



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

# FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS Á ÍSLANDI

Vinnuhópur um vetni  
og vetnissambönd

OS80016/JHD08

Reykjavík, maí 1980

# **FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS Á ÍSLANDI**

## **Vinnuhópur um vetni og vetnissambönd**

**Jón Steinar Guðmundsson, Orkustofnun, formaður  
Bragi Árnason, Raunvísindastofnun Háskólans  
Gunnlaugur Jónsson, Orkustofnun  
Runólfur Þórðarson, Áburðarverksmiðju ríkisins**

**OS80016/JHD08**

**Reykjavík, maí 1980**



Dags.  
1980-06-05  
Dags.

Tilv. vor  
JB/sg  
Tilv. yðar

...  
Iðnaðarráðuneytið  
Arnarhvoli  
101 Reykjavík  
...

Varðar: Álitserð vinnuhóps um vetni og vetnissambönd.

Hjálagt sendist hinu háa ráðuneyti skýrsla, sem Orkustofnun hefur látið gera um möguleika á því að framleiða eldsneyti á Íslandi. Skýrslan er samin af vinnuhópi, sem orkumálastjóri skipaði í janúar 1979 til að kanna möguleika á að framleiða eldsneyti hér á landi. Í honum áttu eftirtaldir menn sæti:

Dr. Bragi Árnason, prófessor, Raunvísindastofnun Háskólans  
Runólfur Þórðarson, framkvæmdastjóri, Áburðarverksmiðju ríkisins  
Gunnlaugur Jónsson, eðlisfræðingur og rekstrarhagfræðingur,  
Orkustofnun, og  
Dr. Jón Steinar Guðmundsson, efnaverkfræðingur, Orkustofnun

og var hann formaður vinnuhópsins.

Vinnuhópurinn hefur unnið að þessu verkefni síðan. Að mati undirritaðs hefur hann vandað mjög vel til verksins. Hafa þátttakendur m.a. kynnt sér þá tækni, sem hér um ræðir með bréfaskiftum við og heimsóknum til fyrirtækja og stofnana báðum megin Atlantshafsins, auk þess sem þeir hafa kynnt sér nýlegar ritsmiðar um þessi efni í tímaritum. Niðurstöður hópsins eru því eins vel grundvallaðar og sanngjarnt er að gera kröfu til, miðað við núverandi aðstæður og tækni.

Meginniðurstöður af athugunum vinnuhópsins má draga saman þannig:

- Vetni verður tæpast notað beint sem eldsneyti hérlendis á þessari öld, aðallega vegna þess að hagkvæm tækni til geymslu og dreifingar á vetni er ekki til nú og ekki er fyrir sjáanlegt að hún verði það á næstunni.
- Unnt er að búa til fljótandi eldsneyti úr vetni og kolefni. Vetnið má framleiða úr vatni með rafgreiningu eða með því að leiða vatnsgufu yfir kola- og olíueld, svipað og tíðkaðist í gasstöðvum, þar á meðal í gasstöðinni í Reykjavík, í eina tíð. Fer það eftir innvörðis verðhlutföllum raforku og kola hvor aðferðin er ódýrari. Við núverandi aðstæður er mun ódýrara að nota kol, jafnvel þótt flytja þurfi þau inn.
- Kolefnisgjafinn í slíkri eldsneytisframleiðslu getur fræðilega séð verið innlendur (mór, surtarbrandur, jafnvel ýmis fleiri efni). Á hinn bóginn eru litlar líkur taldar á því að innlent kolefni geti keppt við innflutt hvað verð snertir. Hefur því verið reiknað með innfluttum kolum í athugun þessari.

- Metanól (tréspíritus) er það fljótandi eldsneyti, sem nærtækast er að búa til úr vetni og kolefni. Óráðlegt þykir samt að mæla á þessu stigi með notkun metanóls sem eldsneytis hér á landi sökum þess að brennslutækni þess er enn á þróunarstigi; breyta þarf aflvélum til að geta notað það, og auk þess þarf að byggja upp nýtt geymslu- og dreifingarkerfi, við hliðina á dreifikerfi fyrir bensín. Ókostur er það einnig að orkuinnihald metanóls er helmingi minna en bensíns.
- Metanólið er á hinn bóginn hentugt að nota sem milliefni og framleiða úr því bensín. Til þess eru tiltækar allvel þróaðar aðferðir. Talið er að tilbúið bensín kosti aðeins 15% meira en metanól, miðað við sama orkuinnihald, en slíkt eldsneyti má nota beint á aflvélar sem fyrirhendi eru og nýta núverandi kerfi til geymslu- og dreifingar.
- Verksmiðja á Íslandi fyrir tilbúið bensín sem afkastar 110 000 tonnum af bensíni á ári þarf á bak við sig metanólverksmiðju, sem framleiðir 266 200 tonn af metanóli á ári; vetnisverksmiðju er tekur 202 MW af raforku og virkjun er væri 298 MW, ásamt samsvarandi flutningslínu. Stofnkostnaður þessara mannvirkja í heild er talinn 424 milljónir dollara á verðlagi í ársbyrjun 1979.
- Framleiðslukostnaður bensíns í slíkri verksmiðju er áætlaður 507-622 dollarar á tonn ef notað er rafgreint vetni og innflutt kol, miðað við að raforkan kosti 15-20 mills/kWh og kolin 45-75 dollara á tonn. Sé vetnið ekki framleitt með rafgreiningu heldur með innfluttum kolum á ofangreindu verði áætlast vinnslukostnaður bensínsins 390-513 dollarar á tonn. Innflutningsverð á venjulegu bensíni, þ.e. úr jarðolíu, er nálægt 350 dollarar á tonn.
- Bensínverksmiðja, sem framleiðir 110 000 tonn á ári verður að teljast lítil verksmiðja. Líklegt er að vinnslukostnaður bensíns erlendis í mun stærri verksmiðjum, þar sem kol eru notuð til vetnisvinnslunnar, geti orðið nokkru lægri en 390-513 dollarar á tonn, enda myndu kolin kosta minna erlendis en þegar búið er að flytja þau hingað til lands. Á hinn bóginn bætist flutningskostnaður bensínsins hingað við vinnslukostnað þess erlendis, en samt er líklegt að innflutt tilbúið bensín kosti nokkru minna en bensín framleitt hérlendis úr kolum eingöngu, án þess að nota rafgreint vetni.

Af framanrituðu má draga þá meginályktun að framleiðsla á fljótandi eldsneyti sé sem stendur ekki samkeppnisfær við innfluttar olíuvörur, hvort heldur notað er rafgreint vetni til framleiðslunnar eða vetnið er unnið með kolabrennslu. Slík framleiðsla er þó nær því að vera samkeppnisfær ef ekki er notað rafgreint vetni.

Hér ber að leggja áherslu á orðin "sem stendur". Um er að ræða svið þar sem allar forsendur og viðmiðanir eru sífelldum breytingum undirorpnar. Vert er í því sambandi að nefna sérstaklega:

1. Verð á hráolíu - og þar með á olíuvörum - mun næstum örugglega hækka mun örur en verð á kolum og stofnkostnaður virkjana og eldsneytisverksmiðja, þannig að samkeppnis- aðstaða tilbúins eldsneytis, sem byggt er á rafgreindu vetni, gagnvart nátturulegum olíuvörum mun batna í framtíðinni.

2. Vænta má að innan skamms (5 ára eða svo) ryðji sér til rúms ný tækni í rafgreiningu (t.d. svonefnd SPE-rafgreining - solid polymer electrolysis) er lækki verulega kostnað við framleiðslu á vetni.

Bæði þessi atriði bæta samkeppnisaðstöðu innlendrar eldsneytisframleiðslu er byggir á rafgreindu vetni. En jafnframt má slík framleiðsla búast við nýjum heppinautum, sem ekki eru til nú, og kunna að reynast erfiðir. Mætti þar nefna ýmsa til, en ekki er ósennilegt að þeir tveir, sem að neðan eru taldir kunni að reynast erfiðastir í nálægri framtíð:

3. Fljótandi eldsneyti úr kolum.
4. Fljótandi eldsneyti unnið úr jarðgasi (hér er ekki átt við fljótandi jarðgas, LNG).

Geysimikil áhersla er lögð á það víða um heim um þessar mundir að þróa og bæta aðferðir til að framleiða þessar eldsneytistegundir og til þess er varið miklum fjármunum. Þróuð tækni er raunar sumpart fyrir hendi. T.d. framleiddu Þjóðverjar bensín úr kolum í stórum stíl í seinni heimsstyrjöldinni og sama hafa Suður-Afríkumenn gert síðar, en sú framleiðsla hefur ekki staðist samkeppni um verð við náttúrulegar olíuvörur, og gerir ekki enn. Áhersla er því á að finna ódýrari framleiðsluaðferðir. Hin mikla viðleitni til þess, samfara síhækkandi olíuverði, getur leitt til þess að slík gervieldsneyti "slái í gegn" fyrr en varir. Sérstaklega er þetta líklegt varðandi eldsneyti úr jarðgasi, sem er á margan hátt auðveldara viðfangs en kol. Sumar auðugar jarðgaslindir eru svo afskekktar að ekki borgar sig að nýta þær á hefðbundinn hátt. Að breyta gasinu í bensín eða annað fljótandi eldsneyti sem auðvelt er að flytja getur opnað stórfellda möguleika víða um heim.

Að endingu er vert að nefna annan keppinaut, þótt hann sé af öðru tagi:

5. Aðrir stórnotendur raforku á Íslandi kunna að geta boðið herra raforkuverð en eldsneytisiðnaður.

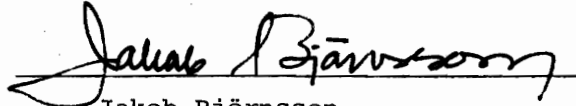
Sagt með öðrum orðum: Það kann að reynast hagkvæmara að nota vatnsorkuna til annars en að framleiða eldsneyti. Reynist svo er það þjóðinni efnahagslega meiri ávinningur að nota raforkuna til þessara nota, og flytja þá heldur inn eldsneytið. Þetta er mikilvægt að hafa í huga er meta skal hvaða verð á raforku skuli ætla innlendri eldsneytisframleiðslu. Þar ber að miða við hið herra af tvennu: Markaðsverð eða vinnsluverð viðbótarorku.

