



MANNVIT



strætó.is

ORKUSKIPTI Í ALMENNINGSSAMGÖNGUM - SVIÐSMYNDIR

SKJALANÚMÉR: 1111276-000-MRP-0001						
NÚGILDANDI ÚTGÁFA: 2.0						
2.0	4.05.2017	IFU	ÁFS	TG	N/A	N/A
1.0	1.03.2017	IFU	TG/ÁFS/SRÁ	TG/ÁFS/SRÁ	N/A	N/A
ÚTGÁFA	DAGS. ÚTG	ÚTGÁFUSTAÐA	HÖFUNDUR	RÝNIR	SAMÞYKKT	VERKKAUPI

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
1.1 Tilgangur verkefnis	1
1.2 Staða Strætó 2016	1
1.3 Markmið og vörður	1
1.4 Nálgun og umfang verkefnis	1
1.5 Ákvörðun eldsneytistegunda og driftækni	2
2. Tækni í boði	3
2.1 Inngangur	3
2.2 Lífeldsneyti í sprengihreyflum	3
2.3 Blendingar – Blanda rafmagns og sprengihreyfla	5
2.4 Rafknúnir vagnar	6
3. Mat á umhverfisvænum lausnum fyrir Strætó	9
3.1 Inngangur	9
3.2 Tækniþroski og framboð	9
3.2.1 Núverandi staða og horfur helstu tæknilausna	9
3.2.2 Aðgengi og framboð	10
3.3 Eldsneyti og innviðir	11
3.4 Umhverfisáhrif	12
3.5 Rekstur	14
3.6 Fjárhagsleg áhrif	16
4. Niðurstöður	22
4.1 Sviðsmynd 1: Vagnafloti „kolefnisfrír“ árið 2030	23
4.2 Sviðsmynd 2: Vagnafloti „kolefnisfrír“ árið 2040	25
4.3 Sviðsmynd 3: Vagnafloti rafvæddur árið 2030	Error! Bookmark not defined.
4.4 Samantekt	27

1. Inngangur

1.1 Tilgangur verkefnis

Umferð er áhyggjuefni í öllum stórum borgum þar sem hún veldur mengun, hávaða og öðrum heilsuáhrifum. Vaxandi íbúafjöldi gerir kröfu um víðfeðmt, skilvirkt og umhverfisvænt kerfi almenningssamgangna. Strætó bs. er byggðasamlag sex sveitarfélaga a höfuðborgarsvæðinu og rekur strætisvagna, ferðapjónustu fatlaðra og ferðapjónustu eldri borgara.

Strætisvagnar sem knúnir eru sprengihreyflum losa gróðurhúsalofttegundir og valda staðbundinni mengun á þéttbýlum svæðum.

Til að bregðast við sífellt strangari reglum hafa bílaframleiðendur í Evrópu og víðar þróað bílvélar til að draga úr mengun. Mikilvægur þáttur í þeirri þróun hafa verið EURO útblástursreglurnar, sem kveðið hafa á um leyfileg mörk útblásturs nýrra bíla sem seldir eru í Evrópusambandinu. Sér reglur eru fyrir þyngri ökutæki, þar sem athyglinni er beint að dísilvéllum sérstaklega. Nú eru í gildi EURO 6 reglur (frá 2013) þar sem kröfur um ryk og NOx eru margfalt strangari en samkvæmt fyrstu reglunum frá 1993.

Útblástur gróðurhúsalofttegunda er ekki hluti af EURO reglunum. Til að draga úr slíkum útblæstri voru því settar reglur um 10% íblöndun lífoldsneytis fyrir 2020, þar sem lífoldsneytið skyldi draga úr útblæstri um 35% miðað við venjulega dísilolíu fram til 2017, 50% minnkun 2017 og 60% minnkun frá og með 2018.

Til að bregðast við kröfum um minnkandi útblástur gróðurhúsalofttegunda hafa bílaframleiðendur hafið þróun á nýrri tækni varðandi notkun lífoldsneytis og til að draga úr eldsneytiseyðslu þar á meðal rafdrif. Meðal þeirra lausna sem mesta athygli hafa vakið fyrir strætisvagna eru:

- Sprengihreyflar sem nota lífdísil, lífetanól og metan
- Tvinnvagnar (Hybrid - HEV), sem nota bæði rafmótor og sprengihreyfil
- Tengitvinnvagnar (Plug-in hybrid - PHEV), sem nota bæði rafmótor og sprengihreyfil
- Rafvagnar (electric battery vehicles - BEV), sem nota eingöngu rafmótor
- Efnarafalaknúnir vagnar (Fuel cell vehicles - FC), sem nota eingöngu rafmótor

1.2 Staða Strætó 2016

Samkvæmt upplýsingum frá Strætó er floti þeirra um 150 bílar. Tveir vagnar eru metanknúnir, en afgangurinn er dísilvagnar. Stjórn Strætó kannar nú hvort og hvernig draga má úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda við rekstur Strætó. Markmiðið er að uppfylla áætlun borgaryfirvalda í Reykjavík að engir bílar sem valda útblæstri gróðurhúsalofttegunda verði í notkun eftir 2040.

1.3 Markmið og vörður

Lokið verði við orkuskipti Strætó eigi síðar en 2040.

1.4 Nálgun og umfang verkefnis

Þó Strætó annist rekstur strætisvagna, ferðapjónustu fatlaðra og ferðapjónustu eldri borgara þá er viðfangsefni þessa verkefnis fyrst og fremst að skoða orkuskipti strætisvagna sem eru 12 m langir en að einhverju leyti 18 m langir. Vagnar á spori eins og hafa komið til greina fyrir Borgarlínuna eru ekki til skoðunar í þessari skýrslu.

Viðmið um kröfur til afkasta- og þjónustugetu vagna byggja fyrst og fremst á núverandi leiðarkerfi Strætó bs. (vetraráætlun 2016-17).

1.5 Ákvörðun eldsneytistegunda og driftækni

Þar sem skilgreining á endurnýjanlegu eldsneyti/orku (renewable energy resource) er þrengri en fyrir eldsneyti/orku lausri við jarðefnauppruna, þá er mikilvægt að umhverfismarkmið Strætó sé skýrt. Umhverfisáhrif mismunandi lausna er skoðað síðar í skýrslunni.

Í skýrslunni er unnið með útblástur frá uppruna til hjóla (well to weel - WTW). Með þannig nálgun er litið til allra þátta í framleiðslu, flutningi og notkun eldsneytis/orku og því fæst betri samanburður en ef einungis er litið til þess útblásturs sem verður frá því eldsneytið/orkan er komin um borð í bílinn. Ekki er þó litið til útblásturs við framleiðslu strætisvagnanna eða uppbyggingar innviða og þetta er því ekki lífsferilsgreining á öllum þáttum strætisvagnareksturs. Litið er til útblásturs við framleiðslu á rafhlöðum í samanburðinum.

Þegar verið er að skoða rafmagnsstrætisvagna, þarf að taka tillit til umhverfisáhrifa af framleiðslu rafmagnsins og rafhlaðnanna. Tvö atriði eru undanskilin greiningu á umhverfisáhrifum en er vert að taka tillit til:

- Þó rafmagn á Íslandi sé alfarið framleitt með umhverfisvænum hætti hafa raforkufyrirtækin selt upprunavottanir þannig að formlega telst það ekki lengur alfarið af endurnýjanlegum uppruna.
- Það er mikilvægt að rafhlöður séu framleiddar og þeim eytt á umhverfislega ábyrgan hátt. Sjaldgæfa málma svo sem liþíum, þarf að endurvinnna þar sem þeir eyðast ekki við notkun rafhlaðnanna.

Tafla 1. Skilgreiningar sem notaðar eru í skýrslunni

Atriði	Skilgreining
Endurnýjanlegur orkugjafi	Orkugjafi sem er hluti af náttúrulegri hringrás og þannig stöðugt endurnýjaður. Þessi hringrás hefur mun styttri endurnýjunartíma en sem nemur myndunartíma fyrir kol, olíu eða gas.
Lífmassi	Niðurbrotanlegur hluti af vörum, úrgangi og afgangum af líffræðilegum uppruna úr landbúnaði, skógrækt, fiskveiðum, fiskeldi og skyldri starfsemi, ásamt niðurbrotanlegum hluta úrgangs frá verslun, þjónustu og heimilum, þó ekki úrgangi af jarðefnauppruna.
Lífeldsneyti	Fljótandi eða gaskennt eldsneyti sem framleitt er úr lífmassa.
Frá uppruna til hjóla (well to weel – WTW) og frá tanki til hjóla (tank to weel – TTW)	Frá uppruna til hjóla (WTW) lýsir heildarmagni gróðurhúsalofttegunda sem losað er við framleiðslu, hreinsun, flutning og notkun eldsneytis. Frá tanki til hjóla (TTW) lýsir losun gróðurhúsalofttegunda eingöngu við brennslu eldsneytis um borð og tekur ekki tillit til losunar við framleiðslu, hreinsun og flutning þess að notkunarstað.

2. Tækni í boði

2.1 Inngangur

Dísilvélin er megin aflvél í nær öllum strætisvögnum og rútum um allan heim, vegna þess hversu mikið afl fæst úr lítilli vél og hversu áreiðanleg hún hefur reynst. Almenn er eldsneytið hefðbundin jarðefnadísilolía. Einungis lítill hluti strætisvagna í heiminum notar aðrar tegundir eldsneytis svo sem metan, lífdísil, lífetanól og rafmagn (aðallega sporvagnar).

Dísilvélin hefur ókosti, svo sem útblástur með sótögnum, NOx og gróðurhúsalofttegundum, hávaða og að eldsneytið er af jarðefnauppruna. Mikil þróun hefur samt orðið á síðari árum hvað varðar eyðslu og útblástur af sóti og NOx, en engu að síður þarf að leita leiða til að draga enn úr útblæstri. Helstu möguleikar sem eru taldir koma til greina til að leysa dísildrífna vagna af hólmi eru:

- Vagnar knúnir sprengihreyfli sem gengur fyrir lífeldsneyti, svo sem lífdísli, lífetanóli eða metani
- Tvinnvagnar (HEV) rafmagns og eldsneytis
- Tvinntengivagnar (PHEV) rafmagns og eldsneytis útbúnir til hleðslu rafgeyma af raforkukerfinu að næturlagi
- Rafvagnar (BEV), útbúnir til hleðslu rafgeyma að næturlagi og/eða á endastöðvum og við tímjöfnun (hafa stærri rafhlöður en PHEV)
- Vagnar knúnir efnarafölum (FC)

Möguleiki á notkun sporvagna var ekki skoðaður.

Valkostirnir við dísilvagna hér að ofan eru nokkuð mislangt komnir í tækniþróun. Lífeldsneyti, eins og lífdísill, lífetanól og metan má nota í dísilsprengihreyfli með nokkrum endurbótum eða breytingum. Þess vegna er má segja nokkuð stutt þróunarferli sé þar á milli. Engu að síður er enn útblástur gróðurhúsalofttegunda með notkun lífeldsneytis þó minna sé en ef notað er jarðefnadísilolía. Því telja margir að best sé að fara yfir í rafmagnsdrífna vagna til að ná niður staðbundnum mengunarefnum. Tvinnvagnar hafa bæði hefðbundnar dísilvélar og rafmótor á meðan rafvagnar hafa eingöngu rafmótor og eru því ekki með nein útblástur, hvorki mengunarefna né gróðurhúsalofttegunda. Rafvagnar eru hins vegar styttra komnir í tækniþróuninni og á mörkum þess að vera komnir á almennan markað.

Orkupéttleiki og orkunýtni eru mikilvægir þættir sem hafa verður í huga þegar verið er að bera saman mögulega tækni til að taka við af dísilvögnum. Hvoru tveggja hefur áhrif á hversu langt má aka vögnunum og hversu marga farþega vagninn getur borið.

Rafmagnsvagn þarf að hafa rafhlöður um borð sem vega 8-10 sinnum meira en eldsneyti dísilvagns. Orkupéttleiki dísils er um 25-35 sinnum meiri en rafmagns í rafhlöðu. Hins vegar er mikill munur á nýtni dísilvélar, sem er um 30-35%, og rafmótors, sem er um 90%.

2.2 Lífeldsneyti í sprengihreyflum

Sprengihreyfillinn er vél þar sem eldsneyti er brennt með oxandi efni, oftast súrefni loftsins, í lokuðu brunahólfi og veldur krafti sem knýr stimpilinn niður og snýr knastásnum. Samkvæmt nýju EURO 6 reglum skal dísilsprengihreyfill útbúinn sérstökum síum og efnahvötum til að koma í veg fyrir að mengunarefni komist út í umhverfið. Meðal annars þarf að sprauta ammoníaki eða þvagefni (urea) inn í afgasið fyrir efnahvatana en þessi efni hvarfast við og eyða köfunarefnisoxíðunum (NOx) í afgasinu. Sprengihreyfillinn getur bæði gengið fyrir hefðbundnu jarðefnaeldsneyti og lífeldsneyti.

Lífeldsneyti eru eldsneytistegundir sem gerðar eru úr mismunandi hráefnum með mismunandi hætti eftir því til hvers á að nota þær. Algengustu lífeldsneytistegundir eru: lífdísill, metan og lífetanól.

