransporter

Eftersom utsläpp från transport i skede A4 är en okänd variabel har två olika sätt av att räkna på tagits fram. För att båda alternativen ska vara jämförbara så sattes den genomsnittliga lastfaktorn densamma för båda alternativen.

I denna studie antogs körsträckan vara 50 km från tillverkare som en uppskattning för båda referensprojekten. Beroende på materialtyp och val av leverantör kan körsträckan variera i verkligheten.

4.2.1.1 Alternativ 1

Första alternativet för att beräkna utsläpp från transport gick ut på att använda Ecoinvents databas och använda generiska data för utsläpp med lastbilstransport. Den utvalda typen av transport är lastbilstransport av Euro IV, 16–32 ton. Denna parameter beaktar hela transportens livscykel från utvinning av diesel till lastbilens reservdelar. Nedan visas tabell 4.3, över de ingående parametrarna för beräkningsalternativ 1. Den genomsnittliga lastfaktorn i detta beräkningsalternativ är redan inräknat i parametern ”Ecoinvent | Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO4” och är 5,79 ton.

Tabell 4.3. Ingående parametrar för beräkning av utsläpp från transporter med lastbil, alternativ 1.

Data	Värde	Källa
Transportsträcka tur/retur	50/50 km	Antagande
Lastbilstyp	Euro IV	Antagande
Utsläpp	0,186 kg CO ₂ -ekv/ton*km	Ecoinvent Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO4
Genomsnittlig lastfaktor	5,79 ton	Ecoinvent Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO4

4.2.1.2 Alternativ 2

För alternativ 2 används ett annat tillvägagångssätt för beräkning av utsläpp från transporter för de två projekten. Detta alternativ baseras på andra parametrar från Ecoinvent som i detta fall utgår från mängden förbrukad diesel från lastbilarna. Tabell 4.4 nedan visar de ingående parametrarna för att beräkna CO₂-ekv utsläpp från lastbilstransporterna för alternativ 2. Här sätts den genomsnittliga lastfaktorn densamma som för alternativ 1, dvs 5,79 ton.

Tabell 4.4. Ingående parametrar för beräkning av utsläpp från transporter med lastbil, alternativ 2.

Data	Värde	Källa
Transportsträcka tur/retur	50/50 km	Antagande
Lastbilskapacitet	16-32 ton	Antagande
Lastbilstyp	Euro IV	Antagande
Dieselförbrukning	2,7 liter/mil	(Volvo AB, 2019)
Densitet diesel	0,84 kg/liter	(Preem AB, 2022)
Genomsnittlig lastfaktor	5,79 ton	Ecoinvent Diesel, burned in building machine
Omräkningsfaktor	1 kg diesel = 45 MJ	Ecoinvent Diesel, burned in building machine
Utsläpp	0,0938 kg CO ₂ -ekv/liter diesel	Ecoinvent Diesel, burned in building machine

4.2.2 Utsläpp från muddringsarbete

För beräkning av utsläpp från muddringsarbete behövdes en annan metod eftersom Ecoinvent inte tillhandahåller data för koldioxidutsläpp från muddringsarbete.

Vid muddringsarbete, som innefattar både grävning och transport till arbetsplats togs ett riktvärde fram genom kontakt med rederiet Hakan Dredging Company AB som under 2005 genomförde arbete i Trelleborgs området. Enligt Birger Gulle (personlig kommunikation, 28 februari 2023) så hade de stött på sediment och lermorän i övre jordlager som kunde uppskattas förbruka en liter diesel per kubik för att utvinna. Under det fanns kalixpinmo och vittrat kalkberg som var mer utmanande på grund av deras hårdhet och krävde upp emot tre respektive fyra liter diesel per kubik. I snitt så blev utsläppet 7,98 kg CO₂-ekv per kubik. Trots att arbetet utfördes så tidigt som år 2005, så är fartyget aktivt än idag vilket ger ett representativt värde på muddringsarbeten som sker än idag. Tabell 4.5 visar dieselförbrukningen för muddringsarbeten för olika jordlager.

Tabell 4.5: Dieselförbrukning för muddringsarbete för olika jordlager.

Jordlager	Dieselförbrukning [liter/m ³]
Lermorän	1
Kalixpinmo	3
Vittrat kalkberg	4

För att konvertera förbrukad diesel från muddringsfartyget till CO₂-ekv användes det riktvärde från Ecoinvent som användes vid beräkning av utsläpp från lastbilstransporter i alternativ två, vilket motsvarar ungefär 3,5 kg CO₂-ekv per liter förbrukad diesel.

4.2.3 Dimensionerad livslängd

De två referensprojekten spontkaj och påldäckskaj har olika tekniska livslängder. Spontkajen har en livslängd på 50 år medan påldäckskajen har en på 100 år vilket har en betydande påverkan vid jämförelse. Om ett objekt har en kort livslängd och måste bytas ut ofta kan det resultera i ökad miljöpåverkan genom ökad resursanvändning, tillverkning- och transportprocesser samt avfallshantering. Det är viktigt att inkludera livslängden för objekt i en livscykelanalys eftersom det kan påverka dess totala miljöpåverkan.

4.3 Känslighetsanalys

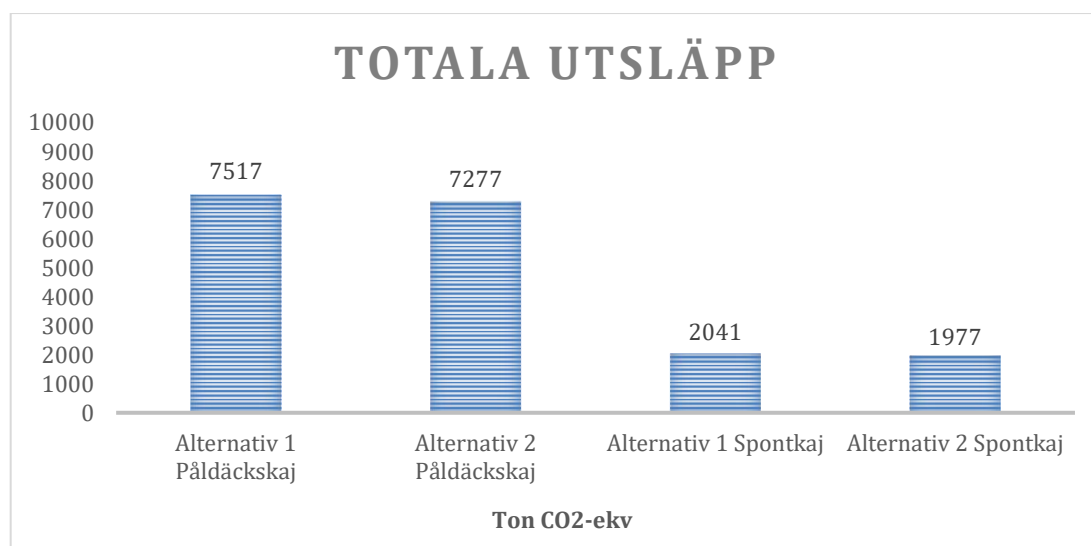
I arbetet utfördes även en känslighetsanalys för att kunna resonera och bedöma metodens trovärdighet. Denna känslighetsanalys handlar om att studera hur resultatet påverkas utifrån vad man ansätter för värden på ingående parametrar. I denna studie är resultatet från skede A4 det mest osäkra. För att analysera transportskedet justerades dess ingående parametrar, transportsträcka och dieselförbrukning från muddringsarbete. För transportsträckan så jämfördes 50 km körsträcka med 250 km. För muddringsarbetet så jämfördes den ursprungliga fördelningen av dieselförbrukning med två andra scenarion, ett med 1 liter/m³ för all muddringsmassa och ett annat med 4 liter/m³ för all muddringsmassa. Detta gjordes för att se hur stort CO₂-ekv utsläppet kunde variera, och hur det kunde påverka det totala resultatet.