Horfurnar varðandi innlenda eldsneytisvinnslu eru þannig mjög óvissar sem stendur. Sumt af því sem framundan er gerir slíka vinnslu álitlegri en nú, en jafnframt er að vænta keppinauta er kippt gætu grundvelli undan henni. Breytingar eru mjög örar í þessum efnunum. Að mati Orkustofnunar er hin rétta stefna því sú, að fylgjast mjög gaumgæfilega með þróun nýrrar rafgreiningartækni annars vegar og framleiðslutækni tilbúins eldsneytis hins vegar. Jafnframt verði aðrir nýtingarkostir á vatnsorku landsins kannaðir vandlega og hagkvæmni þeirra og eldsneytisvinnslu borin saman. Strax og vart verður jákvæðari aðstæða fyrir innlenda eldsneytisvinnslu en nú ríkja, eða horfur þykja á þeim, verði gerð ný og ítarlegri athugun. Á hinn bóginn

sýnast ekki efni til nýrrar athugunar strax, enda verða allar niðurstöður mjög fljótt úreltar meðan staða eldsneytismála er jafn óviss og nú.

Orkustofnun mun fyrir sitt leyti reyna að fylgjast sem best með í þessum efnum. Hún leyfir sér jafnframt að óska eftir viðræðum nú á næstunni við hið háa ráðuneyti um þessi mál í heild sinni.

Allra virðingarfyllst,

A handwritten signature in black ink, reading 'Jakob Björnsson'. The signature is written in a cursive style with a long horizontal stroke extending to the left.

Jakob Björnsson  
orkumálastjóri

ÁGRIP

Frá ársbyrjun 1979 hefur starfað vinnuhópur um vetni og vetnissambönd, sem orkumálastjóri skipaði til að kanna möguleika á að framleiða eldsneyti hér á landi. Álitsgerð vinnuhópsins fjallar aðallega um tæknileg atriði er varða rafgreint vetni og aðrar eldsneytistegundir (metanól og tilbúið bensín), sem hægt er að framleiða úr vetni og innfluttum kolum. Vinnuhópurinn hefur komist að þeirri niðurstöðu að vetni verði tæpast notað sem eldsneyti hérlendis á þessari öld. Þrátt fyrir það var gerð áætlun um framleiðslukostnað rafgreinds vetnis til notkunar við framleiðslu á öðru tilbúnu eldsneyti. Athuganir vinnuhópsins á metanóli sem eldsneyti sýna að notkun þess kemur varla til greina á næstu árum, m.a. vegna tæknilegra þátta og kostnaðar. Hins vegar er til aðferð sem breytir metanóli í tilbúið bensín með litlum aukakostnaði. Vinnuhópurinn hefur gert frumáætlun um framleiðslu tilbúins bensíns úr metanóli, sem búið yrði til úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum. Til samanburðar var líka gerð áætlun um framleiðslukostnað bensíns úr kolum eingöngu. Báðar þessar áætlanir eru miðaðar við 110.000 tonn/ári bensínframleiðslu. Miðað við núverandi tækni og líklegt verð á raforku og innfluttum kolum virðist ljóst að rafgreint vetni er enn of dýrt til að vera samkeppnisfært við eldsneytisframleiðslu úr kolum. Með hækkandi kolaverði og bættri rafgreiningartækni á næstu árum gæti hlutur rafgreinds vetnis batnað að þessu leyti. Áætlanir vinnuhópsins sýna að á verðlagi í ársbyrjun 1979 kostar 507-622 \$/tonn að framleiða tilbúið bensín úr rafgreindu vetni og kolum, en 390-513 \$/tonn úr innfluttum kolum eingöngu. Vinnuhópurinn leggur til við orkumálastjóra að fylgst verði með þróun rafgreiningartækni vetnis og framleiðslutækni tilbúins eldsneytis. Stuðlað verði að samvinnu við þær þjóðir sem hyggja á framleiðslu tilbúins eldsneytis. Hafist verði handa um athuganir á öðrum orkunýtingarkostum landsmanna til samanburðar við hugsanlega eldsneytisframleiðslu. Gerð verði athugun á íslenskum mó. Orkustofnun vinni að því að samræma frekari athuganir á innlendri eldsneytisframleiðslu.





EFNISYFIRLIT

	Bls.
BRÉF TIL IÐNAÐARRÁÐUNEYTTISINS .....	i-iv
ÁGRIP .....	5
EFNISYFIRLIT .....	7
SKRÁ YFIR TÖFLUR .....	8
SKRÁ YFIR MYNDIR .....	8
EININGAR OG TÁKN .....	9
1 INNGANGUR .....	11
2 ELDSNEYTISMARKAÐURINN .....	15
3 VETNI SEM ORKUBERI .....	19
4 FRAMLEIÐSLA VETNIS Á ÍSLANDI .....	23
5 METANÓL SEM ELDSNEYTI .....	33
6 TILBÚIÐ BENSÍN .....	39
7 UMREÐA .....	47
8 NIÐURSTÖÐUR .....	55
9 TILLÖGUR .....	57
HEIMILDASKRÁ .....	59

## TÖFLUSKRÁ

	Bls.
2.1 Sala á innfluttu eldsneyti 1972-1978 .....	16
2.2 Olíunotkun 1977 og drög að spá um olíunotkun 1980-2000 .....	17
4.1 Helstu kennistærðir vetnisverksmiðja .....	25
4.2 Stofnkostnaður vetnisverksmiðju (M\$) .....	26
4.3 Framleiðslukostnaður vetnis ( $\$/Nm^3 H_2$ ) .....	26
6.1 Samanburður á metanólverksmiðju eftir stærð, verðlagi og framleiðsluaðferð .....	44
7.1 "Nauðsynleg" verðlækkun á rafgreindu vetni .....	53
7.2 Áætlaður stofnkostnaður bensíniðnaðar (110.000 tonn/ári) .....	53

## MYNDASKRÁ

2.1 Olíuverð 1977-1979. Rotterdammarkaður, fob skv. "Platt's Oil Gram" ..	18
3.1 Framleiðalukostnaður vetnis, sem fall af hráefnis- og orkuverði ..	22
4.1 Spennubreytir og afriðill ásamt röð rafgeyma .....	27
4.2 Starfrás rafgreiningarverksmiðju .....	28
4.3 Eining úr Norsk Hydro rafgreini .....	29
4.4 Framleiðslukostnaður vetnis, sem fall af raforkuverði og verksmiðjustærð .....	30
4.5 Framleiðslukostnaður vetnis án raforkukostnaðar .....	31
5.1 Framleiðslukostnaður metanóls úr kolum eingöngu <u>eða</u> kolum og rafgreindu vetni .....	38
6.1 Framleiðslukostnaður bensíns úr rafgreindu vetni og kolum .....	45
6.2 Framleiðslukostnaður bensíns úr mismunandi dýrum kolum .....	46

EININGAR OG TÁKN

$m = 10^{-3}$  (milli-)

$k = 10^3$  (kíló-)

$M = 10^6$  (mega-)

$G = 10^9$  (gíga-)

$T = 10^{12}$  (tera-)

J: orka (joule)

W: afl (watt)

h: tími (stund)

g: massi (gramm)

m: lengd (meter)

V: spennna (volt)

GJ: orka (=278 kWh)

m\$: millidollar (=0,001 \$)

\$/GJ: orkuverð (=3,48 m\$/kWh)

m\$/kWh: orkuverð (=0,278 \$/GJ)

$Nm^3 H_2$ : rúmmetri vetnis við staðalskilyrði

MJ/kg: orkugildi

$kg/m^3$ : eðlismassi

M\$: megadollar (=1.000.000 \$)



## 1 INNGANGUR

Um áramótin 1978/1979 skipaði orkumálastjóri vinnuhóp til að semja greinargerð um vetni og vetnissambönd. Í vinnuhópinn voru skipaðir menn frá Áburðarverksmiðju ríkisins, Orkustofnun og Raunvísindastofnun Háskólans, er þeir eru:

Dr. Bragi Árnason, efnafræðingur

Gunnlaugur Jónsson, eðlis- og hagfræðingur

Dr. Jón Steinar Guðmundsson, verkfræðingur (formaður)

Runólfur Þórðarson, verkfræðingur

Vinnuhópnum var falið að semja greinargerð, sem væri byggð á nýjustu tiltækum heimildum um möguleika á að hagnýta vetni og vetnissambönd, önnur en kolvetni (hydrocarbons), sem orkubera í íslenskum orkubúskap í framtíðinni. Í greinargerðinni skyldi reynt að meta á eins raunhæfan hátt og framast er unnt á núverandi þekkingarstigi, tæknilegar og efna-hagslegar forsendur slíkrar notkunar vetnis og þróun þeirra fram til aldamóta. Í greinargerðinni skyldi m.a. fjallað um hvert eftirfarandi atriða um sig:

1. Núverandi stöðu og líklega þróun á eldsneytismarkaðinum.
2. Núverandi stöðu og líklega þróun aðferða til að geyma vetni í loftkenndu eða fljótandi formi, eða sem málmefnasambönd (hydrides) til notkunar í farartækjum á landi, sjó eða í lofti.
3. Núverandi stöðu og líklega þróun aðferða til staðbundinnar geymslu á vetni í tönkum og til flutninga á því á sjó í stórum stíl.
4. Núverandi stöðu og líklega þróun aflvéla sem brenna vetni, bæði í farartækjum og í iðnaði.
5. Núverandi stöðu og líklega þróun í vinnslu vetnis með rafgreiningu.
6. Núverandi stöðu og líklega þróun aðferða til að vinna vetni á varmaefnafræðilegan (thermochemical) hátt við hitastig sem leyfir notkun jarðvarma við vinnsluna.

Vinnuhópurinn aflaði upplýsinga og gagna um vetni og vetnissambönd með margvíslegum hætti. Fyrir lágu upplýsingar frá alþjóðlegri vetnisráðstefnu [1], sem Bragi Árnason og Runólfur Þórðarson sóttu sumarið 1978, en að lokinni þeirri ráðstefnu skrifaði Bragi Árnason skýrslu [2], þar sem sagt er frá þeim möguleikum að taka upp notkun vetnis eða metanóls á Íslandi í stað núverandi eldsneytistegunda. Á bókasöfnum hérlandis var auk þess nokkuð af tímaritum og bókum um vetnis- og eldsneytismál. Vinnuhópurinn fylgdist náið með tímaritsgreinum, sem birtust á árinu og haft var samband við aðila í Bandaríkjunum, Bretlandi, Nýja Sjálandi og Svíþjóð til frekari upplýsingaöflunar.

