

# Analys av klimataffekter vid byggande och drift av en Öresundsmetro

2023-10-16

Beställargrupp, Malmö stad  
Leif Gjesing Hansen, Projektledare  
Magnus Persson, Strateg

Arbetsgrupp AFRY  
Agnes Kåregård, uppdragsledare  
Erik Malmström, utredare  
Camilla Fransson, utredare  
Jerry Lanka, grafik  
Klara Hallberg, granskare

## Sammanfattning

I denna rapport analyseras klimatpåverkan vid anläggning och drift av en borrhad Öresundsmetro mellan Malmö och Köpenhamn samt den klimatpotential som en överflyttning till mer hållbara transportmedel som en Öresundsmetro förväntas bidra till. Utgångspunkten för analysen är det befintliga förslaget till anläggning av en Öresundsmetro i en 26,1 km lång borrhad tunnel mellan Malmö C och Prøvestenen på den danska sidan av Öresund. En eventuell depå i Malmö ingår inte i analysen. Syftet är att ge en överblick över vilka möjligheter det kan finnas att minska klimatpåverkan under byggfasen genom att använda nya, klimatsmarta bygglösningar, men också att beskriva vilken potential som finns för klimatvinster för både person- och godstransporter över Öresund. Dessa förutsätts uppnås genom dels bättre kapacitet på befintlig Öresundsförbindelse, dels genom överföringspotential från biltrafik till kollektivtrafik över Öresund.

Öresundsmetron antas koppla an till den planerade metrolinjen M5 i Köpenhamn. En resa mellan centralstationerna i Malmö och Köpenhamn skulle med en Öresundsmetro ta cirka 20 minuter och få en turtäthet på upp till 40 tåg per timme och riktning. Befintlig regiontågstrafik antas fortsätta trafikera Öresundsbron. Öresundsmetron kommer att utgöra ett komplement till detta system.

Tidigare utredningar har studerat de miljömässiga för- och nackdelarna med olika lösningar för en metroförbindelse mellan Malmö och Köpenhamn. Slutsatsen är att miljöpåverkan lokalt runt Öresund skulle bli liten vid en borrhad tunnellsättning, medan en sänktunnel och lågbro skulle få större lokal negativ påverkan på miljön i havet och runt landanslutningarna.

Rapporten är indelad i tre delar, där den första delen redovisar tre scenarier för beräknad klimatpåverkan vid anläggning av en Öresundsmetro. Syftet är att visa skillnaderna mellan användning av traditionella byggnadstekniker (scenario Bas) och användning av de nyaste kända byggnadsteknikerna för minskad klimatpåverkan (scenario Optimerat) samt ett målstyrt scenario (scenario Målstyrt). För Scenario Bas har Trafikverkets klimatkalkylverktyg använts för att beräkna klimatpåverkan. Metroselskabets klimatavtrycksberäkningar har använts som referens. I det målstyrda scenariot utgör anläggnings- och materialbranschens befintliga klimat- och miljömål utgångspunkt för bedömning av klimatpåverkan.

I nästa del av rapporten redovisas tre olika scenarier (Gods, Fjärr och Lokal) avseende vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av gods- och persontransporter från väg och flyg till järnväg år 2035 respektive 2050. Scenarierna studerar klimatpotentialen vid överflyttning av långväga godstransporter från lastbil till järnväg (Gods), klimatpotentialen vid överflyttning av långväga persontransporter från flyg och bil till järnväg (Fjärr) samt överflyttning av lokala personbils- och regiontågstransporter till en Öresundsmetro (Lokal).

Klimatpotential kan beskrivas som de minskade utsläpp som en ändrad trafikering i samband med en Öresundsmetro kan innebära. De resultat som presenteras i rapporten är just potential och utgår från den klimatnytta som är möjlig. För Scenario Lokal finns det prognoser för förväntad överflyttning av resor. I övriga scenarier, Gods och Fjärr, saknas det prognoser för vilken överflyttning som kan förväntas ske. Istället görs här beräkningar baserat på vilken kapacitet som möjliggörs, vilket således utgör potentialen för minskad klimatbelastning från person- och godstransporter.

Klimatbelastningen av anläggandet av en Öresundsmetro, inklusive reinvesteringar och drift, blir enligt beräkningarna 595-730 kton CO<sub>2</sub>e. Majoriteten av utsläppen som genereras kommer från betong med tillhörande armeringsstål. Klimatbelastning från masshantering utgör en liten del av den totala klimatbelastningen. Här antas att masshanteringen kan ske inom en radie av 10-20 km från Öresundsmetrans mynning.

Om projektet genomförs med ett uttalat mål om minskad klimatpåverkan är bedömningen att det är möjligt att minska klimatbelastningen med cirka 30% till omkring 464 kton CO<sub>2</sub>e. Detta kan härledas från tydliga målsättningar vid planering och projektering samt minskad materialåtgång vid emissionstunga moment i entreprenad. I det målstyrda scenariot, 2035 och framåt, så bedöms det som möjligt att, med vissa kompensationsåtgärder, uppnå ett klimatneutralt byggande av Öresundsmetron. Detta kräver dock att branschens mål uppnås och att klimatneutrala material finns tillgängliga för detta projekt.

För klimatpotential vid trafikering har scenario Lokal, där lokala personresor med tåg och bil flyttas till metro, en låg klimatpotential. Det är dock denna trafik som möjliggör för scenario Gods eller Fjärr. Av dessa bedöms scenario Gods, där överflyttning av långväga godstransporter från väg till järnväg sker, ha högst klimatpotential. Beroende på vilket år som beräknas kan detta ha en effekt som minskar utsläppen av godstransporter; 270 kton CO<sub>2</sub>e år 2035 respektive 300 kton CO<sub>2</sub>e år 2050 (räknat för ett år). Motsvarande för scenario Fjärr, överflyttning av långväga persontransporter från bil och flyg till järnväg, har näst högst klimatpotential; 125 kton CO<sub>2</sub>e år 2035 respektive 275 kton CO<sub>2</sub>e år 2050 (räknat för ett år). Enligt denna analys är således en högre klimatpotential att flytta över långväga godstransporter, snarare än långväga persontransporter.

För att utnyttja Öresundsbronns potential för järnväg behöver dock andra åtgärder och investeringar i järnvägsnätet också göras, vilket kommer att innebära ytterligare klimatbelastningar i anläggningsskedet av dessa projekt.

Sammanfattningsvis bedöms Öresundsmetrans klimateffekter innebära en initial klimatbelastning i anläggningsskedet, baserat på vilken av anläggningsscenarierna som uppfylls. Därefter finns det möjlighet att balansera dessa effekter inom anläggningens avskrivningstid genom minskad klimatpåverkan från transporter som en följd av överflyttning av person- och godstrafik från väg och flyg till järnväg.

Om endast en mindre del av klimatpotentialen uppnås per år, är det dock troligt att det över en längre tidshorisont är möjligt att spara in klimatbelastningen. Detta går att likna vid ekonomiska kalkyler för anläggningar, där exempelvis Öresundsbron planeras att vara återbetald vid år 2050, 50 år efter den invigdes. Hur snabbt en klimatbaserad avskrivning kan göras beror på hur stor överflyttning som sker och hur stor del av potentialen som kan tillskrivas projektet.

Studien visar att det är möjligt för Öresundsmetron att nå en klimatmässig break-even mellan cirka 30 och 55 år efter öppnande. Detta baseras på ett antal förutsättningar såsom anläggningsbranschen hållbara omställning fortsätter, att den beräknade potentialen för överflyttning av resor uppnås samt att andra åtgärder i järnvägssystemet genomförs.

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	7
1.1	Tidigare utredningar .....	8
1.2	Begreppslista.....	9
2	Övergripande utformningsförslag.....	11
3	Klimatpåverkan vid anläggning.....	14
3.1	Framtagande av utgångsläge avseende klimatbelastning för investeringen.....	14
3.2	Scenario Bas.....	16
3.3	Scenario Optimerat .....	19
3.3.1	Exempel från andra infrastrukturprojekt.....	20
3.3.2	Bedömning av besparingspotential Scenario Optimerat .....	21
3.4	Scenario Målstyrt .....	22
3.4.1	Vad krävs för att lyckas?.....	24
3.5	Resultat .....	26
4	Klimatpotential vid trafikering .....	28
4.1	Metod .....	28
4.2	Emissionsfaktorer.....	29
4.3	Överflyttning .....	30
4.4	Resultat .....	31
5	Diskussion.....	33
5.1	Klimatpåverkan vid anläggning .....	33
5.2	Klimatpåverkan vid trafikering .....	33
5.2.1	Potential och prognos .....	33
5.2.2	Överflyttning .....	33
5.2.3	Elektrifiering.....	34
5.3	Övriga investeringar och tidsperspektiv.....	35
6	Samlad bedömning klimatavtryck .....	37
7	Referenser.....	39
8	Bilaga – Klimatpåverkan vid anläggning .....	44
8.1	Beräkningsförutsättningar Scenario Bas .....	44
8.1.1	Nyckeltal från M3 .....	45
8.2	Underlag för bedömning av potential för minskad klimatpåverkan i Scenario Optimerat.....	46
8.2.1	Undersökningar och utredningar .....	46
8.2.2	Projektering samt materialval och -åtgång .....	47
8.2.3	Kvalitet och kommunikation .....	48
8.2.4	Exempel från andra infrastrukturprojekt.....	48
8.3	Övriga potentialer till minskad klimatpåverkan.....	51

8.3.1	Borrkaxet som byggmaterial.....	51
8.3.2	Anläggning av metrostationer.....	52
9	Bilaga – Klimatpotential vid trafikering.....	54
9.1	Emissionsfaktorer.....	54
9.1.1	Persontransporter.....	55
9.1.2	Godstransporter.....	57
9.2	Överflyttning.....	58
9.2.1	Scenario Gods- Överflyttning av godstransporter.....	59
9.2.2	Scenario Fjärr - Överflyttning av långväga persontransporter ....	61
9.2.3	Scenario Lokal - Överflyttning av lokala persontransporter.....	62

## 1 Inledning

Malmö stad och Köpenhamns kommun har under de senaste tio åren tillsammans utrett förutsättningarna för en Öresundsmetro mellan Malmö och Köpenhamn. En Öresundsmetro skulle bättre binda samman Öresundsregionen, förbättra tillgängligheten mellan de två städerna och på så sätt stärka den regionala arbetsmarknaden. En Öresundsmetro förväntas även avlasta Öresundsbron och på så sätt möjliggöra en överflyttning från väg till järnväg av långväga gods- och persontransporter mellan Sverige och kontinenten.

I samband med arbetet att få till stånd ett kunskapsunderlag gällande etablering av en Öresundsmetro ser Malmö stad ett behov av att belysa klimat- och miljöeffekterna vid anläggning och drift av en Öresundsmetro. Det saknas en samlad analys som beskriver klimatpåverkan vid anläggning och drift av en borrad Öresundsmetro mellan Malmö och Köpenhamn samt den möjliga klimatpotential som en överflyttning till mer hållbara transportmedel som en Öresundsmetro förväntas bidra till.

Under 2015 gjordes en analys för Öresundsmetroprojektet om de miljömässiga för- och nackdelarna med olika lösningar för en metroförbindelse mellan Malmö och Köpenhamn (Ramboll, 2016). Utredningen analyserade kombinationer av lågbro/sänktunnel, sänktunnel på hela sträckan och borrad tunnel på hela sträckan. Analysens slutsats var att miljöpåverkan lokalt runt Öresund skulle bli liten vid en borrad tunnelloösning, medan en sänktunnel och lågbro skulle få större lokal negativ påverkan på miljön i havet och runt landanslutningarna. Det genomfördes emellertid vid detta tillfälle inte någon analys av möjlig klimatpåverkan under byggnationen av en Öresundsmetroförbindelse, t.ex. i form av klimatpåverkan från betong, stål och liknande material samt masshantering.

År 2019 genomfördes en översiktlig studie, där man undersökte vilken klimatpotential som finns i driften av en Öresundsmetro genom ökad överflyttning av långdistansgodis från väg till järnväg och av långdistanspassagerare från bil och flyg till fjärrtåg (ÅF, 2019). Förutsättningen i studien var att en Öresundsmetro skulle frigöra kapacitet på den befintliga Öresundsförbindelsen, så att fler gods- och passagerartåg skulle kunna trafikera bron i framtiden. Studien visade att detta skulle kunna rymma en stor del av de framtida långdistanstransporterna med bil, lastbil och flyg mellan Sverige och Danmark/kontinenten, vilket skulle ge en betydande klimatvinst i form av minskade koldioxidutsläpp till 2050.

Syftet med denna rapport är att ge en överblick över vilka möjligheter det kan finnas att minska klimatpåverkan under byggfasen genom att använda klimatsmarta bygglösningar, men också beskriva vilken potential som finns för klimatvinster för både person- och godstransporter över Öresund. Dessa förutsätts uppnås genom dels bättre kapacitet på befintlig Öresundsförbindelse, dels genom överföringspotential från biltrafik till kollektivtrafik över Öresund.

I rapporten används termen klimatneutralitet för att beskriva netto-noll-utsläpp av växthusgaser från material och processer. I skrivande stund finns förslag från EU (European Council, 2023) om att förbjuda marknadsföring av tjänster och produkter som exempelvis klimatneutrala. Rapporten använder ändå denna term för att på ett övergripande sätt beskriva att klimatkompensationsåtgärder görs i samband med de faktiska utsläppen som materialet eller processen i fråga genererar. Samtidigt håller rapporten därmed samma terminologi som aktörer inom anläggningsbranschen gör och som de definierar sina aktuella klimatmål kring.

Lokal miljöpåverkan vid byggande, drift och anläggning inkluderas inte i analysen utan fokus ligger på klimatpåverkan och därmed globala miljöeffekter.

## 1.1 Tidigare utredningar

Parallellt med detta uppdrag genomförde AFRY en studie kring analys av kapacitet och redundans i järnvägsnätet vid införande av Öresundsmetron. Utredningen visar hur en framtida Öresundsmetro kan stärka kapaciteten och redundansen för transporter över Öresund. Fokus ligger på framtida utveckling av person- och godstransport på järnväg över Öresund, samt trafikutvecklingen vid viktiga trafikknutpunkter på den svenska och danska sidan av Öresund.

Utredningens resultat beskriver bland annat vilken kapacitet som kan frigöras på Öresundsbron vid införandet av en Öresundsmetro. Detta ligger till grund för klimatpotentialen avseende trafikering, beskrivet i bilaga.

Att göra sammanvägda analyser med beräknad klimatbelastning vid anläggning och klimatpotential vid överflyttning av trafik har gjorts i andra studier kopplat till infrastrukturåtgärder:

I *Klimatpåverkan från höghastighetsjärnväg Sträckorna Järna-Göteborg och Jönköping-Lund* (Trafikverket, 2017b). I detta arbete beräknades, likt i detta uppdrag, klimateffekterna från överflyttning mellan olika färdmedel. Studien baserades på modellkörningar i Sampers och Samkalk, vilket inte anger *potentialen* utan den förväntade trafikeringen (prognosen).

I *Klimatanalys Oslo-Stockholm 2.55* (WSP, 2021) beräknas överflyttningseffekterna av en upprustning av järnvägsförbindelsen mellan Oslo och Stockholm. I klimatutredningen ingår den totala klimatpåverkan från den uppgraderade järnvägsförbindelsen (växthusgasutsläpp från resurs- och energianvändning vid byggande, drift och underhåll) samt utsläppsminskningar från överflyttning av resor från flyg och bil till järnväg.



## 1.2 Begreppslista

**CO<sub>2</sub>-ekvivalent:** Växthusgaser är ett samlingsbegrepp för flera gaser, där vissa gaser har en starkare uppvärmningspotential än andra. Vid sammanställning används *koldioxidekvivalenter* (CO<sub>2</sub>e eller CO<sub>2</sub>ekv) som gemensam enhet, där andra gasers uppvärmningspotential översätts till denna gemensamma enhet. I denna rapport används CO<sub>2</sub>e

**CCS:** CCS står för *Carbon Capture and Storage*, det vill säga avskiljning och lagring av koldioxid. CCS är ett av många verktyg som materialbranschen satsar på för att nå klimatmålen.

**CCU:** CCU står för *Carbon Capture and Utilisation*, vilket är avskiljning och användning av koldioxid. Efter avskiljning används koldioxiden som exempelvis råvara i bränsle eller material. Genom användning av biogen koldioxid i CCU kan fossila källor av kol ersättas.

**Emissionsfaktor:** En faktor som ger information om utsläppen från en produkt eller tjänst. I denna rapport används emissionsfaktorer för att ange hur stora utsläpp i form av koldioxidekvivalenter som medföljer användningen av varje resurs i kalkylen, uttryckt i exempelvis eller kg CO<sub>2</sub>e/kg material eller g CO<sub>2</sub>e/personkilometer.

**Funktionskrav:** Krav som kan uttryckas i upphandlingsfas. Med funktionskrav beskrivs vad som ska uppnås i stället för, som vid detaljkrav, hur något ska uppnås. Kraven kopplas ofta till mål och mäts som önskade effekter och resultat.

**Klimatkompensation:** Mekanism för att kompensera för en produkts klimatavtryck genom förebyggande av utsläpp, minskning eller avlägsnande av motsvarande mängd utsläpp av växthusgaser i en process utanför produktsystemets gränser.

**Klimatneutralitet:** Innebär att uppnå netto-noll växthusgasutsläpp, inom satta systemgränser. Förutom att undvika och minska koldioxidutsläpp är klimatkompensation ett viktigt steg i ett heltäckande klimatarbete.

**Klimatpotential:** Den potential som finns för klimatvinster för både person- och godstransporter över Öresund. Dessa förutsätts uppnås genom dels bättre kapacitet på befintlig Öresundsförbindelse, dels genom överföringspotential från biltrafik till kollektivtrafik över Öresund.

**Livscykelanalys:** Livscykelanalys (LCA) är en metod för att beräkna miljöpåverkan under en produkts hela livscykel – från att naturresurser utvinns till dess att produkten inte används längre och måste tas om hand.

**Reduktionsplikt:** Det är ett styrmedel som tvingar drivmedelsleverantörer att minska utsläppen från bensin och diesel genom att blanda in biodrivmedel i det fossila bränslet.

**Tank to wheel (TTW) :** Direkta utsläpp vid avgasröret. CO<sub>2</sub> från förbränning av biogena drivmedel redovisas inte för TTW, däremot utsläpp av metan och lustgas. Utvinning, produktion och distribution av bränslet inkluderas inte.

**TBM:** TBM står för *Tunnel Boring Machine* (tunnelborrningsmaskin), men kallas även fullortsborrningsmaskin. Finns flera varianter. I sedimentära bergarter är Earth Pressure Balance-TBM (EPB) och Slurry TBM vanliga maskiner.

Trafikarbete: Antal fordon som trafikerar en väg- eller järnvägssträcka multiplicerat med sträckans längd. Utrycks i fordonskilometer (fkm).

Transportarbete: Beskriver aktiviteten i transportsystemet och uttrycks för persontransporter i måttet personkilometer (pkm) och för godstransporter i måttet tonkilometer (tkm). En personkilometer innebär en förflyttning av en person en kilometer. På motsvarande sätt innebär en tonkilometer en förflyttning av ett ton gods en kilometer.

Tågläge: Tidsfönster i körplanen som reserverats för ett tåg.

Well to wheel (WTW): Utsläpp från avgasröret samt utvinning, produktion och distribution av bränslet.

## 2 Övergripande utformningsförslag

Utgångspunkten för denna rapport är det befintliga förslaget till anläggning av en metrolinje i en 26,1 km lång borrhad tunnel mellan Malmö C och Prøvestenen på den danska sidan av Öresund (Ramboll, 2016).

I korthet planeras Öresundsmetron utgöras av:

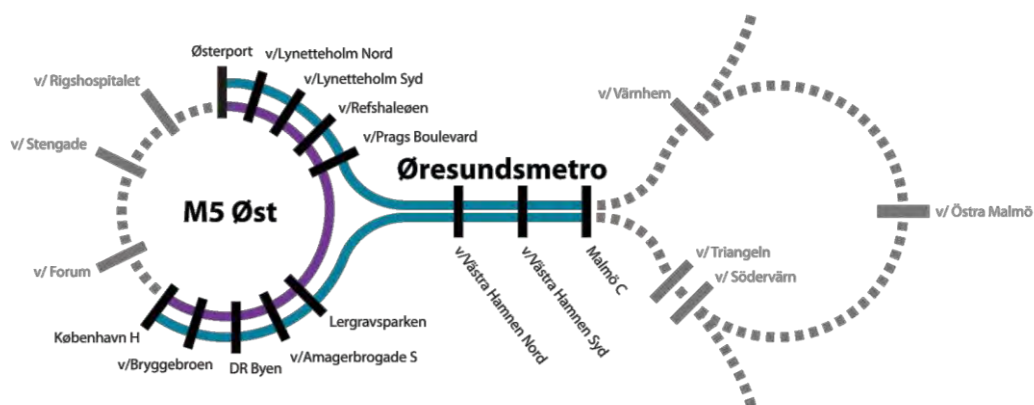
- Tunnelkonstruktion bestående av (för principskiss se Figur 4):
  - o En dubbelspårstunnel under Öresund, cirka 23,6 km
  - o Två enkelspårstunnlar på fastlandet under Malmö, cirka 2,5 km var
- Tre metrostationer i Malmö (se Figur 3). En station vid Malmö C samt två stationer i Västra hamnen. Samtliga stationer planeras att vara underjordiska.
- Två avgränsningskammare för anslutning mellan Öresundsmetro och M5

Var en eventuell depå i Malmö ska placeras är inte beslutat, varför klimatbelastning av denna inte ingår i analysen. I Figur 1 nedan visas Öresundsmetrons planerade anslutning i Köpenhamn respektive Malmö. På svensk sida går Öresundsmetro via Galeonen i norra delen av Västra hamnen vidare till Malmö C. I Köpenhamn planeras Öresundsmetron ansluta till befintligt metrosystem och den nya planerade metrolinje M5. Utöver två avgränsningskammare krävs ingen ytterligare infrastruktur på den danska sidan för att nå viktiga målpunkter som Københavns Huvudbanegård och Österport.



