

# Metanvæðing á Íslandi

Breyting díselvéla í tvinneldsneytisvélar

Reykjavík, 5. október 2009

Birkir Veigarsson  
Darri Kristmundsson  
Hagalín Á. Guðmundsson  
Þórir Guðlaugsson

<b>Efnisyfirlit</b>	<b>Bls.</b>
<b>1. Inngangur</b>	<b>3</b>
<b>2. Metan sem eldsneyti</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Samanburður á orkuinnihaldi eldsneytis</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Framleiðsla metangass</b>	<b>5</b>
2.2.1 Metan, lífmetan og unnið metan	5
2.2.2 Borað eftir jarðgasi	5
2.2.3 Metanframleiðsla með efnahvarfi Paul Sabatiers	6
2.2.4 Metangas við rotnun lífræns úrgangs	7
<b>2.3 Geymsla og dreifing</b>	<b>7</b>
2.3.1 Mismunandi gerðir þrýstitanka	8
2.3.2 Absorbed Natural Gas	8
2.3.3 Geymslumöguleikar	9
2.3.4 LNG	9
2.3.5 Dæling á bíla	9
2.3.6 Möguleikar í dreifingu á Íslandi	9
<b>2.4 Öryggi</b>	<b>10</b>
2.4.1 Samanburður á CNG og hefðbundnu eldsneyti	10
2.4.2 LNG	10
2.4.3 Öryggi þrýstikúta	10
<b>2.5 Umhverfisáhrif</b>	<b>11</b>
2.5.1 Umhverfisáhrif á Íslandi	13
<b>3. Breytingar á vélum</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Vélbúnaður</b>	<b>13</b>
3.1.1 Forðagrein	13

3.1.2 Metangasvélar	14
3.1.3 Hreint metan og kerti	14
3.2 Skynjarar og tölvubúnaður	15
3.2.1 CANBus og ECU	15
3.3 Breytingar sem gerðar hafa verið	15
3.3.1 Pilot diesel – metan vélar	15
3.3.1.1 Gas í soggrein	15
3.3.1.2 Tímastíllt innspýting	16
3.3.1.3 Bein innspýting	16
3.3.1.4 Samantekt á pilot diesel – metan vélum	17
3.3.2 Mekanísk/tölvu vandamál	17
3.3.3 Breyttir bílar á Íslandi	18
4. Lagarammi um metanbifreiðar	19
4.1 ISO-staðlar	19
4.2 Landslög	19
4.2.1 Staðan í dag og hugmyndir að breytingum	19
4.2.2 Samantekt og túlkun	21
5. Samantekt	22
Viðaukar	23
A ISO-staðlar	23
Heimildaskrá	27
Myndaskrá	30

# 1. Inngangur

Með þverrandi olíuburgðum jarðar og hækkandi eldsneytisverði eykst þörfin fyrir annan orkugjafa. Notkun á jarðgasi í þessum tilgangi hefur verið stunduð í Suður-Ameríku, Austur-Evrópu og Asíu um árabíl. Þróunin er lengst komin í Suður Ameríku, en umhverfisvænar bifreiðar þeirra sem ganga fyrir jarðgasi telur 48% á heimsmælikvarða. Hér á landi eru engar gasbirgðir en frá árinu 1996 hefur hauggasi verið safnað af urðunarstöðum höfuðborgarsvæðisins. Einnig hafa verið uppi hugmyndir um að nota fiskslor og úrgang frá bændabýlum til metanframleiðslu.

Jarðgas og hauggas hafa þar sameiginlegt að samanstanda meðal annars af mikilvægri lífrænni sameind, metani. Hauggas skiptist um það bil í helminga af koltvíoxíði og metani, því tekur hreinsunarferli við eftir að því er safnað saman og er hreinleiki gassins þá orðinn ~97% metan.

Metan er lífrænt efnasamband milli eins kolefnisatóms og fjögurra vetnisatóma og þar með einfaldasti alkani sem finnst. Brunni metans skilar frá sér vatni, koltvíoxíði og mikilli orku sem gerir það kleift að nota sem eldsneyti. Orka metans á rúmmálseiningu er 25% af orku dieselolíu sem gerir það vel nothæft þar sem hægt er að þjappa metangasi saman og geyma það undir þrýstingi ólíkt bensíni og dieselolíu á vökvaformi.

Í dag er ein eldsneytisstöð á Íslandi sem býður viðskiptavinum sínum metanáfyllingu úr metani sem unnið var úr hauggasi. Metanið er selt í normalrúmmetrum en orkugildi eins normalrúmmetra af metani er jafnt orkugildi 1,12 lítra af 95 oktana bensíni. Aftur á móti selst normalrúmmetrinn á 94 kr. sem jafngildir því að greiddar væru 84 kr. fyrir lítra af bensíni eða 45% af heildarverði. Metanbílar eru einnig ódýrari í innkaupum þar sem vörugjald er fellt af metanbílum við innflutning.

Líkt og með hefðbundnar bílvélar þarf bæði súrefni og eldsneyti að vera til staðar til að mynda sprengingu, en ólíkt hefðbundnum bílvélum er metanið eingöngu eldfimt við ákveðna súrefnisblöndu (~ 5-15%). Þessi eiginleiki gassins gerir það hættuminna en hefðbundið eldsneyti og er því tilvalið til notkunar í almennum bifreiðum.

Auk þess að vera ódýrari og öruggari kostur hefur notkun metans jákvæð áhrif á umhverfið. Metan er gróðurhúsalofttegund sem hefur u.þ.b. tuttuguföld hlýnunaráhrif á við koltvíoxíð, að brenna metani í bílvélum í stað þess að hleypa því út í andrúmsloftið spornar því gegn hlýnun Jarðar með því að breyta því í minna mengandi lofttegund, koltvíoxíð.

*ÍGF/Véламиðstöðin* hefur verið leiðandi á sviði metanknúna ökutækja hér á landi og á síðastliðnum árum hefur skapast mikil þekking og reynsla á virkni, smíðavinnu, bilunum og öðru sem viðkemur metanknúnum ökutækjum. *ÍGF/Véламиðstöðin* hefur breytt þremur mismunandi bensínbílum frá Ameríku og Evrópu í tvíeldsneytisknúna metanbíla auk þess að reka 10 sorphirðubílar og nokkra fólksbíla sem ganga eingöngu á metani.

Þessari skýrslu er ætlað að vera ítarleg samantekt og uppflettirit yfir allt sem viðkemur metani. Í öðrum kafla skýrslunnar, *Metan sem eldsneyti*, er samanburður metans og hefðbundins eldsneytis ásamt því að gert er grein fyrir framleiðslu metangass, geymslu og dreifingu, öryggi og umhverfisáhrifum. Í þriðja kafla, *Breytingar á vélum*, eru skynjarar, vél- og tölvubúnaður tekinn fyrir auk breytinga sem gerðar hafa verið á Íslandi. Fjórði kafli, *Lagarammi um metanbifreiðar*, inniheldur ISO-staðla og landslög sem ná yfir vistvæna bíla og hlutum þeim tengdum. Skýrslunni lýkur svo á samantekt þar sem gert er grein fyrir þeim atriðum sem þarfnast ítarlegri rannsóknar áður en metan verður raunhæfur kostur fyrir neytendur á Íslandi.

Með samvinnu öflugra aðila er ekkert því til fyrirstöðu að þróa búnað til breytinga á bílum, koma á öflugu dreifikerfi og gera metan að aðgengilegum, umhverfisvænum og ódýrum kosti fyrir hinn almenna borgara.

## 2. Metan sem eldsneyti

Í þessum kafla verður fjallað um helstu eiginleika metangass sem orkugjafa, svo sem samkeppnishæfni þess við annað eldsneyti, framleiðslumöguleika á Íslandi, geymslu og dreifingu og öryggismál. Stiklað verður á þekktustu aðferðunum í metanframleiðslu, geymslu og dreifingu og ef við á verða nokkrir aðilar kynntir sem hafa tileinkað sér hverja aðferð fyrir sig.

### 2.1 Samanburður á orkuinnihaldi eldsneytis

Þegar talað er um geymslu gass er algengt að nota normalrúmmetra ( $\text{Nm}^3$ ) sem jafngildir einum rúmmetra af gasi við  $0^\circ\text{C}$  og  $100\text{ kPa}$  ( $\sim 1$  loftþyngd).

Einn normalrúmmeter af metangasi inniheldur orku sem jafngildir u.þ.b. 1,12 lítrum af bensíni.<sup>[26]</sup> Metan er geymt í bifreiðum í þrýstikútum undir u.þ.b. 200 bar-a þrýsting. Við þann þrýsting og umhverfishitastig ( $\sim 27^\circ\text{C}$ ) er metanið á gasformi.

Til að leiða út samanburð á metani, dieselolíu og bensíni er metan nálgæð sem kjörgas. Nálgunin er aðeins notuð til að finna þéttleika metans við 200 bör og gefur sæmilega nálgun á raunástandi efnisins.

Til að reikna þéttleika metans er notuð kjörgasjafnan:

$$PV=nRT \quad (2.1)$$

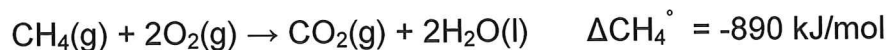
þar sem  $P$  er þrýstingur ( $\text{Pa}$ ),  $V$  er rúmmál ( $\text{m}^3$ ),  $n$  er mólfjöldi,  $R$  er gasfastinn ( $8,314472\text{ J/K}\cdot\text{mol}$ ) og  $T$  er hitastig ( $\text{K}$ ). Nú er  $1\text{ bar} = 100.000\text{ Pa}$ , þ.a. innsetning í jöfnu 2.1 gefur þéttleika metans við 200 bör og  $27^\circ\text{C}$ :

$$\frac{V}{n} = \frac{RT}{P} = \frac{8,314472\text{ J/K}\cdot\text{mol} \cdot 300\text{ K}}{200 \cdot 100.000\text{ Pa}}$$

Úr þessu fæst þéttleiki metans sem  $12.544,3\text{ mol/m}^3$  við  $300\text{ K}$  og 200 bör. Eðlismassi metans er  $16,042\text{ g/mol}$ , svo því fæst að metan í eldsneytisgeymum bifreiða vegur

$$16,042\text{ (g/mol)} \cdot 12.544,3\text{ (mol/m}^3) \cdot 1000\text{ (l m}^3) \\ = 0,201\text{ kg/l}$$

og hefur mólfjöldann  $12,54\text{ mol/l}$ . Bruni metans fer fram á eftirfarandi hátt:



Hvarfið er útvermið og losar um  $890\text{ kJ/mol}$ <sup>[20]</sup>, svo orka sem losnar við bruna eins lítra metans við 200 bör er  $11,16\text{ MJ/l}$ .