Í mars/apríl 1979 gafst færi á að heimsækja nokkra aðila í Bretlandi, sem hafa með vetnis- og eldsneytismál að gera. Jón Steinar Guðmundsson heimsótti fyrirtæki og stofnanir til að afla upplýsinga og gagna um stöðu þessara mála í dag hjá Efnahagsbandalagsríkjunum og Evrópuþjóðum almennt. Gerð var skýrsla [3] um ferðina og þau gögn sem aflað var. Í lok apríl 1979 boðaði Svensk Metanolutveckling AB til fundar í Stokkhólmi um norræna samvinnu á sviði nýrra eldsneytisefna. Fulltrúi Orkustofnunar var Jón Steinar Guðmundsson, en frá Iónaðarráðuneytinu mætti Finnbogi Jónsson. Skrifuð var stutt greinargerð um þennan fund [4].

Í maí/júní 1979 fóru Bragi Árnason og Jóhann Már Maríusson, Landsvirkjun, til Bandaríkjanna í boði Independence Foundation/Eisenhower Exchange Fellowships Inc. m.a. til að kynna sér eldsneytisframléiðslu. Heimsóttu þeir mörg fyrirtæki og stofnanir og öfluðu fjölda greina og skýrslna um vetnis- og eldsneytismál. Skrifuð var greinargerð [4] með helstu niðurstöðum ferðarinnar. Í ágúst 1979 fóru svo Jón Steinar Guðmundsson (á vegum Orkustofnunar) og Runólfur Þórðarson (á vegum Áburðarverksmiðju ríkisins) til Bandaríkjanna til að kynna sér nýja rafgreiningartækni og önnur mál er varða verkefni vinnuhópsins. Heimsótt voru tvö olíufyrirtæki, eitt rafgreinafyrirtæki og ein rannsóknastofnun. Skýrsla hefur verið gerð um ferðina [5].

Skv. skipunarbréfi vinnuhópsins var honum falið að semja greinargerð um "vetni og vetnissambönd, önnur en kolvetni". Hér er metanól talið vetnissamband en bensín kolvetni. Þegar vinnuhópurinn tók til starfa þótti hinsvegar rétt að auka umfang greinargerðarinnar og fjalla líka um tilbúið bensín. Var þetta gert í samráði við orkumálastjóra.

Í störfum vinnuhópsins var í upphafi lögð mest áhersla á vetni, en upp á síðkastið hefur verið fjallað um framleiðslu tilbúins bensíns. Run-ólfur Þórðarson gerði áætlun vinnuhópsins um framleiðslu vetnis á Íslandi, sem birtist sem kafli 4 í þessari álitsgerð. Bragi Árnason skrifaði sérstaka skýrslu [6] fyrir vinnuhópinn þar sem fjallað er um núverandi stöðu og líklega þróun aðferða til að framleiða, geyma, dreifa og brenna vetni. Að mati vinnuhópsins hefur því verið gerð úttekt á vetni sem orkubera á Íslandi skv. skipunarbréfinu. Metanóli og tilbúnu bensíni hafa ekki verið gerð eins fullnægjandi skil, enda ekki á færi vinnuhópsins að kryfja þau mál til mergjar.

Þessi skýrsla er álitsgerð vinnuhópsins til orkumálastjóra og fjallar hún aðallega um þá tækni og þekkingu, sem eru nú fyrir hendi. Í öðrum skýrslum vinnuhópsins [3,4,5,6] er jafnframt sagt frá væntanlegri tækniþróun og þeim hugmyndum sem uppi eru um innlenda eldsneytisframleiðslu í framtíðinni.

Á miðju ári 1979 skipaði iðnaðarráðherra nefnd (Eldsneytisnefnd) til að gera tillögu að rannsóknáætlun varðandi hugsanlega framleiðslu eldsneytis hérlandis. Tveir meðlimir vinnuhópsins, þeir Bragi Árnason og Jón Steinar Guðmundsson, eiga sæti í Eldsneytisnefnd og hefur því verið náið samstarf og upplýsingastreymi á milli þessara aðila. Í þessu sambandi má nefna að uppkast að álitsgerð vinnuhópsins og fleiri gögn voru lögð fram í Eldsneytisnefnd. Þá fóru Þorsteinn Ólafsson, formaður Eldsneytisnefndar, og Jón Steinar Guðmundsson í gagnlega ferð til Bandaríkjanna í mars 1980 til að ræða við ráðgjafafyrirtæki um rannsóknáætlun nefndarinnar.





## 2 ELDSNEYTISMARKAÐURINN

---

Nýtanleg vatnsorka Íslands hefur löngum verið talin 35 TWh/ári. Mörk nýtanlegrar og ekki nýtanlegrar vatnsorku eru hinsvegar ekki skýr og fara eftir virkjunarkostnaði og orkuverði á hverjum tíma. Nýtanleg vatnsorka landsins ætti því að aukast með hækkandi orkuverði. Miklu minna er vitað um virkjanlegan jarðvarma en vatnsorku. Á undanförunum árum hefur þó komið fram að öll háhitasvæðin geti hugsanlega staðið undir svipaðri raforkuframleiðslu og vatnsföllin. Vegna óvissupátta um nýtanlega vatnsorku og jarðvarma vinnur Orkustofnun nú að endurskoðun á orkulindum landsins og bendir ýmislegt til þess að nýtanleg vatnsorka geti verið meiri en 35 TWh/ári.

Árið 1978 var raforkuframleiðslan alls 2.674 GWh, sem er væntanlega minna en 5% af virkjanlegri orku vatnsfalla og háhitasvæða. Af raforkuframleiðslunni voru 2.605 GWh (97,4%) frá vatnsaflsstöðvum, 18 GWh (0,7%) frá jarðvarmastöðvum og 50 GWh (1,9%) frá olíustöðvum. Á sama tíma var öll vinnsla jarðhita um 3.600 GWh af varma miðað við 40°C frárennslis-hitastig. Til hitaveitna fóru um 2.400 GWh (2/3 af heildarnotkun) en 1.200 GWh til annarra nota, m.a. raforkuframleiðslu. Árið 1978 voru seld um 603.000 tonn af innfluttu eldsneyti á Íslandi. Tafla 2.1 sýnir skiptinguna á milli eldsneytistegunda á undanförunum árum. Miðað við lægra hitagildi eldsneytisins nam heildarsalan 1978 um 7.250 GWh af varma. Orkunotkunin 1978 var því samtals 13.455 GWh af varma og raforku. Þar af voru 53,9% eldsneyti, 26,8% jarðvarmi og 19,4% raforka. Meira en helmingur orkunotkunar landsmanna er því innflutt eldsneyti. Af þeim 603.000 tonnum af eldsneyti sem seldust 1978 voru 51,1% gasolía, 26,8% bensín og 22,1% svartolía. Fiskveiðiflotinn er stærsti olíunotandinn á Íslandi, en hann notar um fjórðung alls eldsneytisins.

Gerð hafa verið drög að spá [7] um olíunotkun landsmanna fram til ársins 2000. Tafla 2.2 sýnir olíunotkun 1977 og áætlaða olíunotkun 1980, 1985, 1990 og 2000. Helstu niðurstöður spárinnar eru þær að heildarnotkunin muni vaxa um 5% frá 1977 til 1980, en haldist síðan að mestu óbreytt til aldamóta. Á þessum árum er áætlað að olíunotkunin verði um 600.000 tonn á ári. Þess má geta að skv. raforkuspá [8] er áætlað að raforkuþörf landsmanna tvöfaldist fram til aldamóta.

Undanfarið hafa orðið miklar verðhækkanir á innfluttu eldsneyti og talið er líklegt að frekari hækkana megi vænta í framtíðinni. Mynd 2.1 sýnir hvaða verðhækkanir hafa orðið á markaðinum í Rotterdam, en mest allt innflutt eldsneyti er keypt á þeirri skráningu [9]. Verslunarskýrslur sýna að til skamms tíma nam innflutningsverðmæti olíuvара 10-12% af heildarinnflutningi landsmanna, t.d. 1977 11,7% og 1978 10,9%. Eins og mynd 2.1 sýnir varð stökkbreyting á Rotterdamskráningu 1979 en þá voru fluttar inn olíuvörur fyrir 53,9 milljarða króna eða 18,5% af öllum innflutningi til landsins og hafði aukist um 70% frá árinu áður. Þessar verðhækkanir hafa valdið miklu álagi á þjóðarþúið og aukið allan áhuga landsmanna fyrir eldsneytisframleiðslu innanlands.

TAFLA 2.1

Sala á innfluttu eldsneyti 1972-1978

Eldsneyti	1972 k tonn	1973 k tonn	1974 k tonn	1975 k tonn	1976 k tonn	1977 k tonn	1978 k tonn
<u>Bensín</u>	64,4	71,4	76,4	77,7	78,8	86,7	90,8
<u>Flugvélabensín</u>	2,2	2,7	2,4	2,2	2,1	2,2	2,3
Innlendir aðilar	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5
Erlendir aðilar	0,5	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8
<u>Þotueldsneyti</u>	79,2	76,7	70,9	62,9	60,4	65,8	67,2
Innlendir aðilar	50,1	56,5	53,2	49,1	46,0	48,7	53,0
Erlendir aðilar	29,1	20,2	17,7	13,8	14,4	17,1	14,2
<u>Steinolía</u>	1,3	1,8	1,6	1,7	1,8	1,7	1,5
<u>Gasolía</u>	303,0	332,3	337,2	334,5	300,7	309,7	308,0
Húshitun	152,7	159,6	141,7	134,1	111,3	104,3	95,4
Fiskiskip	75,1	85,5	110,1	120,9	118,3	130,1	138,6
Farskip	...	...	...	...	...	...	...
Bifreiðar	26,4	29,0	27,4	25,2	25,0	25,4	25,6
Raforkuvinnsla	10,7	19,7	18,2	17,9	13,5	16,3	12,2
Iðnaður o.a.	38,1	38,5	39,9	36,4	32,6	33,6	36,3
<u>Brennsluolía</u>	93,9	107,9	99,3	95,1	105,1	125,0	133,0
<u>Samtals</u>	544,0	592,8	587,9	574,1	548,9	591,1	602,8

TAFLA 2.2

Oliunotkun 1977 og drög að spá um oliunotkun 1980-2000

Eldsneyti	1977 k tonn	1980 k tonn	1985 k tonn	1990 k tonn	1995 k tonn	2000 k tonn
Bensín	87	94	110	121	129	133
Flugvélabensín	2	2	2	3	3	3
Potueldsneyti	66	70	81	94	109	126
Steinolía	2	2	2	3	3	3
Gasolía	310	292	244	218	209	202
Húshitun	104	70	20	2	1	1
Fiskiskip	130	150	150	140	130	120
Bifreiðar	25	27	30	33	36	40
Raforkuvinnsla	16	10	9	8	7	6
Iónaður o.a.	34	35	35	35	35	35
Brennsluolía	125	150	174	169	165	162
Fiskim. verksm.	70	84	98	90	82	75
Graskögglav.	3	4	6	7	7	7
Sementsv.	13	13	13	13	13	13
Hvalstöðin	9	9	9	9	9	9
Fiskiskip	10	15	20	20	20	20
Annað	20	25	28	30	34	37
Samtals	591	610	613	608	618	628



ORKUSTOFNUN

80-03-19

OLÍUVERÐ 1977-1979

B.Á./Sy.J.

