

Oppdragsgiver
Trondheim Kommune

Rapporttype
Livsløpsvurdering

21.01.11

MILJØVURDERING AV BYBANE I TRONDHEIM LIVSLØPSVURDERING AV BUSS OG BYBANE



**MILJØVURDERING AV BYBANE I TRONDHEIM
LIVSLØPSVURDERING AV BUSS OG BYBANE**

Oppdragsnr.: 6100821
Oppdragsnavn: Miljøvurdering av bybane i Trondheim
Dokument nr.: RAP-01
Filnavn: K-RAP-001- rev 02 Endelig 210111

Revisjon	Første utkast	Endelig rapport		
Dato	10.01.2011	21.01.11		
Utarbeidet av	Michal G. Gjerde	Michal G. Gjerde		
Kontrollert av	Ekstern	Gry Sæterbø		
Godkjent av	Frank Holmgaard	Frank Holmgaard		
Beskrivelse	Forslag oversendt til oppdragsgiver	Sluttrapport		

Rambøll
P.b. 9420 Sluppen

NO-7493 TRONDHEIM
T +47 73 84 10 00
F +47 73 84 10 60
www.ramboll.no



INNHOOLD

1.	SAMMENDRAG	5
2.	LIVSLØPSVURDERING	7
2.1	Livsløpsvurdering	7
2.2	Hensikt	8
2.2.1	Scenarier	8
2.3	Funksjonelle enheter	9
2.4	Systemgrensen	9
2.5	Systembeskrivelse	10
3.	UTSLIPP	11
3.1	CO ₂ -ekvivalenter	11
3.2	Klimagass	11
3.2.1	Elkraft	11
3.3	Drivstoff buss	13
3.4	Svevestøv og NO _x	14
3.5	Forbrenning og utslippsprofilen til buss	14
4.	SAMMENLIGNING AV SCENARIOER	16
4.1	Scenario 1	16
4.2	Scenario 2	17
4.3	Sammenligning av scenario 1 og 2	18
5.	KONKLUSJON	20
5.1	Scenario 1	20
5.2	Scenario 2	20
5.3	Sammenligning av scenarier	21
5.4	Perspektiv	22

VEDLEGG

Vedlegg 1: Forutsetninger og metode

1. SAMMENDRAG

På oppdrag for Trondheim kommune, Miljøpakken, har Rambøll gjennomført en miljøvurdering av fremtidig kollektivtransportsystem knyttet til Trondheim by. Hensikten med miljøvurderingen er å vurdere utslippene fra to mulige scenarioer for kollektivtilbudet i Trondheim i perioden 2010 - 2040. Miljøvurderingen er utført som en livsløpsvurdering av klimagassutslipp og direkte utslipp av svevestøv og NO_x.

Klimaregnskapet i denne rapporten er bygget på en livsløpsvurdering etter retningslinjene i ISO 14 044:2006. Systemet som er vurdert består av transportmiddel og motordrift; direkte infrastruktur og produksjon av energibærere (elkraft, auto- og biodiesel, komprimert naturgass).

Scenarioer

Følgende hovedscenarioer er benyttet:

- Scenario 1: All kollektivtransport går med buss, og den totale ruteproduksjon er på 13 millioner vognkilometer
- Scenario 2: Det kjøres 1,7 millioner vognkilometer med bybane. Dette erstatter 3,5 – 5 millioner vognkilometer med buss. Den totale ruteproduksjonen er dermed 9,7 – 11,2 millioner vognkilometer

Største delen av utslippet av klimagass fra kollektivtransport med buss (scenario 1), er knyttet til sammensettingen av drivstoff. Her er det innarbeidet 3 alternative sammensetninger av autodiesel/biodiesel/CNG (komprimert naturgass) i forholdene: **a**) 50/30/20; **b**) 30/50/20; **c**) 10/70/20, der blandingsforhold **a** omtrent tilsvarer dagens blandingsforhold, og alternativene **b** og **c** beskriver større innslag av biodrivstoff (50 % og 70 %).

Til scenario 2 er det tatt hensyn til ulike sammensettinger av energikilder til bybanen. I hovedsak er det **a**) et tilfelle hvor bybanens ruteproduksjon skjer med norsk energimiks, **b**) en blanding av norskprodusert og importert nordisk kraft, **c**) norskprodusert og OECD-europeisk kraft. Det er også gjennomført beregninger av marginalkraft (elektrisitet fra kull og mobil gasskraftverk). Mulige sammensettinger for drivstoff til buss er som scenario 1.

Som funksjonellenhet og indikator for sammenligning av scenarioene er valgt utslipp av klimagass, svevestøv og NO_x per personkilometer (g/pkm).

Utslipp

Det fremgår av rapporten at det er forskjeller i utslipp ved å levere kollektivtjenester med valgte scenarioer. Busser har fordelen med å ha et lavere materialbehov for å produsere transportmiddelet og dermed lavere relaterte utslipp i denne prosessen. Største utslipp fra buss er assosiert med produksjonen av drivstoff (well-to-tank) og motordrift (tank-to-wheel). En bybane har ingen direkte utslipp ved motordrift, men utslipsprofilen er i større grad avhengig av hvor energibæreren (elektrisk kraft) stammer fra.

Det konkluderes med at det realistiske livsløpsutslippet fra scenario 1 vil være mellom 32 og 49 g/pkm, avhengig av blandingsforholdet mellom auto-/biodiesel/ CNG i bussdriften. For scenario 2 vil livsløpsutslippet være mellom 30 og 47 g/pkm, avhengig av blandingsforholdet for drivstoff til bussdriften og elektrisitetsmiks til bybanen. Utslippet fra dette scenarioet er minst i en situasjon der systemet driftes med høyt innslag av biodrivstoff til buss og bruk av norsk produsert elkraft. Utslippet øker ved mindre innslag av biodrivstoff, og bruk av importert kraft og marginale energikilder.

Bybanens utslipp er avhengig av elkraftens opprinnelse. Kraftmarkedet er under stadig utvikling og i noen grad avhengig av nasjonal og regional kraftpolitikk. Tilsvarende er også utslipp fra buss avhengig av hvor stor del av drivstoffet som er klimanøytralt og bærekraftig.

Det konkluderes med at større innslag av biodrivstoff og etablering av bybane vil gi redusert klimagassutslipp i Trondheim. Reduksjonens størrelse er imidlertid svært avhengig av elkraftens opprinnelse og innslag av klimanøytral biodrivstoff i bussdriften. Forskjellen i utslipp mellom de vurderte realistiske scenarioene er små.