5 Resultat

I detta kapitel så redovisas resultatet i tre delar. I den första delen presenteras de två kajtypernas utsläpp på olika sätt. Andra delen fokuserar på vad för material som har bidragit till störst klimatpåverkan i tillverkningskedet. Tredje och sista delen tar upp de material som har identifierats som mest klimatbelastande och hur stora företag jobbar på att skapa en hållbar produkt och samtidigt minska på dess utsläpp.

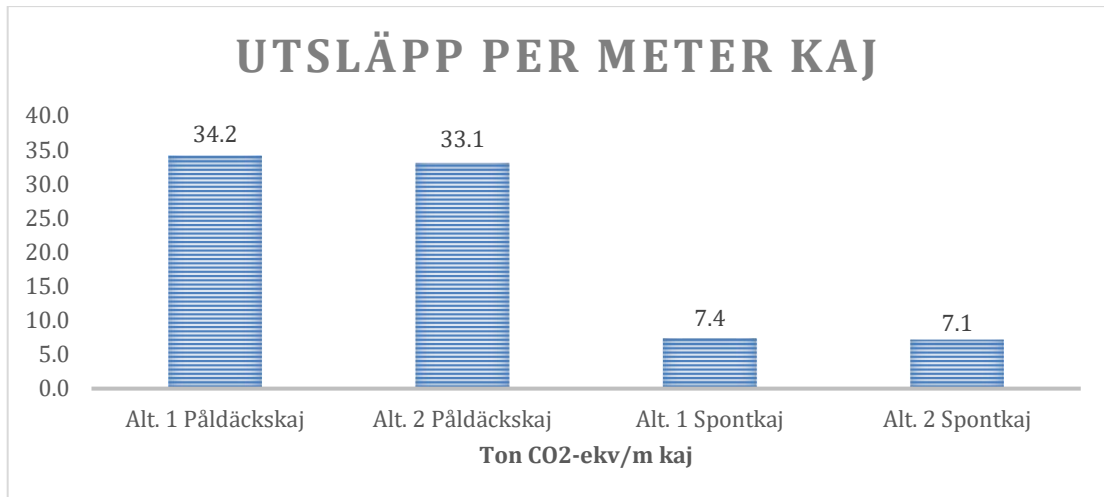
5.1 Vilken kajtyp har störst klimatbelastning?

I figur 5.1 illustreras den totala klimatbelastningen för referensprojekten (GWP) där varje stapel visar mängden utsläpp av CO₂-ekvivalenter i ton. Enligt resultatet visar det sig att en pådäckskaj har en avsevärt högre klimatbelastning än en spontkaj. I figur 5.1 framgår det att totala utsläppet för pådäckskajen blir 7517 ton CO₂-ekv, medan spontkajen har 2041, om man studerar alternativ 1. För alternativ 2 är totala utsläppet 7277 respektive 1977 ton för kajerna.



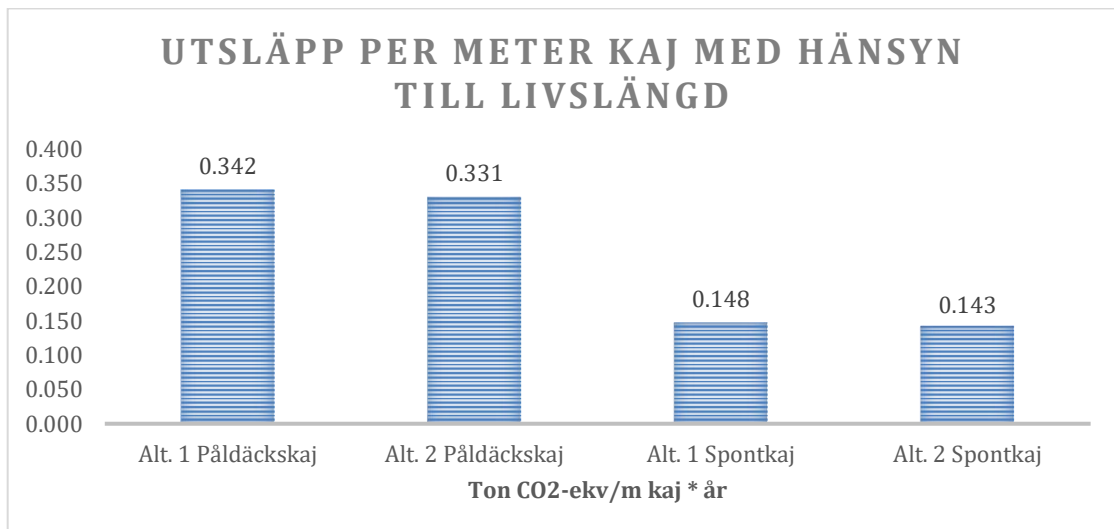
Figur 5.1: Totala CO₂-ekv utsläpp för respektive kaj, alternativ 1 & 2.

För att kunna sätta detta i perspektiv studeras klimatbelastningen för kajerna i relation till deras längd. Därför beräknades utsläppen av CO₂-ekv per meter kaj för de två referensprojekten. Resultatet presenteras i figur 5.2 där man kan se att pådäckskaj och spontkaj har ett CO₂-ekv utsläpp på 34,2 respektive 7,4 ton CO₂-ekv per meter för alternativ 1, och 33,1 respektive 7,1 ton för alternativ 2.