Í dag er algengt að flokka lífoldsneyti til fyrstu, annarrar eða þriðju kynslóðar eldsneytis. Fyrstu kynslóðar eldsneyti er almennt gert úr landbúnaðarafurðum, sem annars hefði mátt selja sem matvæli. Annarra kynslóðar eldsneyti er almennt notað ef hráefnið er úrgangur hvers konar svo sem frá timbur- og skógariðnaði og lífrænum heimilis- eða iðnaðarúrgangi. Þriðju kynslóðar eldsneyti er eldsneyti sem framleitt er með þörungum, en vaxandi áhugi hefur verið fyrir framleiðslu slíks eldsneytis. Því er samt ekki að leyna að á vegum bandaríska ríkisins fór fram viðamikil rannsókn á þörungarækt fyrir nokkrum árum með eldsneytisframleiðslu í huga, sem mistókst og var lögð á hilluna eftir að miklum fjármunum hafði verið eytt í hana. Þó nokkrar rannsóknir eru þó enn í gangi til að reyna að þróa þessa tegund af framleiðslu, en þriðju kynslóðar eldsneyti eru enn ekki komið á markað.

Fyrstu kynslóðar lífoldsneyti eru víða fánleg á markaði, en annarrar kynslóðar lífoldsneyti eru enn frekar sjaldgæf og takmarkað framboð af þeim. Samanburður á kolefnisfótspori lífoldsneytistegunda sýnir að það er mjög misstórt eftir uppruna og framleiðsluaðferð. Til að setja sig inn í slíka útreikninga þarf að þekkja vel til uppruna og aðferða við framleiðslu og dreifingu. Nánar er fjallað um þetta í kafla 3.4.

Evrópusambandið er nú að endurskoða áætlun sína um endurnýjanlegt eldsneyti. Þar liggja fyrir tillögur um að minnka hlut fyrstu kynslóðar lífoldsneytis úr 7% árið 2020 í 3,8% árið 2030. Í staðinn á að auka hlut annarra kynslóðar lífoldsneytis úr 1,5% árið 2020 í 5,5% árið 2030. Ástæður fyrir þessari breytingu eru annars vegar að draga úr áhrifum lífoldsneytisframleiðslu á verð matvæla og fóðurs og hins vegar að fram hefur komið að útblástur við framleiðslu fyrstu kynslóðar lífoldsneytis hefur reynst meiri en áður var talið.

Lífdísilolía

Flestir vagnaframleiðendur samþykkja að notuð sé dísilolía blönduð allt að 10% lífdísli. Einstaka framleiðandi samþykkir hærra hlutfall og óstaðfestar upplýsingar segja að t.d. Scania bjóði tvær 9 L EURO 6 vélar og tvær 13 L EURO 6 vélar sem geti gengið á 100% lífdísilolíu. Þó notkun á 10% lífdísilblandaðri olíu krefjist almennt ekki sérstakra ráðstafana þarf yfirleitt að grípa til aðgerða ef nota á hátt hlutfall lífdísils.

Fyrsta kynslóðar lífdísill er framleiddur úr jurtaolíu og metanóli með basískum hvata. Hvatinn klippir olíuna niður í fitusýrur og glýseról og tengir fitusýrur við metanól en glýseról gengur af. Þessi tegund lífdísils gengur undir skammstöfuninni FAME (fatty acid methyl ester). Almennt er notað metanól framleitt úr jarðefnaeldsneyti (jarðgasi), en á Íslandi er notað metanól sem framleitt er úr koldíoxíð afgangi frá jarðhitaorkuveri HS Orku í Svartsengi og vetni sem framleitt er með rafmagni frá orkuverinu.

Annarrar kynslóðar lífdísill er annað hvort af FAME gerð eins og að ofan, en framleiddur úr úrgangsolíu frá veitingahúsum, heimilum eða iðnaði eða framleiddur með annarri tækni eða úr öðrum gerðum lífmassa. Tvær algengustu aðferðirnar er annars vegar vetnun á jurtaolíu (hydrotreated vegetable oil - HVO) og hins vegar umbreyting lífmassa í vökva (biomass to liquid - BTL). Hér á landi er á markaði s.k. VLO lífdísill frá Finnska fyrirtækinu Neste, en það er vetnismeðhöndluð jurtaolía (HVO) sem hefur nær sömu eiginleika og hefðbundin dísilolía. BTL olíur eru enn frekar lítið á markaði en tæknin er í örri þróun.

Notkun á FAME lífdísil getur leitt til aukins viðhalds, þar sem dæmi eru um að vatn leynist í olíunni sem getur valdið skemmdum á vélum. Þá er dæmi um að gúmmipakkningar og hosur endist styttra þegar FAME er notað miðað við notkun á hefðbundinni dísilolíu. Vetnismeðhöndluð jurtaolía eins og VLO og BTL dísil er efnafræðileg mun líkari hefðbundinni dísilolíu og því minni líkur á að upp komi frávik vegna viðhalds þegar þær tegundir eru notaðar. Þá er vitað að FAME hefur almennt lakara kuldaþol en hefðbundin dísilolía og í norðlægum löndum er algengt að lækka hlutfall FAME í dísilblöndum á vetrum vegna þessa. Ef verið er að nota 100% FAME lífdísil að vetrarlagi þarf að nota íblöndunarefni til að tryggja notkun í kulda og þessi íblöndunarefni eru af jarðefnauppruna. Þetta lakara kuldaþol hefur áhrif á geymslu og afgreiðslustaði þar sem lífdísilblandað eldsneyti er til sölu eða afgreiðslu og sums staðar gerð krafa um lágmarkshita á bilinu 4-7°C á geymslu og/eða afgreiðsludælum.

Lífetanól

Lífetanól er með allt aðra eiginleika en lífdísilólía og verður ekki brennt óblönduðu í dísilvél. Dæmi eru um íblöndun í hefðbundna dísilólíu allt að 10%. Hærra hlutfall getur valdið tæringu m.a. vegna þess hversu vel vatn leysist í etanóli. Hærra hlutfall etanóls gerir kröfu um breytingar á vélunum. Í dag er Scania eini framleiðandinn sem býður vagna með vélum fyrir hreint etanól eða nær hreint etanól.

Lífetanól er alkohól sem framleitt er með gerjun á lífmassa með háu hlutfalli kolvetna. Í dag er um að ræða að mestu afurðir með háu sterkju- eða sykurlutfalli, svo sem maís, hveiti og aðrar kornvörur eða sykurríkur úrgangur t.d. mólassi frá sykurlíngslu. Nokkrir framleiðendur nota sellulósa og/eða hemisellulósa úr timburúrgangi er framleiðslunnar, sem er þá hráefni sem ekki keppir við framleiðslu matvæla eða fóðurs. Algengustu lífetanólblöndur á markaði í Evrópu er E85, sem inniheldur 85% lífetanól og 15% bensín, og ED95 eða E95, sem inniheldur 92-95% lífetanól og afganginn bætiefni, sem eru a.m.k. að hluta fengin úr jarðefnaeldsneyti. Hvorug þessara blandna hefur náð útbreiðslu á Íslandi.

Metan

Allt metan sem er til sölu sem eldsneyti hér á landi er lífrænt. Metan er aðalefnið í jarðgasi, sem er jarðefnaeldsneyti, en það er nær aldrei selt sem hreint efni heldur sem jarðgas. Það metan sem er til sölu á Íslandi er myndað við niðurbrot á lífrænum úrgangi á urðunarstöðunum í Álfsnesi og á Glerárdal fyrir ofan Akureyri. Haugasinu er safnað og það hreinsað með vatnspvotti þ.e. vatnsleysanleg efni eins og koldíoxíð og brennisteinsvetni eru hreinsuð frá. Eftir eru metan, köfnunarefni sem hefur verið dregið inn í hauginn og lítilsháttar súrefni. Hreinleiki metans er almennt um 94%. Bygging gas- og jarðgerðarstöðvar er í undirbúningi hjá SORPU bs. og er búist við að hún verði gangsett síðla árs 2018 eða snemma árs 2019. Gas sem framleitt verður í stöðinni verður hreinna en hauggas og hægt að ná metanhreinleika yfir 95%.

Til að keyra vagna á metani þarf umtalsvert stóra tanka fyrir metan þar sem það er á gasformi. Almennt hefur verið farin sú leið að setja þessa tanka í þak vagnanna. Fullhlaðnir gasi eru tankarnir um eða yfir eitt tonn að þyngd.

Notkun á metani sem eldsneyti krefst aðgangs að gasáfyllingarbúnaði. Komi til þess að Strætó noti metan á marga vagna er líklegt að skapist þörf á eigin áfyllingarstöð eða einhvers konar samkomulagi við seljenda metans um forgangsaðgang strætisvagna að áfyllingu á ákveðnum tímum dags.

2.3 Blendingar – Blanda rafmagns og sprengihreyfla

Blendingar eða tvinnbílur (hybrid) hafa verið taldir möguleg brú frá bílum sem knúnir eru eingöngu jarðefnaeldsneyti yfir í bíla sem ganga eingöngu fyrir rafmagn. Í tvinnbílum er bæði sprengihreyfill og rafmótor. Sprengihreyfillinn, sem getur gengið fyrir lífildsneyti, hjálpar til við að knýja bílinn, beint eða óbeint. Annað hvort er sprengihreyfillinn tengdur drifkerfi bílsins með rafmótornum (parallel) eða hann framleiðir rafmagn fyrir rafmótorinn sem knýr bílinn (serial).

Tvinntengibílar eru tvinnbílur sem hægt er að hlaða af raforkukerfinu þegar þeir eru ekki í notkun, oftast á nóttunni. Líka eru til útfærslur þar sem hægt er að hraðhlaða rafhlöður bílsins á endastöðvum, á stöðvum þar sem tímjafnað er eða við miðlæga skiptistöð.

Tvinnbílur nota sprengihreyfillinn sem aðalorkugjafa við að knýja bílinn. Orkusparnaður er oftast á bilinu 20-30% miðað við hefðbundinn dísilvagn. Með því að nota bæði rafmótor og sprengihreyfill má ná fram orkusparnaði og minnkun útblásturs án þess að minnka sveigjanleika í rekstri vagnsins. Tvinnbílur eru almennt þannig útbúnir að rafmagn er framleitt þegar vagninn bremsar eða fer niður brekku, en það dregur úr orkunotkun. Þá er sprengihreyfillinn látinn snúast á hagkvæmasta snúningshraða til að ná fram sparnaði í orkunotkun.

Þar sem tvinnbílar eru almennt ekki tengdir við utanaðkomandi hleðslustöð þarf ekki sérstakan búnað þeirra vegna. Hins vegar þurfa tvinntengibílar að tengjast hleðslustöðvum og þarf því að koma upp þess konar búnaði hjá rekstraraðila eða á þeim stöðum þar sem hleðsla skal fara fram.

2.4 Rafknúnir vagnar

Rafknúnir vagnar fá orku frá raforkukerfinu og þarf því að tengja þá til að hlaða rafhlöður þeirra. Rafhlöðurnar skaffa svo rafmótornum orku til að knýja vagninn. Enginn vagnaframleiðandi í Evrópu er byrjaður að framleiða rafmagnsvagna til sölu í fjöldaframleiðslu. Nokkrir aðilar eru byrjaður framleiðslu í Kína. Nokkur tilraunaverkefni hafa verið í gangi í Evrópskum borgum þar sem rafvagnar hafa verið prófaðir í akstri en einungis í tiltölulega skamman tíma í einu, yfirleitt innan við 2 ár. Þessir vagnar hafa verið ýmist hlaðnir á nóttunni, á endastöðvum og skiptistöðvum eða verið knúnir efnarafölum.

Rafmótorar hafa færri hreyfanlega hluti en sprengihreyfill og því líkur á aukinni endingu og að minna viðhald þurfi fyrir vélbúnað. Á móti kemur að ending rafhlaðna er enn talin minni en vagnsins sjálfs og endurnýjun þeirra er mjög kostnaðarsöm.

Innviðir fyrir hleðslu rafhlaðna

Bæði eru til sjálfvirk og handvirk kerfi til að hlaða rafhlöður vagnanna. Annað hvort er notuð snertilaus spanhleðslustöð eða hleðsla með kapli tengdum hleðslustöð.

Tvær megin lausnir eru í notkun. Annars vegar vagnar sem eru hlaðnir með kapli að næturlagi, þegar þeir eru ekki í notkun, eða vagnar sem eru hlaðnir þegar tækifæri gefst á daginn þegar þeir eru í akstri. Þetta gæti verið á endastöðvum eða skiptistöðvum þar sem vagninn stoppar í nokkrar mínútur í hvert sinn og er þá hlaðinn á meðan, annað hvort með spanhleðslu eða með kapli eða tengingu í gegnum eins konar loftnet. Sú lausn að hlaða við öll möguleg tækifæri gerir kleyft að nota minni rafhlöður og því er hægt að létta vagninn miðað við vagn sem þarf að láta hleðsluna duga allan daginn.

Vagnar sem eru hlaðnir á nóttunni eingöngu eru almennt með stórar rafhlöður, 200 kWh eða stærri, oftast Li-jóna rafhlöður og akstursvegalegd þeirra er takmörkuð við 100-250 km eftir stærð rafhlaðna, vagnsins og leiðinni sem ekin er. Stærð rafhlaðna hefur veruleg áhrif á kaupverð vagnsins. Hleðslan fer fram á miðstöð rekstraraðilans þar sem afriðlum er komið fyrir þannig að hægt sé að tengja marga vagna í einu, eða ef afriðlabúnaður er í hverjum vagni þá má tengja vagnana við 3ja fasa 380V tengla.

Tækifærishlaðnir vagnar geta haft mun minni rafhlöður og eru hlaðnir þegar þeir eru stopp í nokkrar mínútur t.d. á endastöðvum eða tímjölfunarstöðvum. Hægt er að aka þeim 7-20 km eftir 2-8 mínútna hleðslu. Aksturvegalegd má auka með lengri hleðslutíma eða aflmeiri hleðslustöð. Algeng stærð rafhlaðna er um 100 kWh. Rafhlöður tvinntengibíla eru oftast um 50 kWh.