Dieselið hins vegar gefur um  $36,4\text{ MJ/l}$ , en það er líka þyngra, eða um  $0,84\text{ kg/l}$ . Því má sjá að dieselið gefur gróflega þrefalda orku fyrir fjórfaldan massa við sama rúmmál.

Einnig má líta á samanburð bensíns og metans. Bruni 87 oktana bensíns gefur  $32\text{ MJ/l}$  og massi þess er u.þ.b.  $0,72\text{ kg/l}$ . Bensínið gefur því svipaða orku og dieselolían, eða um þrefalda orku og  $3,6\text{x}$  massa miðað við sama rúmmál metans. Samantekt á eldsneytisgjöfunum má sjá í töflu 2.1.

**Tafla 2.1**

Eldsneyti	Orka (MJ/l)	Þyngd (kg/l)	Orka/massa (kJ/kg)
Bensín	32	0,72	44,44
Diesel	36,4	0,84	50,56
Metan	11,16	0,21	53,14

*Samanburður á orkuinnihaldi eldsneytis. Af orku/massa hlutfallinu má sjá að metan kemur afar vel út í samanburði við hefðbundin eldsneyti.*

Því er ljóst að metaneldsneyti fyrir bifreiðar hefur betri orku/massa hlutfall en bæði diesel og bensín en tekur hins vegar talsvert meira rúmmál.<sup>[20]</sup>

## 2.2 Framleiðsla metangass

### 2.2.1 Metan, lífmetan og unnið metan

Oft er talað um tvenns konar gerð af metangasi: lífmetan og unnið metan. Munurinn á þessu tvennu byggir á uppruna gassins. Lífmetan kemur úr lífrænu gasi (e. *Biogas*) sem búið er að sía með ýmsum aðferðum til að fá hreint metan. Lífrænt gas myndast vegna niðurbrots lífræns úrgangs og í meltingarvegi dýra, en getur einnig átt uppruna í jarðgassvæðum í iðrum jarðar. Unnið metan er það sem fengið er úr kolum eða með efnahvarfi vetnis og algengra lofttegunda svo sem kolmónoxíði og koltvíoxíði. Helstu efnahvörfin eru aðferð Sabatiers, Fischer-Tropsch aðferð og CBM aðferð.<sup>[19]</sup> Þessar aðferðir verða skýrðar í fylgjandi umfjöllun.

Um 40% af metani sem sleppur út í andrúmsloftið er af lífrænum uppruna<sup>[33]</sup>. Að nýta metangas sem á uppruna sinn af lífrænum toga er umhverfisvænna en ef notast er við unnið metan, þar sem tekið er þátt í náttúrulegri hringrás og metani brennt sem annars hefði verið sleppt út í andrúmsloftið.

Sabatier er þó eina þekkta aðferðin sem notuð er til að framleiða unnið metangas. Aðferð Fischer-Tropsch er notuð til að framleiða flóknari efnasambönd úr efnasmíðagasi (gasblanda með kolmónoxíð og vetni) með hjálp efnahvata og er metangas þá það sem síst er viljað. Í Fischer-Tropsch aðferðinni er metan notað til að fá efnasmíðagasið með ferli sem kallast Metan-umbótun en hér verður látið nægja að vitna í frekari upplýsingar.<sup>[11]</sup>  
[13]

### 2.2.2 Borað eftir jarðgasi

Jarðgas safnast fyrir frá 90 – 6100 m dýpi og er borað er eftir því með u.þ.b. 5 – 20 cm sverum lögnum. Undir miklum þrýstingi flæðir gasið upp af sjálfu sér. Minni þrýstingur orsakar þörf fyrir að dæla vatni í holuna sem þrýstir gasinu upp á yfirborðið. Dæmigerða samsetningu jarðgasa má finna í töflu 2.2.

Tafla 2.2 <sup>[18]</sup>

Efni	Efnaformúla	Hlutfall í blöndu
Metan	CH <sub>4</sub>	70-90%
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0-20%
Própan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	
Bútan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Koldíoxíð	CO <sub>2</sub>	0-8%
Súrefni	O <sub>2</sub>	0-0,2%
Nitur	N <sub>2</sub>	0-5%
Vetnissúlfíð	H <sub>2</sub> S	0-5%
Halógengös	Ar, He, Ne, Xe	Örlítið magn

*Dæmigerð samsetning metangass*

*Clean Energy Fuels Corp.* er stærsti dreifingaraðili lífmetangass í Bandaríkjunum og eiga þeir tvær stórar verksmiðjur sem bora eftir jarðgasi. Verksmiðjurnar taka upp jarðgas, hreinsa það og kæla það niður fyrir -160°C til að koma metaninu yfir á vökvakennt form, svokallað *Liquid Natural Gas* (LNG). Á því formi er auðveldara að flytja meira magn í einu til metanstöðvanna. *Clean Energy Fuels Corp.* er einnig með mikinn fjölda metanstöðva víða í Bandaríkjunum og eiga þeir stóran flota af ofurkælandi flutningatrúkkum. <sup>[4]</sup>

U.þ.b. 7% af lífmetangasi í Bandaríkjunum er fengið með annarri aðferð sem kallast *Coal Bed Methane Extraction* (CBME). Jarðgas safnast fyrir í kolalögum og losnar þegar þrýstingurinn í kolalaginu minnkar. Við það losnar líka mikið vatn sem er það fyrsta sem þarf að fjarlægja. Aðferðin byggist á því að bora niður í kolalagið og minnka þrýstinginn talsvert með því að dæla upp öllu vatni. Eftir að vatnið hefur verið fjarlægt er jarðgasinu dælt upp í gegnum sömu leiðslu. Losun þessara gasa í umhverfið ert stórt vandamál við kolauppgröft vegna slæmra áhrifa metans í hlýnun Jarðar. <sup>[6], [7]</sup>

**2.2.3 Metanframleiðsla með efnahvarfi Paul Sabatiers**

Sabatier efnahvarfið notar koldíoxíð og vetni til að framleiða metan og vatnsgufu. Þetta hvarf hefur ekki verið notað til að fjöldaframleiða metan en, í Alþjóðlegu geimstöðinni (ISS), byggja þeir framleiðslu súrefnis og eyðingu koldíoxíðs á þessu efnahvarfi. Efnahvarfið er eftirfarandi:



Í þessu hvarfi eru notaðir efnahvatar eins og nikkell (Ni), rúpen (Ru) og ál(III)oxíð (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Þau tvö síðarnefndu eru áberandi betri hvatar heldur en nikkelið á þann hátt að vera mun hvarfhraðahvetjandi. Efnahvarfið er útvermið sem þýðir að orka losnar við efnahvarfið. Það er þó ekki sjálfgengt og því þarf að koma því af stað, en hvarfið er sjálfbært eftir það við hitastigið 573 K undir einni loftþyngd með rúpen efnahvata. Nikkel eða ál(III)oxíð efnahvatar geta aðeins verið nýttir ef efnahvarfið fer fram við minnst 600°C undir venjulegum þrýstingi en minnst 500°C ef hár þrýstingur er til staðar líka. <sup>[28], [3]</sup>

Rannsóknir hafa verið gerðar, í *Pacific Northwest National Laboratory* Washington fylkis, með þetta efnahvarf sem byggja á að framleiða unnið metan og vatn á mikróskala með hjálp mismunandi gerða af rúpen efnahvötum. Þær leiða í ljós möguleika á mjög

hröðum metanframleiðsluofnum sem þarfnast einungis vetni og orku til að framleiða metan og vatn. Ókostir þessarar aðferða eru að framleiðsla vetnis með rafgreiningu krefst mikillar orku en með ódýru rafmagni á Íslandi gefst kostur á að framleiða vetni á ódýran og vistvænan hátt. [3]

#### 2.2.4 Metangas við rotnun lífræns úrgangs

Metangas myndast einnig við niðurbrot lífræns úrgangs vegna efnahvarfshvetjandi fornbaktería (e. *Archaea*). Þessar fornbakteríur, *Methanogens*, er að finna í rotnandi lífrænum úrgangi sem og í meltingarvegi dýra. Margir aðilar hafa nýtt þér þessa framleiðsluleið en þá sérstaklega með upptöku hauggass á urðunarstöðum. [22]

*Metan hf* sér um upptöku hauggass á urðunarstað í Álfnesi en það er tekið inn með sérsníðuðum innöndunar tækjum eða safnrörum og er þeim er komið fyrir með u.þ.b. 25 m millibili á yfirborði urðunarstaðs. Rörið sjálft er 65 mm svert og er þétt borað með litlum götum. Hvert safnrör er tengt í safnkistur sem eru síðan tengdar við dælustöð og er sogkrafturinn stilltur þannig að aðeins hauggasið er tekið inn en ekki súrefni úr andrúmsloftinu. Hauggasið á Álfnesi er samsett úr 55% metani, 42% koldíoxíði og 3% öðrum gösum, sem þýðir að hreinsa þarf gasið til að hækka hlutfall metans í gasblöndunni áður en það er selt til notkunar. [19]



Mynd 2.1 Líkan að safnröri notað í Álfnesi

Mun þetta vera eini staðurinn á Íslandi sem framleiðsla lífmetans fer fram í miklu magni til orkunýtingu. Losun lífræns úrgangs er samt sem áður mjög mikil á landsbyggðinni og þá langmest vegna landbúnaðarins. Rannsóknir hafa verið gerðar á dreifingu lífmassa á Íslandi sem styðjast við þá möguleika í metanframleiðslu á landsbyggðinni og þá sérstaklega á Suðurlandi og Norð-austurlandi. Með þessari framleiðsluáferð er því ekki einungis hægt að margfalda metanframleiðslu á Íslandi heldur einnig draga úr losun metans til umhverfisins og nýta það frekar í orku fyrir bifreiðar. Frekari tölur um dreifingu lífmassa er hægt að nálgast á síðum Matvælastofnunar, Fiskistofu og Búnaðarsambands.