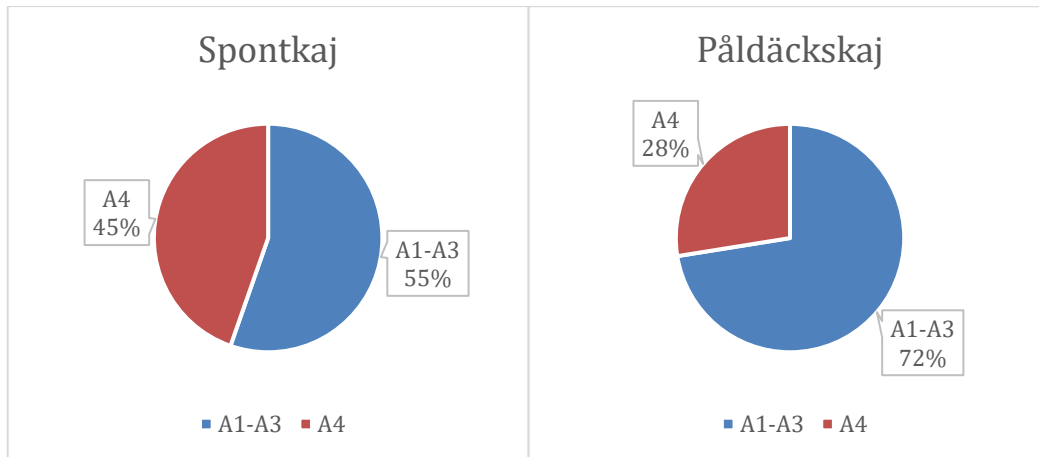
Figur 5.2: Utsläpp per meter kaj, alternativ 1 & 2.

Figur 5.3 visar utsläppet per meter kaj då man tar hänsyn till kajernas livslängd. Denna jämförelse visar en "fördelning av utsläpp per år" vilket innebär en division av det totala utsläppet för kajerna med antal år som är dess tekniska livslängd. Livslängderna för påldäckskaj och spontkaj är 100 respektive 50 år. Resultatet visar att påldäckskaj inte har lika stort utsläpp i förhållande till spontkajen jämfört med föregående resultat som inte inkluderar beräkning med hänsyn till livslängd.



Figur 5.3: Utsläpp per meter kaj med hänsyn till livslängd för alternativ 1 & 2.

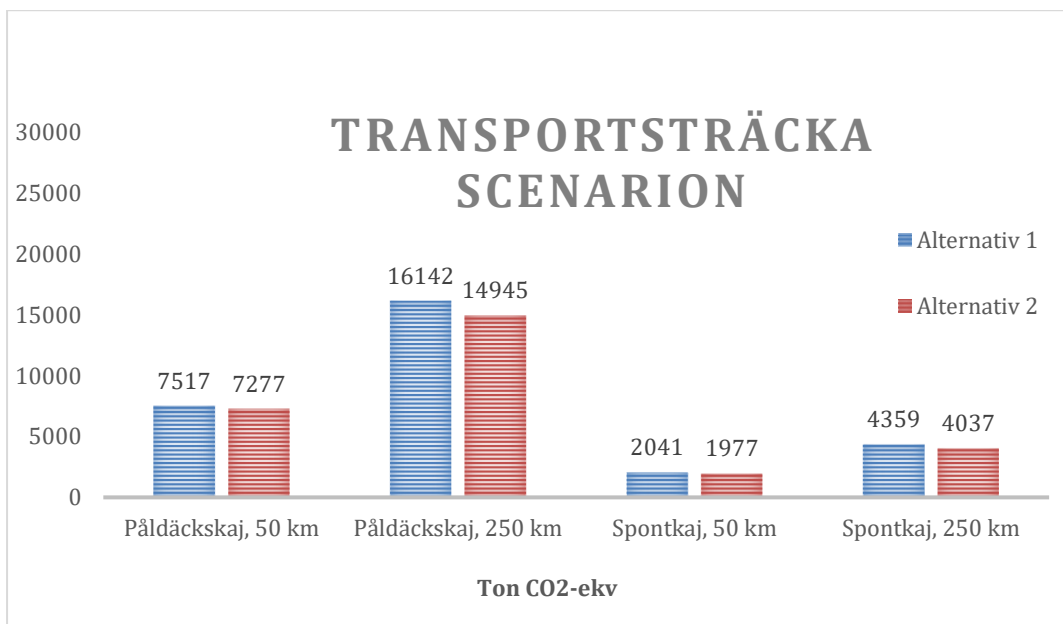
Den största delen av utsläppen inträffade i A1-A3 för båda kajtyperna. Fördelningen av utsläppen i de olika skederna för kajtyperna visas i figur 5.4 och 5.5 nedan, där produktionen av råmaterial står för 72% av utsläppen i påldäckskajen och 45% i spontkajen.



Figur 5.4 & 5.5: Andel av CO2-ekv utsläpp för respektive skede. A4 beräknat som medelvärde av de två beräkningsalternativen.

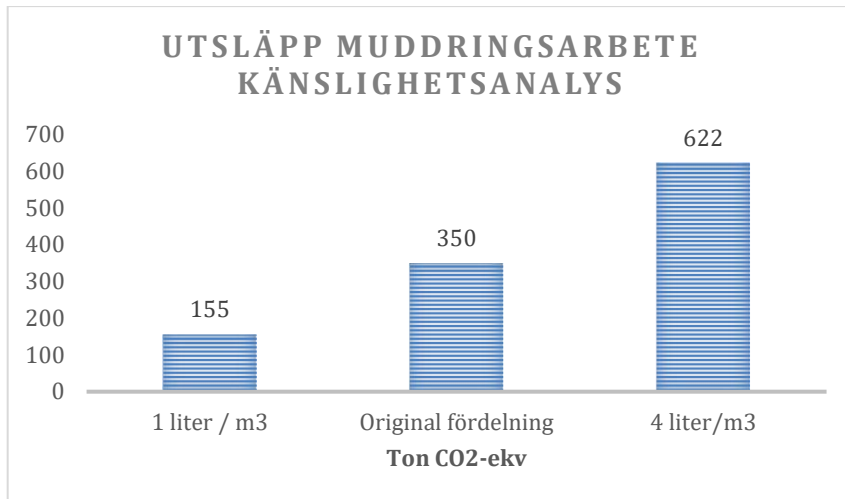
5.1.1 Känslighetsanalys

Figur 5.6 nedan visar resultatet från känslighetsanalys av transportsträckan. Det totala utsläppet för båda kajerna ökade med ungefär det dubbla då transportsträckan sattes till 250 km.