Hvort sem notaðar eru snertilausar spanhleðslu lausnir eða tenglar þarf umtalsverðan rafbúnað til að afhenda það afl sem þarf til hleðslunnar. Algengt afl sem þarf fyrir hleðslu í gegnum tengil er 300 kW, snertilaus spanhleðsla er oft um 200 kW, næturhleðsla þarf um 50 kW per vagn en einungis um 20 kW ef um tvinntengibíl er að ræða.

Rafhlöðutækni

Rafknúnir vagnar komu fyrst á markað í upphafi aldarinnar, en þá aðallega sem litlir (10-15 farþega) vagnar til sérstakra nota og á styttri leiðum. Með betri rafhlöðum eru rafknúnir vagnar að verða tæknilega og fjárhagslega fýsilegur kostur.

Vegna fjölda eintaka hafa framleiðendur horft fyrst til einkabíla þegar þróun rafbíla á í hlut. Strætisvagnar og rútur krefjast betri hagkvæmni og meira tæknilegs öryggis. Fyrir þessi ökutæki skiptir orkuþéttleiki, fjöldi hleðslna, áætlaður líftími, þyngd, öryggi og umhverfi, áreiðanleiki og kostnaður miklu meira máli en fyrir einkabíl.

Líþíum-jóna rafhlöður komu á markað 1991 og eru nú langmest notuðu rafhlöður í rafbíla. Hægt er að hanna þær fyrir misjafna notkun. Þannig eru rafhlöður fyrir tvinnbíla hannaðar til að gefa mikinn straum til að taka sem hraðast af stað, á meðan rafhlöður fyrir rafknúna bíla miða að sem mestum orkuþéttleika til að auka akstursvegalengd.

Fimm meginflokkar rafhlöður eru í notkun fyrir rafmagnsvagna:

- Líþíum kólbolt oxíð – LCO
- Líþíum mangan oxíð – LMO
- Líþíum járn fosfat – LFP
- Líþíum nikkell mangan kólbolt oxíð – NMC
- Líþíum títan oxíð – LTO

Tvær algengustu tegundirnar sem eru í notkun í rafmagnsvögnum eru LFP og LTO.

Líþíum járn fosfat (LFP) rafhlöður eru einhverjar mest notuðu rafhlöðurnar fyrir rafbíla vegna þess að þær eru taldar öruggar (eru rafefnafræðilega virkar jafnvel við háan hita) og umhverfisvænni en aðrar tegundir. Þessar rafhlöður eru oft nefndar orkuhlöður. Endingartími er einnig talinn góður þó flestir telji að skipta þurfi um rafhlöðurnar á 5-7 ára fresti.

Líþíum títan oxíð (LTO) rafhlöður hafa þann kost að styttri tíma tekur að hlaða þær en aðrar líþíum rafhlöður. Þessar rafhlöður eru oft nefndar aflrafhlöður. Þessar rafhlöður henta vel fyrir rafvagna sem eru tækifærishlaðnir þ.e. á endastöðvum og tímjöfnunarstöðvum. Hægt er að hlaða þessar rafhlöður oftast en aðrar líþíum rafhlöður, en ókostur er að orkuþéttleiki er minni en í öðrum líþíum rafhlöðum. Endingartími er talinn ívið betri en fyrir LFP rafhlöður.

Aðrar rafhlöður sem komið hafa til álita eru nikkell-hýdríð (Ni-H) og nikkell-zink (NiZn) en þær hafa ekki verið prófaðar í nægum mæli til að vera mikil samkeppni við líþíum rafhlöður ennþá. Önnur tækni sem verið er að skoða eru súper-þéttar eða últra-þéttar, sem hafa mikinn aflþéttleika en lítinn orkuþéttleika og geyma raforku sem rafsegulsvið. Talið er að þéttar geti enst í miklu fleiri hleðslur en rafhlöður.

Eiginleikar rafhlaðna og ending er mismunandi eftir framleiðendum jafnvel þó þær tilheyri sama flokki rafhlaða.

Efnarafalar

Efnarafalavagnar eru byggðir á venjulegri grind og eru með efnarafala og rafhlöður. Þetta er ein útfærsla á rafknúnum vagni. Drifkerfið er það sama og í rafknúnum vagni, en til viðbótar er efnarafali sem stöðugt framleiðir rafmagn inn á rafhlöðurnar og til að knýja rafmótorinn. Efnarafalakerfið samanstendur af efnarafalanum sjálfum, dælum, lokum og eldsneytisgeymi, sem fæðir efnarafalann. Mun færri hreyfanlegir hlutir eru í efnarafalavagni en vagni með dísilvél og því er talið mögulegt að efnarafalavagn geti enst lengur.

Algengt er að nota vetni sem „eldsneyti“ fyrir efnarafala, en önnur efni geta einnig komið til greina svo sem metan og metanól. Efnarafali breytir efnaorku eldsneytisins í rafmagn án hefðbundins bruna. Vetni er fætt inn í anóðuhluta efnarafalsins þar sem því er skipt í vetnisjón (H^+) og rafeind (e^-). Hálfgegndræp himna hleypir vetnisjóninni í gegn yfir til katóðunnar en rafeindin þarf að fara í gegnum rafkerfið til að komast til katóðunnar. Katóðumegin er súrefni – O_2 (úr lofti) fætt inn og þar sameinast súrefni, vetnisjónir og rafeindir og mynda vatn (H_2O). Eina afgasið verður því vatnsgufa. Til að tryggja að alltaf sé til nægt afl eru efnarafalavagnar útbúnir með rafhlöðum sem skaffa meira rafmagn þegar mikils afls er þörf.

Vetnið sem notað er til að knýja efnarafalavagna yrði fengið hér á landi með rafgreiningu á vatni en erlendis er algengt að notað sé vetni sem er afgangsafurð olíuhreinsistöðvum eða frá efnaíðnaði. Vetni er oftast geymt um borð í vögnunum í háþrýstigeymum sem komið er fyrir í þaki vagnanna. Hvort sem

vetni er flutt til rekstraraðilans í háþrýstigeimum eða framleitt á staðnum þarf umtalsverðan búnað hjá honum til meðhöndlunar á sprengifimu gasinu. Þrátt fyrir að vetni sé afar eldfimt hafa öryggismál ekki reynst rekstraraðilum efnarafalavagna fjötur um fót fram að þessu. Efnarafalavagnar eru almennt enn ekki á markaði í Evrópu.

3. Mat á umhverfisvænum lausnum fyrir Strætó

3.1 Inngangur

Þróun hinna ýmsu tæknilausna fyrir strætisvagna er mjög mislangt komin. Núverandi vagnafloki Strætó byggist nánast alfarið á dísil-vögnum. Sú ákvörðun byggist ekki síst á því að sú tækni sem þeir vagnar byggja á er gömul og á að baki áratuga langt þróunarferli. Dísilvélin hefur því verið, og er enn, samkeppnishæfasta lausnin þegar litið er til verðs og rekstraröryggis. Þar sem lífdísil (VTO) nýttist á óbreytta dísilvagna deilir sú lausn því sömu þróunarkostum og óbreytt dísil eldsneyti. Aðrar lausnir sem hér verða skoðaðar eru metan og rafmagn.

Tveir metan-vagnar er núna í rekstri hjá Strætó. Sú tækni þykir vera komin á hátt þróunarstig og er notuð mjög víða í Evrópu. Tvinnvagnar (dísil-rafmagn) hafa verið prófaðir þó nokkuð í Evrópu, sl. 10 ár, og þróun þeirra er komin nokkuð vel á veg.

Rafmagns-vagnar eru taldir vera komnir styst á þróunarbrautinni, en sú tækni er þó talin vera í hvað mestri þróun og þá sérstaklega rafgeymarnir. Strætó hefur fest kaup á 9 rafmagnsvögnum sem bætast í flotann í ár (2017) og á því næsta (2018).

3.2 Tækniþroski og framboð

3.2.1 Núverandi staða og horfur helstu tæknilausna

Í greiningu frá árinu 2015 sem framkvæmd var af strætókerfi Osló-borgar (Ruter) var tækniþroski og framboð hinna ýmsu tæknilausna strætisvagna metin. Grunnur að mati þeirra á tækniþroska var:

- Umfang rannsókna og þróunar hjá framleiðendum
- Rekstrarreynsla og niðurstöður prófanna notenda
- Helstu núverandi tæknihindranir
- Aðgengi og framboð

Lífdísil

Lífdísil er talið til „mjög þróaðra“ lausna. Vélar sem geta nota hreint lífdísil eru taldar bæði áreiðanlegar og af þeim er gott framboð. Fyrstu útgáfur slíkra véla áttu til að eiga í erfiðleikum við vetraraðstæður. Nýjustu útgáfur eiga þó að hafa komist yfir þá erfiðleika og hafa alveg sambærilegt rekstraröryggi og hefðbundnar dísilvélar. Hjá Strætó hefur verið notast við íblöndun á lífdísli, svokölluðu VLO-lífeldsneyti. Þar er VLO íblöndun 16% af heild og er notuð á venjulegar dísilvélar. Sá böggull fylgir þó skammrifi að framleiðendur þeirra véla eru ekki tilbúnir að ábyrgjast þær ef notast er við slíka íblöndun. Notkun þess gæti því valdið aukalegum kostnaði í formi tryggingagjalda, sem kæmu í stað framleiðendaábyrgðar.

Metan

Metan er talið til „þróaðra“ lausna. Í Evrópusambandinu eru nú þegar yfir 13.000 gas-vagnar, sem keyra bæði á metan- og/eða jarðgasi. Jarðgas er enn algengasti orkugjafinn en eftirspurn eftir metangasi er að aukast jafnt og þétt, sérstaklega í Svíþjóð. Á Skáni er t.a.m. mjög litið til metangass sem framtíðar orkugjafa til að ná markmiðum þeirra við að ná niður kolefnisútbæstri fyrir árið 2020. Árið 2015 voru meira en 700 metangas vagnar í flota Skánetrafíken. Strætó bs. á og hefur rekið um nokkurt skeið tvo metangasvagna. Núverandi framboð á metangasi myndi ekki nægja til þess að reka allan flota Strætó. Líklegt er þó að framboð á metangasi muni aukast nokkuð í náinni framtíð með tilkomu gas- og jarðgerðarstöðvar SORPU bs. í Álfsnesi.

Tvinnvagnar

Í um 10 ár hafa blendingar (dísil – rafmagn) verið prófaðir í rekstri í Evrópu. Upplýsingar gefa til kynna að nýtingarhlutfall sé sæmilegt, eða 70-83%. Það sem helst er nú litið til varðandi framtíð tvinnvagna eru tengitvinnvagnar (plug-in hybrids). Þeir vagnar eru enn í þróun og mjög takmörkuð reynsla komin á rekstur þeirra. Volvo þykir standa framarlega á heimsvísu í þróun þeirra og a.m.k. ein prufa hefur gefið til kynna að slíkir vagnar gætu náð eldsneytisneyslu niður um 80%.

Framtíð tvinnvagna sem valkosta (og sérstaklega tengitvinnvagna) byggir þó að miklu leiti á framtíðar þróun rafgeyma. Að því leiti munu þeir væntanlega fylgja rafmagnsvögnum nokkuð eftir hvað verðlag og afkastagetu varðar.

Rafmagn

Rafmagnsvagnar eru enn sem komið er ekki framleiddir sérstaklega fyrir Evrópu- eða Norðurlandamarkað. Helstu núverandi markaðssvæði rafmagnsvagna eru í Kína og í Suður Ameríku (aðallega í Kólumbíu). Aðstæður á þessum stöðum eru umtalsvert frábrugðin því sem er á Norðurlöndunum, bæði hvað varðar umhverfisreglugerðir sem og varðandi akstur við vetraraðstæður. Akstur rafmagnsvagna í Evrópu takmarkast að mestu við tilraunaakstur 1-4 bíla í einstaka borgum (þ.m.t. Ruter í Osló). Árið 2015 var það niðurstaða Ruter að rafmagnsvagnar væru ekki orðnir nægilega tæknilega þroskaðir til þess að teljast hæfir til þess að aka á áætlunarleiðum í strætisvagnakerfi þeirra í Osló.

Það sem helst er talið ráða hvort og þá hvenær rafmagnsvagnar verða samkeppnishæfur kostur í almenningssamgöngum er þróun rafgeymanna. Í dag er kostnaður rafgeyma mjög hár, allt að 50% af heildarinnkaupaverði nýrra vagna. Talið er að rafgeymar muni lækka í verði um eitthvað á bilinu 4-6% á ári til 2025. Helstu ástæður lækkandi verðs er talin aukin fjöldaframleiðsla. Sömuleiðis er talið að afkastageta rafgeymanna sé og muni halda áfram að aukast um allt að 5% á ári.

Tækniframfarir sem í framtíðinni gætu valdið straumhvörfum í afkastagetu rafgeyma eru m.a. á sviði nanó-tækni og með notkun á nýjum efnum eins og brennisteini. Ruter skýrslan gaf til kynna að afkastageta gæti tvöfaldast miðað við þá tækni sem notast er við í dag. Ólíklegt er þó talið að þessar tækninýjungar komist í almenna framleiðslu fyrir árið 2020.

Önnur atriði sem geta stuðlað að betri samkeppnishæfni rafmagnsvagna eru bætt stjórnun á nýtingu rafgeymanna og hleðslu.

Veður, og þá sérstaklega kuldi, geta haft mikil áhrif á afkastagetu og endingu rafgeyma. Þar að auki eykst orkunotkun vagnanna sjálfra (m.a. vegna upphitunar farþegarýmis) umtalsvert í kulda.