Til sammenligning er utslippet fra transport av personer med personbil beregnet til et livsløpsutslipp på 138,9 g/pkm for diesebil og 150,9 g/pkm for bensinbil (Vestlandforskning). Sett i denne sammenhengen er det nærmest ubetydelig for den samlede reduksjonen, om kollektivtransporten leveres av scenario 1 eller 2. Det vil sannsynligvis kun vil bidra med noen få ekstra prosent reduksjon. Det største potensial for utslippsreduksjon ved kollektiv transport, består i transportere personer med kollektiv trafikk fremfor med bil. Et kollektivtransportsystem må først av alt utformes med fokus på dette.

Svevestøv og NOx

Svevestøv og NOx-utslipp er betraktet som et lokalt miljøutslipp, og kun direkte utslipp fra bussdrift er vurdert. Per personkilometer regnes det NOx-utslipp på rundt 0,272 g/pkm og 0,007 g/pkm svevestøv. Hver kilometer med buss erstattet med enten busser drevet av naturgass eller bybane vil gi reduksjon i NOx og svevestøvutslipp i samme størrelsesorden. Erstattes for eksempel 15 – 20 % av kilometerne med bybane, reduseres utslippene fra bussdriften tilsvarende.

2. LIVSLØPSVURDERING

Rambøll har utarbeidet en miljøvurdering for to mulige scenarier, for fremtidig kollektivt transportsystem i Trondheim. Miljøvurderingen er utført som en livsløpsvurdering av klimagassutslipp, NO_x og svevestøv. Livsløpsvurderingen som presenteres her, er gjennomført i henhold til metodikken som benyttes ved livssyklusvurdering (LCA: Lifecycle assessment), i dette tilfelle med fokus på utslipp av klimagasser. Vi har også vurdert direkte utslipp av NO_x-gasser og svevestøv. Metoden som er utviklet for dette formålet har blitt formalisert gjennom standardisering med NS-EN ISO 14 044.

Det finnes fire faser i en livsløpsvurdering:

1. fastsettelsen av hensikt og omfang
2. livsløpsregnskap
3. livsløpseffektvurdering
4. tolkning

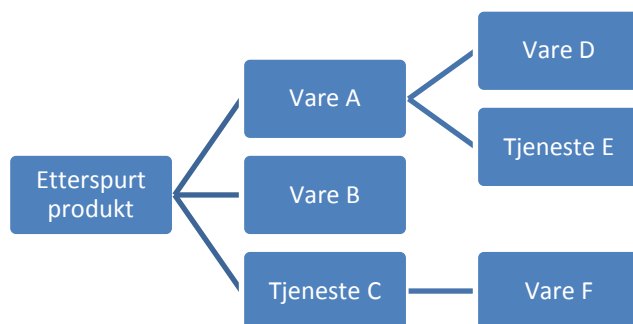
For videre beskrivelse av metode og forutsetninger vises til vedlegg 1.

2.1 Livsløpsvurdering

Det finnes økende behov for å kunne vurdere miljøutfordringene i det moderne samfunnet. En livsløpsvurdering og analyse (LCA) er en sammensatt og standardisert metode for å vurdere og analysere miljøpåvirkningene av et produkt eller tjeneste vi etterspør.

Varer vi kjøper eksisterer i kraft av andre varer og tjenester i samfunnet. Andre varer og tjenester må fremstilles, foredles og forbrukes før produktet som skal vurderes kommer til syne. Denne sammensetningen og gjensidige avhengighet kan beskrives og analyseres, og gir en livsløpsvurdering med en nyansert beregning av produktet eller tjenestens miljøprofil. Beregningene blir gjort med utgangspunkt i statistiske empiri, som i størst mulige grad avspeiler faktiske miljøpåvirkninger ved produksjonen av vare og tjenester.

I en livsløpsvurdering regnes med produkter og tjenester, og medfølgende utslipp som er nødvendig for å fremstille vurderingens gjenstand. Når vi vet mengden varer og deres individuelle miljøprofil, kan dette settes sammen til miljøprofilen for det endelige produktet.



Figur 2-1 Skisse av livsløpsvurdering

2.2 Hensikt

Trondheim kommune ønsker en miljøkonsekvensvurdering av eventuell satsning på bybane. Denne rapporten bygger videre på tidligere tekniske utredninger utført av blant annet Rambøll.

Ved behandling av saken i bystyrets formannskap 18.08.2010 ble rådmannen pålagt å **legge frem en sammenligning av klima og miljøeffekter i et livsløpsperspektiv for alternativer med buss og bane**. Dette er å oppfatte som overordnet hensikten med vurderingen.

2.2.1 Scenarier

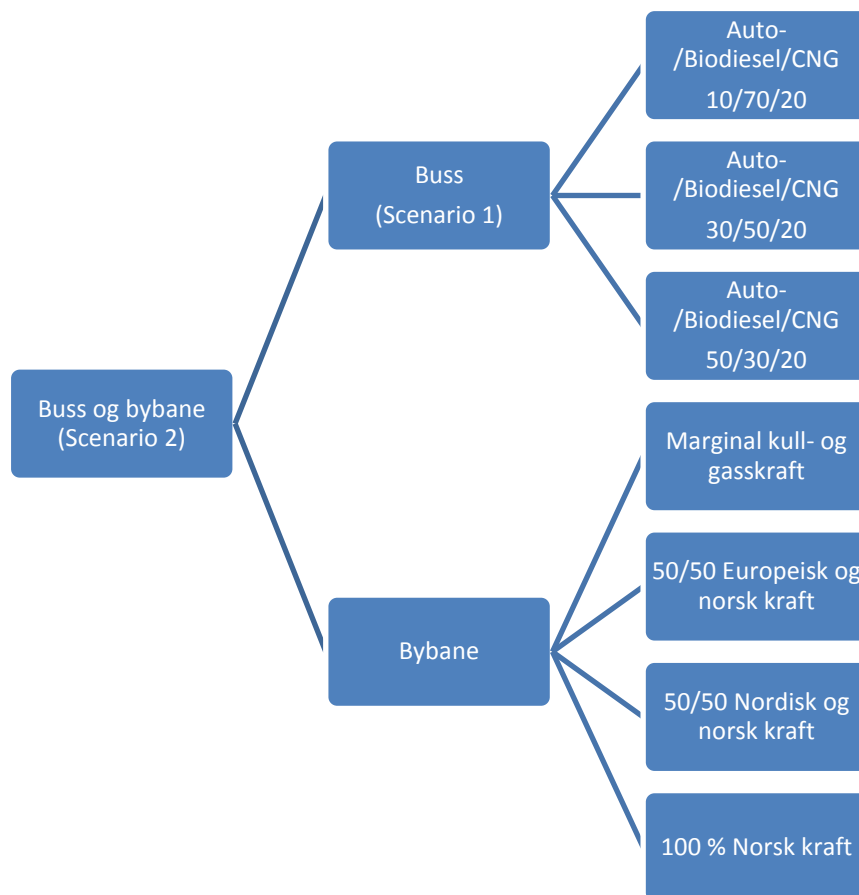
I oppdragsbeskrivelsen er vedtaket fra bystyrets formannskap konkretisert ved beskrivelse av to scenarier som ønskes vurdert:

