



## CO2 regnskab for letbane og BRT - Etape 2

Teknik og Miljø, Aarhus Kommune, har modtaget spørgsmål fra Transportministeriet vedr. CO2-regnskab for henholdsvis letbane og BRT ifm. anlæggelse af etape 2 i Aarhus.

### Spørgsmål

TRU alm. del - Spørgsmål 124

Transportudvalget udbeder sig ministerens besvarelse af følgende spørgsmål. Spørgsmålet er stillet efter ønske fra ikke-medlem af udvalget (MFU) Kristian Pihl Lorentzen (V).

Vil ministeren oplyse, hvordan CO2-regnskabet er for eventuel anlæggelse af etape 2 for letbanerne i henholdsvis Aarhus og Odense sammenholdt med et alternativ med højklasset kollektiv transport i form af BRT-elbusser?

### Svar

Der er udarbejdet et overslag over CO2e-udledningerne for etablering af etape 2 for henholdsvis letbane og BRT.

Analysen dækker over en sammenligning af CO2e-udledningerne forbundet med etablering og drift af hhv. letbane og BRT. Analysen er foretaget ud fra et livscyklusanalyseperspektiv (LCA) og er gennemført ved hjælp af beregningsværktøjet InfraLCA. Beregningen er udført på baggrund af det stadie, som projektet befandt sig på medio 2022. Analysen er udelukkende en CO2e-beregning for anlægget og siger ikke noget om projektets samlede CO2e-påvirkninger eller den samlede bæredygtighed.

Det fremgår af nedenstående figur 1, at letbanesystemet på strækningen Spanien-Brabrand, vurderes at udlede en samlet mængde CO2e på 33.000 tons, mens BRT-systemet på samme strækning vurderes at udlede 26.100 tons CO2e.

27. januar 2025  
Side 1 af 3

### Teknik og Miljø

By og Natur  
Aarhus Kommune

### Forvaltningsstab By og Natur

Karen Blixens Boulevard 7  
8220 Brabrand

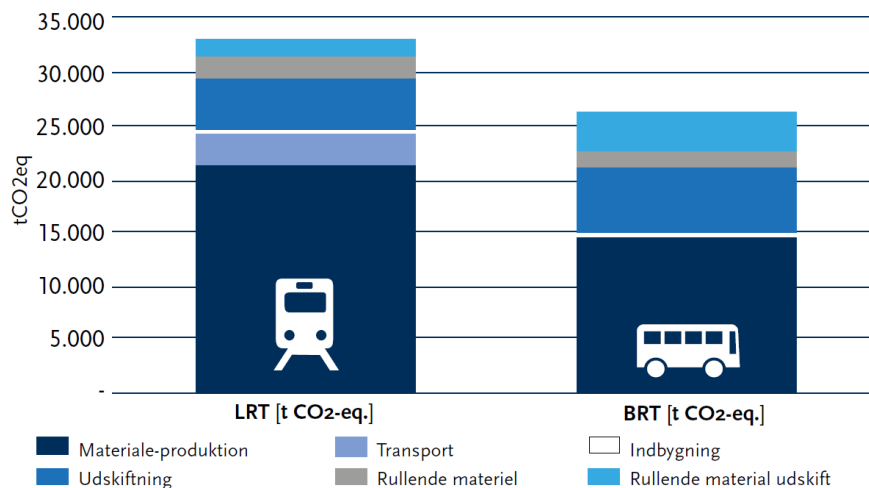
Direkte telefon: 21 33 34 25

Sagsbehandler:  
Rasmus Stougaard Niiranen



**Figur 1**

SAMMENLIGNING LRT OG BRT, INKL. RULLENDE MATERIEL OG UDSKIFTNING



27. januar 2025

Side 2 af 3

I anlægsfasen, dvs. fra udvinding af råmaterialer til anlæg, udleder letbanen mere CO2e end BRT, hvoraf størstedelen af forskellen forklares af produktion af materialer, mens BRT i faserne efter anlæg har en højere CO2e-udledning for det rullende materiel og udskiftningen af dette. Alene det rullende materiel i BRT-systemet udleder næsten dobbelt så meget CO2e som letbanen på grund af den hyppigere udskiftning af busser og asfalt sammenlignet med tog og skinner.

For BRT-systemet er der en større CO2e-udledning forbundet med driften, hvilket hænger sammen med udskiftning af busser (levetid 12 år) og udskiftning af asfalt (levetid 16 år), hvor der for letbanen regnes med en levetid for skinner i 50 år og en levetid for tog på 30 år. Designoptimering og teknolog udvikling indenfor materialetyper, f.eks. udvikling af cementtyper, der er mindre klimabelastende, kan ændre på forholdene i CO2-udledningen for særligt letbanen, og bør undersøges nærmere i forbindelse med detailprojekteringen.

Ser man på den direkte reduktion i CO2e i sammenhæng med CO2e-udledningen fra etablering af anlægget kan der regnes på, hvor lang tilbagebetalingstiden ift. CO2e-udledningen vil være. Af denne beregning ses det, at tilbagebetalingstiden for letbane vil være 41,4 år, mens den for BRT er 39,7 år.

Besparselsen udregnes på baggrund af den forventede overflytning af passagerer fra bil til hhv. letbane og BRT. På trods af forskellene i CO2e-udledningen forbundet med henholdsvis anlæg og drift, samt reduktion af udledning

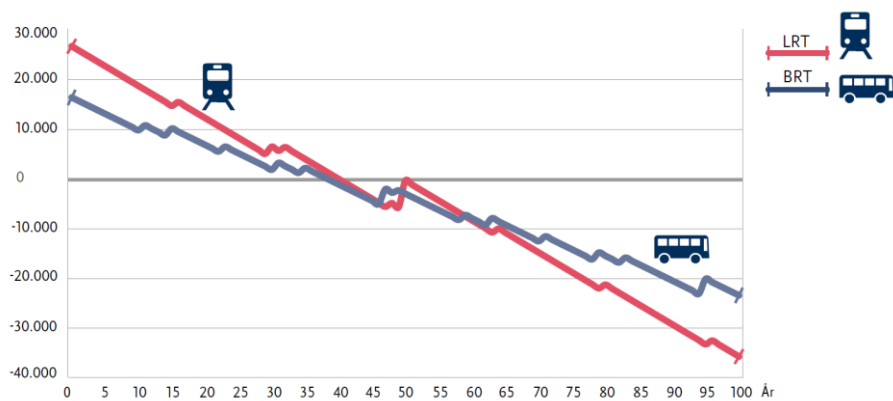


i forbindelse med overflytning, forventes der således at være en stort set ens tilbagebetalingstid for CO<sub>2</sub>e-udledningen.

27. januar 2025  
Side 3 af 3

Figur 2 anskueliggør tilbagebetalingstiden for letbane og BRT, og viser herudover udviklingen i den samlede CO<sub>2</sub>e-udledning og -besparelse over 100 år. Heraf ses det, at BRT har en nettobesparelse over 100 år på 23.400 tons CO<sub>2</sub>e, mens nettobesparelsen for letbane over 100 år vil være 35.700 tons CO<sub>2</sub>e. Omregnes dette til en årlig besparelse vil denne være hhv. 234 tons CO<sub>2</sub>e for BRT og 357 tons CO<sub>2</sub>e for letbanen. Beregningen af tilbagebetalingen er baseret på trafikmodellen, som ikke tager højde for den politiske vision om at skabe mindre trængsel og omstille til mere kollektiv trafik og de deraf følgende planer om et anderledes sammensat transportsystem.

**Figur 2**



**Bilag:**

Bilag 1 - AAL E2-02060- CO<sub>2</sub> beregninger

Til  
**Projektkontoret for Aarhus Letbane etape 2**

Dokumenttype  
**Rapport, Skitseprojekt**

Dato  
**SEPTEMBER 2022**

# AARHUS LETBANE – ETAPE 2

## CO<sub>2</sub>e-BEREGNINGER FOR SPANIEN - BRABRAND



## **AARHUS LETBANE - ETAPE 2**

### **CO<sub>2</sub> BEREGNINGER FOR SPANIEN - BRABRAND**

Projekt navn **Aarhus Letbane – Etape 2**  
Projekt nr. **1100039512**  
Modtager **Projektkontoret for Aarhus Letbane etape 2**  
Dokumenttype **Rapport, Skitseprojekt**  
Version **3**  
Dato **2022-September**  
Udarbejdet af **Jakob Kjær Rasmussen, Anne Marie Laurup Nielsen**  
Kontrolleret af **Andreas Linnet**  
Godkendt af **Anne Marie Laurup Nielsen**

Rambøll  
Olof Palmes Allé 22  
DK-8200 Aarhus N  
  
T +45 5161 1000  
F +45 5161 1001  
<https://dk.ramboll.com>

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Metode</b>	<b>3</b>
2.1	Livscyklus analyse	3
2.2	InfraLCA	3
2.3	EPD'er	5
<b>3.</b>	<b>Forudsætninger</b>	<b>4</b>
3.1	InfraLCA beregninger	4
3.2	Tog og busser – EPD'er	<b>Fejl! Bogmærke er ikke defineret.</b>
3.2.1	Tog	5
3.2.2	Bus	5
<b>4.</b>	<b>Resultater</b>	<b>7</b>
4.1	Sammenfatning af resultater	7
4.2	LRT-resultater	9
4.3	BRT-resultater	10
<b>5.</b>	<b>Perspektiver</b>	<b>13</b>
5.1	Levetid – et 100 års perspektiv på udskiftning	13
5.2	Strømforbrug til drift af tog/bus samt byggeplads	13
5.3	Et system perspektiv	15
<b>6.</b>	<b>Mulige tiltag for CO<sub>2</sub> reduktioner i anlægsprojektet</b>	<b>20</b>

## 1. INTRODUKTION

Aarhus Kommune har ønsket at få udarbejdet et overslag over CO<sub>2</sub>e-udledningerne for etablering af henholdsvis hovedforslaget med letbane (LRT) og alternativet med et busbaseret system (BRT) på etape 2 på strækningen Spanien-Brabrand (CO<sub>2</sub>e dækker over CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, som er en standardiseret enhed for global opvarmning). Analysen dækker over en sammenligning af CO<sub>2</sub>e-udledningerne forbundet med etablering og drift af to systemer uden hensyn til det transportarbejde, der udføres. Formålet med dette arbejde er at belyse den CO<sub>2</sub>e-belastning som etablering og opretholdelse af et letbanesystem vil medføre og de væsentligste forskelle der vil være, hvis der i stedet vælges et busbaseret system. Samtidig gives input til en senere begrænsning af projektets udledning af CO<sub>2</sub>e. Nærværende arbejde kan dermed bidrage til, at den valgte løsning optimeres ift. CO<sub>2</sub>e, det gælder eksempelvis materialevalg og materialeforbrug.