3.2.2 Aðgengi og framboð

Gott aðgengi og framboð á vögnum og varahlutum hinna mismunandi tæknilausna er lykilatriði þegar kemur að því að meta samkeppnishæfni þeirra í rekstri almenningssamgöngukerfa. Gott aðgengi í þessari skýrslu er skilgreint sem:

- Vagnar eru fjöldaframleiddir. Hægt er að panta þá „off-the-shelf“ í nokkuð stórum förmum.
- Nálgast má varahluti og tæknilega þjónustu með stuttum fyrirvara.

Mikilvægt er að gera sér grein fyrir því að tegundir vagna (m.a. eftir stærð) eru mislangt á veg komnar í þessum efnum. Aðgengi er best í 12 metra vögnum, þar á eftir 18 metra vögnum. Síðastir í þróuninni eru 13-15,5 metra vagnar.

Talið er að þó hægt sé nú þegar að kaupa rafmagnsvagna, fylgi þeim umtalsverð rekstrarleg áhætta sem sennilega verður ekki að fullu afgreidd fyrir árið 2020. Þar má nefna hluti sem komu fyrir í kaflanum hér á undan er varða akstur í vetraraðstæðum, afkastagetu fyrir utan reynslu framleiðenda að þjónusta vagna með varahlutum og tæknilegri þjónustu.

Lífdísil og metangas vagnar eru taldir hafa fest sig ágætlega í sessi í Evrópu og bæði notendur og framleiðendur hafa talsverða reynslu af þeim. Aðgengi þeirra og framboð er því talið „eins gott og það getur orðið“.

Talið er að 12 metra rafmagnsvagnar verði fyrst orðnir að „fullu aðgengilegir“ í ár (2017). 18 metra rafmagnsvagnar verða eitthvað á eftir 12 metra vögnum en mögulega ættu þeir að geta, sömuleiðis, talist að „fullu aðgengilegir“ í ár (2017).

3.3 Eldsneyti og innviðir

Við skoðun á framboði eldsneytis er litið til framboðs eldsneytis bæði í nágrannalöndum okkar en sérstaklega er litið til framboðs hér á höfuðborgarsvæðinu. Taka þarf tillit til framboðs í nágrannalöndum þar sem það getur haft áhrif hér á landi á næstu árum.

Lífdísil

Sáralítill innlend framleiðsla er á lífdísil. Eins og er eru u.þ.b. 3-4 aðilar að framleiða lífdísil hér á landi, aðallega úr úrgangsolíu og feiti. Heildarframleiðslan hefur vaxið lítillega vegna tilrauna til að nýta fituafskurð og úrgangsolíu í úrgangi, en verður ólíklega meira en fáein þúsund lítra árlega nema til komi innlend framleiðsla á olíujurtum.

Nokkur áhugi er meðal bænda að hefja ræktun á repju og eða nepju til olíuframleiðslu. Tilraunir hafa verið gerðar með misjöfnum árangri svo óvíst er með framhaldið. Telja má líklegt að nokkur hluti framleiðslunnar muni fara til matreiðslu og matargerðar áður en olía verður seld til eldsneytis-framleiðslu. Þá er einnig nokkur áhugi meðal útgerða að blanda lífdísli lítilllega í skipaolíu þar sem það bætir bruna og dregur úr viðhaldskostnaði. Sá markaður gæti orðið nokkuð stór og dregið úr framboði íslenskrar lífdísilólíu til notkunar á bifreiðum.

Í Evrópu er meira en helmingur af öllum lífdísli framleiddur úr repju sem ræktuð er í miklum mæli í álfunni. Einnig er mikið flutt inn af pálmaolíu frá Suð-austur Asíu og sojaolíu frá Suður Ameríku til framleiðslu á lífdísli. Framleiðsla á HVO lífdísilólíu er vaxandi en ennþá minni en framleiðsla á FAME lífdísli. Framboð á lífdísli er um 80% af öllu lífeldsneyti sem notað er í álfunni.

Framboð af lífdísli hér á landi er einkum vegna innflutnings á VLO lífdísilólíu frá Neste í Finnlandi. Þar sem slíkur innflutningur er undanþeginn olíugjaldi er verðmunur á lífdísli og hefðbundinni dísilólíu lítill sem enginn eins og er.

Metan

Framleiðsla á metan fer fram hjá SORPU bs. á Álfsnesi, þar sem framleiðslan er rúmar 3 milljónir rúmmetra á ári úr hauggasi sem safnað er úr urðunarstaðnum. Á Akureyri framleiðir Norðurorka metan úr hauggasi úr aflögðum urðunarstað í Glerárdal. Hægt er að framleiða 500-600 þúsund rúmmetra á ári, sem mun fara minnkandi næstu ár. Gróflega má bera saman einn rúmmetra af metani við einn lítra af bensíni. Vegna þess að hráefnið er hauggas geta gæði metansins verið breytileg t.d. eftir veðurfari, þar sem hauggasið er dregið með undirþrýstingi til hreinsunarstöðvanna.

Metan eða biometan, eins og það nefnist í Evrópu er í vaxandi mæli til sölu til notkunar á ökutæki. Þar sem metan er aðalefnið í jarðgasi er víða einnig hægt að kaupa þjappað jarðgas, sem er með heldur meira orkugildi en hreint metan. Evrópusambandið stefnir að því að hægt verði að aka frá nyrstu bæjum í Svíþjóð og suður um alla álfuna með annað hvort metani eða jarðgasi. Þetta gæti leitt til meira framboðs af gasknúnum ökutækjum í álfunni í framtíðinni.

Hér á höfuðborgarsvæðinu undirbýr SORPA bs. að byggja gas- og jarðgerðarstöð í Álfsnesi, sem komast á í rekstur seint á árinu 2018 eða snemma á árinu 2019. Gert er ráð fyrir að gasframleiðsla stöðvarinnar verði um 4-5 milljón rúmmetrar af hreinu metani á ári. Þetta gas verður mun hreinna en það sem unnið er úr hauggasi. Á sama tíma verður smám saman hætt að urða lífrænan úrgang á urðunarstaðnum og

við það fer hauggasframleiðslan minnkandi. Um tíma verður því framleitt gas í gasgerðarstöð og hauggas frá urðunarstaðnum á sama tíma og því verulegt framboð af gasi. Umframframboð gæti staðið í 10-15 ár, eða frá 2019 til 2034 og jafnvel lengur.

Til að nýta metan sem eldsneyti þarf að þjappa því upp í u.þ.b. 250 bar þrýsting. Til að áfylling strætisvagna gangi nægilega hratt þarf að vera til birgðageymar á áfyllingastöð með háþrýstu metani til þess að ekki þurfi að þjappa öllu gasinu fyrir hverja áfyllingu. Þrátt fyrir að talsverð geymsla háþrýsts metans sé fyrir hendi hjá N1 á Bíldshöfða hefur borið á of lágum þrýstingi síðdegis eftir að margir hafa fyllt tanka sína. Þetta hefur eitthvað lagast eftir að fleiri áfyllingastöðvar komu til hjá öðrum olíufélögum. Komi til þess að Strætó taki metanvagna í notkun í talsverðum mæli þyrfti hugsanlega að koma upp eigin áfyllingu eða semja sérstaklega við eitthvert olíufélaganna um aukna birgðageymslu fyrir áfyllingu vagna og forgang að henni á ákveðnum tíma dags.

Rafmagn

Til skamms tíma er framboð af rafmagni nægilegt hér á landi. Engu að síður hefur komið fram á opinberum vettvangi að stutt sé í að öryggi við dreifingu raforku verði óviðunandi. Víða eru flutningslínur orðnar fulllestaðar og áætlanir um uppbyggingu vantar eða framkvæmd þeirra á eftir áætlun. Þetta ástand á þó síst við á höfuðborgarsvæðinu. Verði rafvæðing bílaflotans almenn mun þurfa frekari virkjanir til að tryggja nægilegt framboð raforku. Hugmyndir um stórfellda sölu raforku til Bretlands um sæstreng mun enn auka álag á raforkukerfinu og krefjast nýrra virkjana. Líkur eru á að raforkuverð hækki í kjölfarið vegna meiri samkeppni um kaup og minni umframorku.

Framboð raforku í nágrannalöndum okkar hefur einkennst af aukinni áherslu flestra þeirra á vindorku og jafnvel sólarorku, helst þó í löndum sunnarlega í Evrópu. Þó er umtalsvert af sólarcellum uppsett í Þýskalandi þó þær geti lítið af sér yfir vetrartímamann. Vindorka er einnig því marki brennd að hún fer eingöngu eftir vindi og getur því dregið verulega úr framleiðslu hennar þegar vindur er hægur. Þar sem orkugeymsla í bílum telst skammtíma geymsla getur orðið erfitt að knýja bíla með þannig orku eingöngu og hefðbundin orkuver þurfa að vera til taks ef vindur er hægur og sólin skín ekki. Þetta leiðir til þess að umhverfisávinningur af rafmagnsbílum er víða minni en til dæmis hér á landi og í Noregi þar sem öll rafmagnsframleiðsla telst endurnýjanleg.

Rafmagnsknúnir vagnar krefjast þess að Strætó setji upp hleðslustöðvar. Þar sem vagnar eru geymdir yfir nótt þarf að vera hægt að hlaða nokkra vagna í einu. Ef vagnar eru notaðir til lengri leiða en hleðsla yfir nótt dugar þarf að vera hraðhleðslustöðvar við endastöðvar eða þar sem tímajöfnun á sér stað svo sem við meginstöðvar Strætó við Hlemm, í Mjódd og hugsanlega víðar.

3.4 Umhverfisáhrif

Við mat á umhverfisáhrifum mismunandi vagna er horft til svokallaðra WTW greiningu sem tekur til greina umhverfisáhrif orkugjafa frá uppruna til hjóla eins og áður hefur komið fram.. Þessi aðferð gerir kleift að bera saman ólíka tæknilausnir og orkugjafa á samræmdan og gagnsæjan hátt. Engin kostur er þannig að hann hafi engin áhrif á umhverfið á líftíma sínum þar sem jafnvel framleiðsla og flutningur umhverfisvænna orkugjafa getur haft áhrif á umhverfið þó að notkun á vagni hafi takmörkuð áhrif. Notast er við svokallað GREET model sem þróað er af Argonne ríkisrannsóknarstofunni fyrir Orkustofnun Bandaríkjanna. Rétt er að taka fram að módelið er miðað við Bandaríkin en ekki Ísland svo að einhver skekkja er í útreikningum en sýnir þó réttan samanburð á orkugjöfum.

Rafmagn

Rafmagn héraendis er framleitt með endurnýjanlegum orkugjöfum og því umhverfisáhrif þeirra takmörkuð. Við WTW greiningu á vögnum sem knúnir eru af rafmagni er tekið tillit til framleiðslu rafmagnsins og flutnings. Ekki er tekið sérstakt tillit til rafgeyma í vögnunum en gera má ráð fyrir að

við framleiðslu þeirra hafi einhver losun gróðurhúsalofttegunda átt sér stað, og meiri eftir því sem rafgeymarnir eru stærri.

Metan

Metan sem nýtt er í dag á bifreiðar er framleitt úr hauggasi sem myndast í urðunarstað Höfuðborgarsvæðisins í Álfsnesi. Í framtíðinni er gert ráð fyrir að það verði að mestu framleitt úr gas- og jarðgerðarstöð fyrirtækisins sem mun rísa á sama svæði. Hauggas er það metangas sem dregur hvað mest úr losun miðað við hefðbundna dísilolíu og til einföldunar við útreikninga er gert ráð fyrir að allt metangas á tímabilinu komi frá urðunarstað.

20% Bíódísil

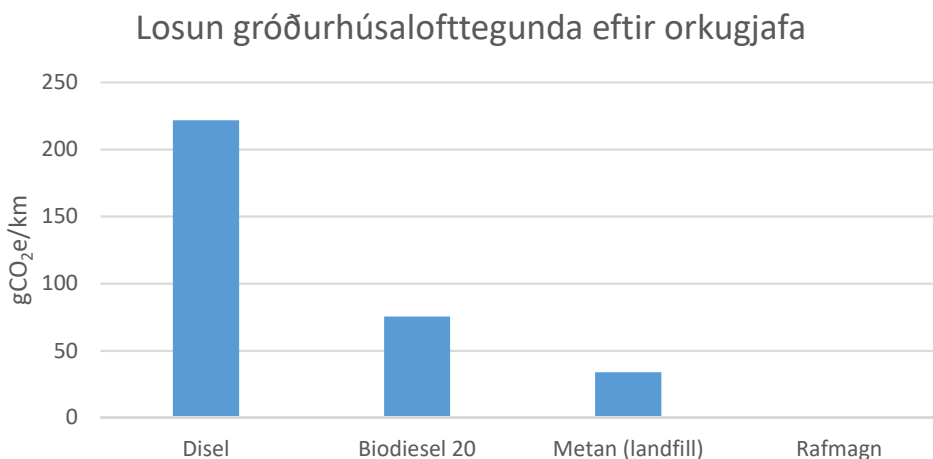
Strætó hefur verið að blanda 16% lífdísil út í dísil á vagna hjá sér undanfarin ár. Í módelinu er skoðaður útblástur 20% blandaðs dísil sem er ekki fjarri lagi frá 16% blöndun. Lífdísil er búið til úr lífrænum efnum eða massa sem að tekur til sín koltvísýring (CO_2) á lífsleiðinni en losar aftur hluta hans þegar því er brennt. Losun frá lífdísil er mjög háð þeim lífmassa sem notaður er og getur því verið breytilegt. Við útreikninga var áætlað að repjuolía væri nýtt sem hráefni.