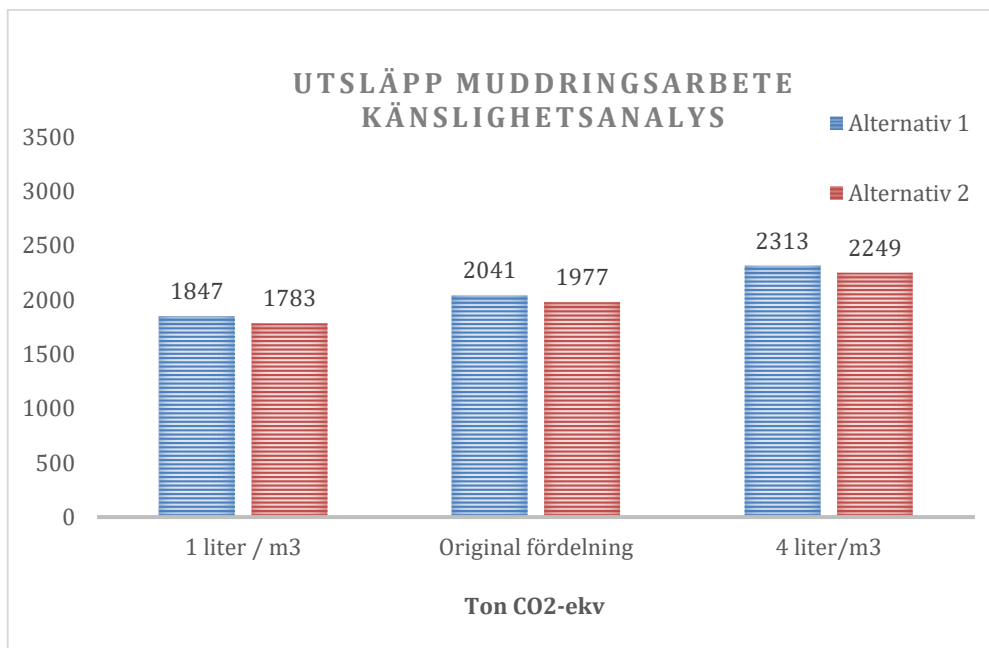
Figur 5.6: Totala CO2-ekv utsläpp för respektive kajer, vid 50 km och 250 km transportsträcka.

Resultatet av känslighetsanalysen för dieselförbrukningen för enbart muddringsarbetet visas i figur 5.7. Originalfördelning av dieselförbrukningen utgår från det primära resultatet där man räknade på olika dieselförbrukning beroende på jordlager, för mer ingående förklaring se kapitel 4.



Figur 5.7: CO2-ekv utsläpp från muddringsarbetet vid olika scenarion för dieselförbrukning.

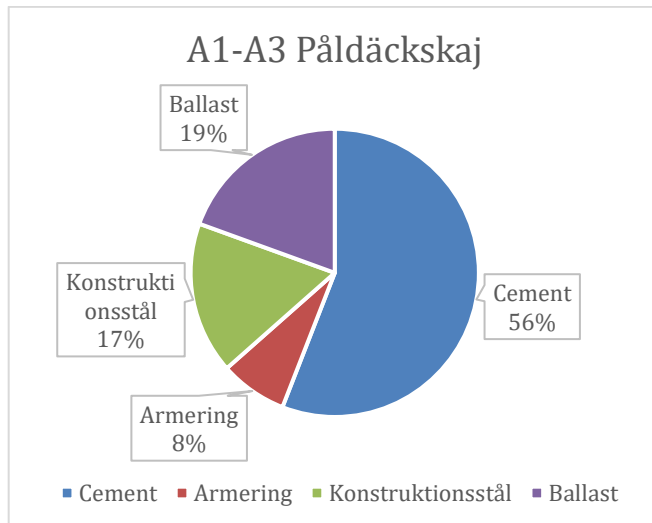
Figur 5.8 visar hur CO2-ekv utsläppet varierar i relation till det totala utsläppet för byggandet av spontkajen vid olika scenarion av dieselförbrukning från muddringsarbetet, för alternativ 1 och 2.



Figur 5.8: Totala CO2-ekv utsläpp för olika scenarion av dieselförbrukning från muddringsarbetet, för beräkningsalternativ 1 & 2.

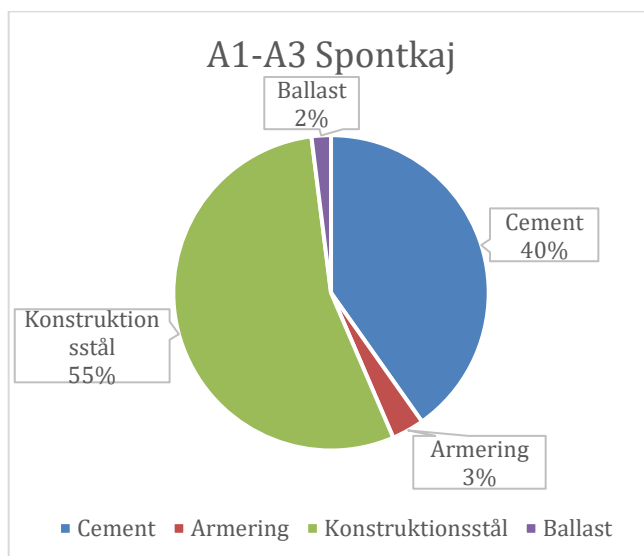
5.2 Vilka material bidrar mest till klimatpåverkan?

I figur 5.9 kan man se att den största andelen av utsläppen i pådäckskajen kommer från tillverkningen av cementet vilket står för 56% av de totala utsläppen i skede A1-A3. Utöver cementet är det produktionen av ballasten som utgör bergvallen som är den nästa största källan till utsläpp, följt av konstruktionsstålet som används i rörpålar och ankarstag. Utsläpp från produktionen av ballasten och konstruktionsstålet är 19% respektive 17%.



Figur 5.9: CO₂-ekv utsläpp för skede A1-A3 i pådäckskajen.

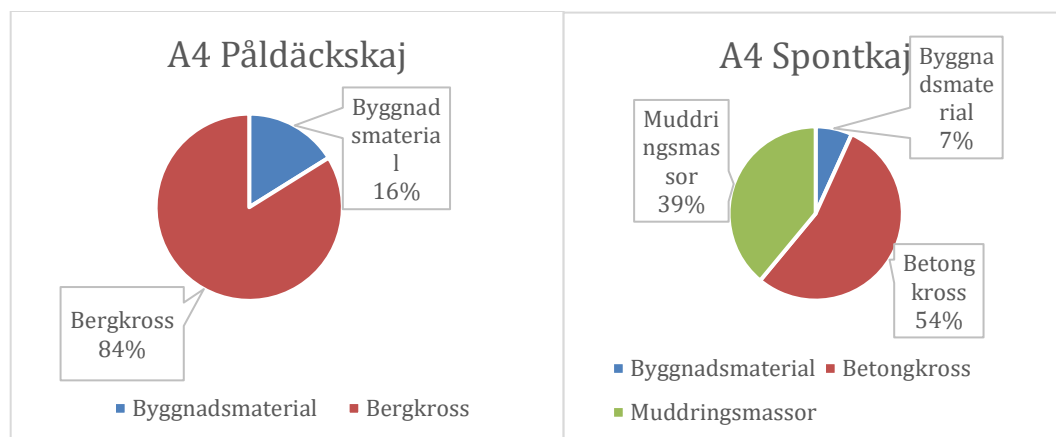
De material som släpper ut mest växthusgaser i en spontkaj är det varmvalsade spontstålet som bidrar med 55% av totala utsläppen i skede A1-A3 enligt figur 5.7. I krönbalken på spontkajen och 6 förankringsplattor av betong resulterar i ett utsläpp på ungefär 445 ton CO₂-ekv vilket är endast marginellt lägre än utsläppen från spontstål.