Vejdirektoratets og Banedanmarks CO<sub>2</sub>e-beregningsværktøj, InfraLCA, er valgt til beregningerne af CO<sub>2</sub>e-påvirkningen ved anlæg af de to forskellige løsninger (Vejdirektoratet, 2022).

Beregningen er blevet udført på baggrund af det projektstadium, som projektet medio 2022 befinder sig på, hvor der er taget udgangspunkt i de mængdeoverslag, der er udarbejdet til skitseprojektet. En egentlig optimering af de to løsninger er derfor noget, der vil skulle ske i de videre faser.

Nærværende analyse er udelukkende en CO<sub>2</sub>e-beregning for anlægget og siger ikke noget om projektets samlede CO<sub>2</sub>e-påvirkninger eller samlede bæredygtighed – en sådan analyse vil skulle indeholde langt flere faktorer, eksempelvis genbrug/genanvendelse, biodiversitet, CO<sub>2</sub>e fra mobilitetssystemet, totaløkonomi og sociale aspekter, som arbejdsmiljø, CSR og uddannelse. De faktorer der særligt påvirker CO<sub>2</sub>e-udledningen er materialeforbrug, herunder graden af genbrug og genanvendelse, og drivmidler til driften. Der er i perspektiveringen i kapitel 5 beskrevet nogle perspektiver ift. systemets CO<sub>2</sub>e-påvirkninger, mens andre bæredygtighedsperspektiver er beskrevet i notatet 'Aarhus Letbane – Etape 2, Bæredygtighedsscreening', hvor der er foretaget en screening ift. FN's Verdensmål.

### Opsummering

Analysen er en kvantificering af CO<sub>2</sub>e-udledningerne fra etableringen af Aarhus Letbanes Etape 2, Spanien-Brabrand sammenlignet med et tilsvarende BRT-system. CO<sub>2</sub>e-udledningerne er beregnet ud fra et livscyklus-perspektiv, i Vejdirektoratets værktøj InfraLCA. Resultaterne viser at letbane-systemet udleder samlet 33.000 tCO<sub>2</sub>e, hvoraf ca. 75% kommer fra anlægsfasen, altså materialeproduktion, samt transport og indbygning af materialer. Resultaterne fra BRT-systemet viser en samlet udledning på ca. 26.000 tCO<sub>2</sub>e, hvoraf anlægsfasen fylder 57%. Den væsentlige forskel i udledningen fra de to systemers anlægsfaser, kommer fra letbane-systemets forbrug af beton til slabtracket og stål til skinner. I de to systemer er der også en væsentlig forskel på bidraget fra rullende materiel, hvor dette udgør 11% af den samlede udledning for Letbane-systemet og 20% for BRT-systemet.

Analysen suppleres med kvalitative perspektiver på, hvad hvordan systemerne vil indgå i det samlede trafiksystem og hvad der kan påvirke de to systemers CO<sub>2</sub>e-udledninger i drift og vedligeholdelsesfaserne.

## 2. METODE

### 2.1 Livscyklus analyse

Der er foretaget en beregning ud fra et livscyklus analyse (LCA) perspektiv, for at redegøre for anlægsprojektets udledning af drivhusgasser (CO<sub>2</sub>e) for henholdsvis LRT og BRT. En LCA tager afsæt i en oversigt over alle de materialer og arbejder, som indgår i projektet, og udover mængdeestimat for de to løsninger, som er brugt som input i InfraLCA, er der blevet suppleret med data for hhv. tog og busser gennem miljøvaredeklarationer (Environmental Product Declarations, herefter betegnet EPD'er).

I det følgende beskrives lidt generelt om InfraLCA som værktøj og EPD'er.

### 2.2 InfraLCA

For at udarbejde en komplet LCA skal det sikres, at analysen udarbejdes for hele produktets livscyklus. Dette er ikke muligt i nærværende analyse, da InfraLCA som et værktøj er begrænset til at beregne miljøpåvirkninger for faserne A1-A3, A4, A5 og B4. Se figur 1 for en nærmere beskrivelse af et infrastrukturs projekts livscyklusfaser.

INFRASTRUKTUR LIVSCYKLUS														YDERLIGERE INFORMATION
A1 – A3 FREMSTILLING			A4 – A5 KONSTRUKTION		B1 – B7 ANVENDELSE					C1 – C4 END-OF-LIFE				D FORDELE OG ULEMPER UDOVER SYSTEMGRÆNSEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Udvinding af råmaterialer	Transport	Fremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Anvendelse	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Istandsættelse	Dekonstruktion	Transport	Affalds håndtering for genbrug, genanvendelse og godtgørelse	bortskaffelse	Genbrug-, genanvendelse-, godtgørelse potentiale for at undgå fremtidige klimapåvirkninger
					B6 – Operationel energi forbrug									
					B7 – Andre operationelle processer									

Figur 1. Opsummering af de faser, som indgår i infrastrukturprojekters livscyklus. Faserne er defineret med afsæt i LCA-metodik. De faser, der beregnes i InfraLCA er fremhævet med rød. Kilde: Rambøll

InfraLCA er dog pt. det markedsanerkendte værktøj i Danmark ift. beregning af CO<sub>2</sub>e-udledning ifm. anlægsprojekter – og det forventes også, at det i de kommende år vil blive udbygget og indeholde flere faser og tilbyde en højere detaljegråd i de enkelte poster i programmet. På nuværende tidspunkt er særligt faserne installation (A5) og udskiftning (B4) forbundet med usikkerheder og et mindre datagrundlag.

I InfraLCA arbejdes der med en række foruddefinerede levetider for de enkelte materialer, som der i beregningerne ikke er ændret på. De for beregningernes væsentligste levetider kan opsummeres til at være:

- Asfalt: 16 år
- Vejkasse: 50 år
- Armering: 100 år
- Beton: 100 år
- Skinner: 50 år



### 3. FORUDSÆTNINGER

#### 3.1 InfraLCA-beregninger

Beregningerne i InfraLCA er sket ud fra skitseprojektet og de mængdeinputs, der pt. findes for projektet. For letbane-løsningen er der desuden tilføjet den antagelse, at der anvendes armering svarende til 100 kg/m<sup>3</sup> beton, hvilket svarer til ca. 4% af tværsnittet.

En opsummering af inputtene kan ses i tabellen nedenfor, hvor der også er tilføjet en sammenligning af mængderne og de største forskelle markeret med røde cirkler.

Emne	Enhed	LRT	BRT	Forskel (LRT-BRT)
Jord opgrave over vand, bortskaffe	m <sup>3</sup>	63.776	53.400	10.376
Jord opgrave til depot over vand	m <sup>3</sup>	16.267	16.267	0
Jord indbygge fra depot	m <sup>3</sup>	16.267	16.267	0
Asfalt opbrydning til bortskaffelse	m <sup>3</sup>	10.215	10.215	0
Afvanding, Plastikrør	ton	120	120	0
Afvanding, Betonrør	ton	609	609	0
Asfalt, levere og udlægge	m <sup>2</sup>	212.109	276.967	-64.858
Bundsikring, levere og indbygge	m <sup>3</sup>	51.477	60.756	-9.279
Granitskærver, levere og indbygge	m <sup>3</sup>	641		641
Stabilgrus levere og indbygge	m <sup>3</sup>	53.061	54.986	-1.925
Asfalt fræse og bortskaffe	ton	22.780	22.780	0
Kantsten (beton)	m	46.561	46.561	0
Beton type 1 (Slabtrack)	m <sup>3</sup>	7.829		7.829
Beton type 2 (Fundering kørestrøm)	m <sup>3</sup>	294		294
Beton type 3 (Etablering bygværker)	m <sup>3</sup>	6.755	4.805	1.950
Beton type 4 (Diverse)	m <sup>3</sup>	5.260	5.260	0
Stål type 1 (Skinner i ton)	ton	1931		1931
Kobbertråd kørestrøm	ton	42		42
Stål kørestrøm	ton	214		214
Armering	ton	2014	1007	1007

Tabel 1. Opsummering af mængdeberegningerne for hhv. LRT- og BRT-løsningen, samt sammenligning og markering af de vigtigste forskelle.

Beregningerne i InfraLCA er foretaget med en tidshorisont på 50 år. Dette sikrer inddragelse af materialernes levetider i beregningerne.

### 3.2 EPD'er

EPD er en forkortelse for Environmental Product Declaration, hvilket oversat til dansk er miljøvaredeklaration.

EPD'en dokumenterer resultaterne fra en livscyklusanalyse (LCA), som beskriver miljøpåvirkningerne fra et produkt i et livscyklusperspektiv. Dette betyder, at der kan redegøres for produktets påvirkninger på eksempelvis vand, jord og luft, i de faser som LCA'en dækker. I LCA'en ses der på alle de processer forbundet til den funktionelle enhed, der ligger til grund for modelleringen. Livscyklusanalysens funktionelle enhed kan f.eks. være ton, når det drejer sig om beton eller skinner, eller personkilometer, når det drejer sig om den ydelse, som et tog eller en bus leverer. I EPD'en på beton eller skinner ligger de miljøpåvirkninger, som er forbundet med alt fra udvindingsprocesser, forarbejdning og transport til indbygning, nedrivning og genbrug. De samme processer er med i EPD'en for tog og busser. Her er miljøpåvirkningerne forbundet med driften, som f.eks. strømforbrug, udskiftning af reservedele, batterier osv., også inkluderet. Det hele bliver rapporteret i et fastlagt format, som bliver tredjepartsverificeret og gælder dermed som dokumentationspakke for miljøpåvirkningerne.

