

**NMÍ 08-07
8UI4375
Fanney Frisbæk**

Orkunýting í vetnisvögnum - áhrif umhverfispáttá og framtíðarspá



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

September 2008

“Without coal there would be no machinery, and without machinery there would be no railways, no steamers, no manufactories, nothing of that which is indispensable to modern civilisation!”

“But what will they find?” asked Pencroft.

“Can you guess, captain?” “Nearly my friend.”

“And what will they burn instead of coal?”

“Water” replied Harding.

“Water!” cried Pencroft, “water as fuel for steamers and engines! Water to heat water!”

“Yes, but water decomposed into its primitive elements by electricity.

Water will be the coal of the future” replied Harding, “I should like to see that” observed the sailor.

(The Mysterious Island, Jules Verne 1874)

Efnisyfirlit

1. Inngangur		Bls.....4
2. Sprengi- og brunahreyfilsvélar	2.1 Inngangur	.....5
	2.2 Tilurð og þróun	.....5
	2.3 Nýtni þá og nú	.....6
	2.4 Sprengihreyfilsvélar - bensín bílar	.....8
	2.5 Brunahreyfilsvélar - dísil bílar	.....8
3. Vetnistæknin	3.1 Inngangur	.....9
	3.2 Tilurð, þróun og nýtni	.....9
	3.3 Vetnisvagnar í Reykjavík	.....10
	3.4 Nýtni vetnisvagna almennt	.....12
4. Vetni og dísel - samanburður nýtnimöguleika		.....13
5. Ytri breytur og áhrif þeirra	5.1 Inngangur	.....15
	5.2 Veðurfar	.....15
	5.3 Selta	.....17
	5.4 Landslag	.....18
	5.5 Umferð	.....19
	5.6 Áhrif ytri breyta - yfirlit	.....19
6. Orkuþörf vetnissamfélags á Íslandi	6.1 Inngangur	.....20
	6.2 Vetnisþörf	.....20
7. Niðurstöður		.....20
8. Heimildir		.....22
Viðauki 1 - Otto hringrásin		.....25
Viðauki 2 - Dísil hringrásin		.....28
Viðauki 3 - Forsendur og útreikningar á vetnisþörf		.....31

1. Inngangur

Markmið þessa verkefnis er að skoða orkunotkun og orkunýtingu vetnisknúinna strætisvagna með efnarafala og íhuga áhrif ýmissa ytri þátta á nýtnina, svo sem hitastigs, seltustigs, umferðar o.fl. Þróun og nýtni vetnisvagnanna mun borin saman við þróun og orkunýtni hefðbundna dísilvagna með brunahreyfilsvél.

Einfaldur samanburður á nýrri tækni, sem í dag er eingöngu á tilraunastigi, við tækni sem hefur verið í þróun og stöðugum endurbætum í meira en 100 ár, myndi gefa afar þjagaða mynd af stöðu og hagkvæmni hinnar nýju tækni. Þess vegna mun hin hefðbundna brunahreyfilsvél og nýtni hennar skoðuð í ljósi sögunnar og hin nýja vetnistækni athuguð innan þessa viðmiða.

Orkuþörf íslenska bílaflotans mun skoðuð, eins og hún er nú, og einnig eins og ætla má að hún yrði ef allur bílaflotinn samanstæði úr vetnisbílum með efnarafölum. Til að gefa sem raunhæfasta mynd af orkuþörf vetnisbílaflota á þeim tíma sem ætlað er að hann komi til sögunnar, er nauðsynlegt að leita heimilda um áætlaða nýtni í framtíðar vetnistækni. Það mun gert og hugrenningar um framtíðar orkuþörf íslensks vetnisbílaflota settar fram.

2. Sprengi- og brunahreyfilsvélar

2.1 Inngangur

Eins og áður hefur verið nefnt, mun einfaldur samanburður hefðbundinna sprengi- og brunahreyfilsvéla, sem eiga sér meira en 100 ára sögu í almennri notkun, við vetnistæknina, sem enn er einungis á tilraunastigi innan samgangna, gefa afar þjagaða mynd. Í þessum kafla mun því stuttlega litið á þróunarsögu hreyfilsvélarinnar og nýtni hennar. Með hreyfilsvél er átt við vél með innri sprengi/brunahólfi þar sem stimpill skapar þrýsting á eldsneyti í strokki, er annað hvort leiðir til sprengingar eldsneytisins þegar kveikt er í því með neista (sprengihreyfilsvél, s.s. bensínvélar) eða bruna eftir sjálfsvæðingu eldsneytisins vegna hins háa þrýstings í strokkinum (brunahreyfilsvél, s.s. dísilvélar).

2.2 Tilurð og þróun [1],[2],[3],[4],[5]

Notkun stimpils í strokki eða dælubullu má rekja allt til ársins 150 fyrir Krist þar sem málmiðnaðarmenn nýttu þessa tækni í pumpur til að pumpa lofti.

Á 17. öldinni voru hins vegar gerðar þó nokkrar tilraunir til að nota heitt gas sem orkugjafa í pumpur og er gufuvél Thomas Newcomens frá árinu 1705 yfirleitt álitin fyrsta “núttíma” gufuvélin. Árið 1824 gaf franskur verkfræðingurinn Sadi Carnot út sitt tímamótarit “Hugrenningar um hreyfiorku hita”, sem lagði grundvöllinn að þróun gufuvéla (external combustion engines) og þar með einnig að hreyfistækninni (internal combustion engines).

Hvað varðar hreyfilsvélin sjálfa, er í raun ekki hægt að eigna neinum einum uppfinningu hennar, þar sem að þó nokkrir aðilar stunduðu rannsóknir á þessu sviði allt frá birtingu hins merka rit Carnots. Bygðu þeir hver sínar eigin útgáfur, aðallega tvígangis vélar fyrir kyrrstæða notkun, á næstu áratugunum. Skrið komst þó ekki á þróun hreyfilsvélarinnar fyrr en árið 1876 þegar þýski verkfræðingurinn Nikolaus A. Otto fann up og byggði sína fyrstu fjögurra strokka hreyfilsvél, grundvallaða á lögmáli franska verkfræðingsins Alphonse Beau de Rochas um skilyrðin fyrir hámarks nýtni hreyfilsvéla, sem var fyrst birt 1862. Vél Ottos var þung og hafði lága nýtni en naut þó mikillar velgeni. Á tæpum tveimur áratugum seldust um það bil 50.000 slíkar vélar frá því að þær komu fyrst á markaðinn árið 1878 í Bandaríkjunum. Vélar Ottos voru þó enn einugis til “kyrrstöðu notkunar”.

Það var svo árið 1885 sem hreyfilsvélin var fyrst notuð til að knýja faratæki. Hér komu tveir þýskir verkfræðingar til sögunnar, sem sitt í hvoru lagi þróðu sína eigin vél fyrir farartæki, knúnar af bensíni og kveikikerfi sem gaf frá sér neista. Vélar þeirra voru í raun áframhaldandi þróun á vélum Nikolaus Ottos.

Karl Benz byggði þetta ár sinn fyrsta bíl, með þremur hjólum, sem seldist vel og réði fyrirtæki hans yfir 50 starfsmönnum 1888. Hann hóf framleiðslu á fjögurra hjóla bifreiðum 1890.

Hinn var Gottlieb Daimler, sem byggði fyrsta mótorhjól sögunnar 1885, með starfsfélaga sínum Wilhelm Maybach. Þeirra fyrirtæki byggði sína fyrstu fjögurra hjóla bifreið árið eftir og hófu markaðssetningu árið 1889.



Mynd 1: Eftirlíking af þríhjóla bílnum hans Karls Benz frá 1885.

Bensínknúnar vélar í bifreiðum í dag eru í grundvallaratriðum eins og vélar sem Benz og Daimler byggðu, þó svo að nýtnin hafi aukist með tilkomu nýrrar tækni s.s. léttari efni,

betri dekk og loftaflfræðilegu formi bifreiðanna. Fyrirtæki þeirra Karl Benz og Gottlieb Daimlers voru sameinuð árið 1926 í Daimler-Benz, sem eins og kunnugt er, er fram á þennan dag einn af stóru bifreiðaframleiðendum. Það má þykja skondið að þeir hittust þó aldrei í lifandi lífi.

Enn einn þýskur verkfræðingur kynnir til sögunnar nýjung á sviði hreyfilsvéla, en það var Rudolph Diesel. Hann byggir hönnun sína einnig á kenningum Carnot en nær hærri nýtni en Otto-vélarnar. Fyrstu tilraunavélar hans ganga fyrir steinolíu en vélarnar sem slá í gegn á markaðnum strax á fyrsta ári (1898) nota olíu sem er þyngri en bensín (dísél olíu) og hafa hærri þrýsting eldsneytisins þannig að ekki þarf neista til íkveikju þess. Með því nær hann enn hærri nýtni en bensínvélar þeirra Benz og Daimlers.

2.3 Nýtni þá og nú

Nýtni hreyfilsvéla hefur aukist stöðugt og stöðugt í takt við þróun þeirra í gegnum tíðina. Hér skal tekið fram að nýtnitölurnar nefndar í þessum kafla eiga einungis við um vélarnar sjálfar, ekki heildarnýtni farartækja, nema annað sé tekið fram.

Gufuvél Newcomens frá 1705 sem nefnd var hér að ofan hafði einungis nýtnina 1%. Árið 1821 tekst Skotánur James Watt að auka nýtni Newcomen gufuvélarinnar upp í 4%. Það var gufuvélinni hins vegar fjötur um fót hvað nýtni varðar, að hún þarfnaðist ytra brunahólfs er orsakaði aukna þyngd, mikið rúmtak og mikið varmatap.

Fyrsta fjögura-högga vél byggð á hönnun Ottos (1876) gékk fyrir gasi. Vélin var fyrir kyrrstæða notkun og rúmmál hennar því frekar stórt en hún hafði nýtnina 16% og var hljóðlátari en vélar höfðu verið fram að þessu. Otto tryggði sér einkaleyfi á vélinni og hún náði nánast samstundis ráðandi stöðu á markaði fyrir kyrrstöðuvélar. Það má ætla að nýtni véla sem Benz og Daimler notuðu í fyrstu faratækini síni hafi verið ívið hærri.

Fyrsta tilraunavél Diesels notaði steinolíu sem eldsneyti og hafði nýtnina 26% á tilraunastofunni.

Vélar í bílum í dag eru, eins og nefnt var í fyrri kafla, í grundvallaratriðum eins og vélar þeirra kumpána.

Nýtnin hefur hinsvegar aukist með nýrri tækni og efnum. [3], [4], [5]

Í töflu 1 er gefið yfirlit yfir þróun nýtni hreyfilsvéla í bifreiðum. Hér er ekki gerður greinarmunur á dísél og Otto vélum.

Tafla 1: Taflan sýnir nýtniþróun brunahreyfilsvéla í bifreiðum. (Nýtnin eingöngu fyrir vélarnar sjálfar, ekki ökutækið sem heild. [7])

Ár	1902	1912	1923	1935	1958	1975
η [%]	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0	28,0

Nýtni vélarinnar sjálfar er hins vegar ekki marktækt þegar verið er að meta nýtni farartækis sem heild. Ef við skoðum farartæki sem heild verður orkutapið eftir nokkrum mismunandi leiðum og er helsta orkutapið eftirfarandi: [6]

30-40% tapast með útblæstrinum

25-30% í gegnum kælikerfið, er sér til þess að vélin vinni við ákveðið hitastig

10-15% vegna núnings

2-8% vegna hitageislunar

Þetta orkutap leiðir til lægri nýtni farartækisins sem heild.

Í töflu 2 eru nokkur dæmi um nýtni vélanna sjálfra annars vegar og svo farartækja sem heild hins vegar, eins og tæknin er í dag:

Tafla 2: Taflan sýnir þróun nýtni véla og heildarnýtni bifreiða með brunahreyfilsvélum. [10]

Tegund bifreiðar (m.v. árgerðir 2002)	Nýtni vélarinnar	Heildarnýtni bifreiðarinnar
Bensín með blöndungi	21,0 %	18,2 %
Bensín - bein innspýting / 5 gíra beinskiptur	23,6 %	21,0 %
Bensín - bein innspýting / 5 gíra sjálfskiptur	25,2 %	22,6 %
Dísel - bein innspýting / 5 gíra beinskiptur	26,6 %	23,6 %
Dísel - bein innspýting / 5 gíra sjálfskiptur	28,5 %	25,5 %

Eins og sést á listanum hér að ofan yfir helstu orkutapsleiðirnar, verður helsta orkutapið vegna varmataps. Mikið af rannsóknum eru nú í gangi þar sem verið er að athuga möguleikana á að minnka varmatapið frá brunahreyfilsvélum og hækka þannig hámarks fræðilega nýtni þeirra.

Hæsta fræðilega nýtni vélarinnar fæst við að hámarka bunahitastig eldsneytisins í brunahólfinu og á sama tíma að lágmarka varmatap. Rannsóknir og þróun sem stefna að því að hámarka nýtni brunahreyfilsvéla (high efficiency engines) beinast því að þessum tveimur þáttum.

Sem dæmi má nefna:

- **Að finna eldsneyti er brennur við sem hæst hitastig**
- **Að minnka orku er tapast sem varmi með útblæstrinum:**
 - Lækka hitastig útblásturs með hámarks þenslu gassins er verður til við bruna eldsneytisins í brunahólfinu. Þetta krefst aukins hlutfalls milli rúmtaks í brunahólfinu þegar eldsneytið er undir hámarks þrýstingi, áður en kviknar í því, og þegar stimpillinn er í lágmarksstöðu, áður en afgasinu er blásið út úr brunahólfinu. [21]
- **Að minnka orku er tapast sem varmi í gegnum kælikerfið:**
 - Nota ný efni í vélina (sérstaklega í brunahólfin) er hafa hærra hitapol en stál, s.s. keramikefni, er minnka þörf á kælingu. [7]
- **Að minnka orku sem tapast vegna hitageislunar:**

- Nota efni í vélina sem leiða illa varma eða einangra þá hluta vélarinnar sem af stafar mest hitageislun.

Þar að auki verður að sjálfsögðu einnig eitthvert orkutap vegna annarra parts bifreiðarinnar er tengjast ekki vélinni. Aðgerðir og þróun til að minnka þetta orkutap er hinsvegar sú sama, óháð hvaða eldsneyti bifreiðin notar. Sem dæmi má nefna:

- Að minnka orku er tapast vegna núnings
- Minnka orkupörf ljósa- og annars búnaðar
- Að minnka þyngd bifreiðarinnar
- Að auka gæði dekkja

2.4 Sprengihreyfilsvélar - bensín bílar

Fræðileg hámarksnýtni fyrir sprengihreyfilsvélar með neistakveikju er reiknuð út frá fræðilegum kjöraðstæðum, sem lýst er með módeli kallað Otto cycle. (Sjá jöfnur og útreikninga í viðauka 1). [27]

Samkvæmt útreikningum sem miða við núverandi tæknilega stöðu bensínvéla (þjapphlutfall 7-10:1) [22/24/27] er fræðileg hámarksnýtni 60%.