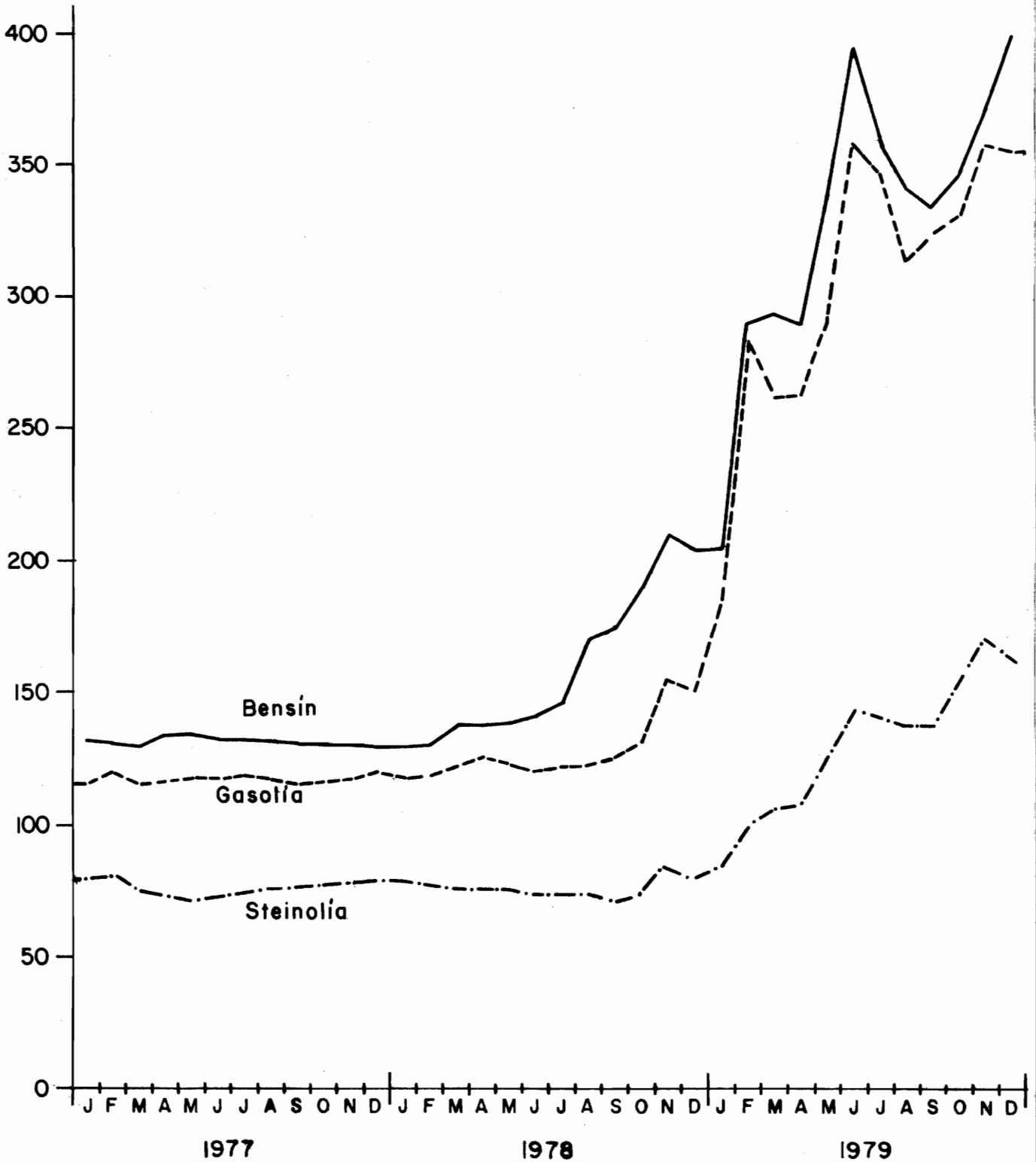
Rotterdammarkaður fobskv. "Platt's Oil Gram"

Vinnslut.

F.19377

Mynd 2.1

US \$ per tonn



### 3 VETNI SEM ORKUBERI

---

Vetni og raforka eiga það sameiginlegt að vera orkuberar, sem auðvelt er að framleiða á Íslandi, en öllu erfiðara að hagnýta í stað innfluttra brennsluefna. Vinnuhópurinn var skipaður til að semja greinargerð um núverandi stöðu og líklega þróun aðferða við framleiðslu, geymslu, dreifingu og brennslu vetnis og vetnissambanda fram til aldamóta. Skrifuð var sérstök skýrsla [6] um framleiðslu og hugsanlega notkun vetnis og vetnissambanda í stað innflutts eldsneytis. Í þessum kafla verður stiklað á helstu atriðum er varða stöðu vetnis sem orkubera á Íslandi.

Vetni er framleitt í stórum stíl og notað í efna- og olíuiðnaði um allan heim. Í efnaiðnaði er vetni einkum notað til að framleiða ammoníak, metanól og í olíuiðnaði til að auka framleiðslu léttra olíutegunda úr hráolíu. Mest allt vetnið sem er notað í dag er framleitt úr jarðgasi og gufu. Vetni er einnig framleitt úr olíu og kolum, en það er tiltölulega lítil hluti af heildarframleiðslunni. Óverulegt magn af vetni er framleitt með rafgreiningu á vatni eins og gert er hjá Áburðarverksmiðju ríkisins.

Í framtíðinni, þegar olíu- og jarðgasbirgðir heimsins fara að þverra, er talið líklegt að vetni verði í ríkara mæli framleitt úr kolum. Væntanlega má segja það sama um framleiðslu vetnis með rafgreiningu. Til að takast á við þann vanda, að framleiða ódýrt vetni úr kolum og með rafmagn, fara nú fram töluverðar rannsóknir á bættum aðferðum við kologösun og rafgreiningu. Fari sem horfir um bætta rafgreiningartækni, verður á næstu árum hægt að framleiða ódýrara vetni en núverandi tækni býður upp á. Vegna hugmynda um eldsneytisframleiðslu á Íslandi er nauðsynlegt að hafa upplýsingar um framleiðslukostnað vetnis með hinum ýmsu aðferðum. Til eru fjölmargar áætlanir um framleiðslukostnað vetnis og miða þær gjarnan við aðstæður í Bandaríkjunum. Varasamt getur verið að heimfæra slíkar áætlanir að íslenskum aðstæðum, en hinsvegar geta þær sýnt innri samanburð mismunandi framleiðsluaðferða.

Mynd 3.1 sýnir framleiðslukostnað vetnis sem fall af hráefnis- og orkuverði fyrir mismunandi framleiðsluaðferðir [10]. Í þessum verksmiðjum er vetnið framleitt úr jarðgasi, olíu, kolum og með rafgreiningu. Verksmiðjurnar framleiða 255 tonn/dag og miðast allar við aðstæður og verðlag í Bandaríkjunum 1979 og sömu forsendur um fjármagnskostnað.

Sýndar eru þrjár rafgreiningarverksmiðjur. Efsta línan sýnir venjulega rafgreiningu eins og notuð er í Áburðarverksmiðjunni. Þessi lína er hinsvegar ekki sambærileg við framleiðslukostnað vetnis í kafla 4 þar sem um allt aðrar forsendur er að ræða. Mynd 3.1 er samt gagnleg því hún sýnir þann ávinning sem vænta má með bættri rafgreiningartækni. Miðlínan sýnir rafgreiningu með þeirri SPE-tækni sem nú þegar hefur verið þróuð. Orkunýtnin er svipuð (77,6%) og í venjulegri rafgreiningu (75,7%) og má því ætla að framleiðslukostnaðurinn hafi lækkað vegna minni stofnkostnaðar. Núverandi SPE-tækni hefur enn ekki verið notuð í stórum verksmiðjum og verður því að taka þessum kostnaðartölum með varúð [5]. Neðsta rafgreiningarlínan á mynd 3.1 sýnir væntanlegan framleiðslukostnað með þeirri SPE-tækni sem stefnt er að í framtíðinni (90% orkunýtni). SPE-línurnar ber aðeins að skoða sem vísbendingu um þá bættu tækni sem vænta má á næstu árum. Þessi bætta tækni þarf ekki endilega að vera SPE-tækni því stöðugt er unnið að framþróun venjulegrar rafgreiningar [3].

Vinnuhópnum er ljóst að ekkert er því tæknilega til fyrirstöðu að framleiða vetni á Íslandi með rafgreiningu eða úr kolum eða olíu. Jafnframt er ljóst að hægt er að brenna vetni í stórum brennurum og eins kemur vel til greina að brenna því í aflvélum. Víðsvegar um heiminn eru nú gerðar tilraunir með brennslu vetnis í bensín- og dieselvélum. Brennslutæknin virðist því vera fyrir hendi nú þegar eða verða það á allra næstu árum. Öðru máli gegnir hinsvegar um geymslu og dreifingu vetnis.

Vetni má geyma og flytja sem vökva við lágt hitastig, sem lofttegund eða sem fast efni bundið málmefnasamböndum (hydrides). Tækni til að geyma og dreifa vetni er til í dag að vissu marki. Loftkennt vetni er hægt að meðhöndla eins og venjulegt gas og má hæglega geyma það í tönkum og flytja með leiðslum. Til að geyma eða flytja fljótandi vetni þarf hinsvegar útbúnað gjörólíkan þeim sem nú er notaður til að meðhöndla fljótandi eldsneyti. Allur búnaður til að meðhöndla fljótandi vetni er vandmeðfarinn og dýr í samanburði við geymslu og flutningstækni bensíns og gasolíu. Sú tækni sem þekkt er til geymslu og dreifingar vetnis miðast auk þess aðallega við loftkennt eða fljótandi vetni í stórum stíl og hentar því ekki minni farartækjum og skipum. Geymsla vetnis í málmefnasamböndum býður hinsvegar upp á minni einingar sem geta fallið vel að bifreiðum og fiskiskipum. En tæknin (hydrides) er enn á tilraunastigi og litlar líkur eru taldar á því að hægt sé að nota svona málmefnasambönd til þess að geyma og dreifa vetni á hagkvæman hátt á næstu árum.