I dette projekt er det faserne A1-A3, altså materialeproduktionen, der er trukket ud fra EPD'erne, hvor transport (A4), indbygning (A5) og udskiftning (B4) beregnes ud fra data i InfraLCA-modellen.

For at definere CO<sub>2</sub>e-påvirkningen fra henholdsvis busser og tog er der indhentet oplysninger gennem EPD'er.

#### 3.2.1 Tog

For hovedforslaget med letbane er anvendt en EPD for Alstom Flexity™ Tram (Appendix 1), idet Stadler ikke har data eller udarbejdet EPD'er for deres tog. På baggrund af kapacitet, udseende og størrelse er det vurderet, at Flexity-toget fra Alstom ligner Variobahn fra Stadler. De data der ligger til grund for Alstom Flexity ekstrapoleres, så de passer på Stadler Variobahn i forhold til vægt på de to togtyper. Dermed antages det, at materialesammensætningen i de to togtyper er ens.

Følgende forudsætninger er derudover anvendt i beregningerne:

- Levetid for tog 30 år (som angivet i EPD)
- Der er indregnet afskrivning af CO<sub>2</sub>e for udskiftning af togsæt, dermed indregnes kun den mængde CO<sub>2</sub>e, som er repræsentativ for de sidste 20 år af den betragtede periode.
- Der modelleres med 14 togsæt – 12 til at dække kørslen og to i reserve jf. driftsoplæg af 3. februar 2022.

#### 3.2.2 Bus

For den alternative busbaserede BRT-løsning er der anvendt en EPD for Volvo 7900 Electric Articulated (Appendix 2). Dette er en 18 m bus, men i beregningerne er det ekstrapoleret svarende til en 25 m bus. Anlægsprojektet dimensioneres til 25 m bus – det er derfor også dette, som forudsættes i beregningerne her. Her er samme antagelse foretaget, som for togsættene, da det vurderes, at Volvos elektriske bus vil være sammenlignelig med Solaris Trollino 25 m. Dermed anvendes samme metode som ovenfor, hvor der foretages en ekstrapolering af de data, der foreligger for Volvo 7900 EA.

Følgende forudsætninger er derudover anvendt i beregningerne:

- Levetid for bus 12 år (som angivet i EPD)

- Der er indregnet afskrivning af CO<sub>2</sub>e for den sidste udskiftning af busserne. Det indregnes, at busserne skiftes fire gange og der er dermed et bidrag fra sidste udskiftning, som afskrives over de sidste to år af den 50-årige betragtningsperiode.
- Der modelleres med 15 busser – 13 til at dække kørslen og 2 i reserve jf. driftsoplæg af 11. februar 2022.
- I modelleringen af bussernes miljøpåvirkning indgår bl.a. CO<sub>2</sub>e-påvirkningen indlejret i batterierne. Der er ikke medtaget tab af energi ved opladning af batterierne i nærværende analyse.

## 4. RESULTATER

I følgende afsnit præsenteres resultaterne fra livscyklusanalysen for de to løsninger. Resultaterne illustreres i form af tabeller og grafer. InfraLCA-beregninger og -resultater kan findes i InfraLCA-Excelarkene, der er vedhæftet som bilag, se Tabel 2.

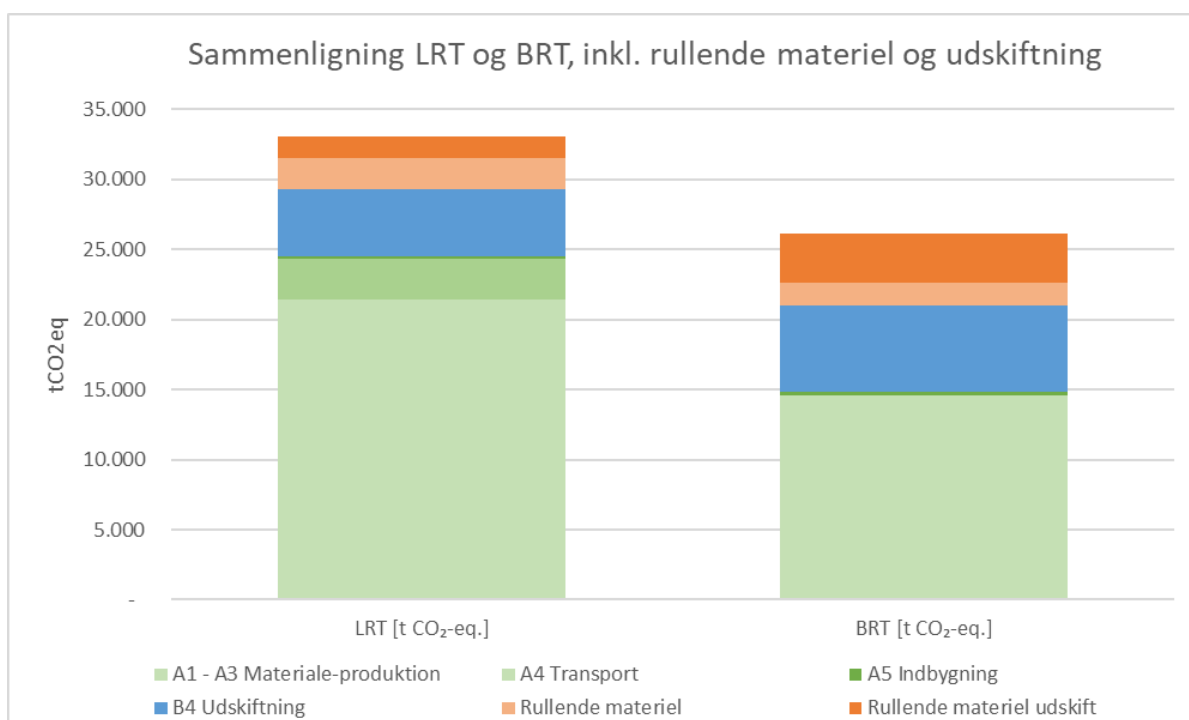
Hovedforslag, LRT	InfraLCA_LRT.xlsm
Alternativ, BRT	InfraLCA_BRT.xlsm

Tabel 2. Oversigt over beregningsark i bilag.

Resultaterne er anvendt til at identificere de elementer i anlægsprojektet, som har de største CO<sub>2</sub>e-påvirkninger, samt få et estimeret overblik over de inkluderede fasers samlede udledning af CO<sub>2</sub>e.

### 4.1 Sammenfatning af resultater

Resultaterne fra livscyklusanalyserne er præsenteret i figur 2 og tabel 3, og er fordelt på LRT og BRT. Udledningen af drivhusgasser er opgivet i enheden "t CO<sub>2</sub>e", og omfatter de CO<sub>2</sub>e-udledninger, som er forbundet med anlæg samt produktion af det rullende materiel for LRT og BRT. Dermed er CO<sub>2</sub>e-udledningerne fra driften af de to løsninger ikke inkluderet. Et perspektiv på drift af de to systemer beskrives i afsnit tabel 4.



Figur 2. Sammenligning af LRT- og BRT-løsningerne for de undersøgte faser i den 50-årige periode.

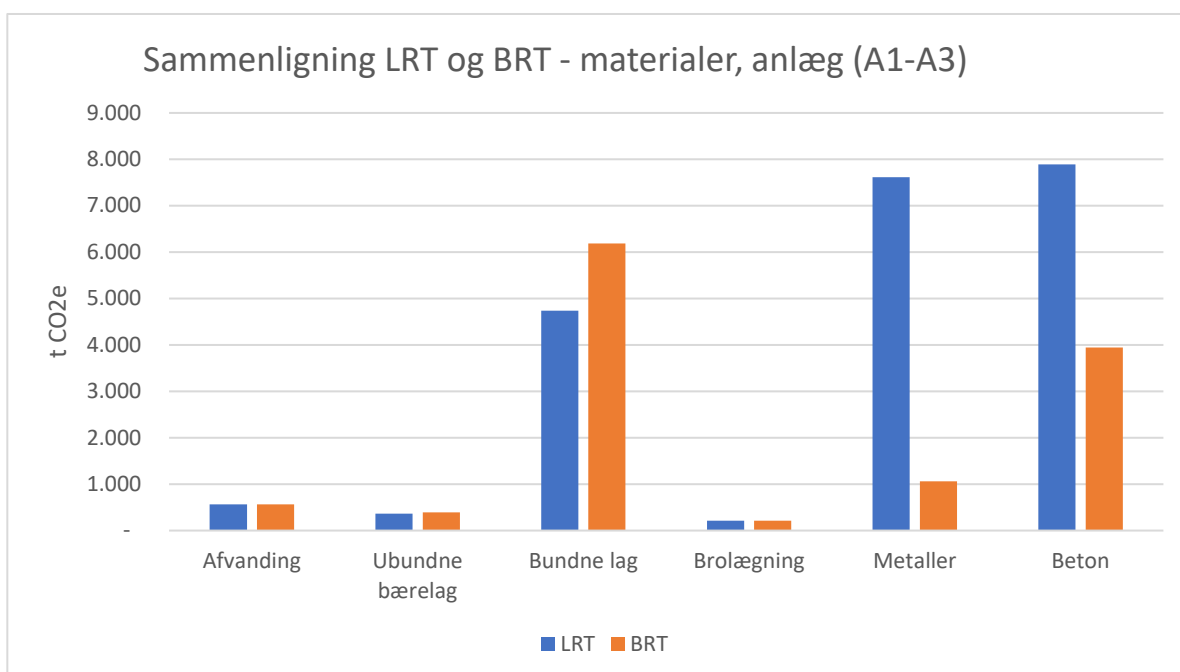
	Materialer og indbygning (A1-A5)				Indlejret CO2 tog/bus			Udskiftning af anlægsmaterialer (B4)				CO2 for anlæg og udskiftning
	Produktion af materialer (A1 - A3)	Transport (A4)	Indbygning (A5)	Delsum (A1-A5)	Rullende materiel (indlejret)	Udskiftning	Delsum CO2 (tog/bus)	Materialer (B4)	Transport (B4)	Indbygning (B4)	Delsum (B4)	
LRT	21.400	2.900	200	24.500	2.200	1.500	3.700	4.500	200	100	4.800	33.000
BRT	12.400	2.200	200	14.800	1.600	3.500	5.100	5.800	300	100	6.200	26.100

Tabel 3. Samlet udledning af drivhusgasser for hhv. BRT og LRT fordelt på faserne i projektet.