Til er sérstök meðferð sem kallast „Loffirt niðurbrot“ (e. *Anaerobic Digestion, AD*) sem byggir á nýtingu baktería í metanframleiðslu. Byggir hún á því að breyta lífmassa með hjálp lífbrotsgjarnra baktería og fornbaktería í metan og koldíoxíð. Í samanburði við ósnerta rotnun á urðunarstað tekur það um 20 – 100 ár fyrir lífrænan úrgang að brotna niður að fullu, en með réttri bakteríumeðferð getur það tekið um 7-60 daga. Þetta orsakar bæði meiri metanframleiðslu og minni landsvæðisþörf til urðunar. [33], [2]

Mörg Evrópulönd eru nú þegar orðin leiðandi í AD tækniþróuninni og nýta ferlið til orkuframleiðslu svo sem Þýskaland (150 MW), Danmörk (40 MW), Ítalía (30 MW), Austurríki (20 MW) og Svíþjóð (20 MW). Evrópa í heild sinni framleiðir um 307 MW með þessari tækni en þó er mest öll orkan nýtt í varmaorku og raforku fyrir húsnæði en ekki sem eldsneyti fyrir bifreiðar. [33]

### 2.3 Geymsla og dreifing

Metangasi er dælt á kúta við 250 bara þrýsting og er flutt þannig á gasstöðina. [25] Á þessu



formi er talað um *Compressed Natural Gas* (CNG). Á gasstöðinni er metaninu dælt á bíla við u.þ.b. 230 bör. Bílarnir geyma gasið á 220 börum. Geymsla á bílum er í sterkbyggðum þrýstítönkum sem eru mun sterkbyggðari en bensín/olíukútar og þola árekstur betur.<sup>[30]</sup>

### 2.3.1 Mismunandi gerðir þrýstítanka

Notast er við fjórar megingerðir þrýstítanka:

- Málmkútar (Stál og ál)
- Miðjustyrktir málmkútar
- Fullstyrktir málmkútar
- Fullstyrktir trefjaplastkútar

Einfaldir málmkútar eru ódýrir en þungir. Miðjustyrktir málmkútar hafa lista úr gleri eða koltrefjum um sig miðjan og dreifa því álaginu jafnt á milli málsins og styrkingarinnar. Þeir eru léttari en hefðbundnir málmkútar en sömu leiðis dýrari. Fullstyrktir málmkútar eru léttir málmkútar þaktir með koltrefjum. Málmurinn tekur minniháttar álag. Þessir kútar eru mjög léttir en líka dýrari en fyrstu tvær tegundirnar. Að lokum eru fullstyrktir plastkútar. Þeir eru gerðir á sama hátt og fullstyrktir málmkútar nema að málmaginu er skipt út fyrir gasþétt plastlag. Þessir kútar eru léttastir af öllum en einnig mjög dýrir.<sup>[5]</sup>

**Tafla 2.3**

Tegund	Efni	Eldsneytisrýmd	Þyngd/rýmd	Þyngdar minnkun
Málmkútar	CrMo Stál	140 L	0,80 kg/L	-
	Breytt CrMo Stál	140 L	0,72 kg/L	-10%
Miðjustyrktir málmkútar	Stál/glertrefjar	140 L	0,68 kg/L	-15%
	Stál/koltrefjar	140 L	0,52 kg/L	-35%
Fullstyrktir málmkútar	Stál/koltrefjar	140 L	0,41 kg/L	-48%
Fullstyrktir trefjaplastkútar	Koltrefjar	50 L	0,36 kg/L	-55%

*Samanburður á þyngd mismunandi tegunda kúta*<sup>[37][38]</sup>

### 2.3.2 Absorbed Natural Gas

Verið er að þróa aðferðir til að geyma metan á nýju formi, undir töluvert minni þrýsting en áður hefur þekkt ( $\sim 35$  bör), í efni sem líkist svampi.

*National Science Foundation, University of Missouri-Columbia* og *Midwest Research Institute* í Kansasborg vinna að rannsókn á kolefni sem unnið er úr maísstönglum. Efnið sem myndast eru kolefnisköggjar með örlítill göt sem geyma metan með svipuðum þéttleika og hefðbundnir tankar (1/180 á móti 1/220), þrátt fyrir að vera einungis undir 1/7 af hefðbundnum þrýsting.<sup>[25]</sup>

Annað efni sem verið er að þróa er Metal-Organic Framework (*MOF*). Efnið byggir á sömu grundvallaratriðum, kolefni með miklu yfirborðsflatarmáli og fjölda örlítilla gata er myndað. Götin geyma metanið undir litlum þrýsting með svipuðum þéttleika og hefðbundnir metantankar.<sup>[31]</sup>

Ávinningur þessara aðferða er að eldsneytið hefur mikla orku á massaeiningu, svipaða og þrýstiaðferðir í dag bjóða upp á. Hægt er að fylla á farartækin án þrýstingsmuns auk þess sem tankarnir geta verið kassalaga, léttari, minni og nýtt pláss betur auk þess að vera úr veikbyggðari og ódýrari efnum.<sup>[25],[8]</sup>

### 2.3.3 Geymslumöguleikar

Tveir möguleikar koma til greina í dag þegar knýja á bíla með metani. Annars vegar má nota metan á gasformi. Auðvelt er að geyma gasið í styttri eða lengri tíma auk þess sem það er tilbúið til átöppunar eftir hreinsun beint upp úr borholunni. Gasið má geyma undir allt að 350 börum.

Hins vegar má nota metan á vökvaformi. Það má þjappa það umþb. 600 sinnum betur en gasið og tekur því mun minna rúmmál auk þess sem geyma má LNG við 8 bör. Ókosturinn er sá að til þess að halda metaninu á vökvaformi þá þarf að kæla það niður í -162°C. Því þarf sérstaka einangraða geymslukúta með kælikerfi ef nota á vökvann. Þetta hækkar bæði kostnað og flækjustig á búnaðinum, en nauðsynlegt er að líta nánar á vökvann vegna mun betri þjöppunar. Einnig þarf stöðugt að jafna þrýsting á LNG vegna suðukælingar sem þýðir að það geymist illa.<sup>[17],[18]</sup>

### 2.3.4 LNG

Orkupéttleiki LNG er um 60% miðað við diesel á meðan CNG er aðeins um 25%. Metaninnihald LNG er hátt, yfir 90% metan, en mögulegt er að hreinsa það í næstum því 100%.<sup>[16]</sup> Minna rúmmál gerir auðveldara að flytja LNG yfir langar vegalengdir. Erlendis er mikið notast við LNG þegar ekkert pípudreifikerfi er til staðar. Þetta á þó við þar sem mikið magn er í umferð og er óvíst að LNG standi undir kostnaði á jafn litlum markaði og Íslandi.<sup>[17]</sup>

### 2.3.5 Dæling á bíla

Gas hitnar þegar því er komið á hreyfingu og við hitaaukningu þenst gas út. Því má ekki dæla gasi of hratt á bíla ef ætlunin er að fylla tankinn alveg.<sup>[5]</sup> Dælustöðvar fyrir metan geta því haft ólíka eiginleika. Í þessu samhengi er fyrst og fremst áfyllingartími sem er breytilegur. Með því að hafa þrýsting meiri á metani í dælustöð en í eldsneytiskút stýttist dælutíminn allverulega. Ókosturinn við þessa aðferð er að ekki er hægt að tæma dælustöðina. Þegar þrýstingsmunurinn á dælunni og kútnum hverfur, þá stöðvast flæði metans. Í rauninni er hægt að ímynda sér að búíð sé að byggja falskan botn í dælustöðina, því þó þetta metan tapist ekki þá er raun nýtni stöðvarinnar minni heldur en gert var ráð fyrir í upphafi. Önnur aðferð er að nota dælu sem byggir jafnóðum upp þrýsting. Þessi aðferð gerir það að verkum að hægt að er klára metan úr dælustöð en það tekur mun lengri tíma.

### 2.3.6 Möguleikar í dreifingu á Íslandi

Eins og fram hefur komið í framleiðsluháttum metans eru miklir möguleikar í nýtingu metans úr lífmassa. Bændur gætu komið sér upp litlum metanstöðvum og nýtt þær sjálfir eða selt aðgang. Einnig væri hægt að nýta mjólkurbíla sem keyra á milli bænda til að safna metani í leiðinni. Jón Tryggvi Guðmundsson í Flóahreppi byrjaði tilrauna-uppsetningu tækis sem beislar metan úr andrúmsloftinu árið 2007. Veturinn 2009 fór hann að framleiða metan. Hann hefur því brotið ísinn fyrir aðra bændur sem hafa áhuga á að beisla metanið sem kemur frá býlum þeirra. Í rauninni eru allir þeir starfsvettvangar sem skilja

eftir sig lífmassa svo sem sjávarútvegur og matvælaíðnaður kjörnir fyrir framleiðslu og dreifingu metans. Að sjálfsgöðu er einnig hægt að notast við gasleiðslur eða pípur sem dreifikerfi. Sú aðferð gæti reynst góð þegar framleiðsla er orðin stöðug og notkunin mikil.<sup>[1]</sup>

\*Munnleg heimild: Jón Tryggvi Guðmundsson. Viðtal tekið: 15. September 2009

## 2.4 Öryggi

### 2.4.1 Samanburður á CNG og hefðbundnu eldsneyti

CNG er ekki eitrad, ólíkt bensíni, og mengar hvorki vatn né jarðveg við leka. Einnig brennur það þegar því er blandað á milli 5% og 15% við loft og er því nokkuð ólíklegt að það kvikni óvart í metangasi. Samanburður í töflu 2.4 á efniseiginleikum CNG annars vegar og diesel og bensíns hins vegar leiðir í ljós að CNG hefur hærra sjálfkveikjuhitastig og brennur við lægri hita. Því er CNG öruggara sem eldsneyti en bæði bensín og diesel.

<sup>[29]</sup>

Tafla 2.4 <sup>[29]</sup>

Eiginleiki	Metaneldsneyti	Bensín	diesel
Eldfimi (% í lofti)	5 – 15	1,4 – 7,6	0,6 – 5,5
Sjálfkveikjuhitastig (°C)	450	300	230
Lágmarks íkveikjuorka í lofti (J)	0,029	0,024	0,024
Hæsta hitastig bruna (°C)	1884	1977	2054

*Samantekt á eiginleikum sem snerta bruna mismunandi eldsneytis*

### 2.4.2 LNG

Gufa sem berst frá metani á vökvaformi er mjög eldfim og brennur við hátt hitastig. Einnig er vökvinn það kaldur að hann brennir hold við snertingu. Því er LNG hættulegareldsneyti en CNG.<sup>[29]</sup>

### 2.4.3 Öryggi þrýstikúta

Þrýstikútar sem geyma gas á bifreiðum eru hannaðir með ítarlegustu öryggiskröfur í huga. Gasið er geymt við mikinn þrýsting, allt að 200-falda loftþyngd, og því eru þrýstikúturnir hannaðir til að þola gífurlegt álag. Allir þrýstikútar (m.a. kútar, lokar og leiðslur) sem eru undir meiri þrýsting en 0,5 bör þurfa að uppfylla kröfur *Pressure Equipment Regulations* (PER) en þær byggja á eftirfarandi meginatriðum:

- Öruggir þrýstikútar til að tryggja öryggi kaupandans
- Uppfylla öryggiskröfur á stigi hönnunar, framleiðslu og tilraunar
- Uppfylla samræmiskröfur við skoðun og þeim fylgir viðurkenning fyrir samræmi.
- Bera CE vottun<sup>[27]</sup>

Þrýstikúturnir eru hannaðir með öryggisloka sem hleypir af sér gasi bæði við aukinn þrýsting og aukið hitastig. Því eiga kúturnir að þola árekstur án þess að springa. Í stað þess þá hleypa þeir gasinu út í umhverfið og þar sem það þarf mjög ákveðnar aðstæður til að kveikja í metani þá blandast það hættulaust andrúmsloftinu.