- Scenario 1: All kollektivtransport går med buss, og den totale ruteproduksjon er på 13 millioner vognkilometer per år
- Scenario 2: Det kjøres 1,7 millioner vognkilometer med bybane. Dette erstatter 3,5 – 5 millioner vognkilometer med buss. Den totale ruteproduksjonen er dermed 9,7 – 11,2 millioner vognkilometer

Til scenario 2 er det nødvendig å ta hensyn til at sannsynlige ulike sammensettinger av energikilder til bybanen. I hovedsak er det **a)** et tilfelle hvor bybanens ruteproduksjon skjer med fornybar energi, **b)** en blanding av norskprodusert og importert elektrisk kraft.

Tilsvarende må det forventes en utvikling i sammensettingen av drivstoff til busstransporten. Her innarbeides 3 alternative sammenblandinger av Autodiesel/ Biodiesel/ CNG (komprimert naturgass) i forholdene: **a)** 10/70/20; **b)** 30/50/20; **c)** 50/30/20, der blandingsforhold **b)** omtrent tilsvarer dagens blandingsforhold.

Det forutsettes at antall transporterte personer er samme i begge scenarier.



Figur 2-2 Oversikt over scenarioene

2.3 Funksjonelle enheter

En funksjonell enhet skal være en målbar tjeneste eller en vare, som et sammensatt system skal levere. Denne enheten gjør det mulig å sammenligne flere system og deres evne til å levere denne tjenesten. Hensikten med denne livsløpsvurderingen, er å vurdere utslippet av klimagass ved produksjonen av personkilometer transport. Derfor benyttes personkilometer (pkm) som funksjonell enhet, og indikator for sammenligning av utslipp fra scenarioene.

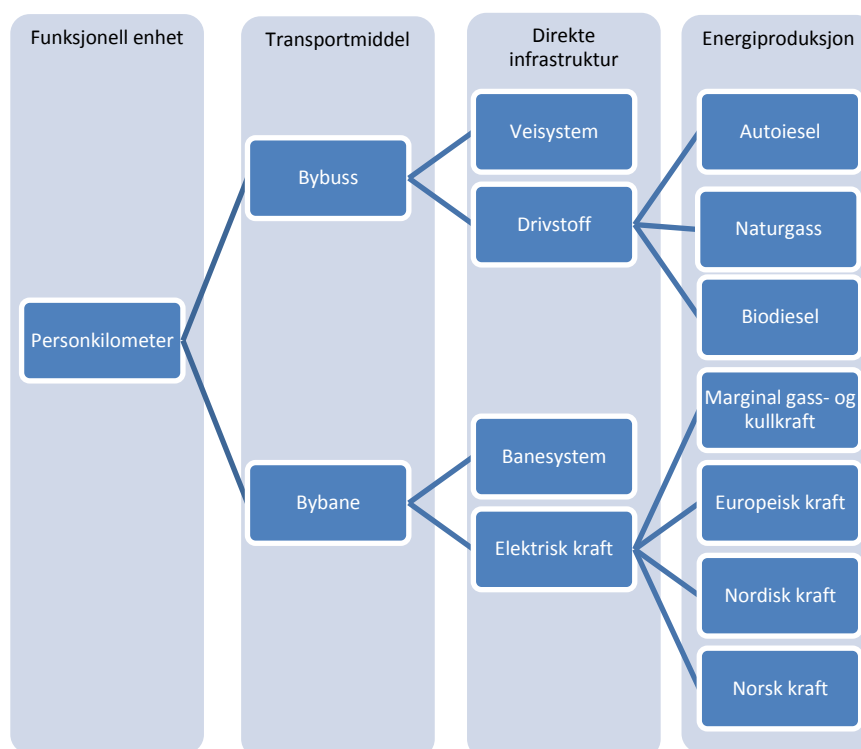
Personkilometer er forflyttingen av en person, en kilometer. Ved å frakte 1000 mennesker en kilometer, har man produsert 1000 personkilometer. Det samme gjelder hvis man frakter en person 1000 kilometer.

2.4 Systemgrensen

Denne vurderingen omfatter sammensatte (aggregerte) prosesser for å levere lik tjeneste (personkilometer). De sammensatte tjenestene består av:

- Konstruksjon og drift av transportmiddelet
- Infrastruktur i form av vei/bane
- Leveranse av energibærer (drivstoff/elkraft)
- Forbruk av energibærer (mekanisk fremdrift)
- Fremstilling av drivstoff til buss

Systemgrensen er satt på grunnlag av de mest relevante prosessene for å levere tjenesten i Trondheim, i perioden 2010 til 2040. Til oppbygging av utslipsfaktorer er det brukt tidligere forskning, utredning og statistikk som er offentlig tilgjengelig. Dette utelukker bruk av private datakilder og lukkede studier.



Figur 2-3 Illustrasjon av systemavgrensning for kollektiv transport i Trondheim, 2010 – 2040.

2.5 Systembeskrivelse

Transportmidlene i systemet er buss og bybane. Energibæreren for framdrift i busser er en blanding av auto- og biodiesel og naturgass (CNG). Bybanen bruker elkraft levert av norsk vannkraft og importert kraftmiks fra Norden eller Europa.

Bybanen har egen eksklusiv infrastruktur. Buss vil i varierende grad gjøre bruk av felles infrastruktur med resten av veitransporten, og egen eksklusiv infrastruktur. For videre systembeskrivelse vises til vedlegg 1.

3. UTSLIPP

Til bruk for sammenligning av scenarier må utslippet av klimagass koples til den funksjonelle enheten. I 2009 ble det kjørt 10 367 000 kilometer med buss (vognkilometer) i Trondheim. Med en årlig vekst på 1,5 – 2 % (ekstrapolert trendlinje fra tidligere år¹) kan man forvente at den årlige tilbakelagte kjørelengde vil øke til mellom 16 og 18 millioner vognkilometer i 2040. 13 millioner vognkilometer vurderes som et fornuftig gjennomsnitt.