Med afsæt i tabel 3 og figur 2 kan det ses at:

- Etableringen af LRT-systemet er vurderet til at udlede en samlet mængde på 33.000 tons CO<sub>2</sub>e, mens en BRT-systemet er vurderet til at udlede en samlet mængde på 26.100 tons CO<sub>2</sub>e. Dette svarer til, at LRT vil udlede ca. 20% mere end BRT.
- Det er primært i produktionen af materialerne (A1-A3), at LRT har en højere CO<sub>2</sub>e-udledning, mens der for det rullende materiel og udskiftningen af dette er en lidt lavere CO<sub>2</sub>e-belastning forbundet med LRT-løsningen end BRT-løsningen.
- I hele anlægsfasen, dvs. fra udvinding af råmaterialer til indbygning (A1-A5), udleder LRT-løsningen 41% mere CO<sub>2</sub>e end BRT-løsningen, mens det rullende materiel i BRT-løsningen udleder næsten dobbelt så meget CO<sub>2</sub> som LRT-løsningen.
- I den opgjorte CO<sub>2</sub>e-udledning for BRT-løsningens rullende materiel indgår både batteriernes indlejrede CO<sub>2</sub>e-udledning samt udledningen forbundet med udskiftning af batterier over hele levetiden.

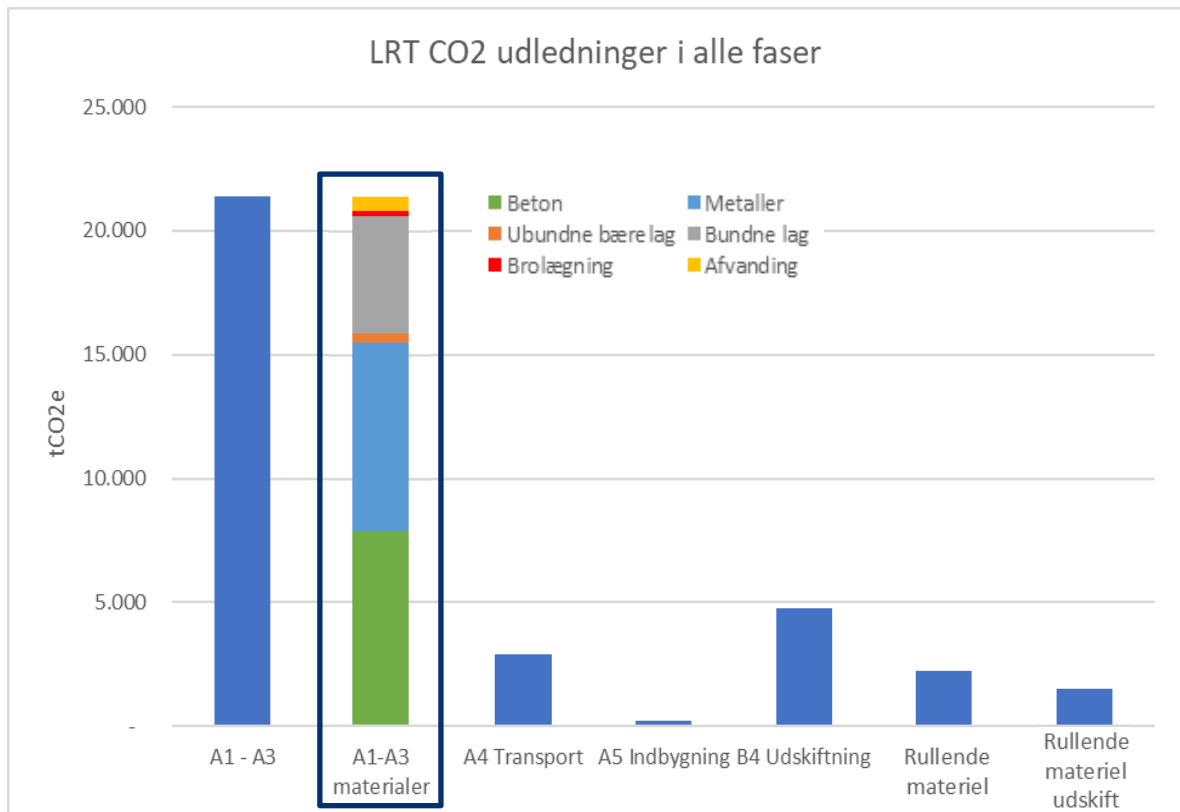
Ses der nærmere på forskelle i CO<sub>2</sub>e-udledningen til materialerne (A1-A3) er dette opgjort i figur 3, hvor det ses, at det for LRT-løsningen særligt er den ekstra brug af metaller og beton, der udgør et væsentligt CO<sub>2</sub>e-bidrag.



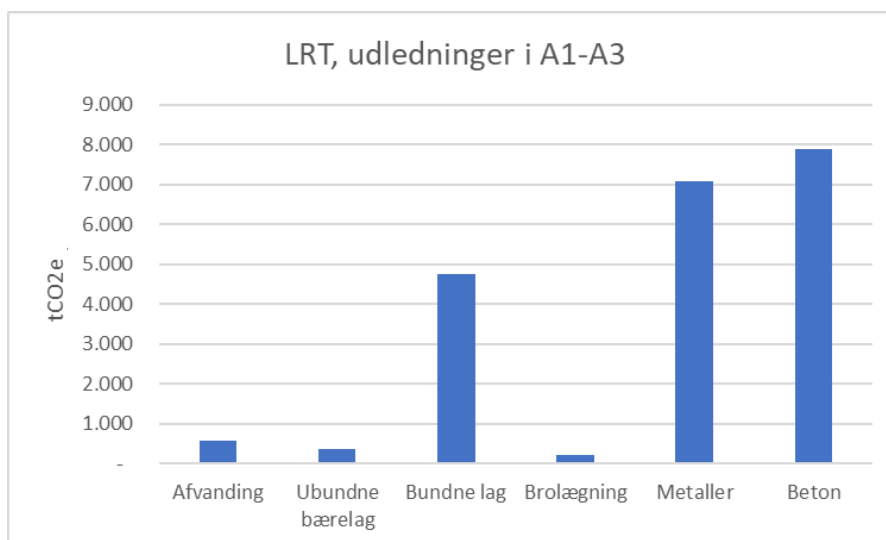
Figur 3. Sammenligning af CO<sub>2</sub>e-udledningen fra materialerne for LRT og BRT til anlæg (faserne A1-A3). Bundne lag (GAB, slidlag), Brolægning (fortove, kantsten), Metaller (skinner, master, armeringsjern), Beton (slabtrack og bygværker).

#### 4.2 LRT-resultater

Letbanesystemet har en samlet udledning på ca. 33.000 tons CO<sub>2</sub>e. Hovedparten af udledningen ligger i forbindelse med produktion af materialerne (A1-A3). Som det ses på figur 4 og figur 5 er hovedparten af CO<sub>2</sub>e fra materialerne forbundet med beton og metaller – i sig selv udgør beton (ekskl. Armering) 24% af det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk fra systemet, mens metallernes materialebidrag i anlægsfasen udgør 23% af det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk for systemet.