Afar óalgengt er að kútar skemmist við árekstur þar sem þeir hafa verið þaulprófaðir einmitt til að þola slíkar aðstæður. Þá er sérstaklega lögð áhersla á að kúturnir leki frekar en springi. Meðal algengra prófana sem gerðar eru á kútum eru:

- Prófun á leka við mikinn þrýsting með vatni
- Fallpróf þar sem kútur er látinn falla úr hæð á steinsteypu
- Hitun kúts í eldi
- Prófun í tærandi umhverfi (sýra, bensín osfrv.)
- Þrýstiprófun þar sem krafti er beitt á hliðar kúts
- Titringsprófun

Að flestu leiti stafar minni hættu af metanþrýstikútum en af hefðbundnum bensínkútum. Þegar þrýstikútur skemmist þá springur hann ekki heldur lekur og á sama tíma hleypir öryggisventillinn af sér gasi. Þar sem gasið er ekki eldfimt nema við mjög ákveðnar aðstæður þá kviknar ekki í gasinu, eini skaðinn er eignartjón á kútnum. Hins vegar, ef bensínkútur lekur þá myndast mikil eldhætta sem getur ógnað lífi farþega farartækisins.<sup>[5]</sup>

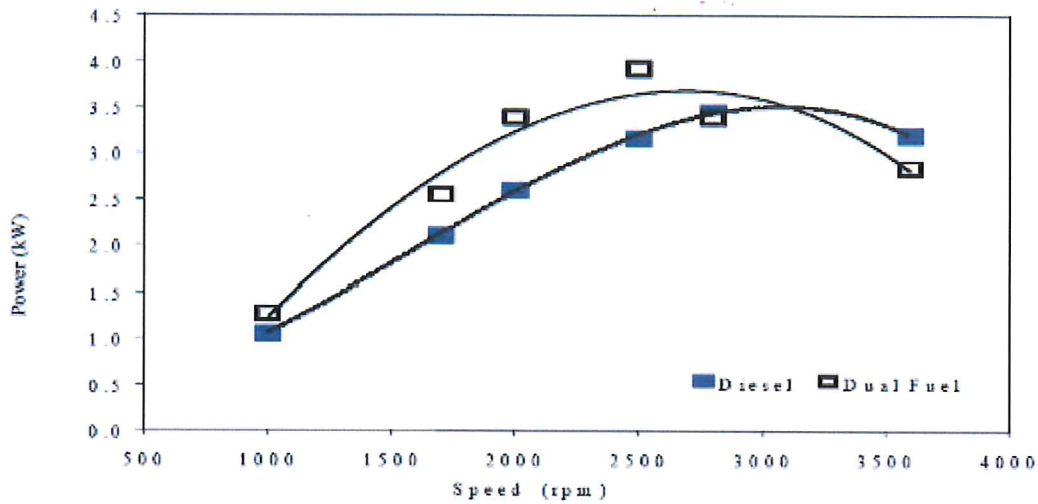


**Mynd 2.2:** Metanknúinn strætisvagn eftir eldsvoða. Eldur kviknaði í vél farartækisins. Strætisvagninn brann en eldsneytiskútarnir sprungu ekki þar sem öryggisrofi hleypti gasinu út.

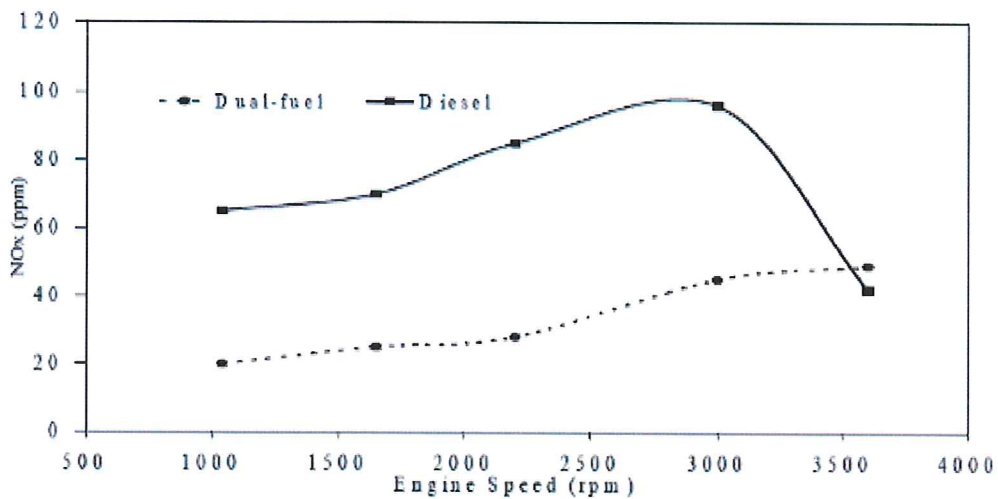
## 2.5 Umhverfisáhrif

Einn af helstu kostum metans umfram bensín og diesel er hversu umhverfisvænt það er. Metaneldsneyti hefur hæsta orku/kolefnisinnihald allra lífrænna eldsneyta og losar því minnst koltvíoxíð á orkueiningu.<sup>[23]</sup> Svo mikill koltvíoxíð-sparnaður er við notkun metans að hægt væri að keyra 113 metanbíla fyrir hvern bensínbíl miðað við koltvíoxíðslosun.<sup>[26]</sup> Bruni metans í rétt stilltri bílvél skilar einnig minna magni af kolsýrtingi og svokölluðum nituroxíðhópum (NO<sub>x</sub>) út í umhverfið en sambærileg bensín- eða dieselvél. Rannsóknir sem hafa verið gerðar á útblæstri metanvéla sýna að við hámarksálag losa þær um 54% minna af nituroxíðhópum og 59% minna af kolmónoxíði en dieselvélar.

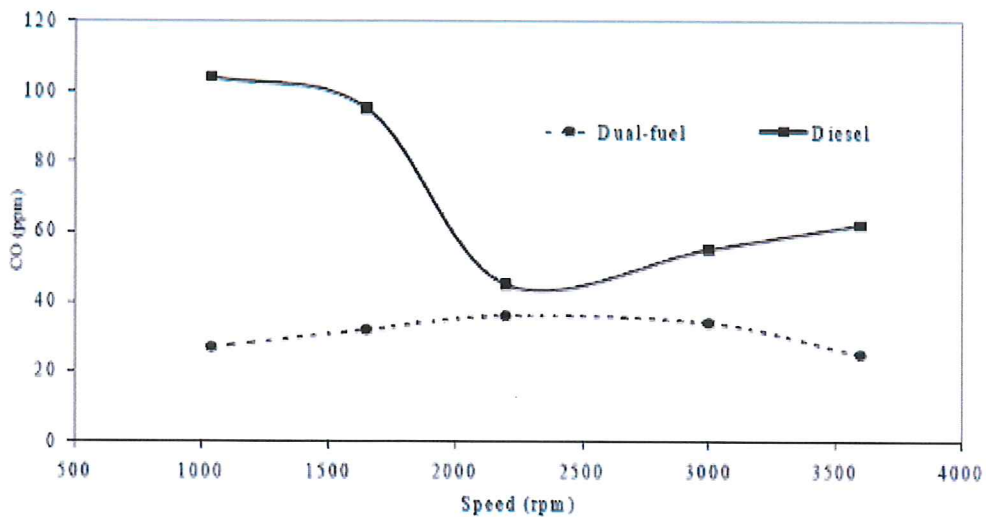
Sem dæmi má nefna rannsókn sem framkvæmd var við háskóla í Malasíu<sup>[35]</sup> þar sem metanvél með diesel pilot-innsþýtingu var borin saman við dieselvél. Niðurstöðurnar má sjá á myndum 2.2 til 2.4.



**Mynd 2.3:** Samanburður á krafti dieselvélar og tvinneldsneytisvélar. Greinilegur munur er á krafti vélanna, en metanvélin er kröftugari á bilinu 1000 til 3000 snúninga á mínútu.



**Mynd 2.4:** Losun nituroxíðshópa í tvinneldsneytisvél. Allt að þrefalt lægri en losun dieselvélar.



**Mynd 2.5:** Losun kolmónoxíðs í tvinneldsneytisvél

Að jafnaði má því búast við á bilinu 40-60% minnkun á útblæstri skaðlegustu lofttegundanna við notkun metanvéla án nokkurs taps á krafti. Þar sem metan er gas, ólíkt hefðbundnum eldsneytum, þá sótar það mjög lítið við bruna og því minnkar einnig svífryksmengun frá vélinni stórlega.

### 2.5.1 Umhverfisáhrif á Íslandi

Það metan sem notað er á Íslandi í dag kemur allt frá rotnun lífræns úrgangs. Ef ekkert er að hafst þá sleppur það beint út í andrúmsloftið af sorphaugunum. Því er ekki verið að skapa nýja mengun með því að brenna metaninu, aðeins að breyta því í koltvíoxíð og vatnsgufu. Þar sem metan er um tuttugu sinnum verri gróðurhúsalofttegund en koltvíoxíð þá má leiða rök að því að það er mun skárri fyrir umhverfið að brenna metanið en að sleppa því út í andrúmsloftið.<sup>[21]</sup>

Einnig verður að hugsa til þess að mun meiri mengun fylgir notkun olíu og bensíns á Íslandi en bara sú sem verður til við brunann í bílvélunum. Hráolíu þarf að flytja frá olíubrunni til olíuhreinsistöðvar, vinna hana þar í eldsneyti og flytja hana svo þangað sem hún er notuð. Þetta ferli krefst flutninga yfir mörg þúsund kílómetra á sjó og landi og kostar því talsverða mengun. Ef metan væri unnið á Íslandi þyrfti aðeins að flytja það innanlands til dreifingaraðila og mundi það spara gríðarlega mikinn útblástur á flutningsleiðinni.

## 3. Breytingar á vélum

Árið 2008 voru meira en 7 milljónir farartækja á heimsvísu sem keyrðu á jarðgasi.<sup>[24]</sup> Stór hluti þessara farartækja keyrir á breyttum bensín og dieselvélum. Hversu erfitt er að breyta hefðbundinni bifreið yfir í metanbifreið fer eftir gerð vélarinnar og bílatölvunnar. Algengast er að nota fyrirfram tilbúna breytingarpakka sem innihalda spíssa og stjórn tölvu. Spíssarnir eru tengdir við söggrein farartækisins og stjórn tölvun stælur merkjum frá bíltölvunni og notar þau til að skammta gasi inn á vélina.