Figur 1. Principkarta för Öresundsmetrons placering.

En resa mellan centralstationerna i Malmö och Köpenhamn skulle med en Öresundsmetro ta cirka 20 minuter och få en turtäthet på upp till 90 sekunder. I framtiden ska det också vara möjligt att bygga vidare på ett metrosystem i Malmö, se Figur 2.



Figur 2. Öresundsmetrons anslutning till metrosystemet i Köpenhamn. Blått visar Öresundsmetron. Lila visar metrolinje M5. Grått redovisar potentiella sträckningar vidare i Malmö och Skåne.

I Figur 3 visas en preliminär linjeföring av Öresundsmetron på den svenska sidan samt placering av totalt tre stationer. Inicialt planeras för två stationer i Västra hamnen och en vid Malmö C.



Figur 3. Preliminär linjeföring för Öresundsmetron samt placering av stationer i Malmö. Bilden visar två potentiella sträckningar (streckade linjer) genom Västra hamnen.

Inom det aktuella utredningsområdet i Malmö ska Öresundsmetron bestå av två enkelspåriga tunnlar. Under Öresund planeras spåren att förläggas i en dubbelspårstunnel, se Figur 4.



Figur 4. Tunnelkoncept för Öresundsmetron, tvärsnitt.

Utöver tunnelkonstruktion och stationsanläggningar finns det även planer på anläggande av en depå, där service och underhåll av fordonen kan genomföras. Detta exkluderas från denna utredning, då förutsättningar för en sådan anläggning inte är fastställda. Klimatbelastningen från anläggandet av en sådan depå kommer därför inte att inkluderas i beräkningarna.

Jämfört med tidigare genomförda transportinfrastrukturtunnelprojekt i andra delar av Sverige är förutsättningarna annorlunda för en Öresundsmetro, bland annat då berggrunden består av kalksten i Öresundsregionen. I stora delar av Sverige är det urberg. Detta medför att tunneldrivningsmetoder som genomförs i exempelvis Stockholm, med borra-spräng, inte är applicerbart i beräkningarna i denna rapport.

Anläggandet av en Öresundsmetro bedöms därför skilja sig mot traditionellt tunnelbyggande varför det kan svårt att hitta lämpliga referensobjekt avseende klimatpåverkan vid anläggning. Några liknande exempel i närtid finns dock, exempelvis Citytunneln i Malmö, som stod färdig år 2010. När detta projekt planerades och genomfördes var frågan kring klimatpåverkan emellertid inte lika aktuell och prioriterad som idag. Det saknas därför beräkningar för vilken klimatbelastning anläggandet av Citytunneln medförde. Köpenhamnsmetrons linje M3 är ett av få jämförbara anläggningsprojekt där analys av klimatpåverkan har genomförts.

En viktig aspekt i arbetet med minskad klimatbelastning i Öresundsmetroprojektet är att få till stånd en cirkulär masshantering där exempelvis borrhälsmassorna till nyttjas för en utfyllnad av Galeonen. Galeonen ligger längst norrut i Västra Hamnen och är det sista delområdet som planeras att byggas ut i stadsdelen (Malmö stad, 2022). Här kan utfyllnadsmassor användas för att bland annat bygga sammanhängande kustskydd.

### 3 Klimatpåverkan vid anläggning

I detta kapitel redovisas tre scenarier för beräknad klimatpåverkan vid anläggning av en Öresundsmetro. De tre scenarierna beskrivs mer ingående i respektive delkapitel, men är i korthet:

- Scenario Bas: Beräkningarna baseras på tunnelkonstruktion med dagens tekniker och metoder utifrån den utformning som planeras för Öresundsmetron enligt Malmö stad (2023). Beräkningarna görs med Trafikverkets klimatkalkylmodell. Som referens används nyckeltal för klimatbelastning från byggandet av Köpenhamns metrorns linje M3 (Metroselskabet, 2023a). Detta har resulterat i ett spann för beräknad klimatpåverkan vid anläggning av en Öresundsmetro.
- Scenario Optimerat: Baserat på Scenario Bas analyseras hur användning av de nyaste kända materialvalen och arbetsmetoderna samt lokal masshantering kan ge minskad klimatpåverkan i projektet. Scenariot tar avstamp i en workshop med experter från AFRY samt andra infrastruktur- och tunnelprojekt i världen.
- Scenario Målstyrt: Det sista scenariot är målstyrt, där anläggnings- och materialbranschens klimat- och miljömål utgör utgångspunkt för vilken klimatpåverkan anläggning av en Öresundsmetro kan medföra. En genomlysning av klimatmål har gjorts för beställare och leverantörer inom samhällsbyggnad med mållåret 2035.

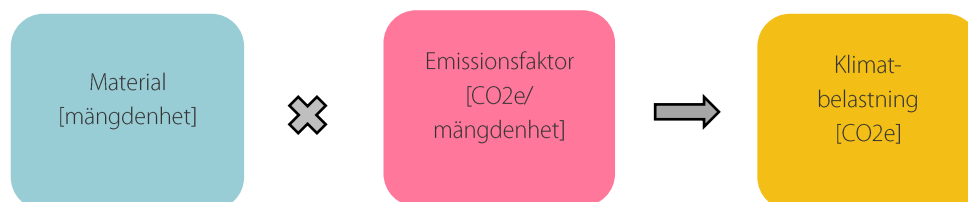
För en mer detaljerad beskrivning av förutsättningar och antaganden se Bilaga – Klimatpåverkan vid anläggning.

#### 3.1 Framtagande av utgångsläge avseende klimatbelastning för investeringen

För att beräkna klimatpåverkan vid anläggning av en Öresundsmetro har Trafikverkets verktyg Klimatkalkylmodellen använts. Trafikverkets klimatkalkyl är en vedertagen metod på nationell nivå och ska upprättas i Trafikverkets åtgärder som ingår i namngivna objekt eller överstiger 50 miljoner kronor. Trafikverket är Sveriges största beställare av infrastrukturprojekt och har varit en föregångare när det gäller att ställa klimatkrav på leverantörer. Klimatkalkylverktyget har utvecklats för att kunna beräkna hur stor energianvändning och klimatbelastning en anläggning ger upphov till ur ett livscykelperspektiv och kan tillämpas på samtliga investerings- och reinvesteringsåtgärder såväl som för delar av dessa. Modellen kan användas till att jämföra olika alternativ eller identifiera vilka delar av systemet som bidrar mest till klimatpåverkan. Verktyget är baserat på metodik för livscykelanalys (LCA). LCA är en metod för att systematiskt beskriva och kvantifiera miljöpåverkan från ett system. För Öresundsmetron antas en livslängd på 100 år, likt för Metsroselskabet (Metroselskabet, 2022).

Trafikverkets klimatkalkylverktyg är avgränsat till att omfatta utvinning av råvaror, förädling av råvaror till produkter, transporter under förädlingskedjan och till anläggningen, byggandet av väg eller järnväg, samt till viss del drift och underhåll. Transporter som sker från råvaruutvinning till förädling samt alla transporter som genereras inom entreprenaden och som beskrivs som en kostnadspost i anläggningskostnadskalkylen ingår i Klimatkalkylverktyget.

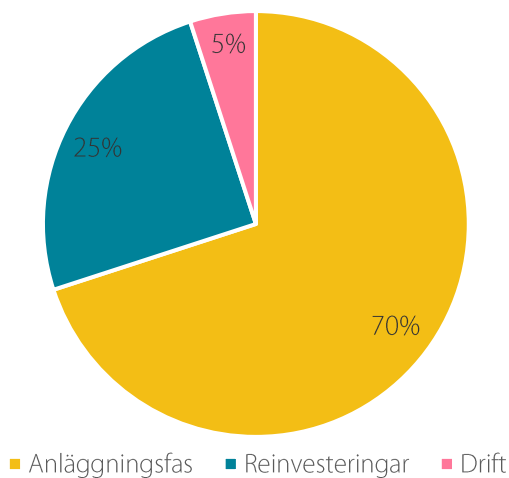
Kalkylen kan baseras antingen på ingående typåtgärder som t ex en bro eller en cykelväg, eller projektspecifika mängduppgifter för material- och energiresurser. Trafikens energianvändning eller utsläpp omfattas inte. I Figur 5 illustreras principen för beräkning av klimatpåverkan.



Figur 5. Principiell beräkningsgång för klimatpåverkan vid anläggning.

Trafikverkets klimatkalkylverktyg är relativt begränsat när det gäller att beräkna klimatpåverkan från reinvestering och drift. Därför har Metroselskabets uppgifter om fördelningen mellan klimatutsläpp från anläggning, reinvestering respektive drift använts istället. Enligt Metroselskabets analys av klimatpåverkan från metrolinjen M3 (Metroselskabet, 2023b) utgör utsläppen från anläggningskedet 70% av de totala utsläppen, medan reinvesteringar står för 25% och driften för 5%, se Figur 6. Detta baseras på Cityringen (M3) och ett tidsperspektiv på minst 100 år.

### Klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv



Figur 6. Fördelning mellan klimatutsläpp från anläggning, reinvestering respektive drift (Metroselskabet, 2023b)

Som referens har även klimatpåverkande utsläpp från anläggandet av en Öresundsmetro beräknats med hjälp av nyckeltal för utsläpp per kilometer tunnel, station och förgreningskammare i Metroselskabets klimatavtryckmodell från 2019 använts (Metroselskabet, 2023a).

## 3.2 Scenario Bas

### Sammanfattning scenario Bas

Klimatpåverkan	663 000 ton CO <sub>2</sub> e
Utformning	Utformning och materialval enligt dagens standarder.
Emissionsfaktorer	Emissionsfaktorer från Trafikverkets klimatkalkylverktyg (2015)
Material	Metoder och material enligt dagens praxis (2015)
Anläggningsmaskiner	Konventionella arbetsmaskiner och transporter.

Öresundsmetroprojektet befinner sig i ett tidigt skede. Exakt utformning är inte beslutad och det finns ännu inga projekterade mängder. Detta medför osäkerheter vid beräkning av klimatpåverkan. I denna rapport har därför två olika sätt att beräkna klimatbelastningen använts:

- Klimatkalkyl: Trafikverkets klimatkalkylverktyg med konstruktion och uppskattade mängder utifrån befintliga planer för Öresundsmetrons utformning (Ramboll, 2016)
- Nyckeltal: Nyckeltal avseende CO<sub>2</sub>e per kilometer tunnel och per station samt förgreningskammare från Köpenhamnsmetrons linje M3

Detta har resulterat i ett spann inom vilket det är troligt att klimatpåverkan från anläggandet av en Öresundsmetro hamnar med traditionella byggnadstekniker.

Köpenhamnsmetrons linje M3, se Figur 8, kan anses jämförbar med den planerade Öresundsmetron, då förutsättningarna (exempelvis berggrund) samt byggnadsmetoder (tunneldrivning med TBM-maskin) är likartade.

#### TBM – Vad är det?

TBM står för Tunnel Boring Machine (tunnelborrningsmaskin), men kallas även fullortsborrningsmaskin på svenska. Principen för en TBM-maskin är att trycka fräsar mot den tunnelytan för att bryta berget till mindre beståndsdelar. Tunneldiametern kan variera från bara någon enstaka meter till upp närmare 16 meter. Det finns olika varianter av TBMs beroende på bland annat geologiska och hydrologiska förutsättningar i arbetsområdet. I sedimentära bergarter är Earth Pressure Balance-TBM (EPB) och Slurry TBM vanliga maskiner.



Figur 7. TBM-maskin vid Bözbergtunneln i Schweiz. (Amberg group, 2023).



Då Trafikverkets klimatkalkylverktyg saknar representativa modeller för beräkning av klimatpåverkan från anläggning av metrostationer har uppgifterna från Metroselskabet använts för att beräkna utsläppen från Öresundsmetrons planerade stationer. Enligt underlag från Metroselskabet (Metroselskabet, 2023a) beräknas en station innebära en klimatpåverkan på cirka 13-14 000 ton CO<sub>2</sub>e. De stationer som anläggs djupare har en högre klimatpåverkan är mer ytligare stationer. Öresundsmetron planeras att ha tre underjordiska stationer på den svenska sidan, vilket innebär en klimatpåverkan på ca 42 000 ton CO<sub>2</sub>e. Vidare adderas även två förgreningskammare för anslutning till linje M5. Enligt Metroselskabet (2023a) utgör detta en klimatpåverkan på cirka 15 000 ton CO<sub>2</sub>e.



Figur 8. Linje M3 och dess stationer.



Figur 9. Illustration av metrostationen på Københavns H. Metrolinje till vänster i bild är befintligt M3/M4. Metrolinje till höger i bild är framtida linje M5, som kommer integreras med Öresundsmetron. (Metroselskabet, 2020).

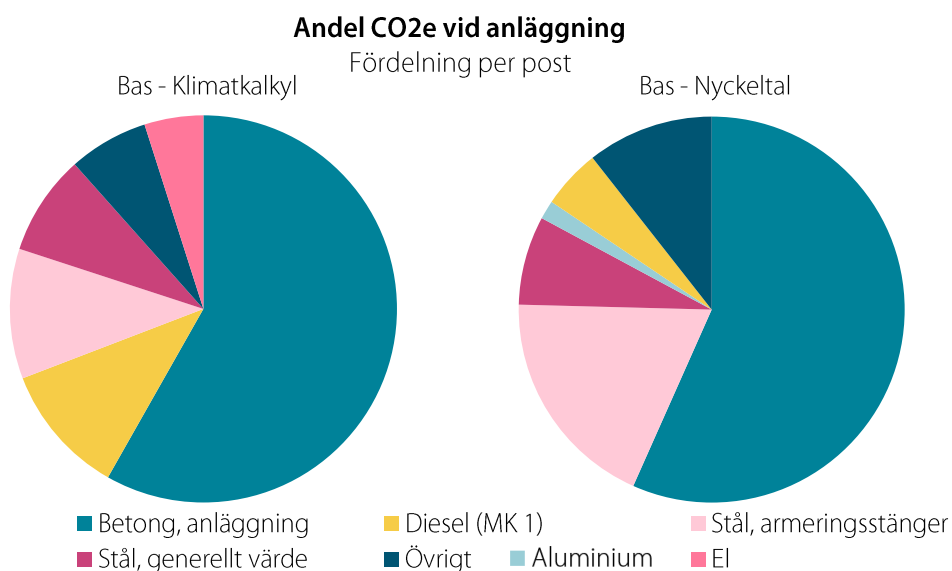
I Tabell 1 redovisas resultatet för scenario Bas från de två olika beräkningsmetoderna, för mer detaljerade förutsättningar se Bilaga – Klimatpåverkan vid anläggning. Notera att beräkningarna bygger på uppskattningar. Poster som inte ingår är bland andra räddningstunnlar, teknikrum, geoförstärkning (pålar).

Klimatpåverkan från anläggning och drift av en Öresundsmetro beräknas uppgå till 595 000 – 730 000 ton CO<sub>2</sub>e. Att resultatet skiljer sig åt kan ha flera olika orsaker. Bland annat olika emissionsfaktorer och olika ingående mängder.

Tabell 1. Beräknad klimatbelastning för scenario Bas inklusive reinvesteringar och drift. Fördelning av klimatpåverkan vid reinvestering och drift baseras på Figur 6.

Beräknad klimatpåverkan med traditionell konstruktion (ton CO <sub>2</sub> e)		
	Trafikverkets klimatkalkylverktyg	Nyckeltal från Metroselskabet
Anläggning	511 000	417 000
Reinvestering	182 000	149 000
Drift	36 000	30 000
<b>Totalt</b>	<b>730 000</b>	<b>595 000</b>

Även om resultaten från de olika beräkningarna skiljer sig åt har de gemensamt att de största klimatpåverkande posterna utgörs av betong- och stålkonstruktioner, se Figur 10. Det är således här det finns störst möjlighet att minska den totala klimatpåverkan genom att minska utsläpp från produktion av dessa material samt att minska mängden betong och stål som används. I posten Diesel ingår utsläpp från bland annat masshantering.



Figur 10. Fördelningen mellan klimatpåverkan från olika poster i klimatberäkningen gjord med Trafikverkets klimatkalkylverktyg respektive med nyckeltal från Metsoselskabet.

För det fortsatta arbetet har ett medelvärde mellan de två beräkningsresultaten använts, 663 000 ton CO<sub>2</sub>e.

### 3.3 Scenario Optimerat

<b>Sammanfattning Scenario Optimerat</b>	
Klimatpåverkan	464 000 ton CO <sub>2</sub> e
Utformning	Som scenario Bas men med optimerade materialmängder och delvis utbyta material (betong och stål).
Emissionsfaktorer	Som scenario Bas.
Material	Som scenario Bas men med betong med lägre klimatpåverkan (alternativa råmaterial såsom masugnsslagg eller flygaska samt alternativa bränslen vid materialframställning) där så är möjligt, (utifrån krav på livslängd och bärighet). Större andel återvunnet stål.
Anläggningsmaskiner	Mindre arbetsmaskiner är eldrivna och övriga drivs med biobränslen.

Tillsammans med experter inom berg- och tunnelteknik genomfördes en workshop med syfte att identifiera hur klimatbelastningen för Scenario Bas kan minskas med idag kända anläggningstekniker. Gruppen som bjöds in till workshop har tillsammans mycket stor erfarenhet från tunnelprojekt, bland andra Stockholm Förbifart, Norrbotniabanan, Västlänken Haga, Citybanan, Vägprojekt E18/E102, Västkorridorerna (Söder om Oslo) samt utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm. Som beskrivet i kapitel 0 kan förutsättningarna för tunneldrivningsmetoder och förstärkning skilja sig mellan Öresund och andra områden i Sverige.

Under workshopen diskuterades de lärdomar som experter, inom tunnelbyggande, erfarit kring vilka aspekter som styr klimatpåverkan vid planering och byggande av tunnlar. Resultatet redogörs för i Bilaga – Klimatpåverkan vid anläggning och sammanfattas i korthet nedan, för att sedan presentera till vilken grad klimatpåverkan bedöms kunna reduceras när de nyaste teknikerna och processerna används.

Workshopens resultat ligger i linje med de potentialer som Metroselskabet (2022) ser som de stora möjligheterna för minskad klimatpåverkan:

- Optimerad design avseende materialåtgång
- Byta ut betongkonstruktioner till andra material med lägre klimatpåverkan där så är möjligt ut
- Användande av klimatmodeller och kravställning i upphandlingskedet.

De nyaste teknikerna och arbetsmetoderna handlar till stor del om *Reduce, Reuse* och *Recycle*. Att minska materialmängderna genom att våga ifrågasätta de krav och modeller som används idag samt att ställa klimatkrav vid upphandling. Till exempel att använda återvunnet material och ställa krav på att inköpt el ska vara förnybar.

Det ska förtydligas att det alltså inte nödvändigtvis är *nya material eller tekniker* som är lösningen för att minska utsläppen av CO<sub>2</sub>e, utan det kan vara optimering av de metoder/material som redan finns. De stora materialposterna för ett tunnelprojekts klimatgasutsläpp, vilket även visas i Figur 10 är:

- Betong och cement, injektering, lining och andra konstruktioner
- Stål i armeringsstål, bergnät, bultar
- Bränsle, så som diesel för transportfordon (för bland annat bormassor), ventilation och pumpar

Förenklat gäller alltså att minska materialmängderna och utsläppen från framställande av material. För att lyckas med detta behöver minskad klimatpåverkan vara i fokus under hela projektets gång, exempelvis genom:

- Undersökningar och utredningar: Med undersökningar och utredningar i tidiga skeden ökar kunskapen om de projektspecifika förutsättningarna vilket ökar möjligheterna att minska klimatpåverkan i anläggningsskedet. Exempelvis krävs undersökningar av berggrundens kvalitet innan detaljprojektering för att kunna anpassa linings hållfasthet så att mängden betong och stål inte överdimensioneras.
- Projektering samt materialval och -åtgång: I projekteringsarbetet förfinas de planer som beslutats i tidigare skede. Om projektörerna använder projekteringsverktyg som tydligt illustrerar klimatpåverkan vid olika val blir det mer självklart att också ta med sig denna parameter vid val mellan olika lösningar. Även i dialog med beställare behöver klimatpåverkan finnas med i 3D-modellen så att det tydligt illustreras hur olika detaljval påverkar projektets totala klimatpåverkan. Klimatpåverkan minskar ju mer återvunnet material som används i projektet. Det gäller både återbrukade produkter som exempelvis bänkar, men även produkter tillverkade av återbrukat material såsom armeringsnät. Cirkulär masshantering är också ett sätt att minska den totala klimatbelastningen. Ställ därför krav vid upphandling så att det material som tillförs utifrån har så låg emissionsfaktor som möjligt. Med en klimatförbättrad betong kan uppemot 40% reduktion uppnås för betonganvändning (Svensk Betong, 2022).
- Kvalitet och kommunikation: Klimatperspektivet behöver finnas med genom hela projektet där minskad klimatpåverkan regelbundet behöver diskuteras samt dokumenteras i kvalitetsdokument som checklistor och mötesprotokoll. Samtliga deltagare i projektet; hos beställare, konsult, entreprenör och materialleverantör behöver ha kunskap om hur deras roll påverkar projektets klimatpåverkan. Genom bra kvalitets- och arbetsmiljöarbete i projektet fortsätter arbetet med minskad klimatpåverkan från planering- och projekteringsskede till entreprenad.