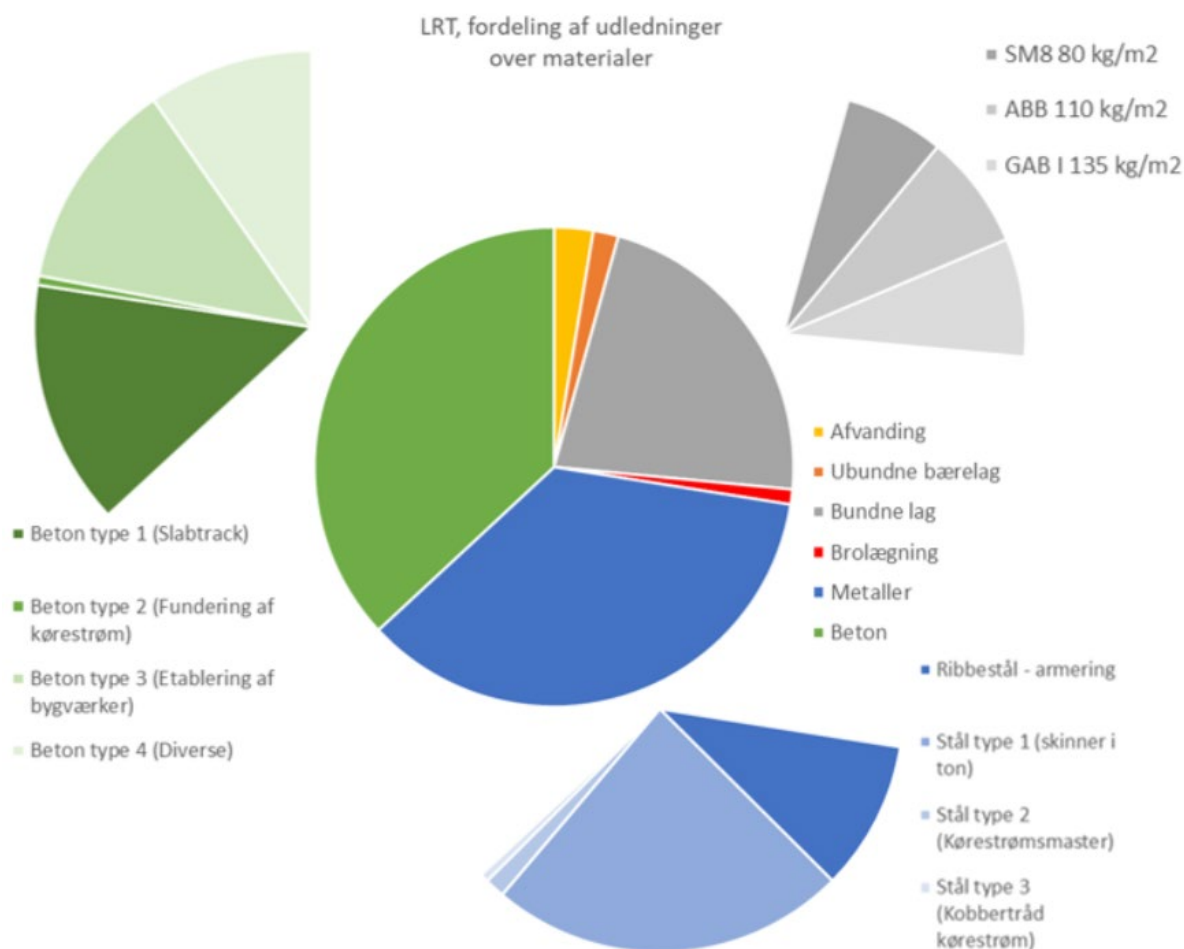


Figur 4. CO<sub>2</sub>e-udledning fordelt på de forskellige faser i LRT-løsningen



Figur 5. CO<sub>2</sub>e-udledning fordelt på de forskellige faser i LRT-projektet, samt udspecificering af CO<sub>2</sub>e-udledning fra materialerne (A1-A3).

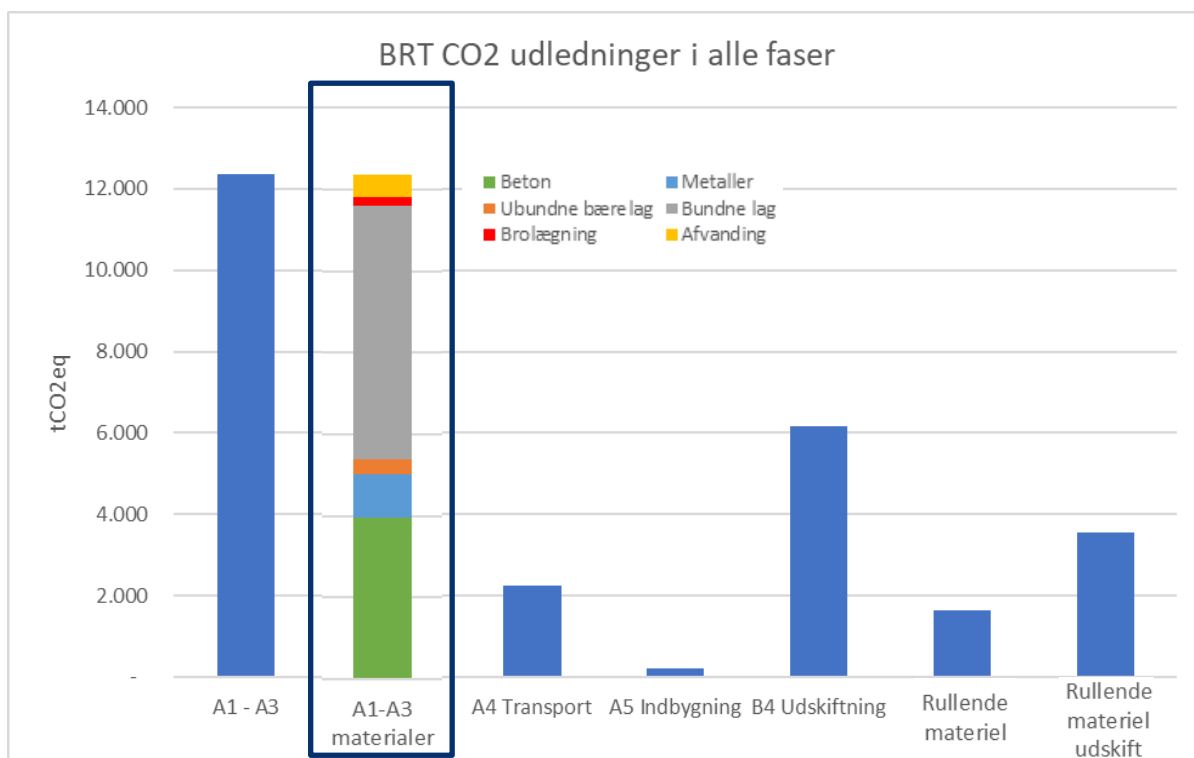
Ses der nærmere på, de enkelte dele ift. de store CO<sub>2</sub>e-udledninger forbundet med hhv. beton, metaller og bundne lag er dette vist på Figur 6, hvor de tre materialer er opdelt på typer.



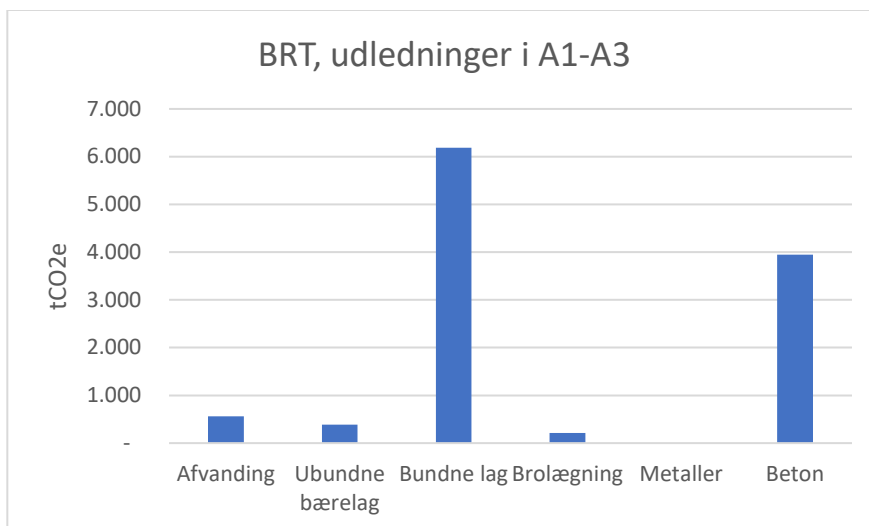
Figur 6. CO<sub>2</sub>e udspecificeret på de enkelte materialer (A1-A3) for LRT.

### 4.3 BRT-resultater

BRT-løsningen har en samlet udledning på ca. 26.000 tons CO<sub>2</sub>e. Hovedparten af udledningen ligger i forbindelse med produktion af materialerne (A1-A3). Som det ses på Figur 8 er hovedparten af CO<sub>2</sub>e fra materialerne forbundet med beton og bundne lag – i sig selv udgør beton 15% af det samlede CO<sub>2</sub>-eftryk fra systemet, mens asfaltmaterialer udgør 23% af det samlede CO<sub>2</sub>-eftryk for systemet. Der er også et væsentligt bidrag fra udskiftning (B4), hvilket hænger sammen med, at der modelleres med en levetid for asfalt på 16 år, og der dermed indgår en udskiftning af materialet tre gange i projektets levetid.



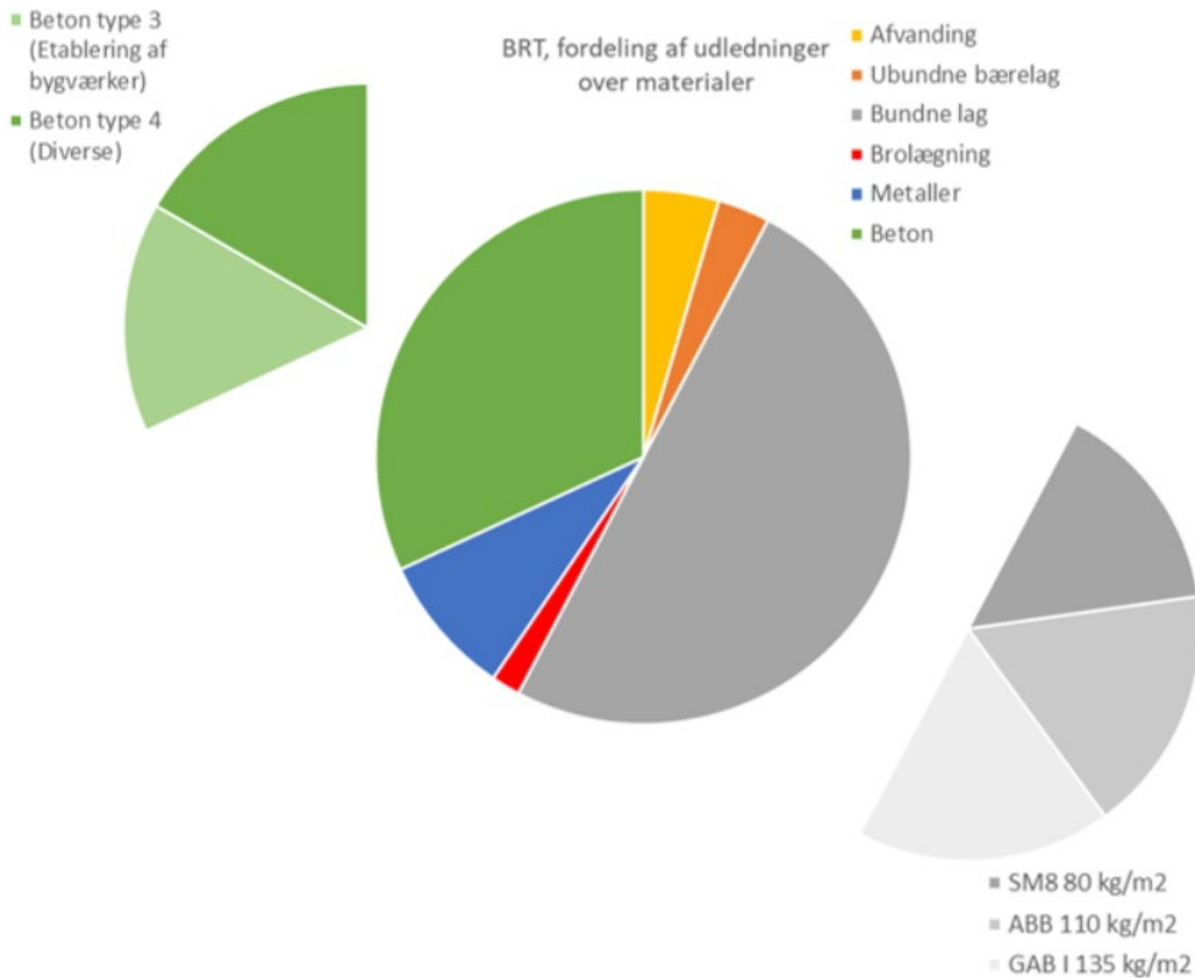
Figur 7. CO<sub>2</sub>e-udledning fordelt på de forskellige faser i BRT-løsningen.