Figur 5.10: CO₂-ekv utsläpp för skede A1-A3 i spontkajen.

Figur 5.11 och 5.12 visar fördelningen av CO₂-ekv utsläppen med hänsyn till materialdelarna för de två kajtyperna, här är sammanställningen förenklad då kategorin byggnadsmaterial inkluderar allt material som inte är bergkross eller muddringsmassor. Resultatet visar att den största delen av utsläppen i skede A4 för

påldäckskajen kommer från mängden bergkross som transporteras till byggarbetsplatsen. För spontkajen så står muddringsarbetet för 39% av utsläppen i skede A4.



Figur 5.11 & 5.12: CO2-ekv utsläpp för skede A4.

5.3 Vad är industrins strategier för att minska utsläppen?

De material som identifierats i tidigare fråga är cementet i betong, konstruktionsstål samt transporten av stora mängder av fyllningsmassor. I detta avsnitt så har information från olika företags färdplaner sammanställts för att besvara hur de jobbar på att minska utsläppet från deras produktion för att i sin tur kunna uppnå uppsatta miljömål.

5.3.1 Stålindustrin och SSAB

I dagens samhälle står stål- och järnindustrin för ca 7–9 % av de totala koldioxidutsläppen globalt sett (Janse, 2021). Detta beror på hur tillverkningsprocessen av järnmalm ser ut då utvinningen av järnmalm genererar stora mängder koldioxid i luften eftersom man använder kol som reduktionsmedel för att omvandla järnoxid till järn (Escobar-Jansson, 2021).

Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology även förkortat HYBRIT är ett projekt i samarbete med SSAB, LKAB och Vattenfall som startades 2016 och syftet med detta projekt är att reducera järn- och ståltillverkningens koldioxidutsläpp genom att ersätta kol och koks med vätgas som reduktionsmedel i stålproduktionen (SSAB, u.d.). Vad som ligger till grund för att denna metod ska vara fossilfri är att tillverkningsprocessen av vätgasen som används också ska vara fossilfri. Elektrolys är en metod för grön vätgas, vilket innebär att man spjälkar vatten med hjälp av fossilfri el (Naturskyddsföreningen, 2023).

SSAB:s plan är att genom HYBRIT-teknologi implementera fossilfri produktion på marknaden senast år 2026. En anläggning i Luleå är redan i drift där man har implementerat metoden vätgasreduktion (SSAB, u.d.). De utmaningar som finns inom arbetet mot fossilfri stålproduktion är att det i dagsläget är dyrt och energikrävande

process att använda vätgas i stället för kol och koks, eftersom framställningen av vätgas är en relativt ny teknologi som fortfarande är under utveckling. Metoden med vätgasreduktion i sig är också en ny metod som står inför många tekniska utmaningar vilket resulterar i en dyr process.

5.3.2 Anläggningscement

Cementa AB, som nu bytt namn till Heidelberg Materials Cement Sverige AB är Sveriges ledande företag inom cementtillverkning och har en färdplan för att nå netto noll i koldioxidutsläpp vid 2045. Företagets strategi är att implementera flera olika åtgärder som tillsammans ska kunna minska koldioxidutsläppet från både produktionen och transporten av cement (Heidelberg Materials, u.d. , a). För tillverkning av cement kan utsläppet delas in i två delar. Ena delen är omvandlingsprocessen som står för omkring 2/3 av utsläppet. Den andra delen är förbränning av bränslen i produktion samt i transport till kund som står 1/3 av utsläppet.

I förbränningsprocessen vill företaget fasa ut fossila bränslen för att successivt övergå till biobränsle (Heidelberg Materials, u.d. , a). På sikt är även målet att kunna elektrifiera de termiska processer som krävs för att omvandla kalksten till cementklinker vilket även skulle energieffektivisera produktionen. En del av förbränningen kommer även från att transportera cementet till kunder. Därför planerar företaget att stegvis gå över till biodrivmedel eller elektrifiera transporter för att minska klimatpåverkan. Ytterligare en del av hållbarhetsarbetet kring transporter är att effektivisera logistiken genom att optimera färdruter och planera körningar för att minska på transportens utsläpp.

I produktionen där två tredjedelar av utsläppet kommer från omvandlingen kan ej åtgärder såsom övergång till biobränslen eller elektrifiering vidtas. För att nå klimatmålen har företag förhoppningar om att implementera Carbon Capture and Storage (CCS), vilket är en teknik som handlar om att avskilja koldioxid i omvandlingsprocessen och lagra det djupt i berggrunden där det kan omvandlas till en mineral (Heidelberg Materials, u.d. , b).

En del av arbetet för omställning till klimatneutralitet är tillverkning av en mer hållbar Anläggningscement. Genom en övergång från CEM I som är ren portland cementklinker, till Anläggningscement FA som består av 82% cementklinker, 14% flygaska och 4% kalksten (Heidelberg Materials, u.d. , c). Totalt utgör 18% av det nya anläggningscement av klinkersersättande material vilket reducerar utsläppet och hjälper till att minska cementanvändning av den begränsade resursen.

5.3.3 Skanskas hållbarhetsstrategi för insatsmaterial

Utifrån resultatet i denna studie visade det sig att insatsmaterial såsom grus och kross står för ett stort utsläpp på grund av den omfattande mängden som behövs i infrastrukturprojekt. En del av arbetet med att främja hållbarhet inkluderar att reducera utsläppen från tillverkningsprocesser samt transporten av material. Sveriges industri som helhet står för cirka en tredjedel av landets koldioxidutsläpp, varav 60% kommer från bränsleanvändning (Naturvårdsverket, 2020).

Bränsleutsläpp sker främst vid transport till kunder, maskineri i framställningsskedet och maskinanvändning ute på byggarbetsplatser. För att åtgärda de höga utsläppen från bränslekonsumtion väljer företag att använda sig av förnyelsebara energikällor såsom sol, vind och vatten för att driva sina fabriker i ett försök att få en mer stark hållbarhet (Skanska, 2021a). Alla fabriker lyckas inte driva på flödesresurser utan fabriker kan även behöva använda sig av fondresurser såsom pellets och raps för att driva sin produktion på grund av olika geografiska utmaningar.