3.1 CO₂-ekvivalenter

For å beregne og sammenligne utslipp fra ulike prosesser, brukes måleenheten CO₂-ekvivalenter. CO₂ er en kjent klimapåvirkende gass, men det finnes også andre klimagasser i atmosfæren, dette er da særlig CH₄ og N₂O. Over et tidsintervall på 100 år vil ett tonn CH₄ ha like stor klimavirkning som 21 tonn CO₂. Vi kan si at CH₄ tilsvarer 21 CO₂-ekvivalenter (forkortes GWP eller CO₂-ekv).

Klimagass	CO ₂ -ekvivalenter
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Tabell 3-1 CO₂-ekvivalenter

Resultatet av modellen telles i mengde CO₂-ekvivalenter per person kilometer.

3.2 Klimagass

I følgende avsnitt presenteres utslippsfaktorer som er brukt i modelleringen. For en gjennomgang av forutsetninger og oppbygging av utslippsfaktorer vises til vedlegg 1.

3.2.1 Elkraft

Siden den importerte strømmen er av uspesifikk opprinnelse, gjøres følgende antagelse: Statistikk fra den fellesnordiske kraftbørs Nord Pool, viser at Sverige (SE) er den eneste utenlandske direkteimportør av strøm til Midt-Norge (NO3). Det er lite kunnskaper om hvilke andeler av kraftimporten til Sverige, og fra andre europeiske land som ender opp i Midt-Norge. Dermed kan det ikke utelukkes at opprinnelsen til elkraft i Midt-Norge, stammer fra mer forurensende kraftverk i Europa. For å kunne vurdere høyeste utslipp i forbindelse med drift av bybanen, legges til grunn en situasjon hvor bybanen vil kreve kraftproduksjon som ikke skjer i dag, og da må produseres med marginale kraftkilder. Kilde til marginal kraft er kull på kort sikt (antatt frem till 2020) og mobilt gasskraftverk på lang sikt (antatt 2020 – 2040) eventuelt med karbonfangst og lagring (CCS). Effekten av CCS er ikke innarbeidet i denne modellen.

Som grunnlag for beregning av utslippsfaktorer er følgende utslipp benyttet:

1

<http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?SubjectCode=10&ProductId=10.12&MainTable=KollektByNy1>

g/kWh (SSB Toutain, et al.)	
Vannkraft	0
Norsk elektrisitetmiks (2004)	7
Nordisk elektrisitetmiks (Nord Pool) (2006)	200
Europeisk elektrisitetmiks, gjennomsnitt OECD-Europa (2006)	357
Gasskraft på marginen	400
Kullkraft på marginen	1000

Tabell 3-2 CO₂-utslipp fra elektrisitetsforbruk

Da situasjoner med elektrisitet fra kun en kilde er lite sannsynlig, er det videre brukt ulike miks av kraftkilder og dermed utslipp. I modellen brukes følgende scenarier: Norsk elektrisitetmiks, 50 % Europeisk miks, 50 % Nordisk miks og 50 % marginal elkraft.

Scenario	Marginal gass	Marginal kull	Europeisk miks	Nordisk miks	Norsk miks
Norsk elektrisitetmiks					100 %
50 % Europeisk miks			50 %		50 %
50 % Nordisk miks				50 %	50 %
100 % Marginal	66 %	33 %			0 %

Tabell 3-3 – Scenariooversikt for elkraft til bybane

Å vurdere en situasjon hvor all elektrisk produksjon foregår utenfor Norge, betraktes som noe urealistisk. Norge betraktes som en nettoeksportør av elektrisk kraft². Med større og mer internasjonalt kraftmarked i Norden og i Europa, er det vanskelig å se for seg at all elektrisk forbruk utelukkende vil stamme fra Norsk vannkraft, men fullstendig import av kraft er imidlertid urealistisk.

Som kilde til marginal kraft er brukt kullkraft frem til 2020 og mobil gasskraft fra 2020 frem til 2040 (svare til 1/3 kull og 2/3 gasskraft i livsløpet).

Scenario	Tank-to-Wheel MJ/pkm	Well-to-tank [g/pkm]	Infrastrukturu [g/pkm]	Transportmidde l [g/pkm]	Sum [g/pkm]
Norsk miks	0,559	1,1	4,7	0,8	6,6
50 % nordisk miks	0,559	16,1	4,7	0,8	21,5
50 % europeisk miks	0,559	28,3	4,7	0,8	33,7
Marginal	0,559	92,3	4,7	0,8	97,7

Tabell 3-4 Utslipp per personkilometer

Det fremgår at for alle scenarier, unntatt ved 100 % norsk energimiks, er utslippet størst i forbindelse med omforming av energibærer til elektrisitet (well-to-tank). Dette betyr at utslippet fra bybanen er svært avhengig av energikilden.

² <http://www.ssb.no/vis/emner/10/08/10/elektrisitet/art-2010-12-10-01.html>

3.3 Drivstoff buss

Opprinnelsen til hydrokarbonene i drivstoffet avgjør hvordan klimaregnskapet for utslippene skal beregnes. Ved å bruke autodiesel, utvunnet fra fossile kilder tilføres atmosfæren karbon som ikke har vært en del av det naturlige kretsløpet i millioner av år. Biodiesel består til gjengjeld av hydrokarboner med kortere omløp fra atmosfære til biomasse. Man skiller mellom biotisk karbon (av levende opprinnelse) og abiotisk karbon (av ikke-levende opprinnelse) i klimaregnskap og regner kun abiotisk karbondioksid som en klimagass.

AtB har i det siste introdusert busser med komprimert naturgass (Compressed Natural Gas, CNG) som drivstoff i Trondheim. Fordelen med naturgass er reduksjonen i NO_x og svevestøv til sammenligning med diesel. Naturgass har større energiinnhold enn diesel, men den mekaniske prosessen i en dieselmotor er mer effektiv, enn i en gassmotor. Derfor har de to motortypene omtrent samme utslippsprofil.

Utslipp etter busstype per vognkilometer	CO2-ekv. [g/km]	NO _x [g/km]	Svevestøv [g/km]
2010 Otto-CNG buss	1013	0,906	0,027
2030 Otto-CNG buss	866	0,913	0,001
2010 Diesel buss	965	8,770	0,269
2040 Diesel ekstrapolert	555	1,654	0,010

Tabell 3-5 Utslippsprofil for buss per vognkilometer (kursiv; antagelse)

I forbindelse med utslipp fra infrastrukturen til busstraséen har det betydning i hvilken grad at busstraséen er felles med øvrig trafikk. Er traséen og infrastrukturen felles med øvrig trafikk, er det ikke kun bussdriften som kan tilskrives utslippet fra infrastrukturen. Hvis infrastruktur og traséen er eksklusiv for buss, må utslippet som følge av infrastrukturen tilskrives bussdriften.