### 3.3.1 Exempel från andra infrastrukturprojekt

Ovan har ett antal aspekter kring hur kravställning, kommunikation och arbetsprocesser i infrastrukturprojekt kan implementeras för att nå framgång avseende minskad klimatpåverkan.

Nedan följer ett antal exempel på när sådana processer har mynnat ut i goda resultat. Projekten är inte uteslutande tunnelprojekt, men samtliga är större infrastrukturprojekt. För utförligare beskrivning av respektive projekt, se bilaga. Det *gemensamma* för projekten är att minskad klimatpåverkan har varit ett genomgående tema för samtliga. Detta har visat att tekniken ofta finns tillgänglig. Det som behövs är incitament, medvetenhet och vilja. Om exempelvis rätt krav ställs i upphandlingen går det att uppnå goda resultat för minskad klimatpåverkan.

Tabell 2. Rapporterade minskningar av CO<sub>2</sub>e från infrastrukturprojekt i omvärlden. \*Siffran baseras på bedömningar.

Projekt	Typ	Projektstart	Besparing (CO <sub>2</sub> e)	Kommentar
Kalixbron	Vägbro	2019	22%	Tydliga krav i upphandling gällande minskad klimatpåverkan samt bonus till entreprenör (SVT, 2023)

Sundsvall C (projekteringsskede)	Järnväg	2023	>15%	Krav i upphandling om minskad klimatpåverkan med 30%. (Trafikverket, 2020)
Melbourne Metro	Metrotunnel (TBM)	2019	24%	Mål från beställare om minskad materialåtgång. Angiven besparing gäller utsläpp från material. (Rail Projects Victoria, 2022, State Government of Victoria, 2023a och b)
Sydney Metro West	Metrotunnel	2020	25%*	Ersättning av cementmaterial har bland annat gett slipers med betydligt lägre klimatpåverkan. (Sydney Metro, 2023)
Thames Tideway London	Avloppstunnel (TBM)	2016	9%	Upphandlingen medgav utbyte av material för att minska klimatpåverkan. (Tideway, 2019 och 2022)
Drammen – Kobberviksdalen	Järnväg + tunnel	2019	36%	Högt uppsatta mål om minskad klimatpåverkan i anläggningsprojekt. Detta har uppnåtts genom minskad materialåtgång, betong med lägre utsläpp vid produktion, stål med lägre utsläpp vid produktion, enbart hållbara drivmedel för att fordon inom anläggningsområdet. (Norwegian tunnelling society, 2022. Veidekke, 2023 Bane NOR, 2023)
VA SYD	Avloppstunnel (TBM)	Inte påbörjad	44%	Projektet riktar in sig på material med störst klimatpåverkan. Fokus på reduktion i betong, diesel och armeringsstål. (VA SYD, 2023)

### 3.3.2 Bedömning av besparingspotential Scenario Optimerat

Tidigare exempel visar på erfarenheter av minskningar enligt Tabell 2. Projekten har startat mellan 2014 och 2023. De beräknade minskningarna för utsläpp av CO<sub>2e</sub> varierar mellan 9% och 44%, jämfört med initiala beräkningar. För tunnelprojekten i Melbourne, Sydney och London har tunneldrivning gjorts med TBM och lining – här varierar minskningarna mellan 9% och 25%. Gemensamt för samtliga projekt är en uttalad målsättning kring klimatpåverkan i projekten eller i organisationen som helhet.

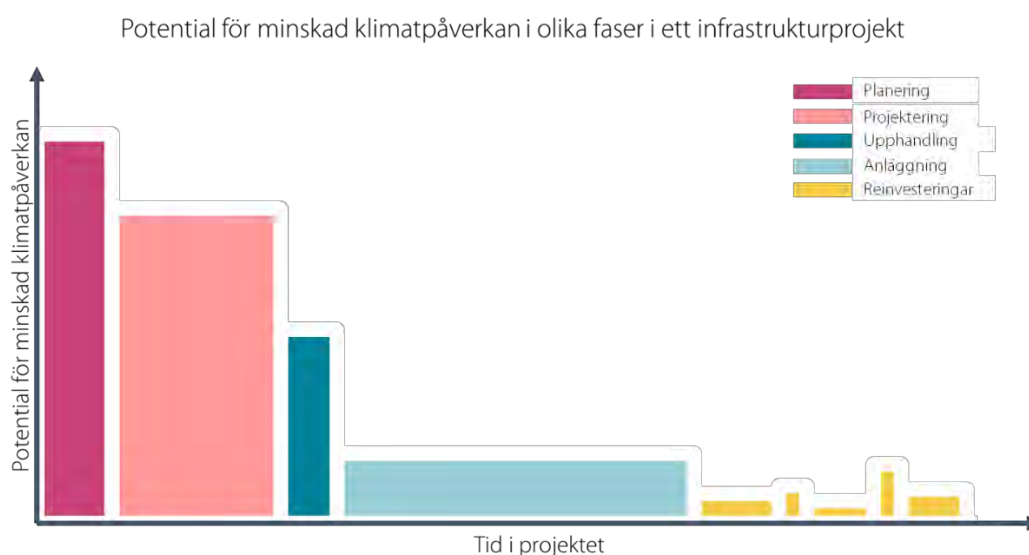
Sett till material finns det enligt branschen möjlighet att minska klimatpåverkan från betongen i anläggning med upp till 40% (Svensk betong, 2022). Detta kräver optimering av lösningen sett till bland annat exponeringsklass och hållfasthetsklass samt testning och provning av betongrecepten. Som redovisas i Figur 10 står betongen för en betydande del av Öresundsmetrans klimatutsläpp enligt kalkylen. En minskning av 40% av betongens utsläpp innebär därmed att tunnelns totala utsläpp minskar med knappt 25%. Därtill finns ytterligare besparingspotential kring stål och drivmedel.

Med bästa teknik och arbetssätt är bedömningen därför att det idag bör vara möjligt att nå som minst 30% reduktion av utsläppen av växthusgaser vid anläggning av en

Öresundsmetro. Baserat på medelvärdet av de två beräkningsresultaten i Scenario Bas skulle detta innebära en total klimatpåverkan på omkring 464 000 ton CO<sub>2</sub>e.

Sammanfattningsvis behöver klimatarbetet följa hela projektet från början till slut. Alla som arbetar med planerings-, projekterings- eller byggskede behöver känna till vad som krävs av dem på individnivå för att klimatpåverkan från projektet ska bli så liten som möjligt. Arbetet regleras med återkommande klimatberäkningar, krav och bonus vid upphandling. Projektledare och beställare behöver vara väl införstådda med vad det innebär att driva klimatsmarta projekt.

De stora besluten tas tidigt och klimatpåverkan behöver vara med högt på dagordningen. Om klimatarbetet följer hela projektet och hela projektet är införstått med hur olika val påverkar projektets totala klimatpåverkan finns det stora möjligheter att lyckas med riktigt klimatsmarta infrastrukturprojekt redan idag. Metroselskabet (2022) har i beräkning av klimatpåverkan av metrolinje M5 nått samma slutsats som denna studie, där planering, projektering och upphandling utgör de stora moment där en potential för minskad klimatpåverkan kan uppnås. Figur 11 är ett sätt att schematiskt illustrera i vilka faser i projektet som potentialen för minskad klimatpåverkan är som störst.



Figur 11. Potential för minskad klimatpåverkan av anläggning av metro. Omarbetad figur baserad på Metroselskabet (2022).

### 3.4 Scenario Målstyrt

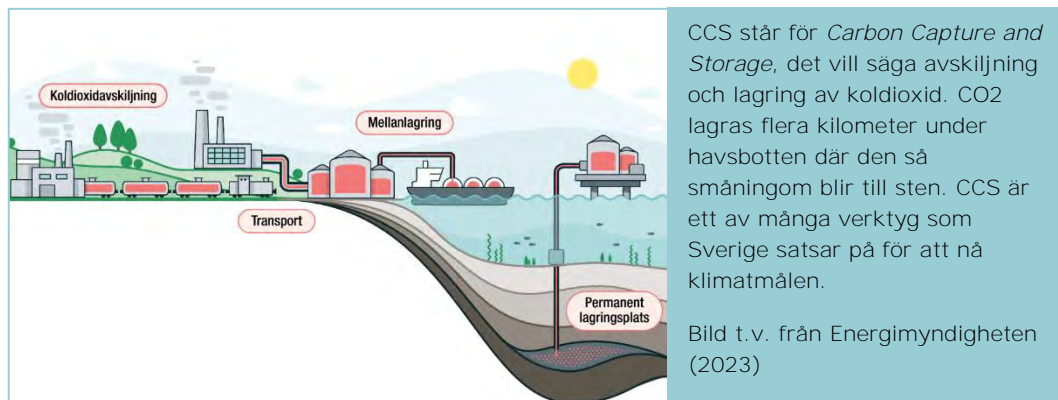
Sammanfattning Scenario Målstyrt	
Klimatpåverkan	133 000 ton CO <sub>2</sub> e
Klimatpåverkan med klimatkompensation	0 ton CO <sub>2</sub> e
Utformning	Som Scenario Bas men med optimerade materialmängder och klimatneutrala material samt potentiell teknisk utveckling så som CCS.
Emissionsfaktorer	Som Scenario Bas.
Material	Klimatneutral betong och stål.
Anläggningsmaskiner	Klimatneutrala arbetsmaskiner och transporter.

För att bedöma vilken klimatpåverkan anläggningen av en Öresundsmetro år 2035 skulle medföra om branschens uppsatta klimatmål nås har en sammanställning av dessa gjorts. Att bedöma huruvida målen är möjliga att uppnå inom de satta tidsramarna har inte ingått i detta uppdrag.

Trafikverket har som mål att vara klimatneutrala år 2040, med ett delmål om 80% reduktion 2030 i förhållande till 2015. Även cement- och stålindustrin har högt uppsatta målbilder, se Tabell 3. En kortare beskrivning av respektive aktörs tillvägagångssätt för att nå målbilderna görs i kursivt.

Tabell 3. Ett urval av olika verksamheters klimatmål, ambitioner och strategier. Minskad klimatpåverkan jämfört med dagens nivåer anges i mittenkolumn. \*CCS = Carbon Capture and Storage. \*\*CCU = Carbon Capture and Utilisation

Verksamhet	Minskning till 2035+	Kommentar
Trafikverket mål	80%	Trafikverkets klimatmål för infrastrukturhållningen (byggande, drift och underhåll av väg och järnväg) 80% inkl. fossilfria drivmedel i alla entreprenader. Klimatneutrala 2040 Basår 2015 <a href="http://www.trafikverket.se">www.trafikverket.se</a> <i>Uppnås genom bland annat ökad kravställning på material, konsulter och entreprenörer i upphandlingsskede samt innovationer.</i>
Cementa vision	100%	Cementa har som vision att verksamheten ska vara klimatpositiv 2030 <a href="#">Nollvision för koldioxid   Heidelberg Materials Cement Sverige</a> <i>Uppnås genom bland annat CCS*, CCU**, och ökad andel elektrifierade processer.</i>
SSAB ambition	100 %	SSABs ambition är att i princip ta bort alla CO <sub>2</sub> -utsläpp från den egna verksamheten till omkring 2030. Fossilfritt stål lanseras på marknaden 2026 <a href="#">SSAB Först med fossilfritt stål - SSAB</a> <i>Uppnås genom bland annat ökad mängd återvunnet stål och fossilfria ståltyper</i>
LKAB strategi	100%	Noll utsläpp från egna processer och produkter 2045 <a href="#">Vår strategi för framtiden - LKAB</a> <i>Uppnås genom bland annat digitalisering, automatisering och elektrifiering i kombination med vätgas.</i>
Vattenfall	77%	77% minskad klimatpåverkan 2030 (basår 2017) från egna verksamheten (Scope 1-2). 33% minskad klimatpåverkan 2030 (basår 2017) (Scope 3) Nettonoll 2040 <a href="#">Klimat - minska koldioxidutsläppen - Vattenfall</a> <i>Uppnås genom bland annat ytterligare elektrifiering och ökad användning av förnybara energikällor samt krav på leveranskedjans varor och tjänster</i>



Eftersom de flesta stora aktörer i branschen har högt uppsatta klimatmål kommer det att uppstå synergier i arbetet med att sänka klimatpåverkan från stora infrastrukturprojekt. Detta innebär att bygg- och anläggningsbranschen fortsatt har som mål att arbeta aktivt med minskad klimatpåverkan. Betong och stål, som är material som utgör stor del av klimatpåverkan från projektet, finns vid Öresundsmetrons uppförande på marknaden som klimatneutrala produkter om materialbranschens mål nås. Förutsatt att materialen finns i sådan mängd att de finns tillgängliga för anläggningsbranschen, och inte bara för ett fåtal andra branscher. Bedömningen är därför att det är möjligt att anlägga en klimatneutral Öresundsmetro om branschens mål nås. I begreppet klimatneutralt förutsätts att en viss klimatkompensation behöver göras.

#### 3.4.1 Vad krävs för att lyckas?

Lingegård, Olsson, Kadefors & Uppenbergs (2021) har genomfört en studie som tittar på offentlig upphandling i relation till minskning av CO<sub>2</sub>-utsläpp i stora infrastrukturprojekt. Projekt från Australien, Nederländerna, Storbritannien, Sverige och USA har jämförts för att se hur policy och metoder för minskning av CO<sub>2</sub> ser ut i olika delar av världen. Studien konstaterar att enskilda större infrastrukturprojekt kan:

- Driva målen framåt på policynivå, *eller*
- Vara föregångare i branschen/industrins utveckling, *eller*
- Fungera som tolk av nationell policy

Vidare konstaterar flera andra källor (Brammer & Walker, 2011 och Vejaratnam, Mohamad & Chenayah, 2020 och Chiarini & Vagnoni, 2016 samt Wong, Chan & Wadu, 2016) att en tydlig hållbarhetsvision och starkt ledarskap kopplat till visionen är viktiga faktorer för att höja ambitionerna för minskad klimatpåverkan i projekt. Detta gäller särskilt när projekten har högre mål än de nationella. I detta exempel pekas enskilda eldsjälar ut som viktiga spelare i att driva projektet och hjälpa projektmedlemmar att utvecklas inom hållbarhetsfrågor. På så vis kan en kultur och ett beteende skapas inom projektet.

Lingegård, Olsson, Kadefors & Uppenbergs (2021) nämner att stora infrastrukturprojekt kan gynna utvecklandet av mer hållbara produkter och tjänster om en grön upphandlings- och inköpsstrategi upprättas. Detta då skalan för leverantörer blir så stor att det kan vara gynnsamt att utveckla nya produkter och metoder. Dock säger studie även att stora projekt inte alltid är lämpliga för att testa nya produkter på grund



av dess komplexitet och långa tidshorisonter. Pilotprojekt och testbäddar kan vara ett bra komplement i dessa fall.

För att Öresundsmetron ska kunna genomföras som ett klimatneutralt projekt behöver klimatfrågan genomsyra hela processen från tidiga skeden till drift och underhåll. Lärdomar från litteraturstudie och egna erfarenheter av minskad klimatpåverkan i projekt visar att följande behöver uppfyllas för att en klimatneutral Öresundsmetro ska vara möjlig:

- Beställaren behöver ha kunskap om vad det innebär att driva ett klimatsmart projekt. Det vilar ett särskilt stort ansvar på planerare, projektledare, teknikerspecialister och upphandlare. Beställaren behöver ha kunskap om fungerande processupplägg om hur innovation kan drivas i projektet.
  - o Flera källor (Brammer & Walker, 2011; Vejaratnam, Mohamad & Chenayah, 2020; Chiarini & Vagnoni, 2016; Wong, Chan & Wadu, 2016) konstaterar att en tydlig hållbarhetsvision och starkt ledarskap kopplat till visionen är viktiga faktorer för att höja ambitionerna för minskad klimatpåverkan i projekt. Detta gäller särskilt när projekten har högre mål än de nationella. I detta exempel pekas enskilda eldsjälar ut som viktiga spelare i att driva projektet och hjälpa projektmedlemmar att utvecklas inom hållbarhetsfrågor. På så vis kan en kultur och ett beteende skapas inom projektet.
- Funktionskrav behöver arbetas igenom så att de inte bromsar utveckling av klimatsmarta lösningar. Detta gäller för alla typer av upphandling. Att uttrycka behovet i en upphandling gör att man inte läser metoden eller tillvägagångssättet att uppnå det man önskar (Upphandlingsmyndigheten, 2023) (i detta fallet minskad klimatpåverkan).
- Rätt klimatkrav behöver ställas på och följas upp för samtliga leverantörer; konsult, entreprenör samt materialleverantörer.
  - o Ershadi, Jefferies, Davis & Mojtahedi (2021) konstaterar att följa och upp och kontrollera att klimatkraven från upphandlingen hjälper projektet att upptäcka avvikelser från målen. Därmed kan rätt beslut tas i rätt tid för att få projektet på rätt spår igen.
- Konsult i både planerings- och projekteringskedje samt entreprenör i byggskede behöver ha dokumenterad kunskap av att arbeta med minskad klimatpåverkan i infrastrukturprojekt. För det senare är Bonus ett kraftfullt verktyg.
  - o En studie från Kadefors, Lingegard, Uppenberget et al (2021), tittade på ett antal projekt med mål kring minskad klimatpåverkan. Studien konstaterade att det inte gick att hitta kvalifikationskriterier på CO<sub>2</sub>-relaterad erfarenhet i upphandlingen av entreprenör. En förklaring till detta är att man inte vill exkludera för många potentiella anbudsgivare. Vissa upphandlingar gav dock mervärde vid utvärdering för kunskap om/erfarenhet av minskad klimatpåverkan. På så sätt gynnas dessa aktörer utan att andra diskvalificeras. Ett sådant kriterium kan vara viktigt för att signalera ambition och öka

medvetenheten hos entreprenören tidigt (Varnäs, Balfors & Faith-Ell, 2009; Lam et al., 2011)

- Klimatneutrala byggmaterial måste finnas tillgängliga för projektet.
  - o **Studier visar att en brist på "gröna" produkter kan minska** antalet leverantörer som är med i upphandlingen (Wong, Chan & Wadu, 2016). Vidare kan okunskap kring den faktiska klimatpåverkan av olika material/produkter begränsa upphandlingen (Testa, Iraldo, Frey & Daddi, 2012)
  
- Projektplan behöver anpassas för nya sätt att i samverkan planera, projektera och bygga.  
I utvärderingar av klimatkrav i infrastrukturprojekt konstateras ett behov av större samverkan mellan leverantörer i projekt för att kunna nå större minskningar i klimatpåverkan i projekten (WSP, 2019). En gemensam målbild avseende minskad klimatpåverkan är viktig.
  
- Klimatpåverkan ska finnas med i hela beslutsprocessen.  
Lingegård, Olsson, Kadefors & Uppenberg (2021) menar även att långsiktiga lärandeprocesser både inom och mellan respektive organisation i projektet är nödvändigt för att fortsätta minskning av klimatpåverkan i projektet.  
Klimataspekten måste vara en tungt viktad parameter vid samtliga beslut under projektets gång.

Även om alla åtgärder vidtas är det troligt att vissa klimatgasutsläpp ändå kommer att ske. Kompensationsåtgärder ska vara den absolut sista lösningen för att genomföra en trovärdig klimatneutral Öresundsmetro. Exempel på kompensationsåtgärder är att stödja andra projekt för att reducera, förebygga eller avlägsna växthusgaser från atmosfären genom teknik eller trädplantering.

### 3.5 Resultat

Olika beräkningssätt ger olika svar på hur stor klimatbelastning som anläggandet av en Öresundsmetro kan antas medföra. För Scenario Bas har två olika metoder använts för beräkningen av klimatpåverkan, baserat på:

- Trafikverkets klimatkalkylverktyg med Öresundsmetrons planerade konstruktion och dimensionering
- Med nyckeltal per km tunnel och station med information från Metroselskabet (2023a).