Meðaltalsnýtni véla bensín knúinna bifreiða í dag er hins vegur um 21-25% en um 18-23% heildarnýtni fyrir bílinn allan. [23]

2.5 Brunahreyfilsvélar - dísil bílar

Fræðileg hámarksnýtni fyrir brunahreyfilsvélar með þjöppuíkveikju er reiknuð út frá fræðilegum kjöraðstæðum, sem lýst er með módeli sem kallað er Diesel cycle. (Sjá jöfnur og útreikninga í viðauka 2) [27]

Samkvæmt útreikningum sem miða við núverandi tæknilega stöðu dísilvéla (þjöppunarhlutfall 15-23:1.[22/24/25/27] og cut-off ratio 1,5-5:1 [25/26/27]) er fræðileg hámarksnýtni 69%.

Í dag er hámarksnýtni sem náðst hefur úr farartæki með brunahreyfilsvél 52%, en það var í 90.000 hestafla dísil skipsvél. [7]

Fyrir landsamgöngur eru heimildir hins vegar almennt sammála um að meðaltalsnýtni véla dísil bifreiða í dag sé 26-32% en um 24-26% heildarnýtni fyrir bílinn allan. [23]

Nýtni nokkurra dísilknúinna strætisvagna í eigu Strætó bs í Reykjavík var mæld á vegum ECTOS verkefnisins árið 2004, sem unnið var á vegum fyrirtækisins Íslenskrar NýOrku, Iðntæknistofnunar, Háskóla Íslands, Norsk Hydro, Shell og DaimlerChrysler, meðal annarra. [13]

Dísilvagnarnir er mældir voru eru af gerðinni Scania Omnilink CL94UB 4x2 Citybus, sem er Euro-3 staðals vagnar en á leiðakerfi Strætó á höfuðborgarsvæðinu eru í dag notaðir 10 Euro-2 staðals vagnar og 60 Euro-3 staðals vagnar. Gefa staðlarnir til kynna skilyrði er vagnarnir uppfylla, bæði varðandi mengun og orkunýtni. Því hærri staðaltala því minni mengun og hærri nýtni¹.

¹ Útblástursstaðall fyrir m.a. rútur og strætisvagna. (Euro 2 standards (EC 96): Directives 94/12/EC or 96/69/EC, Euro 3/4 standards (2000/2005): Directive 98/69/EC, further amendments in 2002/80/EC (sjá t.d. á netsíðum: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php> og http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/1998/l_350/l_35019981228en00010056.pdf))

Mæling á orkunotkun dísilvagnanna leiddi í ljós heildarnýtni fyrir vagnanna upp á 32% en samkvæmt Scania (framleiðanda Scania vagnanna) hafa Scania CL94 vagnarnir vélarnýtnina u.þ.b. 42% og heildarnýtnina u.þ.b. 38%. Þessi munur á mældri og uppgefinni nýtni sýnir að ýmis utanaðkomandi atriði hafa áhrif á hana, svo sem aksturslag bílstjórans, hitastig o.s.frv. Það má gera ráð fyrir að nýtnin sem framleiðandinn gefi upp sé miðuð við kjör aðstæður og orkusparandi aksturslag. [13]

3. Vetnistæknin

3.1 Inngangur

Í þessum kafla mun stuttlega litið á þróun vetnistækninnar og nýtni hennar.

Minna skal á að vetnisbifreiðar eru í raun rafmagnsbílar er “geyma rafmagnið á formi vetnis”, þ.e. efnarafalinn vinnur rafmagn úr vetninu, sem svo knýr áfram rafmagnsmótor. Við það að geyma rafmagnið sem vetni í stað þess að geyma það í batterii eykst sú vegalengd sem bíllinn getur ekið á einum tankfylli og styttir auk þess áfyllingartímann miðað við hleðslutíma batterís. Til gamans má geta að það tekur um 3-4 mínútur að fylla 50 l tank í fólks-vetnisbíl, á móti 4-8 tímum er tekur að fullhlaða tómt batterí í flestum rafmagnsbílum á markaðnum í dag.

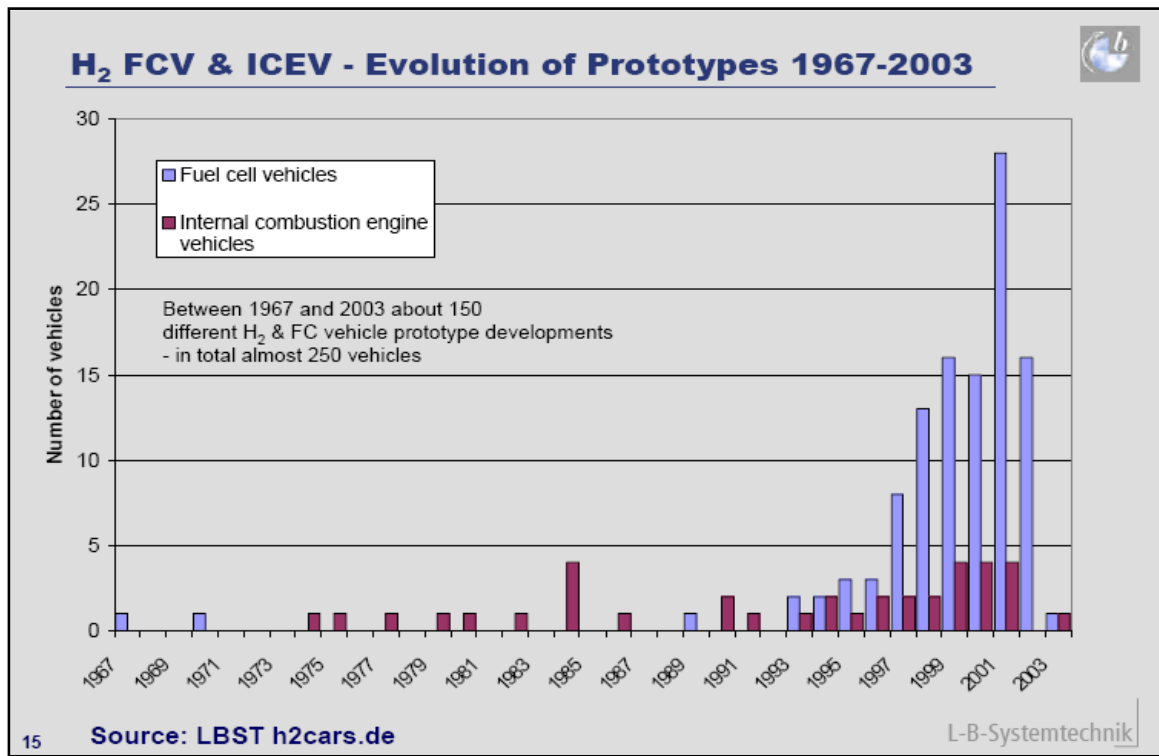
Dreginn verður upp rammi fyrir fræðilega hámarksnýtni vetnisbifreiða með efnarafölum en einnig mun mæld nýtni þriggja vetnisvagna í Reykjavík skoðuð.

3.2 Tilurð, þróun og nýtni

Fyrsta tilfelli sem vitað er um að vetni hafi verið notað í þágu mankyns var árið 1783 þegar Jacques Alexandre César Charles notaði vetni til að lyfta og fljúga loftbelg. Fram að þessu hafði vetni að mestu verið framleitt með því að láta brennisteinssýru (H_2SO_4) hvarfast við járn (Fe), en um aldamótin 1800 kom fyrst fram á sjónasviðið sú tækni að kljúfa vatn í frumeindir sínar, súrefni og vetni, með rafmagni; rafgreining vatns.

Hvað varðar efnarafala er Sir William Grove nefndur faðir þeirrar tækni. Hann gerði tilraunir með að snúa við efnaferlinu sem verður við rafgreiningu vatns og tókst honum það fyrst árið 1839.

Á millistríðsárunum var vetni notað að einhverju marki sem eldsneyti á vörubíla í Þýskalandi, en það var þá brennt í brunahreyfilsvélum. Vetni í efnarafölum var notað í Gemini og Apollo geimskutlum NASA á 7. áratug síðustu aldar en eins og sést á eftirfarandi mynd fóru rannsóknir á vetnisbifreiðum með efnarafölum ekki að takast á flug fyrir en snemma á 10. áratugnum. [8]



Mynd 2: Fjöldi rannsóknarfrumgerða af vetnisbifreiðum, með brunahreyfilsvélum annars vegar og efnarafólum hins vegar, eftir árum. [9]

Nú eru ýmis verkefni í gangi, þar sem verið er að prófa og rannsaka þessa nýju tækni, bæði í strætisvögnum og minni bifreiðum, og er áætlað að nýtni bifreiða sem nýta vetni í efnarafala sé 56,6% fyrir vélina sjálfa, og 44,3% fyrir ökutækið sem heild. Þessar nýtnitölur eru eins hvort sem ökutækið gengur fyrir vetni í gasformi eða vökvagerðu vetni. [10] Ýmsir vinna að því að auka þessa nýtni og hefur t.d. Bandaríkjastjórn sett fram það markmið að ná fram 60% lágmarksnýtni í vetnisbifreiðum fyrir 2010. [12]

3.3 Vetnisvagnar í Reykjavík

Í þessum kafla munu kynntar niðurstöður nýtnimælinga á Fuel Cell Citaro vetnisvögnum frá DaimlerChrysler, árgerð 2003. Þrír slíkir vagnar hafa verið í prufukeyrslu í almennri umferð á leiðakerfi Strætó bs í Reykjavík í nokkur ár á vegum ECTOS verkefnisins, sem unnið var á vegum fyrirtækisins Íslenskrar NýOrku, Iðntæknistofnunar, Háskóla Íslands, Norsk Hydro, Shell og DaimlerChrysler, meðal annarra. 27 aðrir slíkir vagnar hafa einnig verið prufukeyrðir og mældir í 9 öðrum borgum í Evrópu á vegum Evrópuverkefnisins CUTE (Clean Urban Transport for Europe).

Áður en mæld nýtni þessara vagna er kynnt skal tekið fram og undirstrikað að þessir vagnar voru ekki smíðaðir með því markmiði að hámarka nýtnina heldur til að sýna fram á að þessi nýja tækni væri nothæf og áreiðanleg í almennri notkun. Niðurstöður og reynsla af notkun þessara vagna á að nota í það að bæta nýtni næstu útgáfu Citaro Fuel Cell vetnisvagna. Sú mælda nýtni sem fram kemur í þessum kafla er því ekki marktæk sem viðmið eða til samanburðar við hefðbundna dísilvagna sem eiga sér nú þegar langa sögu. Nýtni vetnistækninar mun því skoðuð í stærra samhengi í næsta kafla.

Eins og áður hefur verið nefnt hafa þrír Citaro vetnisvagnar verið í keyrslu í almenningssamgöngukerfi Reykjavíkur frá miðju ári 2003. Dagana 3.-6. maí 2004 fór fram prufukeyrsla vagnanna þriggja ásamt tveimur díselvögnum til viðmiðunar. Út frá orkunotkun vetnisvagnanna þessa daga var unnt að reikna nýtni þeirra og var mæld

meðalnýtni þeirra 51% fyrir efnarafalann, 55% fyrir aðra vélhluta og þá 28% fyrir vagnanna sem heild. [13]

Nýtnin hefur einnig verið mæld í Citaro vögnunum á vegum CUTE verkefnisins og í þeim vögnum kom einnig fram nýtnin 20-30%. [14]

Á mynd 3 er sýnt yfirlit yfir orkutap í vélakerfi Citaro '03 vetnisvagnanna.

Power Dump er orka sem tapast vegna þess að straumur vetnis í gegnum efnarafalann þarf að vera stöðugur til að koma í veg fyrir uppsöfnun vatns. Þar af leiðandi eyðist vetni þó ekki sé álag á vélina.

Verið er að þróa efnarafalann þannig að þessa gerist ekki þörf og við það minnkar vetnisnotkunin um allt að 15%. [14]

Tapið í efnarafalanum sjálfum eru vegna svokallaðs pólunar taps (polarisation losses). Þessi pólun er aðalega þrens konar:

1. Virkjunar pólun (Activation polarisation) verður þegar straumfærsla milli rafskautsins og raflausnarinnar er of hæg. Þá fer hluti rafskautsnýtninar til spillis við það að knýja yfirfærslu rafeindanna upp í það magn sem rafstraumspörfín krefst.

Þessi pólun fer eftir þeim efnum er rafskautið og raflausnin eru úr og samspilinu þeirra á milli. Hana má minnka með því að hækka hitastigið sem efnarafalinn vinnur við, stækka virkt yfirborð rafskautsins, eða auka virkni rafskautanna með viðeigandi efnahvötum.

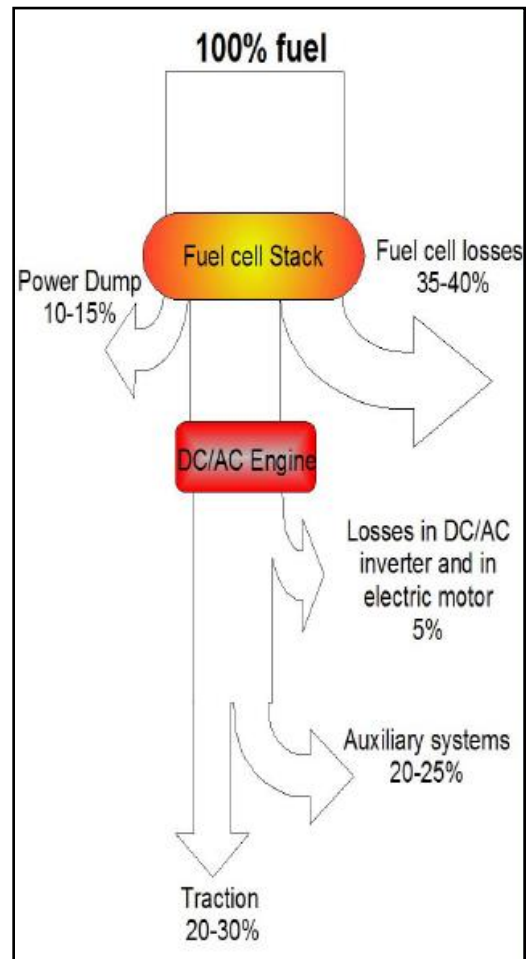
2. Þéttni pólun (Concentration polarisation) verður vegna fræðilegra takmarkanna á dreifingargetu eða streymi rafvirkra agna í raflausninni. Það veldur skorti á tilvist þessara agna í návist rafskautsins. Og þar sem verkun rafskautsins krefst stöðugar viðurvist rafvirkra agna er geta annað hvort þegið eða lánað rafeindir til að viðhalda stöðugum rafstraum, veldur skortur rafvirkra agna við rafskautið lækun á framleiðslugetu rafstraums í efnarafalanum.