För att minska på utsläpp från transporter och uppnå miljömål har Skanska valt att strategiskt placera ut sina fabriker för att kunna minska transportsträckorna och därav minska utsläppen av dessa växthusgaser (Skanska, 2022). De har även infört samordnade transporter för att både kunna leverera fyllningsmassor till byggen och ta med sig ett returlass från samma eller närliggande område vilket leder till minskade transportsträckor. Återvinningsmöjligheter utgör en viktig del av hållbarhetsarbetet, då de möjliggör återanvändning av material från gamla projekt som annars skulle ha avlägsnats och deponerats. Genom att transportera tillbaka returlaster, inklusive material som gammal asfalt och betong, kan dessa användas i nya projekt och bidra till att minska behovet av nytt material och avfallsdeponering. Detta medför att företaget kan jobba med stark hållbarhet genom att minska brytningen av nya material och övergå från ett linjärt materialflöde till mer cirkulärt materialflöde.

5.3.4 Sammanfattning över strategierna

- Konstruktionsstål - HYBRIT-projektet syftar till att minska utsläppen genom att använda fossilfri vätgas i stålproduktionen som ska drivas av grön el. SSAB planerar att vara fossilfritt senast 2026, men tekniken är fortfarande under utveckling och kostsam.
- Cement - Heidelberg Materials Cement Sverige AB strävar efter netto noll koldioxidutsläpp senast 2045. De implementerar flera åtgärder för att minska utsläppen från cementproduktion och transport, inklusive övergång till fossilfria bränslen, elektrifiering av processer och transporter, och implementering av avskiljning och lagring av koldioxid från omvandlingsprocessen (CCS).
- Ballast - För insatsmaterial såsom krossprodukter så arbetar Skanska för att minska utsläppen genom att fokusera på förnybar energi, strategiska fabriksplaceringar, samordnade transporter och återvinning av material för att främja cirkulärt materialflöde.

6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten baserat på olika aspekter som kan påverka resultaten och syftet med denna diskussion är att resonera om trovärdigheten av resultaten och hur antaganden som gjorts kan påverka det slutliga resultatet. Förslag på vidare studier lyfts även fram i detta kapitel.

6.1 Osäkerheter kring antaganden och val av metod

Resultatet från dessa typer av beräkningar kan variera beroende på vad för antaganden som görs. Syftet med denna diskussion är att resonera kring trovärdigheten av resultatet samt hur de olika antaganden kan påverka slutresultatet.

6.1.1 Vikt i skede A4

Eftersom transportsträckorna är lika för samtliga material i båda referensprojekten, är den avgörande faktorn vikten på allt material som gör att utsläppen i skede A4 skiljer sig mellan referensprojekten. När utsläppen från lastbilstransporter från de olika projekten utifrån denna metod jämförs, så bidrar byggandet av påldäckskaj med större CO₂-ekv utsläpp eftersom den totala vikten av material är större än för spontkaj. Detta gör att analysens resultat skiljer sig ifrån det sanna resultatet eftersom de riktiga transportsträckorna till materialtillverkare är olika.

6.1.2 Muddring

En av de större okända klimatbelastningar är utsläpp från muddringsarbete som antagligen har större utsläpp av växthusgaser än beräknat. Det är på grund av val av räknemetod och okända faktorer i utförandet. Även utförandet av muddring kan ha påverkat resultatet eftersom det råder oklarheter. Exempelvis är det oklart om man kunnat använda hela toppskiktet av sediment eller om delar av materialet är miljöfarligt (Naturvårdsverket, u.d-b). I vissa omständigheter kan det vara nödvändigt att transportera och deponera material i stället för att använda det i projektet, vilket kan resultera i ökade arbetsinsatser och utsläpp relaterade till arbetet. Under sådana omständigheter ökar behovet av att utföra djupare muddringsarbeten för att kompensera för den mängd material som har deponerats, vilket resulterar i påträffande av svårare jordarter som kräver mer energi och bränsle för utvinning.

Dessutom finns det svårigheter att veta den exakt proportionen av de jordarter som finns i tabell 3.2, som användes i projektet. En möjlig orsak till ökade utsläpp kan härledas till användandet av större mängder hårda material som kan kräva ökad energi för bearbetning. Hårdare jordarter kan medföra högre arbetsinsatser och därmed högre bränsleförbrukning, vilket kan påverka utsläppsresultaten negativt. Ett exempel på detta är att byta ut 10 kubik av sediment till vittrat kalkberg vilket leder till en ökning av 10 liter diesel till 40 liter, en differens på 30 liter.

6.1.3 Transport

Ett antagande som har en stor påverkan på resultatet för de två kajerna är körsträckan till och från fabrik. I denna studie sattes körsträckan 50 km som ett riktvärde för båda referensprojekten och i verkligheten kan detta variera mellan kajerna. Exempelvis

framställs CEM I på Gotland vilket skulle resultera i längre transportsträcka än beräknat om man hade tagit detta i akt. Beroende på val av materialleverantör skiljer sig transportsträckorna och därmed utsläpp av CO₂-ekv.

6.1.4 Genomsnittlig lastfaktor

Hur mycket material man kan frakta per lass kan också variera. Enligt EPD från SSAB så antas lastkapaciteten för stålörspålar vara 37 % och i vår beräkning användes en genomsnittlig lastfaktor som motsvarade 5,79 ton. Lastkapaciteten har förmodligen att göra med att stålörspålar inte kan packas lika tätt som när exempelvis bergskross eller cement fraktas. Lastkapaciteten har en avsevärd påverkan på resultatet eftersom det är kopplat till antalet transportsträckor vilket i sin tur påverkar mängden förbrukad diesel.

6.1.5 Dieselförbrukning

I det verkliga fallet kan dieselförbrukningen skilja sig åt beroende på förhållanden såsom vilka typer av lastbilar som används, mängden material per lass. Det kan också variera beroende på vilken typ av material som fraktas, eller hur mycket tomgångskörning som förekommer i arbetet. I beräkningen antas ett konservativt värde på vad för typ av lastbilar som användes.

Vad som skiljer alternativ 1 från alternativ 2 är att alternativ 1 tar anspråk till hela dieseln livscykel från vagg till förbränning vilket beaktas i parametern ”Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO4”. Detta resulterar i ett något högre beräknat utsläpp jämfört med alternativ 2, eftersom alternativ 2 endast tar hänsyn till utsläpp vid förbränningsprocessen.

Som tidigare nämnt i kapitel 4 så skiljer sig beräkningen av aktiviteterna i skede A4 något. Vid lastbilstransporter inkluderas hela livscykeln för diesel, medan endast dieseln förbränning räknas med avseende på utsläpp från muddringsfartyget, vilket kan orsaka påverkan på resultaten.

6.1.6 Antagna cementhalter

Som man kan tolka från resultatet så står framställningen/produktionen av cement för den betydande mängd utsläpp i påldäckskajen. De cementhalter som antas i betongen har därmed en stor inverkan på resultatet. Beräkningen har satt ett konservativt värde för dessa cementhalter eftersom de ligger över de minsta rekommenderade halterna.

6.1.7 Val av EPD

Användning av olika materialtillverkare kan påverka resultatet eftersom EPD skiljer sig åt mellan olika materialtillverkare. Tillverkare, både inrikes och utrikes, arbetar under olika förutsättningar såsom geografiska skillnader, graden av återvinning och miljökrav. I detta arbete användes specifika EPD från kända företag men om andra tillverkare hade valts så kan man få varierande resultat.