Dessa metoder har gett en beräknad klimatbelastning för anläggningskedet på 417 000 – 511 000 ton CO<sub>2</sub>e. När utsläppen från reinvestering och drift adderas blir den totala klimatbelastningen 595 000 – 730 000 ton CO<sub>2</sub>e, det vill säga i genomsnitt 663 000 ton CO<sub>2</sub>e.

Utifrån nyligen genomförda projekt där minskad klimatbelastning har varit i fokus uppskattas potentialen för minskad klimatbelastning till 30% med dagens tekniker och arbetssätt. Med antagande om att klimatbelastningen med traditionell konstruktion (Scenario Bas) är 663 000 ton CO<sub>2</sub>e, skulle klimatbelastningen i Scenario Optimerat bli omkring 464 000 ton CO<sub>2</sub>e.

Både Trafikverket och materialbranschen har högt uppställda klimatmål om att vara klimatneutrala till 2040-2045. Baserat på detta antas det vara möjligt att anläggandet

av en Öresundsmetro 2035 också har potential att vara klimatneutralt, enligt ett målstyrt scenario (Scenario Målstyrt). Förutsättningarna för detta beskrivs närmare i 3.4. Som minst bedöms klimatbelastningen kunna minska med cirka 80%, då detta är Trafikverkets mål redan till 2030. Det skulle innebära att anläggandet av en Öresundsmetro skulle medföra en klimatbelastning på omkring 133 000 ton CO<sub>2</sub>e.

<b>Sammanfattning av respektive scenario</b>			
Delmoment	Scenario Bas	Scenario Optimerat	Scenario Målstyrt
Klimatpåverkan	663 000 ton CO <sub>2</sub> e	464 000 ton CO <sub>2</sub> e	133 000 ton CO <sub>2</sub> e
Klimatpåverkan med klimatkompensation	663 000 ton CO <sub>2</sub> e	464 000 ton CO <sub>2</sub> e	0 ton CO <sub>2</sub> e
Utformning	Utformning och materialval enligt dagens standarder.	Som Scenario Bas men med optimerade materialmängder och delvis utbytta material (betong och stål).	Som Scenario Bas men med optimerade materialmängder och klimatneutrala material samt potentiell teknisk utveckling så som CCS.
Emissionsfaktorer	Emissionsfaktorer från Trafikverkets klimatkalkylverktyg (2015)	Som Scenario Bas.	Som Scenario Bas.
Material	Metoder och material enligt dagens praxis (2015).	Som Scenario Bas men med betong med lägre klimatpåverkan (alternativa råmaterial såsom masugnsslagg eller flygaska samt alternativa bränslen vid materialframställning) där så är möjligt, (utifrån krav på livslängd och bärighet). Större andel återvunnen stål.	Klimatneutrala betong och stål.
Anläggningsmaskiner	Konventionella arbetsmaskiner och transporter.	Mindre arbetsmaskiner är eldrivna och övriga drivs med biobränslen.	Klimatneutrala arbetsmaskiner och transporter.
Projektledning	Business as usual, med fokus på kostnad och tid	Hela projektet genomsyras och engagerar och driver klimatfrågan.	Som Scenario Optimerat

## 4 Klimatpotential vid trafikering

I detta kapitel redovisas beräkningar som besvarar följande frågeställningar:

- Gods: vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av långväga godstransporter från väg till järnväg till 2035 resp. 2050
- Fjärr: vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av långväga persontransporter från bil och flyg till järnväg till 2035 resp. 2050
- Lokal: vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av lokala personbils- och regiontågstransporter till metro till 2035 resp. 2050.

De tre scenarierna (framför allt gods och fjärr) förutsätter att kapacitetshöjande åtgärder är gjorda i det danska och svenska järnvägsnätet. För en mer detaljerad genomgång av detta, se *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro* (AFRY, 2023).

Klimatpotential kan beskrivas som de minskade utsläpp som en ändrad trafikering i samband med en Öresundsmetro kan innebära. Detta kan alltså innefatta att ett scenario där Öresundsbron avlastas från personresor tack vare Öresundsmetron, och att det därmed finns en potential att flytta över andra transporter till Öresundsbron.

Presenterade resultat i följande kapitel är just potential och utgår från den klimatnytta som är möjlig. För Scenario Lokal finns det prognoser för förväntad överflyttning av resor (Overgaard, 2018). I övriga scenarier, Gods och Fjärr, saknas det prognoser för vilken överflyttning som kan förväntas ske. Istället görs här beräkningar baserat på vilken kapacitet som möjliggörs, vilket således utgör maximal potential för minskad klimatbelastning från person- och godstransporter.

### 4.1 Metod

I nedan kapitel beskrivs den metod som använts för att beräkna klimatpotentialen av trafikering för de tre scenarierna beskriva ovan. Även antaganden och källor som ligger till grund för emissionsfaktorer och trafikering redovisas.

Data för emissionsfaktorer kopplat till trafikering redogörs för i kapitel 4.2 Emissionsfaktorer. I de fall där emissionsfaktor för specifikt 2035 eller 2050 saknas har inter- eller extrapolering gjorts, vilket också beskrivs. Källorna till emissionsfaktorer har i huvudsak bestått av VTI, NTM och akademiska artiklar.

- VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn.
- NTM, Network for Transport Measures, är en ideell organisation som syftar till att etablera en gemensam bas för beräkning av klimatpåverkan för alla olika trafikslag, inklusive person- och godstransporter. NTM har bland annat tagit fram verktyget NTMCalc för beräkning av transportutsläpp.

Transportarbetet har baserats på vilken tillgänglig kapacitet som finns för respektive färdmedel. Ett antal sträckor har valts ut som representativa, då detaljerade prognoser för överflyttning saknas vid exempelvis långväga persontransporter.

Beräkningsgången beskrivs nedan i Figur 12 och Figur 13. I det första skedet beräknas klimatbelastningen för varje scenario.



Figur 12. Principiell beräkningsgång för klimatpåverkan vid trafikering.

Klimatpotentialen vid överflyttning utgörs av skillnaden mellan klimatbelastning för trafikering *innan* och *efter* metrons införande.



Figur 13. Principiell beräkningsgång för klimatpotential vid trafikering. \*Potentialen blir i detta exempel negativ, då klimatbelastningen för trafik vid metrons införande är lägre än om den inte införs.

## 4.2 Emissionsfaktorer

Nedan redogörs härledning och antaganden för de emissionsfaktorer som beräkningarna för klimatpotentialen baseras på. För samtliga emissionsfaktorer används well to wheel (WTW).

Emissionsfaktorerna för transport baseras på g CO2e per transportarbete. För persontransporter blir enheten [g CO2e/personkilometer], för godstransporter [g CO2e/tonkilometer]. Således är det inte endast fordonets och bränslets prestanda som påverkar emissionerna. Även belägningsgraden, antal personer eller ton per fordon, har inverkan på emissionsfaktorerna.

Tabell 4. Emissionsfaktorer per färdmedel vid persontransport. Emissionsfaktorernas källor och härledning beskrivs i Bilaga – Bilaga – Klimatpotential vid trafikering.

Emissionsfaktorer (g CO2/pkm)	Nuläge (årtal)		2035	2050
Personbil SE	134,8	(2021)	33,7	21,3
Persontåg, regional	0,4	(2019)	0,4	0,4
Persontåg, fjärr SE	0,6	(2022)	0,6	0,6
Persontåg, fjärr EU	42	(2022)	24,8	5,0
Metro	6	(2022)	6,0	6,0
Flyg	240	(2018)	158,4	86,4
Lastbil SE	69	(2018)	50,8	32,0
Lastbil EU	84,9	(2018*)	62,5	39,4
Godståg SE	2	(2017)	1,7	1,5
Godståg EU	25	(2008)	12,5	2,0

### 4.3 Överflyttning

I följande delkapitel beskrivs de antaganden som gjorts kring trafikering baserat på de tre definierade scenarierna (Gods, Fjärr och Lokal). Samtliga scenarier baseras på ett införande av Öresundsmetron vilket bedöms ge en överflyttning av lokala och regionala personresor från Öresundsbron till Öresundsmetron. Överflyttningen sker på grund av kortare restid och högre turtäthet med en Öresundsmetro.

Följande är potential och utgår från vilken överflyttning som är möjlig. Scenario Gods och Fjärr baseras på den potential som är möjlig, då prognoser saknas (diskussion kring detta följer i kapitel 5.2.1 - Potential och prognos). I exempelvis Scenario Gods möjliggörs denna överflyttning att fler godståg kan trafikera Öresundsbron och således ersätta transporter som annars skulle göras med andra färdmedel. Förutsättningar för Tabell 5 beskrivs i Bilaga – Klimatpotential vid trafikering. För Scenario Lokal finns det prognoser för förväntad överflyttning av resor.

Tabell 5. Förutsättningar för beräkning av Scenario Gods för år 2035 och 2050. Antal godstågslägen per dygn avser totalt för båda riktningar.

Scenario Gods	Utan metro	Med metro	Skillnad
2035			
Antal godstågslägen per dygn och riktning, totalt	96	144	48
Godsmängd per tåg [ton]	792		-
Godsmängd per dygn [ton]	76000	114000	38000
2050			
Antal godstågslägen per dygn och riktning, totalt	144	192	48
Godsmängd per tåg [ton]	1044		-
Godsmängd per dygn [ton]	150300	200400	50100

I Scenario Fjärr möjliggörs denna överflyttning att fler fjärrtåg kan trafikera Öresundsbron och således ersätta personresor som annars skulle göras med andra färdmedel. Förutsättningar för Tabell 6 beskrivs i Bilaga – Klimatpotential vid trafikering. Här antas att utan en metro trafikeras Öresundsbron av två fjärrtåg per timme och riktning. Med en metro är motsvarande siffra tre fjärrtåg per timme och riktning år 2035 respektive fyra fjärrtåg per timme och riktning år 2050.

Tabell 6. Förutsättningar för beräkning av Scenario Fjärr för år 2035 och 2050. Antal godstågslägen per dygn avser totalt för båda riktningar.

Scenario Fjärr	Utan metro	Med metro	Skillnad
2035			
Antal fjärrtågslägen per dygn och riktning, totalt	72	108	36
Antal passagerare per tåg	200		-
Resor per dygn	14400	21600	7200
2050			
Antal fjärrtågslägen per dygn och riktning, totalt	72	144	72
Antal passagerare per tåg	400		-
Resor per dygn	28800	57600	28900

I Scenario Lokal beräknas den överflyttningen av resorna till Öresundsmetron från andra färdmedel. För Scenario Lokal är det resandeprognoser som underbygger

Klimatpotentialen. Förutsättningar för Tabell 7 beskrivs i Bilaga – Klimatpotential vid trafikering.

Tabell 7. Förutsättningar för beräkning av Scenario Lokal för år 2035 och 2050.

Scenario Lokal	Regiontåg	Personbil
2035		
Överflyttade resor till metro	16000	5500
2050		
Överflyttade resor till metro	32000	11000

För mer information kring antaganden kring trafikering för år 2035 och 2050 hänvisas till den utredningen som gjordes parallellt med detta arbete, *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro* (AFRY, 2023).

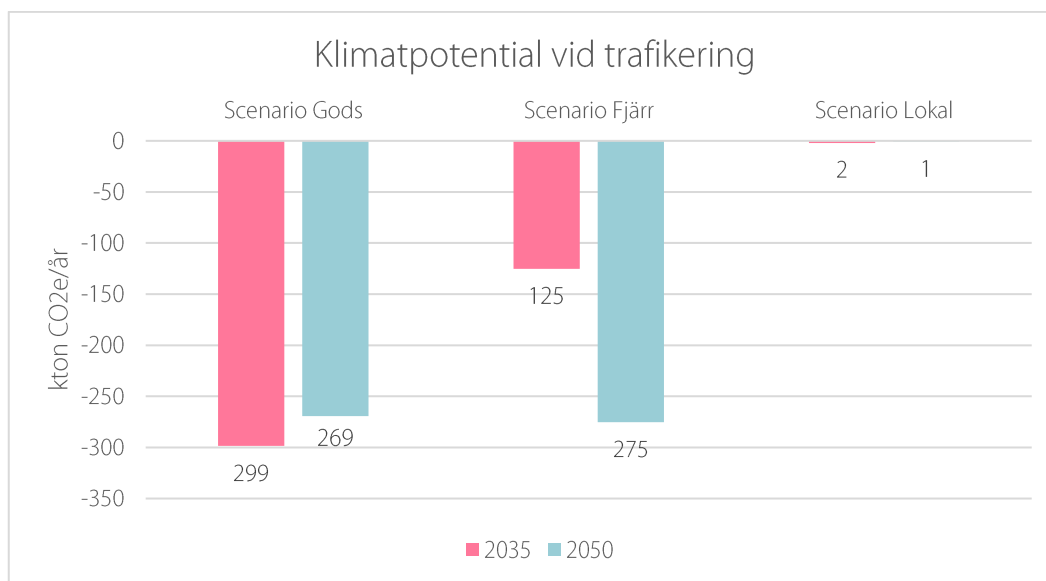
#### 4.4 Resultat

Resultatet för respektive scenario för år 2035 och 2050 redovisas i Figur 14. Som beskrivet i inledningen av kapitel 4 är Scenario Gods och Fjärr två alternativ som möjliggörs av att Öresundsbron avlastas från personresor tack vare Öresundsmetron. Det är genom detta som en klimatpotential uppstår genom överflyttning av andra transporter till Öresundsbron. Det går därför att argumentera för att om Öresundsmetron *inte* byggs, går man miste om denna potential, som istället blir en klimatbelastning när exempelvis gods fortsatt går med lastbil istället för godståg.

Klimatpotentialen beskriven i rapporten är just potential och utgår från den klimatnytta som är möjlig. I scenarier Gods och Fjärr saknas det prognoser för vilken överflyttning som kan förväntas ske. Istället har beräkningar gjorts baserat på vilken kapacitet som möjliggörs, vilket således utgör maximal potential för minskad klimatbelastning från person- och godstransporter.

Det finns osäkerheter i de indata och antaganden som gjorts för att genomföra beräkningarna, vilket utvecklas och diskuteras i kapitel 5. Den klimatpotential som redovisas i scenarierna i Figur 14 bör därför ses som spann.

Då Scenario Gods och Fjärr är två scenarier som maximerar denna överflyttningspotential för antingen gods (scenario Gods) eller långväga personresor (scenario Fjärr), är det inte möjligt att dessa sammanfaller, och potentialen kan således inte summeras. Istället går det att se på dem som vad som skulle kunna vara möjligt. Scenario Lokal, där Öresundsmetron innebär en överflyttning från järnväg och väg till metro beskrivs, är dock en förutsättning för att någon av de övriga scenarier ska vara möjliga.



Figur 14. Jämförelse mellan klimatpotential vid trafikering av respektive scenario. Att klimatpotentialen i Scenario Gods 2050 är lägre än 2035 beror på att emissionsfaktorerna för lastbilar minskar i högre utsträckning än för godståg.

Enligt beräkningarna utgör scenario Fjärr, när Öresundsmetron avlastar Öresundsbron så att fler godståg kan trafikera, den största klimatpotentialen. Anledningen till detta är att emissionsfaktorerna per tonkm är betydligt lägre för järnväg jämfört med lastbil, både idag och i framtiden. Detta beror till stor del på att merparten av järnvägsnätet är elektrifierat, men även rent fysikaliska egenskaper hos järnvägen som gör den mer energieffektivt än andra transportmedel.

Vidare är transportarbetet (antal tonkm) för Scenario Gods stort. Detta då godståg har en hög lastkapacitet, samt att den förutsatta sträckan för en godstransport på järnväg är lång jämfört med sträckorna i övriga scenarier.

I Scenario Fjärr kan fler fjärrtåg trafikera Öresundsbron när delar av det lokala och regionala resandet över sundet flyttar över till Öresundsmetron. Detta scenario har näst högst klimatpotential av de tre.

Av de överflyttade resorna är det överflyttningen från flygtrafiken som utgör störst klimatpotential. Detta då flyg har högst emissionsfaktor både vid 2035 och 2050, samt att den största delen av de överflyttade resorna antas ske från flygtrafiken. Den ökade klimatpotentialen mellan 2035 och 2050 utgörs främst av en ökad kapacitet för fjärrtågen i form av fler tåglägen per dygn.

Av de tre scenarierna har Scenario Lokal, som ser till den lokala och regionala trafiken, lägst klimatpotential. Eftersom det är kortare avstånd för personresor i Scenario Lokal jämfört med Scenario Fjärr är det överflyttade transportarbetet (uttryckt i antal personkilometer) också lägre. För Scenario Lokal finns även prognosticerade siffror, vilket skiljer sig från övriga scenario som utgår från kapacitet och potential.



## 5 Diskussion

### 5.1 Klimatpåverkan vid anläggning

Klimatpåverkan vid anläggning har beräknats med två olika metoder, som båda innehåller osäkerheter. En stor osäkerhet som präglar resultaten är det tidiga skede som projektet befinner sig. Det saknas således förprojektering av sträckan, istället har en skiss för den dubbelspåriga tunneln använts.

Resultatet från denna del av analysen bör således inte betraktas som den exakta utsläppsmängden som kommer ske vid ett byggande av Öresundsmetron. Snarare bör det betraktas som ett kunskapsunderlag som visar vilka poster i anläggningskedet som är utsläppsdrivande, och därmed var fokus bör läggas för att minska klimatpåverkan.

Slutligen bör det nämnas att även klimatomställningen i anläggningsbranschen är i ett tidigt skede. Det finns flera högt uppsatta mål hos beställare, producenter och entreprenörer med målår redan inom mindre än 10 år. Det går inte att säkert säga att dessa kommer nås. Samtidigt finns det troligtvis lösningar med potential för minskad klimatpåverkan som ännu inte har utforskats eller uppfunnits.

Det är ofta materialen som står för den största klimatpåverkan från ett anläggningsprojekt. Material som kräver stora mängder energi vid tillverkning, där energin ofta består av fossila bränslen. Projektstyrning och kvalitetsarbete har dock mycket stor betydelse för om ett projekt blir klimatsmart. Goda idéer förblir just idéer om de inte implementeras i projektet. För att fånga upp goda idéer krävs det att alla individer är införstådda med hur den roll de har och de beslut de fattar, påverkar klimatet. Beslutsfattarna behöver ta med klimatpåverkan tidigt när det fortfarande går att välja lösning.

### 5.2 Klimatpåverkan vid trafikering

För resultatet för klimatpåverkan vid trafikering finns det ett antal aspekter att diskutera. Detta rör dels en jämförelse med andra liknande analyser som genomförts, men även vilka felkällor och osäkerheter som finns i de antaganden och den indata som använts i analysen.

#### 5.2.1 Potential och prognos

Inledningsvis ska det nämnas att potential och prognos är två skilda begrepp. En prognos är en bedömning av framtida förväntad efterfrågan, baserat på givna förutsättningar. Inom prognoser anges vad som beräknas vara troligt medan potential snarare är *att ha eller visa kapacitet att utvecklas till något i framtiden*. Att det exempelvis är möjligt att köra fyra godståg per timme och riktning är en potential, men en prognos (baserat på bedömning av förväntad efterfrågan på exempelvis godstransport på järnväg) kan visa att endast tre godståg behöver köras för att möta efterfrågan.

#### 5.2.2 Överflyttning

Utöver en Öresundsmetro krävs även andra åtgärder och investeringar för att potentialen som Öresundsmetron medför ska kunna utnyttjas. Hur dessa åtgärder ska se ut ingår inte inom detta uppdrag, men i korthet kan följande huvuddrag vara viktiga för att göra Öresundsmetron och transport på järnväg attraktivt:

- Jobba med incitament för omställning av person- och godstransporter på lokal, regional och nationell nivå
- Konkurrenskraftig prissättning för såväl personresor som för godstrafik på järnväg
- Ökad tillförlitlighet och punktlighet för transport på järnväg
- Möjliggöra effektiva resor dörr-till-dörr (hela-resan-perspektivet) inklusive effektiva omlastningsterminaler för godstransporter

### 5.2.3 Elektrifiering

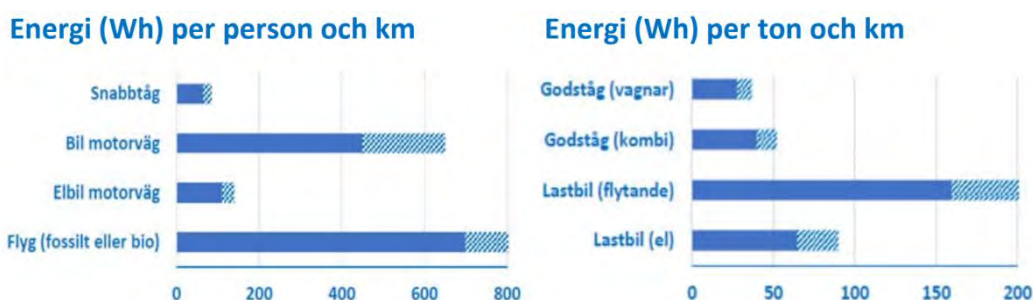
För samtliga scenarier görs en utblick med ett längre tidsperspektiv, och därmed andra emissionsfaktorer (vilket finns beskrivet i 4.2 - Emissionsfaktorer). Ju längre fram i tiden man tittar, desto större osäkerheter finns det. Exempelvis är omställningen av fordonsflottan i en tidig fas och det är svårt att sia om exakt hur denna kommer att påverka emissioner med en högre grad fordon som drivs på el eller andra bränslen. Exempel på osäkerheter är

- Osäkerheter kring batteriets livslängd, vilket kan påverka omställningstakten.
- Utsläppsfria fordon är fortfarande i tidigt tekniskede och nya tekniker kan komma att utvecklas snabbt.
- Omställningen bygger på att utbyggnaden av publik laddinfrastruktur sker i tillräcklig takt.