Da langt største delen av utslippet fra bussdriften stammer direkte fra motordriften, har utslipp knyttet til infrastrukturen likevel en mindre betydning på ca. 10 % av samlet utslipp (avhengig av andel biodrivstoff). Derfor holdes andelen av delt infrastruktur på 50 % i scenarior (lik mengde eksklusiv kollektivtrasée og blandet trafikk).

Blandingsforhold	Fossilt	Biotisk	CNG	Transportmiddelet	Well-to-tank (fossilt)	Well-to-tank (bio)	Well-to-tank (CNG)	Infrastruktur	Fossilt
50/30/20	23,75	14,25	9,50	1,88	3,73	3,55	2,36	4,08	48,85
30/50/20	14,25	23,75	9,50	1,88	2,24	5,91	2,36	4,08	40,22
10/70/20	4,75	33,25	9,50	1,88	0,75	8,28	2,36	4,08	31,60

Tabell 3-6 Utslippsopprinnelse for buss, etter drivstoffblandning gram per personkilometer

Blandingsforholdet skal forstås som et gjennomsnitt fra 2010 til 2040. Situasjonen kan da være at det vil være en høy innblanding av autodiesel tidlig i perioden og høy innblanding av biodiesel senere i perioden. Naturgass er vurdert som 100 % fossil i perioden, på grunn av usikre tall rundt kommersiell biometanproduksjon fra biogassanlegg.

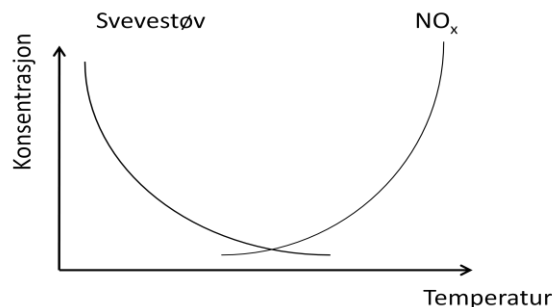
3.4 Svevestøv og NO_x

Bussens motor er avhengig av å kunne omdanne hydrokarboner i drivstoffet til arbeid i form av fremdrift. I forbrenningsprosessen blir hydrokarboner sammen med oksygen omdannet til energi, karbondioksid og vanddamp. Da drivstoffet og luft har andre bestanddeler utenom oksygen, vil det dannes partikler (PM), nitrogenoksider (NO_x), karbonmonoksid (CO), svoveldioksid (SO₂) og andre eksoselementer

Svevestøv i dieselbusser produseres ved ufullstendig forbrenning av karbonelementer i drivstoffet, som spesielt vil være tilfellet ved lave temperaturer. Lave temperaturer kan oppstå som følge av dårlig fordeling av drivstoffet i motorsylinderen, eller at motorblokken er kald. Dette betyr at et kaldt klima fører til større mengder svevestøv. Nyere og mer avanserte motorer, med bedre elektronikk som regulerer mengden drivstoff i motoren, har redusert mengden svevestøv. Bruk av partikkelfilter i eksosystemet reduserer også mengden svevestøv, men nyere forskning viser at partikkelfilterteknologien ikke er i stand til å stoppe alle partikler. Det forventes at den vedvarende helsefaren og økt fokus på dette, vil bidra ytterligere til nye retningslinjer og utvikling av teknologi. Tilsvarende vil eldre dieselkjøretøy utskiftes, og utslipp av svevestøv fra det enkelte kjøretøy vil gå ned.

NO_x er ikke et direkte følge av forbrenningsprosessen i motorer på samme måte som svevestøv, men er et resultat av at nitrogen og oksygen fra atmosfærisk luft bindes sammen til NO_x-gasser av høye temperaturer i motoren.

Både svevestøv og NO_x betraktes som lokal forurensing, fordi de har direkte helseskadelige effekter der de slippes ut.



Figur 3-1 Forenklet skisse av forholdet mellom svevestøv og NO_x

For å redusere utslippene av svevestøv og NO_x er dieselmotorer nødt til å ha en balansert profil med hensyn til temperaturer, trykk og motorens belastning. Optimal drift og vedlikehold, og eventuell overgang til busser på naturgass kan være tiltak for lavere utslipp av svevestøv.

3.5 Forbrenning og utslippsprofilen til buss

Forbrenning av bensin eller naturgass skjer med Otto-prosessen, hvor en kompresjon og gnist frigjør energien i drivstoffet. Auto- og biodiesel forbrennes (dieselprosessen) ved betraktelig høyere trykk, men uten en ekstern gnist. Naturgass har høyere energiinnhold per masse (joule/kilogram) enn diesel, men dieselmotoren har høyere virkningsgrad ($\frac{\text{arbeid ut}}{\text{arbeid inn}}$).

	CO2-ekv. [g/km]	NOx [g/km]	Svevestøv [g/km]
2010 Otto-CNG buss (naturgass)	63	0,057	0,001
2030 Otto-CNG buss	54	0,057	0,000
2010 Diesel buss	60	0,548	0,010
2030 Diesel buss	35	0,103	0,001

Tabell 3-7 Utslippsprofil for buss per personkilometer (kursiv; antagelse)

Klimautslippene for naturgass og diesel vil være tilnærmet like, mens NOx og svevestøvutslippene vil være forskjellige på grunn av forskjeller i forbrenningsprosessen.

4. SAMMENLIGNING AV SCENARIOER

I ovenstående avsnitt er utslipp av klimagass, NO_x og svevestøv beregnet for henholdsvis bybane og buss, med varierende sammensetting av energikilder. Som en del av oppdraget ønskes vurdert to hovedscenarier, hvor ett kollektivtilbud utelukkende består av busstransport, og ett annet som er en kombinasjon av busstransport og bybane. I følgende avsnitt tallfestes scenarioene og sammenlignes med den hensikt å vurdere samlet utslipp fra kollektivtilbudene, ved ulike sammensetninger av energikilder.

4.1 Scenario 1

I første scenario går all transport med buss. Den totale ruteproduksjonen med buss er på 13 millioner vognkilometer per år. Miljøutslippene er avhenging av blandingsforholdet mellom autodiesel, biodiesel og CNG (naturgass).

Blandingsforhold	Uslipp [g/pkm]
50/30/20	48,85
30/50/20	40,22
10/70/20	31,6

Tabell 4-1 Klimagassutslipp fra autodiesel/biodiesel/CNG

Det første scenarioet med 50/30/20 blandingsforhold gjenspeiler ingen endring i blandingsforholdet mellom autodiesel, biodiesel og naturgass (bussparken til AtB kjører med pr. 01.11.10).