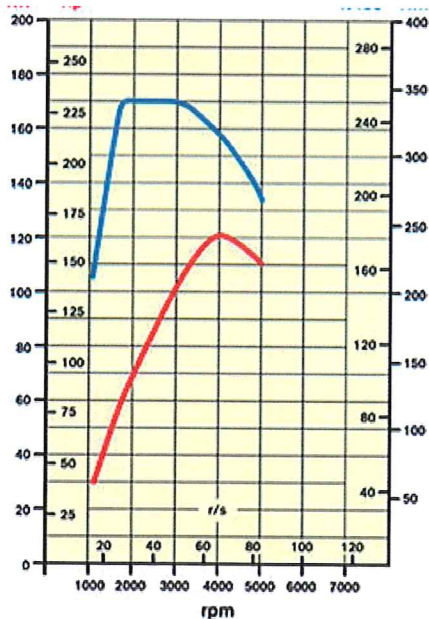
Hins vegar eru til fyrirtæki sem sjá um að breyta stærri vélum (vinnuvélar, flutningabílar osfrv.). Þá eru vélnar teknar úr farartækinu og þeim gjörbreytt til að keyra á gasi. Þess konar breyting er mun dýrari og tímafrekari.

### 3.1 Vélbúnaður

Eins og áður kom fram þá fer það eftir gerð vélar hvernig henni er breytt. Helsti munurinn felst í því hvort um sé að ræða hefðbundna bensínvél, dieselvél með olíuverki eða dieselvél með forðagrein. Á bensínvélum og dieselvélum með olíuverki er gasið oft tekið inn í gegn um svokallaða söggrein. Söggreinin sér um að skammta lofti inn á vélina. Helsti munurinn á bensínvél og dieselvél felst í því að í dieselvél kveikja kertin ekki í olíunni heldur hita hana aðeins upp áður en henni er skammtað inn á vélina þannig að sjálfkveikja geti átt sér stað við þjöppun. Í dieselvél með forðagrein er eldsneytisskömmun orðin mjög nákvæm til að besta sprengjuferlið.

#### 3.1.1 Forðagrein

Forðagrein (e. Common Rail) er ekki ný uppfinning, en hún olli byltingu í bílvélum á tíunda áratugnum. Samanburð á bílvélum með og án forðagrein má sjá á mynd 3.1 og er greinilegur munur á afli. Í bílum búnum með forðagrein er olían tekin úr eldsneytistankinum þar sem hún er undir lágþrýstingi. Hún fer í gegnum háþrýstidælu sem dælir henni inn á forðagreinina, en þar er olían undir allt að 2000 bara þrýstingi. Hún fer síðan frá forðagreininni í sérstaka innspýtingarspíssa.<sup>[32]</sup>



**Mynd 3.1:** Samanburður á afli Volvo D5 dieselbívélar með forðagreini og vélar án forðagreinar. Blái ferillinn sýnir vél með forðagreini og rauði ferillinn sýnir vél án forðagreinar.

Tvenns konar grundvallar gerðir af forðagreinum eru í notkun, annars vegar forðagreinar með segullokum og hins vegar forðagreinar með piezo-kristöllum. Seinni gerðin er sú nýjasta, en piezo kristallarnir eru þeim kostum gæddir að þeir þenjast mjög hratt út ef settur er straumur á þá. Innspýtingin inn á vélina verður því nákvæmari og betri bruni fæst fyrir vikið. Í nýjstu kynslóð forðagreina er olíu spýtt allt að 7 sinnum inn á vélina í einni sprengingu. Nákvæmnin er því í fyrirrúmi til þess að besta brunan.<sup>[32]</sup>

Þar sem allt þetta ferli er mekatrónískt er því stjórnað af bíltölvunni eða EDCU (e. *Electronic Diesel Control Unit*). Tölvun stjórna magni innspýtingari, tíma og þrýstingi af mikilli nákvæmni ásamt því að stjórna restinni af bílnum.<sup>[32]</sup>

Hér skapast vandamál við diesel-metan breytinguna. Innspýtingin er mjög nákvæmt ferli sem er kyrflega stýrt af tölvunni. Ef skipt er um eldsneyti eða átt við útblástur vélarinnar á einhvern hátt fara villuboð í bíltölvuna og hún reynir að leiðrétta gang vélarinnar.

### 3.1.2 Metangasvélar

Metan hefur aðra eiginleika en hefðbundið eldsneyti og því þarf önnur skilyrði í metanvélum til að þær gangi. Hitastig í strokk þarf að ná 1000-1200 K ef bruni hreins metans á að fara fram ef miðað er við minna en 2 ms kveikiseinkun. Sjálfkveikju seinkun á CNG er *stranglega* háð hitastigi strokksins og því þarf að hækka hitastigið til þess að kvikni í metaninu. Almenn er því notuð svokölluð *pilot* innspýting diesels inn á vélina á undan metaninu.<sup>[32]</sup> Örlitlu magni af dieselolíu er sprautað inn í brennslurýmið og hjálpar það til við að koma sprengingu af stað. Pilot innspýtingin er því notuð sem kveikja að bruna en ekki sem eiginlegt eldsneyti.

### 3.1.3 Hreint metan og kerti

Sé metanið sprengt með kerti fylgir það Otto-vinnuhringnum, hefðbundnum vinnuhring fyrir bensínvélar, svo auðvelt er að reikna út nýtni. Eins og bensínvélar eru metanvélarar viðkvæmar fyrir banki undir miklu álagi. Bank er fyrirbrigði þar sem óstjórnalegur bruni verður á eldsneyti vegna mikils hita og þrýstings. Þegar þessi bruni á sér stað á röngum stað í vinnuhringnum veldur hann aflminnkun í vélinni með tilheyrandi látum. Rétt eins og í bensínvélum er hægt að koma í veg fyrir bank með því að minnka þjöppunarhlutfallið, sem leiðir til minni varmanýtni.<sup>[32]</sup>

## 3.2 Skynjarar og tölvubúnaður

### 3.2.1 CANBus og ECU

CANBus samskiptastaðallinn var hannaður af Bosch árið 1983 og tekið í notkun 1986 og hefur hlotið mikillar velgengi í bílaiðnaði og allflestir bílar framleiddir 2008 og síðar nota staðalinn. Stalaðinn er opinn að vissu leyti, hægt er að lesa villumeldingar o.fl. frá nemum en ekki er hægt að framkvæma neinar stillingar (t.d. allt sem stjórnar gangi vélar). Því þarf að koma fyrir annarri tölvu sem getur stjórnað innspýtingu o.fl.

Til að stjórna vélinni þarf að nota *Engine Control Unit* (ECU). Hægt er að kaupa forritanlegan „aftermarket“ ECU eða teikningar af því frá nokkum aðilum.

## 3.3 Breytingar sem gerðar hafa verið

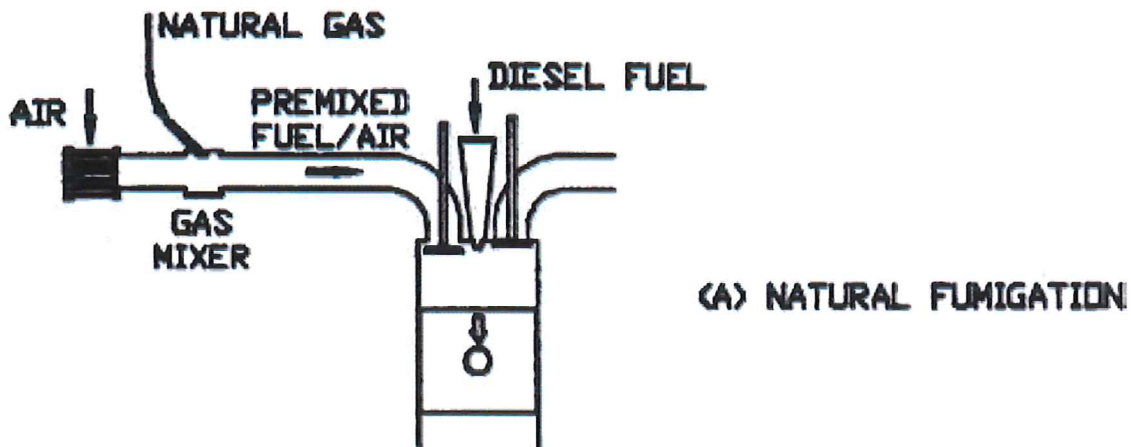
Margar stórar vélar (vinnuvélar, flutningabílar, sorpbílar osfrv.) keyra á dieselvélum með forðagrein. Mestur hagnaður metanvæðingar fæli því í sér að breyta þessum vélum þar sem þær nota mest eldsneyti.

### 3.3.1 Pilot diesel – metan vélar

Eins og áður hefur komið fram er almennt notast við pilot diesel innspýtingu til að kveikja í metaneldsneyti. Þremur tegundum pilot diesel-metan véla verður gerð skil hér.

#### 3.3.1.1 Gas í soggrein

„*Fumigation method*“. Gas er tekið inni í soggreinina og blandað við loft. Pilot diesel er sprautað inn við TDC strokksins og kveikir í eldsneytinu.



i

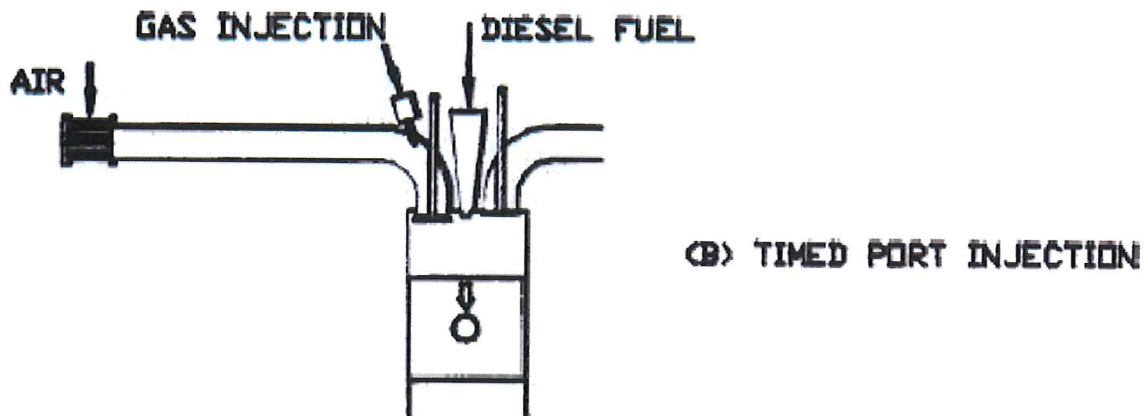
Mynd 3.2: Beint inntak CNG og blöndun við loft

Nauðsynlegt er að stýra loftflæði til að ná réttri blöndu eldsneytis og lofts og því hentar þessi aðferð best fyrir vélar sem ganga á stöðugu álagi, og þá helst mesta álagi. Aðferðin hentar ekki í farartæki vegna mismikillar eldsneytisparfar vélarinnar, en það veldur banki og sleppir óbrunnu gasi í gegn.<sup>[14]</sup> Möguleg lausn væri að stjórna loftflæði með bílatölvunni.