Að vel athuguðu máli er það álit vinnuhópsins að vetni verði tæpast ein af aðal eldsneytistegundum okkar á þessari öld. Til þess að svo verði þarf aðallega að finna upp hagkvæma geymslu- og dreifingartækni. Hinsvegar ber að hafa í huga að talsverðar rannsóknir fara nú fram í heiminum á þeim möguleika að nota vetni í stað núverandi eldsneytistegunda.





## ORKUSTOFNUN

Framleiðslukostnaður vetnis sem fall af  
hráefnis- og orkuverði

80.01.30

JSG/H

Vinnslut.

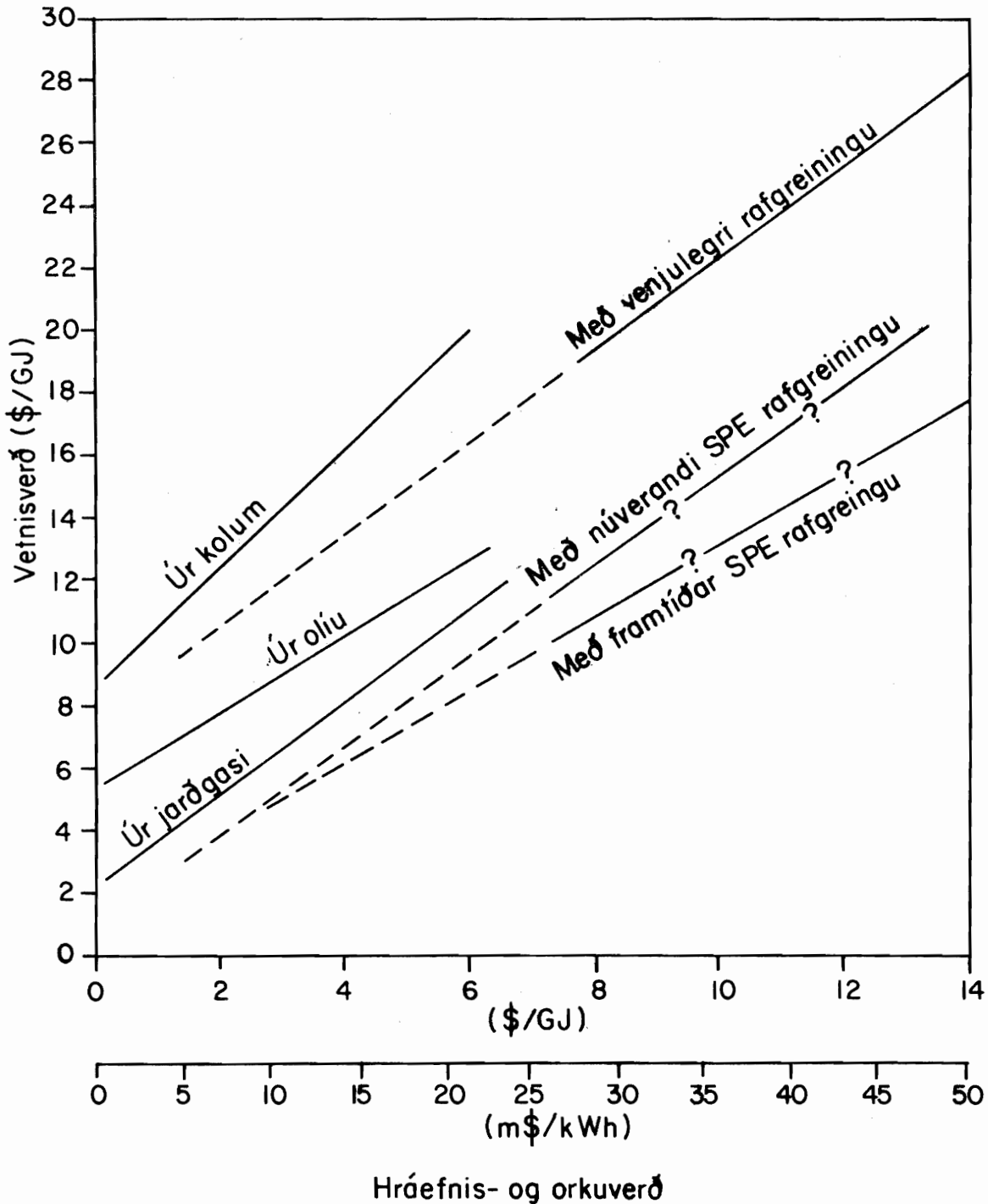
F-19057

Mynd 3.1

Verksmiðjustærð 255 tonn/dag

Verðlag 1979 í Bandaríkjunum

Skv. Gregory o.fl. [10]



#### 4 FRAMLEIÐSLA VETNIS Á ÍSLANDI

---

Undanfarin 25 ár hefur Áburðarverksmiðja ríkisins framleitt vetni til þess að nota í ammoníak. Nú eru 10 rafgreinar í verksmiðjunni og vetnisframleiðslan er um 2000 tonn/ári. Í nóvember 1977 var gerð ítarleg áætlun fyrir Áburðarverksmiðjuna um framleiðslu ammoníaks til útflutnings og eru því fyrir hendi nákvæmar upplýsingar um kostnaðarliði vetnisframleiðslu með rafgreiningu.

Vinnuhópurinn gerði áætlun um framleiðslu vetnis á Íslandi með tilliti til innlendra brennsluefna. Miðað var við bestu tækni nú á dögum til framleiðslu vetnis í stórum stíl og voru rafgreinar Norsk Hydro teknir sem dæmi, en þeir eru af sömu tegund og þeir 10 rafgreinar sem Áburðarverksmiðjan notar í dag. Starfsrásarlínurit fyrir slíka framleiðslu er sýnt á myndum 4.1 og 4.2, en mynd 4.3 sýnir einingu úr rafgreini. Rafgreinar Norsk Hydro eru af tvískauts-gerð.

Reiknaður var út stofnkostnaður fyrir fjórar stærðir af vetnisverksmiðjum. Tafla 4.1 sýnir helstu kennistærðir verksmiðjanna og áætlaðan stofnkostnað. Eðlisþyngd vetnis við staðlaðar aðstæður er  $0,09 \text{ kg/m}^3$ . Tafla 4.2 sýnir skiptingu stofnkostnaðar. Undir liðnum "verksmiðjan" er kostnaður við vetnisverksmiðjuna sjálfa að meðtöldum rafbúnaði sem til þarf. Undir liðnum "annað" er kostnaður vegna eftirfarandi: Skrifstofu, verkstæðis, varahlutageymslu, rannsóknastofu, girðinga, lóðarlagfæringar, innkaupa, verkfræðikostnaðar, gangsetningar, þjálfunar starfsfólks og ýmislegs ófyrirséðs. Ekki er gert ráð fyrir neinum tollum af tækjum í þessari stofnkostnaðaráætlun. Af framansögðu má vera ljóst að hér er gert ráð fyrir fullkomlega sjálfstæðri vetnisverksmiðju. Verksmiðjan tæki við raforku á 220 kV, þriggja fasa, ásamt venjulegu vatni, og skilaði frá sér vetni (og súrefni) í loftkenndu ástandi á geymi. Verksmiðjuna væri hægt að setja niður þar sem raforka, vatn, afskipunaraðstaða, starfsfólk og nægilegt landrými væri fyrir hendi.

Við gerð áætlunar um framleiðslukostnað vetnis í þessum fjórum viðmiðunarstærðum, var gengið út frá eftirfarandi forsendum:

1. Raforkubörf 4,56 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
2. Vatnsbörf 0,0456 m<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
3. Viðhald 1,5% af stofnkostnaði
4. Vextir 12%
5. Afskrifta- og afborgunartími 15 ár
6. Jafnar árlegar greiðslur (annuitet)
7. Tryggingar 0,25% af stofnkostnaði
8. Launakjör ríkisverksmiðja í ársbyrjun 1979
9. Rekstrartími 350 dagar

Ofangreindir 12% vextir eru í herra lagi fyrir stórfrankvæmdir enda afborgunartími lánsins óvenju langur. Áætlaður framleiðslukostnaður vetnis (\$/Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>) er sýndur í töflu 4.3 og mynd 4.4 fyrir mismunandi raforkuverð (m\$/kWh). Línuritið á mynd 4.4 sýnir áætlaðan framleiðslukostnað vetnis (\$/GJ) sem fall af raforkuverði (m\$/kWh). Miðað er við herra hitagildi vetnis 142 MJ/kg. Myndin sýnir að framleiðslukostnaðurinn er lægstur í stærstu verksmiðjunni og því hærri sem verksmiðjan er minni. Þannig er framleiðslukostnaðurinn 8,6 \$/GJ ef raforkan kostar 15 m\$/kWh í verksmiðjustærð IV. Til frekari glöggvunar var mynd 4.5 teiknuð, en hún sýnir framleiðslukostnað vetnis (rekstrarefni, viðhald, laun, fjármagn og tryggingar) án raforkukostnaðar samkvæmt töflu 4.3 sem fall af fjölda rafgreina. Myndina má nota við áætlun á framleiðslukostnaði vetnis fyrir aðrar verksmiðjustærðir en viðmiðunarverksmiðjurnar fjórar.

TAFLA 4.1

Helstu kennistarðir vetnisverksmiðja

Starð	Vetnisframleiðsla			Rafgreinar	Aflþörf (MW)	Starfsmenn	Stofnkostnaður (M\$)	
	Nm <sup>3</sup> /dag	tonn/dag	GJ/dag					tonn/ári
I	200.000	18	2560	6.300	30	40	79	19,9
II	400.000	36	5120	12.600	55	80	88	35,0
III	600.000	54	7680	18.900	80	120	97	50,7
IV	1.000.000	90	12800	31.500	132	200	107	78,5

TAFLA 4.2

Stofnkostnaður vetnisverksmiðju (M\$)

	Stærð			
	I	II	III	IV
Verksmiðjan	14,8	27,5	38,9	61,3
Annað	5,1	7,5	11,8	17,2
Alls	19,9	35,0	50,7	78,5

TAFLA 4.3

Framleiðslukostnaður vetnis ( $\$/Nm^3 H_2$ )

	Stærð			
	I	II	III	IV
Raforka*	0,0045x	0,0045x	0,0045x	0,0045x
Rekstrarefni	0,001	0,001	0,001	0,001
Viðhald	0,0046	0,00375	0,00362	0,00336
Laun	0,0167	0,00836	0,00643	0,00436
Fjármagn	0,0417	0,0367	0,0354	0,0329
Tryggingar	0,0007	0,00063	0,0006	0,00056
Alls	0,0644	0,0504	0,04705	0,0422
	+ 0,0045x	+ 0,0045x	+ 0,0045x	+ 0,0045x

\* Raforkukostnaður vetnisframleiðslu er 0,0045x þar sem x er kostnaðarverð raforku (m\$/kWh) við verksmiðjuvegg.



ORKUSTO FNUN

Spennubreytir og afriðill ásamt röð rafgreina

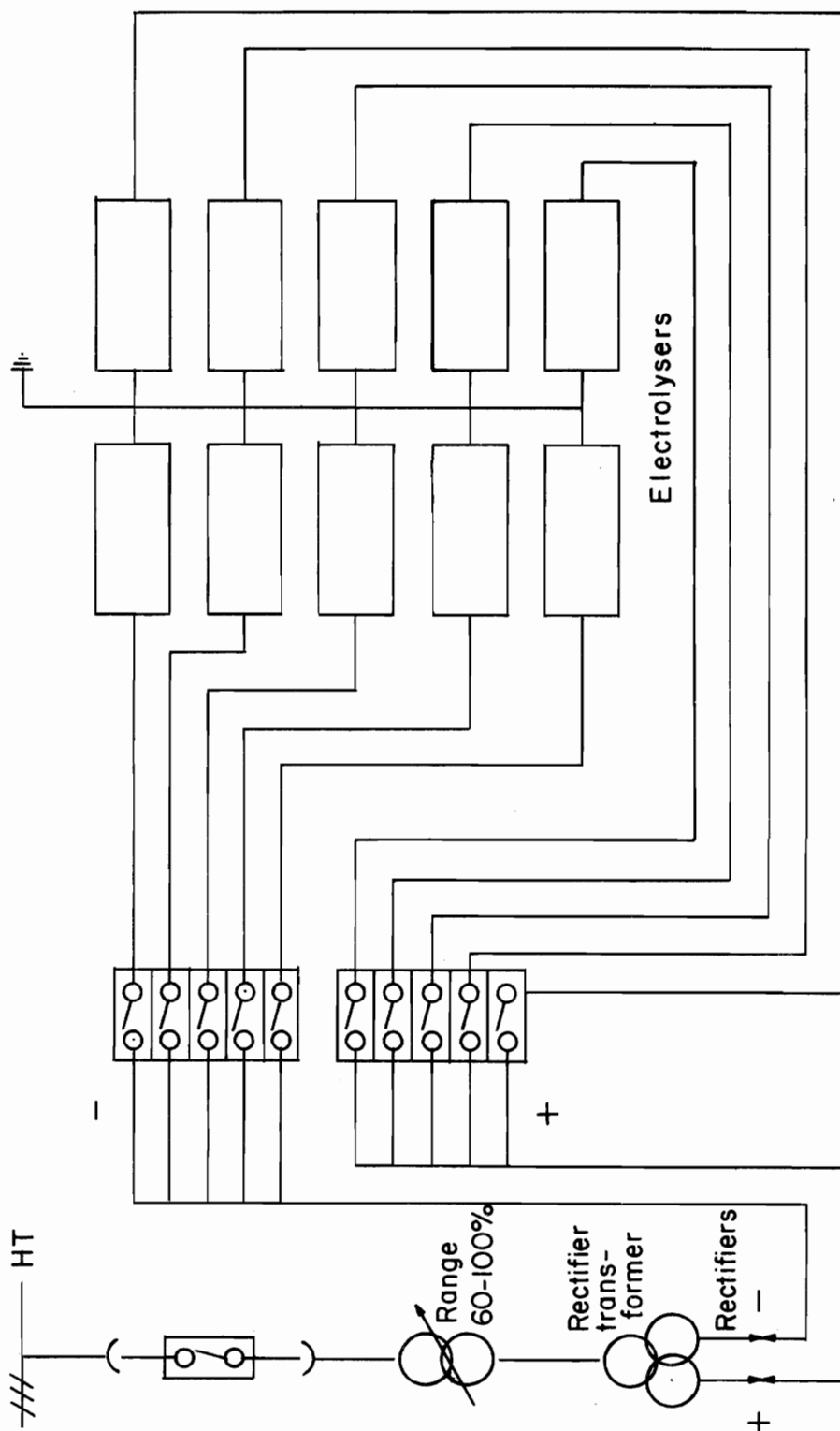
80.03.19

RP/H

Vinnslut.

F-19374

Mynd 4.1



Transformer and rectifier diagram  
including a battery of electrolyzers.  
Norsk Hydro a.s.



ORKUSTOFNUN

Starfrás rafgreiningarverksmiðju

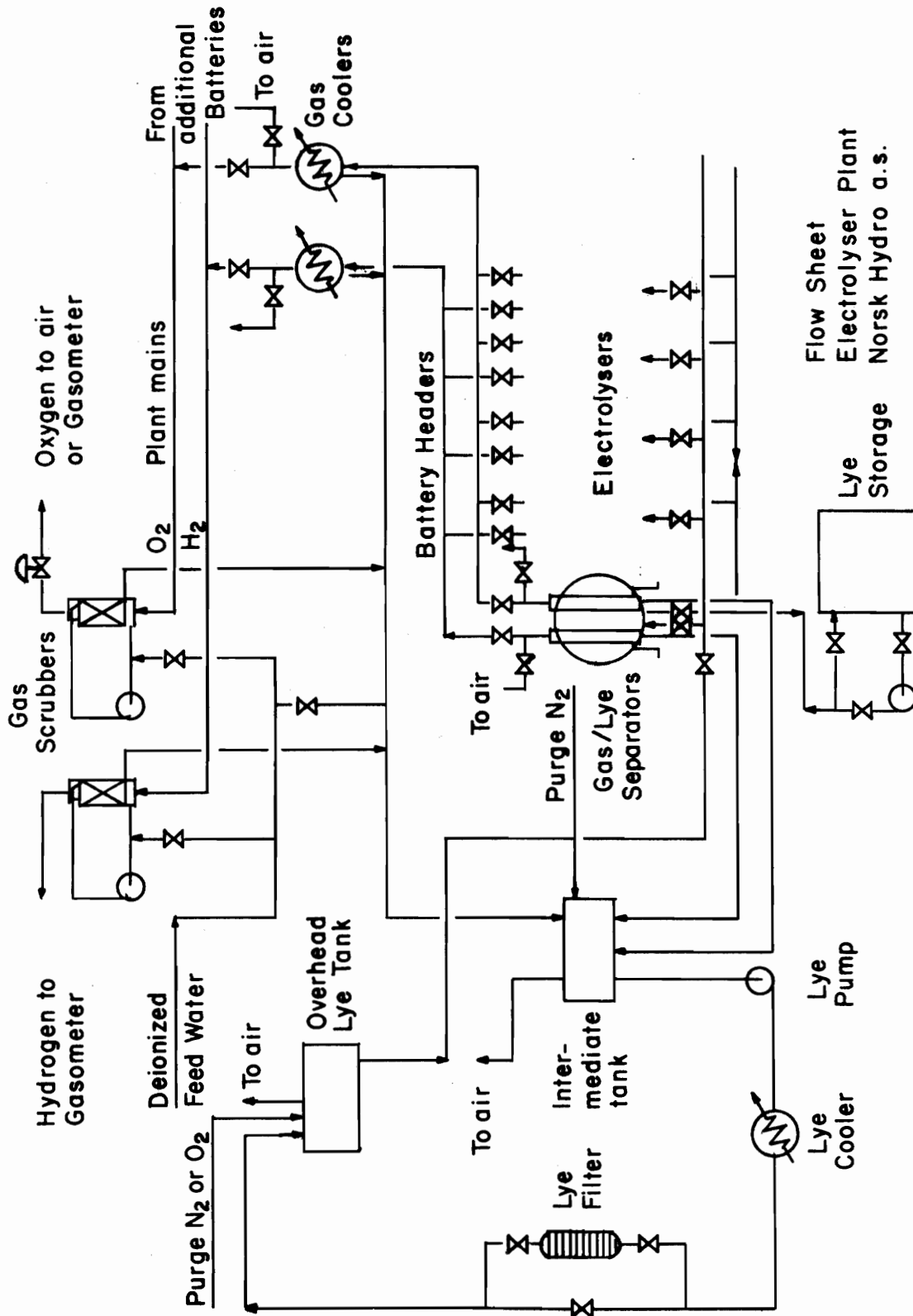
80.03.19

Rp/H

Vinnslut.

F-19375

Mynd 4.2

Flow Sheet  
Electrolyser Plant  
Norsk Hydro a.s.Lye  
StorageLye  
PumpLye  
Cooler



ORKUSTOFNUN

Eining úr Norsk Hydro rafgreini

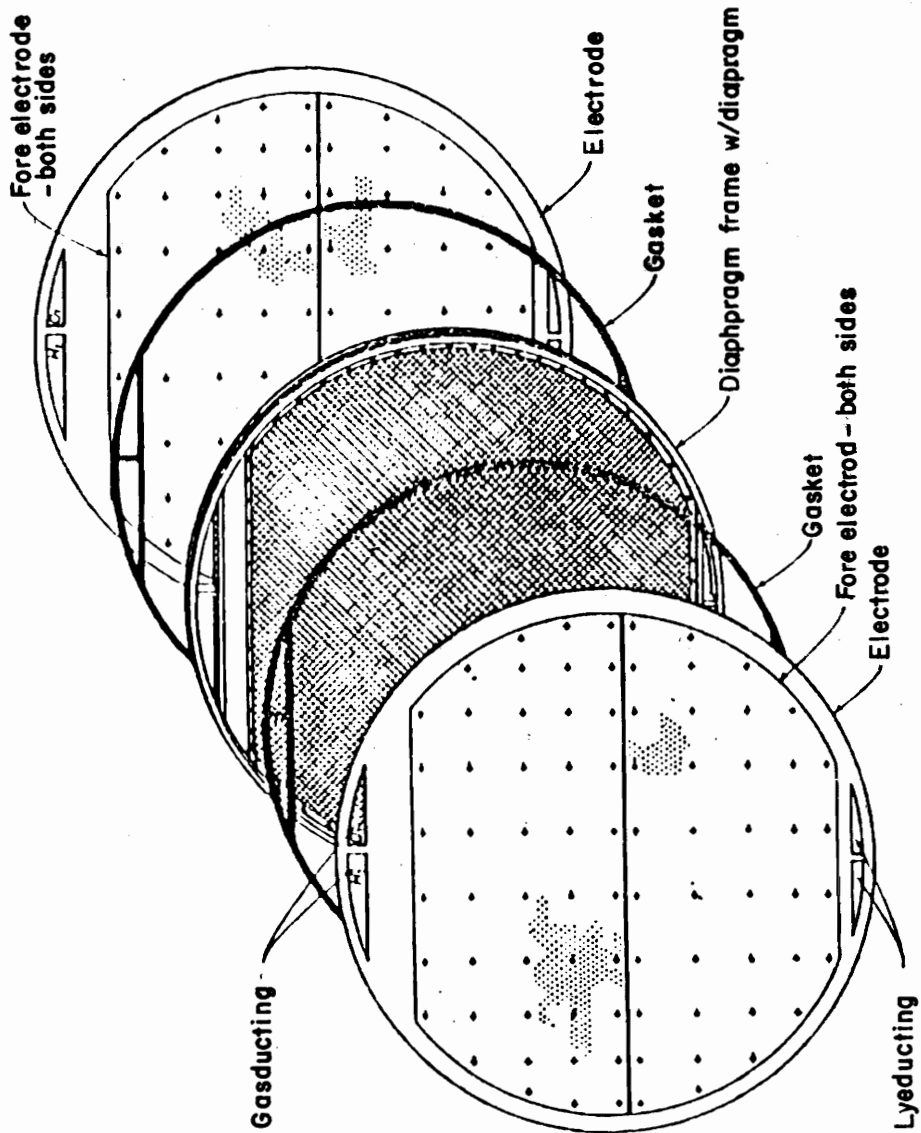
80.03.19.

RP/H

Vinnslut

F-19376

Mynd 4.3



*Norsk Hydro Electrolyser - Exploded View of one Electrolyser Cell*





ORKUSTOFNUN

80.01.30.

RP/H

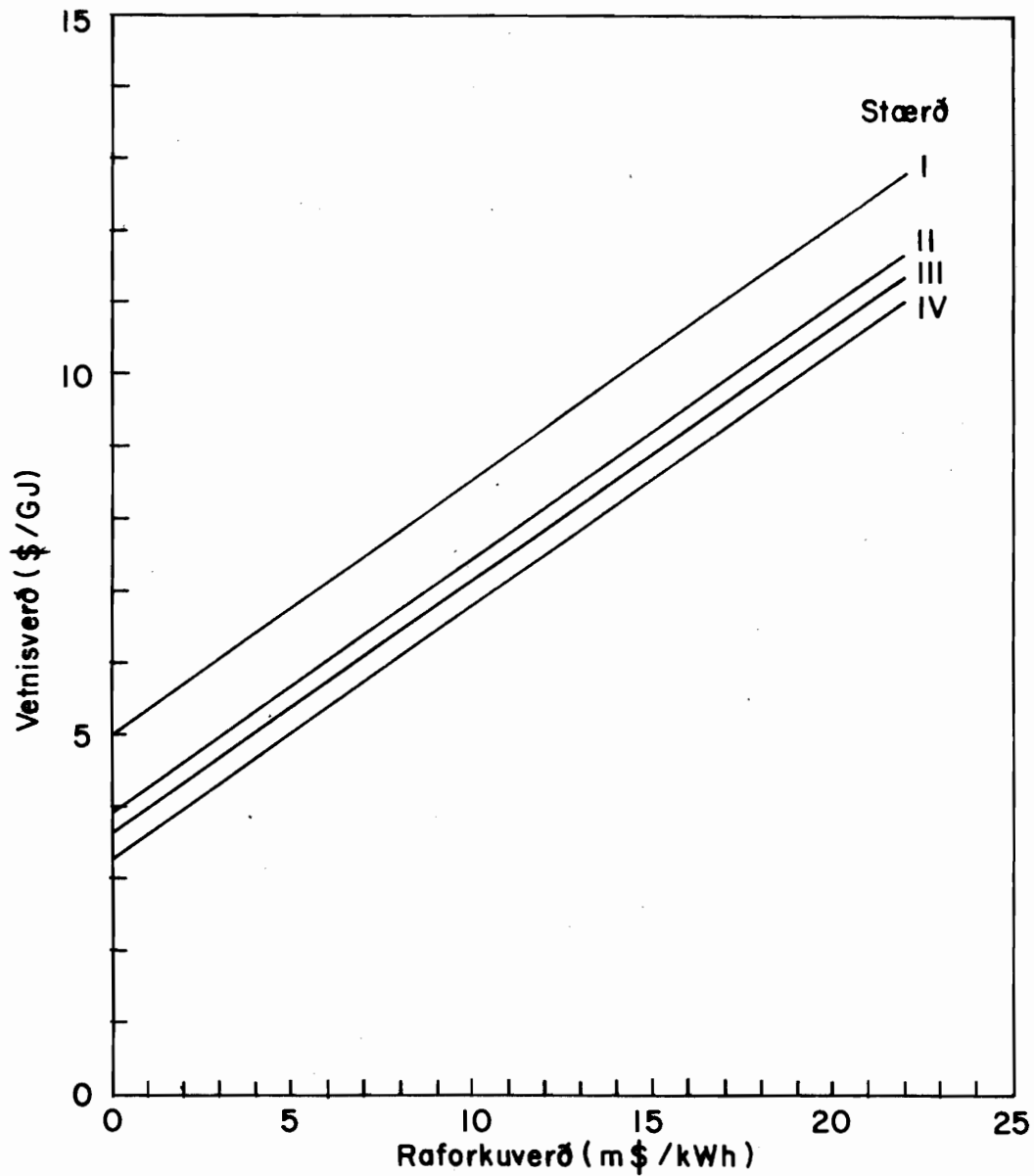
Vinnslut.

F-19058

Framleiðslukostnaður vetnis sem fall af raforkuverði  
og verksmiðjustærð

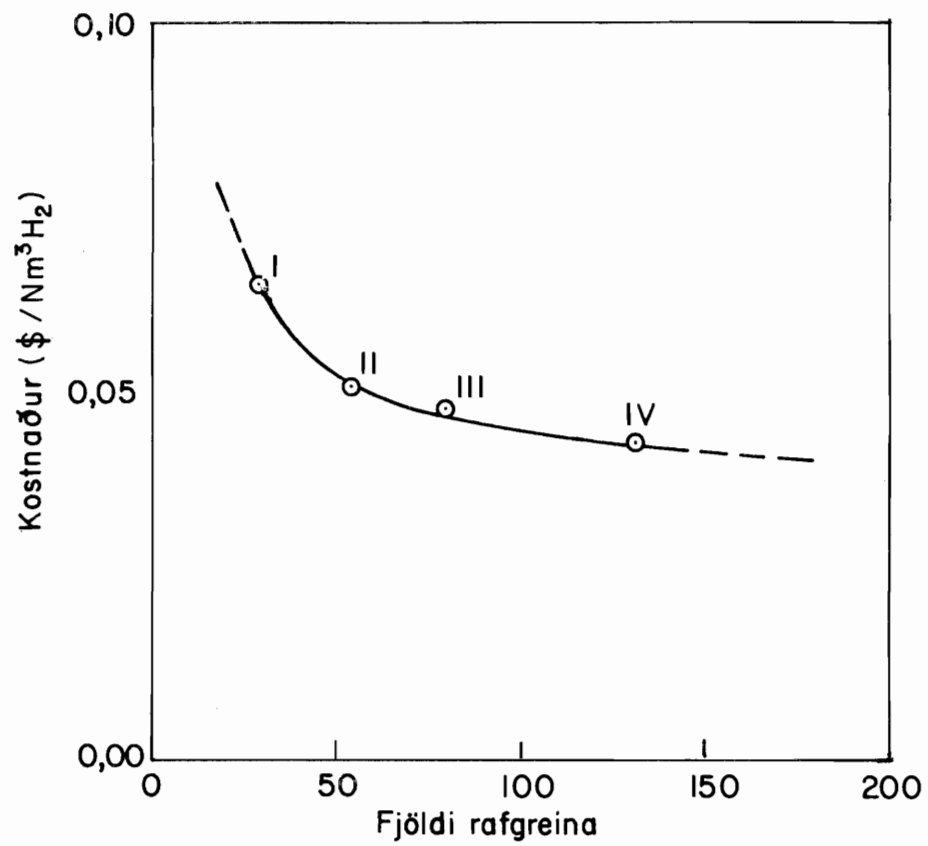
Mynd 4.4

Stærð	Vetni (tonn/ári)	Aflþörf (MW)
I	6.300	40
II	12.600	80
III	18.900	120
IV	31.500	200





Mynd 4.5





Víða um lönd er áhugi fyrir því að nota metanól sem eldsneyti á farartæki [11-16]. Á bensínvélar er talað um að nota annað hvort hreint metanól eða metanól-blandað bensín, en á dieselvélar virðist helst koma til greina að spýta inn hreinu metanóli eftir að dieselolían hefur sprungið við þjöppun. Metanól hefur háa oktan-tölu og bætir því brennslueiginleika bensíns en springur hinsvegar ekki við þjöppun. Í Svíþjóð [11] og víðar [14,17,18] hafa verið gerðar tilraunir sem sýna fram á hina ýmsu kosti og galla metanóls sem eldsneytis. Fram hefur komið að hægt er að keyra bensínvélar á 15-20% metanólblöndu án mikilla breytinga og svo virðist sem svipaða sögu sé að segja um hreint metanól. Dieselvélum hefur verið breytt til að brenna allt að 85% metanólblöndu með gasolíu [4]. Nú hafa því verið gerðar tilraunir sem gefa vissar vonir um metanól sem almennt eldsneyti á farartæki, en brennslutæknin verður enn að teljast á þróunarstigi. Metanól má geyma og dreifa eins og bensíni nema hvað óaskilegt er að raki komist að metanólinu. Vatn og hreint metanól blandast auðveldlega saman og getur valdið erfiðleikum við notkun í farartækjum. Metanól inniheldur auk þess helmingi minni orku en bensín og því þarf að dreifa tvöfalt meira magni af metanóli en bensíni til að fullnægja sömu orkubörf.