Fræðileg dreifingargeta í raflausninni fer eftir samsetningu hennar.

3. Ohm pólun (Ohmic polarisation) verður vegna raffræðilegs viðnáms í hinum mismunandi efnum og hlutum efnarafalans. Til að minnka tap vegna þessa þarf að velja efnin í rafskautin, raflausnina, tengi og leiðslur með sem mestri eðlisleiðni og staðsetja rafskautin með sem minstu millibili til að minnka viðnámið í raflausninni.

Orkutap vegna ofanefndra pólana og þar af leiðandi minnkun á nýtni, eykst með hækkingu álagi á vélina og efnarafalann. [11]

U.þ.b. 5% heildarorkutapsins í vetnisvögnunum verður vegna þarfar á spennubreytingu milli riðstraums og jafnstraums. Spenna ljósabúnaðar, hurðaoþnara, loftræstikerfis og annarra slíkra er ekki sambærileg þeirri er kemur úr efnarafalanum. Rafstraumurinn þarf því að



Mynd 3: Orkutap í vélakerfi Citaro vetnisvagnanna. [14]

fara gegnum spennubreyti til að þjóna þessum kerfum og þar tapast þónokkur orka. Þessu orkutapi má útrýma með því að gera þessi tvö kerfi sambærileg.

Að lokum tapast einhver orka í öðrum hlutum vagnsins, legum, dekkjum og þess háttar, á sama hátt og í hefðbundnum díselvögnum. Til að auka nýtni vetnisvagnanna miðað við díselvagna er því ljóst að það þarf að þróa þá hluta vetnisvagnanna er tengjast vetnistækninni beint. Ný tækni er lánmarkar orkutap í öðrum hlutum vagnanna er í stöðugri þróun og þjónar þá til minnkunar á orkutapi í bæði vetnis- og díselvögnum. [14]

3.4 Nýtni vetnisvagna almennt

Nýtnitölurnar fyrir Citaro '03 vagnana er kynntar voru í síðasta kafla eru mun lægri en hin almenna nýtnitala sem miðuð er við fyrir vetnistækni í dag, þ.e. 56,6% fyrir vélina, og 44,3% fyrir ökutæki sem heild. Þetta er mæld nýtni fyrir nýjustu tæknina. Eins og áður sagði er skýringin á þessum nýtnimun sú að Citaro vagnarnir sem notaðir voru í ECTOS og CUTE verkefnum, voru framleiddir með það fyrir augum að prófa tæknina til að sýna fram á að hún væri nothæf í almennri notkun og aðstæðum en ekki til að hámarka nýtnina. Hámarks nýtnin er hinsvegar veigamikill þáttur í hönnun og framleiðslu nýrri móðela og er þá einmitt byggt á reynslunni af notkun Citaro '03 vagnanna.

Í þessu sambandi er þá áhugavert að athuga fræðilega hámarksnýtni efnarafala. Höfuðkostur efnarafala í þessu sambandi er að breyting varmagildisins (enthalpy) verður ekki eingöngu vegna losunar hita, eins og í varmavél, heldur vegna straums rafeinda. Hér er því um að ræða beina efnafræðilega umbreytingu í raforku, óháð hitastigstakmarkanna Carnot. Þess utan eru engir hreyfanlegir partar í efnarafalanum þannig að ekki tapast orka við núning. Þar af leiðandi er fræðileg hámarksnýtni efnarafala samkvæmt rafefnafræðilegri nýtnijöfnu² mjög há eða um 90-95%. [11] Orkutap vegna pólnar í efnarafalanum, nefnd hér að ofan, gera það að verkum að yfirleitt er reiknað með hámarksnýtni í efnarafalaum 83%. [16] Hér er eingöngu um að ræða nýtni efnarafalans sjálfs og ekki reiknað með tapi í öðrum hlutum vélarinnar. Þar sem hér er hins vegar verið að skoða *fræðilega* hámarksnýtni, eins og með bruna/sprengihreyfilsvélarinnar í fyrri köflum, mun nýtnin 95% notuð hér, en 83% höfð með til viðmiðunar.

Hámarks fræðileg nýtni rafmótora er almennt talin vera um 95% [30/31/32] og nýtni spennubreytis um 98%. [33]

Hámarks fræðileg nýtni drif-kerfis í vetnisfarartæki með efnarafala er þá um **88%** ef reiknað er með 95% fræðilega hámarksnýtni efnarafalans en um 77% ef reiknað er með þeirri nýtni 83%.

Ef borin er saman fræðileg hámarksnýtni efnarafala (95%/83%) og mæld nýtni efnarafalanna í ECTOS vögnunum (51%) sést að það er mikill möguleiki á bætingu nýtninnar. Einnig ætti að vera möguleiki á að bæta nýtni annarra vélarhluta er mældist 55%, bæði með þróun núverandi tækni og einnig með að bæta við ýmis konar hybrid-tækni. Mæld heildarnýtni ECTOS vagnanna upp á 28% hefur því mikið svigrúm til þróunar miðað við fræðilega hámarksnýtni vetnisknúns drif-kerfis með efnarafala gefin upp hér að ofan (88%/77%).

Orkustofnun Bandaríkjanna (U.S. Department of Energy) hefur sett sér sem markmið að framleidd sé vetnisbifreið með heildarnýtnina $\geq 60\%$ fyrir 2010. [12]

Ef við hins vegar miðum við þá nýtnitölu sem almennt er miðað við í dag fyrir heildarnýtni vetnisökutækis með efnarafala, sem er 44%, er nýtingin búin að þróast úr 28% (mæld

² Jafnan fyrir fræðilega hámarksnýtni efnarafala er: $E_{\max FC} = \Delta G_T / \Delta H_0$ þar sem ΔG_T er breyting frírrar orku rafeindastraumsins við rekstrarhitastig efnarafalans og ΔH_0 er breyting varmagildisins (enthalpy) við bruna eldsneytisins við fyrirfram skilgreindar staðalaðstæður. [11]

heildarnýtni ECTOS vagnanna frá 2003), í 44%, þ.e. 16% hærrí nýtni á u.þ.b. 5 árum. Þróunin er því augljóslega hröð á þessu sviði.

4. Vetni og dísil - samanburður nýtnimöguleika

Eins og áður hefur komið fram er ætluð varmafræðileg hámarksnýtni sprengihreyfilsvéla fyrir bensín um 60% samkvæmt Otto Cycle og varmafræðileg hámarksnýtni brunahreyfilsvélar samkvæmt Diesel Cycle um 69%. Þessa hámarksnýtni væri, eins og áður hefur verið nefnt, e.t.v. hægt að auka við það að nota eldsneyti er brennur við herra hitastig en olía og nota hitapólnara efni en stál í vélina.

Meginorkutap í ökutækjum með sprengi- og brunahreyfilsvélum verður gegnum hitatap með útblæstri (um 40%) og í gegnum kælikerfi vélarinnar (um 30%). Ýmsar rannsóknir og þróun fer hins vegar fram á vegum bílaframleiðenda til að minnka þetta orkutap og hámarka nýtnina. Hér má nefna ýmsa hybrid möguleika og einnig kerfi er endurnýta hitan í útblæstrinum og kælikerfum. Talið er að nýtni brunahreyfilsbíla hækki um u.þ.b. 1% á ári. [15/16]

Meðaltalsnýtni véla bensín knúinna bifreiða í dag er hins vegur um 21-25% en um 18-23% heildarnýtni fyrir bílinn allan. [23] Miðað við fræðilega hámarksnýtni sprengihreyfilsvélar 60% er þá rými fyrir þróun nýtninnar 35%.

Fyrir landsamgöngur með dísilknúnum brunahreyfilsvélum eru heimildir almennt sammála um að meðaltalsnýtni vélanna í dag sé 26-32% en um 24-26% heildarnýtni fyrir bílinn allan. [23] Miðað við fræðilega hámarksnýtni brunahreyfilsvélar 69% er þá rými fyrir þróun nýtninnar 37%.

Með grundvöll í 30% nýtni farþegabifreiða árið 2004 og 40% nýtni fólks- og vöruflutningabifreiða árið 2002, hefur Bandaríkjastjórn sett sér það markmið að ná fram 45% nýtni í farþegabifreiðum fyrir árið 2012 og 55% nýtni í stærri fólks- og vöruflutningabifreiðum fyrir 2013. Nýtniþróun af þessari stærðargráðu myndi leiða til 10-15% minni eldsneytisnotkunar. [15]

Snúum okkur þá að vetnistækni. Áður hefur verið nefnt að fræðileg hámarksnýtni efnarafala sé á bilinu 83-95% en eins og með sprengi- og brunahreyfilsvélarnar væri e.t.v. hægt að hækka þessa tölu með tilkomu nýrrar tækni og efna. [11/16]

Í dag er miðað við 56,6% efnarafalans og 44% fyrir farartækið sem heild. Miðað við 95% fræðilega hámarksnýtni er svigrúm til nýtniþróunar um 38% en 26% ef miðað er við fræðilega hámarksnýtni 83%.

Samkvæmt heimildum er nýtni rafmótora og spennubreyta nálægt hámarksnýtninni, sem veitir ekki mikið svigrúm til nýtniþróunar. [30/31/32/33]

Í vetnisbifreiðum, eins og með sprengi- og brunahreyfilsbifreiðar, er að sjálfsgöðu einnig möguleiki á að auka nýtni með því að minka orkuþörf og orkutap í öðrum hlutum bifreiðarinnar en þeim er tengjast vélinni, svo sem ljósabúnaðar, viðnám hreyfanlegra parta og dekk.

Markmið Bandaríkjastjórnar um að framleiða vetnisbifreið með nýtnina $\geq 60\%$ fyrir 2010, veitir þá enn þó nokkuð svigrúm til hámarkunar nýtninnar.

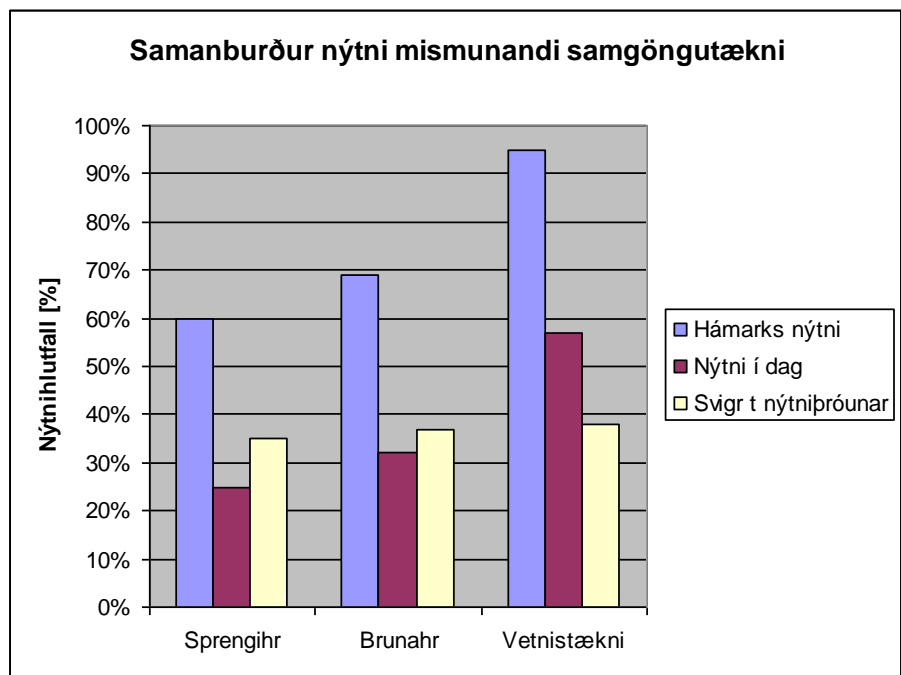
Eftirfarandi tafla 3 veitir yfirlit yfir nýtnitölur athugaðrar tækni.

Tafla 3: Taflan gefur yfirlit yfir samanburð nýtnitalna sprengi- og brunahreyfistækni ásamt vetnistækninni

	Sprengihreyfils-vél - bensín		Brunahreyfils-vél - dísil		Vetnistækni			
	Vélarinnar	Bifreiðarinnar	Vélarinnar	Bifreiðarinnar	Efnarafali	Spennubreytir	Rafmagsmótor	Bifreiðarinnar
Hámarks Fræðileg nýtni	60%	-	69%	-	83-95%	98%	95%	-
Nýtni í dag	21-25%	18-23%	26-32%	24-26%	56,6%	-	-	44%
Svigrúm til nýtniþróunar	35%	-	37%	-	38%	-	-	-

Það er áhugaverð niðurstaða að svigrúm til nýtniþróunar er mjög svipuð hjá þessum þremur mismunandi kostum en hins vegar skal ekki gleyma að fræðileg hámarksnýtni vetnistækninnar er þó nokkuð hærri en hinna tveggja valkostanna eða 26-35% hærri.

Út frá sjónarmiði þess að hámarka nýtingu eldsneytisins, þegar einungis er tekið tillit til farartækisins en ekki framleiðslu eldsneytisins, er vetnistæknin besti kosturinn. Vetni er hins vegar eldsneyti sem þarf að framleiða á einhvern hátt. Orku- og fjárhagsleg hagkvæmni er afar breytileg eftir framleiðsluaðferðum en einn af kostum vetnis er fjöldi mögulegra framleiðslumöguleika.



Mynd 4: Samanburður nýtni hinna mismunandi véla sem skoðaðar hafa verið. Gildi fyrir vetnistæknina eiga við efnarafala

Það fer eftir orkuumhverfi og því hráefni sem er fánlegt á hverjum stað fyrir sig hvaða leið er hagkvæmust. Fyrir Ísland er rafgreining vatns til vetnisframleiðslu talinn fýsilegur kostur því bæði er hráefnið rafmagn auðveldlega tiltækt hér en einnig gefur þessi framleiðsluaðferð möguleika á hreinu og umhverfisvænu orkuferti í samgöngum (samkv. skilgreiningu á raforku landsins sem hreinni og umhverfisvænni).

Vetni er hins vegar hægt að framleiða úr jarðefnaeldsneyti, s.s. náttúrugasi, úr lífrænum efnum með gerjun og gösun og ýmsar aðrar framleiðsluaðferðir eru í stöðugri þróun.

5. Ytri breytur og áhrif þeirra [13/14]

5.1 Inngangur

Í þessum kafla munu athuguð áhrif ýmissa ytri þátta á nýtni vetnisvagna svo sem hitastigs og seltustigs. Upplýsingum um orkunotkun vagnanna í almennri keyrslu og við mismunandi aðstæður var safnað bæði í gegnum ECTOS- og CUTE-verkefnið. Mælingar og niðurstöður þessara athuganna eru greindar hér á eftir.

Tölulegar upplýsingar um orkunotkunina sjálfa eru ekki gefnar upp hér þar sem að það eru trúnaðarupplýsingar.

5.2 Veðurfar

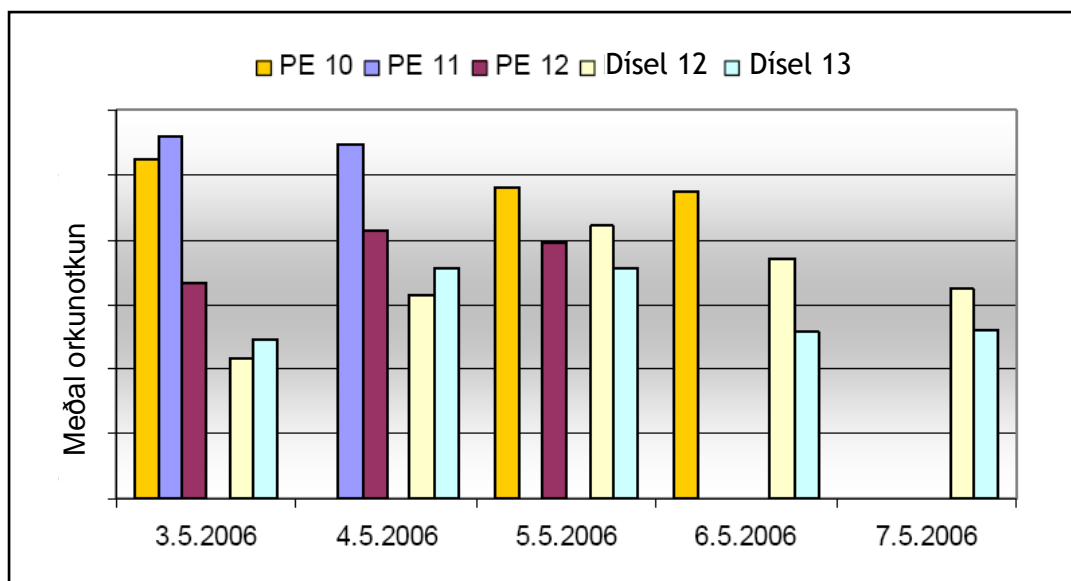
Eins og áður hefur verið nefnt fóru fram mælingar á vetnisvögnum í Reykjavík á vegum ECTOS verkefnisins 3.-6. maí 2004. Mæld orkunotkun vagnanna er hægt að bera saman við mismunandi veðurskilyrði þá daga sem mælingarnar fóru fram.

Í töflu 4 hér á eftir er gefið yfirlit yfir hitastig, vindhraða og rakastig þá daga. Mælingarnar eru af mælitækjum við Veðurstofu Íslands í Reykjavík og voru skráðar einu sinni á klukkustund.

Tafla 4: Taflan sýnir yfirlit yfir veðurskilyrði dagana 3.-6. maí 2004. [13/17]

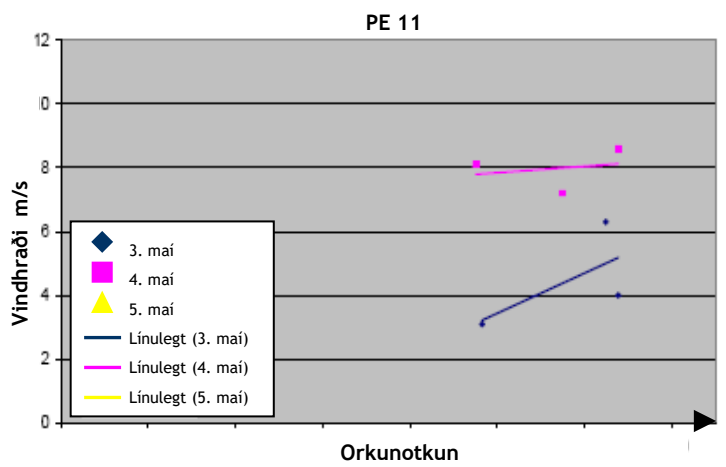
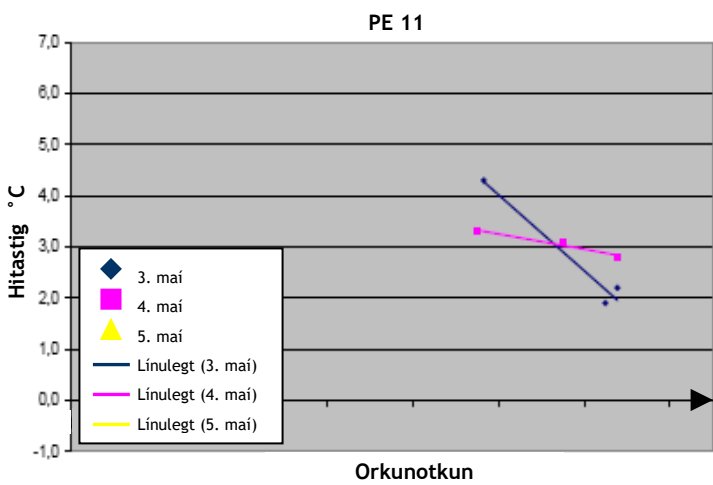
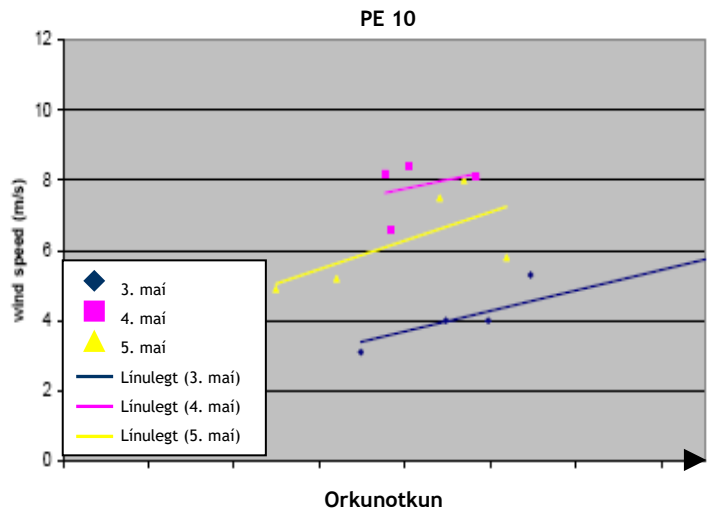
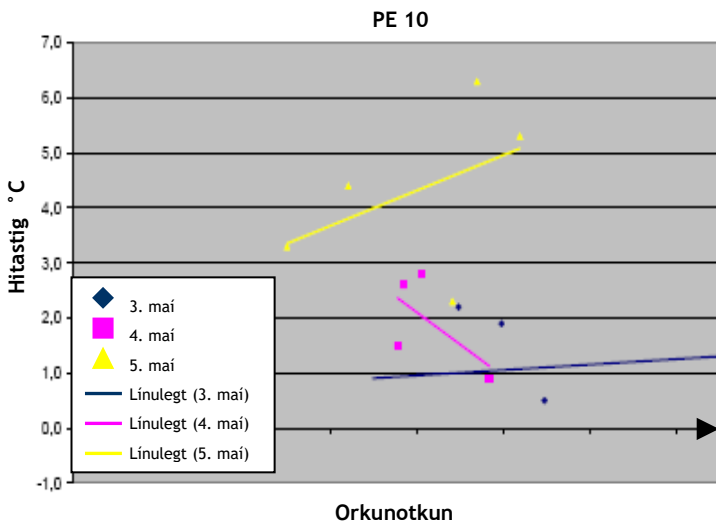
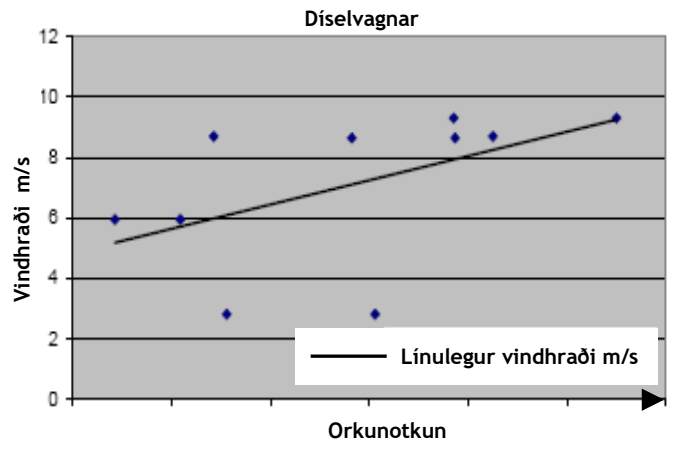
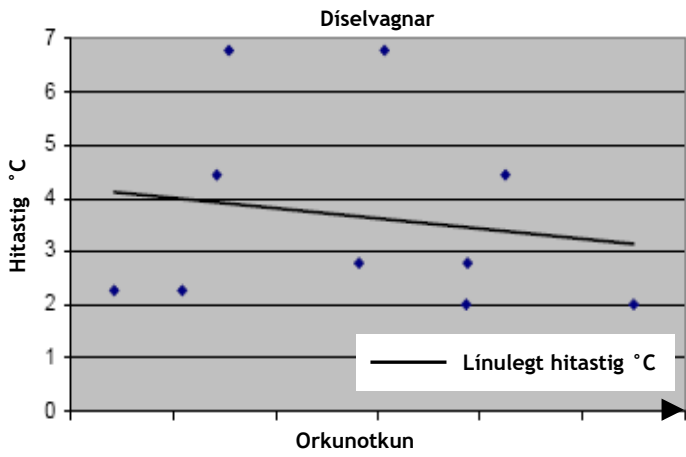
	3. maí 2004	4. maí 2004	5. maí 2004	6. maí 2004
Hitastig	0,1 - 4,5 °C	1,6 - 3,6 °C	0 - 3,5 °C	2,0 - 7,2 °C
Minnsti vindhraði	2,4 m/s	8,0 m/s	8,5 m/s	7,2 m/s
Mesti vindhraði	8,5 m/s	9,2 m/s	10,9 m/s	9,7 m/s
Rakastig	54-59%	45-70%	51-67%	62-70%

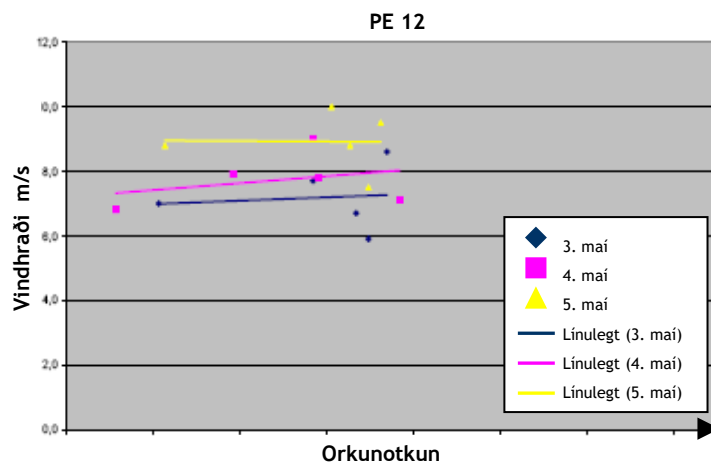
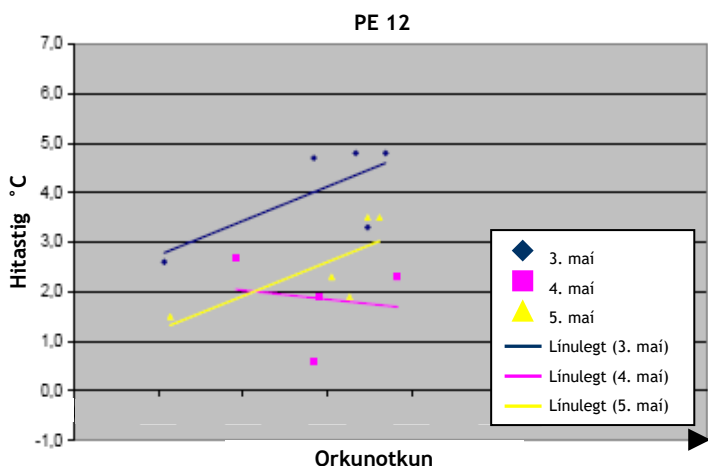
Til viðmiðunar sýnir mynd 4 hlutfallslega orkunotkun vagnanna þessa daga. (PE 10-12 tákna vetnisvagnanna þrjá.)



Mynd 4: Hér er veitt yfirlit yfir hlutfallslega orkunotkun vetnis- og díselvagnanna þá daga sem þeir voru mældir. [13]

Hér á eftir fara gröf yfir orkunotkun miðað við hitastig og vindhraða. Þar koma ekki fram nein tengsl milli orkunotkunar og hitastigs, en í öllum tilvikum sýndu sig einhver tengsl milli vaxandi vindhraða og vaxandi orkunotkunar. [13]





Í prufukeysrslum CUTE verkefnisins var vindhraði ekki mældur, en þar kom fram að hitastig undir 0°C og yfir 18°C yllu hærri orkunotkun. Það er hins vegar aðalega vegna þess að þá gerist þörf á hitun annars vegar, og kælingu hins vegar, fyrir farþegarýmið, sem krefst aukinnar orku.

Sú aukna orkunotkun sem fer í að hita farþegarými vagnanna á köldum dögum mætti minka með því að nýta afgangshita frá efnarafalanum beint til upphitunar rýmisins, í stað þess að nýta rafmagn framleitt af efnarafalanum til að framleiða hita.

Til að vinna á móti aukinni orkunotkun vegna áhrifa vindhraða, mætti ef til vill vinna með form vagnanna og auka mögulega straumlínlögun með tilliti til loftstrauma og vindmótstöðu.

5.3 Selta

Að athuga seltustig í lofti er áhugavert í þessu sambandi vegna þess að virkni efnarafalans er viðkvæm fyrir saltmengun. Ekki er hins vegar víst að selta í lofti nái að hafa áhrif á innri virkni efnarafalans og því athyglisvert að athuga það hér.

Ekki eru til mælingar um seltu í lofti á Reykjavíkursvæðinu. Hins vegar er hægt að meta út frá vindátt, vindhraða og rakastigi í lofti hvort líkur á særóki og meðfylgjandi seltu í lofti séu miklar.

Í töflu 5 er yfirlit yfir vindátt, vindhraða, styrk vindhviða og rakastig þá daga er prófunarakstur vagnanna fór fram. Mælingarnar eru samkvæmt mælitækjum Veðurstofu Íslands á Kjalarnesi og var mælt einu sinni á klukkustund allan sólarhringinn. Niðurstöðurnar í töflunni eru eingöngu fyrir það tímabil þegar prófunaraksturinn fór fram eða frá klukkan 6:00 til 14:00 hvern dag.

Tafla 5: Þessi tafla sýnir yfirlit yfir vindátt, vindhraða, styrk vindhviða og rakastig þá daga er mælingar á vögnunum fóru fram. Mælingarnar eru úr mælitækjum Veðurstofu Íslands á Kjalarnesi. [17]

	3. maí 2004	4. maí 2004	5. maí 2004	6. maí 2004
Vindátt	N/A átt	N/A átt	N/A átt	N/A átt
Minnsti vindhraði	2,4 m/s	15,3 m/s	15,6 m/s	17,0 m/s
Mesti vindhraði	8,5 m/s	18,9 m/s	25,4 m/s	21,7 m/s
Minnsta vindhviða	16,5 m/s	25,5 m/s	28,7 m/s	28,7 m/s
Mesta vindhviða	31,8 m/s	33,6 m/s	42,3 m/s	36,3 m/s
Rakastig	54-59%	45-70%	51-67%	62-70%

Vindáttin er úr norðaustri alla daganna og stendur því af Kjalarnesinu, yfir sundin og inn yfir höfuðborgarsvæðið.

Samkvæmt Trausta Jónssyni veðurfræðingi við Veðurstofu Íslands þarf styrkur vindhviða að ná 18 m/s svo að til komi eitthvert særok og verður það nokkuð samfellt ef meðalvindur er yfir 23 m/s. Í Töflu 5 sést að styrkur vindhviða nær yfir 18 m/s alla þá daga sem verið er að skoða hér. Hins vegar er 5. maí eini dagurinn þar sem vindhraði nær yfir 23 m/s.

Rakastig í lofti er ekki mjög hátt neinn af dögnum og af því má leiða þá ályktun að útskolun á salti úr andrúmsloftinu sé ekki mikil. [17]

Byggt á framangreindum upplýsingum má því ætla að eitthvert særok hafi verið alla daganna en mest 5. maí. Seltustig í lofti hafi hins vegar ekki verið hátt vegna lágs rakastigs en þegar dagarirnir eru bornir saman ætti seltustig í lofti að hafa verið mest 5. maí.

Þegar tafla 5 er borin saman við orkunotkun hinna mismunandi vetnisvagna (sjá mynd 4) er erfitt að álykta um áhrif seltustig loftins á orkunotkunina. Vetnisvagn PE10 notar minni orku 5. maí heldur en 3. maí, sem er einmitt sá dagur með minnstum vindstyrk og því væntanlega minnstri seltu. Orkunotkun PE12 er hins vegar hærri 5. maí en 3. maí, en örlítið lægri 5. en 4. maí.

Hér virðast því ekki koma fram nein tengsl milli seltustigs í lofti og orkunotkunar vetnisvagnanna. Þessi tengsl þyrfti þó að rannsaka ýtarlegar þar sem seltustig var væntanlega ekki hátt þessa daga og munur milli daganna lítill.

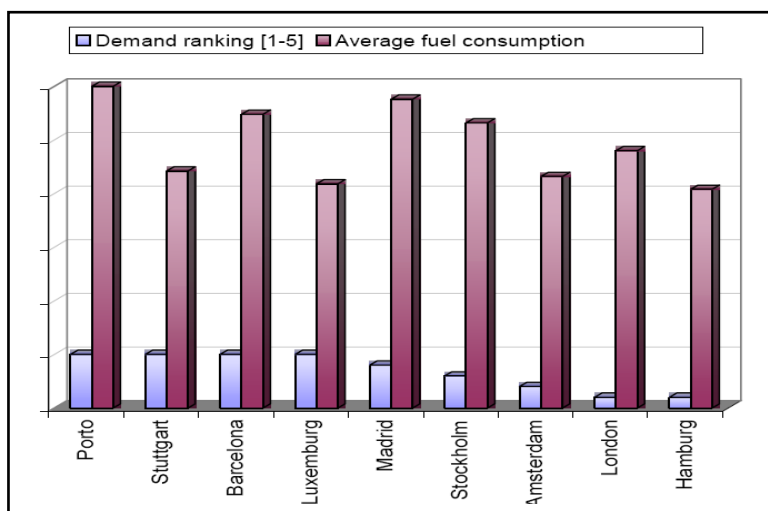
5.4 Landslag

Með landslagi er hér átt við hæðamismun (hæðir og hólar) á þeirri vegalengd sem ekið er.

Mælingar á áhrifum þessa þáttar eru til fyrir CUTE verkefnið þar sem borin var saman orkunotkun fyrir vagna í umferð í mismunandi borgum í Evrópu.

Útkoman var sú að mikill hæðamismunur getur eðlilega haft þau áhrif að orkunotkunin aukist, þar sem að meiri orku þarf til að halda hraða ökutækis upp brekku. Þetta gildir þó jafnt fyrir vetnis- og díselvagna. Þessi þáttur virtist hins vegar ekki veigamikill í heildar orkunotkun.

Mynd 5 sýnir samanburð á 9 mismunandi borgum í Evrópu. Há “Demand ranking” þýðir mikill hæðamismunur á akstursleið. Stuttgart, Lúxemborg og Barselóna eru með mestan hæðamismun á akstursleið vetnisvagnanna eða um 120-150 m. Madríd og Portó hafa hæðamismuninn 70-90 m og Stokkhólmur um 30 m sem kemur fyrir tvisvar í hverjum aksturshring. Það er því ljóst af mynd 5 að hæðamismunur vegur ekki þyngst varðandi heildarorkunotkun. [14]

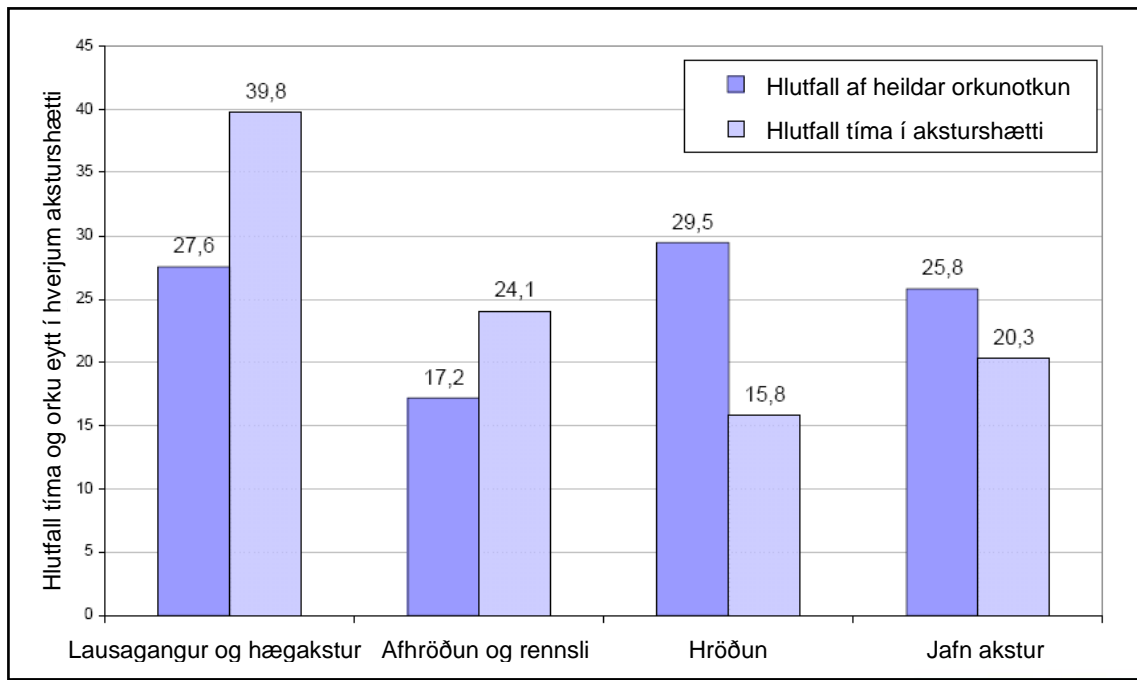


Mynd 5: Hér er orkunotkun borinn saman við hæðamismun á akstursleiðum vetnisvagna í 9 mismunandi borgum í Evrópu. [14]

5.5 Umferð

Með umferð er hér átt við umferðarpunga og hraða og fjölda stoppustöðva á hvern kílómetra.

Til að skýra hvernig þessi þáttur hefur áhrif á orkunotkun sýnir mynd 6 hlutfall orkunotkunarinnar í mismunandi akstri. Á henni kemur skýrt fram að langmest orka er notuð við hröðun miðað við það hlutfall af heildar aksturstíma sem varið er í hana. Einnig fer þónokkur orka í jafnan akstur. [14]



Mynd 6: Hér sést hlutfall orkunotkunar við mismunandi akstur miðað við þann tíma sem varið er í hvert aksturslag fyrir sig. [14]

Af niðurstöðum mælinga á orkunotkun hefur því komið fram að akstur í borgum þar sem meðalhraði er hægur vegna mikillar umferðar og þar sem eru margar stoppustöðvar, þar er orkunotkun vagnanna mun hærri en annars. [14]

Þessar niðurstöður eru kannski ekki óvæntar þar sem að svipað munstur gildir fyrir díselvagna. Það sem hins vegar er ekki sameiginlegt er sú orkunotkun sem fer í lausa- og hægagang. Orkunotkun við þetta aksturslag er mikil í vetnisvögnunum miðað við díselvagnanna. Það orsakast af hinu svo kallaða Power Dump sem skýrt er frá í kafla 3.3, þar sem straumur vetnis í gegnum efnarafalann þarf að vera stöðugur til að koma í veg fyrir uppsöfnun vatns. Þar af leiðandi eyðist vetni þó ekki sé álag á vélina. Þróun efnarafala sem hefur ekki þörf fyrir þetta stöðuga streymi vetnis myndi leiða til a.m.k. 15% sparnaðar á vetni. [14]

5.6 Áhrif ytri breyta - yfirlit

Í köflunum hér á undan hefur verið skýrt frá nokkrum ytri breytum og áhrifum þeirra á orkunotkun vetnisvagna í almennri umferð.

Til að draga saman það sem fram kom þar skal hér nefna að það sem virðist hafa mest áhrif á orkunotkun vetnisvagnanna er umferð. Við aðstæður þar sem umferð er mikil og hæg og mikið af stoppustöðvum eykst orkupörf vagnanna umtalsvert. Hitastig virðist í sjálfu sér ekki hafa áhrif á orkunotkun en ef þess gerist þörf að hita eða kæla farþegarymið eykst orkunotkun með því. Vindur virðist auka orkunotkun og hæðamismunur á akstursleið eykur orkunotkun en er ekki afgerandi þáttur í heildarorkunotkun. Ekki er á þessu stigi málsins hægt að fullyrða neitt um áhrif seltu í lofti og er það áhrifaþáttur er þyrfti að rannsaka frekar. Að svo stöddu virðist þessi þáttur þó ekki skipta miklu máli fyrir orkunotkun og nýtni efnarafalsins.

6. Orkupörf vetnissamfélags á Íslandi

6.1 Inngangur

Í þessum kafla mun áætluð hugsanleg vetnispörf fyrir landssamgöngur í framtíðar vetnissamfélagi á Íslandi. Fyrst er vetnispörfin skoðuð miðað við núverandi tækni og samgöngupörf. Síðan mun vetnispörfin skoðuð út frá áætlaðri framtíðarnýtni vetnistækninnar og einnig framtíðar samgöngumunstri.

6.2 Vetnispörf

Skoðum fyrst vetnispörf miðað við núverandi vetnistækni og samgöngur.

Út frá eldsneytisspá Orkuspánefndar fyrir árin 2005-2030 er hægt að meta eldsneytisnotkun fyrir landssamgöngur 2005. Miðað við orkuinnihald þess eldsneytis og nýtni bensín- og díselbíla annars vegar og vetnisbíla með núverandi efnarafölum hins vegar, kemur fram, að til að þjóna sömu samgöngupörf með vetnisbílum þyrfti rétt tæplega 45.123 tonn vetnis á ári. (Sjá forsendur og útreikninga í viðauka 3).

Til að framleiða slíkt magn af vetni þyrfti um 2.560.427 MWh af raforku og 451.839.999 l af vatni á ári, ef gert er ráð fyrir vetnisframleiðslu með rafgreiningu vatns.

Einnig byggt á eldsneytisspá Orkuspánefndar fyrir árin 2005-2030 hefur orkunotkun fyrir samgöngur árið 2050 verið metin í samvinnu við formann Orkuspánefndar Ólaf Pálsson. Hér er miðað við áætlaðan árlegan innflutning á bifreiðum og áætlaða nýtniaukningu bifreiða. (sjá forsendur og útreikninga í viðauka 3). Út frá völdum forsendum er gert ráð fyrir að það þyrfti 53.451 tonn vetnis árið 2050.

Til að framleiða slíkt magn af vetni þyrfti 3.032.922 MWh af raforku og 535.221.570 l af vatni á ári.

7. Niðurstöður

Efni þessarar skýrslu er í raun þrjúþætt, en tengist hver þáttur öðrum.

Fyrst var farið yfir þróun og nýtni sprengi- og brunahreyfilsvéla annars vegar og þróun og nýtni vetnistækni í samgöngum hins vegar.

Sem heildarniðurstöðu þessa verkefnis má segja að vetnistæknin feli í sér spennandi möguleika á hærri nýtingu orkunnar í landssamgöngum. Miklar rannsóknir eru í gangi innan þessa sviðs og tækniþróun örari nú en nokkru sinni fyrr í sögu okkar. Því má ætla að framfarir komi hraðar og fyrr en verið hefur í rúmri hundrað ára sögu brunahreyfilsbifreiðanna.

Hins vegar kom það höfundu á óvart hvað núverandi nýtni sprengi- og brunahreyfilsvéla er enn lágt miðað við áætlaða varmafræðilega hámarksnýtni. Eftir langa sögu þessarar tækni er nýtni vélanna enn undir helmingi af áætlaðri hámarksnýtni á meðan nýtni efnarafala er nú þegar komin yfir það stig. En eins og með vetnistækni sviðið fara einnig miklar rannsóknir fram á hámarksnýtni í hefðbundnum bifreiðum með sprengi- og brunahreyfilsvélum og margir spennandi möguleikar að koma til. Hér má nefna tvinnbílana, nýtingu bremsuorkunnar og blöndun bensíns með etanóli.

Eins og sést á eftirfarandi töflu 6 og mynd 7 (úr kafla 4) gerir há nýtni vetnistækninnar, nú þegar í dag, það að verkum að svigrúm til nýtniþróunar er mjög svipað fyrir hreyfilsvélarnar og vetnistæknina. Þetta er einnig óvænt niðurstaða að mati höfundar.

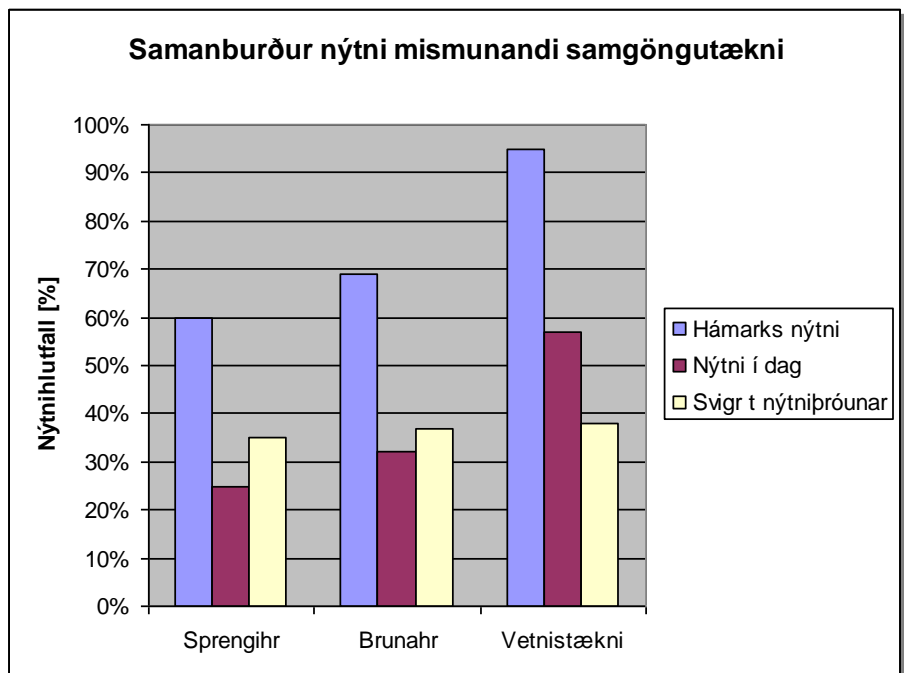
Tafla 6: Taflan gefur yfirlit yfir samanburð nýtnitalna sprengi- og brunahreyfils-tækni ásamt vetnistækninni

	Sprengihreyfils-vél - bensín		Brunahreyfils-vél - dísil		Vetnistækni			
	Vélar-innar	Bifreiðarinnar	Vélar-innar	Bifreiðarinnar	Efnarafali	Spennu breytir	Rafmagsmótor	Bifreiðarinnar
Hámarks Fræðileg nýtni	60%	-	69%	-	83-95%	98%	95%	-
Nýtni í dag	21-25%	18-23%	26-32%	24-26%	56,6%	-	-	44%
Svigrúm til nýtniþróunar	35%	-	37%	-	38%	-	-	-

Augljóst er því að þróun sprengi- og brunahreyfils-tækinnar gerir sitt til að minnka orkunotkun samgangna samhliða því að ný tækni kemur fram á sjónasviðið, sem hefur möguleika á að taka við þegar hún hefur nægan þroska til.

Hins vegar skal ekki gleyma að fræðileg hámarksnýtni vetnistækninnar er samt sem áður er mun hærri en hinna tveggja valkostanna eða 26-35% hærri.

Út frá sjónarmiði þess að hámarka nýtingu eldsneytisins og minnka þannig orkunotkun í samgöngum er vetnistæknin besti kosturinn, þegar einungis er tekið tillit til farartækisins sjálfs en ekki framleiðslu eldsneytisins. Vetni er hins vegar eldsneyti sem þarf að framleiða á einhvern hátt. Orku- og fjárhagsleg hagkvæmni er afar breytileg eftir framleiðsluaðferðum en einn af kostum vetnis er fjöldi mögulegra framleiðslumöguleika.



Mynd 7: Samanburður nýtni hinna mismunandi véla sem skoðaðar hafa verið. Gildi fyrir vetnistæknina eiga við efnarafala

Það fer eftir orkuumhverfi og því hráefni sem er fánlegt á hverjum stað fyrir sig hvaða leið er hagkvæmust. Fyrir Ísland er rafgreining vatns til vetnisframleiðslu talinn fýsilegur kostur því bæði er hráefnið rafmagn auðveldlega tiltækt hér en einnig gefur þessi framleiðsluáðferð möguleika á hreinu og umhverfisvænu orkufertli í samgöngum (samkv. skilgreiningu á raforku landsins sem hreinni og umhverfisvænni).

Vetni er hins vegar einnig hægt að framleiða úr jarðefnaeldsneyti, s.s. náttúrugasi og kolum, úr lífrænum efnum með gerjun og gösun og með ýmsum öðrum framleiðsluáðferðum, sem eru í stöðugri þróun.

Á núverandi stundu eru flestir sammála um að nýir orkugjafar og -berar verða að koma til sögunnar fyrir samgöngur þar sem olíulindir eru ekki óendanlegar, jafnvel þó deila megi um árafjöldann þangað til þær ganga í raun til þurrðar. Sem verðmæt auðlind í m.a. ýmiskonar iðnaði og framleiðslu væri olíunni betur varið þar, en til að brenna í samgöngur; sérstaklega ef annar orkugjafi og nýir orkuberar geta komið þar í staðinn.

Það er áhugavert að þótt vetni sé almennt talinn hagkvæmasti kosturinn fyrir orkubera framtíðarinnar, þegar til langs tíma er litið, eru ýmsir aðrir möguleikar í stöðunni svo sem metan, etanol og lífdísill. Það er því ekki ólíklegt að bæði verði fleiri en eitt eldsneyti á markaðnum á hverjum stað fyrir sig þannig að almenningur velji milli þeirra líkt og hann velur nú milli bensín- og díselbíla. Einnig er mjög líklegt að eldsneyti fyrir samgöngur muni vera breytilegt eftir heimshlutum allt eftir orkuumhverfi hvers svæðis og þeirra náttúrulegu möguleika sem þar eru til staðar. Sem dæmi má nefna mikla möguleika á Íslandi til framleiðslu vetnis með rafgreiningu vatns vegna ríkra náttúrulegra raforkulinda okkar hér. Brasilíumenn framleiða hins vegar nú þegar mikið magn af etanóli fyrir samgöngur úr ýmsum jarðyrkjuafurðum og felur þessi tækni í sér stóra möguleika fyrir það heimssvæði. Svíar keyra á hinn bóginn stærri hluta af samgöngum sínum en aðrar þjóðir á bíógasi og binda miklar framtíðarvonir við þetta eldsneyti.

Það er því nokkuð ljóst að eldsneyti og orkuberar fyrir samgöngur framtíðarinnar verða að öllum líkindum ekki eins einsleitir og nú og væntanlega bæði breytilegir eftir heimshlutum og einnig að þeir lifi góðu lífi hlið við hlið á orkustöðvum morgundagsins.

8. Heimildir

1. "energy conversion." *Encyclopædia Britannica* af netsíðu Encyclopædia Britannica. <<http://search.eb.com/eb/article-45929>> [Sótt 8. maí, 2006]
[<http://search.eb.com/eb/article-45929?query=internal%20combustion%20engine%20efficiency&ct=eb>]
2. "gasoline engine." *Encyclopædia Britannica* af netsíðu Encyclopædia Britannica. <<http://search.eb.com/eb/article-47239>> [Sótt 8. maí, 2006].
[<http://search.eb.com/eb/article-47239?hook=67366#67366.hook>]
3. "transportation, history of." *Encyclopædia Britannica* af netsíðu Encyclopædia Britannica. <<http://search.eb.com/eb/article-64380>> [Sótt 8. maí, 2006].
[<http://search.eb.com/eb/article-64380>]
4. "Newcomen Atmospheric Engine" af netsíðu Matt Keveney's. <<http://www.keveney.com>> [Sótt 9. maí, 2006]
[<http://www.keveney.com/newcomen.html>]
5. "The Diesel engine and it's development - A historical timeline " af netsíðu Martin's Marine Engineering. <<http://www.dieselduck.ca/>> [Sótt 8. maí, 2006].
[http://www.dieselduck.ca/library/other/prime_movers.htm]

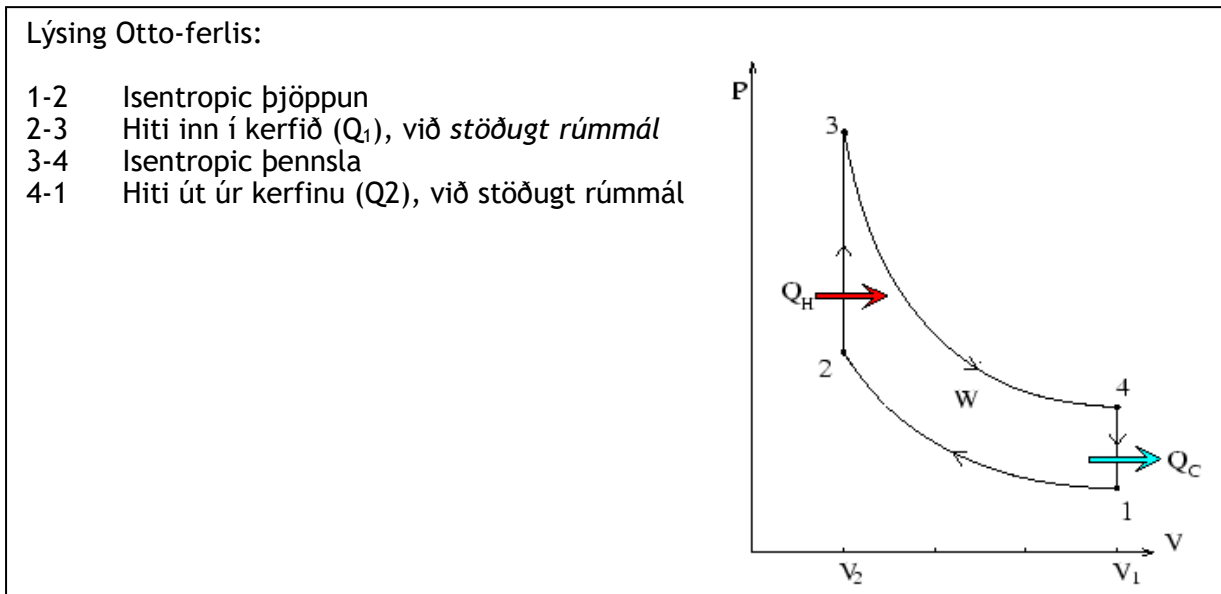
6. "Limits of actual cars" af netsíðu Energy Conversion Systems and Their Environmental Impact project. Höfundur greinar: M.Cricchio (Istituto Alfano I) - G.Rizzo (DIMEC, Università di Salerno) <http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/index.php> [Sótt 8. maí, 2006]. [http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/en/Limits_Cars.php]
7. "Efficiency of Internal Combustion Engines" af netsíðu Economy & Energy. Höfundar greinar: Omar Campos Ferreira <<http://ecen.com/#eeee>> [Sótt 8. maí, 2006]. [http://ecen.com/content/eee7/motoref.htm]
8. "Hydrogen in the World and Society" af netsíðu Howard B.J. Stone on University of Southampton. Report by Howard B.J. Stone. <www.soton.ac.uk> [Sótt 8. maí, 2006] [http://www.soton.ac.uk/~howard/hydrogenhistory.htm]
9. "Hydrogen in Transport - Past - Present - Future" af netsíðu HyWeb. Höfundur kynningar: Reinhold Wurster. <www.hydrogen.org> [Sótt 27. júní, 2006] [http://www.hydrogen.org/Wissen/pdf/Future_of_H2_in_Transport_MordochUniv_16MAY2003-FINAL.pdf]
10. "Life Cycle Analysis of Hydrogen Fuel" af netsíðu HyWeb. Höfundur kynningar: Jörg Schindler. <www.hydrogen.org> [Sótt 27. júní, 2006] [http://www.hydrogen.org/Wissen/pdf/H2-LCA_EHEC_Schindler_03SEP2003.pdf]
11. "PEM Fuel Cell Technology" af netsíðu Entegris. Höfundur kynningar: USFCC (US Fuel Cell Council) Seminar Series. <www.entegris.com> [Sótt 27. júní, 2006] [http://www.entegris.com/pdf/presentations/FC/USFCC_PEM_FC_Tech.pdf]
12. "Goals for Fuel Cells" af netsíðu Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program on U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy. <<http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>> [Sótt 27. júní, 2006] [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mission.html#cells]
13. "Well-to-Wheel Fuel Efficiency of Hydrogen Fuel Cell Bus Transportation in Icelandic Conditions". ECTOS. Environmental Evaluation, Final Report. ECTOS Deliverable 14. September 2005.
14. "Experience of the fuel cell bus operation: Technical findings" af netsíðu CUTE (Clean Urban Transport for Europe) Congress May 10th - May 11th 2006 in Hamburg. Höfundar kynningar: Maria Saxe & Jonas Strömberg. <www.cute-hamburg.de> [Sótt 29. júní, 2006] [http://www.cute-hamburg.de/]
15. "Back to the Future" af netsíðu HybridCars. Höfundur greinar: Michael Millikin of Green Car Congress. <www.hybridcars.com> [Sótt 30. júní, 2006] [http://www.hybridcars.com/blogs/hyview/turbosteamer]
16. "Some Energy Fundamentals" af netsíðu Don Lancaster. Höfundur greinar: Don Lancaster. <www.tinaja.com> [Sótt 30. júní, 2006] [http://www.tinaja.com/glib/energfun.pdf]
17. Trausti Jónsson, veðurfræðingur, trausti@vedur.is. Veðurstofu Íslands, www.vedur.is. Upplýsingar með netpósti.
18. "Hydrogen Infrastructure in a Modern Society - Iceland as a Case-study". Fanney Frisbæk. Final Thesis. Technical University of Denmark. May 2004.
19. Ólafur Pálsson, verkfræðingur, op@os.is. Orkustofnun, www.os.is. Samkvæmt símtali.

20. “Eldsneytisspá 2005-2030 - Endurreikningur á spá frá 2001 út frá nýjum gögnum og breyttum forsendum” af netsíðu Orkustofnunar. < www.os.is > Höf.: Orkuspánefnd. [Sótt 5. júlí, 2006]
[<http://www.os.is/Apps/WebObjects/Orkustofnun.woa/swdocument/3804/Eldsneytissp%C3%A1+2005-2030.pdf>]
21. “Optimizing Efficiency of Internal Combustion Engines”. af netsíðu National University of Singapore. Höfundur greinar: Rajesh R. Parwani [Sótt 8. maí, 2006]
[<http://staff.science.nus.edu.sg/~parwani/htw/c2/node44.html>]
22. Páll Valdimarsson, prófessor við Verkfræðideild Háskóla Íslands (dr. scient. ing.). Munnleg samskipti, maí 2008.
23. Ágústa Loftsdóttir, Framkvæmdastjóri Vettvangs um vistvænt eldsneyti undir Orkustofnun. Munnleg samskipti, maí 2008.
24. Bjarni Arnarson, Sölustjóri Vélasviðs Heklu. Munnleg samskipti, júní 2008.
25. “Optimizing an irreversible Diesel cycle - fine tuning of compression ratio and cut-off ratio”. Bhattacharyya, Souvik, Department of Mechanical Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1999.
26. “Comparative performance analysis of irreversible Dual and Diesel cycles under maximum power conditions”. Parlak, Adnan, Department of Mechanical Education, Sakarya University, Turkey, 2004.
27. “Chapter 9, Gas Power Cycles, Study Guide in PowerPoint to accompany “Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition” by Yunus A. Cengel and Michael A. Boles”. Aðgengilegt á netinu á slóðinni: <http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/0072884959/240292/Chapter09.ppt#256,1,Slide 1>
28. “Air Standard Cycles - Constant Specific Heat”. Dr. J.P. Subrahmanyam, Professor, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, INDIA. Aðgengilegt á netinu á slóðinni: http://web.iitd.ac.in/~jpsm/mel816/AIR%20STANDARD%20CYCLES_MTech.ppt#256,1,AIR STANDARD CYCLES Constant Specific Heat
29. “Example: The Otto cycle”. McGovern, Ann, Director of Teaching, School of Physics and Astronomy, The University of Manchester, England. Aðgengilegt á netinu á slóðinni: http://theory.ph.man.ac.uk/~judith/stat_therm/node16.html
30. “Energy Efficient Electric Motors”. R. Hanitsch, University of Technology, Berlin, Germany
31. “Optimal System Efficiency Operation of an Induction Motor Drive”. Nergaard, Troy A., Kouns, Heath E., Lai, Jih-Sheng & Konrad, Charles E.*, Center for Power Electronics Systems, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA & *VPT, Inc., Blacksburg, USA, 2002
32. “Efficiency improvements of electrical drives - contribute to improvement of environmental conditions”. R. Hanitsch, Ch. Saniter, Institute of Energy and Automation Technology, University of Technology Berlin, Germany
33. “Performance comparison of two fuel cell hybrid buses with different powertrain and energy management strategies”. Ouyang, Minggao, Xu, Liangfei, Li, Jianqiu, Lu, Languang, Gao, Dawei, Xie, Qicheng, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing, China, 2006

Viðauki 1 - Otto hringrásin

Fræðileg hámarksnýtni fyrir sprengihreyfilsvélar með neistakveikju er reiknuð út frá fræðilegum kjöraðstæðum, sem lýst er með módeli sem kallað er Otto ferli.

Hér er gert ráð fyrir að öll efnaferli og bruni gerist á augnablikstíma, þ.e. tíminn er núll. Einnig er reiknað með óvermnum bruna og að orkutilfærsla inn í kerfið gerist við fast rúmtak. Sjá lýsingu á Otto ferlinu á mynd V1.



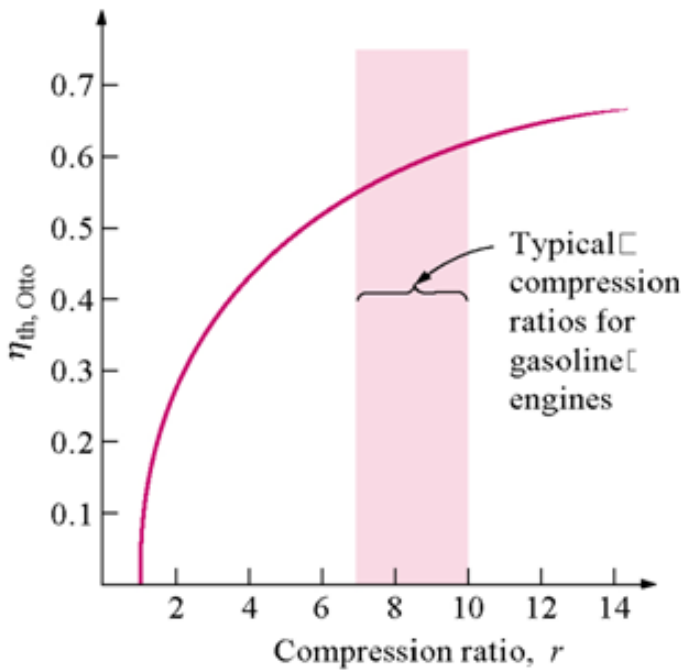
Mynd V1: Lýsing ferlis í kjör-otto hringrás (ideal Otto Cycle) í bensín-sprengihreyfilsvél ásamt þrýstings (P) - rúmmáls (V) grafi. Q_H er hiti inn í kerfið. Q_C er hiti út úr kerfinu. W er vinnan sem kerfið vinnur. [27/29]

Jafnan fyrir varmafræðilega hámarksnýtni í Otto cycle er:
$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (J1)$$

þar sem r er þjöppunarhlutfall vélarinnar (compression ratio = V_1 / V_2), sem almennt fyrir bensín vélar í dag er á bilinu 7-10:1. [22/24/27] γ (einnig stundum táknað með k) er hlutfall eðlis-varmarýmdar (specific heat ratio: c_p/c_v), sem fyrir bensín er (1,4). Í sprengihreyfilsvél eru takmörk fyrir þjöppunarhlutfallinu í vélinni mun lægri en fyrir dísil brunahreyfilsvél þar sem of hár þrýstingur í sprengihólfinu myndi koma af stað sjálfsíkveikju eldsneytisins. Slík sjálfsíkveikja yrði yfirleitt á röngum tíma í ferlinu og ylli þar af leiðandi vélarskröltili og slítandi álagi á vélina.

Útreikningar hámarksnýtnijöfnu Otto ferlis (J1) með ofan nefndum tölum gefur varmafræðilegu nýtnina 54-60% og þar með hámarks varmafræðilegu nýtnina 60%.

Mynd V2 sýnir áhrif þjöppunarhlutfallsins á nýtnitölu Otto ferlisins.



Mynd V2: Graf, er sýnir áhrif þjöppunarhlutfallsins (r), sem breytu, á varmafræðilega nýtni kjör-Otto hringrásar í bensín-sprengihreyfilsvél. [27]

Til viðmiðunar við útreikningana með jöfnu (J1) hér að framan er á mynd V3 gefin upp tafla úr reiknimódeli er reiknar varmafræðilega nýtni samkvæmt Otto ferlinu - hér með þjöppunarstuðli 7, sem gefur lágsta gildið. Niðurstaðan 54,08 ($\approx 54\%$) er sú sama og fengin var með útreikningum hér að framan.

Otto Cycle

<i>Input Values:</i>	
<i>Ambient Temperature [K]</i> 298	<i>Ambient Pressure [atm]</i> 1
<i>Compression Ratio [r]</i> 7	<i>Combustion Temperature [K]</i> 1250
<i>Gas Constant [J/kg*K]</i> 286.7	<i>Specific Heat [J/kg*K]</i> 2009
<i>Gamma [γ]</i> 1.4	
<i>Output Values:</i>	
<i>Compression Temperature [K]</i> 649	<i>Compression Pressure [atm]</i> 15.24
	<i>Combustion Pressure [atm]</i> 29.35
<i>Exhaust Temperature [K]</i> 573.9	<i>Exhaust Pressure [atm]</i> 1.92
<i>Cycle Efficiency [%]</i> 54.08	<i>Heat Rate [Btu/kWhr]</i> 6309.17
Calculate	Reset

Mynd V3: Varmafræðileg nýtni Otto hringrásar samkvæmt reiknimódeli.

Mynd V4 sýnir niðurstöður sama reiknimóðels fyrir þjöppunarstuðulinn 10, sem gefur hæsta gildið. Niðurstaðan 60,19 ($\approx 60\%$) er sú sama og fengin var með útreikningum hér að framan.

Otto Cycle

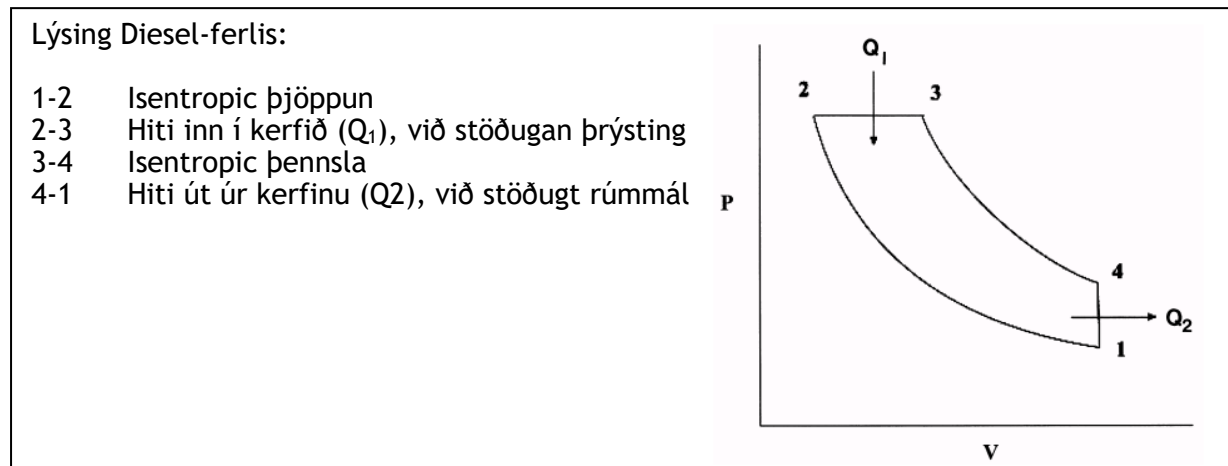
<i>Input Values:</i>	
<i>Ambient Temperature [K]</i> <input type="text" value="298"/>	<i>Ambient Pressure [atm]</i> <input type="text" value="1"/>
<i>Compression Ratio [r]</i> <input type="text" value="10"/>	<i>Combustion Temperature [K]</i> <input type="text" value="1250"/>
<i>Gas Constant [J/kg*K]</i> <input type="text" value="286.7"/>	<i>Specific Heat [J/kg*K]</i> <input type="text" value="2009"/>
<i>Gamma [r]</i> <input type="text" value="1.4"/>	
<i>Output Values:</i>	
<i>Compression Temperature [K]</i> <input type="text" value="748.5"/>	<i>Compression Pressure [atm]</i> <input type="text" value="25.11"/>
	<i>Combustion Pressure [atm]</i> <input type="text" value="41.93"/>
<i>Exhaust Temperature [K]</i> <input type="text" value="497.6"/>	<i>Exhaust Pressure [atm]</i> <input type="text" value="1.67"/>
<i>Cycle Efficiency [%]</i> <input type="text" value="60.19"/>	<i>Heat Rate [Btu/kWhr]</i> <input type="text" value="5668.72"/>
<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Reset"/>

Mynd V4: Varmafræðileg nýtni Otto hringrásar samkvæmt reiknimódeli.

Viðauki 2 - Dísil hringrásin

Fræðileg hámarksnýtni fyrir brunahreyfilsvélar með þjöppuíkveikju er reiknuð út frá fræðilegum kjöraðstæðum, sem lýst er með módeli sem kallað er Diesel cycle.

Hér er gert ráð fyrir að öll efnaferli og bruni gerist á augnablikstíma þannig að áætla megi tíman jafnt og núll. Einnig er reiknað með óvermnum bruna og að orkutilfærsla inn í kerfið gerist við fast rúmtak. Sjá lýsingu á Diesel ferlinu á mynd V5.



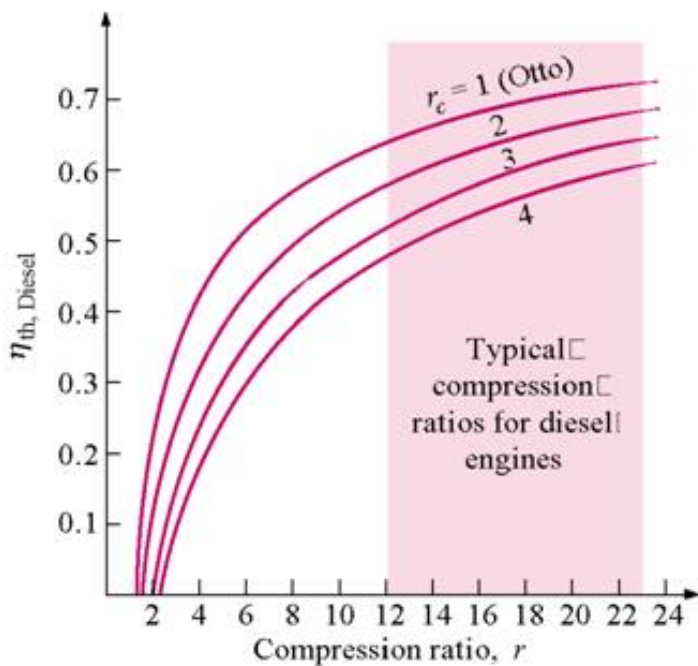
Mynd V5: Lýsing ferlis í kjör-dísil hringrás (ideal Diesel Cycle) í dísil-brunahreyfilsvél ásamt þrýstings (P) - rúmmáls (V) grafi. Q_1 er hiti inn í kerfið. Q_2 er hiti út úr kerfinu. [25/27]

Jafnan fyrir varmafræðilega hámarksnýtni í Diesel cycle er [28]: $\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left[\frac{r_c^\gamma - 1}{\gamma(r_c - 1)} \right]$ (J2)

Þar sem r er þjapphlutfall vélarinnar (compression ratio = V_1 / V_2), sem almennt fyrir dísil vélar í dag er á bilinu 15-23:1.[22/24/25/27] r_c er (cut-off ratio = V_3 / V_2) vélarinnar, sem er á bilinu 1,5-5:1 í dag.[25/26/27] γ (einnig stundum táknað með k) er hlutfall eðlisvarmarýmdar (specific heat ratio: c_p/c_v) dísilis, sem er 1,4.

Útreikningar hámarksnýtnijöfnu dísil hringrásar (J2) með ofanefndum tölum gefur varmafræðilegu nýtnina 49-69% og þar með hámarks varmafræðilegu nýtnina **69%**.

Mynd V6 sýnir áhrif þjöppunarhlutfallsins og cut-off ratio á nýtnitölu dísil ferlisins.



Mynd V6: Gröf, sem sýna áhrif þjöppunarhlutfallsins (r) og cut-off ratio (r_c), sem breytur, á varmafræðilega nýtni kjör-dísil hringrásar í dísil-brunahreyfilsvél. [27]

Til viðmiðunar við útreikningana með jöfnu (J2) hér að ofan er á Mynd V7 gefin upp tafla úr reiknimódeli er reiknar varmafræðilega nýtni samkvæmt dísil ferli - hér með þjöppunarstuðli 15 og Cut-off ratio 5, sem gefur lægsta gildið. Niðurstaðan 48,51 ($\approx 49\%$) er sú sama og fengin var með útreikningum hér að ofan.

Diesel Cycle

<i>Input Values:</i>	
<i>Ambient Temperature [K]</i> 298	<i>Ambient Pressure [atm]</i> 1
<i>Compression Ratio [/]</i> 15	<i>Cut-Off Ratio [/]</i> 5
<i>Gas Constant [J/kg*K]</i> 286.7	<i>Specific Heat [J/kg*K]</i> 1800
<i>Gamma [/]</i> 1.4	
<i>Output Values:</i>	
<i>Compression Temperature [K]</i> 880.3	<i>Compression Pressure [atm]</i> 44.3
<i>Combustion Temperature [K]</i> 4401.5	<i>Combustion Pressure [atm]</i> 44.3
<i>Exhaust Temperature [K]</i> 2836.4	<i>Exhaust Pressure [atm]</i> 9.52
<i>Cycle Efficiency [%]</i> 48.51	<i>Heat Rate [Btu/kWhr]</i> 7033.6
Calculate	Reset

Mynd V7: Til viðmiðunar er hér gefin upp mynd af töflureikni er reiknar varmafræðilega nýtni samkvæmt dísil hringrás.

Mynd V8 sýnir niðurstöður sama reiknimóðels fyrir þjöppunarstuðulinn 23 og Cut-off ratio 1,5, sem gefur hæsta gildið. Niðurstaðan 68,86 (=69%) er sú sama og fengin var með útreikningum hér að ofan.

Diesel Cycle

<i>Input Values:</i>	
<i>Ambient Temperature [K]</i> 298	<i>Ambient Pressure [atm]</i> 1
<i>Compression Ratio [r]</i> 23	<i>Cut-Off Ratio [r]</i> 1.5
<i>Gas Constant [J/kg*K]</i> 286.7	<i>Specific Heat [J/kg*K]</i> 1800
<i>Gamma [r]</i> 1.4	
<i>Output Values:</i>	
<i>Compression Temperature [K]</i> 1044.5	<i>Compression Pressure [atm]</i> 80.62
<i>Combustion Temperature [K]</i> 1566.8	<i>Combustion Pressure [atm]</i> 80.62
<i>Exhaust Temperature [K]</i> 525.7	<i>Exhaust Pressure [atm]</i> 1.76
<i>Cycle Efficiency [%]</i> 68.86	<i>Heat Rate [Btu/kWhr]</i> 4954.98
Calculate	Reset

Mynd V8: Einnig til viðmiðunar er hér mynd af sama töflureikni - með þjöppunarstuðli 23 og Cut-off Ratio 1,5.

Viðauki 3 - Forsendur og útreikningar á vetnisþörf

Forsendur

Fyrir 2005 er gert ráð fyrir 24% nýtni í bensínbifreiðum og er hér miðað við nýtnitölur úr töflu 2 og þeirri forsendu að nýtni brunahreyfilsbifreiða aukist um u.þ.b. 1% á ári. Fyrir díselbifreiðar er gert ráð fyrir 32% nýtni miðað við töflu 2 og meiri nýtni stærri bifreiða sem yfirleitt ganga fyrir dísel. Miðað er við 44% nýtni í vetnisbifreiðum.

Fyrir 2050 er gert ráð fyrir 55% nýtni í díselbifreiðum miðað við nýtniþróunarmarkmið Bandaríkjastjórnar fyrir 2013 og fræðilega hámarksnýtni brunahreyfilsvéla. Gert er ráð fyrir að hámarksnýtni bensínvéla verði eilítið lægri eða u.þ.b. 50%. Miðað við þá áætlun að díselbifreið geti nálgast fræðilega hámarksnýtni díselvélar þannig að einungis muni þar 4% er hér gert ráð fyrir að vetnisbilar geti nálgast fræðilega hámarksnýtni efnarafalans þannig að muni 6% (til að áætla varlega). Þar af leiðandi er gert ráð fyrir að nýtni vetnisbifreiða sé 77% (miðað við fræðilega hámarksnýtni 83%).

Í eldsneytisþánni fyrir landssamgöngur fram til ársins 2050 er gert ráð fyrir 0,3% meðaltalslækkun á notkun bensíns frá 2006-2050 vegna hækkandi nýtni bensínbifreiða og fjölgun díselbifreiða miðað við bensínbíla. Gert er ráð fyrir 4,2% aukningu á díselnotkun milli ára fyrir árin 2004-2008 vegna hækkandi hagvaxtar og aukins bílainnflutnings. Frá 2009 til 2030 er gert ráð fyrir 1% meðaltalsaukningu á díselnotkun árlega, vegna hækkandi nýtni díselbifreiða og af sömu orsök er gert ráð fyrir einungis 0,5% aukningu á díselnotkun árlega fyrir árin 2031-2050.

Við gerð eldsneytisþánnar fram til 2050 var stuðst við Eldsneytisspá Orkuspánefndar fyrir árin 2005-2030 og einnig fengið faglegt mat Ólafs Pálssonar, formanns Orkuspánefndar.

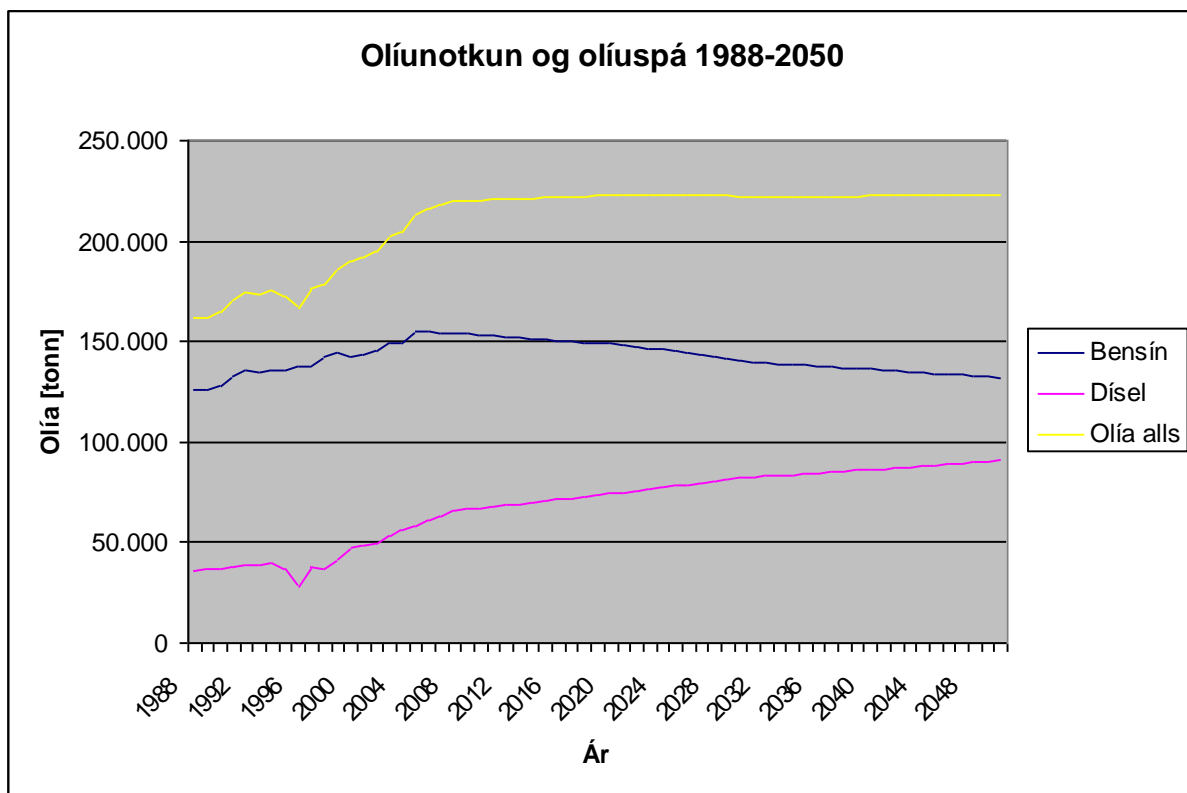
Eftirfarandi tafla V1 og mynd V9 sýna eldsneytisnotkun og eldsneytisspá fyrir landssamgöngur á Íslandi árin 1988-2050.

Tafla V1: Eldsneytisnotkun og eldsneytisspá fyrir 1988-2050.

Olíunotk & orkuspá f landssamgöngur				
Ár	Bensín	Dísil	Samtals	Eining
1988	126.060	35.541	161.601	tonn
1989	125.490	36.685	162.175	tonn
1990	127.812	36.567	164.379	tonn
1991	132.637	37.436	170.073	tonn
1992	135.982	38.484	174.466	tonn
1993	134.552	38.875	173.427	tonn
1994	136.076	39.711	175.787	tonn
1995	135.601	36.862	172.463	tonn
1996	137.827	28.410	166.237	tonn
1997	138.055	37.849	175.904	tonn
1998	142.012	36.368	178.380	tonn
1999	144.709	41.664	186.373	tonn
2000	142.599	47.463	190.062	tonn
2001	143.605	48.437	192.042	tonn
2002	144.973	49.798	194.771	tonn
2003	149.336	53.160	202.496	tonn

Tafla 5 (frh.): Eldsneytisnotkun og eldsneytisspá fyrir 1988-2050.

2004	149.018	55.914	204.932	Tonn
2005	155.000	58.262	213.262	tonn
2006	155.000	60.709	215.709	tonn
2007	154.535	63.259	217.794	tonn
2008	154.071	65.916	219.987	tonn
2009	153.609	66.575	220.184	tonn
2010	153.148	67.241	220.389	tonn
2011	152.689	67.913	220.602	tonn
2012	152.231	68.593	220.823	tonn
2013	151.774	69.278	221.053	tonn
2014	151.319	69.971	221.290	tonn
2015	150.865	70.671	221.536	tonn
2016	150.412	71.378	221.790	tonn
2017	149.961	72.091	222.052	tonn
2018	149.511	72.812	222.324	tonn
2019	149.063	73.540	222.603	tonn
2020	148.900	74.276	223.176	tonn
2021	148.300	75.019	223.319	tonn
2022	147.500	75.769	223.269	tonn
2023	146.700	76.527	223.227	tonn
2024	145.900	77.292	223.192	tonn
2025	145.100	78.065	223.165	tonn
2026	144.200	78.845	223.045	tonn
2027	143.200	79.634	222.834	tonn
2028	142.200	80.430	222.630	tonn
2029	141.300	81.234	222.534	tonn
2030	140.300	82.047	222.347	tonn
2031	139.879	82.457	222.336	tonn
2032	139.459	82.869	222.329	tonn
2033	139.041	83.284	222.325	tonn
2034	138.624	83.700	222.324	tonn
2035	138.208	84.119	222.327	tonn
2036	137.793	84.539	222.333	tonn
2037	137.380	84.962	222.342	tonn
2038	136.968	85.387	222.355	tonn
2039	136.557	85.814	222.371	tonn
2040	136.147	86.243	222.390	tonn
2041	135.739	86.674	222.413	tonn
2042	135.332	87.107	222.439	tonn
2043	134.926	87.543	222.469	tonn
2044	134.521	87.981	222.501	tonn
2045	134.117	88.420	222.538	tonn
2046	133.715	88.863	222.578	tonn
2047	133.314	89.307	222.621	tonn
2048	132.914	89.753	222.667	tonn
2049	132.515	90.202	222.717	tonn
2050	132.118	90.653	222.771	tonn



Mynd V9: Graf byggt á eldsneytistöllum úr Töflu 5.

Útreikningar

	Bensín	Dísil	Alls	
Olíunotkun 2005	155.000	58.262	213.262	tonn
Olíunotkun 2050	132.118	90.653	222.771	tonn
Orkuinnihald - einingar:	42,90	42,30	MJ/kg	
Orkuinnihald alls 2005:	6.649.500.000	2.464.499.012	9.113.999.012	MJ
Orkuinnihald alls 2050:	5.667.847.146	3.834.628.217	9.502.475.363,51	MJ
Gert ráð fyrir nýtni bensín- og dísilbíla 2005	0,24	0,32		
Gert ráð fyrir nýtni bensín- og dísilbíla 2050	0,50	0,55		
Gert ráð fyrir nýtni vetnisbíla 2005	0,44			
Gert ráð fyrir nýtni vetnisbíla 2050	0,77			
Nýtni vetnis miðað við bensín & dísil 2005	1,82	1,37		

Áætluð nýtni vetnis miðað við bensín & dísil 2050	1,54	1,41		
LHV vetnis	120,10	MJ/kg		
Vetnisþörf miðað v 2005	30.199.833	14.923.921	45.123.755	kg
Áætluð vetnisþörf miðað v 2050	30.644.631	22.806.163	53.450.794	kg
Eðlismassi vetnis	0,08988	kg/Nm3		
Þörf vetnis í Nm3:				
2005			502.044.443	Nm3 á ári
Áætlað: 2050			594.690.634	Nm3 á ári
Raforkuþörf miðað við:	5,10	kWh/Nm3	Norsk Hydro standard 2004	
2005			2.560.426.658	kWh
			292.286	kW
			292	MW
Áætlað: 2050			3.032.922.233	kWh
			346.224	kW
			346	MW
Vatnsþörf miðað við:	0,90	l/Nm3	Norsk Hydro standard 2004	
2005			451.839.999	l á ári
Áætlað: 2050			535.221.570	l á ári