Funnene avspeiler at utslippene for dette scenario, i stor grad er avhengig av andel biodrivstoff innblanding. Simuleringer i modellen viser at scenarioet i langt mindre grad er avhengig av om bussene deler infrastruktur med annen aktivitet. Infrastrukturen bidrar med ca 10 % av de totale livsløpsutslippene.

Blandingsforhold	Utslipp [tonn/ år]
50/30/20	9.851
30/50/20	8.367
10/70/20	6.882

Tabell 4-2 Samlet utslipp av klimagass pr år, Autodiesel/Biodiesel/CNG

På grunn av dårligere mekanisk effekt i en gassmotor, har det marginal effekt på klimagass utslippet, om en dieselmotor erstattes med en CNG-gassmotor. Fordelen ved naturgass består i et lavere utslipp av svevestøv og NO_x enn fra diesel. Erstattes diesel med naturgass reduseres svevestøv og NO_x utslipp med henholdsvis 83 og rundt 95 prosent³ for tunge kjøretøy.

For å oppnå bedre miljøresultat er følgende tiltak mulige

- Større andel biotisk drivstoff (reduserer klimautslipp)
- Mer bruk av busser på naturgass (reduserer svevestøv og NO_x)

Med hensyn til biodrivstoff er det i den senere tid diskutert i hvilken grad dette alternativ er klimanøytralt. Diskusjonen og forskningen bak dette er presentert i rapport fra Statistisk

³ http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/natural_gas_emissions.html

sentralbyrå⁴, og tilsier at effekten kan være mindre enn ellers antatt. I høringsforslag fra Klima- og forurensningsdepartementet (publisert 22.11.10) angående endringer til produktforskriftens avsnitt om drivstoff, fremgår at omsetningspåbudet på biodrivstoff i vanlig drivstoff skal gå opp fra 3,5 % pr i dag, til 5 % i løpet av 2011. Kravet er supplert med en rekke bærekraftskriterier for biodrivstoff, som leverandøren må dokumentere og overholde. Formålet er å sikre at forbruk av biodrivstoff vil bidra til en real reduksjon av klimagassutslipp. Så vidt det er Rambøll bekjent, er dette et område hvor det per dags dato ikke er konsensus, og myndighetenes håndtering av problemet er ikke fastlagt ennå. Modellen anvender full effekt for reduksjon av klimagassutslipp ved bruk av biodrivstoff.

Som beskrevet i avsnitt over, er utslippet av klimagass svært avhengig av innblandingen av biodrivstoff. Derfor er resultatene forholdsvis følsomme for et eventuelt paradigmeskifte på dette området.

4.2 Scenario 2

Dette hovedscenarioet beskriver den alternative situasjonen til hovedscenario 1. Ved å introdusere en bybane er det forespeilet at det kjøres 1,7 millioner vognkilometer med bybane. Dette erstatter 3,5 – 5 millioner vognkilometer med buss. I en slik situasjon vil fordelingen mellom bybane og buss bli 15/85 %, hvor femten prosent er bybane og 85 prosent er med buss. Derfor blir utslipp pr person kilometer fra det samlede systemet en funksjon av dette. I tillegg er det flere scenarier for dels drivstoffsammensetting og dels elektrisitetsmiks. I tabell under er dette gjengitt.

Au/Bi/CN	Marginal [g/pkm]	50 % Europeisk miks [g/pkm]	50 % Nordisk miks [g/pkm]	100 % Norsk [g/pkm]
50/30/20	56	47	45	42
30/50/20	49	39	37	35
10/70/20	42	32	30	28

Tabell 4-3 Utslipp CO₂- ekvivalenter (g/kpm) fra transportsystem med buss og bybane (scenario 2)

Scenario med minst utslipp er en kombinasjon av bybane på 100 % norsk energimiks og drift av buss på blandingen 10/70/20 (mest biodrivstoff). Scenarioet med mest utslipp er en kombinasjon av bybane på marginal energi og drift av buss på blandingen 50/30/20 (minst biodrivstoff). Ved kjøp av elkraft produsert av fornybare kilder (må dokumenteres) vil beste scenario bli noen få gram bedre. For elkraftens del vil sannsynlige scenarier være 50 % europeisk og 50 % nordisk, eventuelt med noe innblanding av marginal energi. Politiske realiteter og utvikling i forbruk er avgjørende for dette.

⁴ Statistisk sentralbyrå, rapport 44/2010; Bjart Holtsmark: Virkningene på klimagassutslipp ved økt bruk av biodrivstoff – en litteraturgjennomgang

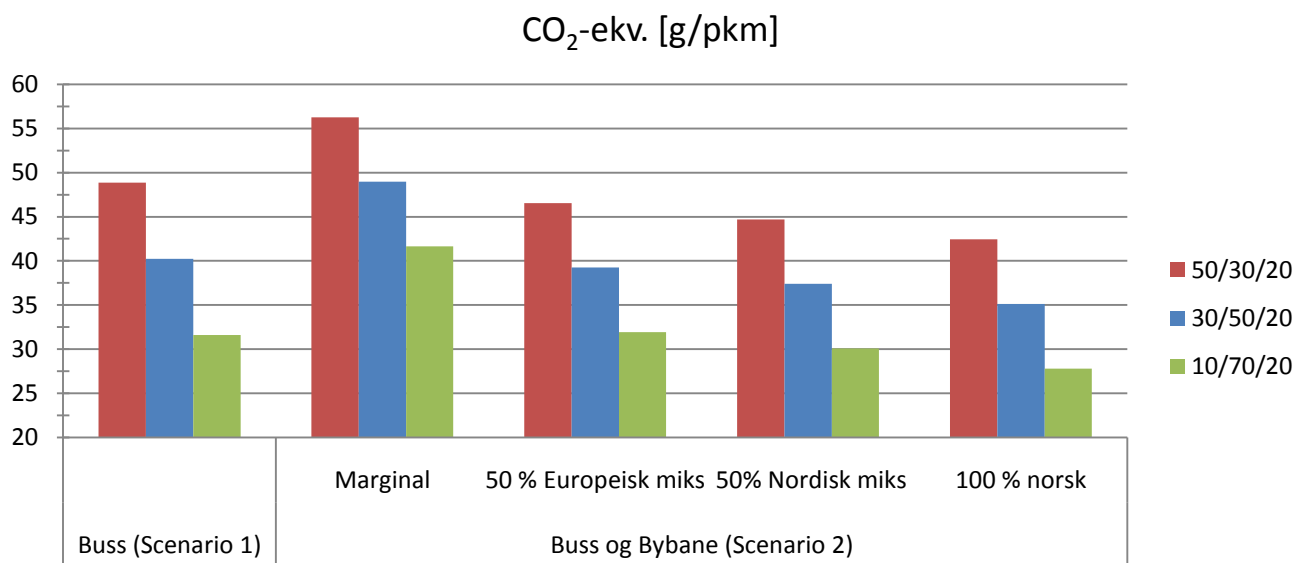
Au/Bi/CN	Marginal [tonn/år]	50 % Europeisk miks [tonn/år]	50 % Nordisk miks [tonn/år]	100 % norsk [tonn/år]
50/30/20	13.095	9.493	8.812	7.976
30/50/20	12.011	8.408	7.728	6.891
10/70/20	10.926	7.323	6.643	5.806