Det finns flera ambitiösa mål angående klimatneutralitet för inrikesflyg, men utvecklingen är i en tidig fas och osäkerheter finns. Exempelvis är har ett flygplan en livslängd på cirka 20-30 år (Transportstyrelsen, 2022).

Trafikanalys genomförde år 2020 studien *Eflyg – början på en spännande resa – redovisning av ett regeringsuppdrag*. Studien kom bland annat fram till att begränsad passagerarkapacitet och räckvidd för elflyget initialt innebär att det endast i begränsad omfattning kan komma att ersätta det konventionella flyget. Flygningar med mindre plan utgör endast cirka 2% av det totala antalet inrikes flygningar. Vidare kommer successiv förbättring som sker avseende de litiumjonbatterier som idag används möjliggöra längre flygningar med små plan, men för att möjliggöra större plan som flyger längre sträckor krävs att ny batteriteknik lanseras.

Det pågår även en elektrifiering inom lastbilssektorn, där tillverkare spår en ökad mängd eldrivna lastbilar inom de närmaste åren. Detta kommer att ge lägre emissionsfaktorer, vilket även visas i bland annat Tabell 4. Emissionsfaktorerna per tonkm för elektrifierade lastbilar kommer dock troligen aldrig nå ned till godstågens nivåer. Detta då rullmotståndet mellan stålhjul och järnvägsräls (godståg) är betydligt lägre än gummihjul mot asfalt (lastbil). Energibehovet per ton är således lägre för tåg, oavsett vilken energikälla som används.



Figur 15. Typisk energianvändning i moderna person- och godstransporter på avstånd 10–100 mil. Godståg antas i snitt ha 50% beläggning av sin lastkapacitet; lastbilar antas ha 60%. Flytande bränslen för bilar och flyg innebär både diesel och biodiesel. Eldrivna tåg och bilar använder förnybar el. Den skrafferade ytan anger en osäkerhetsbuffert. (KTH Järnvägsgrupp, 2020)

### 5.3 Övriga investeringar och tidsperspektiv

Den klimatpotential som redovisas i 4.4 Resultat är stor för Scenario Gods och Fjärr, har diskuterats tidigare och kan delvis härledas från ett stort trafikarbete som utgörs av att det är långa transporter/resor som förflyttas. Att flytta en resa från bil till järnväg ger större klimatpotential om resan är från Stockholm till Köpenhamn, jämfört om resan är från Lund.

Den totala klimatpotentialen är så stor att även om endast en mindre andel av potentialen som uppnås, visar det på möjligheter att över tid kompensera för den klimatbelastning som anläggandet av en Öresundsmetro innebär. Detta kan liknas vid de längre tidsperspektiv som tillämpas på ekonomiska avskrivningar. Över en tidshorisont kan anläggningsutsläppen räknas in även om endast ett fåtal procent av potentialen uppnås.

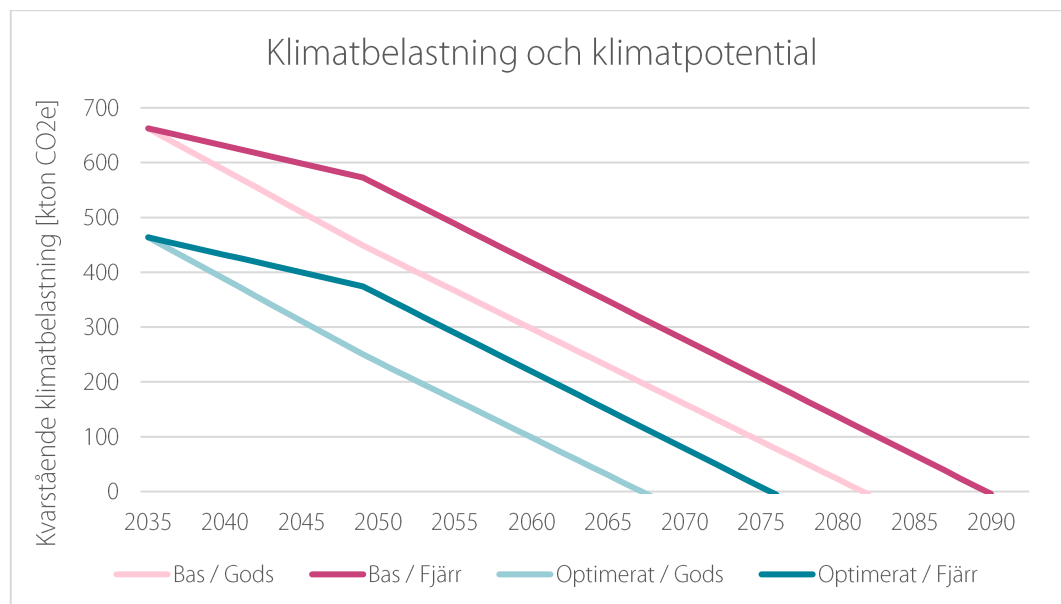
För att utnyttja Öresundsbronns kapacitet för järnväg är andra åtgärder och investeringar i järnvägsnätet nödvändiga. Ett exempel på detta är att för att kunna köra fyra fjärrtåg per timme och riktning över Öresundsbron (motsvarande Scenario Fjärr år 2050) behövs utökad kapacitet hela vägen från Öresund till Stockholm och Göteborg. Ett betydande projekt i detta är utbyggnaden av Södra stambanan till fyrspar mellan Malmö och Stockholm. Det är först när detta är färdigställt som Öresundsbronns fulla kapacitet bedöms vara en begränsande faktor i järnvägssystemet. För mer information se *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro* (AFRY, 2023).

Ovan innebär att ytterligare åtgärder innebär ytterligare klimatbelastningar i anläggningsskeden av dessa projekt. Detta är något som inte inkluderats i denna studie. För en rättvis bedömning bör således Öresundsmetrans klimatpotential tolkas som att den skördar nyttan av ett fullt utbyggt järnvägssystem.

Ett sätt att beräkna Öresundsmetrans klimatpotential är därför att endast tillskriva en andel av den totala klimatpotentialen till Öresundsmetrans avlastning, och resterande andelar till andra järnvägsinvesteringar. Som ett räkneexempel antas Öresundsmetron skörda klimatpotentialen på sträckan Malmö C – Köpenhamn H, som är sträckan som avlastas i synnerhet. Denna sträcka (42 km) motsvarar cirka 5% av stråket Hallsberg – Hamburg (822 km), vilket är den totala sträcka som klimatpotentialen beräknats för.

I Figur 16 visas hur den klimatbelastningen från Scenario Bas och Optimerat "skrivs av" per år av klimatpotentialen baserat på trafikeringsscenario Gods och Fjärr. För anläggningsscenario Optimerat med trafikeringsscenario Gods nås nollpunkten vid

2068, vilket är beräknat som den snabbaste avskrivningstiden. I jämförelse nås nollpunkten för anläggningsscenario Bas med trafikeringsscenario Fjärr först år 2090. Detta visar på ett spann för när Öresundsmetrons klimatbelastningen kan vara avskriven förutsatt att den fulla trafikeringspotentialen uppnås.

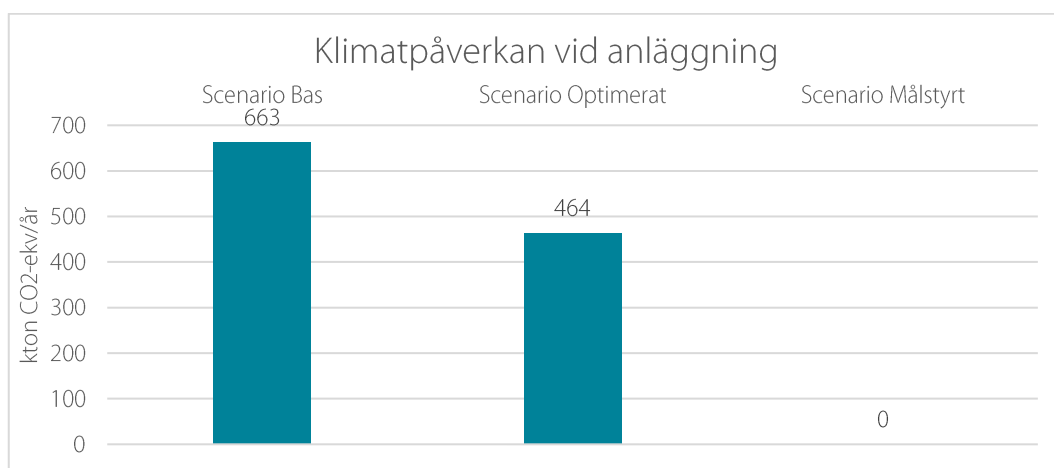


Figur 16. Avskrivning av den initiala klimatbelastningen från anläggningsscenario, baserat på klimatpotentialen för överflyttning av gods respektive fjärrtransporter uppfylls. Baseras på förenklingen att Öresundsmetron kan tillgodoräkna sig cirka 5% av den årliga klimatpotentialen från respektive trafikeringsscenario. Anledningen till att linjen för respektive fjärrscenario har ett brott är att den beräknade årliga potentialen från trafikeringen ökar vid 2050, se kapitel 4.

## 6 Samlad bedömning klimatavtryck

Den samlade klimatpåverkan av en Öresundsmetro redovisas genom att jämföra klimatavtrycket vid byggnation och drift av samt återinvesteringar i en Öresundsmetro med den förväntade minskningen av klimatavtrycket från färre körda regiontåg över Öresund samt potentialen till överflyttning av lastbilsgods till järnväg och flygresor till fjärrtåg. Klimatpåverkan redovisas totalt sett samtidigt som klimatpotentialen vid trafikering är per år.

Klimatpotentialen beskriven i rapporten är just potential och utgår från den klimatnytta som är möjlig. I scenarier Gods och Fjärr saknas det prognoser för vilken överflyttning som kan förväntas ske. Istället har beräkningar gjorts baserat på vilken kapacitet som möjliggörs, vilket således utgör maximal potential för minskad klimatbelastning från person- och godstransporter.



Figur 17. Jämförelse mellan klimatpåverkan för respektive scenario vid anläggande av Öresundsmetron. Avser anläggning inklusive reinvestering och drift.

Klimatpåverkan för Scenario Bas baseras på genomsnittet av resultat från Trafikverkets klimatkalkylverktyg samt nyckeltal från Metroselskabet (2023a). Detta har resulterat i ett spann inom vilket det är troligt att klimatpåverkan från anläggandet av en Öresundsmetro hamnar med traditionella byggnadstekniker. Resultatet uppgår till 663 kton CO<sub>2</sub>e. Majoriteten av utsläppen som genereras kommer från betong med tillhörande armeringsstål.

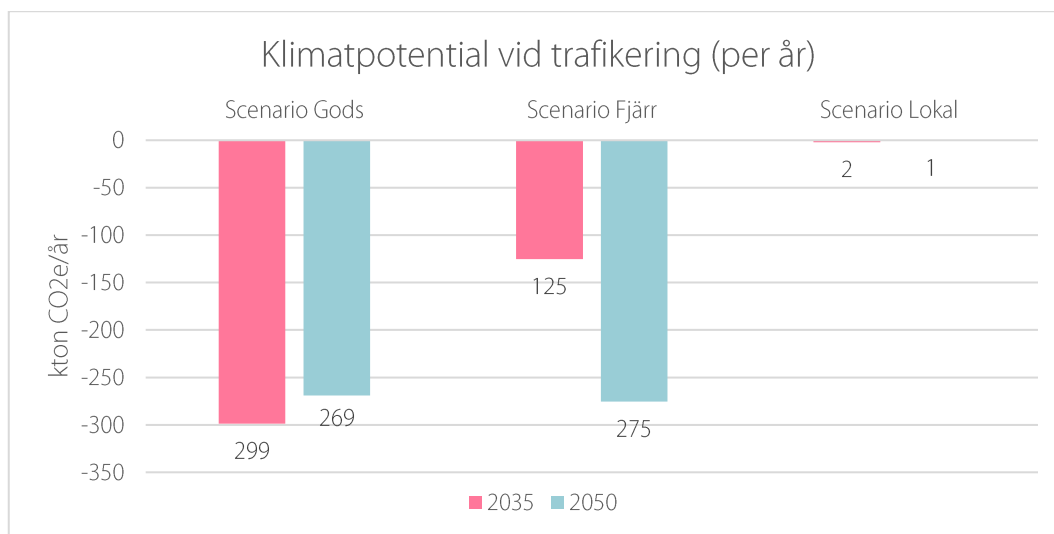
Om konstruktionen skulle göras med de nyaste teknikerna, Scenario Optimerat, visar beräkningarna att det är möjligt att minska klimatbelastningen med cirka 199 kton CO<sub>2</sub>e till 464 kton CO<sub>2</sub>e. Detta kan härledas från tydliga målsättningar vid projektering samt minskad materialåtgång vid emissionstunga moment i entreprenad.

Det framtidsscenario, 2035 och framåt, som uppmålas i Scenario Målstyrt utgår från en målstyrd konstruktion där en klimatneutral Öresundsmetro ses som en möjlighet. Det är dock inte klarlagt hur kompensationsåtgärderna som krävs för detta ska se ut.

För klimatpotential vid trafikering har Scenario Lokal, där lokala personresor med tåg och bil flyttas till metro, en låg klimatpotential i sig. Det är dock denna trafik som möjliggör för Scenario Gods eller Fjärr.

Av dessa bedöms Scenario Gods, där överflyttning av långväga godstransporter sker från väg till järnväg, ha högst klimatpotential. Beroende på vilket år som beräknas kan

detta ha en teoretisk effekt som minskar utsläppen av godstransporter på cirka 270-300 kton CO<sub>2</sub>e under ett år.



Figur 18. Jämförelse mellan klimatpotential vid trafikering av respektive scenario. Att klimatpotentialen i Scenario Gods 2050 är lägre än 2035 beror på att emissionsfaktorerna för lastbilar minskar i högre utsträckning än för godståg.

Motsvarande för Scenario Fjärr, överflyttning av långväga persontransporter från bil och flyg till järnväg, har näst högst klimatpotential (125-275 kton CO<sub>2</sub>e under ett år). Enligt denna analys är således en högre klimatpotential att flytta över långväga godstransporter, snarare än långväga persontransporter.

För att utnyttja Öresundsbrons fulla potential för järnväg behöver dock andra åtgärder och investeringar i järnvägsnätet också göras, vilket kommer att innebära ytterligare klimatbelastningar i anläggningsskedet av dessa projekt. Det krävs även att det sker en stor överflyttning för transporter från väg till järnväg.

Sammanfattningsvis bedöms att Öresundsmetrons klimateffekter kan innebära en initial klimatbelastning i anläggningsskedet, baserat på vilken av anläggningsscenario som uppfylls. Därefter finns det potential att över tid spara in detta genom minskad klimatpåverkan från både personresor och godstransporter.

Om endast en mindre del av klimatpotentialen uppnås per år, är det ändå troligt att det över en längre tidshorizont är möjligt att kompensera för klimatbelastningen vid anläggningen. Detta går att likna vid ekonomiska kalkyler för anläggningar, där exempelvis Öresundsbron planeras att vara återbetald vid år 2050, 50 år efter den invigdes. Hur snabbt en klimatbaserad avskrivning kan göras beror på hur stor överflyttning som sker och hur stor del av potentialen som kan tillskrivas Öresundsmetron. Om samtliga parametrar inklusive överflyttning av transporter uppnås är det, enligt de antagande som gjorts inom ramen för denna utredning, möjligt att nå en klimatomkostlig break-even inom cirka 55 år efter Öresundsmetrons öppnande.

## 7 Referenser

AFRY, 2023. *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro.*

Amberg group, 2023. *Tunnel boring machines (TBM) – Roadheaders (TSM)*  
<https://amberggroup.com/news-events/new/tunnel-boring-machines-tbm-roadheaders-tsm>  
[Hämtat 2023-06-27]

Bane NOR, 2022. *Bærekraft VEIKART 2021-2025*

Bane NOR, 2023. *Kuttet anleggsutslipp med 100.000 tonn CO2*  
<https://www.banenor.no/prosjekter/alle-prosjekter/nytt-dobbeltspor-drammen-kobbervikdalen/2020/kuttet-anleggsutslipp-med-100-000-tonn-co2/>  
[Hämtat 2023-07-05]

Brammer & Walker, 2011. *Sustainable procurement in the public sector: An international comparative study.*

Chiarini & Vagnoni, 2016. *Environmental sustainability in European public healthcare: Could it just be a matter of leadership?*

Energimyndigheten, 2023. *Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)*  
<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/>  
[Hämtat 2023-07-12]

European Council, 2023. *Council and Parliament reach provisional agreement to empower consumers for the green transition*  
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/09/19/council-and-parliament-reach-provisional-agreement-to-empower-consumers-for-the-green-transition/>  
[Hämtat 2023-10-06]

Happonen, Rasmusson, Elofsson & Kamb, 2022. *Aviation's climate impact allocated to inbound tourism: decision-making insights for "climateambitious" destinations.* Journal of Sustainable Tourism.

IVL Svenska Miljöinstitutet (2022). *Beräkning av klimatutsläpp från tjänsteresor och övrig bränsleanvändning.* Version nr 6.

ITA-AITES World Tunnel Congress, WTC2020 and 46th General Assembly Kuala Lumpur Convention Centre, Malaysia 15-21 May 2020. *Nozzleman qualifications - an increased focus on concrete spraying performance* Eric Odkrans, EFNARC & EDVIRT Kevin Stubberfield, EFNARC & EDVIRT Max Eckstein, EFNARC & SIKAL Aliva Thomas Dalmalm, Swedish Transport Administration

Johansson, Vierth & Holmgren, 2021. *Klimat- och miljöeffekter av att flytta godstransporter från väg – Beräkningar för år 2017, 2030 och 2040.* VTI rapport 1091.