Dísil

Hefðbundin dísilolía eins og notuð hefur verið á vagna strætó er framleidd úr jarðefnaeldsneyti og hefur töluverðar útblástur á CO_2 og öðrum gróðurhúsalofttegundum á lífsleiðinni. Þessi kostur hefur því mest umhverfisáhrif af þeim sem hér hafa áður verið nefndir

Losun gróðurhúsalofttegunda eftir orkugjafa

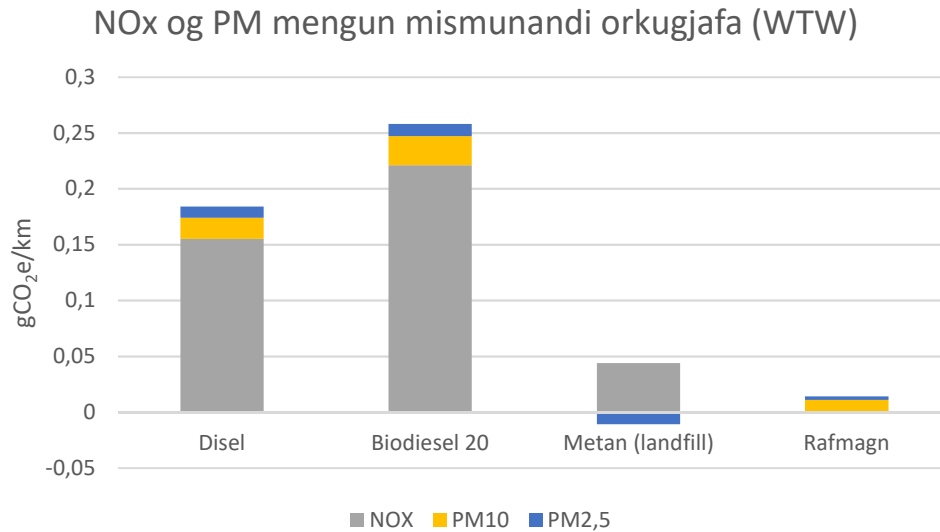
Vagnarnir losa frá sér fleiri gróðurhúsalofttegundir heldur en aðeins koltvísýring (CO_2) frá brunni til hjóla en til einföldunar notuð CO_2 jafngildi til þess að birta allar gróðurhúsalofttegundir sem að orkugjafar losa út í umhverfið frá brunni til hjóla (WTW). Meðfylgjandi graf sýnir losun gróðurhúsalofttegunda frá mismunandi orkugjöfum á hvern ekinn kílómetra.



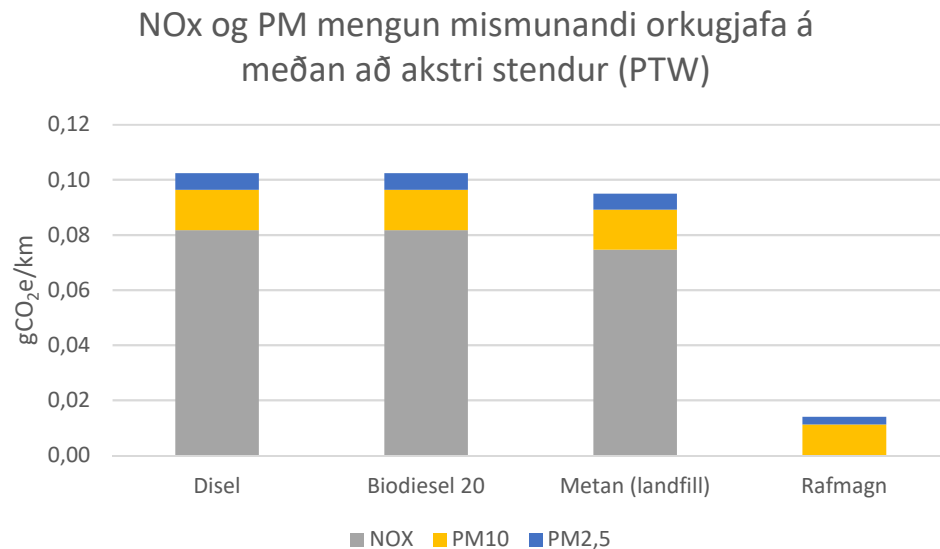
Staðbundinn útblástur (PM og NO_x)

Staðbundinn útblástur svifryks (PM) og köfnunarefnisoxíðs (NO_x) er sá staðbundni útblástur sem verður frá vögnunum og getur valdið heilsufarsvandamálum. Reglugerðir eru til um losun PM og NO_x út í andrúmsloftið og mælingar framkvæmdar reglulega.

Meðfylgjandi graf sýnir losun svifryks og köfnunarefnisoxíðs frá mismunandi orkugjöfum miðað við hvern ekinn kílómetra.



Sá útblástur sem mun hafa áhrif á notendur vagna og almenning umhverfis þá er sá útblástur eða mengun sem verður á meðan að akstri stendur, það er í hluta greiningarinnar sem nær frá dælu til hjóla (PTW). Meðfylgjandi graf sýnir þá mengun en hátt gildi rafmagns þegar kemur að svifryki má rekja til þess að gert er ráð fyrir að sama slit verði á dekkjum og bremsum vagnsins þrátt fyrir að hann keyri á umhverfisvænum orkugjafa.



3.5 Rekstur

Mikill munur getur verið á því hvað rými mismunandi tegundir eldsneytis þurfa til þess að geyma orkuna. Sömuleiðis er töluverður munur á því hvað þessi orkugeymsla er þung, og hefur þannig bein áhrif bæði á rekstrarlega getu vagnanna (hve langt þeir geta ekið) sem og á farþegafjölda (hve mikið af farþegarými þarf að víkja á kostnað orkugjafa).

Orkupéttleiki

Orkupéttleiki (e. energy density) er mælikvarði á það hve mikil orka leynist í ákveðnu magni (rúmmáli) eldsneytis. Þetta er mikilvægt fyrir strætisvagna því það skiptir máli hve mikið af plássi vagnsins fer í geymslu eldsneytisins og hve miklum þunga það bætir við vagninn. Sem dæmi er orkupéttleiki rafmagns (geymt í rafgeymum) aðeins 3% af orkupéttleika dísil og lífdísil. Á móti vinnur svo að orkunýting rafmagns vélarinnar er fjórum sinnum betri en orkunýting dísil/lífdísil vélarinnar.

Venjulegur dísil/lífdísil vagn getur ekið á bilinu 6-700 km á einum tanki sem vegur á bilinu 250-350 kg. Rafmagnsvagnar geta ekið á bilinu 100-300 km á einni hleðslu á 2-3000 kg rafgeymi. Þessi munur á þyngd og rúmmáli orkugeyma hefur síðan áhrif á eldsneytisþörf og farþegaþláss vagnanna. Metangas vagnar hafa orkupéttleika mitt á milli rafmagns og dísil og því er þörf á talsvert rúmmálsmeiri gaskútum á þá vagna en duga í venjulegan dísilvagn, svo þeir hafi sambærilega akstursgetu.

Orkunýtni og eldsneytisneysla

Rafmagn býður upp á bestu orkunýtingu þeirra orkugjafa sem hér eru til skoðunar. Samkvæmt Volvo þarfnast rafmagnsvélin aðeins fjórðung af þeirri orku sem dísilvél þarf til þess að skila sama krafti. Þess ber þó að geta að ekki eru allir framleiðendur sammála um þetta hlutfall. Þar að auki verður að líta til þess að upphitun farþegarýmis í rafmagnsvögnum eykur orkunotkun mun meira, eða um 20-30%. Líklegt er að útfærsla á rafmagnsvögnum fyrir norðlægar slóðir sem þurfa mikla upphitun vagna verði með einskonar lífdísil miðstöð sem sæi alfarið um upphitunina. Það myndi þá koma í veg fyrir að vagnarnir yrðu algerlega útblásturslausir.

Þrátt fyrir mun betri orkunýtni rafmagnsvéla, samanborið við dísil, er svo mikill munur á orkupéttleika dísil og rafmagns í rafgeymum að dísilvélin ber enn höfuð og herðar yfir rafmagnsvélin þegar kemur að eknum km fyrir hverja þyngdareiningu eða rúmmál orkugjafanna. 300 lítra dísil tankur er sambærilegur við 8-10 sinnum stærri rafgeymi.

Akstur- og tæknileg geta

Það hvað hinar mismunandi tegundir eldsneytis geta ekið langt á einni áfyllingu fer eftir ýmsu. Þar á meðal hlutir eins og einkennum leiðanna sem þeir aka (hraðleið eða innanbæjarleið), aksturslagi bílstjóranna og veðuraðstæðum.

Lífdísil og dísil vagnar geta að jafnaði komist lengst á einni hleðslu (600 km). Skv. upplýsingum frá framleiðendum metangas vagna eiga þeir að geta komist jafn langt á einni hleðslu, en skv reyngslutölum m.a. frá Osló er það nær 350 km. Rafmagnsvagnar reka svo lestina með um 240 km.

Skv. reyngslutölum frá Hamborg er aðeins hægt að stóla á um 60% af uppgefinni heildarafkastagetu rafmagnsvagna. Afgangurinn er þá hafður til öryggis ef vagninn festist í umferðateppu sem og til þess að lengja líftíma rafgeymanna.

Þróun leiðakerfis

Flestar orkulausnir setja þróun leiðakerfis engar sérstakar skorður. Eina tæknilausnin sem gæti þó mögulega sett kerfinu skorður er ef notast er við rafmagnsvagna sem þarf að hlaða reglulega á hleðslustöðvum. Þeir kalla á nokkuð dýrar hraðhleðslustöðvar sem ekki eða erfitt er að færa úr stað.

Hraði og hröðun

Engar tæknilegar hindranir eru fyrir því að allar þær lausnir sem hér eru til skoðunar geti náð yfir 80 km hraða á klst. Sömuleiðis er enginn merkjanlegur munur á hröðun þeirra, skv. upplýsingum frá framleiðendum. Bæði hraði og hröðun hafa áhrif á eldsneytiseyðslu sem má hafa áhrif á, m.a. með hönnun tímatöflu, leiðarvali auk þjálfunar bílstjóra.

Farþegarými

Dísil-, lífdísil- og metanvagnar eiga að geta að borið jafn marga farþega, þ.e.a.s. eldsneytisgeymsla þeirra á ekki að ganga svo á farþegarými að fækka þurfi plássum. Þyngd og rúmmál rafgeyma í rafmagnsvögnum í dag veldur því að þeir hafa um 15% minna farþegapláss en álíka stórir dísil-, lífdísil- og metanvagnar.

Minna farþegarými getur þýtt að fjölga þurfi vögnum í akstri, sérstaklega á leiðum þar sem farþegar eru margir. Því er spáð að rafmagnsvagnar muni ná hinum lausnum hvað varðar farþegarými fyrir árið 2025.

Áreiðanleiki og tiltækileiki (e. uptime performance)

Talsverður munur getur verið á áreiðanleika og tiltækileika hinna ýmsu lausna. Að jafnaði er hægt að gera ráð fyrir því að eftir því sem tækniþroskinn og markaðurinn fyrir lausnina er minni því minni er áreiðanleikinn og tiltækileikinn. Ástæðan er að í minna þróuðum vörum eru líkur á bilunum meiri, og vegna lítills markaðar getur reynst erfiðara og tímafrekara að verða sér úti um nauðsynlega varahluti eða tæknilega þjónustu.

Skv. reynslutölum úr prófunum í Evrópu er tiltækileiki rafmagnsvagna áætlaður á bilinu 67-80% samanboreið við 90-98% tiltækileika hjá dísil-, lífdísil- og metanvögnum. Vegna hraðrar þróunar og líklega stækkandi markaðar rafmagnsvagna er talið að þetta bil muni brúast fyrir árið 2025.

3.6 Fjárhagsleg áhrif

Til þess að meta fjárhagsleg áhrif hinna ýmsu lausna er nauðsynlegt að bera þær saman á heildstæðan hátt. Það er gert með því að reikna út líftímakostnað þeirra (TCO: Total Cost of Ownership), en þar koma saman allir kostnaðarliðir við það að eiga og reka vagninn í þann tíma sem hann er áætlaður að hann muni endast.

Í þessu verkefni er verið að bera saman og gera áætlun til framtíðar um innkaup vögnum. Því þarf um leið að reyna að meta hvernig helstu kostnaðarliðir muni þróast. Þá er litið til:

- Rými til tæknilegra framfara
- Kostnaðarlækkun á helstu íhlutum (sbr. rafgeymum)
- Þróun markaða
- Þróun opinberra gjalda

Allir þessir liðir hafa fjárhagsleg áhrif í meira eða minna mæli. Sömuleiðis er þróun kostnaðar vegna innviða, en t.d. eru hleðslustöðvar strætisvagna enn frekar fáar í Evrópu og óvíst hvernig fjöldaframléiðsla á þeim muni hafa áhrif á verð.

Rekstrarreynsla rafmagnsvagna er enn sem komið er mjög lítil. Í raun hafa slíkir vagnar ekki enn náð að klára líftíma sinn. Þetta flækir mjög alla útreikninga á líftímakostnaði og veldur því að hann þarf að stórum hluta að byggjast á spám og ályktunum. Enn minni reynslutölur eru til fyrir rekstur slíkra vagna við aðstæður sambærilegar og á Íslandi, sem þýðir að mögulega dýrar aðlaganir sem þarf að gera að slíkum vögnum (m.a. með tilliti til veðuraðstæðna) eru óútfærðar enn.

Í þessu verkefni er líftímakostnaður hinna mismunandi lausna borinn saman á ársgrundvelli, þ.e. hver er meðal heildarkostnaður á ári. Þetta tryggir sanngjarnari samanburð enda liggja styrkleikar lausnanna, kostnaðarlega séð, á mismunandi sviðum. Þeir kostnaðarliðir sem teknir eru saman hér eru:

- Árlegar afskriftir, ásamt fjármagnskostnaði af innkaupsverði.