Tabell 4-4 Årlig utslipp CO₂- ekvivalenter fra transportsystem med buss og bybane (scenario 2)

Beregningene er gjort med utgangspunkt i en situasjon der buss opererer på 85% av samlet strekning og bybane på resterende 15%. Dette svarer til at bybanen betjener 1,7 mill vognkilometer og dette erstatter 3,5 mill vognkilometer buss. I en situasjon der bybanen erstatter 5 mill vognkilometer med bussdrift, vil det bety en reduksjon i utslippet fra bussystemet, på ca 1 g/ pkm sammenlignet til en situasjon med 3,5 mil vognkilometer erstattet. Alminnelige usikkerheter rundt datagrunnlaget gjør denne differansen tilnærmet ubetydelig.

4.3 Sammenligning av scenario 1 og 2

For å vurdere hvordan scenario 1 og 2 presterer i forhold til hverandre, gjøres en sammenligning av scenarioene. Det er mulig å vurdere mange kombinasjoner av flere ulike underscenarioer. I avsnittet under presenteres overordnede tendenser for tre relevante utviklinger. Disse beskriver mulig forhold mellom et kollektivt transportsystem bestående av buss (scenario 1) og et system bestående av en kombinasjon av bybane og buss (scenario 2).



Graf 4-1 sammenligning av utslipp pr personkilometer

Søylediagrammet beskriver CO₂- ekvivalenter målt i gram pr personkilometer. Høyden på søylene viser utslippsmengden for scenarioene, med to hovedscenarier; scenario 1 (Buss) og scenario 2 (bybane og buss). Scenarioene har med varierende miks av kilde til elkraft og blandingsforhold for drivstoff. Det fremgår at beregningene har større følsomhet for blandingsforholdet mellom drivstofftypene enn elkraftens opprinnelse i scenario 2.

Ved 70 % og 50 % biodrivstoff har scenario 1 tilnærmet samme utslipp av klimagasser per personkilometer som scenario 2 med 50 % europeisk miks og 50 % nordisk miks. Differansen mellom scenario 1 og 2 er mindre med større innblanding av biodiesel.

Den største forskjellen mellom de to hovedscenarioene er i en situasjon hvor all elkraft i scenario 2 er av norsk opprinnelse. Dette kan være et urealistisk tilfelle frem til 2040 hvis kraftunderskuddet i Midt-Norge er vedvarende. Det nordiske kraftmarkedet er under kontinuerlig utvikling og er delvis avhengig av nasjonal og regional kraftpolitikk. Derfor er utslippsprofilen for scenario 2 avhengig av politiske føringer og utviklingen i markedet for salg av elkraft.

CO ₂ -ekv. [g/pkm]	Buss (Scenario 1)		Buss og Bybane (Scenario 2)		
	Kun buss	Marginal	50 % Euro-miks	50% Nordisk miks	100 % Norsk
Au/Bi/CN					
50/30/20	0 % (dagens situasjon)	-14 %	4 %	8 %	14 %
30/50/20	18 %	0 %	20 %	24 %	29 %
10/70/20	35 %	14 %	35 %	39 %	43 %

Tabell 4-5 Redusert utslipp per personkilometer (rød = ingen reduksjon; gul ≤ 20 % reduksjon; grønn > 20 % reduksjon), i forhold til dagens utslipp

Av tabellen fremgår at det er størst forskjell mellom scenarioene, ved å fortsette dagens drivstoffblanding og et tilfelle hvor det er høy innblanding av biodiesel kombinert med norsk energimiks. Ved drift av bybanen på marginal elkraft, vil dette ikke redusere klimagassutslippet (rød), med mindre det er en særdeles høy innblanding av biodiesel i tillegg (gul). Den klareste reduksjonen (mer enn 20 % i forhold til dagens situasjon) forekommer ved en kombinasjon av biodrivstoff og minst mulig forbruk av marginal kraft.

CO ₂ -ekv. [g/pkm]	Buss (Scenario 1)		Buss og Bybane (Scenario 2)		
	Kun buss	Marginal	50 % Euro-miks	50% Nordisk miks	100 % Norsk
Au/Bi/CN					
50/30/20	49	56	47	45	42
30/50/20	40	49	39	37	35
10/70/20	32	42	32	30	28

Tabell 4-6 Utslipp av klimagass per person kilometer (rød= største utslipp; gul= medium utslipp; grønn= minste utslipp)

I følge tall fra Vestlandsforskning er livsløpsutslippene per personkilometer biltransport, mellom 138,9 g/pkm (diesel) og 150,9 g/pkm (bensin). Forskjellene i utslippene fra scenario 1 og 2, er beskjedene i forhold til utslipp fra biltransport. I realiteten betyr det at en personkilometer biltransport, erstattet med en personkilometer kollektivtransport vil utgjøre langt den største utslippsreduksjon.

Sett i denne sammenhengen er det nærmest ubetydelig om kollektivtransporten leveres av scenario 1 eller 2, da det sannsynligvis kun vil bidra med noen få ekstra prosent reduksjon til det samlede reduserte utslipp. Det største potensial for utslippsreduksjon består derfor i transportere personer med kollektiv trafikk fremfor med bil. For å oppnå størst mulig utslippsreduksjon, er det først av alt viktig at et kollektivtransportsystem utformes med fokus på dette.

5. KONKLUSJON

Hensikten med miljøvurderingen har vært å vurdere utslippene fra to mulige scenarier for kollektivtransportsystemer i Trondheim, fra 2010 - 2040. Miljøvurderingen er utført som en livsløpsvurdering av klimagassutslipp, svevestøv og NO_x. Scenario 1 består av et system som produserer gjennomsnittlig 13 mill. vognkilometer busstransport pr år. Scenario 2 består av et transportsystem som gjennomsnittlig produserer 1,7 mill vognkilometer transport med bybane og 9,5 mill. vognkilometer busstransport.

Som funksjonellenhet og indikator for sammenligning av scenarioene er valgt utslipp av klimagass, svevestøv og NO_x per personkilometer (g/pkm).

5.1 Scenario 1

Busstransport er hovedstammen i begge scenarioene som er vurdert. Ved vurdering av utslipp fra buss, er det modellert tre mulige sammensettinger av autodiesel, biodiesel og komprimert naturgass til busser (CNG): **a**) 50/30/20; **b**) 30/50/20; **c**) 10/70/20. Alternativ blanding **a** tilsvarer dagens situasjon, påfølgende blandinger med gradvis økende innblanding av biodiesel.

Det er i løpet av de siste 2 årene publisert forskningsmateriale som peker på at biodrivstoff ikke nødvendigvis er klimanøytralt, eller bærekraftig. Den største delen av livsløpsutslippet fra buss genereres ved drift av motoren. Derfor er klimapåvirkningen fra bussene, i begge scenarier, forholdsvis følsomme for dette. Rambøll kjent er det per dags dato ikke avklart hvordan problemet skal håndteres. For eksempel ønsker KLIF å øke omsetningen av biodrivstoff i vanlig auto-bensin og diesel fra 3,5% til 5% i løpet av 2011, mens Statens Statistiske Byrå (SSB) har publisert en gjennomgang av eksisterende forskningsmateriale og konkludere med at omsetningspåbudet bør avskaffes.

I utførte livsløpsvurderinger er det anvendt full effekt for reduksjon av klimagassutslipp på dette området.

5.2 Scenario 2

I scenario 2 er det vurdert utslipp ved en sammensetning av buss og bybane. Busstransport har de samme tre mulige blandingsforholdene som nevnt ovenfor. Bybanen har fire blandingsforhold for elektrisk kraftproduksjon bestående av **a**) 100 % norsk, **b**) 50 % norsk og 50 % nordisk, **c**) 50 % norsk og 50 % europeisk, **d**) 100 % elektrisitet fra marginal kilde (1/3 kull og 2/3 gasskraft i livsløpet).

Et tilfelle hvor all elkraftproduksjon stammer fra norsk vannkraft vil kreve at elkraftleverandøren kan garantere elektrisitetens opprinnelse, og at den er klimanøytral. Tilfellene hvor en betydelig andel av elkraftproduksjonen (halvparten) stammer fra Norden eller Europa, med vedvarende kraftunderskudd i Midt-Norge, kan betraktes som noe mer realistisk. Det marginale tilfellet beskriver en situasjon hvor det ikke eksisterer ledig elkraftkapasitet blant de alminnelige kraftprodusentene utenom de som forurenser mest, gass- og kullkraft.

5.3 Sammenligning av scenarioer

Utslipp i scenario 1 vil være mellom 32 og 49 gram per personkilometer avhengig av blandingsforholdet for drivstoff til bussdriften. Største utslipp forkommer ved blandingsforhold som tilsvarer dagens situasjon, minste utslipp ved et blandingsforhold på 10% autodiesel, 70% biodiesel og 20% CNG.

Tilfellene betraktet som de mest realistiske i scenario 2, har utslipp på mellom 30 og 47 gram per personkilometer. Utslipet er avhengig av elkraftens opprinnelse og blandingsforholdet for drivstoff til bussdriften.

CO ₂ -ekv. [g/pkm]	Buss (Scenario 1)	Buss og Bybane (Scenario 2)			
	Kun buss	Marginal	50 % Euro-miks	50% Nordisk miks	100 % Norsk
50/30/20	49 (dagens situasjon)	56	47	45	42
30/50/20	40	49	39	37	35
10/70/20	32	42	32	30	28

Tabell 5-1 Utslipp av klimagass per person kilometer (rød = ingen reduksjon; gul ≤ 20 % reduksjon; grønn > 20 % reduksjon), i forhold til dagens utslipp

Minste realistisk utslipp forekommer når bybanen driftes på 50% nordisk elkraftmiks og 50% norsk, og en drivstoffblanding for buss bestående av 10% autodiesel, 70% biodiesel og 20% naturgass (CNG).

Største realistiske utslipp forkommer når bybanen driftes på 50% europeisk og 50% norsk elkraftmiks, samt en drivstoffblanding svarende til dagens situasjon med 50% autodiesel, 30% biodiesel og 20% CNG. Ved innslag av marginal kraft til drift av bybane vil dette øke utslippet av klimagass, tilsvarende vill innslag av dokumentet klimanøytral elkraft bety et mindre utslipp.

Største realistiske forskjell mellom scenario 1 og 2 forekommer når scenario 1 driftes med en drivstoffblanding på 50% autodiesel, 30% biodiesel og 20% CNG, mens scenario 2 driftes med 50% nordisk elkraftmiks og 50% norsk, og en drivstoffblanding for buss bestående av 10% autodiesel, 70% biodiesel og 20% naturgass (CNG). Da presterer scenario 2, 19 g/ pkm bedre enn scenario 1.

Hvis scenario 1 driftes med en drivstoffblanding på 10% autodiesel, 70% biodiesel og 20% naturgass (CNG), mens scenario 2 driftes med 50% europeisk og 50% norsk elkraftmiks, samt en drivstoffblanding på 50% autodiesel, 30% biodiesel og 20% CNG, presterer scenario 1, 15 g/pkm bedre enn scenario 2.

Utslippene fra scenario 2 svært følsomme i forhold til utslipp forbundet med produksjonen av elkraft. Dette er et område som i noen grad er underlagt politisk regulering, og ved en aktiv energipolitikk kan bybanens utslippsprofil i noen grad sikres.

5.4 Perspektiv

Livsløpsvurderingen av klimagassutslippet viser at utslippet fra scenarioene er følsomme for utvikling i kraftmarkedet, og i hvilken grad biodrivstoff vil bety en faktisk reduksjon av klimagassutslippet. Her er det vanskelig å gjøre presise og realistiske antakelser, da det avhenger av valg som gjøres i fremtiden.

I følge tall fra Vestlandsforskning er livsløpsutslippene per personkilometer biltransport, mellom 138,9 g/pkm (diesel) og 150,9 g/pkm (bensin). Forskjellene i utslippene fra scenario 1 og 2, er beskjedene i forhold til utslipp fra biltransport. I realiteten betyr det at en personkilometer biltransport, erstattet med en personkilometer kollektivtransport vil utgjøre den største utslippsreduksjon.

Sett i denne sammenhengen betyr det lite om kollektivtransporten leveres av scenario 1 eller 2, da det sannsynligvis kun vil bidra med noen få ekstra prosent reduksjon til det samlede reduserte utslipp. Det største potensial for utslippsreduksjon består i å transportere personer med kollektiv transport fremfor med bil. For å oppnå størst mulig utslippsreduksjon med kollektiv transport, er det først av alt viktig at et kollektivtransportsystem utformes med fokus på dette.