### 3.3.1.2 Tímastillt innspýting

„*Timed port injection*“. CNG er spýtt inn í soggrein stuttu áður en innsogið lokast. Pilot diesel er sprautað inn við TDC strokksins sem kveikir í eldsneytinu. Þessi aðferð er skárri en sú fyrri en þarf samt loftflæðisstýringu.<sup>[14]</sup>

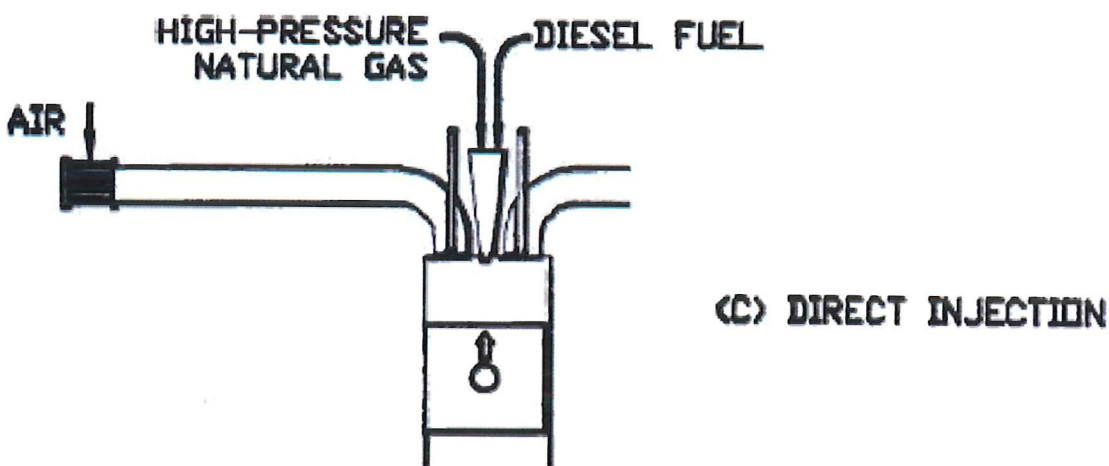


Mynd 3.3: Tímastillt CNG innspýting

Lagskipting lofts og gass við tímastillta innspýtingu helst betur heldur en við beint inntak CNG og á þessi lagskipting að skila betri varmanýtni við breytilegt álag. Betri lagskipting orsakast af því að minni tími líður frá blöndun gass og lofts til sprengingar í strokki við tímastillta innspýtingu.<sup>[14]</sup>

### 3.3.1.3 Bein innspýting

CNG er spýtt við háan þrýsting inn í strokk nánast samstundist og pilot-diesel innspýtingin. Hér er aðeins loftinu þjappað niður í TDC, annað en í hinum tveimur aðferðunum. Hitastig gassins í strokknum nær 900-1000 K, en sjálfkveikjuhitastigið er um 1200 K.



Mynd 3.4: Bein CNG innspýting

Innsþýting gass á sér stað nálægt lokum þjöppunarslagsins. Eldsneytisblandan verður fulllagskipt og þarf enga frekari loftflæðisstjórnun.<sup>[14]</sup>

Bein innsþýting metangass við háan þrýsting eftirfarandi kosti:<sup>[1]</sup>

- Notar venulegan diesel vinnuhring með þrýstiíkveikju
- Veldur ekki banki
- Veldur ekki "throttling losses"
- Þarf enga stýringu á loftblöndun
- Nær nýtingu diesel vinnuhringsins
- Hverfandi mengun vegna óbrennds eldsneytis

Sprengiferlinu í beinni innsþýtingu við háan þrýsting er stjórnað með því að stýra útbreiðslu logans (e. *flame propagation*), öfugt við hreinar diesel-vélar sem stjórna ferlinu út frá blöndunni. Mögulegt er að bank sé einnig vandamál í þess konar breytingu á vélum.

Þrýstingur á innsprautuninni hefur mjög mikil áhrif á framleiðslu nituroxíða í sprengingunni. Hraður dreifður brunni sökum mikils gasþrýstings skapar hærra brunahitastig sem veldur aukningu í nituroxíðhópum. Erfitt getur reynst að hitta á réttan þrýsting.

- Of mikill þrýstingur skapar gasstróka sem geta yfirgnæft sprenginuna. Jafnvel getur farið svo að engin sprenging verði ef gasið fyllir sprengirýmið. Meira eldsneyti verður eftir í pistonuhringjum sem veldur meira af óbrenndu metani í pústinu.
- Of lítill þrýstingur á metaninu getur valdið lélegri blöndun við loft, lágum bruna og þar afleiðandi verri varmanýtni.<sup>[32]</sup>

Á meðan bein innsþýting býður upp á góða nýtni og mikið afl þá er hún erfiðari í framkvæmd en hinar tvær aðferðirnar þar sem annað hvort þarf að bora strokkana fyrir nýjum gasspíss eða skipta út gömlu spíssunum fyrir sérstaka tvöfalda spíssa.

#### 3.3.1.4 Samantekt á pilot diesel – metan vélum

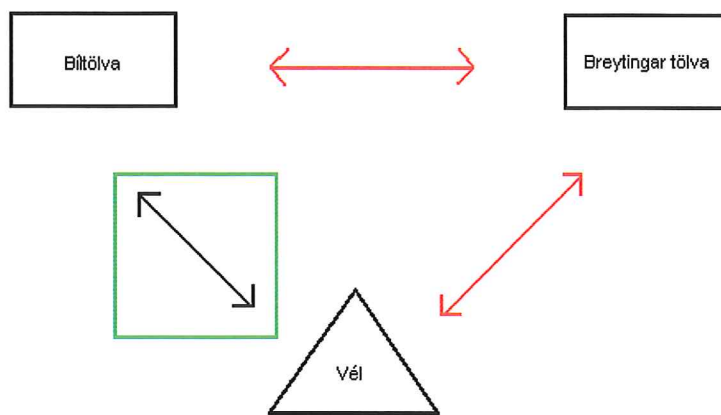
Meta þarf hver þessara þriggja aðferða hentar best við breytingu dieselvéla. Gas beint inn á soggrein er einfaldast og ódýrast í framkvæmd vegna þess að minnst er átt við vélinu ef sú leið er farin. Flækjustigið eykst ef notast er við tímastillta innsþýtingu, en sú aðferð inniheldur samt sem áður engar varanlegar breytingar á vélinni. Ef nota á beina innsþýtingu þá þarf að varanlega breyta vélinni með ví að bora í strokkana og er hún því flóknust, tímafrekust og dýrust. Hugsanlega eru þær allar of dýrar og tímafrekar, möguleiki er líka á því að nota ekki pilot innsþýtingu og kveikja frekar í eldsneytinu með sérútbúnum glóðarkertum. Þörf er á frekari rannsóknum áður en hafist er handa við breytingar.

#### 3.3.2 Mekanísk/tölvu vandamál

Bílar í dag eru ekki mekanískir heldur mekatrónískir. Það þýðir að þeir eru ekki algjörlega vélrænir heldur er hugbúnaður í þeim sem mælir og stjórnar vélrænum kerfum bílsins. Þessi hugbúnaður er í bíltölvu bílsins. Allar breytingar sem gerðar eru á vél bíls hafa bein áhrif á mörg kerfi hans og því bíltölvuna í senn. Þegar bensín- eða dieselvélum er breytt í verða t.d. breytingar á hita í vél og súrefnismettun blöndu. Oft kemur þetta fram í röngum bilanatilkyningum í mælaborði. Bíltölvur eru misjafnar eftir bílaframleiðendum en eiga þó eitt sameiginlegt, þær notast allar við einn samskiptastaðal, CANbus. CANbus er alþjóðlegur staðall og ISO-vottaður. Vottunin er betur útskýrð í 4 kafla. Tölvurnar taka því

inn og senda út merki á sama spennubili.

Í vélabreytingum hér heima og erlendis hafa breytingaraðilar nýtt sér þennan kost bíltölvana. Í stað þess að eiga við þær sjálfar hefur öðrum hugbúnaði verið komið fyrir í annarri tölvu í bílnum sem stelar eða leiðréttir merkin sem bíltölvan nemur. Annari tölvu er sem sagt komið fyrir til að stjórna gasspíssum og forðast óþarfa bilanagreiningar. Breytt samskiptamynstur bílsins má sjá á mynd 3.5.



- Þegar notað er metan fara samskipti bíltölvu og vélar í gegnum breytingartölvu
- Græni kassinn sýnir venjulega samskiptaleið ef að hefðbundið eldsneyti er notað
- Ekki er tekið yfir öll ferli í bílnum, einungis þau sem að snerta breytingar í vél

**Mynd 3.5 Tölvustýring bílvélar**

Á Íslandi hefur *ÍGF/Vélamiðstöðin* verið fyrirferðamest í metan-breytingum á bílum. Þeir hafa aðallega verið að notast við hugbúnað frá kanadíska fyrirtækinu *EcoFuel*. Þessi hugbúnaður hefur reynst vel og hefur þeim tekist að breyta mörgum bílum eins og fram hefur komið. *ÍGF/Vélamiðstöðin* heldur þó áfram að leita að sniðugum hugbúnaðarlausnum og stuðla að ódýrari breytingum á bílum.

### 3.3.3 Breyttir bílar á Íslandi

*ÍGF/Vélamiðstöðin* hefur staðið fyrir breytingum á 5 bensínbílum undanfarin ár.

- Toyota Yaris '04
- Dodge Dakota '07
- Dodge Dakota '08
- VW Transporter DC '09
- Ford Explorer

Ekki hefur díselbifreið með forðagrein verið breytt en til stendur að vinna að því verkefni í náinni framtíð.

## 4. Lagarammi um metanbifreiðar

### 4.1 ISO-staðlar

*International Organization of Standards* (ISO) eru alþjóðleg samtök um stöðlun á tæknilegum aðferðum og búnaði í iðnaðar- og verslunarskyni. ISO var stofnað 1947 og hefur frá því árlega gefið út skýrslur og leiðbeiningar til stöðlunar og þá með þeim tilgangi til að gefa fyrirtækjum og rannsóknastofum kost á að setja ákveðna gæðastimplun á vinnu sína. Oft má sjá í textum tilvísanir í ISO staðla og er hún þá á eftirfarandi formi: ISO nnnn:[yyyy], þar sem nnnn tákna númer staðalsins og yyyy útgáfuár. Til eru fleiri samtök sem sjá um stöðlun eins og IEC, DIN og ASTM en þau eiga ekki við í þessari skýrslu.