Figur 8. Udspecificering af CO<sub>2</sub>e-udledning fra materialerne (A1-A3) for BRT-løsningen.

Ses der nærmere på de enkelte dele ift. de store CO<sub>2</sub>e-udledninger forbundet med hhv. beton og bundne lag er dette vist på Figur 9, hvor de to materialer er opdelt på typer.



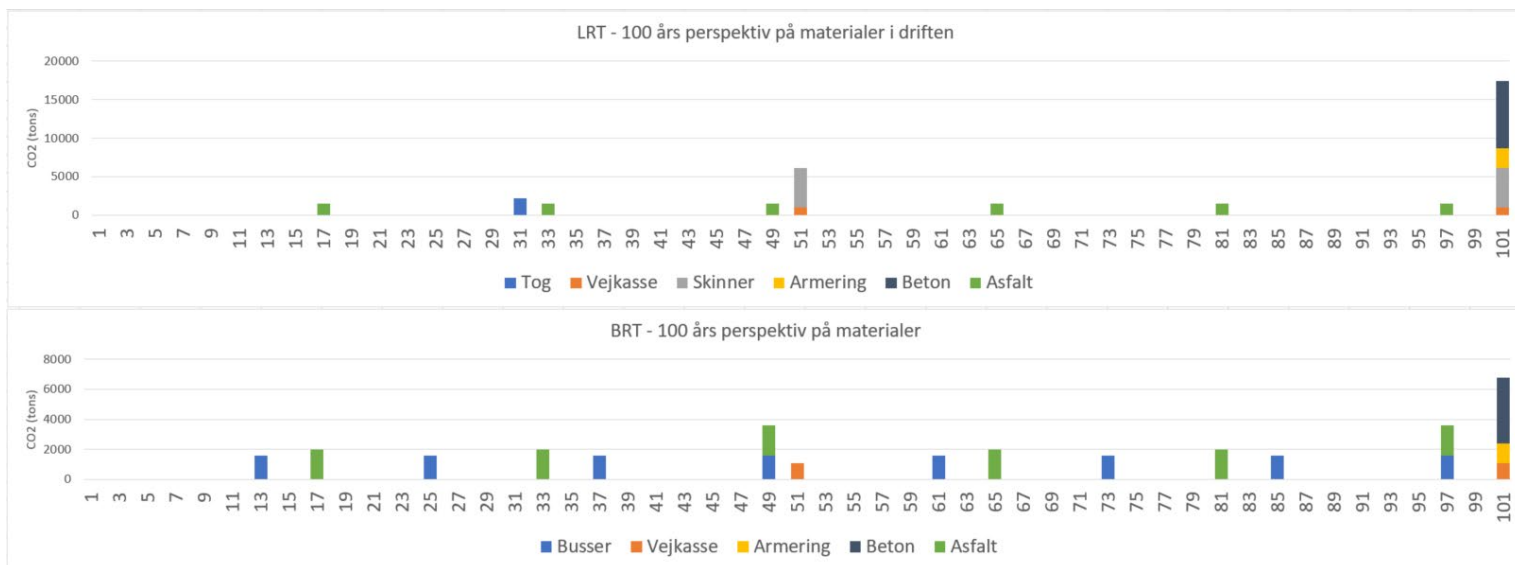


Figur 9. CO<sub>2</sub>e udspecificeret på de enkelte materialer (A1-A3) for BRT-løsningen.

## 5. PERSPEKTIVER

### 5.1 Levetid – et 100 års perspektiv på udskiftning

I nærværende beregninger regnes der som nævnt med et perspektiv på 50 år. Imidlertid kan det være interessant at se på systemerne i et lidt længere tidsperspektiv for at opnå et perspektiv på, hvordan CO<sub>2</sub>e-udledningen for systemerne fordeler sig i en længere tidshorisont. Her er det valgt at kigge på systemerne i et 100 års perspektiv, hvor de vigtigste poster relateret til CO<sub>2</sub>e-udledning er vist på figur 10.



Figur 10. CO<sub>2</sub>e-udledning i et 100 års perspektiv for de største CO<sub>2</sub>e-poster for henholdsvis LRT og BRT.

Figureerne illustrerer, at der for BRT-løsningen er en større CO<sub>2</sub>e-udledning ift. driften, hvilket hænger sammen med udskiftning af busserne (levetid 12 år) og asfalten (levetid 16 år). For letbanen ligger der i de første 50 år udover udskiftning af asfalten (levetid 16 år) en enkelt udskiftning af togene (levetid 30 år). For letbanen ligger der efter år 50 store CO<sub>2</sub>e-udledninger forbundet med udskiftning af skinner – og ligeledes store poster efter år 100 forbundet med udskiftning af beton og igen skinner, som kun dækker ny-anlæg og ikke CO<sub>2</sub>e-udledninger forbundet med opbrydning. Posten ift. beton ligger også som en større post for BRT-løsningen efter år 100, men er pga. det mindre forbrug i løsningen også mindre end for letbane-løsningen.

Opsætningen af posterne og udskiftning på denne måde er teoretisk og i praksis vil løbende vedligehold forventeligt kunne fordele CO<sub>2</sub>e-udledningen ud over perioden. Imidlertid giver opstillingen en pejling af, hvilken mængde CO<sub>2</sub>e-udledning der er forbundet med den løbende udskiftning af materialer.

### 5.2 Strømforbrug til drift af tog/bus samt byggeplads

Som perspektiv på emissionerne fra den indlejrede mængde CO<sub>2</sub>e i togsættene og busserne, er der foretaget et teoretisk estimat af CO<sub>2</sub>e-udledningerne forbundet med strømforbruget til drift af systemerne. De ses nedenfor i Tabel 4, hvor det bemærkes, at letbanen har et dobbelt så højt teoretisk strømforbrug som BRT-løsningen. Det skyldes delvist den øgede kapacitet i letbanetog, men når strømforbruget pr. pkm for de to systemer sammenlignes, kan det ses, at letbanens strømforbrug stadig er over 30% højere end for BRT-løsningen. I opgørelsen af BRT-løsningens estimerede strømforbrug, indgår der ikke tab ved opladning, som må forventes at give

en lille forøgelse til nedenstående resultater. Samtidig er der ikke inkluderet et estimat af tab i transformerstationer og genvinding af bremseenergi for de to teknologier.

	Strøm kWh pr. pkm jf EPDer	Total distance	Total antal person- kilometer	Strømforsbrug per år	CO <sub>2</sub> e udledt per år	Total over den 50 årige periode
	kWh/pkm	Antal kørte km/år	Antal pkm/år	kWh	tCO <sub>2</sub> e	tCO <sub>2</sub> e
<b>Letbanetog Alstom FLEXITY™ TRAM</b>	0,022	704.000	154.786.000	3.405.000	560	<b>28.000</b>
<b>BRT Bus VOLVO 7900 EA 25 meter</b>	0,015	735.000	110.211.000	1.653.000	270	<b>14.000</b>

Tabel 4. Estimeret teoretisk strømforsbrug for togsæt og busser v. 0,165 kgCO<sub>2</sub>e/kWh.

Den estimerede CO<sub>2</sub>e-udledning fra det teoretiske strømforsbrug i tabel 4 er forudsat det nuværende danske elmix, og tager dermed ikke højde for den udvikling der kommer til at ske med sammensætningen af den strøm der leveres i Danmark, f.eks. en forøget mængde vedvarende energi, som potentielt leveres til systemerne inden for analyseperioden.

I forbindelse med anlægget af de to løsninger er der indhentet et estimat på strømforsbrug fra entreprenørerne, som arbejder på tilsvarende projekter Her oplyses det, at en entreprenør bruger 4.000 kWh pr måned til skurby osv. I projektoplægget er der estimeret en samlet anlægsperiode på 5 år, hvoraf der er påregnet to entreprenører i 4,5 år og tre entreprenører i et halvt år. Dette medfører en samlet CO<sub>2</sub>e-påvirkning fra byggepladsstrøm på 83 tons CO<sub>2</sub>e, som det også ses i Tabel 5. Der er ikke indregnet evt. fællesfaciliteter entreprenørerne imellem.

	Byggeplads strøm	Total strømforsbrug over 5 års anlægsperiode	CO <sub>2</sub> e udledt fra byggepladsstrøm
	kWh/mdr	kWh	tCO <sub>2</sub> e
<b>Byggeplads</b>	4000	504.000	<b>83</b>

Tabel 5. Estimeret strømforsbrug fra skurby på byggeplads

### 5.3 Et system perspektiv

Nærværende notat fokuserer på CO<sub>2</sub>e-udledningen ved etablering af LRT/BRT. I et valg mellem LRT/BRT – og om overhovedet at etablere LRT/BRT ligger der yderligere overvejelser ift. LRT/BRT i et større systemperspektiv. Disse overvejelser er søgt beskrevet kvalitativt nedenfor. Samtidig ligger der naturligvis også overvejelser ift. hvordan en LRT/BRT-løsning kan være med til at skabe højklasset kollektiv trafik i byen og i tråd med Aarhus Kommunes klimastrategi, hvor målet er, at andelen der benytter kollektiv transport skal øges.

INFRASTRUKTUR LIVSCYKLUS														YDERLIGERE INFORMATION			
A1 – A3 FREMSTILLING			A4 – A5 KONSTRUKTION		B1 – B7 ANVENDELSE					C1 – C4 END-OF-LIFE				D FORDELE OG ULEMPER UDOVER SYSTEMGRÆNSEN			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D			
Udvinding af råmaterialer	Transport	Fremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Anvendelse	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Istandsættelse	Dekonstruktion	Transport	Affalds håndtering for genbrug, genanvendelse og godtgørelse	bortskaffelse	Genbrug-, genanvendelse-, godtgørelse potentiale for at undgå fremtidige klimapåvirkninger			
					B6 – Operationel energi forbrug												
					B7 – Andre operationelle processer												

Figur 11. Oversigt over livscyklusfaser i letbanesystemet

For at få det fulde billede af alle projektets faser skal alle felterne i figur 11 inkluderes i analysen. Felterne markeret med rød er inkluderet. De resterende punkter er ikke medtaget jf. InfraLCAs afgrænsninger. I nedenstående punkter dykkes lidt ned i en kvalitative vurdering af fasernes betydning:

#### 5.3.1 Anvendelsesfasen

For selve anvendelsesfasen er der i denne analyse kun lavet beregninger ift. udskiftning. De andre punkter i anvendelsesfasen, som vil have en påvirkning ift. CO<sub>2</sub>e, er anvendelse, vedligehold, reparation og istandsættelse. For disse faser forventes LRT at ligge højere end BRT, da LRT bruger flere komponenter og der dermed er mere, der skal vedligeholdes over levetiden.

#### 5.3.2 End-of-life

End-of-life omfatter den CO<sub>2</sub>e, som vil være forbundet med at nedrive LRT/BRT-systemerne, bortskaffe det og genbruge/genanvende relevante dele. Igen vurderes LRT at være højere end BRT. Den store mængde asfalt i BRT er ligetil at genanvende ved BSM, Remix eller lign. Der er dog også en stor genanvendelsesværdi i den mængde stål og armering, der bruges i LRT, da det er ligetil at genanvende metaller.

Ses på en LRT/BRT-løsning i et større perspektiv ift. CO<sub>2</sub>e vil det også kræve, at man betragter de fordele/ulemp, som ligger udover selve systemet (illustreret som D på figur 11). Der vil skulle ses på hele mobilitetssystemet i Aarhus Kommune – og på hvordan CO<sub>2</sub>e-udledningen fra de andre transportformer påvirkes. I de følgende punkter er der beskrevet nogle af de væsentligste effekter ift. hvordan CO<sub>2</sub>e-udledningen fra mobilitetssystemet vil blive påvirket af etablering af en BRT/LRT:

### 5.3.3 Kapacitet LRT/BRT

I sammenligningen af CO<sub>2</sub>e-udledningen for hhv. LRT og BRT er der ikke taget højde for, at de to systemer har forskellige kapaciteter – og at de dermed også potentielt vil have forskellig CO<sub>2</sub>e-udledning, hvis der ses på den enkelte brugers rejse. LRT-løsningen har potentiale til at flytte langt flere passagerer end BRT-løsningen. I notaterne "Trafikalt grundlag for BRT-alternativ, Spanien (Rutebilstationen)-Brabrand" og "Trafikalt grundlag for hovedforslag LRT, Spanien-Brabrand" fremgår:

#### 5.3.3.1 Kapacitet i LRT

Den nominelle (teoretiske) kapacitet i de nuværende Variobahn letbanetog er på 216 passagerer. Det er ikke realistisk at regne med udnyttelse af denne kapacitet dels på grund af komfortforhold og udveksling af passagerer på standsningssteder og dels fordi passagerer vil være ujævnt fordelt i myldretiden. For at imødekomme dette reduceres den nominelle kapacitet i beregningerne enten med 20% eller der indregnes kun 60% af ståpladserne. Dette svarer til ca. 160 i nuværende letbanetog. Med en kapacitet på  $160 \times 12 = 1.920$  ved 12 afgang i timen og  $160 \times 8 = 1.280$  ved 8 afgang i timen er der tilstrækkelig kapacitet til rådighed i spidstimen ved en driftsmæssig opstart med 8 afgang i timen.

#### 5.3.3.2 Kapacitet i BRT

Den nominelle kapacitet, som Busselskabets 18 meter ledbusser er godkendt til, er på ca. 140 passagerer. Det er ikke realistisk at regne med udnyttelse af denne kapacitet, dels på grund af komfortforhold og udveksling af passagerer på standsningssteder og dels fordi passagerer vil være ujævnt fordelt i myldretiden. For at imødekomme dette reduceres den nominelle kapacitet i beregningerne enten med 20%, eller der indregnes kun 50% af ståpladserne. Dette svarer til 92 passagerer i Busselskabets nuværende ledbusser. Overskrides dette, er det Midttrafiks praktiske erfaring, at kunder og chauffører opfatter bussen som overfyldt med det resultat, at kunder ikke stiger på bussen, eller at chaufføren forbikører kunder, og at der kommer kundeklager over forholdene. 92 i en ledbus er også over grænsen for hvornår kunderne opfatter, at der er en væsentlig forringet komfort. Midttrafik har ikke en komfortgrænse, men i Malmø arbejder man med en sådan grænse ved 65 i en ledbus. Dette vil naturligvis også påvirkes af i hvor lang tid, der er en høj belastning i bussen. Der er med andre ord ikke en entydig kapacitet, hvori kapacitetsvurderingen kan tage udgangspunkt. I det følgende regnes der med en reel kapacitet på 92 i en 18,75 meter ledbus, svarende til de nuværende ledbusser i Aarhus. For en dobbeltartikuleret 24-25 meter bus regnes med en reel kapacitet, der er 25% højere, dvs., 115. Med en kapacitet på  $92 \times 12 = 1.104$  passagerer i timen per retning er der med et kapacitetsbehov på 585 god kapacitet til rådighed i spidstimen med 12 afgang i hver retning mellem Hasle Torv og Rutebilstationen. I en løsning med 25 meter busser vil kapaciteten være 1.380.

### 5.3.4 Overflytning af passagerer

Etableringen af enten en LRT- eller BRT-løsning vil påvirke antallet af ture i byen og fordelingen af ture mellem forskellige transportmidler. I notatet "Trafikmodelberegninger – Letbane/BRT Brabrand forudsætningsnotat" er der opstillet følgende konsekvenser for hhv. etablering af BRT-/LRT-løsning ift. 0-alternativet:

Transportmidler	Letbane minus o-Alt		BRT ALT.1 minus o-Alt	
	Forskel	%	Forskel	%
Bil (PB+VB+LB)	-850	-0,08%	-700	-0,06%
Kollektiv	1.950	1,16%	1.600	0,95%
Cykel & Gang	-1.500	-0,25%	-1.100	-0,19%
Total antal ture	-400	-0,02%	-200	-0,01%

Figur 12. Fordeling af beskrevet i "Trafikmodelberegning-Letbane/BRT Brabrand forudsætningsnotat.

\*Modelture består af antal ture til/fra Aarhus, fire nabokommuner og portzoner (afrundet) på dagsniveau i 2030.

Den ændrede modalsplit for turene vil også betyde en ændring i udledningen af CO<sub>2</sub>e fra trafikken i Aarhus. De færre bilture vil betyde en mindre CO<sub>2</sub>e-udledning, mens de færre cykel- og gangture vil betyde øget CO<sub>2</sub>e-udledning – der dog størrelsesmæssigt vil være mindre end CO<sub>2</sub>e-udledningen fra bilturene. Dette er baseret på en grov beregning, hvor der tages udgangspunkt i TUs fordeling af bilture på længder, som Aarhus Kommune anvender som standard i trafikmodelleringer, og en forudsætning om at ture over 50 km sættes til 80 km.

Andel rejser med kædetype	Under 2 km	2-3.9 km	4-9.9 km	10-19 km	20-49 km	>= 50 km (*)	SUM
Gang alene	42%	32%	24%	2%	0%	-	100%
Cykel alene	14%	23%	41%	16%	5%	1%	100%
Personbil, fører	2%	7%	21%	20%	25%	25%	100%
Personbil, passager	4%	10%	23%	20%	25%	19%	100%
SUM bil mv	3%	7%	21%	19%	25%	25%	100%
SUM kollektiv	0%	1%	16%	26%	33%	24%	100%
Total	16%	17%	24%	14%	15%	14%	100%

Figur 13. Fordeling af ture på længder – til beregningen anvendes de summerede ture for biler til at beregne en gennemsnitlig turlængde. (Kilde TU-data).

I Aarhus Kommunes klimastrategi er målet, at 40% af personbilsflåden i 2030 vil være elbiler. I en grov beregning ses der derfor bort fra CO<sub>2</sub>e-udledningen fra elbiler på trods af, at der vil være CO<sub>2</sub>e forbundet med selve fremstillingen af bilerne og evt. også fra strømmen. Regnes med en direkte CO<sub>2</sub>e-udledning fra fossile biler på 129,0 gram/kilometer<sup>1</sup> (NEDC) (DST.dk) svarer den mindskede CO<sub>2</sub>e-udledning fra flyttede bilture til hhv. 797 tons CO<sub>2</sub>e årligt for letbanen og 657 tons CO<sub>2</sub>e for BRT. Den direkte reduktion i CO<sub>2</sub>e-udledning fra kørslen indeholder ikke indlejret CO<sub>2</sub>e forbundet med produktionen af køretøjer, som erstattes.

$$\begin{aligned}
 & \text{Direkte reduktion i CO}_2 \text{ fra kørsel}_{LRT} \\
 & = 850 \left[ \frac{\text{erstattede ture}}{\text{dag}} \right] * 365 \left[ \frac{\text{dage}}{\text{år}} \right] * 33,2 \left[ \frac{\text{km}}{\text{tur}} \right] * 60\% [\text{fossildrevne køretøjer}] * 129 \\
 & * 10^{-6} \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{km}} \right] = 797 \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{år}} \right]
 \end{aligned}$$

<sup>1</sup> <https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/nyt/GetPdf.aspx?cid=34728>

$$\begin{aligned}
 & \text{Direkte reduktion i CO}_2 \text{ fra kørsel}_{BRT} \\
 &= 700 \left[ \frac{\text{erstattede ture}}{\text{dag}} \right] * 365 \left[ \frac{\text{dage}}{\text{år}} \right] * 33,2 \left[ \frac{\text{km}}{\text{tur}} \right] * 60\% [\text{fossildrevne køretøjer}] * 129 \\
 & * 10^{-6} \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{km}} \right] = 657 \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{år}} \right]
 \end{aligned}$$

Når den direkte reduktion i CO<sub>2</sub>e sammenlignes med CO<sub>2</sub>e -udledningen fra etablering af anlægget, for at redegøre for tilbagebetalingstiden ift. CO<sub>2</sub>e -udledning, konkluderes det at begge systemers CO<sub>2</sub>e-udledning tilbagebetales i løbet af ca. 40 år.

$$\text{Breakeven} - \text{CO}_{2LRT} = \frac{33.000 [\text{tCO}_2\text{e}]}{797 \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{år}} \right]} = 41,4 \text{ år}$$

$$\text{Breakeven} - \text{CO}_{2BRT} = \frac{26.100 [\text{tCO}_2\text{e}]}{657 \left[ \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{år}} \right]} = 39,7 \text{ år}$$

I ovenstående beregninger er der taget udgangspunkt i CO<sub>2</sub>e -udledningerne forbundet med anlægget – dvs. der er ikke medtaget CO<sub>2</sub>e -udledninger til driften af LRT/BRT. Den fulde sammenligning af eksisterende vejssystem og de to højklassede transportsystemer og et endeligt CO<sub>2</sub>e-breakeven vil først kunne fastlægges, hvis der foretages livscyklusanalyser på hhv. hele vejssystemet (effekter ift. bilerne på vejssystemet, hastigheder, turlængder mv.), letbanesystemet og BRT-løsningen, hvor anlæg, drift, vedligehold etc. medregnes. Beregningerne er dermed forbundet med usikkerheder.

### 5.3.5 Gener for trafikken på vejnettet

De vejlukninger, der foretages i forbindelse med etableringen af LRT/BRT, har en påvirkning på CO<sub>2</sub>e-udledningen fra bilers omkørsler. Vejlukningerne og de generelle omkørsler vil generelt påvirke rutevalg og eventuelt give større omkørsler, hvis bilisterne oplever, at letbane/BRT-systemet påvirker deres kørsel.

### 5.3.6 Perspektiv ift. udvikling af teknologi

En BRT-/LRT-løsning vil begge være systemer, som forventes at skulle holde i mange år. Der er derfor også usikkerheder ift. teknologiudviklingen forbundet med etablering af systemerne:

- Køretøjer (både systemet og generelt)
  - o Udviklingen i private køretøjer går mod at trafikken i højere grad udgøres af elbiler. I Aarhus Kommunes klimastrategi er målet, at 40% af alle ture vil være i elbiler i 2030, hvilket minimerer effekten af den højklassede offentlige transport i forhold til direkte CO<sub>2</sub>e-udledning. Dette er medtaget som en forudsætning i betragtningerne ovenfor – og kigges der på en længere tidshorisont vil CO<sub>2</sub>e-gevinsterne ved de færre bilture blive mindsket.
- Grøn strøm
  - o Udbygningen af grøn strøm i det danske el-mix, vil gøre at driftsdelen af både LRT og BRT-løsningerne går mod CO<sub>2</sub>e-neutralitet, hvilket også vil være gældende for el-biler.

### **5.3.7 Geografisk placering af CO<sub>2</sub>e-gevinsterne/-omkostningerne**

I beregningerne for anlægget er der ikke skelnet mellem placeringen af CO<sub>2</sub>e-omkostningerne – ligesom der heller ikke er set på om gevinsterne i forbindelse med omlægning af trafikken sker i Aarhus Kommune eller andre steder.



## 6. MULIGE TILTAG FOR CO<sub>2</sub>-REDUKTIONER I ANLÆGSPROJEKTET

### Designoptimering

I rapporten belyses CO<sub>2</sub>e-udledningerne for to mulige transportløsninger, hvor der generelt er store forskelle på designløsningerne. For letbanen ligger der er stor CO<sub>2</sub>e-post fra slabtracket og der er et godt potentiale for designoptimeringer i denne post. CO<sub>2</sub>e-udgiften til beton og armering i det modellerede scenarie beløber sig til 4.700 ton CO<sub>2</sub>e, hvor armeringen udgør 1.600 ton CO<sub>2</sub>e. Potentialerne for besparelser ligger i at finde den optimale designsynergi for slabtracket. Her kan eventuelle erfaringer med mindre armeringsmængder fra Odense Letbane medtages, for at danne grundlag for designoptimeringer.

Designoptimeringer såsom ovenstående kan have en stor indflydelse på den endelige udledning af drivhusgasser og de samlede omkostninger, da optimeringerne reducerer behovet for anvendelsen af materialer. I en senere detailprojektering kan indgå designoptimeringer af løsningerne så de optimeres i forhold til nedbringelse af CO<sub>2</sub>e udledningerne.

### Materialeoptimering

Aalborg Portland har udviklet en ny cementtype kaldet FutureCem, hvis CO<sub>2</sub>e-fodaftrek for rapid cement er op til ca. 30 % mindre end basiscement (Aalborg Portland, 2022). For færdigblandet udstøbt beton vurderes det, at CO<sub>2</sub>e-reduktionen er ca. 20 %. Det vil kræve yderligere undersøgelser for at afgøre om FutureCem vil kunne bruges delvist eller helt, som erstatning for konventionel beton. Da betonforbruget på opgaven er betragteligt og har et meget betydeligt CO<sub>2</sub>e fodaftrek, er det oplagt at undersøge mulighederne for brug af cementtypen FutureCem.

Yderligere kan der stilles krav i udbudsmaterialet, om at entreprenøren skal anvende materialer der er understøttet af en EPD. Formålet med tiltaget er at skabe et datagrundlag, der følger de krav, som er præsenteret i ISO-standarderne. En EPD er verificeret af en uafhængig tredjepart, hvilket giver præcis, transparent og sammenlignelig information om et produkts miljøpåvirkning i de faser, som er inkluderet i EPD'en. Efterspørges EPD'er som dokumentation for materialers miljømæssige performance kan dette være med til at skubbe positivt til udviklingen af tilgængelig information, som efterfølgende kan lette arbejdet med at finde de materialer, som har den laveste CO<sub>2</sub>-udledning.

### Udbudsmateriale

Ved at implementere bæredygtighed som et tildelingskriterie i projektets udbudsmateriale, kan der være ekstra gevinster at hente i forhold til projektets generelle bæredygtighed, herunder også udledning af CO<sub>2</sub>e. Der kan stilles krav til at entreprenøren skal levere en redegørelse for deres bæredygtighedsindsatser i projektet, samt eventuelle overvejelser i forhold til bæredygtigt materialebrug. Der er god mulighed for at søge inspiration i Kolding Kommunes Marina City projekt, hvor bæredygtighed har udgjort 25% af vægtningen af opgavens tildeling. I det konkrete projekt skulle entreprenøren redegøre for den medførte CO<sub>2</sub>e-udledning fra anlægget. De bydendes overslag varierede meget, og den vindende tilbudsgivers overslag udgjorde en fjerdedel af det højeste CO<sub>2</sub>e-overslag. Som eksemplet foreskriver, giver dette mulighed for at bruge bæredygtighed, og specifikt CO<sub>2</sub>e-udledning, som konkurrenceparameter.

### Fossilfri byggepladser

Projektområdet giver gode muligheder for at indarbejde krav om en bæredygtig byggeplads, hvor man kan indarbejde fossil- eller emissionsfrie drivmidler til maskineriet på sitet. Letbanens eller BRT-løsningens placering understøtter muligheden for at sikre forsyningen af både elektricitet og

HVO<sup>2</sup>-biodiesel til de maskiner, der bruges i projektet. Implementeringen af bæredygtige drivmidler til maskinerne gavner både i forhold til emissioner, støj og støv/partikler, hvor især el-maskineriet har store fordele på de givne parametre. Desuden vil det kunne gavne projektets udførelsesfase at inddrage lokale interessenter i forhold til gener og logistik, når et så centralt byelement skal renoveres.

Kombinationer af ovenstående ideoplæg til CO<sub>2</sub>e-reduktioner vil forventeligt kunne reducere CO<sub>2</sub>e-aftrykket signifikant.

<sup>2</sup> Hydrogenated Vegetable Oil

## **APPENDIX 1**

### **EPD ALSTOM FLEXITY™ TRAM**

## **APPENDIX 2**

### **EPD VOLVO 7900 ELECTRIC ARTICULATED**