6.2 Förslag på vidare studier

För vidare studier hade en fullständig LCA för båda referensprojekt kunnat genomföras där alla skeden inkluderas. Detta arbete har endast studerat det tidiga skedet och inte beaktat skede B som är användning eller skede C som är slutskede. Mycket uppstår även efter att konstruktionen står klar. I användningsskedet sker underhåll och reparationer som bidrar till ytterligare men även karbonatisering av betong som tar upp koldioxid från luften. I slutskedet C sker avfallshantering – alla ska rivs ner och transporteras bort. Det som hade varit av intresse är att i rivningsskedet utreda vilka möjligheter och begränsningar som finns gällande återvinning eller återanvändning av byggprodukterna, exempelvis hur stor del av konstruktionsstålet som kan återvinnas eftersom stålet korroderar med tiden. Med det sagt så finns det mycket mer att göra innan man får en fullständig bild av dessa två referensprojekt och kan göra en slutgiltig bedömning.

Ytterligare förslag på fortsatta studier är att utreda andra miljöaspekter än global uppvärmningspotential eller hur arbeten påverkar ekosystem. Det går även att fortsätta på arbetet genom att titta på samma typ av kaj, men för olika livslängder. Det har nämnts att om visionen är att minska på utsläppen, gäller det att bygga konstruktioner för att hålla länge. Men när det byggs är det alltid ett dilemma för hur lång den tekniska livslängden bör ansättas till eftersom många faktorer påverkar, såsom att det råder brist på information gällande om konstruktionen kommer att bli utdaterad med avseende på funktion och krav, eller få ett annat ändamål som kräver stora ombyggnationer eller demolering.

7 Slutsatser

Det är oerhört viktigt att börja ta hänsyn till miljöaspekterna vid planering och konstruktion av anläggningar. Genom tiderna så har företag och beslutfattare haft en tendens att prioritera ekonomiska och konstruktionsmässiga aspekter framför de miljömässiga aspekterna. Sett utifrån resultatet är att konstruktioner likt dessa har använt ofantliga mängder byggmaterial som även släpper ut stora mängder växthusgaser vilket har resulterat i en allvarlig påverkan på vår planet och klimat. Anläggningsprojekt likt de som jämförts i detta arbete har stora klimatavtryck och det finns många möjligheter att optimera anläggningar med miljövänliga strategi i åtanke.

Utifrån resultatet från utredningen står det klart att spontkaj är mer miljövänlig än påldäckskaj eftersom den har lägre klimatbelastning per meter kaj och år och detta stämmer för både alternativ ett och två. Uppskattningsvis så är en spontkaj hälften så klimatbelastande i det tidiga stadiet i jämförelse med en påldäckskaj. Ur ett miljöperspektiv så är därmed spontkaj att föredra vilket man bör ha i åtanke i projekteringsprocessen.

De material som bidrar mest till klimatpåverkan är cementet och ballast i påldäckskajen och det varmvalsade spontstålet i spontkajen. Fördelningen av utsläpp i olika skeden för de två kajtyperna visar att den största andelen av utsläppen inträffade i A1-A3 vilket är produktionsskedet för råmaterialen. Detta tyder på att det är viktigt att minska utsläppen i denna del av processen för att minska framtida projekts klimatpåverkan.

Vad som framgår utifrån resultatet i denna utredning är att transport till arbetsplats utgör en stor del av de totala utsläppen, och därför bör man om möjligt välja materialleverantörer som ligger geografiskt nära, för att på så vis minska på transportens klimatbelastning. I denna analys visade det sig att i anläggningsprojekt såsom spontkaj och påldäckskaj kan transport bidra till uppskattningsvis 28–45% av totala utsläppet från skede A1-A4 vilket betyder att det har stor påverkan. Detta beror på att man använder stora kvantiteter av insatsmaterial med förhållandevis låga utsläpp i produktionsskedet jämfört med utsläpp från transport till arbetsplats. Det är därför av stor vikt att öka den genomsnittliga lastkapaciteten genom att implementera olika åtgärder och därav minska transporters klimatbelastning. En annan möjlig åtgärd är att välja miljövänligare fordon såsom biodrivna eller eldrivna fordon för att minska på utsläppet.

Stål- och cementindustrin står för en betydande del av koldioxidutsläppen i båda referensprojekten och det krävs stora insatser för att uppnå Sveriges mål om att bli klimatneutrala. Stålindustrin arbetar med att implementera HYBRIT-teknologi för att ersätta nuvarande metod med vätgas som reduktionsmedel i stålproduktionen. Målet är att ha en fossilfri produktion vid 2026. Det finns även utmaningar med att implementera denna teknologi eftersom det är en dyr och mer energikrävande process. Cementindustrin arbetar också med att minska sina koldioxidutsläpp från produktion samt transport av cement. En del av arbetet handlar om att byta till anläggningscement FA som består av klinkersersättande material och att successivt övergå från fossila bränslen till biobränslen. För att minska utsläppen i omvandlingsprocessen planerar Heidelberg material att implementera Carbon Capture and Storage (CCS) för att avskilja koldioxid och lagra det djupt i berggrunden.

Sammanfattningsvis så är det viktigt att beakta miljöaspekterna vid planering och konstruktion av anläggningar för att minimera deras klimatpåverkan och bevara planeten. Genom att prioritera miljövänliga strategier, som att välja spontkaj istället för pådäckskaj och optimera transportlogistik, kan vi minska utsläppen och klimatbelastningen. Stål- och cementindustrin måste också göra betydande ansträngningar för att uppnå Sveriges mål om klimatneutralitet genom att implementera teknologier som HYBRIT och CCS. Genom att vara medvetna och fokusera på hållbara lösningar kan vi göra stora framsteg för att skydda miljön och klimatet.