- Árlegur áætlaður viðhaldskostnaður (fyrir rafmagnsvagna er ekki gert ráð fyrir útskiptum á rafgeymum. Vegna mikils kostnaðar rafgeyma er ending vagna látin fara hönd í hönd með endingu rafgeyma, sem um leið hefur áhrif á afskriftakostnað)
- Eldsneytiskostnaður
- Árlegar afskriftir innviða (hleðslustöðvar)
- Árlegur launakostnaður á vagn

Þessir kostnaðarliðir byggja á eftirfarandi forsendum:

- Innkaupsverð vagna árið 2017:
 - Dísil / lífdísill: kr. 32.500.000
 - Metan: kr. 38.000.000
 - Tvinnvagnar: kr. 45.000.000
 - Rafmagn: kr. 65.000.000
- Árlegur akstur vagna er 60.000 km
- Áætlaður líftími vagna er 10 ár (10% árlegar afskriftir)
- Innviðir eins og hraðhleðslustöðvar eru áætlaðar að hafi 15 ára líftíma (6,7% árlegar afskriftir)
- Fjármagnskostnaður á innkaupsverð er áætlaður 7%
- Árlegur launakostnaður á vagn er áætlaður kr. 21,9 milljónir
- Kostnaður vegna hleðslustöðva rafmagnsvagna er áætlaður kr. 6 milljónir. Hraðhleðslustöðvar eru áætlaðar að kosti kr. 36 milljónir (1 dugar fyrir 6 vagna).
- Eldsneytisverð:
 - Dísil: 190 kr./L
 - Lífdísill (15%): 193 kr./L
 - Metan: 150 kr./m³
 - Rafmagn: 50% á dagtaxta og 50% á næturtaxta
 - Dagtaxti: 14,6 kr./kWh
 - Næturtaxti: 4,7 kr./kWh
- Meðaleyðsla vagna:
 - Dísil/lífdísill: 42 L/100 km
 - Metan: 72 m³/100 km
 - Tvinnvagnar: 31 L/100 km (35% minni eyðsla en venjulegur dísilvagn)
 - Rafmagn: 90 kWh/100 km
- Sértrygging vegna lífdísilvagna (vegna niðurfellingar á framleiðendaábyrgð) er áætluð sem kr. 500.000 kr á ári.
- Opinber gjöld eru, skv upplýsingum frá Strætó bs. ca. kr. 11.600 fyrir umhverfisvæna bíla (lífdísill, metan, tvinn og rafmagn) og kr. 138.000 á ári fyrir aðra (dísil)
- Árlegur viðhaldskostnaður er miðaður við reynslutölur nýrra Euro 6 vagna frá Strætó bs.

- Dísil-, lífdísil- og tvinnvagnar: kr. 1.620.000
- Metanvagnar: kr. 1.782.000 (10% hærri en dísil)
- Rafmagnsvagnar: kr. 1.458.000 (10% lægri en dísil – NB. útskipti á rafgeymi er ekki tekið með í þessa tölu, eins og skýrt var fyrir í þessari greinargerð)

Ekki var framkvæmd sérstök næmnigreining í þessari greiningu, heldur var sviðmyndum stillt upp með tilliti til árangurs í umhverfismálum. Það er þó ljóst að samkeppnishæfni rafmagnsvagna er mjög tengdur því hversu hratt sú tækni þróast og hvernig það mun hafa áhrif á innkaupsverð. Vegna þess hve innkaupsverð rafmagnsvagna er stór hluti af líftímakostnaði þeirra er allt sem hefur áhrif á það þeim í hag, þ.m.t. fjármagnskostnaður. Sömuleiðis myndi hlutfallsleg hækkun rafmagnsverðs gagnvart verði á dísil draga úr samkeppnishæfninni.

Innkaupsverð

Dísil- og lífdísilvagnar hafa lægsta innkaupaverðið. Það byggist helst á því hve tæknin er orðin þroskuð, framleiðendur margir og markaður stór. Metanvagnar eru að jafnaði 10-15% dýrari en dísil. Tvinnvagnar eru um 30-40% dýrari en dísil. Rafmagnsvagnar eru svo dýrastir, en þeir kosta um 100% meira en venjulegir dísilvagnar. Rafgeymarnir eru um 40-50% af því verði, enda byggja vagnarnir að öðru leiti (yfirbygging og innréttingar) að mestu á sömu tækni. Rafgeymar eru áætlaðir að muni lækka í verði um 5% til náinnar framtíðar en líklegt þykir þó að rafmagnsvagnar muni alltaf verða um 30-60% dýrari en dísilvagnar.

Viðhaldskostnaður

Í dag er viðhaldskostnaður dísil- og lífdísilvagna lægstur af þeim kostum sem skoðaðir voru. Viðhald metanvagna er í meginatriðum eins og dísilvagna. Við venjulegt viðhald bætist við að skipta um kerti á ca 20.000 km fresti. Engar dísilsiur eru nauðsynlegar en í þeirra stað eru gassíur. Eins er oft gerð krafa um sérstaka gerð smurolíu sem eru dýrari en þær venjulegu. Í þessari greiningu er það metið sem 10% álag á viðhaldskostnað dísilvagna.

Viðhald tvinnvagna er í grunninn svipað og dísilvagna, nema að rafgeymarnir hafa takmarkaðan líftíma.

Ekki er til nein reynsla af viðhaldi rafmagnsvagna hjá Strætó. Vél og drifrás eru frábrugðin því sem er í dísilvögnum. Á rafmótor þarf ekki að skipta um olíur og síur en hvað varðar kostnað við annað viðhald á mótornum sjálfum er ekki vitað. Viðhald á ytra byrði vagna ætti að vera það sama. Hér er miðað við að reglulegt viðhald rafmagnsvagna (ef litið er framhjá endurnýjun rafgeyma¹) sé 10% lægri en viðhaldskostnaður dísilvagna.

Eldsneytisverð

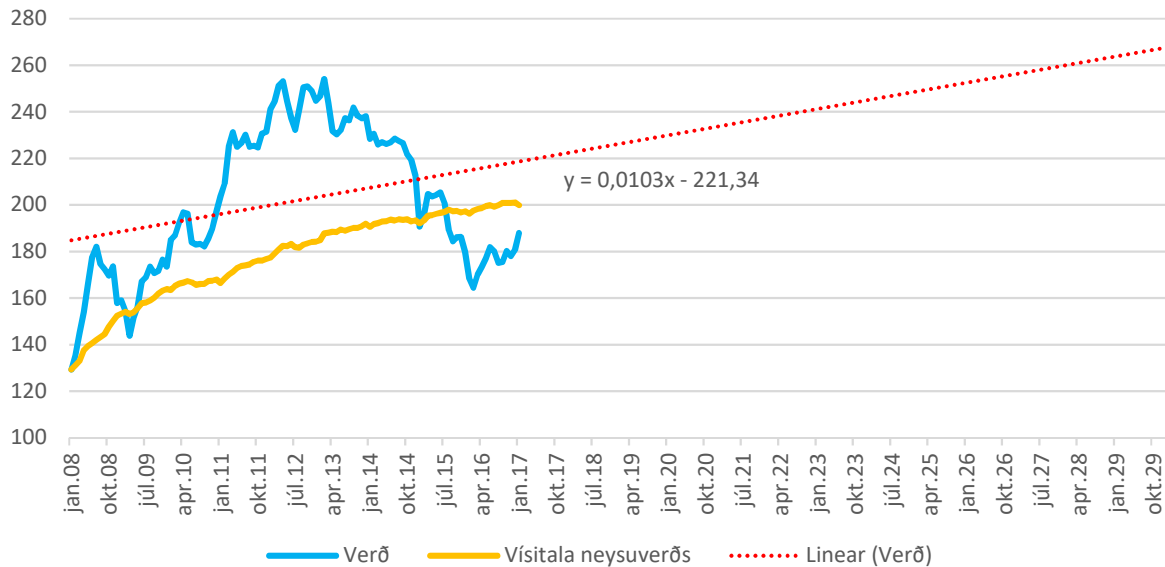
Eldsneytisverð sem miðað er við hér eru byggð á verðum eins og þau eru þegar þessi greinargerð er rituð. Hvernig það mun svo þróast til framtíðar er mjög óvíst. Á myndum 1 og 2 má sjá hvernig verð á dísilítra og kWh hafa þróast síðan árið 2008 í Reykjavík, samanborið við verðlag almennt. Eins og sést fylgir rafmagnsverðið almennu verðlagi í landinu merkilega vel eftir. Ástæða þess er vafalaust sú að rafmagn er innlend framleiðsla og þeir sem það framleiða láta verðlagninguna ráðast af almennu verðlagi. Dísil er á hinn bóginn innflutningsvara þar sem verðlag getur ráðist af gengi gjaldmiðla auk verðlags á heimsmörkuðum. Aukinn rafmagnsnotkun hjá Strætó ætti því að stuðla að fyrirsjáanlegri og áhættuminni rekstrarkostnaði.

Á þessum gröfum er framkvæmd mjög einföld framtíðarspá sem byggir á verðlagi eins og það hefur þróast frá 2008. Ef það rætist ætti dísilítri að kosta í kringum kr. 270 árið 2030 (ca 40% hækkun frá því verði sem miðað er við hér) og kWh væri á um 25 kr. (ca 65% hækkun frá því verði sem miðað er við

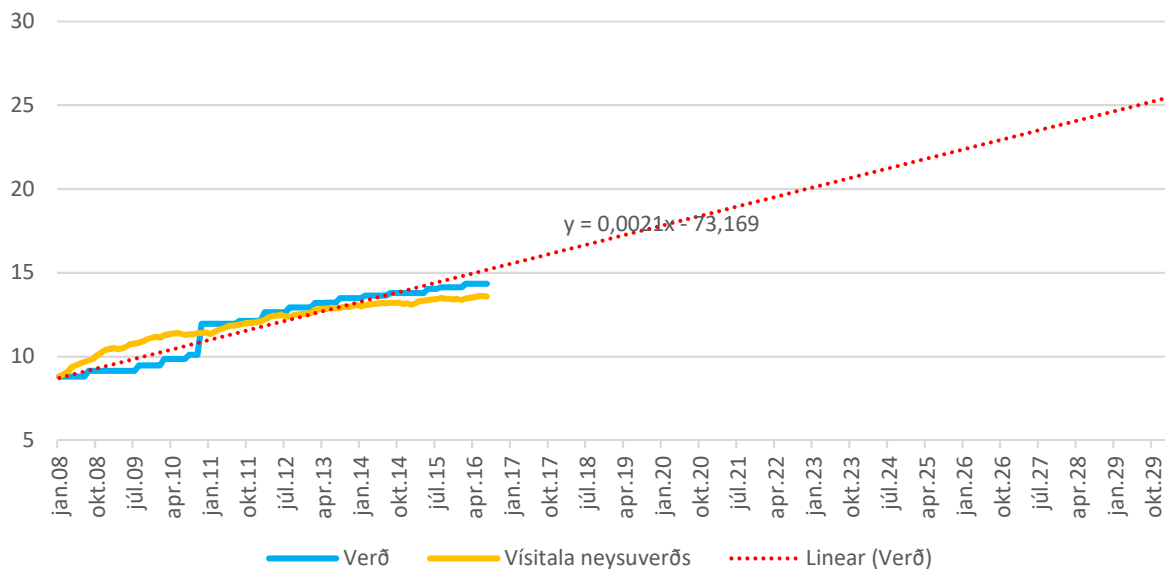
¹ Seljendur nýrra rafmagnsvagna Strætó ábyrgjast að rafgeymar muni halda ásættanlegri virkni í 10 ár, sem þýðir að ekki þarf að gera ráð fyrir endurnýjun þeirra.

hér). Það þýðir að þróunin, ef hún heldur áfram eins og hún hefur verið frá 2008, væri rafmagnsvögnum í óhag.

Þennan halla mætti þó leiðrétta, meðal annars á grundvelli umhverfisáhrifa, með opinberum gjöldum og álagningum. Í þessari greiningu var tekin sú ákvörðun að reyna ekki að spá nánar fyrir um þessa þróun, sem þýðir að í útreikningum á líftímakostnaði vagna er eldsneytiskostnaður hinna mismunandi lausna er álitinn vera fasti.



Mynd 1: Þróun á verði dísilítra á Íslandi frá 2008 - spá til 2030



Mynd 2: Þróun á verði kWh í Reykjavík frá 2008 - spá til 2030

Innviðakostnaður

Í líftímakostnaðargreiningunni er ekki gert ráð fyrir neinum sérstökum innviðakostnaði vegna dísil-, lífdísil- og metanvagna. Varðandi fyrrnefndu kostina er í raun sáralítill krafa fyrir sérstaka innviði, fyrir utan það sem þarf fyrir alla bíla. Einhver aukakostnaður verður til vegna innviða metanvagna, sem helgast aðallega af aðstöðu og öryggisráðstöfunum vegna meðhöndlunar á gasi og gaskútum. Rafmagnsvagnar þurfa hins vega sérhæfða innviði, hleðslustöðvar, til þess að fylla á rafgeymana. Margar lausnir fyrir hleðslustöðvar eru í boði sem skiptast á milli hæghleðslu (over night charging) og hraðhleðslu (opportunity charging). Mikil óvissa er um það hvernig þessar lausnir munu þróast til framtíðar, enda er markaðurinn ungur og þróun og tækniþroski komin stutt á leið. Líklegt verður að teljast að þróun þessara innviða verði með svipuðum hætti og rafmagnsvagna, þegar þróun þeirra eykst og markaður stækkar. Þó er bent á að mögulega gæti mikil þróun í átt að rafbílavæðingu valdið auknum kostnaði á öðrum stöðum, þá sér í lagi í dreifikerfinu. Annar möguleiki er að með hraðhleðslustöðum á völdum stöðum þurfi að gera aðlaganir og/eða breyta hönnun stoppistöðva.

Launakostnaður

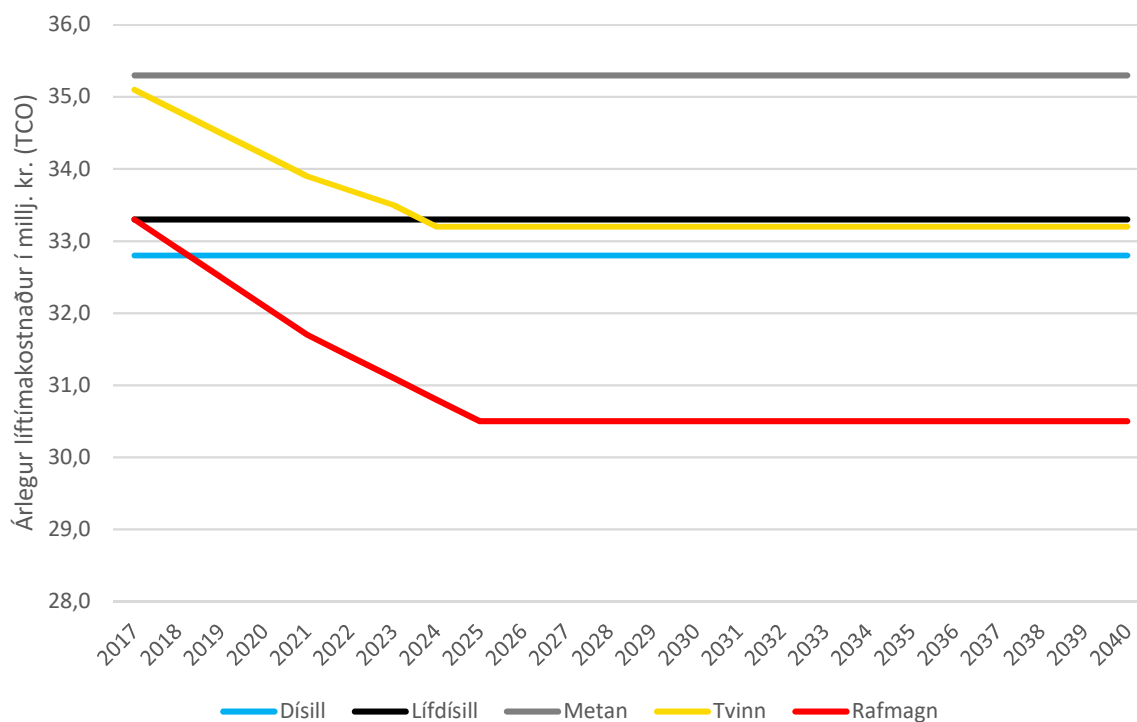
Launakostnaður er um 2/3 af líftímakostnaði vagnanna, og er ekki breytilegur milli hinna mismunandi lausna. Gert er ráð fyrir að fyrir hvern vagn þurfi um þrjú vagnstjóra á hverjum degi, auk launakostnaðar vegna þrifa og viðhalds.

Áreiðanleikakostnaður

Rafmagnsvagnar hafa í dag lægri tiltækileika og áreiðanleika en aðrar lausnir. Það helgast af drægni, eða magni orku sem hægt er að koma á rafgeyma, minna farþegapláss í vagni og lægri tiltækileika sökum bilunartíðni og erfiðu aðgengi að varahlutum og tæknilegri ráðgjöf. Samkvæmt þeim spám sem þekktar eru er talið að þessi munur muni jafnast út og hverfa um og eftir 2025. Fram að þeim tíma má gera ráð fyrir að nýir rafmagnsvagnar verði fyrst um sinn látnir sinna styttri eða álagsminni leiðum, til þess að koma í veg fyrir að áreiðanleiki þeirra komi niður á þjónustustigi. Þeir muni svo bætast við leiðir í samræmi við aukningu í áreiðanleika.

Líftímakostnaður

Á mynd 3 má sjá samanburð á líftímakostnaði dísil-, lífdísil-, metan-, tvinn-, og rafmagnsvagna útreiknuðum miðað við þær forsendur sem taldar hafa verið upp hér á undan. Í dag eru venjulegir dísilvagnar ódýrastir, lífdísill og rafmagn kemur þar rétt á eftir, svo koma metanvagnar og svo tvinnvagnar sem reka lestina. Það má hins vegar sjá að í samræmi við þær forsendur um tækniframfarir og kostnaðarlækkun rafmagnsvagna á næstu árum mun líftímakostnaður þeirra fara nokkur hratt lækkandi og í kringum 2018-19 ætti hann jafnvel að vera kominn undir dísil.



Mynd 3: Samanburður á þróun líftímakostnaðar mismunandi lausna til 2040

4. Niðurstöður

Efni þessarar skýrslu er yfirgripsmikið og nær yfir stöðu og þróun í rekstri almenningsamgangna bæði út frá umhverfislegu og rekstrarlegu sjónarmiði. Það er því erfitt að enda þetta verk á því að stilla upp einhverri einni endanlegri niðurstöðu. Niðurstaðan er í raun sú að hið svokallaða útskiptiplan orkugjafa verður að taka mið af bæði umhverfislegum markmiðum og fjárhagslegum ramma Strætó bs. Hér er því farin sú leið að birta niðurstöður í tveimur mismunandi sviðsmyndum sem hvor um sig hefur mismunandi áhrif fjárhagslega og umhverfislega.

Þessum tveim sviðsmyndum fyrir útskipti á orkugjöfum vagnafloða Strætó bs. var stillt upp með tilliti til umhverfisáhrifa.

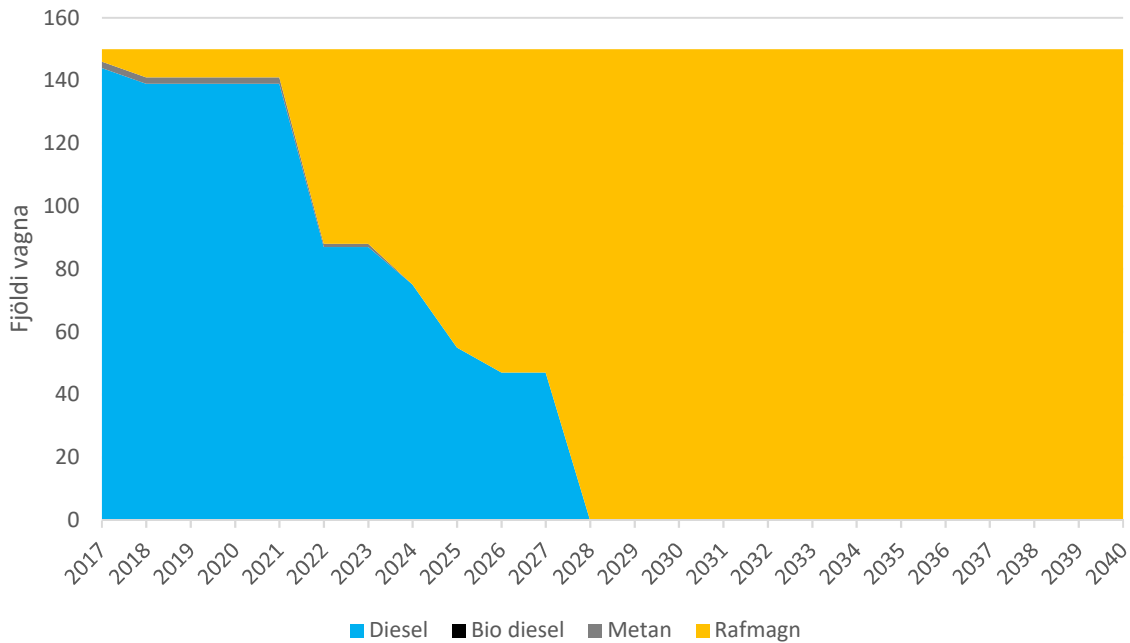
- **Sviðsmynd A:** Þessi sviðsmynd miðar við að vagnaflotinn verði orðinn að fullu rafvæddur fyrir árið 2030. Sá kostur sem ódýrastur er m.t.t. líftímakostnaðar er því ávallt valinn hverju sinni.
- **Sviðsmynd B:** Þessi sviðsmynd miðar við hraða rafvæðingu þar sem héðan í frá verði allir nýjir vagnar í floða Strætó rafmagnsvagnar.

4.1 Sviðsmynd A: Vagnafloði rafvæddur fyrir árið 2030

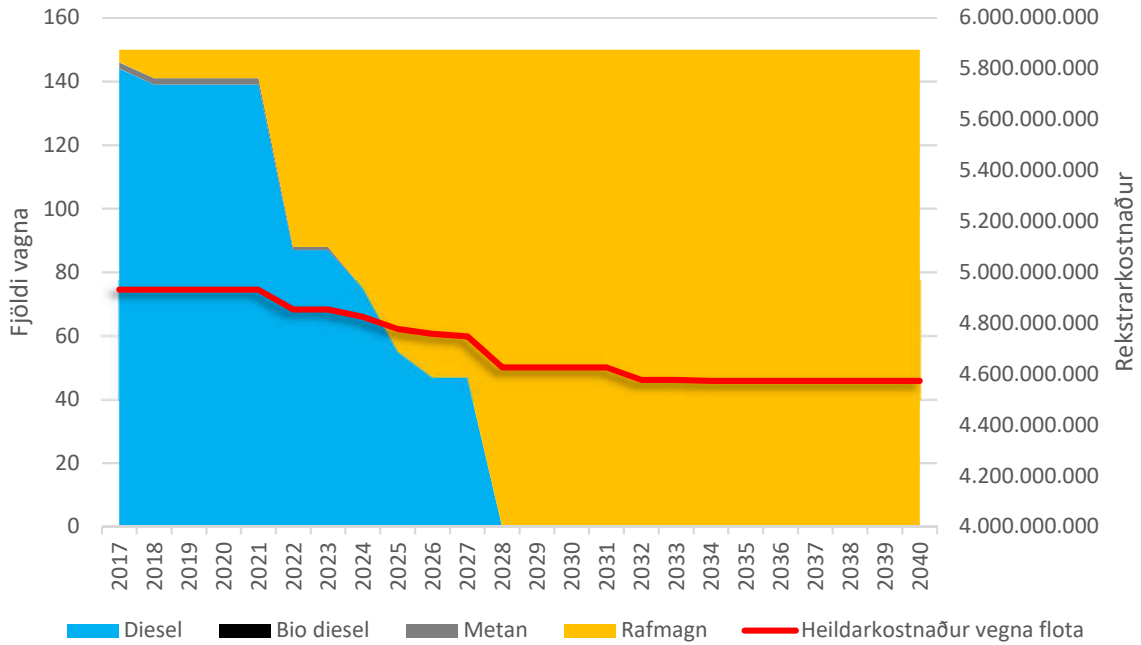
Sviðsmynd A miðar við að ódýrasti kosturinn miðað við líftímakostnað verði valinn hverju sinni. Miðað við gefnar forsendur og útreikninga á þeim ættu dísilvagnar að vera ódýrasti kosturinn út árið 2018. Eftir það eru rafmagnsvagnar hagkvæmari. Vegna aldursamsetningar núverandi vagnafloata er ekki von á stórrri pöntun nýrra vagna eftir árið 2018 fyrr en árið 2022. Eftir það yrðu þó hröð umskipti og árið 2028 ætti flotinn að vera orðinn að fullu rafvæddur.

Samkvæmt sviðsmyndinni helst flotastærð óbreytt en rekstrarkostnaður fer lækkandi. Að endingu ætti hann að vera orðinn um 8% lægri á ári en hann er í dag.

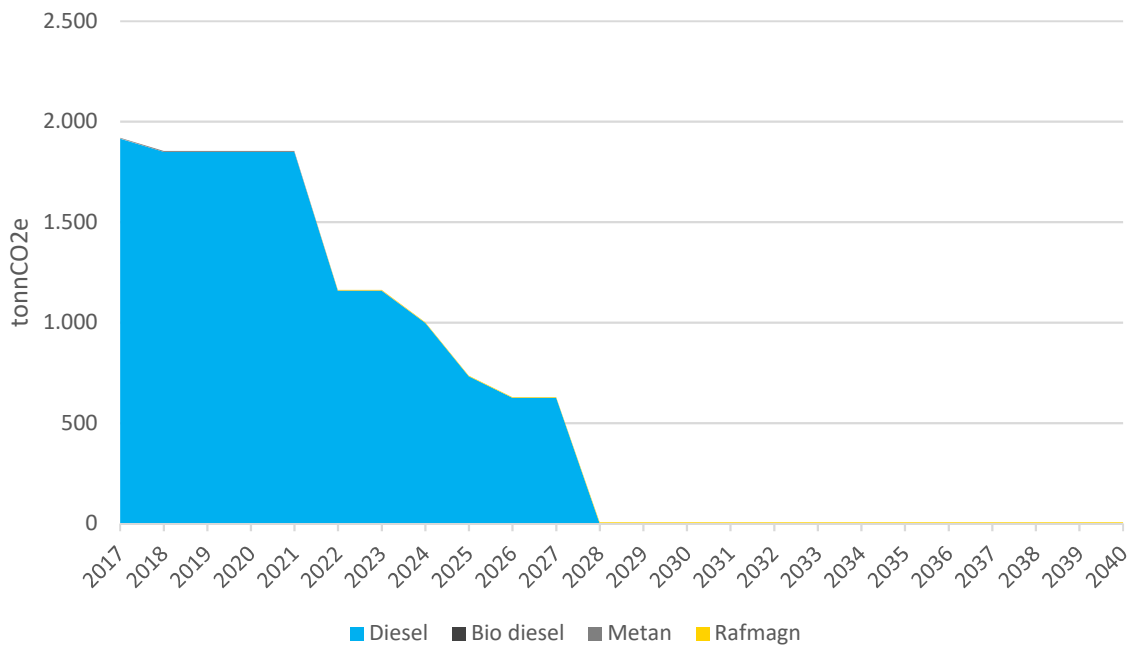
Aðrir orkugjafar eru ekki samkeppnishæfir.



Mynd 4: Sviðsmynd A - samsetning flota



Mynd 5: Sviðmynd A - samsetning flota ásamt árlegum heildarkostnaði vegna hans



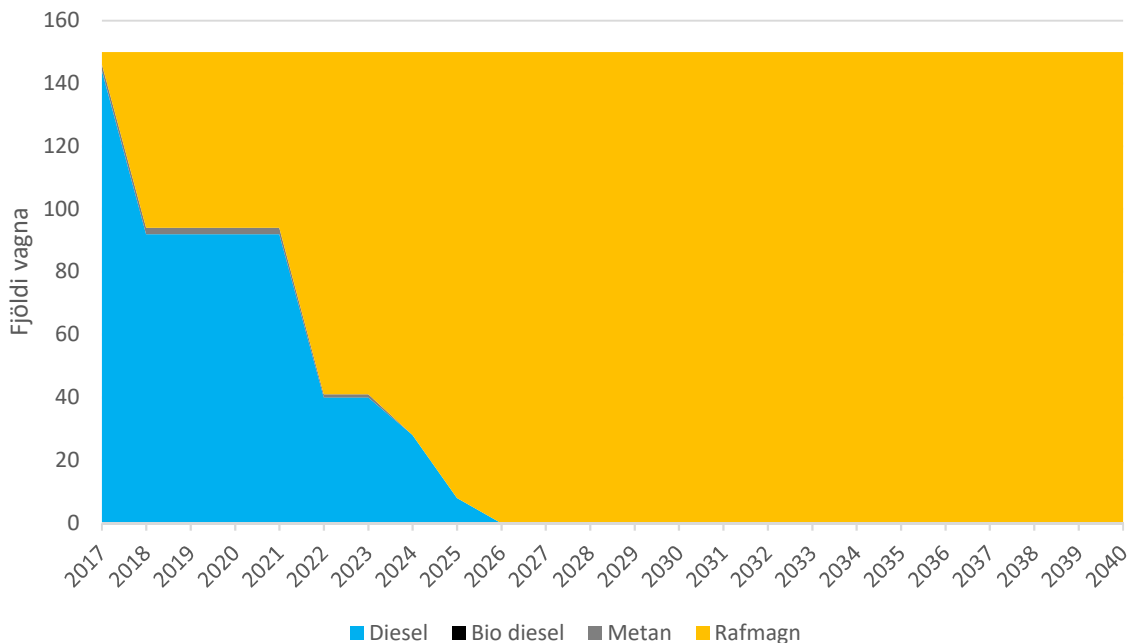
Mynd 6: Sviðmynd A - breytingar í losun gróðurhúsalofttegunda

4.2 Sviðsmynd B: Hröð rafvæðing.

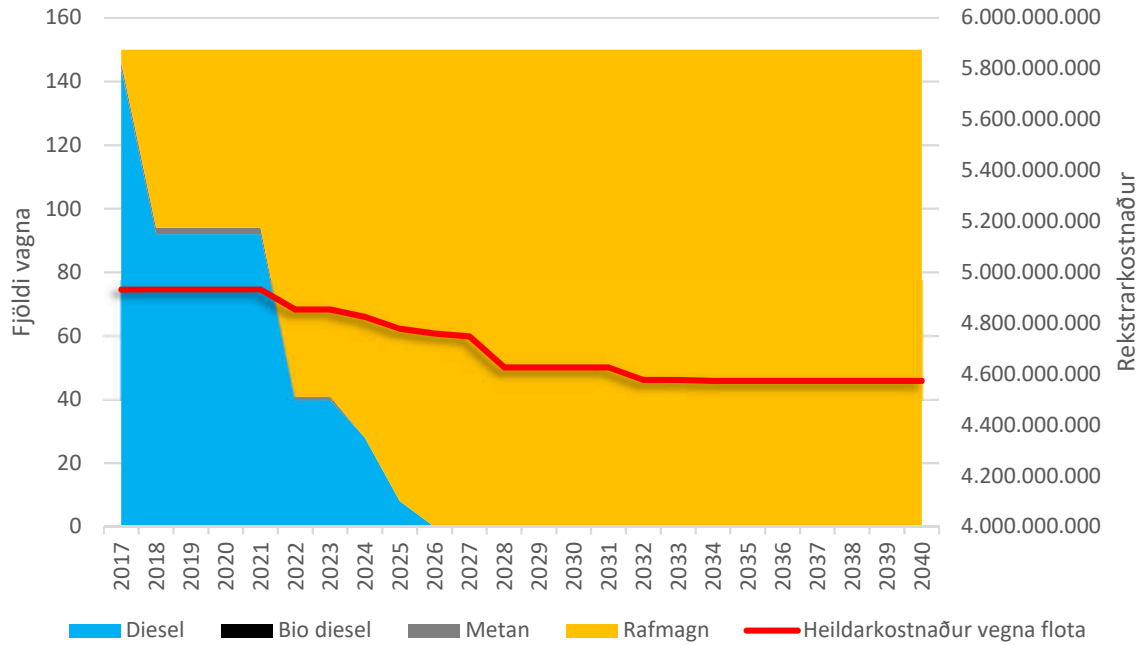
Sviðsmynd B gerir ráð fyrir hraðri rafvæðingu, þannig að héðan í frá verði allir nýir vagnar í flota Strætó rafmagnsvagnar. Miðað við þær forsendur sem notast var við í þessari skýrslu er líftímakostnaður rafmagnsvagna enn örlítið hærri en dísilvagna, en umhverfislegur ávinningur af rekstri þeirra er umtalsverður.

Líkt og sviðsmynd A er ekki gert ráð fyrir breytingum í flotastærð Strætó og að rekstrarkostnaður muni fara nokkuð jafnt og þétt niður á við og verði að endingu um 8% lægri á ári en hann er í dag.

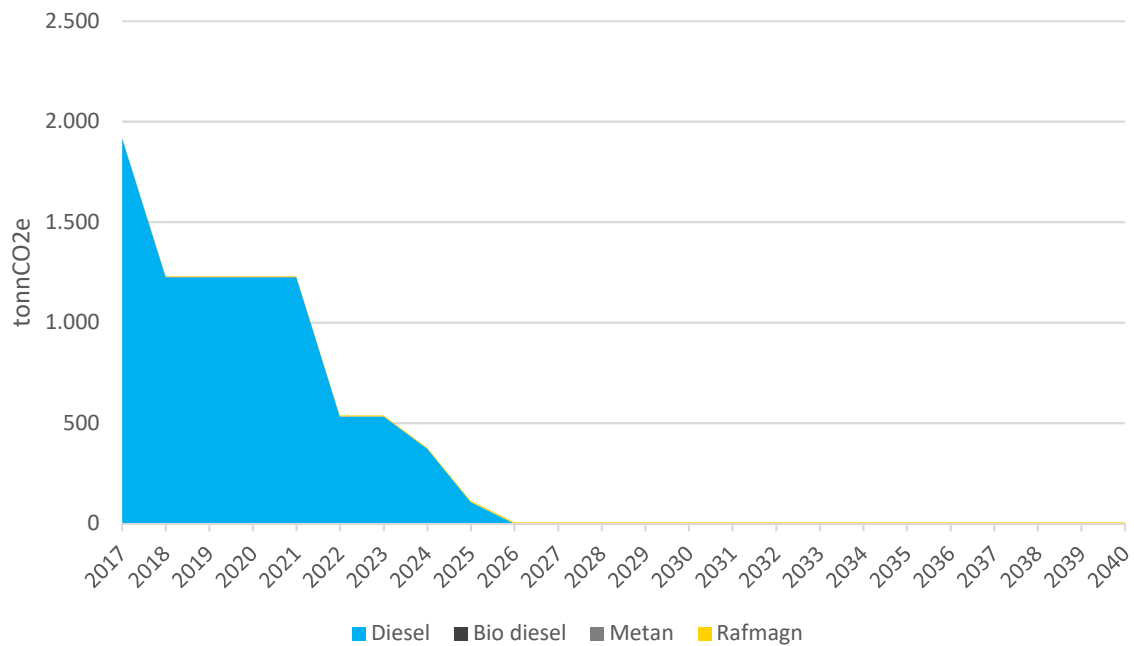
Þessi sviðsmynd myndi leiða af sér hröðustu mögulegu minnkun í losun gróðurhúsalofttegunda vegna reksturs almenningsamgangnakerfis á höfuðborgarsvæðinu.



Mynd 7: Sviðsmynd B - samsetning flota



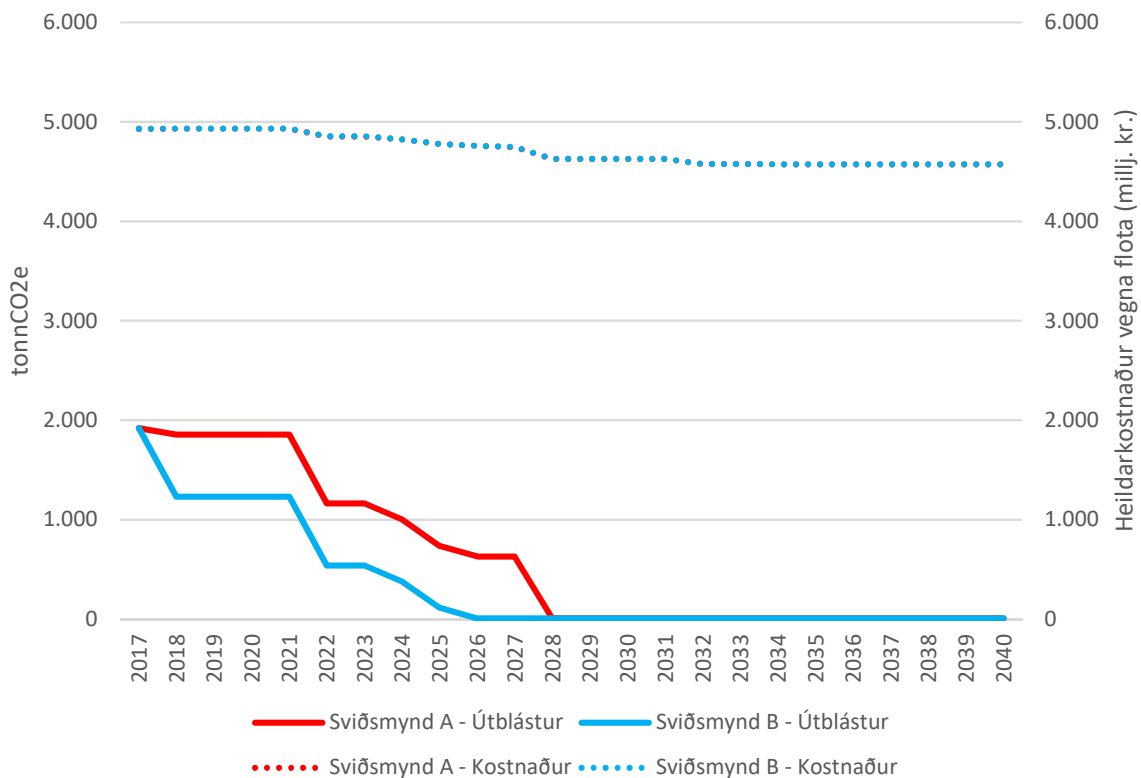
Mynd 8: Sviðmynd B - samsetning flota ásamt árlegum heildarkostnaði vegna hans



Mynd 9: Sviðsmynd B - breytingar í losun á gróðurhúsalofttegundum

4.3 Samantekt

Sviðmyndirnar tvær eru, eins og áður hefur komið fram, mismunandi í áhrifum þeirra á útblástur gróðurhúsalofttegunda Strætó bs. Á mynd 14 má sjá samanburð á heildarkostnaði og heildarútblæstri sviðsmyndanna til ársins 2040.



Mynd 10: Samanburður á breytingu á kostnaði og útblæstri gróðurhúsalofttegunda eftir sviðsmyndum Eins og sést er það lítill munur á kostnaði að varla er hægt að greina mun á línunum.

Við þennan samanburð sést áhrifamunurinn vel. Talsverður munur er í losun gróðurhúsalofttegunda, en sáralítill munur í áhrifum á rekstrarkostnað.

Ef lögð er saman öll minnkun í útblæstri í hverri sviðsmynd fyrir þetta tímabil og sú tala er borin saman við samanlagða breyting í rekstrarkostnaði sem hver sviðmynd mynd hafa í för með sér má sjá eftirfarandi upplýsingar, sjá töflu 2:

Tafla 2: Kostnaður við hvert sparað tonnCO2e til 2040

Sviðs- mynd	Heildar rekstraráhrif (millj. kr.)	Heildar minnkun í útblæstri (tonnCO2e)	Kostnaður við hvert auka tonnCO2e sparað frá Sviðsm. B
A	-5.205	-31.300	-
B	-5.195	-37.600	1.620 kr.

Sviðsmynd A er „ódyrust“, þ.e. að hún mun leiða af sér mestan rekstrarsparnað. Munurinn til ársins 2040 eru kr. 10 milljónir, sem er sáralítill tala í samanburði við samanlagðan rekstrarkostnað Strætó yfir allt þetta tímabil. Minnkun útblásturs gróðurhúsalofttegunda gerist hægar og verður minni með

sviðsmynd A. Kostnaðarauki við hvert sparað tonn af koltvísýringi í sviðsmynd B, miðað við sviðsmynd A eru 1.620 kr.