Til eru ISO-staðlar sem þarf að uppfylla til að fá gæðavottun á breytta bíla.<sup>[15]</sup> Lista yfir ISO-staðla tengda breytingum á bílum má finna í viðauka A.

### 4.2 Landslög

#### 4.2.1 Staðan í dag og hugmyndir að breytingum

Hér á Íslandi eru lagaákvæði um breytingar á vélum umdeild. Í dag er verið að breyta þessum ákvæðum. Margt er þó sem þarf að hafa í huga við það.

Í reglugerð um gerð og búnað ökutækja nr 822/2004 eru settar fram kröfur um viðurkenningu ökutækja og um útfærslu á búnaði. Engar sérstakar kröfur eru gerðar til ökutækja sem búnar eru metanvél aðrar en almennt gengur og gerist í tilskipunum um gerðarviðurkenningu og útblástursmengun. Ljóst er að viðbótarbúnaður sem leyfir notkun metangass til viðbótar við þann orkugjafa sem vélin var upprunalega viðurkennd fyrir hefur ekki nein áhrif til hins verra á útblástursmengun (sé búnaðurinn eðlilega settur í). Þetta þyrfti hinsvegar að taka út og staðfesta, annað hvort með viðurkenningu búnaðar og ísetningaraðila og/eða með sérstakri prófun á sérhverju ökutæki eftir ísetningu. Umferðarstofa er með þetta mál í skoðun og er að vinna að reglum um viðurkenningu.

Lög sem gilda um vörugjald af ökutækjum eru númer 29/1993. Þar eru settar fram eftirfarandi sundurliðaðar kröfur til að bifreið sé undanþegin vörugjaldi:

1. Bifreið skal nýta metangas að verulegu leyti í stað bensíns eða díselolíu.
2. Tilgreina skal í ökutækjaskrá ef vörugjald hefur verið fellt niður.
3. Tilgreina skal í ökutækjaskrá stærð eldsneytisgeyma.
4. Óheimilt er að fjarlægja metangasbúnað eða breyta eldsneytisgeymum.

#### **Krafa 1:** Metan að verulegu leyti

Hafa verður eftirfarandi í huga þegar mat er lagt á það hvort metangas sé nýtt að verulegu leyti:

Margir orkugjafar

Í bíl sem framleiddur er sem metanbíll er gjarnan notast við annað eldsneyti einnig (aðallega bensín), sérstaklega í ræsingu og til að nota til vara (á meðan

metanáfyllingarstöðvar eru að ná útbreiðslu). Í bíl sem breytt er yfir í metan er oft ekkert hreyft við upprunalegum eldsneytisgeymum eða þeir minnkaðir (þá yfirleitt til að koma gaskútum fyrir í staðinn). Af þessum ástæðum eru eldsneytisgeymar fyrir aðra gerð eldsneytis jafnan til staðar í metanbíll og af mismunandi stærð.

**Aksturslengd á áfyllingu:**

Eyðsla er breytileg eftir því hvort eknar eru styttri eða lengri vegalengdir, eða þessu blandað saman. Staðlaðar aðferðir eru til varðandi útreikning eyðslu miðað við hverjar aðstæður um sig. Aksturslengd ræðst af eyðslu og stærð geyma af viðkomandi eldsneytisgerð miðað við aðstæður.

**Val á orkugjafa:**

Ökumaður getur hugsanlega haft val um það hvort hann ekur á metani eða öðrum orkugjafa. Þetta er mismunandi eftir kerfum. Hvort sem er, þá þyrfti bíllinn að halda utan um notkun á metani miðað við ekna vegalengd til að geta metið hlutfallslega notkun þess. Þó þyrfti þess hugsanlega ekki ef eldsneytisgeymar fyrir hina orkugjafana eru mjög smáir þannig að óþægilegt og varla gerlegt sé að nota þá eingöngu (sjá næsta lið).

**Eldsneytisgeymar:**

Eldsneytisgeymar fyrir aðra orkugjafa en metan geta verið af upprunalegri stærð (ekki óalgengt í bílum sem breytt hefur verið í metan) eða mjög smáir. Í seinna tilvikinu er notkun á öðru eldsneyti en metani bara hugsuð sem neyðarráðstöfun eða í ræsingu, og stjórnar ökumaður ekki hvaða eldsneyti hann notar (metan er þá aðalorkugjafi og bara gripið til varaeldsneytis þegar metanið klárast).

**Eftirlit:**

Sé þörf á sérstöku eftirliti með hlutfallslegri notkun metans er hægt að nýta reglubundna skylduskoðun ökutækja og/eða núverandi kerfi í kringum álestur ökumæla fyrir þungaskatt. Ríkisskattstjóri sér um álestrarkerfið, álestur er tvisvar á ári og álestraraðilar um land allt. Stærstu álestraraðilarnir eru bifreiðaskoðunarstöðvarnar en Vegagerðin og lögreglan bætast í hópinn á minni stöðum og í dreifbýli. Tollstjórnar, sem eiga að sinna eftirlitinu samkvæmt lögunum, gætu þannig útfært verklag sem innleitt yrði hjá viðkomandi aðilum (hugsanlega bara á bifreiðaskoðunarstöðvunum) og allar skráningar gætu trúlega farið inn í núverandi álestraskráningarkerfi með tiltölulega litlum breytingum. Sennilega væri árlegt eftirlit nægilegt, auk eftirlits við eigendaskipti. Miðað við ofangreint mætti hugsa sér að skilyrðin fyrir því að nýting "að verulegu leyti" teljist uppfyllt sé eftirfarandi:

a.

Bara metangeymar: Skilyrðið uppfyllt.

b.

Varageymar: Notkun annars eldsneytis en metans er bara leyfð til vara. Til að skilyrðið teljist uppfyllt má ökumaður ekki hafa val um eldsneyti á akstri (metan verður að vera aðalorkugjafi og annar ekki að notast nema það klárast (eða í ræsingu), þó má vera hægt að skipta á annað eldsneyti tímabundið og í kyrrstöðu, t.d. vegna skoðunar eða viðhalds), og ekki má vera hægt að aka bílnum meira en 120 km á varaeldsneytinu.

c.

Viðbótargeymar: Hægt að nota metan og annað eldsneyti jöfnum höndum. Til að skilyrðið teljist uppfyllt verður að hafa eftirlit með notkuninni.

Í tilvikum a) og b) má skrá orkugjafa í ökutækjaskrá sem "Metan". Í tilviki c) er um að ræða tvíorkubíl (eða þess vegna þríorku) og þyrfti að skrá þannig t.d. "Tvíorka - Metan/Bensín.

#### **Krafa 2:** Ökutækjaskrá - skrá niðurfellt vörugjald

Í ökutækjaskrá er til skráningaratriði sem kallast skattflokkur og er nú þegar notað af tollayfirvöldum til að tilgeina ástand vörugjaldsálagningar. Eðlilegast er að nota þetta skráningaratriði í þessum tilgangi

#### **Krafa 3:** Ökutækjaskrá - skrá stærð eldsneytisgeyma

Í ökutækjaskrá er auðvelt að bæta við skráningum á allskonar athugasemdum eða t.d. sérbúnaði. Einnig gæti gerðarskrá innihaldið upplýsingareiti um eldsneytisgeyma. Nauðsynlegt væri að fyrir sérhvern sjálfstæðan geymi (áfyllingarstút) komi fram eldsneytistegund og stærð geymisins (í viðeigandi stærðareiningu, t.d. lítrum eða kg).

#### **Krafa 4:** Eftirlit með eldsneytisgeymum og metangasbúnaði

Eftirliti með eldsneytisgeymum og metangasbúnaði er að öllum líkindum best komið fyrir hjá bifreiðaskoðunarstöðvum og tengja það reglubundinni skylduskoðun. Hugsanlega þyrfti þó að sinna þessu eftirliti oftast en skylduskoðunartíðnin kveður á um fyrir nýja bíla (nýir fólks- og sendibílar, skráðir 2009 eða síðar, eru ekki skoðaðir fyrr en á fjórða ári frá skráningu, svo á sjötta ári og árlega frá áttunda ári). Jafnvel mætti hugsa sér úrtakspróf, eitthvert slembiúrtak, sem boðið yrði til skoðunar vegna þessa. Eftirlitið felst í eftirfarandi:

Eftirlit með eldsneytisgeymum: Bera þarf saman upplýsingar um geymastærðir og eldsneyti úr ökutækjaskrá. Auðvelt er að lesa stærðir og eldsneytisgerð af gaskútum en erfiðara eða ógerlegt er að sjá nokkuð um geyma fyrir fljótandi eldsneyti eins og staðan er nú. Því er spurning hvort gera þarf kröfu til ísetningaraðila /innflutningsaðila um að merkja geyma með einhverjum hætti.

Eftirlit með metangasbúnaði: Fyrir bíla sem skráðir eru með orkugjafa "Metan" (sjá kröfu 1) og enga varageyma (skv. skráningu í ökutækjaskrá) er eðlilega fullnægjandi að bíllinn sé gangfær. Séu varageymar eða um tvíorkubíl að ræða þarf aðrar aðferðir, t.d. skoða vélbúnað, athuga gaumljós, lesa af bíltölvu o.fl.<sup>[14]</sup>

#### **4.2.2 Samantekt og túlkun**

Allt eru þetta góðir punktar sem eiga vel við þegar löggjöfin er endurskoðuð. Þó er eðlilegt að spyrja hvort allt þetta eftirlit sé nauðsynlegt svo lengi sem metanið er ódýrara en bensín. Hugsanlegt er að hinn almenni neytandi velji metanið frekar í ljósi þess árferðis sem nú ríkir. Nauðsynlegt er að setja skýrar reglur um breytingarnar til þess að hægt sé að skilgreina reglur um eftirlit.

Varðandi stærð kúta þá gætu verið mismunandi kröfur eftir því hvers konar aðilar nota breyttu bílana. Vinnubílar sem eru stanslaust í gangi þurfa t.d. stærri kúta til þess að spara þann tíma sem annars færi í að fylla á. Því mætti íhuga að koma fyrst reglum um breytingar í gegn til þess að geta fengið reynslu á kerfið áður en skoðað er regluverk um

eftirlit. Gott er einnig að horfa til þeirra Evrópuþjóða sem hafa glímt við þetta vandamál. Þær þjóðir sem hafa notað metan sem orkugjafa í mörg ár hafa safnað reynslu og rekið sig á vandamál sem hægt er að forðast með því einu að hafa þau í huga þegar regluverk er samið.