Kadefors, Lingegård, Uppenberg et al. 2021. *Designing and implementing procurement requirements for carbon reduction in infrastructure construction - international overview and experiences*

KTH Järnvägsgrupp, 2013a. *Färdplan för utveckling av godstransporter på järnväg och kombitransporter - High capacity transports for rail – Gröna godståget.*

KTH Järnvägsgrupp, 2013b. *Effektiva gröna godståg Program för forskning, utveckling och demonstration.*

KTH Järnvägsgrupp, 2020. *Varför behövs Nya Stambanor i Sverige?*

Lam, Edwin, Chan, Chau, Poon & Chun, 2011. *Environmental Management System vs Green Specifications: How Do They Complement Each Other in the Construction Industry?*

Lingegård, Olsson, Kadefors & Uppenberg, 2021. *Sustainable Public Procurement in Large Infrastructure Projects—Policy Implementation for Carbon Emission Reductions*

Malmström, 2020. *Do emission reduction targets limit our shopping alternatives? An accessibility case study of two Swedish shopping centres with CO2 as a travel cost indicator.*

Malmö stad, 2022. *Öresundsmetro – Spårgeometri.*

<https://malmo.se/Stadsutveckling/Stadsutvecklingsomraden/Vastra-Hamnen/Galeonen.html>

[Hämtat 2023-10-03]

Malmö stad, 2023. *Öresundsmetro – Spårgeometri.*

Metroselskabet, 2020. *Udredning Metrobetjening af Lynetteholm*

Metroselskabet, 2022. *Bilag 3: Forudsætnings- og beregningsnotat for CO2e-tal ved udvikling af Østhavnen*

Metroselskabet, 2023a. *Excelblad med beräkningsförutsättningar för klimatpåverkan vid anläggande av metrolinje M3.*

Metroselskabet, 2023b. *Presentationsmaterial KLIMA OG BÆREDYGTIGHED I FREMTIDENS METRO (Powerpoint)*

Naturvårdsverket, 2023. *Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser.*

<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>

[Hämtat 2023-05-12]

Nelldal och Wejsman, 2013. *Godstransporter 2014-2030-2050 - analys av godsflöden, järnvägens produkter och rangerbangårdar.*

Norwegian tunnelling society, 2022. *Sustainability in Norwegian tunnelling. Publication No. 30*

NTMCalc 4.0, 2022a. *Train travel baselines 2018.*

<https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/train-travel-baselines-2018/>

[Hämtat 2023-01-30]

NTMCalc 4.0, 2022b. *Air Measures.*

<https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/air-travel-baselines-2018/>

[Hämtat 2023-01-30]

NTMCalc 4.0, 2022c. *Road cargo transport baselines.*

<https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/road->



[transport-baselines/](#)

[Hämtat 2023-02-28]

NTMCalc 4.0, 2023. *NTMCalc Basic 4.0 Environmental Performance Calculator*

<https://www.transportmeasures.org/ntmcalc/v4/basic/index.html#/>

[Hämtat 2023-05-12]

Overgaard, 2018. *Öresundsmetro – Opdateret trafikprognose 2018.*

Rail Projects Victoria, 2022. *Sustainability Annual Report 2022.*

Railway Technology, 2020. *Cityringen Metro, Copenhagen, Denmark.*

<https://www.railway-technology.com/projects/cityringen-metro-copenhagen/>

[Hämtat 2023-07-05]

Ramboll, 2016. *Øresundsmetro Fase 3. Uddybende studie af en boret tunnelloøsning.*

Region Skåne, 2018. *Resvaneundersökning i Skåne 2018*

Region Skåne, 2021. *Persontågsstrategi Strategi för utveckling av den regionala tågtrafiken i Skåne 2020–2040*

State Government of Victoria, 2023a. *Portland cement reduction*

<https://bigbuild.vic.gov.au/projects/metro-tunnel/about/sustainability/initiatives/reducing-carbon-emissions-in-concrete/portland-cement-reduction>

[Hämtat 2023-07-05]

State Government of Victoria, 2023b. *Greener TBM slurry processing*

<https://bigbuild.vic.gov.au/projects/metro-tunnel/about/sustainability/initiatives/greener-tbm-slurry-processing>

[Hämtat 2023-07-05]

SVT, 2023. *Klimatsmarta bron i Kalix – så mycket minskade koldioxidutsläppen*

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/norrbottnen/sa-mycket-minskade-koldioxidutslappen-vid-klimatsmarta-bron-i-kalix>

[Hämtat 2023-08-22]

Sydney Metro, 2023. *Sustainability Report 2022*

Testa, Iraldo, Frey & Daddi, 2012. *Drawbacks and Opportunities of Green Public Procurement: An Effective Tool for Sustainable Production.*

Tideway, 2019. *Using river much better for air quality, study finds*

<https://www.tideway.london/news/site-news/2019/november/using-river-much-better-for-air-quality-study-finds/>

[Hämtat 2023-07-06]

Tideway, 2022. *Sustainability report 2022*

TOSCA, 2011. *TOSCA Project Final Report: Description of the Main S&T Results/Foregrounds. EC FP7 Project*

Trafikanalys, 2020. *Elflyg – början på en spännande resa – redovisning av ett regeringsuppdrag. Rapport 2020: 12.*

Trafikanalys, 2021a. *Transportarbete. Tabellverk.*

<https://www.trafa.se/ovrig/transportarbete/>

[Hämtad 2023-02-28]

Trafikanalys, 2021b. *Transportarbete 2020 Metod PM.*

Trafikanalys, 2022. *Transporternas energi- och klimateffektivitet*

Trafikverket, 2017a. *Samgods och tomtågsflöde*

Trafikverket, 2017b. *Klimatpåverkan från höghastighetsjärnväg, Sträckorna Järna-Göteborg och Jönköping-Lund*

Trafikverket, 2021. *Marknadsanalys och möjliga överflyttningar från flyg och bil*

Trafikverket, 2022. *Uppdragsbeskrivning, UB. För upprättande av systemhandling, förfrågningsunderlag, tillståndshantering och anmälningar för utförandeentreprenad **gällande projekten "Sundsvall tillgänglighet och resecentrum" och "Dubbelspår Kubikenborg - Sundsvall" samt framtagande av järnvägsplan för projektet "Dubbelspår Kubikenborg - Sundsvall" inom Sundsvalls kommun i Västernorrlands län.***

Trafikverket, 2023a. *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar.*

<https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Luft/Dokument-och-lankar-om-luft/handbok-for-vagtrafikens-luftforeningar/>

[Hämtat 2023-02-28]

Trafikverket, 2023b. *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.1*

Transportstyrelsen, 2022. *Åtgärder för att minska flygets klimatpåverkan.*

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Klimat/atgarder-for-att-minska-flygets-klimatpaverkan/>

[Hämtat 2023-01-30]

Upphandlingsmyndigheten, 2023. *Funktionskrav i upphandling.*

<https://www.upphandlingsmyndigheten.se/inkopsprocessen/genomfor-upphandlingen/funktionskrav-i-upphandling/>

[Hämtat 2023-07-11]

VA SYD, 2023. *Referensrapport, Klimatkalkyl byggskede.*

Varnäs, Balfors, & Faith-Ell, 2009. *Environmental consideration in procurement of construction contracts: Current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry*

Veidekke, 2023. *UDK 01, Drammen / Vestfoldbane*

<https://www.veidekke.com/projects/udk-01-drammen--vestfoldbanen/>

[Hämtat 2023-07-05]

Vejaratnam, Mohamad & Chenayah, 2020. *A systematic review of barriers impeding the implementation of government green procurement.*

Wong, Chan & Wadu, 2016. *Facilitating effective green procurement in construction projects: An empirical study of the enablers.*

WSP, 2019. *Kontrollstation 2018 utvärdering av Trafikverkets klimatkrav för infrastruktur*

WSP, 2021. *Klimatanalys Oslo-Stockholm 2.55*

## 8 Bilaga – Klimatpåverkan vid anläggning

Denna bilaga beskriver förutsättningarna för beräkningarna i Scenario Bas samt ger en utförligare beskrivning av tekniker och metoder för minskad klimatpåverkan i anläggningsprojekt.

### 8.1 Beräkningsförutsättningar Scenario Bas

Trafikverkets klimatkalkylmodell har använts för att ta fram en prognos över hur stor klimatpåverkan en 26,1 km lång tunnel skulle innebära. Trots att inte modellen är anpassad för alla anläggningstekniker kan detta scenario ses som en initial beräkning som troligtvis kommer att uppdateras om beslut tas på att anlägga en Öresundsmetro.

I klimatkalkylmodellen finns det antaganden för vilka mängder material som uppskattas behövas med emissionsfaktorer från 2015 för respektive material. En stor del av underlaget i modellen är baserat på mängder från Botniabanan.

Under Malmö ska Öresundsmetron bestå av två enkelspåriga tunnlar med en diameter på 6,3 m med en längd av 2,5 km vardera. Under Öresund planeras spåren att förläggas i en tunnel med en diameter på 11,3 m med dubbelspår med en längd av 23,6 km (26,1-2,5).

I Tabell 8 listas den indata som använts i Trafikverkets klimatkalkylverktyg för att beräkna klimatpåverkan från anläggning av en Öresundsmetro uppdelat på enkelspårstunnel respektive dubbelspårstunnel.

Tabell 8. Redogörelse för indata i Trafikverkets klimatkalkylverktyg.

Beräkningsförutsättningar i Scenario Bas		
	Enkelspårstunnel	Dubbelspårstunnel
Diameter (m)	6,3	11,3
Ytterarea (m <sup>2</sup> )	31,17	100,29
Innerarea (m <sup>2</sup> )	23,76	86,59
Lining (m <sup>2</sup> )	7,41	13,7
Lining tot (m <sup>3</sup> )	37 050	323 320
Lining armering ton	4446	38798
Mellanvägg (m <sup>2</sup> )	0,98	1,9
Golv (m <sup>2</sup> )	2,825	5,375
Tak (m <sup>2</sup> )	0,91	1,75
Betong MGT (m <sup>2</sup> )	4,715	9,025
Betong MGT (m <sup>3</sup> )	23575	212990
Armering MGT (ton)	2829	25559
TBM (kWh)	1 870 200	28 402 128

En diameter på 6,3m ger en tunnelarea på 31 m<sup>2</sup>. I Trafikverkets klimatkalkyl finns en typtunnel med en diameter på 36 m<sup>2</sup>. Längden för Öresundsmetron under Malmö är därför omräknad enligt  $31/36 \times 5 = 4,3$  km.

Energiåtgången för en TBM-maskin uppskattas till 91 kWh per kubikmeter tunnel enligt uppgifter från tidigare projekt för tunnel med liknande diameter. Här ingår TBM-maskin inklusive band för massor samt ventilation. Energiåtgången för tunneldrivningen av de två enkelspårstunnlarna under Malmö blir då cirka 14 180 000 kWh och för dubbelspårstunneln under Öresund 215 380 000 kWh. Totalt för hela sträckan beräknas energiåtgången för TBM-maskinen uppgå till 229 570 000 kWh.

I beräkningen har en lining på 0,4 m antagits, vilket ger en mängd på 37 050 m<sup>3</sup> för enkelspårstunnlarna och 323 320 m för dubbelspårstunneln.

För att beräkna mängden armering har uppgifter från bergmekaniker från AFRY använts. Mängden armering i lining har uppskattats till 120 kg stål per m<sup>3</sup> betong.

Utöver liningen har även betongmängden för mellanvägg, golv och tak i dubbelspårstunneln ingått i kalkylen. Samma förhållande för armeringsstål har använts för dessa byggelement. En tvärsnittsarea för dubbelspårstunnelns ingående delar har antagits enligt följande (Ramboll, 2016):

Tabell 9. Area av betongelement i tunnelkonstruktion i dubbelspårstunnel under Öresund.

Delkonstruktion	Area (m <sup>2</sup> )
Mellanvägg	1,9
Golv	5,38
Tak	1,75

För de två enkelspårstunnlarna är motsvarande mängder:

Tabell 10. Area av betongelement i tunnelkonstruktion i enkelspårstunnlarna under Malmö.

Delkonstruktion	Area (m <sup>2</sup> )
Golv	2,825
Tak	0,91

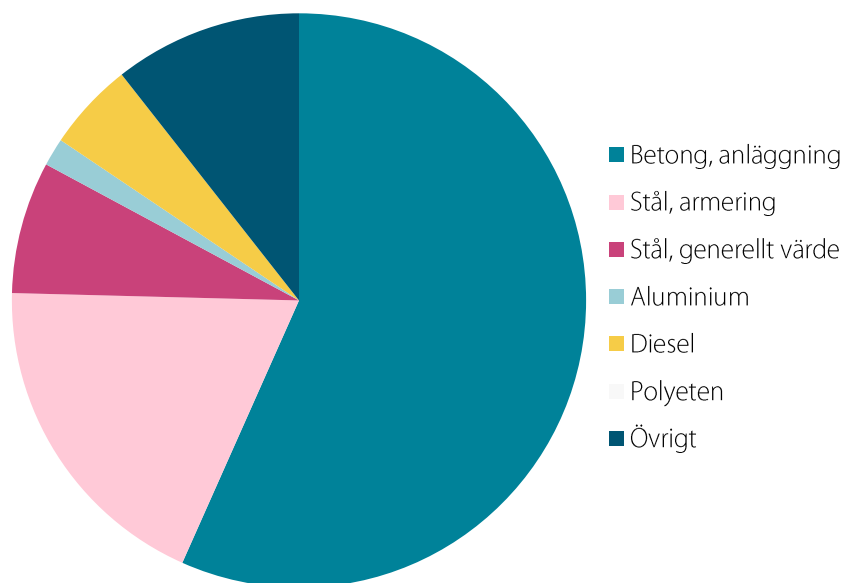
Mängden armering i dessa konstruktioner har beräknats på samma sätt som för liningen.

Elanläggning, Signalanläggning, teleanläggning har beräknats för 26,1 x 2 = 52,2 km eftersom spåren antingen går i separat tunnel eller på var sin sida om en tunnelvägg.

### 8.1.1 Nyckeltal från M3

I underlaget från M3 (Metroselskabet, 2023a) anges klimatpåverkan för olika element i ett metrosystem. För 1 km tunnel beräknas klimatbelastningen uppgå till cirka 13 000 ton CO<sub>2</sub>e. För en 26,1 km lång tunnel inklusive tre stationer och två förgreningskammare ger det en klimatpåverkan med cirka 417 000 ton CO<sub>2</sub>e. Detta ligger linje med de beräkningar som gjorts för metrolinje M3. Resultatet är troligtvis något i underkant då vissa delar av anläggningen saknas. Exempelvis är det inte klarlagt om och i så fall hur utrymningstunnlar för Öresundsmetron ska anläggas och dimensioneras. Bland nyckeltal från M3 ingår inte transport av massorna.

Andel CO2e vid anläggning



Figur 19. Fördelningen mellan klimatpåverkan från olika poster i klimatberäkningen för M3. Omarbetad figur med underlag från Metroselskabet (Metroselskabet, 2023a).

Den totala klimatbelastningen från en Öresundsmetro, inklusive reinvesteringar och drift, skulle baserat på Metroselskabets nyckeltal bli 555 000 ton CO2e, se Tabell 11.

Tabell 11. Klimatbelastning inklusive reinvesteringar och drift.

Delmoment	ton CO2e
Anläggning	417 000
Reinvestering	149 000
Drift	30 000
<b>Totalt</b>	<b>595 000</b>

## 8.2 Underlag för bedömning av potential för minskad klimatpåverkan i Scenario Optimerat

Nedan ges en mer utförlig beskrivning av vad som ligger till grund för bedömningen om hur mycket klimatbelastningen från anläggningen av en Öresundsmetro skulle kunna minska med de senaste, befintliga materialen och metoderna.

### 8.2.1 Undersökningar och utredningar

Med undersökningar och utredningar i tidiga skeden kan lågt hängande frukter, kreativa lösningar och systematisk planering ge förutsättningar för att minska klimatpåverkan i anläggningsskedet.

Berggrunden längs sträckan Malmö-Köpenhamn består av nästan uteslutande kalksten. Undersökningar innan detaljprojektering behövs för att kunna variera liningens hållfasthet där mängden betong och stål inte ska överdimensioneras.

Om förundersökningar utförs så kan avsättning för massorna planeras redan i planeringsstadiet. Avsättning av massor kan då förhoppningsvis hittas i närområdet. Med rätt krav kan även uttaget av berg minskas så att hanteringen av

överskottsmassor inte blir onödigt stor. Även samordning av andra moment som maskinanvändning, transporter till och från projektet, linjeval i profil och plan, vinner på att samordnas i planeringsskedet.

### 8.2.2 Projektering samt materialval och -åtgång

I projekteringsarbetet förfinas de planer som beslutats i tidigare skede. Om projektörerna använder projekteringsverktyg som tydligt illustrerar klimatpåverkan vid olika val blir det mer självklart att också ta med sig denna parameter vid val mellan olika lösningar. Även i dialog med beställare behöver klimatpåverkan finnas med i 3D-modellen så att det tydligt illustreras hur olika detaljval påverkar projektets totala klimatpåverkan.

Siffror är en framgångsfaktor, det är därför viktigt att siffrorna illustreras på ett tydligt sätt så att hela projektet förstår hur klimatpåverkan är avhängig de beslut som fattas.

#### 8.2.2.1 Betong

Optimering av drivning och förstärkning planeras och dokumenteras och följer med projektet i nästa skede. Det är av vikt att även entreprenören är utbildad och förstår vilka avväganden och prioriteringar som gjorts i projekteringen samt att alla steg i projektet kvalitetssäkras.

Vid val av material är mängden material en viktig faktor och att optimera anläggningen vid både för- och detaljprojektering blir en utmaning. Så är fallet även med typ av material. För exempelvis betong finns en stor mängd olika betongprodukter.

Ett exempel är att det kan behöva undersökas om prefab-element av betong ger lägre CO<sub>2</sub>e-utsläpp än platsgjutna, så att det mest optimala valet kan göras. Det kan betyda olika lösningar för olika delar av tunneln samt att det behövs mer tid för entreprenören att fullfölja det som projekterats. Klimatkrav kan ställas vid upphandling av betong, cement och stål. Utbudet på marknaden är dock begränsande.

#### 8.2.2.2 Tunneldrivning

I en tunnel som tas ut med en TBM-maskin kräver troligen mer betong eftersom den kläs med lining hela sträckan jämfört med en borrh- och sprängtunnel som har enbart sprutbetong, bult och injektering samt pumpar för att pumpa bort vatten ur lågpunkter. Detta då en injekterad tunnel aldrig är helt tät.

#### 8.2.2.3 Återbruk

Planera för att återbruka och återanvända material som exempelvis sponter som används vid påslagen till arbetstunnlarna och vid stationernas kontaktsträcka till metrospåret.

Klimatpåverkan minskar ju mer återvunnet material som används i projektet. Det gäller både återbrukade produkter som exempelvis bänkar, men även produkter tillverkade av återbrukat material såsom armeringsnät. Ställ därför krav vid upphandling så att det material som tillförs utifrån har så låg emissionsfaktor som möjligt. Återbrukade produkter ska dock uppfylla projektets övriga krav på miljöklassning och prestanda.

Det gäller att se till helheten; att sätta sitt eget projekt i ett större perspektiv. Med rätt provtagning kan det exempelvis klargöras om överskottsmassor kan säljas till industrin för till exempel materialproduktion. Det krävs god planering om arbetet ska

samordnas med ytterligare en aktör, men det är så arbetet måste utföras om nyttan av de resurser som står till buds ska kunna öka och arbetet ska ske cirkulärt.

### 8.2.3 Kvalitet och kommunikation

Klimatperspektivet behöver finnas med genom hela projektet där minskad klimatpåverkan regelbundet behöver diskuteras samt dokumenteras i kvalitetsdokument som checklistor och mötesprotokoll. Samtliga deltagare i projektet; beställare, konsult, entreprenör och materialleverantör behöver ha kunskap om hur deras roll påverkar projektets klimatpåverkan.

Vidare är det av vikt att kommunicera klimatarbetet internt i respektive organisation och i den externa kommunikation som projektet använder sig av. Internt behöver löpande uppföljningar av kunskapsnivån genomföras under projektets gång, eftersom stora projekt som pågår under lång tid, tenderar ha en omsättning av personal och det är viktigt att kvaliteten på klimatarbetet inte sjunker över tid.

Med en bättre samordning från beställarens sida kan planering av masshanteringen göras så att antalet omlastningar med tillhörande omlastningsytor kan minskas. Beställaren behöver samplanera sina egna entreprenader, men också samordna med andra verksamheters behov i närområdet.

Genom bra kvalitets- och arbetsmiljöarbete i projektet fortsätter arbetet med minskad klimatpåverkan från planering- och projekteringskedje till entreprenad. De projekterade underlagen ska ligga till grund för det fortsatta arbetet och entreprenörerna fullföljer arbetet med optimering av material som injektering och cement.

Om samordning av entreprenader kan göras vid planeringskedjet ger det även synergier i entreprenadskedet på andra områden som utbildning och utbyte av erfarenheter entreprenörer emellan. Med utbildning av personal kan mängden berguttag minskas, mängden oplanerade transporter bli färre och det skapas en atmosfär på arbetsplatsen där personalen vågar lyfta sina idéer till hur en mer energieffektiv och klimatsmart arbetsplats kan uppnås.

### 8.2.4 Exempel från andra infrastrukturprojekt

Nedan följer ett antal exempel på när sådana processer har mynnat ut i goda resultat. Projekten är inte uteslutande tunnelprojekt, men samtliga är större infrastrukturprojekt. Det *gemensamma* för projekten är att minskad klimatpåverkan varit ett genomgående tema för samtliga. Detta har visat att tekniken ofta finns tillgänglig. Det som behövs är incitament, medvetenhet och vilja. Om exempelvis rätt krav ställs i upphandlingen går det att uppnå goda resultat för minskad klimatpåverkan.

#### 8.2.4.1 Kalixbron

Vid Trafikverkets upphandling av den nya bron där väg E4 korsar Kalix älv ställdes klimatkrav på entreprenören. Målsättningen var att minska klimatpåverkan med 4%, men utfallet blev större än så. Entreprenören lyckades minska klimatpåverkan från entreprenaden med 22% (SVT, 2023). Bonusen från Trafikverket blev 1,5 miljoner kronor. Bron öppnades för trafik i april 2023.



#### 8.2.4.2 E4 Förbifart Stockholm

Med utbildning av entreprenörer i hantering av sprutbetong minskade mängden spill från arbetet med sprutbetong med 50% i projektet E4 Stockholm Förbifart. 200 000 m<sup>3</sup> betong, ger en besparing på 50 miljoner SEK och 8 100 ton CO<sub>2</sub>e.

I Trafikverkets tidigare projekt Norra Länken ställdes inga kompetenskrav och där ökade mängden sprutbetong med 89% jämfört med den projekterade mängden. Kravet var en tjocklek på 75 mm men det uppmätta medeltalet efter utfört arbete var **hela 141 mm. Nu finns en utbildning "Sprutning med sprutbetong inom Trafikverket"** som är giltig i 5 år. Utbildningen innehåller både teori och praktik där moderna hjälpmedel som VR-glasögon används.



Figur 20. Träning med EDVIRT's VR Shortcrete Simulator TM. (EDVIRT AB)

#### 8.2.4.3 Sundsvall C

Sundsvall C är ett järnvägsprojekt som innefattar dubbelspår och en bangård. I upphandlingen har Trafikverket ställt krav om minskad klimatpåverkan med 30% (Trafikverket, 2022). Projektet har idag uppnått 15% under projekteringsarbetet och en utredning pågår om det skulle vara möjligt att nå 60% reduktion summerat under konsultens projektering och efterföljande entreprenad. Till detta kommer klimatpåverkan från det material som tillhandahålls av Trafikverket, vilket utgör en betydande del av projektets totala klimatpåverkan.

#### 8.2.4.4 Metrotunnel i Melbourne

I Melbourne pågår byggnation för att förbättra kapaciteten längs det befintliga metrosystemet. Projektet består av två parallella enkelspårstunnlar (9 km vardera) som drivs av TBM (typ slurry) och fem nya stationer. Tunneln, som började anläggas 2019, förväntas öppna under 2025.

Beställarorganisationen Rail Projects Victoria har ett mål på en 36% reduktion av cementsinnehållet i betong i samtliga av deras anläggningsprojekt.

Metrotunnelprojektets partners uppnår idag ännu större minskningar (State Government of Victoria, 2023a):

- 52% minskning av mängden cement för tunnlar och stationer.
- 44% minskning av mängden cement för arbetet med cut and cover, tunnelmynningarna och ramper.

Detta har uppnåtts genom högre andel återvunnet material, såsom flygaska och masugnsslagg. Flygaska är en restprodukt från bland annat fjärrvärme. Masugnsslagg är biprodukt av järn- och stålproduktion.

Vidare finns målsättning kring en utsläpp av CO<sub>2</sub> från material med 15% i projektet (Rail Projects Victoria, 2022). Även här överstiger minskningen målet, där man idag ligger på cirka 24% minskning.

Vidare anpassade projektet det material som användes som slurry-mix i tunneldrivning med TBM. Från att ha använt kalk i slurryn användes en koagulant, som innebar att mer schaktmassa och vatten kunde återanvändas samt att utsläpp av växthusgaser kunde minska signifikant (State Government of Victoria, 2023b)

#### 8.2.4.5 Sydney Metro West, Sydney

Sydney Metro West är en ny, 24 km lång metrolinje som sträcker sig från centrala Sydney och västerut mot Greater Parramatta. Byggandet inleddes 2020.

Organisationen har från nyligen genomförda projekt inom Sydney Metro och industrin att 25% av cementmaterial kan ersättas. Under juni 2022 installerade Sydney Metro även 50 geopolymersbetong-slipers. Dessa har ett 60% lägre klimatavtryck än vanliga betongslipers.

Enligt Sydney Metro (2023) är projektet på god väg att överträffa målet på 25% minskning av växthusgaser vid anläggning av infrastrukturen.



Figur 21. Geopolymersleepers. (Sydney Metro, 2023)

#### 8.2.4.6 The Thames Tideway Tunnel, London

The Thames Tideway Tunnel är en 25 km lång avloppstunnel som började byggas år 2016. Den sträcker sig i huvudsak under Themsen i central London och förväntas vara färdig år 2024. Tunneln har en innerdiameter på cirka 7 meter och drevs av totalt fyra TBM-maskiner.

Vid upphandlingen var det möjligt att justera materialval. Detta innebar en minskning av de beräknade klimatutsläppen med cirka 9% (Tideway, 2022). Just nu pågår en uppdatering och validering av de klimatberäkningar som gjorts under projektet.

Förutom materialval har projektet använt sjöfart (pråm) för att transportera massor i projektet. Detta beräknar dem innebära 90% mindre utsläpp av CO<sub>2</sub> jämfört med om man görs med lastbilar enligt standard Euro VI (London Tideway, 2019.)

#### 8.2.4.7 Drammen – Kobbervikdalen, Oslo

Som en del i utbyggnad av det norska järnvägssystemet bygger Bane NOR nytt dubbelspår på Vestfoldbanen mellan Drammen station och Kobbervikdalen genom en ny tunnel (6 km lång) i Strømsåsen. Tunneln, som påbörjades 2019, drivs genom borra – spräng och har lining för skydd mot vatten och frost (Veidekke, 2023).

Beställarorganisationen Bane NOR har som mål att minska utsläppen i järnvägsprojekt med 40% till 2030, jämför med 2019 (Bane NOR, 2022). Ett exempel på att de är på rätt väg är projektet Drammen – Kobbervikdalen. En minskning av utsläpp av växthusgaser med 36% kan konstateras (Norwegian tunnelling society, 2022). Detta rapporteras vara ett resultat av de klimatmässiga kraven i upphandlingen. Mer konkret så har följande åtgärder (Bane NOR, 2023) varit en del av utsläppsminskningarna:

- Det används mindre material (betong och stål) än planerat, utan att det påverkar hållfastheten i konstruktionerna. Entreprenörer har kommit fram till lösningar som minskar den förväntade användningen av cement, i vissa konstruktioner med upp till 75%.
- Bane NOR kräver att låg-kol-betong (typ A) används – den betong som släpper ut minst CO<sub>2</sub>.
- Typen av stål är kravställt i upphandling, där stålet ska vara bland de minst utsläppsgenererade.
- Maskinparken inne på anläggningsområdet ska gå på hållbara drivmedel.

Minskningarna överstiger förväntningarna när klimatkraven infördes år 2019. Då trodde projektledningen att reduktionen skulle bli cirka 9% (Bane NOR, 2023). Miljöchefen hos entreprenören menar att lösningen kostar mer pengar, men att beställare har tagit sitt klimatansvar.

#### 8.2.4.8 Sjölunda avloppsreningsverk

VA SYD har inlett ett arbete för ett nytt avloppsreningsverk, Sjölunda. En klimatkalkyl har gjorts för anläggningen samt en tunnel som planeras drivas med TBM (VA SYD, 2023). Klimatkalkylen visar att den största klimatpåverkan är från betong och cement, följt av stål och diesel i anläggningsfasen.

Utredningen hänvisar till att en klimatförbättrad betong kan minska utsläppen med upp till 20%. Genom byte av diesel till HVO 100 samt att klimatförbättrad armering beräknas klimatpåverkan för enbart tunneln kunna minska med cirka 44%.

### 8.3 Övriga potentialer till minskad klimatpåverkan

Utöver ovan nämnda tillvägagångssätt för att minska klimatpåverkan i ett anläggningsprojekt ges här ytterligare några exempel.

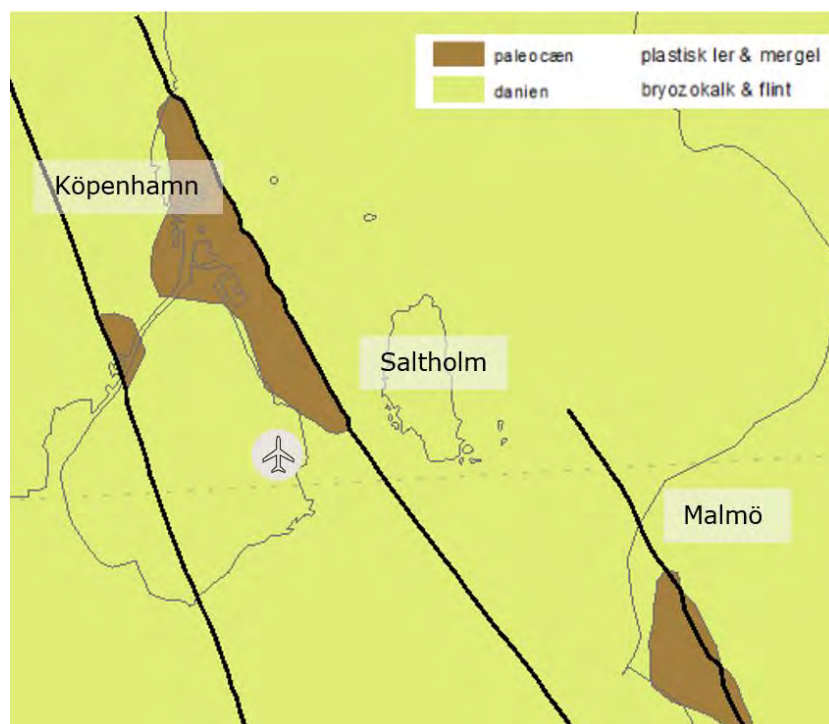
#### 8.3.1 Borrkaxet som byggmaterial

Nedan diskuteras möjligheter att använda borrkaxet från TBM användas som byggmaterial.

Behovet av en klimatomställning innebär nya förutsättningar för att driva affärer. Branschen behöver bli mer resurseffektiv, skapa nya affärsmodeller och samverka över hela värdekedjan.

Enligt SGU (Svenska Geologisk Undersökningar) och GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland) berggrundskartor utgörs berggrunden i området av sedimentära bergarter, i huvudsak en äldre tertiär kalksten som

bryozokalksten, se Figur 22. Bryozokalkstenen innehåller avlagringar av bland annat mossdjur (bryzoer), samt inslag av flinta, flinkbankar och lera/kalkslam.



Figur 22. Urklipp från GEUS berggrundkarta.

När tunneln borrar uppstår ett överskott av massor som måste hanteras. Ett alternativ är att använda massorna för att fylla ut ett område i direkt anslutning till tunneln. Det behöver undersökas vidare om massorna är av tillräckligt hög kvalitet för att användas mer kvalitativt. För att nå klimatmålen från bygg- och anläggningsprojekt behöver linjära flöden utvecklas till cirkulära processer, där varje produkt, varje material används så högt upp i värdekedjan som möjligt.

Det behöver utredas om det är möjligt att använda överskottsmassorna till att tillverka byggmaterial. Kan de användas vid cementtillverkning, eller kan behovet av cement minska när den sammansätts med kalkrika överskottsmassor från tunneldrivningen. I nuläget är tanken att använda överskottsmassor från Öresundsmetron till utfyllnad i anslutning till tunneln.

Det ställs relativt höga krav på ett bergmaterial för att kunna användas till betong. Bland annat ska bergmaterialet ha låg glimmerhalt, inte vara alkalisilikareaktivitet, inte innehålla sulfider, inte vara leromvandlat eller vittrat. Exempel på bergart som vanligen motsvarar kvalitetskraven är kalksten. Om det finns avsättning för kalkstenen är det inte lika viktigt att minimera uttaget. Visar det sig att det är möjligt bör kalkstenen användas till cement/betongtillverkning i stället för flygaska som alternativ.

Strax utanför Malmö fanns tidigare ett kalkbrott, Limhamns kalkbrott. Här bröts kalk till cement från mitten av 1800-talet fram till 1993.

### 8.3.2 Anläggning av metrostationer

I projekt M3 har klimatpåverkan från en metrostation beräknats till mellan 13 000 och 14 000 ton CO<sub>2</sub>e. Klimatpåverkan minskar ju ytligare en station kan anläggas, när mindre massor behöver borraras eller schaktas bort.

Det är därför av relevans att utreda närmare om stationerna kan anläggas på en grundare nivå så att klimatpåverkan minskar. Vidare skulle det även kunna reducera klimatpåverkan om entré till de underjordiska metrostationerna byggs i material som exempelvis trä, se Figur 23.

Det bör även utredas om det är klimatsmart att bygga alla tre stationer så nära varandra. Hur ser upptagningsområdena ut och vad är ett rimligt avstånd mellan olika metrostationer är parametrar som behöver beaktas i utredningen.

I det vidare arbetet med Öresundsmetron och dess förlängning inom Malmö, se exempel i Figur 2, bör det utredas huruvida metrostationer kan planeras ovan mark för att minska klimatpåverkan vid anläggningen.



Figur 23. Station ovan mark, trämaterialiet fungerar som en kolsänka. (Illustration: Arup)

## 9 Bilaga – Klimatpotential vid trafikering

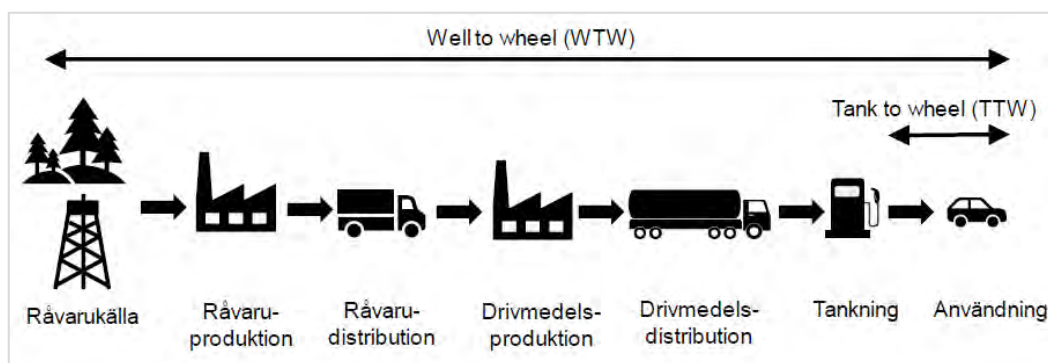
Denna bilaga beskriver beräkningsmetodikerna och de antaganden som gjorts i närmare detalj. Inledningsvis ska ett antal avgränsningar som har gjorts nämnas:

För persontransporter beräknas ingen överflyttning av resor på MC och moped. Dessa har en liten inverkan på det totala transportarbetet i Sverige, cirka 0,8 % enligt omräkning av persontransport på väg (Trafikanalys, 2021a).

För godstransporter görs inga beräkningar på överflyttning från flyg till tåg. Godstransporter med flygplan bedöms göras för att transportera mindre volymer en längre sträcka men på kort tid, vilket en överflyttning till tåg inte kan konkurrera med.

### 9.1 Emissionsfaktorer

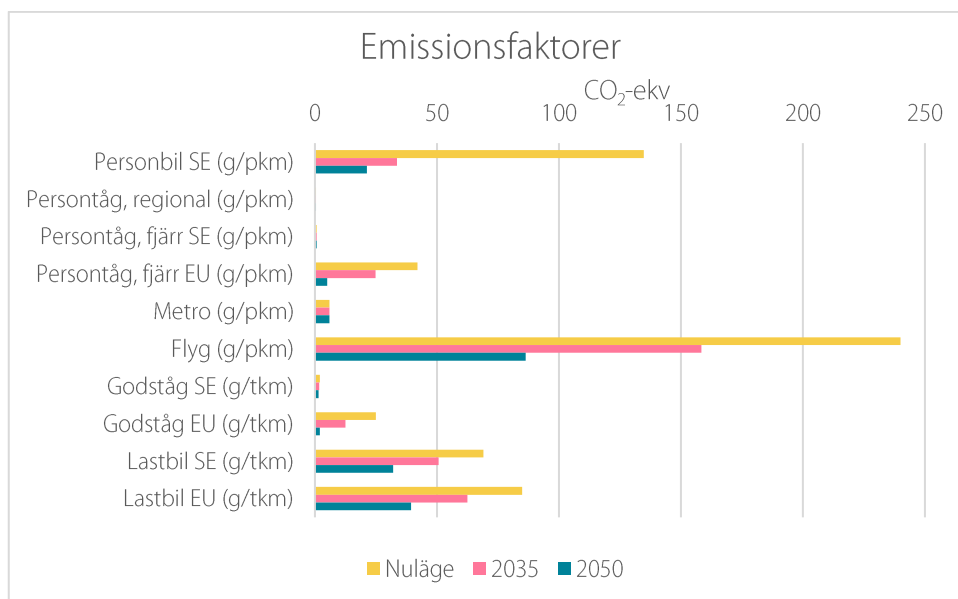
Nedan redogörs härledning och antaganden för de emissionsfaktorer som beräkningarna för klimatpotentialen baseras på. För samtliga emissionsfaktorer används well to wheel (WTW). Detta inkluderar utsläpp från avgasröret samt utvinning, produktion och distribution av bränslet i sig, se Figur 24. Emissionsfaktorerna tar inte hänsyn till produktionen av fordonen eller den infrastruktur som används för färdmedlet.



Figur 24. Skillnaden mellan well-to-wheel (WTW) respektive tank-to-wheel (TTW) -perspektiv. (Trafikanalys, 2022)

Emissionsfaktorerna för transport baseras på g CO<sub>2</sub>e per transportarbete. För persontransporter blir enheten [g CO<sub>2</sub>e/personkilometer], för godstransporter [g CO<sub>2</sub>e/tonkilometer]. Således är det inte endast fordonets och bränslets prestanda som påverkar emissionerna. Även beläggningsgraden, antal personer eller ton per fordon, har inverkan på emissionsfaktorerna.

Emissionsfaktorerna för respektive fordon och år har tagits genom att söka i publicerad litteratur och i emissionsdatabaser. Skillnad har även gjorts mellan svenska respektive europeiska emissionsfaktorer. Källorna har i huvudsak bestått av VTI, NTM och akademiska artiklar. Då en samlad databas med dagens och prognosticerade emissionsfaktorer saknas har olika källor använts. Detta leder till att det i vissa fall kan vara skillnader mellan liknande färdmedel.



Figur 25. Emissionsfaktorer använda för beräkning av klimatpotential i scenario A-C. Respektive emissionsfaktor redovisas i kapitel 9.1.1 - 9.1.2.

### 9.1.1 Persontransporter

Se Tabell 12 för emissionsfaktorer för persontransporter. Härledning av källor och antaganden för respektive emissionsfaktor redogörs för i följande underkapitel.

Tabell 12. Emissionsfaktorer per färdmedel vid persontransport. Respektive emissionsfaktor redovisas i kapitel 9.1.1 - 9.1.2.

Emissionsfaktorer (g CO2/pkm)	Nuläge (årtal)	2035	2050
Personbil SE	134,8 (2021)	33,7	21,3
Persontåg, regional	0,4 (2019)	0,4	0,4
Persontåg, fjärr SE	0,6 (2022)	0,6	0,6
Persontåg, fjärr EU	42 (2022)	24,8	5,0
Metro	6 (2022)	6,0	6,0
Flyg	240 (2018)	158,4	86,4

#### 9.1.1.1 Bil

Emissionsfaktorerna för bil baseras på de emissionsfaktorer för 2021-2030-2040 som redovisas av Trafikverket (2023a) i *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*. Faktorerna per personkilometer baseras på en medelbeläggning i fordonet på 1,41 personer per fordon enligt 2019 års data (Trafikanalys, 2021b). Emissionsfaktorerna baseras på den svenska fordonsflottan.

Emissionsfaktorerna ovan baseras på den idag gällande reduktionsplikten. Reduktionsplikten innebär att drivmedelsbolagen genom att blanda in biodrivmedel minskar utsläppen av växthusgaser från bensin respektive diesel, jämfört med de utsläpp som skett om drivmedlet enbart bestått av fossil bensin eller fossil diesel.

Det finns i skrivande stund ett förslag om att Sverige ska minska reduktionsplikten till 6% år 2024 och att den ska vara konstant under nuvarande mandatperiod (fram till 2026). Det saknas underlag för att beräkna exakt hur detta kommer att påverka emissionsfaktorerna framöver. Sannolikt kommer emissionsfaktorer för bensindrivna fordon vara närmare dagens nivåer. För diesel kan emissionsfaktorerna komma att öka jämfört med dagens nivåer.

För alla scenarier antas medelbeläggningen i fordonen vara konstant. För år 2035 antas en linjär förändring enligt trenden 2030–2040 i *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*. Emissionsfaktorn antas förenklat vara konstant från 2040.

Emissionsfaktorer för personbil blir således 34 g CO<sub>2</sub>e/pkm (2035) och 21 g CO<sub>2</sub>e/pkm (2050).

#### 9.1.1.2 Tåg

Bland persontåg varierar emissionsfaktorer beroende på tågtyp och beläggning. Nedan beskrivs de antagande som gjorts för regionaltåg samt fjärrtåg. Generellt saknas mål eller prognoser för minskade emissioner för tågsystemet i Sverige, då majoriteten (80%) av järnvägsnätet är elektrifierat och Sveriges elmix har låga emissioner vid normal produktion.

##### Regionaltåg

För regionaltåg används emissionsfaktor 0,41 g CO<sub>2</sub>e/pkm för Öresundståg (Malmström, 2020). Detta är baserat på siffror från Skånetrafiken 2018 med den genomsnittliga belägningsgraden för resor på Öresundståg. Internationellt sett är dessa siffror flera gånger lägre än på flera platser i Europa, tack vare den elmix som används. Den svenska elmixen bedöms inte förändras och denna emissionsfaktor förväntas vara konstant för de framtida scenarierna.

##### Fjärrtåg – Sverige

För fjärrtåg i Sverige har emissionsfaktorn för dagens läge beräknats utifrån NTMCalc **för kategorierna "Inter city" och "High speed" med en grön elmix (NTMCalc, 2022a)**. Detta medför att nuläget för fjärrtåg har emissionsfaktor 0,64 g CO<sub>2</sub>e/pkm.

##### Fjärrtåg – Europa

För fjärrtåg i Europa är energimixen delvis fossilberoende. Detta medför att den sträckan som körs utanför Sverige släpper ut mer emissioner. Samma tågkategorier har använts som för de svenska fjärrtågen, men med europeisk elmix (NTMCalc, 2022a). Detta medför att nuläget för fjärrtåg har emissionsfaktor 42 g CO<sub>2</sub>e/pkm.

För framtida scenarier för fjärrtåg i Europa antas emissionsfaktorerna minska. Enligt TOSCA (2011) kan emissionsfaktorerna för passagerartåg i Europa år 2050 vara cirka 5 g CO<sub>2</sub>e/pkm. För år 2035 antas trenden mellan 2022 och 2050 vara linjär, vilket medför cirka 25 g CO<sub>2</sub>e/pkm.

#### 9.1.1.3 Flyg

Emissionsfaktorer för personflyg baseras på NTMCalc:s Sverigespecifika siffror för regionalflyg (NTMCalc, 2022b). Emissionsfaktor för nuläget uppgår till 240 g CO<sub>2</sub>e/pkm. Förändringen av CO<sub>2</sub>-ekv per personkm för flyg till och från Sverige baseras på ett uppsatt mål på 2 % per år (Happonen, Rasmusson, Elofsson & Kamb, 2022). Detta medför en emissionsfaktor på 158 g CO<sub>2</sub>e/pkm (2035) respektive 86 g CO<sub>2</sub>e/pkm (2050).

#### 9.1.1.4 Metro

I dagsläget finns det tunnelbanesystem i både Sverige (Stockholm) och Danmark (Köpenhamn), båda länder som ska trafikeras av en Öresundsmetro. Emissionsfaktorn för Sverige är 6 g CO<sub>2</sub>/pkm enligt IVL (2022). Enligt material från Metroselskabet har metrolinje M3 lika stor emissionsfaktor. Emissionsfaktorn för Öresundsmetron antas därför vara 6 g CO<sub>2</sub>/pkm.



Det saknas mål kring en minskning av emissionsfaktorerna, således antas denna vara konstant till år 2035 respektive 2050.

### 9.1.2 Godstransporter

Se Tabell 13 för emissionsfaktorer för godstransporter. Härledning av källor och antaganden för respektive emissionsfaktor redogörs för i följande underkapitel.

*Tabell 13. Emissionsfaktorer per färdmedel vid godstransport. \*År omräknad från en andrahandskälla. Respektive emissionsfaktor redovisas i kapitel 9.1.1 - 9.1.2.*

Emissionsfaktorer (g CO <sub>2</sub> /tkm)	Nuläge (årtal)	2035	2050
Lastbil SE	69 (2018)	50,8	32,0
Lastbil EU	84,9 (2018*)	62,5	39,4
Godståg SE	2 (2017)	1,7	1,5
Godståg EU	25 (2008)	12,5	2,0

#### 9.1.2.1 Lastbil

##### Lastbil – Sverige

För emissionsfaktorer för dagens gods via lastbil har NTMCalc (2022c), använts. För framtida lastbilstransporter baseras emissionsfaktorerna 2035 och 2050 på trenden för emissionsfaktorerna för 2030 och 2040 presenterade av Johansson, Vierth & Holmgren (2021). Ett genomsnitt för fjärrtransport och tung transport har använts.

Emissionsfaktorer för lastbil i Sverige blir således 51 g CO<sub>2</sub>e/tkm (2035) och 32 g CO<sub>2</sub>e/tkm (2050).

##### Lastbil – Europa

För lastbilstrafiken har en jämförelse gjorts mellan emissionsfaktorer för godstransport i Sverige och Europa enligt värden från NTMCalc (2022c). För samtliga typer av lastfordon är de europeiska emissionsfaktorerna cirka 23 procent högre. Med detta motiveras att räkna upp de svenska emissionsfaktorerna för 2035 och 2050 (beskrivna ovan) med 23 procent.

Emissionsfaktorer för lastbil i Europa blir således 62 g CO<sub>2</sub>e/tkm (2035) och 39 g CO<sub>2</sub>e/tkm (2050).

#### 9.1.2.2 Godståg

##### Godståg – Sverige

Godstågens emissioner för nuläget är hämtade från Johansson, Vierth & Holmgren (2021), vilket motsvarar 2 g CO<sub>2</sub>e/tkm år 2017. Den svenska elmixen bedöms inte förändras och denna emissionsfaktor vara konstant för de framtida scenarierna.

Enligt TOSCA (2011) kan emissionsfaktorerna för godståg i Europa år 2050 som bäst vara cirka 1,5 g CO<sub>2</sub>e/tkm, som vilket antas vara möjligt för svensk godstransport på järnväg. Till 2035 antas en linjär förändring, vilket medför en emissionsfaktor på 1,7 g CO<sub>2</sub>e/tkm.

##### Godståg – Europa

Järnvägstransporter görs både med el- och dieseltåg. Andelen elektrifierade järnvägsspår varierar mellan länder och regioner. De genomsnittliga utsläppen för godstransporter på järnväg i EU var 2008 25 g CO<sub>2</sub>e/tkm (KTH Järnvägsgrupp, 2013a).

För framtida scenarier för godståg i Europa antas emissionsfaktorerna minska. Enligt TOSCA (2011) kan emissionsfaktorerna för godståg i Europa år 2050 vara cirka 2 g CO<sub>2</sub>e/tkm. För år 2035 antas trenden mellan 2022 och 2050 vara linjär, vilket medför cirka 12 g CO<sub>2</sub>e/pkm.

## 9.2 Överflyttning

I följande delkapitel beskrivs de antaganden som gjorts kring trafikering baserat på de tre definierade scenarierna A-C. Samtliga scenarier baseras på ett införande av Öresundsmetron vilket bedöms ge en överflyttning av lokala och regionala personresor från Öresundsbron till Öresundsmetron. Överflyttningen sker på grund av kortare restid och högre turtäthet med en Öresundsmetro.

I Scenario Godsoch B möjliggör denna överflyttning att fler gods- respektive fjärrtåg kan trafikera Öresundsbron och således ersätta resor som annars skulle göras med andra färdmedel. I Scenario Lokal beräknas den tidigare nämnda överflyttningen av resorna till Öresundsmetron från andra färdmedel.

För mer information kring antaganden kring trafikering för år 2035 och 2050 hänvisas till den utredningen som gjordes parallellt med detta arbete, *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro* (AFRY, 2023).

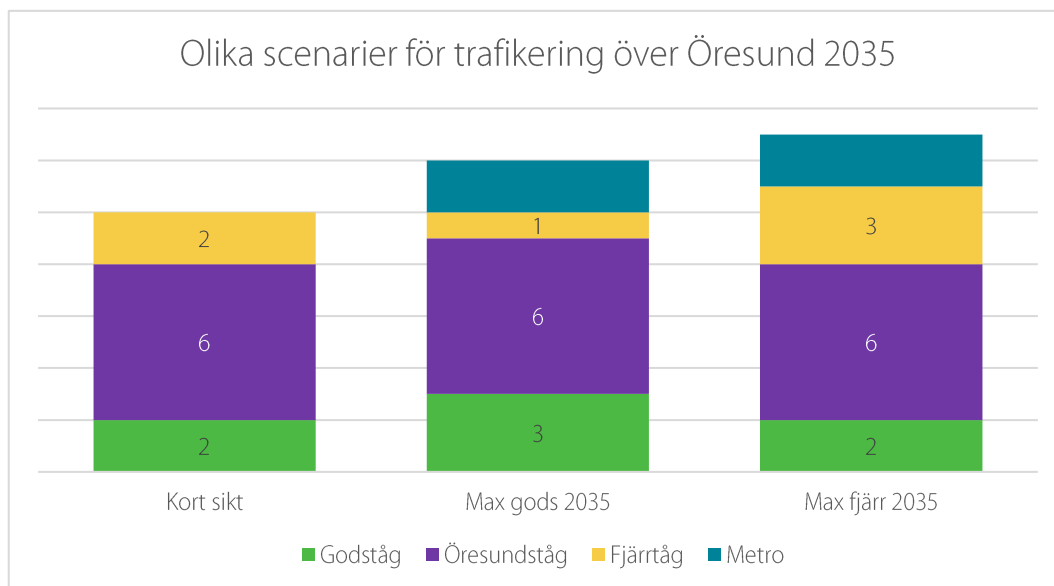
Idag nyttjas inte hela Öresundsbrons kapacitet, då det saknas kapacitet vid respektive landanslutning samt på andra sträckor i Sverige och Danmark. I rapporten av AFRY (2023) anges övriga investeringar i järnvägsnätet som krävs för att utnyttja Öresundsbron till fullo. På kort sikt är det möjligt att trafikera bron med

- 6 Öresundståg
- 2 fjärrtåg
- 2 godståg

I Figur 26 redovisas trafikeringen som ligger till grund för scenario A-C för år 2035. Till 2035 bedöms ett antal investeringar vara genomförda, så att antal tåglägen kan öka något jämfört med idag. Först 2050, eller när Södra stambanans kapacitet har förstärkts kraftigt, kan hela Öresundsbrons kapacitet nyttjas.

Enligt Region Skånes persontågsstrategi (2021), bedöms 9 regiontåg behövas till 2035, vilket är 3 fler än vad som är möjligt med kapaciteten på anslutande järnvägsnät. Detta är förutsatt att resandet sker enligt regionens mål.

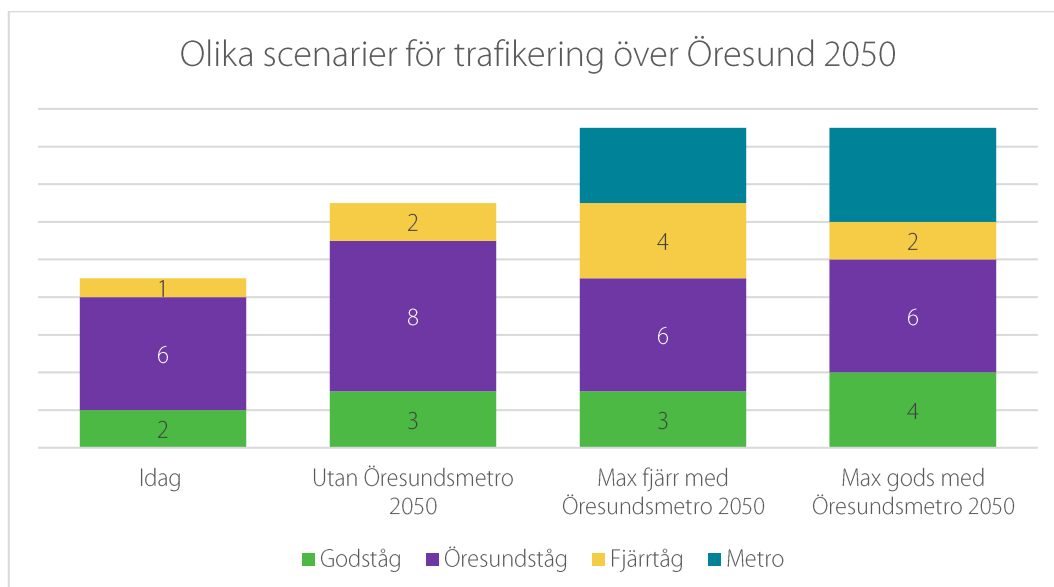
Öresundsmetrons roll i scenarier för 2035 är därmed att ta hand om detta behov, så att fjärr- och godståglägen på Öresundsbron inte trängs ut. Till år 2035, när Fehmarn Bält-tunneln har öppnat, antas det även finnas en efterfrågan på att öka antalet godståglägen per timme och riktning från 2 till 3. Internationella godståglägen bör i regel prioriteras framför andra tågtyper, varför Öresundsbron har svårt att möta behovet av fler regionaltåg.



Figur 26. Antagen trafikering (per timme och riktning) över Öresund vid år 2035.

I Figur 27 redovisas möjliga trafikeringsscenarier för år 2050. Scenarierna är hämtade från *Analys av kapacitet och redundans av en Öresundsmetro* (AFRY, 2023). Rapporten beskriver ett antal övriga investeringar i järnvägsnätet på svensk och dansk sida av Öresund som krävs för att utnyttja potentialen.

I samtliga trafikeringsscenarier för 2050 är Öresundsbronns kapacitet fullt utnyttjad. Öresundsmetron antas kunna hantera resterande lokala och regionala resor över Öresund.



Figur 27. Trafikering (per timme och riktning) över Öresund vid år 2050.

#### 9.2.1 Scenario Gods- Överflyttning av godstransporter

Scenario Godsredogör för vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av långväga godstransporter från väg till järnväg till år 2035 respektive 2050.

Majoriteten av järnvägsgodset som passerar Öresundsbron går mellan Sverige och Tyskland. Hallsberg är den största bangården i Sverige och är en nod i järnvägsnätet (Nelldal och Wajsman, 2015). Den genomsnittliga längden för en godstransport baseras enligt ovan resonemang på sträckan Hamburg – Hallsberg, som längs järnväg är cirka 820 km (via Fehmarn Bält-tunneln). Motsvarande sträcka på väg är cirka 840 km.

För godstransporter på järnväg antas 250 trafikdagar enligt Samgods. Samgods är ett modellverktyg för godstransportsystemet på nationell nivå och ansvarar för av Trafikverket. Antal trafiktimmor antas vara 18 timmar.

### År 2035

För godstågen antas en maximal kapacitet på 1320 ton per tåg (tåglängd 740 m) (KTH järnvägsgrupp, 2013b). Inräknat en tomtransportfaktor på 40% (Trafikverket, 2017) medför detta en genomsnittlig godsmängd per tåg på 792 ton. Trafikeringen beskrivs närmare i AFRY (2023), men kräver även åtgärder på andra delar av järnvägsnätet för att kunna realiseras fullt ut.

Tabell 14. Förutsättningar för beräkning av Scenario Godsför år 2035.

Scenario Gods- 2035	Utan metro	Med metro	Skillnad
Trafikdagar	250		-
Antal godståglägen per timme och riktning	2	3	1
Antal godståglägen per dygn, totalt	96	144	48
Godsmängd per tåg [ton]	792		-
Godsmängd per dygn [ton]	76000	114000	38000

Totalt innebär en Öresundsmetro att 38 000 ton per dygn har potential att flyttas över till godståg från lastbilar år 2035. Halva sträckan beräknas med svensk emissionsfaktor, halva med europeisk, båda beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Godsvind 2035 beräknas vara cirka 398 000 ton CO<sub>2</sub>e per år. Detta motsvarar knappt 9% av utsläppen som genererades av lastbilar i Sverige år 2022 (Naturvårdsverket, 2023).

### År 2050

För godstågen antas en maximal kapacitet på 1740 ton per tåg (tåglängd 835 m) (KTH järnvägsgrupp, 2013b) år 2050. Inräknat en tomtransportfaktor på 40% (Trafikverket, 2017) medför detta en genomsnittlig godsmängd per tåg på 1044 ton. Antalet godståglägen ökar när andra investeringar görs i järnvägsnätet på svensk sida.

Tabell 15. Förutsättningar för beräkning av Scenario Godsför år 2050.

Scenario Gods- 2050	Utan metro	Med metro	Skillnad
Trafikdagar	250		-
Antal godståglägen per timme och riktning	3	4	1
Antal godståglägen per dygn, totalt	144	192	48
Godsmängd per tåg [ton]	1044		-
Godsmängd per dygn [ton]	150300	200400	50100

Totalt innebär en Öresundsmetro att 50 100 ton per dygn har potential att flyttas över till godståg från lastbilar år 2050. Halva sträckan beräknas med svensk emissionsfaktor, halva med europeisk, båda beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Godsår 2050 beräknas vara cirka 359 000 ton CO<sub>2</sub>e per år. Potentialen är lägre vid år 2050 än 2035 trots att godsmängden som kan flyttas över är högre. Detta då emissionsfaktorer för lastbilar minskar i högre utsträckning än för godståg.

Huruvida järnvägskapaciteten för godståg kommer att nyttjas fullt ut år 2035 respektive 2050 är osäkert. Den potentiella klimatvinst som Öresundsmetron ger upphov till genom en överflyttning av gods från lastbil till järnväg är således mellan 0 och 359 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.

### 9.2.2 Scenario Fjärr - Överflyttning av långväga persontransporter

Scenario Fjärr redogör för vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av långväga persontransporter från bil och flyg till järnväg år 2035 respektive 2050. Scenariot förutsätter att Öresundsmetron avlastar Öresundsbron, som i sin tur kan köra fler fjärrtåg. För persontransporter på järnväg antas 321 trafikdagar (ÅF, 2019). Antal trafiktimmar antas vara 18 timmar.

Tabell 16. Avstånd för transportavstånd för respektive färdmedel.

Sträcka	Järnväg	Väg	Flyg
Stockholm – Köpenhamn [km]	631	658	595
Göteborg - Köpenhamn [km]	339	317	259

Överflyttningspotentialen för passagerare antas komma från flyg och bil, som baseras på Trafikverket (2021). För Stockholm – Göteborg/Malmö/Köpenhamn bedöms cirka 74% flyttas över från flyg, respektive 26% från biltrafik.

#### År 2035

Kapaciteten för ett tåg antas motsvara ett X2000-tåg, vilket är 309 passagerare per tåg. För en genomsnittlig belägningsgrad på tågen antas 65%, enligt ASEK 7 (Trafikverket, 2023). Detta medför en kapacitet på 200 passagerare/tåg.

Tabell 17. Förutsättningar för beräkning av Scenario Fjärr för år 2035.

Scenario Fjärr - 2035	Utan metro	Med metro	Skillnad
Trafikdagar	321		-
Antal fjärrtågslägen per timme och riktning	2	3	1
Antal fjärrtågslägen per dygn, totalt	72	108	36
Antal passagerare per tåg	200		-
Resor per dygn	14400	21600	7200

Totalt innebär en Öresundsmetro att 7200 resor per dygn har potential att flytta över till fjärrtåg från flyg och bil år 2035. Emissionerna beräknas med emissionsfaktorer beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Fjärr 2035 beräknas vara cirka 125 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.

#### År 2050

Kapaciteten för ett tåg antas motsvara två X2000-tåg, vilket är 618 passagerare per tåg. För en genomsnittlig belägningsgrad på tågen antas 65%, enligt ASEK 7 (tabell 13.9, snabbtåg). Detta medför en kapacitet på 400 passagerare/tåg.

Tabell 18. Förutsättningar för beräkning av Scenario Fjärr för år 2050.

Scenario Fjärr - 2050	Utan metro	Med metro	Skillnad
Trafikdagar	321		-
Antal fjärrtågslägen per timme och riktning	2	4	2
Antal fjärrtågslägen per dygn, totalt	72	144	72
Antal passagerare per tåg	400		-
Antal resor per dygn	28800	57600	28900

Totalt innebär en Öresundsmetro att 28 900 resor per dygn har potential att flytta över till fjärrtåg från flyg och bil år 2050. Emissionerna beräknas med emissionsfaktorer beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Fjärr 2050 beräknas vara cirka 275 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.

Huruvida järnvägskapaciteten för fjärrtåg kommer att nyttjas fullt ut år 2035 respektive 2050 är osäkert. Den potentiella klimatvinst som Öresundsmetron ger upphov till genom en överflyttning av långväga personresor från flyt och bil till järnväg är således mellan 0 och 275 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.

### 9.2.3 Scenario Lokal - Överflyttning av lokala persontransporter

Scenario Lokal redogör för vilken klimatpotential som finns i en överflyttning av lokala personbils- och regiontågstransporter till en Öresundsmetro år 2035 respektive 2050.

För persontransporter på järnväg antas 321 trafikdagar (ÅF, 2019).

För Scenario Lokal är det resandeprognoser som underbygger klimatpotentialen. Enligt tidigare utredning (Overgaard, 2018), antas cirka 43 000 resor göras med **Öresundsmetron per dygn vid prognosår "2035+"**. Av dessa är 32 000 resor överflyttade från tågtrafiken. Övriga 11 000 resor antas överflyttningsbara från vägtrafik.

Själva potentialen för Öresundsmetron med maximal turtäthet, längd på vagnar och belägningsgrad per vagn, är betydligt högre än vad prognoserna anger.

Avståndet för de olika transportmedlen redovisas i Tabell 18. Avstånd för järnväg har uppmätts enligt järnvägsnätet i GIS-underlag. Vägavstånd enligt Google Maps. Avstånd längs metro enligt uppgifter på avstånd Malmö C till landanslutning i Danmark och till Köpenhamn H enligt sträckning för M5.

Tabell 19. Avstånd för transportavstånd för respektive färdmedel.

Sträcka	Järnväg	Väg	Metro
Malmö C - Köpenhamn H [km]	42	43	34

### År 2035

Antagandet kring överflyttade resor bedöms gälla vid år 2050. Vid år 2035, när Öresundsmetron precis förväntas ha öppnat, antas de överflyttade resorna uppgå till hälften av 2050 års nivåer.

Tabell 20. Antagen överflyttningspotential för Scenario Lokal vid 2035.

2035	Regiontåg	Personbil
Överflyttade resor till metro	16000	5500

Totalt innebär en Öresundsmetro att 21 500 resor per dygn har potential att flytta över till metro från regiontåg och bil år 2035. Emissionerna beräknas med emissionsfaktorer beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Lokal 2035 beräknas vara cirka 1 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.

### År 2050

Vid år 2050 antas samtliga resor som redovisas i Overgaard (2018) vara överflyttade. Det ger följande överflyttningspotential, se Tabell 21.

Tabell 21. Antagen överflyttningspotential för Scenario Lokal vid 2050.

2050	Regiontåg	Personbil
Överflyttade resor till metro	32000	11000

Totalt innebär en Öresundsmetro att 43 000 resor per dygn har potential att flytta över till metro från regiontåg och bil år 2050. Emissionerna beräknas med emissionsfaktorer beskrivna i kapitel 9.1.2.

Klimatpotentialen för Scenario Lokal 2050 beräknas vara cirka 2 000 ton CO<sub>2</sub>e per år.