8 Litteraturförteckning

- ArcelorMittal. (den 23 November 2016). *Hot rolled steel sheet piling*. Hämtat från [sheetpiling.arcelormittal.com](https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2022/06/AMCRPS_EPD_Hot_rolled_steel_sheet_piling_v3_20160125-web.pdf): https://sheetpiling.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2022/06/AMCRPS_EPD_Hot_rolled_steel_sheet_piling_v3_20160125-web.pdf den 9 Maj 2023
- Bergerson, J., & Lave, L. (2004). *Life Cycle Analysis of PowerGeneration Systems*. Carnegie Mellon Electricity Industry Center. Elsevier Inc.
- Boverket. (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Hämtat från [boverket.se](https://www.boverket.se): <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> den 21 Mars 2023
- Boverket. (2019b). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. Hämtat från [boverket.se](https://www.boverket.se): <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovardeklaration-for-byggprodukter-epd/> den 21 Mars 2023
- Boverket. (2023). *Indelning i säkerhetsklasser*. Hämtat från [boverket.se](https://www.boverket.se): <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/overgripande-bestammelser/indelning-i-sakerhetsklasser/> den 7 Maj 2023
- Ecoinvent. (u.d.). *Ecoinvent database*. Hämtat från ecoinvent.org: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/> den 21 Mars 2023
- Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L.-G., & Jelse, K. (2014). *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner*. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.
- Escobar-Jansson, H. (2021). *Råvaror*. Hämtat från [jernkontoret.se](https://www.jernkontoret.se): <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/ravaror/> den 25 April 2023
- European Council for Automotive R&D. (2020). *Attributional vs. Consequential LCA*. Hämtat från <https://www.eucar.be>: <https://www.eucar.be/wp-content/uploads/2020/08/20200820-EUCAR-Attributional-vs-Consequential-updated-2.pdf> den 6 Maj 2023
- Fossilfritt Sverige. (2018). *Fossilfritt Sverige*. Hämtat från fossilfrittssverige.se: https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/10/Fardplan_for_fossilfri_bygg_och_anlaggningssektor_20181228-1.pdf den 4 Maj 2023
- Heidelberg Materials. (den 6 Maj 2019). *Anläggningcement Slite*. Hämtat från [cement.heidelbergmaterials.se](https://www.cement.heidelbergmaterials.se): <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/anlaggningscementslite> den 9 Maj 2023
- Heidelberg Materials. (u.d. , a). *Färdplan Cement*. Hämtat från [cement.heidelbergmaterials.se](https://www.cement.heidelbergmaterials.se): <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/fardplancement> den 6 Maj 2023
- Heidelberg Materials. (u.d. , b). *Det här är CCS, a*. Hämtat från [cement.heidelbergmaterials.se](https://www.cement.heidelbergmaterials.se): <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/det-har-ar-ccs> den 6 Maj 2023
- Heidelberg Materials. (u.d. , c). *Anläggningcement FA*. Hämtat från [cement.heidelbergmaterials.se](https://www.cement.heidelbergmaterials.se): <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/anlaggningscement-fa> den 6 Maj 2023

- Ischebeck titan. (den Mars 1 2023). *CO2 footprint*. [finns i författarens ägo]. Hämtat den 9 Maj 2023
- Janse, G. (2021). *En jämförelse av strategier för minskning av växthusgasutsläpp i stålindustrin*. Lunds Tekniska Högskola, Miljö- och energisystem, Lund.
- Källfors, G. (2013). *Geoteknik*. Göteborg: Cremona.
- Minova. (den 11 December 2020). *Minova SDA system for self-drilling micropiles, soil nails & rock bolts*. Hämtat från geomek.se: http://geomek.se/wp-content/uploads/2021/04/MINOVA_EPD.pdf den 9 Maj 2023
- Naturskyddsföreningen. (2023). *Hur fungerar vätgas?* Hämtat från [naturskyddsföreningen.se](https://www.naturskyddsforeningen.se): <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vatgas/>
- Naturvårdsverket. (u.d-a). *Vägledning beräkna klimatpåverkan*. Hämtat från [naturvårdsverket.se](https://www.naturvardsverket.se): <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/> den 4 Maj 2023
- Naturvårdsverket. (u.d-b). *Förorenade sediment*. Hämtat från [naturvårdsverket.se](https://www.naturvardsverket.se): <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/forenaded-omraden/forenaded-sediment/> den 5 Maj 2023
- PEAB. (2020). *PM Geoteknik*. [finns i författarens ägo].
- Preem AB. (den 30 September 2022). *ACP Diesel*. Hämtat från [preem.se](https://www.preem.se): <https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfabc4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b7.pdf> den 23 Maj 2023
- Ramboll Sweden AB. (2021). *Geotekniskt PM Pampus*. [finns i författarens ägo].
- Skanska. (2021a). *Hållbarhet och miljö inom betong*. Hämtat från [skanska.se](https://www.skanska.se): <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/hallbarhet/> den 5 Maj 2023
- Skanska. (2022). *Hållbarhet och miljö inom grus och kross*. Hämtat från [skanska.se](https://www.skanska.se): <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/grus-och-kross/hallbarhet/> den 5 Maj 2023
- SSAB. (den 14 September 2020). *Steel piles*. Hämtat från [ssab.com](https://www.ssab.com): <https://www.ssab.com/en/download-center#q=epd%20steel%20piles&sort=%40customorder%20descending> den 9 Maj 2023
- SSAB. (u.d.). *HYBRIT-teknologin*. Hämtat från [ssab.com](https://www.ssab.com): <https://www.ssab.com/sv-se/fossilfri/hybrid-a-new-revolutionary-steelmaking-technology> den 25 April 2023
- Steel reinforcement*. (den 9 Februari 2021). Hämtat från [stenastal.se](https://www.stenastal.se): <https://www.stenastal.se/siteassets/hallbarhet/epd/epd-s-p-02630-steel-reinforcement-products-for-concrete-armering-stal-och-nat.pdf> den 9 Maj 2023
- Stockholms Hamnar. (2013). *Teknisk handbok projektering kajkonstruktioner*. [finns i författarens ägo].
- Svenska Institutet för Standarder. (2014). *SS-EN 1992-1-1:2005/A1:2014*. Hämtat från [sis.se](https://www.sis.se): <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/tekniska-aspekter/ssen1992112005a120142/>
- Svenska Institutet för Standarder. (2019). *SS-EN 15804:2012+A2:2019*. Hämtat från [sis.se](https://www.sis.se): <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/ovriga-aspekter/ss-en-158042012a22019/>
- Svenska kommunförbundet. (2003). *Kajko Kaj? Tillståndsbedömning av kommunala kajer*. Stockholm.

- Sweden Green Building Council. (2023). *Vad är BREEAM Infrastructure?* Hämtat från sgbc.se: <https://www.sgbc.se/vad-ar-ceequal/> den 5 Maj 2023
- Swedish Concrete Association. (u.d.). *Detta är betong*. Hämtat från betongföreningen.se: <https://betongforeningen.se/materialet-betong/> den 20 April 2023
- Tibnor AB. (den 23 November 2020). *Beams*. Hämtat från environdec.com: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/3d8106d0-e518-4c0b-bd31-5f61ebdb27f7/Data> den 9 Maj 2023
- Trafikverket. (2023). *Klimatkrav*. Hämtat från trafikverket.se: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/minskad-klimatpaverkan/klimatkrav/> den 5 Maj 2023
- Trelleborg hamn. (u.d.). *Utveckling av hamnen*. Hämtat från trelleborgshamn.se: <https://www.trelleborgshamn.se/svenska/projekt/utveckling-av-hamnen/>
- Volvo AB. (2019). Hämtat från volvotrucks.se: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/magazine-online/2019/sep/Business-Story-Spain.html> den 23 Maj 2023

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS