

Nýting innlendra orkugjafa til framleiðslu eldsneytis

Febrúar
1999

*Nýting innlendra orkugjafa
til framleiðslu eldsneytis*

*Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið
Febrúar 1999*

ISBN 9979-871-34-2

Efnisyfirlit

INNGANGUR.....	5
SKÝRSLUR OG GREINARGERÐIR	6
ÁFANGASKÝRSLA	6
SKÝRSLA ÞJÓÐHAGSSTOFNUNAR	6
RAFÍLAR.....	7
SKÝRSLA UM STÖRF NEFNDARINNAR	7
MÖGULEGIR ERLENDIR SAMSTARFSADILAR:	8
ZEVCO	8
DAIMLER-CHRYSLER	8
NEW ENERGY DEVELOPMENT ORGANIZATION (NEDO)	8
CITY OF TOMORROW.....	8
SAMANBURÐUR VIÐ SKÝRSLU FRÁ ÁRINU 1993	9
ÁLIT NEFNDARINNAR OG TILLÖGUR.....	10
VIÐAUKI I	13
VIÐAUKI II.....	14
FYLGISKJAL 1: NOKKUR ORÐ UM ÞJÓÐHAGSLEGA HAGKVÆMNI INNLENDRA ORKUGJAJA.....	15
FYLGISKJAL 2: FRAMLEIÐSLA METANÓLS ÚR VETNI OG ÖÐRUM INNLENDUM ORKUGJÖFUM.....	21

*Nýting innlendra orkugjafa
til framleiðslu eldsneytis*

*Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið
Febrúar 1999*

Inngangur

Með bréfi, dags. 28. júlí 1997, skipaði iðnaðar- og viðskiptaráðherra nefnd til að fjalla um möguleika á nýtingu innlendra orkugjafa, sérstaklega með tilliti til þróunar á notkun óhefðbundinna orkubera.

Í skipunarbréfi segir:

„Olíulindirnar, mest nýttu orkulindir heims, fara þverrandi. Því er nauðsynlegt fyrir þjóðir heims að leita nýrra leiða til orkuframleiðslu. Umhverfisvernd hvetur enn frekar til slíkrar leitar, þar eð vitað er að brennsla olúu hefur í för með sér óæskileg áhrif á umhverfi okkar allt.

Með tilliti til þessa hefur iðnaðarráðherra ákveðið að skipa nefnd sem falið er að gera tillögur um aukna hlutdeild innlendra orkugjafa í orkubúskap landsmanna og jafnvel til útflutnings. Er þar einkum horft til brennslu í vélum farartækja ýmiskonar, jafnt á landi og sjó. Hlutverk nefndarinnar er:

- *Að kanna möguleika á aukinni nýtingu innlendra orkugjafa, s.s. rafmagns og vetnis. Bæði taki slík könnun til tæknilegra möguleika og efnahagslegra.*
- *Að gera tillögur um leiðir til að nálgast það markmið að aukning verði í notkun innlendra orkugjafa, bæði hvað varðar framkvæmd tillagnanna og fjármögnun þeirra.“*

Í nefndina voru skipaðir:

Hjálmar Árnason, alþingismaður, formaður,
Bragi Árnason, prófessor,
Albert Albertsson, aðstoðarframkvæmdastjóri,
Þorsteinn I. Sigfússon, prófessor,
Ingólfur Þorbjörnsson, deildarstjóri,
Júlíus V. Ingvarsson, framkvæmdastjóri,
Þorkell Helgason, orkumálastjóri,
Þórólfur Árnason, framkvæmdastjóri,
Jón Björn Skúlason, atvinnumálaráðgjafi og
Jón Baldur Þorbjörnsson, bíltækniráðgjafi.

Starfsmaður nefndarinnar var Valberg Lárusson, viðskiptafræðinemi. Að ósk orkumálastjóra sat Helga Tulinius, jarðeðlisfræðingur á Orkustofnun, fundi nefndarinnar. Albert Albertsson sat ekki fundi nefndarinnar sökum anna. Friðrik M. Baldursson hjá Þjóðhagsstofnun vann fyrir nefndina greinargerð um þjóðhagslega hagkvæmni innlendra orkugjafa. Ennfremur vann Guðmundur Gunnarsson hjá

Iðntæknistofnun greinargerð fyrir nefndina um framleiðslu metanóls úr vetni og öðrum innlendum orkugjöfum.

Í upphafi lagði formaður til drög að verkaskiptingu og það menn að velja sér umfjöllunarefni sem þeir síðan kynntu nefndinni. Ákveðið var að Bragi, Þorsteinn og Ingólfur fjölluðu um „á hvaða sviði megi hefja tilraunir með vetni“, Jón Baldur og Júlíus Vífill „fýsilega erlenda samstarfsaðila“, Þórólfur og Þorkell „efnahagsáhrif í bráð og lengd“ og Jón Björn gerði grein fyrir „stöðu og möguleikum rafbíla“.

Alls urðu skýrslur og greinargerðir átta talsins. Í tengslum við störf nefndarinnar sótti Jón Baldur ráðstefnu í Frankfurt í Þýskalandi, sem fjallaði um efnarafala. Hjálmar sótti ráðstefnu Evrópubandalagsþingmanna um umhverfismál sem haldin var á Kanaríeyjum. Jón Björn fór í kynnisferð til La Rochelle í Frakklandi sem er leiðandi borg í Evrópu á sviði vistvænna orkugjafa og í framhaldi af því fór hann til Danmerkur og Svíþjóðar. Þá heimsóttu Bragi og Ingimundur Sigfússon Daimler-Chrysler í framhaldi af yfirlýsingum þeirra síðar töldu um áhuga á samstarfi.

Í starfi nefndarinnar voru ýmsir möguleikar á óhefðbundinni nýtingu innlendrar orku ræddir, en þungamiðjan var á efnarafölum knúðum vetni eða metanól, framleiðslu vetnis eða metanóls og á rafbílum.

Skýrslur og greinargerðir

Áfangaskýrsla

Í september lagði Bragi Árnason fram all ítarlega skýrslu um vetni, „Vetni í stað innflutts eldsneytis“ þar sem hann fjallar um framleiðslu þess, notkun á aflvélar, fjölþjóðlega rannsóknarsamvinnu um vetnisvæðingu og ber saman framleiðslukostnað vetnis og olíu. Í áfangaskýrslu nefndarinnar, sem samansett er af þessari skýrslu og upphafinu að skýrslu Jóns Björns um rafbíla, segir meðal annars:

„Ný rafgreiningartækni, sem nú er augljóslega á næsta leiti, gæti og leitt til þess að framleiðslukostnaður vetnisins lækkaði umtalsvert, jafnvel um 20%. Sé vetni ekki brennt í hefðbundnum vélum eins og nú eru notaðar í bílum heldur í nýrri gerð vetnisvéla, efnarafölum, sem áður hefur verið getið, verður nýtni eldsneytisins tvöfalt betri. Það þýðir að vetni gæti orðið samkeppnishæft við olíu þótt það væri tvöfalt dýrara miðað við orkuinnihald.“

Skýrsla Þjóðhagsstofnunar

Í júní var lögð fram skýrsla frá Þjóðhagsstofnun um þjóðhagslega hagkvæmni innlendra orkugjafa. Þjóðhagsstofnun vísar til eigin athugana og annarra og segir að „niðurstöður þessara athugana eru undantekningarlaust að ekki sé um rekstrarlega hagkvæmni að ræða við núverandi aðstæður ... nema heimsmarkaðsverð á bensíni stórhækki.“ Ennfremur að „svipað sé upp á teningnum varðandi rafbíla.“ Hins vegar

er bent á að þetta svið sé í mikilli þróun og er þá einkum vísað til þróunar í gerð efnarafala og m.a. vísað til áforma Daimler-Chrysler í þeim efnum. Í skýrslunni segir meðal annars um það atriði:

„Sökum góðrar orkunýtingar gæti orðið rekstrarlega hagkvæmt að knýja bíla á Íslandi með efnarafal sem notar vetni þegar verð á slíkum búnaði lækkar.“

Þá vîkur stofnunin að þjóðhagslegri hagkvæmni en „við allar venjulegar aðstæður [sé] þjóðhagsleg og rekstrarleg hagkvæmni starfsemi á borð við orkuvinnslu sú sama.“ Stofnunin bendir þó á nokkur atriði sem gætu valdið því að þjóðhagsleg hagkvæmni væri önnur en rekstrarleg hagkvæmni, sem síðan eru krufin hvert fyrir sig. Síðan segir:

„Niðurstaðan af þessum vangaveltum er því að ólíklegt verður að telja að nægjanlegur munur sé á þjóðhagslegum og rekstrarlegum ávinningi af innlendri eldsneytisframleiðslu og/eða notkun rafbíla til að réttlæta miklar aðgerðir af hálfu hins opinbera, hvort heldur er um bein útgjöld eða óbein að ræða til breytinga á samkeppnisstöðu einhverrar tiltekinnar tækni. Það er hins vegar ljóst að bilið á milli þessara tveggja valkosta mun fara minnkandi á næstu árum og áratugum. Því er full ástæða til að fylgjast vel með á þessu sviði og vel hugsanlegt að veita nokkru fé til rannsókna, t.d. í samvinnu við erlenda aðila svo við fáum skerf af þeirri stærðarhagkvæmni sem stærri þjóðir njóta.“

Rafbílar

Í apríl kom einnig skýrsla frá Jóni Birni og Þorsteini Sigurjónssyni. Hún ber heitið „Rafbílar og vistvæn ökutæki“. Hún er annars vegar greinargerð um stöðu mála í þróun rafbíla, uppbyggingu innviða og markaðssetningu erlendis, ásamt tillögum. Hins vegar er hún ferðaskýrsla sem inniheldur ýmsan fróðleik um hvernig tekið hefur verið á þessum málum í Frakklandi, Danmörku og Svíþjóð. Í 5. kafla skýrslunnar segir svo:

„Brýnt er að almennigur kynnist rafbílum sem allra fyrst. Erlendir aðilar hafa farið mismunandi leiðir við þessa kynningu og hefur tekist misvel til. Borgaryfirvöld í La Rochelle í Frakklandi tóku fyrstu rafbílana í notkun 1986 og þar með hófst kynning á bílunum þar. Segja má að það hafi tekið 8 ár að sanna notagildið og framtíðartilvist bílsins fyrir almennungi. Sú aðferð sem reynst hefur þeim best er að tengja leigu á rafbílum við almennings-samgöngukerfið.“

Skýrsla um störf nefndarinnar

Í júní afhenti Jón Baldur nefndarmönnum all ítarlega skýrslu þar sem hann tók saman upplýsingar um störf nefndarinnar ásamt efnistöku. Í þessari skýrslu er að finna ítarefni um ýmsa hreina orkugjafa og aðferðir til að nýta þá.

Mögulegir erlendir samstarfsaðilar:

ZEVCO

Um árabíl hefur fyrirtækið Zero Emission Vehicle Company, ZEVCO, lýst áhuga á samstarfi við íslenska aðila. Fyrirtækið hefur verið að þróa efnarafala af alkalískri gerð og framleiðsluferli fyrir þá. Framleiðslukostnaður á hverja afleiningu hefur farið ört lækkandi á því tímabili sem fyrirtækið hefur starfað og jafnvel hraðar en björtustu áætlanir gerðu ráð fyrir.

Forstjóri fyrirtækisins, Nick Abson, hefur nokkrum sinnum komið til Íslands á síðustu tveimur árum í þeim erindagjörðum að kynna fyrirtækið og vöruna. Flestir nefndarmanna hafa hitt Abson og sumir farið í kynnisferð um verksmiðju fyrirtækisins í Gel í Belgíu. Það er mat nefndarinnar að Zevco hafi náð áhugaverðum árangri með starfsemi sinni sem vert er að fylgjast með.

Daimler-Chrysler

Háttsettir fulltrúar Daimler-Chrysler hafa lýst miklum áhuga á samstarfi við Íslendinga um þróun vetnisknúinna farartækja. Í maí síðastliðnum komu fulltrúar fyrirtækisins hingað til lands til viðræðna við ýmsa aðila. Niðurstaðan varð samkomulag sem felur í sér að stefna að tilraunaverkefni með strætisvagna knúða hreinu vetni. Verkefnið verði fjármagnað af Daimler-Chrysler, Evrópusjóðum og íslenskum aðilum.

New Energy Development Organization (NEDO)

Japanskt efnahagslíf er viðkvæmt fyrir sveiflum í framboði á orku. Eins og Íslendingar eru þeir háðir innflutningi á olíu frá öðrum löndum. Lengi hafa þeir óttast áhrif olíuskorts og pólitískra hræringa í löndum sem framleiða og selja þeim olíu. Það er því ekki að undra að Japanir hafi orðið til þess fyrstir þjóða að leita nýrra leiða til orkuöflunar.

Ráðstöfunarfé NEDO á þessu ári nemur 35 milljörðum króna og nálægt 400 milljörðum á tímabili verkefnisins, eða til ársins 2020. Formaður nefndarinnar hefur tvívegis hitt forvígismenn þessara samtaka og hafa þeir lýst áhuga á samstarfi við Íslendinga.

City of Tomorrow

Innan 5. rammaáætlunar Evrópusambandsins er gert ráð fyrir umtalsverðum fjárveitingum til verkefna á sviði umhverfismála. Meðal þeirra eru City of Tomorrow og verkefni m.a. um þróun umhverfisvænna farartækja. Kanna ber með hvaða hætti Íslendingar geta átt aðild að þessu verkefni.

Samanburður við skýrslu frá árinu 1993

Í febrúar 1991 skipaði iðnaðarráðherra ráðgjafarhóp til að vera sér til ráðuneytis um möguleika á að nýta innlendar orkulindir til eldsneytisframleiðslu. Að tillögu ráðgjafarhópsins veitti iðnaðaráðuneytið Háskóla Íslands styrk til þess að gera skýrslu um möguleika á vetnisframleiðslu á Íslandi og bera kostnað saman við niðurstöður svokallaðs Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project. Það verkefni var styrkt af Evrópusambandinu og Québec fylki í Kanada og miðaði að framleiðslu á vetni með vatnsorku í Québec, flutningi þess með skipum til Hamborgar þar sem það yrði nýtt á farartæki í stað olíu. Skýrslan var unnin af Ragnari L. Gunnarssyni verkfræðingi og prófessorunum Braga Árnasyni, Valdimar K. Jónssyni og Þorsteini I. Sigfússyni. Háskólaútgáfan gaf skýrsluna út í september 1992 sem ber heitið „Möguleikar vetnisframleiðslu á Íslandi“. Í lokaorðum skýrslunnar segir meðal annars:

„Ef nota ætti fljótandi vetni, sem framleitt væri með rafgreiningu hér á landi, á íslenska fiskveiðiflotann, þá myndi eldsneytiskostnaðurinn rúmlega þrefaldast, ef miðað er við gasolíu og sama orkuinnihald. Ef unnt væri að nota vetnisgasið beint og án þess að þétta það, með því að geyma það í málmhýdríðgeymum, þá myndi eldsneytiskostnaðurinn ekki nema 1,6 faldast miðað við gasolíu.“

Ráðgjafarhópurinn réð Ragnar L. Gunnarsson verkfræðing til þess að taka saman skýrslu um horfur í eldsneytismálum og athuga nánar möguleika á framleiðslu eldsneytis hér á landi. Í skýrslu Ragnars: „Eldsneytisframleiðsla á Íslandi“, sem iðnaðaráðuneytið gaf út í október 1993, er fjallað um ýmsar leiðir sem til greina gætu komið við framleiðslu eldsneytis hér á landi, svo sem vetni, rafgeyma, efnarafala, metanól, etanól, lýsi, tilbúið bensín o.fl., auk þess sem fjallað er um möguleika á hreinsun hráolíu.

Ráðgjafarhópurinn skilaði álit sínu í október 1993. Helstu niðurstöður hópsins, sem einkum byggðust á áðurnefndri skýrslu Ragnars, voru að ekki væri rekstrargrundvöllur fyrir notkun óhefðbundinna orkugjafa. Innlend framleiðsla eldsneytis stæðist ekki erlendan samanburð og ýmis óleyst tæknileg vandamál kæmu í veg fyrir samkeppnishæfan rekstur vetnis- eða metanólfarartækja. Hins vegar taldi hópurinn rétt að fylgjast með erlendum rannsóknum og tilraunum er lúta að framleiðslu og nýtingu tilbúins eldsneytis í farartækjum. Í skýrslunni segir meðal annars um það efni:

„Ýmsir erlendir aðilar og alþjóðastofnanir hafa lagt aukna áherslu á að fylgjast með og stuðla að þróun við að nýta rafmagn og annað eldsneyti en olíu á samgöngu- og flutningatæki með það fyrir augum að dregið verði úr losun gróðurhúsalofttegunda. Meðal slíkra aðila eru Alþjóðaorkustofnunin og Evrópubandalagið. Ráðgjafarhópurinn telur afar þýðingarmikið að fylgst

verði með vinnu þessara aðila og reynt að tengjast rannsóknaverkefnum sem þeir stunda.“

Síðan þetta var ritað hafa orðið verulegar framfarir í gerð efnarafala, þannig að orkunýtni þeirra hefur aukist og er hún orðin allt að tvöfalt meiri en í venjulegum brunahreyflum. Af því má draga þá ályktun að verð vetnis á orkueiningu má vera allt að því helmingi hærra en venjulegs eldsneytis, þannig að vetnið sé samt samkeppnisfært. Á móti kemur að olíuverð hefur lækkað undanfarin ár, a.m.k. miðað við framleiðslukostnað á innlendri raforku. Ennfremur eru umræddir efnarafalar enn á frumframleiðslustigi og verð þeirra því afar hátt, m.a. vegna dýrra efnahvata sem þurfa að vera í þeim. Helstu fyrirtæki á þessum markaði hafa þó gefið fyrirheit um að efnarafalar verði komnir á fjöldaframleiðslustig um miðjan næsta áratug og þá á viðráðanlegu verði. Þessi þróun getur því skipt sköpum um hagkvæmni innlendar eldsneytisframleiðslu og verður afar fróðlegt að fylgjast með hvort og í hvaða mæli markmiðunum verður náð hjá framleiðendum efnarafala.

Vetni hefur ekki verið auðvelt í geymslu og hefur það af mörgum verið talið koma í veg fyrir beina notkun þess í samgöngutækjum. Bæði er að geymslutæknin hefur tekið framförum en einnig hitt að unnt er að geyma orkuna í formi metanóls sem síðan er breytt í vetni við notkun þess. Vissulega kostar þetta nokkuð bæði í búnaði og orkutapi en hefur þann kost að öll geymsla og dreifing getur verið með hefðbundinni tækni.

Álit nefndarinnar og tillögur

Við mat á skynsemi þess að nýta innlendar orkulindir til eldsneytisframleiðslu verður að horfa langt fram á veg. Olíulindir eru vissulega takmarkaðar og hljóta fyrr eða síðar að ganga til þurrðar. Það hlýtur því að vera keppikefli okkar að vera undir þetta búin og geta gripið til annarra orkulinda. Hin ódýra endurnýjanlega orka okkar gefur okkur forskot í þessum efnum þannig að við ættum að vera með þeim fyrstu sem söðla um frá olíuknúnum farartækjum. Hvenær þetta er tímabært ræðst einkum af þrennu:

1. Tækniþróun, einkum varðandi efnarafala, en einnig framþróun rafgeyma.
2. Framboði og verði á olíu og gasi.
3. Öðrum möguleikum okkar til að nýta orkulindir okkar á hagkvæman og vistvænan hátt.

Fyrsta atriðið hefur þegar verið reifað. Þar eru væntingar miklar og verður afar fróðlegt að fylgjast með framvindunni.

Hvað annað atriðið varðar verður að hafa í huga að fyrri spádómar um að olía sé senn að ganga til þurrðar hafa ekki reynst réttir. Því er nú ekki fyrirsjáanlegt að olíuverð taki nein heljarstökk af þeim sökum. Pólítísk eða hernaðarleg átök geta hins vegar valdið tímabundnum örðugleikum í þessum efnum. Þá ber að hafa í huga að mikið fjármagn er í dag sett í bættu nýtingu og þróun nýrrar vinnslutækni á

jarðefnaeldsneyti. Olíuverð er lágt um þessar mundir og talið er líklegt að svo verði næstu árin. Notkun á olíu og olíuafurðum er enn mikil og dreifikerfin mótuð ásamt því að öflugir hagsmunahópar eru til staðar.

Það er meginniðurstaða nefndarinnar að enn sem komið er standist vetnisknúin farartæki ekki rekstrarlegan samanburð við hefðbundin farartæki. Þróunin er þó í þá átt að munurinn fari minnkandi og gæti þar dregið verulega saman á næsta áratug. Öflug erlend fyrirtæki og rannsóknarstofnanir hafa um árabil unnið að þróun efnarafala og er sú vinna farin að skila sér. Framleiðslukostnaður efnarafala hefur fallið hratt og sömuleiðis eru að koma fram ódýrari aðferðir til að framleiða vetni.

Jafnframt vill þó nefndin benda á, að notkun eldsneytis sem framleitt er með innlendu rafmagni, dregur úr losun gróðurhúsalofttegunda hérlendis. Að mati nefndarinnar má reikna með því að okkur sem og öðrum verði settir magnkvótar á losunina og að jafnvel verði komið á viðskiptum með þá kvóta, sbr. niðurstöður Kyoto-ráðstefnunnar. Við slíka verðlagningu á þeirri mengun sem hefðbundin eldsneytisnotkun veldur dregur enn saman með vetnisnotkun og notkun jarðefnaeldsneytis.

Það er mat nefndarinnar að Íslendingum beri að fylgjast náið með framþróun í þessum efnum og vera undir það búnir að söðla um í eldsneytisnotkun þegar aðstæður leyfa. Bein aðild að tæknilegri þróun þessara mála er okkur þó ofvaxin en mikilvægt er að rækta þau sambönd sem skapast hafa og vera á varðbergi m.a. í gegnum þessi sambönd. Þá þurfum við reglubundið að endurmeta hagræna útreikninga. Að lokum er æskilegt að nokkur reynsla fái af notkun farartækja sem knúin eru með óhefðbundnum hætti. Þar er árangursríkast að ríkisvaldið skapi skattaleg skilyrði til slíks tilraunareksturs einstaklinga og fyrirtækja.

Til þess að fylgja eftir störfum nefndarinnar þarf eftirfarandi að koma til:

1. Að formlegur aðili taki við þeim tengslum við erlenda aðila sem nefndin hefur komið á. Iðnaðarráðuneytið verður að meta hvort það annist þau tengsl sjálft eða feli það einni eða fleiri af stofnunum sínum.
2. Að viðhaldið sé hagrænum úttektum á hagkvæmni innlendar eldsneytisframleiðslu. Fleiri þættir gætu komið til athugunar svo sem að kanna þær breytingar á innviðum okkar orkudreifingarkerfis sem ný eldsneytisnotkun kallar á.
3. Að þeir innlendir og erlendir aðilar sem sýnt hafa eða geta haft áhuga og hag af frekari framvindu umræddra mála sameinist um félagsstofnun til þess að fylgja málum eftir. Þetta gæti verið í formi hlutafélags.

Ýmsar leiðir eru til framkvæmda, einkum á 2. lið. Þannig er æskilegt að tiltækt sé sérstakt opinbert fé til frekari þróunar á umræddu sviði. Þetta gæti verið á því formi að Orkusjóður fengi fé til þess að veita stofnunum, fyrirtækjum og einstaklingum styrki til verkefna á umræddu sviði.

Að lokum vill nefndin gera ábendingar og tilmæli til hins opinbera, stjórnvalda og sveitarfélaga, um eftirfarandi atriði:

1. Fylgst verði með þróun mengunarskatta, svo sem koltvísýringsskatta, og stefnt að hliðstæðri tilfærslu skattlagningar hérlandis.
2. Vistvæn ökutæki njóti tímabundið skattalegs hagræðis, svo sem með afnámi vörugjalds og þungaskatts.
3. Mótuð verði stefna um notkun vistvænna ökutækja hjá hinu opinbera, hvort sem er ríki eða sveitarfélögum og stofnunum þeirra, og einkafyrirtæki hvött til hins sama.
4. Rafknúin farartæki verði notuð í almenningssamgöngum ef fært er.
5. Dreifiveitur rafmagns verði hvattar til þess að veita rafbílum þjónustu.
6. Lögð verði sérstök áhersla á notkun vistvænna orkugjafa á skip og báta.

Hjálmar Árnason, formaður
(sign)

Bragi Árnason
(sign)

Ingólfur Þorbjörnsson
(sign)

Jón Björn Skúlason
(sign)

Jón Baldur Þorbjörnsson
(sign)

Júlíus Vífill Ingvarsson
(sign)

Þorkell Helgason
(sign)

Þorsteinn Ingi Sigfússon
(sign)

Þórólfur Árnason
(sign)

Viðauki I

Starfi nefndarinnar verði fylgt eftir af Hinu íslenska orkufélagi ehf. eða öðrum aðilum eftir því sem tilefni gefst til. Að neðan má sjá tillögu nefndarinnar að öðrum verkefnum:

- Halda áfram opinberum samskiptum við innlenda og erlenda aðila sem nefndin hefur komið á.
- Sjá til þess að ýmis grunnvinna verði unnin, s.s. hagkvæmnikönnun á metanólframleiðslu.
- Vinna að aukinni notkun rafbíla.
- Vinna að notkun metangass sem orkubera.
- Vinna að notkun jarðgufu í fiskimjölsverksmiðjum í stað olíu.
- Fylgjast með hugmyndum um virkjun sjávaraldna, sjávarfalla og vinds.
- Skipuleggja upplýsingamiðlun og almannatengsl um málefni umhverfisvænna orkubera/orkugjafa.

Viðauki II

Eftirtaldir skýrslur voru unnar fyrir nefndina:

- Vetni í stað innflutts eldsneytis, Bragi Árnason, Raunvísindastofnun Háskólans, ágúst 1997
- Rafbílar og vistvæn ökutæki – Ferðaskýrsla, Þorsteinn Sigurjónsson og Jón Björn Skúlason, apríl 1998
- Framleiðsla metanóls úr vetni og öðrum innlendum orkugjöfum, greinargerð unnin fyrir Nefnd um nýtingu innlendra orkugjafa, Guðmundur Gunnarsson, Iðntæknistofnun Íslands, apríl 1998
- Notkun umhverfisvænna orkugjafa á bifreiðar, nefndarálit, apríl 1998
- Nefnd um nýtingu innlendra orkugjafa, efnistöð nefndarinnar, samantekt: Jón Baldur Þorbjörnsson, iðnaðarráðuneytið júlí 1998
- Nokkur orð um þjóðhagslega hagkvæmni innlendra orkugjafa, Þjóðhagsstofnun, 8. apríl 1998
- Iceland – A Forum for Gradual Introduction of Hydrogen as Fuel, Ambassador of Iceland, Ingimundur Sigfússon and Professor Bragi Árnason, Science Institute, University of Iceland
- A New Kyoto Scenario for Iceland, Combined CO₂ emissions and hydrogen transformed into fuels, Bragi Árnason and Thorsteinn I. Sigfússon, January 1999

Fylgiskjal 1: Nokkur orð um þjóðhagslega hagkvæmni innlendra orkugjafa

Þjóðhagsstofnun, 8. apríl 1998

Umræða um nýtingu innlendra orkugjafa í stað innfluttra er ekki ný af nálinni. Í október 1993 skilaði ráðgjafarhópur iðnaðarráðuneytisins um nýtingu innlendra orkulinda til eldsneytisframleiðslu greinargerð. Þessi hópur komst að þeirri niðurstöðu að ekki væri hagkvæmt að svo stöddu að fara út í slíka nýtingu innlendra orkulinda, en skrifaði í lokaorðum: „Ráðgjafarhópurinn telur að á tveggja til fjögurra ára fresti sé æskilegt að gera úttekt á hagkvæmni þess að nýta innlendar orkulindir til að knýja farartæki og framleiða eldsneyti“.¹ Lokaorðunum hefur verið fylgt eftir og nú er nefnd á vegum iðnaðarráðherra, sem ætlað er að skoða leiðir til að nýta innlenda orkugjafa í samgöngum og á fiskiskipaflotanum, að ljúka störfum.

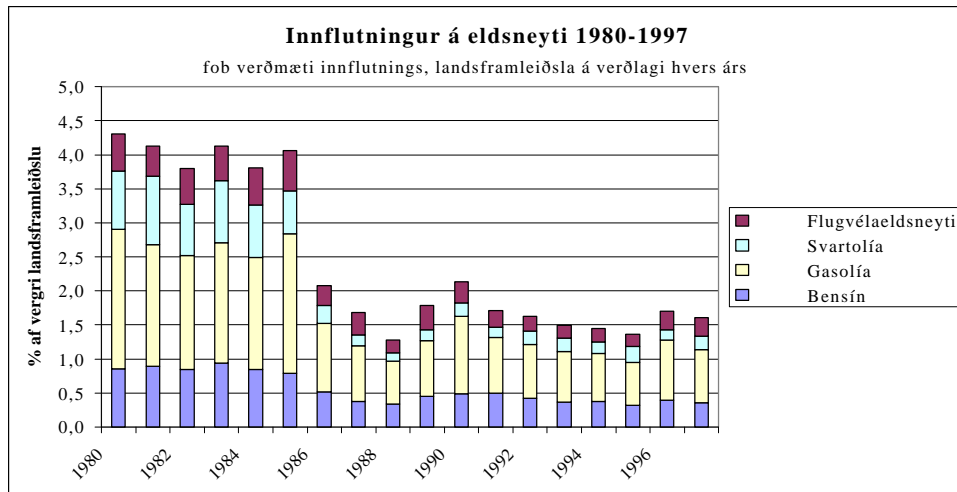
Þessi stutta greinargerð er rituð sem svar Þjóðhagsstofnunar við beiðni nefndarinnar um að kanna þjóðhagslega hagkvæmni þess að framleiða, dreifa og nýta vetni á bílaflota landsmanna, að rafvæða hluta samgöngutækja innanlands og framleiða, dreifa og nýta metanól á íslenska fiskiskipaflotann. Ekki er um ítarlega könnun að ræða, enda hafa verið gerðar hagkvæmniathuganir af þessu tagi af þar til bærum aðilum. Niðurstöður þessara athugana eru undantekningarlaust að ekki sé um rekstrarlega hagkvæmni að ræða við núverandi aðstæður. Markmiðið með þessu skjali er hins vegar að skoða lauslega hvort einhver þjóðhagsleg sjónarmið, sem ekki er tekið tillit til í fyrirbyggjandi athugunum geta hugsanlega breytt niðurstöðum þeirra.

Olúinnflutningur

Innflutningur á olú til Íslands nam á árinu 1997 um 8,5 milljörðum króna eða um 1,5% af vergri landsframleiðslu og 4,5% af heildarinnflutningi.²

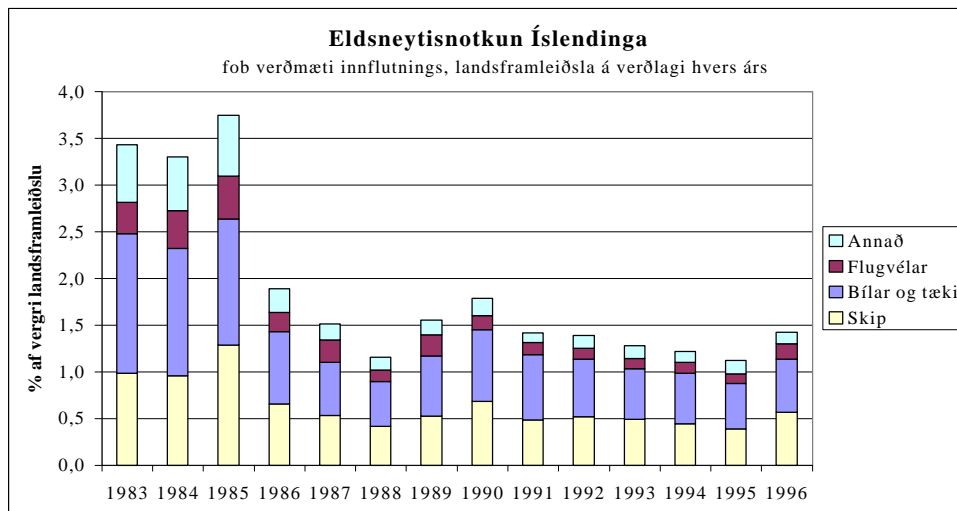
¹ Sú niðurstaða byggðist m.a. á skýrslu sem unnin var fyrir ráðgjafarhópinum af Ragnari L. Gunnarssyni.

² Þá er til talinn innflutningur á bensíni, flugvélaeldsneyti, gasolíu og svartolíu.



Þarna er því um tölurverða fjármuni í þjóðhagslegu samhengi að ræða. Á undanförunum áratugum hafa fallvötn og jarðvarmi verið nýtt að því marki að nú er nær öll staðbundin orkunotkun á Íslandi byggð á þessum innlendu og endurnýjanlegu orkugjöfum. Enn er þó gnægð orku óvirkjuð og því er áhugi á nýtingu innlendra orkugjafa í samgöngum og fiskveiðum eðlilegur.

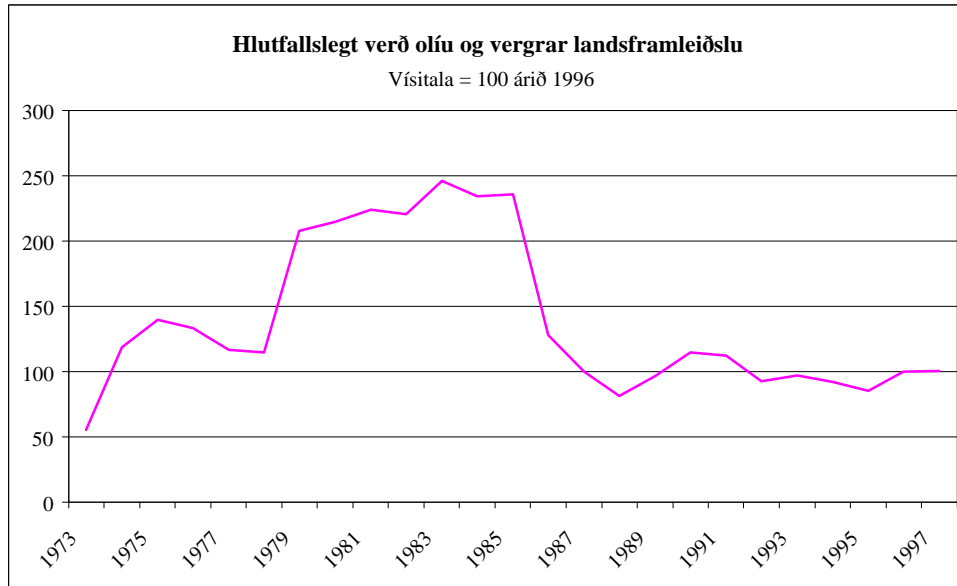
Ef litið er til notkunar skipt eftir starfsemi fremur en eldsneytistegund, þá kemur í ljós að olíunotkun á bílum og tækjum annars vegar og skipum hins vegar er um þriðjungur af heildarnotkuninni að verðmæti. Fiskveiðar standa að baki megninu af notkun skipa. Flugvélar veiga um 10%, en önnur notkun, aðallega iðnaðar, veiga 7%.³



³ Þessar tölur eru byggðar á innflutningstölum, eldsneytisspá Orkusparnefndar og tölum frá verkfræðistofunni Afli. Tölurnar leggjast ekki saman í 100% vegna þess að töluvert er selt af eldsneyti til erlendra aðila.

Eins og sést vel á myndunum hér að framan þá hefur verðmæti innflutnings á olíu minnkað mikið í hlutfalli við landsframleiðslu frá því sem var á árunum fyrir 1986 þegar hlutfallið var 3,5-4%. Þessi minnkun skýrist að sjálfsögðu að mestu leyti af lækkun olíuverðs í kjölfar þess að OPEC ríkjunum mistókst að viðhalda þeim takmörkunum á framboði sem leiddu til olíukreppanna tveggja 1974 og 1979 (sjá mynd að aftan). Raunverð olíu miðað við verðvísitölu landsframleiðslunnar hefur hins vegar nokkurn veginn staðið í stað frá árinu 1987.

Olíuverðið er augljóslega mjög mikilvæg breyta í öllum könnunum á hagkvæmni eldsneytisframleiðslu með öðrum aðferðum. Olía er endanleg auðlind og því er ljóst að til langs tíma litið mun verð hennar hækka. Það virðist þó mat manna að ekki sé að vænta verulegrar hækkunar framleiðendaverðs olíu á allra næstu áratugum. Aðgerðir á alþjóðavettvangi til að draga úr losun á gróðurhúsalofttegundum munu ennfremur lækka framleiðendaverð frá því sem ella hefði orðið sökum minni eftirspurnar, því meir sem betur gengur að draga úr notkun á olíu.



Niðurstöður hagkvæmniathugana

Það er sammerkt öllum athugunum sem fram hafa farið á hagkvæmni þess að nota innlenda orku með einum eða öðrum hætti í samgöngum og fiskveiðum að niðurstaðan er neikvæð, þ.e.a.s. það er ekki rekstrarlega hagkvæmt að nýta innlenda orku í þessa starfsemi. Svo dæmi sé tekið, er innflutningsverð bensínlítra á orkueiningu svipað og langtímajaðarkostnaður við raforkuvinnslu. Að gefinni svipaðri orkunýtingu bensíns, vetnis og metanóls í brennsluvélum þá er það ljóst að sú vinnsla sem þarf til umbreytingar raforkunnar á form vetnis eða metanóls getur ekki orðið rekstrarlega hagkvæm nema heimsmarkaðsverð á bensíni stórhækki.

Svipað er upp á teningnum varðandi rafbíla. Þar er orkunýtingin raunar tvö- til þrefalt betri en í brennsluhreyflum, en kostnaður við rafgeyma er hins vegar enn of hár til að réttlæta notkun þeirra nema við sérstakar aðstæður.

Þetta svið tækni er hins vegar í mikilli þróun. Þar ber sérstaklega að nefna efnarafala, þ.e.a.s. vinnslu rafmagns með efnahvörfum úr vetni, metanóli eða öðrum orkuberum. Þessi tækni er í örri þróun og t.d. stefna bifreiðaframleiðendurnir Daimler-Benz og Ford ásamt Ballard Power Systems að því að framleiða 100.000 bíla árið 2004, sem knúnir eru þessari tækni. Kostnaður við gerð efnarafala hefur lækkað mikið að undanfögnu og eiginleikar þeirra batnað, en enn er þó nokkuð langt í land með að þeir verði samkeppnisfærir við venjulega bensínhreyfla því kostnaður við gerð efnarafala mun enn vera tíu sinnum of hár miðað við gerð venjulegrar bensínvélar. Sökum góðrar orkunýtingar gæti orðið rekstrarlega hagkvæmt að knýja bíla á Íslandi með efnarafal sem notar vetni þegar verð á slíkum búnaði hefur lækkað. Þeir bílar sem nú eru í þróun, t.d. hjá Daimler-Benz, nota hins vegar metanól, sem er fyrst og fremst vegna örðugleika á geymslu og dreifingu vetnis, en ólíklegt er að það yrði samkeppnisfært við bensínið vegna þess að orkunýtingin er þá aftur orðin svipuð og í venjulegum brennsluhreyfli.

Þjóðhagsleg hagkvæmni

Við allar venjulegar aðstæður er þjóðhagsleg og rekstrarleg hagkvæmni starfsemi á borð við orkuvinnslu sú sama. Almenn gildir að ef verðlagning framleiðsluþátta, t.d. mannafla, fjármagns og umhverfis, í einhverri framleiðslu er rétt og ef þau gæði sem skapast við framleiðsluna koma einungis þeim sem kaupir afurðina til góða þá er enginn munur á rekstrarlegri og þjóðhagslegri hagkvæmni. Mengun af völdum framleiðsluferla án greiðslu sem svarar til tjóns er dæmi um ranga verðlagningu á framleiðsluþætti, þ.e.a.s. umhverfinu í þessu tilviki. Menntun er dæmi um þjónustu sem víða er niðurgreidd af opinberum aðilum þar sem samfélagslegur ávinningur af henni er talinn meiri en einkaávinningurinn.

Það skiptir hins vegar engu hvort einhver tiltekinn kostnaður við framleiðslu er innfluttur eður ei, nema að búist sé við langvarandi vannytingu framleiðsluþátta. Ef atvinnuleysi er ríkjandi og reiknaður er þjóðhagslegur kostnaður við eitthvert tiltekið verkefni sem tekur tiltölulega skamman tíma, þá kann að vera réttlætanlegt að verðleggja mannafla lægra en markaðslaun gefa til kynna. Þetta er hins vegar ekki það ástand sem ríkir á Íslandi nú og ekki eru horfur á slíku næstu árin. Hér er sérstaklega vikið að þessu atriði þar sem í bréfi nefndarinnar er tekið fram að „mikilvægt sé að taka saman útstreymi gjaldeyris vegna orkukaupa, einkum á olíufurðum“. Það er vissulega áhugavert að skoða kostnað vegna innflutnings á orku, en það hvort greitt er fyrir innlenda eða erlenda kostnað breytir hins vegar engu um niðurstöðu á hagkvæmni þess að nota innlenda orkugjafa.

Eftirfarandi eru nokkur dæmi um atriði sem hugsanlega gætu rekið fleyg milli niðurstöðu úr venjulegum hagkvæmnisathugunum og þjóðhagslegrar hagkvæmni.

„Of há“ ávöxtunarkrafa, þ.e.a.s. röng verðlagning fjármagns.

Óbein áhrif á aðrar greinar, t.d. vegna rannsókna, menntunar o.s.frv.

Öryggissjónarmið vegna ótryggs framboðs á eldsneyti.

Mengun, staðbundin, svæðisbundin eða hnattræn, þ.e.a.s. röng verðlagning umhverfis.

Fyrirbyggjandi aðgerðir vegna framtíðarskuldbindinga í loftslagsmálum.

Hvað fyrsta atriðið varðar þá er ólíklegt að það eigi við, a.m.k. um framleiðslukostnað á vetni eða öðrum innlendum orkugjöfum. Almennt virðist ávöxtunarkrafan sem notuð er í fyrirliggjandi athugunum vera fremur lág miðað við óvissuna sem ríkir um forsendur. Verkefni sem um ræðir eiga það raunar sameiginlegt að fjárfestingarkostnaður er eingengur (þ.e.a.s. fjárfestingin er „sokkin“ þegar ráðist hefur verið í hana), óvissa ríkir um forsendur og möguleikinn á að bíða með aðgerðir er til staðar. Það er vel þekkt í fjárfestingarfræðum að þessi þrenning aðstæðna leiðir til þess að möguleikinn á að bíða eftir breyttri stöðu verður verðmætur og venjulegar arðsemis- aðferðir leiða til of jákvæðrar niðurstöðu, þ.e.a.s. farið er of snemma út í fjárfestingu.

Mjög erfitt er að leggja mat á annað atriðið. Það virðist helst geta skipt máli ef Íslendingar taka á einhvern hátt þátt í þróun nýrrar tækni. Ólíklegt er að nægt bolmagn sé til slíks nema þá sem hluti af stærra verkefni, t.d. í samvinnu við erlenda aðila.

Öryggissjónarmið geta augljóslega réttlætt það að framleiða innlent eldsneyti ef flutningar til landsins röskuðust verulega. Það er hins vegar ljóst að við slíkar aðstæður færi ýmislegt annað úr skorðum, t.d. myndu utanríkisviðskipti almennt væntanlega verða fyrir skakkaföllum. Því er ólíklegt að hægt sé að réttlæta mikinn kostnað við slíkt nú með þessum rökum. Það virðist hins vegar geta verið hagkvæmt að skapa möguleika á slíkri framleiðslu þannig að til hennar sé hægt að grípa í neyðartilvikum.

Staðbundin og svæðisbundin mengun hér á landi af völdum eldsneytisbrennslu er vart á því stigi að hægt sé að réttlæta mikinn kostnað við að draga úr henni. Hins vegar eru að skapast þær aðstæður að kostnaður við losun á koltvísýringi verður áþreifanlegur. Ef Íslendingar gerast aðilar að Kyotobókuninni um magnbundnar skuldbindingar hvað varðar losun á gróðurhúsalofttegundum þá skapast þjóðhagslegur kostnaður við losun á hverju tonni af koltvísýringi. Þessi kostnaður verður fyrst áþreifanlegur á fyrsta tímabili bindandi losunarkvóta, þ.e.a.s. árin 2008-2012. Hins vegar er ljóst að taka verður í taumana fyrir árið 2008 því töluverðan tíma getur tekið að hrinda áætlunum um að draga úr losun í framkvæmd.

Miðað við áætlanir um kostnað við bindingu í gróðri á Íslandi gæti jaðarkostnaður á losað kg af koltvísýringi numið u.þ.b. einni krónu, sem þýðir t.d. um 2,3 kr á lítra bensíns. Þetta þýðir um 25% álag á innflutningsverð (fob) á bensíni.⁴ Losun venjulegs fólksbíls miðað við núverandi eyðslu og akstur, t.d. 7 lítra bensíns á 100 ekna kíló-

⁴ Hér og í því sem fer á eftir er við meðaltal ársins 1997. Meðalverð (fob) á bensíni var 14,35 kr/kg, eða rúmlega 10 kr/l.

metra og 18.000 kílómetra akstur á ári myndi kosta um 3.000 krónur. Rúmlega 400 Mkr myndi kosta að binda alla losun bensínbíla, miðað við núverandi notkun. Þetta eru ekki hverfandi fjárhæðir, en skipta heldur ekki sköpum við núverandi kostnaðarhlutföll milli hefðbundinna og innlendra orkubera í samgöngum.

Niðurstaðan af þessum vangaveltum er því að ólíklegt verður að teljast að nægjanlegur munur sé á þjóðhagslegum og rekstrarlegum ávinningi af innlendra eldsneytisframleiðslu og/eða notkun rafbíla til að réttlæta miklar aðgerðir af hálfu hins opinbera, hvort heldur er um bein útgjöld eða óbein að ræða til breytinga á samkeppnisstöðu einhverrar tiltekinnar tækni. Það er hins vegar ljóst að bilið á milli þessara tveggja valkosta mun fara minnkandi á næstu árum og áratugum. Því er full ástæða til að fylgjast vel með á þessu sviði og vel hugsanlegt að veita nokkru fé til rannsókna, t.d. í samvinnu við erlenda aðila svo við fáum skerf af þeirri stærðarhagkvæmni sem stærri þjóðir njóta.

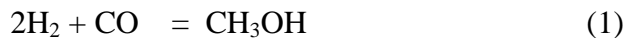
Fylgiskjal 2: Framleiðsla metanóls úr vetni og öðrum innlendum orkugjöfum

Greinargerð unnin fyrir „Nefnd um nýtingu innlendra orkugjafa“

Guðmundur Gunnarsson, apríl 1998

1. Inngangur

Metanól (CH_3OH) er framleitt til úr gasblöndu (syngas) sem aðallega samanstendur af vetni (H_2), kolmónoxíði (CO) og kolsýru (CO_2). Nútíma tækni við framleiðslu á metanóli byggir á hvötun við lágan þrýsting (5 - 10 Mpa, 50 - 100 bar) og lágan hita (200 - 300 °C). Metanólið myndast þá við eftirfarandi efnahvörf



Áður en gasið er leitt inn á hvarfakútinn þarf að hreinsa úr því efni sem geta eitrað hvatann t.d. vetnissúlfíð (H_2S). Við framleiðsluna á hlutfallið $\text{H}_2/(2\text{CO} + 3\text{CO}_2)$ að vera sem næst 1,05. Við framleiðslu við lágan þrýsting er oft haft umframmagn af vetni sem eykur virkni hvatans.

Ef að samsetning gassins er ekki rétt má stilla hana af með ýmsum aðferðum. Auka má vetnisinnihald (og um leið minnka CO og auka CO_2) með „shift reaction“



Einnig má bæta við vetni, t.d. rafgreiningarvetni. Kolsýra er hreinsuð úr gasinu ef það er of mikið af henni.

Í kafla 2 verður fjallað um helstu möguleika sem eru á framleiðslu metanóls úr vetni og innlendum kolefnisuppsprettum. Megináherslan er á áætlun þess magns sem hægt er að framleiða. Fyrst er er tekin fyrir framleiðsla metanóls úr kolmónoxíði frá nýjum ofni hjá Íslenska járnblendifélaginu (Ij). Þá er fjallað um framleiðslu metanóls úr kolsýru frá jarðhitaorkuverum og um framleiðslu úr afgasi frá álverum. Síðan er lýst framleiðslu metanóls úr sorphaugagasi. Framleiðslu metanóls úr lífmassa, m.a. sorpi og lúpínu er að lokum gerð skil. Sammerkt með öllum þessum aðferðum, er að það þarf að bæta við vetni til að hægt sé að framleiða metanól úr öllu kolefninu (CO eða CO_2).

Í kafla 3 er síðan fjallað um kostnað við framleiðslu metanóls og vetnis.

2. Metanól framleiðsla á Íslandi

2.1 Kolmónoxíð frá Íslenska járnblendifélaginu

Kolmónoxíð myndast við framleiðslu á járnblendi eins og hjá járnblendiverksmiðjunni á Grundartanga. En vegna þess að ofnarnir eru opnir og draga inn mikið falskt loft brennur kolmónoxíðið og myndar kolsýru við yfirborð ofnfullunar. Ef ofnarnir væru lokaðir brennur kolmónoxíðið ekki og væri þá hugsanlega hægt að nýta það til framleiðslu á metanóli. Samkvæmt niðurstöðum tilrauna í Noregi er efnasamsetning gass frá lokuðum ofni eins og lýst er í töflu 1.¹

Tafla 1 Efnasamsetning gass frá lokuðum járnblendiofni	
CO	70 -75%
H ₂	12 - 17 %
H ₂ O	8 - 12 %
CO ₂	2,5 %
CH ₄	1,5 %

Gert er ráð fyrir að nýr 42 MW ofn hjá Íslenska járnblendifélaginu verði þannig gerður að hægt verði að loka honum í framtíðinni. Fyrst í stað verður hann þó eingöngu keyrður opinn, enda er töluverð óvissa um ýmis atriði í rekstri og hönnun á lokuðum ofni.

Alls er áætlað að það geti komið um 76.400 t/ár af kolmónoxíði frá nýjum ofni. Þar að auki er gert ráð fyrir um 16.400 t/ár af ýmsum reikulum efnum. Úr þessu kolmónoxíði er fræðilega hægt að framleiða 87.200 t/ár af metanóli. Fyrir þessa framleiðslu þarf um 10.900 t/ár af vetni. Þar af eru um 900 t/ár í sjálfu afgasinu. Afganginn þarf þá þarf þá að fá með því að rafgreina vatn, eða um 10.000 t/ár.

Kolmónoxíðið má einnig nota til að fá vetni skv. efnajöfnu (3). Ef 46.800 t/ár af kolmónoxíði eru notuð til að búa til 3.300 t/ár af vetni er úr afgasinu frá ofangreindum ofni hjá IJ hægt að framleiða um 33.900 t/ár af metanóli, en þá þarf að losa 74.000 t/ár af kolsýru út í andrúmsloftið. Þessa kolsýru þarf að hreinsa úr gasblöndunni áður en metanólið framleitt.

Hjá Íslenska járnblendifélaginu eru nú tveir 35 MW ofnar í rekstri. Ef hægt væri að loka þessum ofnum vær hægt að framleiða úr afgasinu frá þeim um 145.000 t/ár af metanóli, ef nauðsynlegu magni af vetni væri bætt í afgasið.

2.2 Kolsýra

Verkmiðjur eins og sementsverksmiðjan, járnblendiverksmiðjan og álverksmiðjur sleppa umtalsverðu magni af kolsýru út í andrúmsloftið. Styrkur kolsýru í útblæstrinum frá þessum verksmiðjum er þó það lítil að talið er mjög kostnaðarsamt að vinna hreina kolsýru úr útblæstrinum frá þeim.

Frá jarðvarmavirkjunum kemur umtalsvert magn af afgasi sem að mestu er kolsýra. Ef tír hreinsun má nota kolsýruna fyrir framleiðslu á metanóli með því að hvarfa hana við vetni skv. efnajöfnu (2)ⁱⁱ

Orkuver Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi sleppir nú út í andrúmsloftið 42.000 t/ár af kolsýru. Í okt. 1999 er búist við að þessi losun aukist í 100.000 t/ár vegna aukinnar raforkuframleiðsluⁱⁱⁱ Fyrir utan kolsýru er í afgasinu frá orkuverinu um 4 % vetnissúlfíð, sem þarf þá að hreinsa úr gasinu ef nota á kolsýruna til framleiðslu á metanóli.

Til þess að framleiða metanól úr 100.000 t/ár af kolsýru þarf um um 13.700 t/ár af vetni og væri þannig hægt að fá 72.700 t/ár af metanóli.

Hér má vekja athygli á þeim möguleika að framleiða vetni úr vetnissúlfíði, en það krefst mikið minni orku að framleiða vetni úr vetnissúlfíði en úr vatni². Tækni til þess hefur þó ekki verið þróuð enn.

Frá orkuveri Hitaveitu Reykjavíkur á Nesjavöllum kemur mikið minna afgas, eða um 7.200 t/ár af kolsýru og 2.000 t /ár vetnissúlfíði

2.3 Afgas frá álverum

Við framleiðslu á áli myndast nokkuð af kolmónoxíði í kerjunum. Kolmónixíðinnihaldið getur verið frá 20 - 40 % og kolsýruinnihaldið 80 - 60 %.^{iv} Við rafgreininguna myndast nær eingöngu kolsýra en vegna þess að kolsýran nær að hvarfast við kolefni af ýmsu tagi myndast kolmónoxíð skv. eftirfarandi efnahvarfi



Kolefnið getur t.d. verið kolefnisryk í raflausninni auk kolefnis í sjálfum skautunum. Við framleiðslu á áli er því takmarkið að minnka sem mest myndun á kolmónoxíði vegna þessa að myndun á því eykur kolefnisnotkun. Í þessum tilgangi er t.d. sá hluti skautanna sem stendur upp úr húðaður með efnum sem hindra eyðingu skautanna. Kolefnisnotkun við framleiðslu á áli er á bilinu 420 - 550 kg/t af áli, en gæti verið 388 kg/t áls ef eingöngu kolsýra myndast.^v

Ef við gerum ráð fyrir að það þurfi 0,45 kg kolefnis á kg ál þá þarf 60.000 t/ár álverksmiðja eins og á Grundartanga 27.000 t/ár af kolefni. Ef 20% kolefnisins fer yfir í kolmónoxíð og 80% yfir í kolsýru myndast 12.600 t/ár af kolmónoxíði og 79.200 t/ár af kolsýru. En vegna þess að loft er sogað inn í kerin brennur kolmónoxíðið og koma því um 99.000 t/ár af kolsýru frá 60.000 tonna álveri. Kolsýran er mjög mikið þynnt með lofti og er því hæpið að það svari kostnaði að

skilja hana frá loftinu. En með því að loka kerjunum má hugsanlega fá gasblöndu sem inniheldur 20% kolmónoxíð og 80 % kolsýru, auk óhreininda. Þetta mun þó líklega krefjast nýrrar tækni á mörgum sviðum. Hér verður því ekki gert ráð fyrir þessum möguleika frekar.

2.4 Sorphaugagas

Við rotun á sorphaugum myndast sorphaugagas sem er að mestu leyti metan og kolsýra. Dæmigert sorphaugagas getur innihaldið um 64% metan (rúmmál%) og 34% kolsýru, afgangurinn er að mestu köfnunarefni^{vi}. Áætlað hefur verið að frá sorphaugunum í Álfsnesi komi innan nokkurra ára um 8000 - 10000 tonn/ár af sorphaugagasi, Mælingar benda til að það innihaldi um 60% metan og um 40% kolsýru (rúmmáls %). Gasinu er nú safnað saman og metanið brennt til að hindra losun þess í andrúmsloftið. Þetta sorphaugagas má hugsanlega nýta sem eldsneyti á einn eða annan hátt. Einnig væri hugsanlegt að framleiða úr því metanól með því að krakka metanið með vatnsgufu þannig að það fáiast blanda af kolmónoxíði, vetni og kolsýru. Til þess að fá blöndu sem passaði fyrir metanól framleiðslu þyrfti að bæta við vetni, t.d. rafgreiningarvetni. Úr sorphaugagasinu þarf hugsanlega að hreinsa efni sem geta eitrað hvata sem notaðir eru við metanólframleiðslu.

Ef gert er ráð fyrir að frá sorphaugunum í Álfsnesi komi 8.000 t/ ár af sorphaugagasi má hugsanlega fá úr því 2720 t/ár af metani og 5280 t/ár af kolsýru. Ef metanið er krakkað með vatnsgufu fást um 5400 t/ ár af kolmónoxíði og 1020 t/ár af vetni. Til að búa til metanól úr þessum 5400 t/ ár af kolmónoxíði þarf um 2/3 af ofangreindu vetni, eða 680 t/ár. Afganginn af vetninu, 340 t/ár má þá nota til að til að gera metanól úr kolsýrunni. Til þess að gera metanól úr allri kolsýrunni í sorphaugagasinu þarf um 720 t/ár af af vetni. Það virðist því einungis þurfa að bæta við 380 t/ár af vetni til að hægt sé að framleiða metanól úr allri kolsýrunni í sorphaugagasinu frá Álfsnesi. Þannig má hugsanlega fá um 10.000 t/ár af metanóli úr sorphaugagasinu í Álfsnesi.

Hér er vert að benda á að ofangreinar tölur um magn sorphaugagas frá Álfsnesi eru mjög óvissar, vegna þess að tiltölulega lítil reynsla er kominn á hversu mikið magn gas myndast. Einnig má benda á að með aukinni flokkun og endurnýtingu á lífrænum úrgangi má gera ráð fyrir að magns lífræns úrgangs fari jafnvel minnkandi í náinni framtíð og þar með myndun sorphaugagas.

2.5 Lífmassi

Lífmassa, s.s. timbur, mó og lífrænt sorp, er hægt að nota til framleiðslu á metanóli^{vii,viii}. Fyrsta þrepið er þá framleiðsla á gasi úr lífmassanum (gasification). Mest reynsla virðist komin á gösun með súrefni en aðrar aðferðir eru einnig í þróun. Dæmi um efnasamsetningu gas úr lífmassa er sýnt í töflu 2.

Tafla Dæmi um efnasamsetning gass úr timbri ^{ix}	
CO	48 %
H ₂	32%
N ₂	2%
CO ₂	15%
CH ₄	2 %

Næsta þrepíð er þá stilling á hlutfallinu $H_2/(2CO + 3CO_2)$. Erlendis er nær alltaf miðað við að gera það skv. efnajöfnu 3 með því að nota hluta kolmónoxíðsins til að búa til vetni. Hér á landi kemur einnig til greina að bæta við rafgreiningarvetni. Magn vetnis sem þarf að bæta við þessa blöndu er um 110 kg fyrir hvert tonn metanóls sem framleitt er.

Reikna má með að það þurfi um 2 t af þurrum lífmassa fyrir hvert tonn metanóls ef hluti kolmónoxíðsins er notaður til framleiðslu á vetni, en ef rafgreiningarvetni er notað má gera ráð fyrir að það þurfi töluvert minna af lífmassa fyrir hvert tonn metanóls sem framleitt er. Í því tilfalli má gera ráð fyrir að það þurfi 1,4 tonn lífmassa á tonn metanóls.

Við gösun á lífmassa með súrefni þarf 0,4 - 0,5 t súrefnis á tonn lífmassa. Súrefnið sem myndast við vetnisframleiðsluna mun nægja til gösunar á lífmassanum. Erlendis er oftast miðað við að framleiða súrefni úr lofti.

Á Reykjavíkursvæðinu fellur líklega til um 20.000 - 30.000 t/ár af lífmassa (reiknað sem þurrefni) sem hægt er að nýta til metanólframleiðslu. Hluti af þessu (8.000 t/ár) er timbur sem Járblendafélagið nýtir nú sem kolefnisgjafa.

Ef við gefum okkur að þurr lífmassi til ráðstöfunar í metanólframleiðslu sé 30.000 t/ár má fá úr þessu magni um 21.000 t/ár af metanóli.

Fyrir utan úrgang má einnig hugsa sér að nota plöntur sem beinlínis er ræktaðar í þeim tilgangi að binda kolsýru. Hér hafa menn sérstaklega horft til lúpínu í þeim tilgangi. Áætlað hefur verið að með því að rækta upp 6250 hektara af söndum á Suðurlandi megi fá um 25.000 tonn/ár af þurri lúpínu. Eftir að búð er að vinna ýmis verðmæt efni úr lúpínunni verður eftir cellulósí og önnuer efni (22.000 t/ár) sem nýta má til framleiðslu á metanóli. Þannig má fá um 8.000 t/ár af metanóli úr 25.000 t/ár af lúpínu^x

3. Kostnaður við framleiðslu metanóls og vetnis

3.1 Framleiðslukostaður vetnis

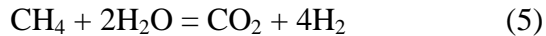
Í skýrslunni „Möguleikar vetnisframleiðslu á Íslandi“^{xi} (1992, gengi 1 USD = 58,312 ISK) var áætlað að framleiðslukostnaður á vetni með rafgreiningu væri 9 - 10 kr/Nm³, eða 100 - 112 kr/kg vetnis, eftir því hvernig fjármagnskostnaður er reiknaður (m.v. að raforka kosti 1,85 US cent/kWh) fyrir 182.819.000 Nm³ (16.400 t) framleiðslu á ári. Raforkunotkun við rafgreininguna er 4,54 kWh/Nm³ og raforkukostnaður því 4,9 kr/Nm³. Ef við gerum ráð fyrir að framleiðslukostnaður hafi hækkað í takt við vísitölu neysluverðs er framleiðslukostnaður vetnis nú áætlaður 10,3 - 11,4 kr/Nm³.

Framleiðslukostnaður vetnis breytist tiltölulega lítið með stærð verksmiðja^{xii}. Hér verður gert ráð fyrir að framleiðslukostnaður sé 11,4 kr/Nm³.

Með raforkunotkun vegna þjöppunar má gera ráð fyrir að rafafllspörf við framleiðslu vetnis sé 6,9 MW á hver 1000 t vetnis.

Ofangreindar tölur gera ráð fyrir að vetnið sé framleitt með hefðbundnum rafgreinum frá Norsk Hydro. Nýjar tegundir rafgreina sem nota minni orku hafa verið í þróun undanfarin ár. En þar sem alls óvíst er hvernig til muni takast við þróun þessarar nýju tækni er hér gert ráð fyrir að notuð sé hefðbundin rafgreining.

Erlendis er vetni aðallega framleitt úr jarðgasi (aðallega metan) skv. eftirfarandi jöfnu



og er þá framleiðslukostnaður vetnis mjög háður verðinu á gasinu. Mjög mikil stærðarhagkvæmni er við framleiðslu vetnis á þennan hátt og eru því vetnisverksmiðjur sem byggja á jarðgasi því yfirleitt mjög afkastamiklar. Stærsti ókosturinn við þess aðferð er sá það myndast 5,5 kg kolsýru fyrir hvert kg vetnis.

Hægt er að framleiða vetni úr jarðgasi án þess að það myndist kolsýra með því að pýrólýsera það við 800 °C skv. eftirfarandi efnajöfnu^{xiii}



Kolefnið sem þannig myndast er hægt að nota sem fylliefni t.d. í gúmmí en stærstum hluta þessa þarf þá að farga á einhvern hátt. Vetni sem framleitt er á þennan hátt mun því líklega kosta tvöfalt meira en vetni sem framleitt er úr jarðgasi á hefðbundinn hátt.

3.2 Vetniskostnaður vegna metanólframleiðslu

Í töflu 3 eru teknar saman tölur um framleitt magn metanóls með þeim aðferðum sem fjallað er um í kafla 2, einnig er gefið upp magn vetnis sem þarf fyrir framleiðsluna. Vetniskostnaður á tonn metanóls er einnig gefinn en þar er reiknað með að vetnið kosti 128 kr/kg. Einnig er gefin upp rafafllspörf fyrir framleiðslu vetnisins og hversu mikið er hægt að draga úr losun kolsýru með því að umbreyta kolmónoxíði eða kolsýru í metanól.

Tafla 3. Magn metanóls sem hægt er að framleiða úr ýmsum kolefnisuppsprettum á Íslandi. Einnig er gefið upp magn rafgreiningarvetnis sem þarf fyrir framleiðsluna, kostnaður vegna vetnis, rafafliþörf vegna vetnisframleiðslu og minnkun á losun kolsýru ef metanól er framleitt í staðinn fyrir að sleppa afgangi út í andrúmsloftið.

	Magn efnis (t/ár)	Magn metanóls (t/ár)	Magn vetnis (t/ár)	Vetnis-kostnaður (ISK/t metanóls)	Rafafliþörf v. vetnis fr. (MW)	Minnkun á losun kolsýru (t/ár)
Kolmónoxíð frá Ij ^a	76.400	87.200	10.000	14.000	69	120.000
Kolmónoxíð frá Ij ^b	76.400	37.300	0	0	0	46.000
Kolsýra frá HS	100.000	72.700	13.700	21.100	94,5	100.000
Sorphaugagas	8.000	10.000	380	4.300	2,6	14.000
Lifmassi	30.000	21.000	2300	14.000	16	?

^a Lokaður 42 MW ofn. Rafgreiningarvetni bætt við.

^b Lokaður 42 MW ofn. Hluti kolmónoxíðsins notaður til að búa til vetni.

^c Áætlað magn kolsýru frá Hitaveitu Suðurnesja í lok árs 1999.

Á markaði í Rotterdam er verð á metanóli oftast á milli 120 - 200 USD/t^{xiv}. Fyrri hluta árs 1997 fékk stærsti metanólframleiðandi í heimi að meðaltali um 188 USD fyrir hvert tonn metanóls^{xv}. Ef gert er ráð fyrir að verðið sé að meðaltali 180 USD og að flutningkostnaður til Íslands sé 20 USD/t er verð á metanóli hér um 200 USD/t eða 14600 ISK/t. Skv. töflu 3. er vetniskostnaður því í mörgum tilfellum svipaður eða hærri en verð á metanóli á Íslandi. Vetniskostnaður er lægri en verð á metanóli þegar hluti af kolmónoxíðinu frá Grundartanga er notaður til vetnisframleiðslu og þegar framleitt er metanól úr sorphaugagasi. Framleiðsla úr sorphaugagasi yrði að öllum líkindum mjög dýr vegna þess hve lítið er hægt að framleiða, fyrir utan það að líklega eru aðrir kostir vænlegri til nýtingar á sorphaugagasi. Framleiðsla úr lífmassa yrði líklega einnig mjög dýr. Nýlegar niðurstöður frá Swiss sýna að fyrir 8.000 t/ár framleiðslu á metanóli úr lífmassa er kostnaðarverð töluvert mikið hærra en markaðsverð^{xvi}.

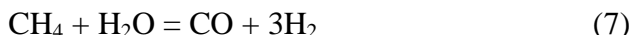
Hér á eftir verður einungis reiknað með þeim kosti að framleiða metanól úr kolmónoxíði frá Járblendifélaginu. Vert er að vekja athygli á því að til þess

framleiða metanól úr öllu afgasinu frá einum 42 MW ofni, með því að bæta við nauðsynlegu magni af rafgreiningarvetni, þarf að virkja 69 MW til viðbótar vegna vetnisframleiðslu.

3.2 Framleiðsla metanóls

3.2.1 Stofnkostnaður metanólverksmiðja

Erlendis er „syngas“ blanda fyrir metanólframleiðslu oftast framleidd úr metangasi skv. eftirfarandi jöfnu (natural gas reforming)



Í nýjum verkmiðjum virðist einnig að hluta til notast við hlutoxun (partial oxidation) skv. eftirfarandi jöfnu



Afkastageta nýrra metanólverksmiðja erlendis sem framleiða metanól úr gasi er 800.000 - 1.000.000 t/ár. Nýlega var t.d. tekin í notkun metanólverksmiðja í Noregi sem getur framleitt 850.000 t/ár og var stofnkostnaður við sjálfa metanólverksmiðjuna 3,2 milljarðar NOK, eða sem samsvarar 36.000 ISK/tonn^{xvii}. Í Chile er Metanex Corp. nú að bæta við þriðju framleiðslueiningunni fyrir metanólframleiðslu og er afkastgeta þessara viðbótar 975.000 t/ár, og stofnkostnaður 300 milljónir USD, eða sem samsvarar 24.500 ISK/t^{xviii}.

Stofnkostnaður 900.000 t/ár verksmiðju var árið 1989 áætlaður 230 - 350 milljónir USD (á verðlagi ársins 1987), eftir staðsetningu verksmiðju. Frá 1987 hefur stofnkostnaður hækkað um 20 % (Chemical Engineering Plant Cost Index). Skv. þessu er stofnkostnaður 900.000 t metanólverksmiðju því nú á bilinu 276 - 420 milljón USD, 22.400 - 34.000

ISK/t. Hér verður gert ráð fyrir að stofnkostnaður 900.000 t/ár metanólverksmiðju á Íslandi sé á þessu bili.

Metanól framleiðslu má skipta í eftirfarandi þrep (ef miðað er við „natural gas reforming“)

Framleiðsla á syngasi

Þjöppun á syngasi

Metanól framleiðsla

Hreinsun (eiming)

Um helmingur stofnkostnaðar er vegna þreps 1 þegar framleitt er metanól sem eldsneyti^{xix}. Stofnkostnaður við síðustu þrjú þrepin er því áætlaður 11.200 - 15.350 ISK/t fyrir 900.000 t/ár verksmiðju.

Ef áætla þarf stofnkostnað fyrir aðrar verksmiðjustærðir má notast við eftirfarandi jöfnu

$$S_1/S_2 = (A_1/A_2)^{0,6} \quad (9)$$

Þar sem A_1 og A_2 eru afköst verksmiðju 1 og 2 og S_1 og S_2 stofnkostnaður þeirra.

3.2.2 Stofnkostnaður fyrir metanólframleiðslu á Íslandi

Tafla 3 sýnir að afköst hugsanlegra metanólverksmiðja á Íslandi eru mikið minni en verksmiðja sem nú eru byggðar. Því má búast við því að fjármagnskostnaður á tonn metanóls sé mjög hár á Íslandi samanborið við fjármagnskostnað í metanólverksmiðjum erlendis.

Stofnkostnaður fyrir framleiðslu 87.200 árstonna framleiðslu úr rafgreiningarvetni og kolmónoxíði er út frá jöfnu 9 áætlaður um 25 % af stofnkostnaði fyrir 900.000 tonna verksmiðju (án syngasframleiðslu), eða á bilinu 35 - 52 milljón USD. Stofnkostnaður reiknaður á tonn metanóls er því 29.300 - 43.500 ISK. Hér er vert að benda á að ekki er gert ráð fyrir búnaði til þess að hreinsa afgasið þannig að það henti fyrir metanólframleiðslu, en gera má ráð fyrir töluverðum stofnkostnaði vegna þess.

Ef hluti kolmónoxíðsins er notaður til að framleiða vetni þannig að engu rafgreiningarvetni er bætt við er hægt að framleiða 33.900 t/ár af metanóli. Í þessu tilfelli þaf að bæta við búnaði vegna vetnisframleiðslu skv jöfnu 3. Einnig þarf að bæta við búnaði til að hreinsa kolsýru úr gasinu. Hér verður gert ráð fyrir að þessi búnaður kosti álíka mikið og búnaður til að framleiða syngas úr náttúrulegu gasi. Stofnkostnaður 33.900 t/ár verksmiðju er skv. jöfnu 9 áætlaður 14 % af stofnkostnaði 900.000 t/ár verksmiðju (án syngasframleiðslu) eða 39 - 59 milljón USD. Stofnkostnaður reiknaður á tonn metanóls er því 84.000 - 127.000 ISK.

3.2.3 Kostnaðarverð metanóls

Með notkun rafgreiningarvetnis

Ef miðað er við 10 ára afskriftatíma og 10 % vexti eru afskriftir og fjármagnsgjöld (með arði) að meðaltali um 4.800 - 7.000 ISK/ár fyrir hvert tonn metanóls. Skv. töflu 3 er vetniskostnaður um 14.000 ISK/tonn metanóls. Þessir tveir kostnaðarliðir eru því 18.800 - 21.000 ISK. Fyrir 900.000 tonna verksmiðju sem framleiddi metanól úr metani var 1989 áætlað að aðrir kostnaðarliðir (vinnuafli, orka, yfirstjórn, hvatar o.fl.) væri um 30 USD/t eða um 2200 ISK/t. Hér verður gert ráð fyrir að aðrir kostnaðarliðir vegna framleiðslu á Grundartanga séu 5.000 ISK/t metanóls.

Kostnaðarverð metanóls frá Grundartanga getur því verið 23.800 - 27.600 ISK/t og er það 65 - 90 % herra en verð á metanóli sem keypt er á heimsmarkaði (14.600 ISK/t) og flutt til Íslands.

Engu rafgreiningarvetni bætt við

Ef miðað er við 10 ára afskriftatíma og 10 % vexti eru afskriftir og fjármagnsgjöld (með arði) að meðaltali um 13.700 - 20.700 ISK/ár fyrir hvert tonn metanól. Ef gert er ráð fyrir að aðrir kostnaðaraliðir vegna framleiðslu á 33.900 t/ár af metanóli á Grundartanga séu 6.000 ISK/tonn að meðaltali er kostnaðarverð metanóls 19.700 - 26.700 ISK/t.

Munurinn á ofangreindum tveimur kostum er lítill. Það virðist álíka hagkvæmt að nota hluta kolmónoxíðsins til þess að framleiða vetni og búa síðan til metanól úr afganginum af kolmónoxíðinu og að nota allt kolmónoxíðið og bæta við nauðsynlegu magni af rafgreiningarvetni.

ⁱ Þorsteinn Hannesson, 1998. Símbref 16.04.998.

ⁱⁱ Baldur Elíasson 1994. „CO₂ Chemistry: An Option for CO₂ Emission Control“ í „Carbon Dioxide Chemistry: Environmental Issues“ ritstj. Paul og Pradier, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 5 - 15.

ⁱⁱⁱ Albert Albertsson, 1998. Munnlegar upplýsingar.

^{iv} K.Grjotheim og B.J.Welch, 1980. Aluminium Smelter Technology, Aluminium Verlag, Düsseldorf, 146 s.

^v K.Grjotheim, C.Krohn, M.Malinkovský, K.Matiašovský og J. Thonstad, 1982. Aluminium Electrolysis. Fundamentals of the Hall-Héroult Process. Aluminium Verlag, Düsseldorf, 443 s.

^{vi} Hermann Þórðarson, 1995. Gasmælingar í sorphaugunum í Álfsnesi, Iðntæknistofnun, ITÍ9522/EU03T, 23 s.

^{vii} T.B.Reed og M.Grabovski 1982. (ritsj). Proceedings of the Biomass to Methanol Specialists' Workshop (second printing). Biomass Energy Foundation Press, Golden, Colorado, 331 s.

^{viii} Larson, Eric D. og Katofsky, Ryan E. 1992 „Production of methanol and hydrogen from biomass“, PU/CEES Report No. 27, Princeton University, Princeton, 43 s.

^{ix} T.B. Reed, M.Markson og M.Grabovski, 1982. „The SERI High Pressure Oxygen Gasifier“ í Reed og Grabovski 1982. (ritsj). Proceedings of the Biomass to Methanol Specialists´ Workshop (second printing). Biomass Energy Foundation Press, Golden, Colorado, s. 151 - 174.

^x Ragnar Jóhannsson og Hermann Þórðarson, 1998. „Feasibility Study of Lupine Nootkatensis“, Handrit, Iðntæknistofnun.

^{xi} Ragnar Gunnarsson, Bragi Árnason, Valdimar K. Jónnson og Þorsteinn I. Sigfússon 1992. „Möguleikar vetnisframleiðslu á Íslandi“, Háskólaútgáfan, 71 s.

^{xii} J.P. Daum, 1993. „Determining the Cost of Hydrogen“. Inform, 4(12), s. 1395 - 1399.

^{xiii} M. Steinberg, 1996 „The Carnol System for methanol production and CO₂ mitigation from coal fired power plants and the transportation sector“ Brookhaven National Lab., Upton, NY (United States) Primary Report Number: BNL—62761, 12s.

^{xiv} Teknisk Ukeblad, 2/6 ´97

^{xv} Chemical Marketing Reporter, 15/12 1997.

^{xvi} Paul Sherrer Institut, „BIOMETH. An Environmentally Friendly Fuel From Waste“, 21 s.

^{xvii} Teknisk Ukeblad 30/5 ´97 og 2/6 ´97

^{xviii} Chemical Marketing Reporter, 7/10 ´96

^{xix} United States Department Of Energy, 1989. „Assessment of Costs and Benefits of Flexible and Alternative Fuel Use in the United States, Technical Report Three: Methanol Production and Transportation Costs. DE90 002625, 26 s.