## 5. Samantekt

Metan hefur augljóslega marga kosti umfram annað eldsneyti. Þjóðhagslega séð er mun hagkvæmara að nota innlent metan í stað erlends eldsneytis. Umhverfislegur ávinningur er einnig mikill þar sem metanið sleppur út í andrúmsloftið hvort sem það er notað sem eldsneyti eða ekki. Miðað við magn lífræns úrgangs á Íslandi og þekktar framleiðsluaðferðir er enn fremur hægt að margfalda framleiðslu metans hérnlendis til að standa undir stórauðingum þörf metanvæðingar. Rannsaka þarf betur möguleika í geymslu og dreifingu og þá sérstaklega þann möguleika að framleiða metan til almennrar dreifingar á bóndabæjum landsins. Einnig þarf að athuga möguleikann á nýtingu úrgangs frá sjávarútvegi til metanframleiðslu. Jafnvel væri hægt að nota aðferð Paul-Sabatier eða AD (e. *Anaerobic Digestion*) til að auka framleiðslu ef eftirspurn verður mikil.

Helstu vandamál við metanvæðingu eru tæknileg útfærsluatriði sem er nú þegar verið að vinna í. Atriði sem þarf að rannsaka betur eru eftirfarandi.

### Vélbúnaður

Finna þarf hentugustu aðferðina til að breyta dieselvél með forðagrein í metanvél. Ef taka á metanið inn á soggrein þarf að finna kjörþrýsting á metaninu við inntökuna. Ef nota á beina innspýtingu inn á strokka þarf að athuga besta þrýsting og hentugar útfærsluaðferðir auk þess að skoða hvort aðferðin sé hagkvæm. Kanna þarf hvort að mögulegt sé að skipta um kerti í dieselvélum þannig að hægt sé að kveikja í metaninu með þeim eða hvort að pilot innspýting sé hentugust. Fyrir öll þessi atriði skiptir einnig miklu máli að skoða vel sjálfíkveikju metans og hvort hægt sé að framkalla hana með einhverri af ofantöldum aðferðum.

### Tölvukerfi

Þróa þarf aðferð til að nota boð frá upprunalegri bílatölvu í breyttum bíl til að stýra innspýtingarspísum og besta tímaseinkun eða -hröðun. Einnig þarf að finna leið til að blekkja bílatölvuna, mögulega með annarri tölvu, þannig að hún sjái ekki breytt boð frá skynjurum bílsins sem villuboð.

### Geymsla og dreifing

Meta þarf hvort framleiðsla metankúta sé hagkvæm á Íslandi. Besta þarf þrýsting á dreifikerfi til að fá bestu nýtni og dælutíma. Samræma þarf kerfið við ISO staðla.

Eins og áður kom fram eru þessi atriði aðeins útfærsluatriði og eru öll tæknilega möguleg. Þróunin er þó rétt að byrja. *ÍGF/Vélamíðstöðin* hefur á undanförunum árum rutt vegin í breytingum bensínbíla yfir í metan. Mikil þekking og reynsla hefur safnast á þeirra herðar en nú þarf að víkka sjóndeildarhringinn. Möguleikinn á framleiðslu og breytingum hér innanlands hefur ekki verið nýttur til hins ýtrasta og enn má gera margt betur. Í núverandi árferði er eftirspurnin og þörfin fyrir breytingum á eldsneytisefnahag þjóðarinnar að aukast og því er kominn tími til að mæta þessum kröfum.

## Viðaukar

### A ISO-staðlar

Nr.	Skýring
115ISO 14469-1:2004	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) refuelling connector -- Part 1: 20 MPa (200 bar) connector
116ISO 14469-2:2007	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) refuelling connector -- Part 2: 20 MPa (200 bar) connector, size 2
117ISO 14469-3:2006	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) refuelling connector -- Part 3: 25 MPa (250 bar) connector
121ISO 15500-1:2000	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 1: General requirements and definitions
123ISO 15500-2:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 2: Performance and general test methods
124ISO 15500-3:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 3: Check valve
126ISO 15500-4:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 4: Manual valve
128ISO 15500-5:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 5: Manual cylinder valve
130ISO 15500-6:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 6: Automatic valve
131ISO 15500-7:2002	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 7: Gas injector
132ISO 15500-8:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 8: Pressure indicator
134ISO 15500-9:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 9: Pressure regulator
135ISO 15500-10:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 10: Gas-flow adjuster
136ISO 15500-11:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 11: Gas/air mixer
137ISO 15500-12:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 12: Pressure relief valve (PRV)
138ISO 15500-13:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 13: Pressure relief device (PRD)
139ISO 15500-14:2002	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 14: Excess flow valve
141ISO 15500-15:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 15: Gas-tight housing and ventilation hose
142ISO 15500-16:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 16: Rigid fuel line
145ISO 15500-17:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 17: Flexible fuel line
147ISO 15500-18:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components



	-- Part 18: Filter
149ISO 15500-19:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 19: Fittings
150ISO 15500-20:2007	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 20: Rigid fuel line in material other than stainless steel
152ISO 15501-1:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel systems -- Part 1: Safety requirements
153ISO 15501-2:2001	Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel systems -- Part 2: Test methods

[39]

<b>Nr.</b>	<b>Skýring</b>
1ISO 6326-1:2007	Natural gas -- Determination of sulfur compounds -- Part 1: General introduction 60.60 TC 193/SC 1
3ISO 6326-3:1989	Natural gas -- Determination of sulfur compounds -- Part 3: Determination of hydrogen sulfide, mercaptan sulfur and carbonyl sulfide sulfur by potentiometry
5ISO 6326-5:1989	Natural gas -- Determination of sulfur compounds method -- Part 5: Lingener combustion
6ISO 6327:1981	Gas analysis -- Determination of the water dew point of natural gas -- Cooled surface condensation hygrometers 90.93 TC 193/SC 1
9ISO 6570:2001	Natural gas -- Determination of potential hydrocarbon liquid content -- Gravimetric methods
14ISO 6974-1:2000	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 1: Guidelines for tailored analysis
15ISO/CD 6974-2	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 2: Guidelines for tailored analysis
16ISO 6974-2:2001	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 2: Measuring-system characteristics and statistics for processing of data
17ISO/NP 6974-3	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 3: Determination of hydrogen, helium, oxygen, nitrogen, carbon dioxide and hydrocarbons up to C8 using two packed columns
18ISO 6974-3:2000	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 3: Determination of hydrogen, helium, oxygen, nitrogen, carbon dioxide and hydrocarbons up to C8 using two packed columns
19ISO/NP 6974-4	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 4: Determination of nitrogen, carbon dioxide and C1 to C5 and C6+ hydrocarbons for a laboratory and on-line measuring system using two packed columns
20ISO 6974-4:2000	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty

	by gas chromatography -- Part 4: Determination of nitrogen, carbon dioxide and C1 to C5 and C6+ hydrocarbons for a laboratory and on-line measuring system using two columns
21ISO 6974-5:2000	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 5: Determination of nitrogen, carbon dioxide and C1 to C5 and C6+ hydrocarbons for a laboratory and on-line process application using three columns
22ISO/NP 6974-5	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 5: Determination of nitrogen, carbon dioxide and C1 to C5 and C6+ hydrocarbons for a laboratory and on-line process application using three columns
23ISO 6974-6:2002	Natural gas -- Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography -- Part 6: Determination of hydrogen, helium, oxygen, nitrogen, carbon dioxide and C1 to C8 hydrocarbons using three capillary columns
26ISO 6975:1997	Natural gas -- Extended analysis -- Gas-chromatographic method
28ISO 6976:1995	Natural gas -- Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition
34ISO 6978-1:2003	Natural gas -- Determination of mercury -- Part 1: Sampling of mercury by chemisorption on iodine
35ISO 6978-2:2003	Natural gas -- Determination of mercury -- Part 2: Sampling of mercury by amalgamation on gold/platinum alloy
39ISO 8943:2007	Refrigerated light hydrocarbon fluids -- Sampling of liquefied natural gas -- Continuous and intermittent methods
40ISO 10101-1:1993	Natural gas -- Determination of water by the Karl Fischer method -- Part 1: Introduction
41ISO 10101-2:1993	Natural gas -- Determination of water by the Karl Fischer method -- Part 2: Titration procedure
42ISO 10101-3:1993	Natural gas -- Determination of water by the Karl Fischer method -- Part 3: Coulometric procedure
43ISO 10715:1997	Natural gas -- Sampling guidelines
44ISO 10723:1995	Natural gas -- Performance evaluation for on-line analytical systems
46ISO/TR 11150:2007	Natural gas - Hydrocarbon dew point and hydrocarbon content
47ISO 11541:1997	Natural gas -- Determination of water content at high pressure
48ISO/TR 12148:2009	Natural gas -- Calibration of chilled mirror type instruments for hydrocarbon dewpoint (liquid formation)
50ISO 12213-1:2006	Natural gas -- Calculation of compression factor -- Part 1: Introduction and guidelines
51ISO 12213-2:2006	Natural gas -- Calculation of compression factor -- Part 2: Calculation using molar-composition analysis
53ISO 12213-3:2006	Natural gas -- Calculation of compression factor -- Part 3: Calculation using physical properties

55ISO 13443:1996	Natural gas -- Standard reference conditions
57ISO/NP 13686	Natural gas -- Quality designation
58ISO 13686:1998	Natural gas -- Quality designation
59ISO 13734:1998	Natural gas -- Organic sulfur compounds used as odorants -- Requirements and test methods
61ISO 14111:1997	Natural gas -- Guidelines to traceability in analysis
62ISO 14532:2001	Natural gas -- Vocabulary
65ISO 15112:2007	Natural gas -- Energy determination
67ISO 15403-1:2006	Natural gas -- Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles -- Part 1: Designation of the quality
68ISO/TR 15403-2:2006	Natural gas - Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles -- Part 2: Specification of the quality
69ISO 15970:2008	Natural gas -- Measurement of properties -- Volumetric properties: density, pressure, temperature and compression factor
70ISO 15971:2008	Natural gas -- Measurement of properties -- Calorific value and Wobbe index
72ISO/TS 16922:2002	Natural gas -- Guidelines for odorizing gases
73ISO 18453:2004	Natural gas -- Correlation between water content and water dew point
74ISO 19739:2004	Natural gas -- Determination of sulfur compounds using gas chromatography
76ISO 20765-1:2005	Natural gas -- Calculation of thermodynamic properties -- Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications
77ISO 23874:2006	Natural gas -- Gas chromatographic requirements for hydrocarbon dewpoint calculation
78ISO/TR 24094:2006	Analysis of natural gas -- Validation methods for gaseous reference materials
79ISO/TR 26762:2008	Natural gas -- Upstream area -- Allocation of gas and condensate
80ISO/NP TR 29921	Natural Gas -- Basic data on thermodynamic properties
81ISO/NP TR 29922	Natural Gas -- Supporting information on the calculation of physical properties according to ISO 6976

[40]