Til framleiðslu metanóls ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) þarf kolefni, vetni og súrefni. Á Íslandi mætti fá vetnið og súrefnið úr vatni, en kolefnisins yrði öllu erfiðara að afla. Bent hefur verið á helstu möguleika kolefnisöflunar (aðra en kolvetni) í heiminum nú [19]. Af þeim möguleikum sem hugsast gætu á Íslandi má nefna kolefnisöflun úr sjó, lofti og skeljasandi. Auk þess hefur mikið verið talað um mó og útblástur stóriðju. Að vinna kolefni úr sjó eða lofti eru fjarlægir möguleikar, en mór er víða um heim (Finnland, Írland, Sovétríkin) notaður sem brennsluefni í orkuverum. Gerðar hafa verið tilraunir á gasframleiðslu úr mó og framleiðslu fljótandi eldsneytis [20]. Enn sem komið er virðast þessar tilraunir það skammt á veg komnar að óvíst er um árangur. Að svo stöddu er ekki nógu mikið vitað um magn, dreifingu, gæði og vinnanleika íslenskra mómýra til að meta hvort hráefnið sé fyrir hendi í landinu. Að mati vinnuhópsins er því ekki enn til tækni til að vinna kolefni úr lofti, sjó eða mó með hagkvæmum aðferðum og alveg óvíst hvort mómýrarnar séu það hráefni sem dugað getur til framleiðslu fljótandi eldsneytis.

Að afla kolefnis úr skeljasandi og frá stóriðju eru nærtækir möguleikar á Íslandi. Við sementsframleiðsluna á Akranesi falla til um 60.000 tonn/ári af kolsýru ( $\text{CO}_2$ ) úr skeljasandinum. Kolsýru má nota ásamt vetni til að framleiða metanól með þekktum aðferðum. Fræðilega væri hægt að framleiða meira en 40.000 tonn/ári af metanóli í tengslum við sementsframleiðsluna. Við þá framleiðslu þyrfti auk þess um 8.000 tonn/ári af vetni. Tæknilega séð ætti ekkert að vera því til fyrirstöðu að setja upp útbúnað við Sementsverksmiðjuna til að afla kolsýrunnar og framleiða metanólið. Um kostnað slíks útbúnaðar er hinsvegar ekki vitað og því erfitt að gera raunhæfa áætlun um framleiðslukostnað metanólsins. Í þessu sambandi er rétt að benda á þá staðreynd að það þarf 50% meira vetni til að framleiða metanól úr kolsýru ( $\text{CO}_2$ ) en kolmonoxíði ( $\text{CO}$ ). Athuganir vinnuhópsins benda til þess að við núverandi aðstæður sé kolefnisöflun í tengslum við sementsframleiðslu miklu dýrari kostur en aðrir möguleikar sem koma til greina.

Við framleiðslu járnbendis við Grundartanga verða notuð um 33.000 tonn/ári af kolun og koxi í hverjum ofni við full afköst. Fyrsti ofninn er í rekstri og verið er að reisa þann næsta. Báðir ofnarnir eru "opnir" og skila því frá sér kolsýru en ekki kolmonoxíði. Miðað við 60% kolefnisinnihald í kolunum koma um 145.000 tonn/ári af kolsýru frá tveimur ofnum. Hér gilda svipuð lögmál og við kolefnisöflun úr skeljasandi og því þykir vinnuhópnum ólíklegt að það geti orðið hagkvæmt að framleiða metanól í tengslum við "opna" járnbendiofna. Hinsvegar er mögulegt að á næstu árum verði hægt að framleiða járnbendi í "lokuðum" ofnum sem skiluðu frá sér kolmonoxíði en ekki kolsýru eins og núverandi ofnar. Með því mundi skapast tækifæri til metanólframleiðslu sem væri vel þess virði að kanna rækilega. Frá einum "lokuðum" járnbendiofni gætu fræðilega komið 46.200 tonn/ári af kolmonoxíði sem nægðu til framleiðslu 52.800 tonn/ári metanóls og notaði um 6.600 tonn/ári af vetni. Tæknin til að framleiða metanól úr kolmonoxíði er vel þekkt, en mikillar óvissu gætir um öflun kolmonoxíðsins og ekki ljóst hvort hægt sé að "loka" járnbendiofnum. Að lokum má geta þess að við álframleiðsluna í Straumsvík eru notuð um 45.000 tonn/ári af kolaskautum við rafgreiningu súralsins. Sé gert ráð fyrir því að skautin séu tiltölulega hreint kolefni þá gæti það samsvarað um 160.000 tonn/ári af kolsýru.

Til greina kemur að framleiða metanól úr innfluttum kolum með aðferðum sem mikil reynsla er komin á. Í þessu tilviki er kolunum breytt í gasblöndu (aðallega CO og H<sub>2</sub>) sem síðan hvarfast í metanól yfir sérstöðum hvata við háan hita og þrýsting. Nýlega hefur verið gerð ítarleg áætlun m.a. um framleiðslu metanóls úr kolum eingöngu og kolum ásamt rafgreindu vetni [21]. Þessi áætlun var gerð af National Coal Board í Bretlandi fyrir Efnahagsbandalagið og þá með umframraforku kjarnorkuvera í huga [3]. Áætlunin á mjög vel við aðstæður á Íslandi vegna hugmynda um rafgreint vetni - það skiptir engu máli hvort raforkan til rafgreiningarinnar kemur frá vatns- eða kjarnorkuveri. Um er að ræða stórar verksmiðjur sem byggja eingöngu á þekktri og reyndri tækni.

Við athuganir á framleiðslu metanóls úr innfluttum kolum og rafgreindu vetni er nauðsynlegt að vita hvað kolin geta kostað. Á vegum Alþjóða orkustofnunarinnar (IEA/OECD) hefur verið gerð margþætt áætlun um brennslukol fram til ársins 2000 í OECD löndunum [22]. Þar kemur fram að á verðlagi ársins 1976 áætlast kolaverðið á miðjum næsta áratug (um 1985) á bilinu 34-55 \$/tonn CIF. Á verðlagi 1979 og miðað við 10% dollaraverðbólgu er þetta kolaverð á bilinu 45-75 \$/tonn. Annars staðar hefur komið fram [21] að undir næstu aldamót megi reikna með 1,5-2,5 \$/GJ sem raunhæfu kolaverði. Hér verður miðað við þetta kolaverð til hugsanlegrar eldsneytisframleiðslu á Íslandi.

Ofangreind áætlun [21] National Coal Board um framleiðslu metanóls hefur verið yfirferð á verðlag 1979 og verksmiðjustærð sem hentar íslenskum aðstæðum. Sjá nánar kafla 6. Mynd 5.1 sýnir áætlaðan framleiðslukostnað metanóls úr kolum eingöngu eða kolum og rafgreindu vetni. Af myndinni má lesa að ef kolin kosta 1,5 \$/GJ þá þarf rafgreinda vetnið að kosta minna en 5,8 \$/GJ svo það sé ódýrara að nota innlent vetni í metanólframleiðslu. Kostikolin hinsvegar 2,5 \$/GJ þarf rafgreinda vetnið að kosta minna en 7,7 \$/GJ svo það sé ódýrara að nota innlent vetni. Þessi niðurstaða er ákaflega mikilvæg við mat á hagkvæmni eldsneytisframleiðslu hérlendis. Mynd 5.1 miðast við herra varmagildi vetnis (142 MJ/kg) og metanóls (23 MJ/kg) og sýnir að það megi framleiða metanól á 6,6-8,8 \$/GJ (152-202 \$/tonn) úr kolum einungis ef þau kosta 1,5-2,5 \$/GJ. Skv. sænskum heimildum [11] var heimsmarkaðsverð metanóls 1978 á bilinu 102-136 \$/tonn eða 112-150 \$/tonn 1979 ef reiknað er með 10% hækkun á milli ára, sem er um fjórðungi lægra verð en hægt er að framleiða metanól fyrir

úr innfluttum kolum einungis. Upplýsingar um verð á innfluttu metanóli eru ekki fyrir hendi.

Vegna hugmynda um 15-20% (orkugildi) blöndun metanóls í bensín má athuga hvernig slík framleiðsla gæti orðið á Íslandi. Árið 1985 er áætlað að bensínnotkun landsmanna nemi 110.000 tonn/ári og samsvarar því 15% metanól-blöndun um 16.500 tonn/ári bensíns. Sé lægra hitagildi bensíns 44 MJ/kg og metanóls 20 MJ/kg þarf því 36.300 tonn/ári af metanóli. Miðað við áætlanir um framleiðslu metanóls í stórum stíl úr kolum (með eða án vetnis frá rafgreiningu) er þetta það lítið magn að minnstu kolagösunarofnarnir eru 5 sinnum stærri [3]. Á Íslandi virðist því framleiðsla lítills magns af metanóli einungis koma til greina í tengslum við annan iðnað eins og sement og járnblendi.

Við 85% blöndun metanóls í gasolíu á dieselvélar fiskiskipa og bifreiða þarf miklu meira magn metanóls en vegna 15% blöndunar í bensín. Árið 1985 er áætlað að gasolíunotkun fiskiskipa og bifreiða verði um 180.000 tonn/ári alls. Orkugildi 85% gasolíunnar samsvarar 336.600 tonn/ári af metanóli eða allt að 10 sinnum meiri framleiðslu en fyrir 15% blöndun í bensín. Þetta metanól mætti hæglega framleiða úr innfluttum kolum eða kolum og rafgreindu vetni. Þar sem um er að ræða eldsneytisframleiðslu á Íslandi þykir rétt að miða metanólframleiðsluna við þá aðferð, sem hagnýtir rafgreint vetni. Fyrir ofangreinda metanólframleiðslu (336.600 tonn/ári) þarf 219.000 tonn/ári af kolum og 40.300 tonn/ári af vetni. Miðað er við áætlun National Coal Board [21] og stöðluð bandarísk kol (80% kolaefni, 11,2% raki, 8,8% aska). Tafla 4.1 sýnir að vetnisverksmiðja með um 170 rafgreinum gæti framleitt nægilegt vetni. Með aðstoð myndar 4.2 og upplýsinga í kafla 4 reiknast vetnisverðið 8,4-10,2 \$/GJ ef raforkan kostar 15-20 m\$/kWh. Þetta vetnisverð er hærra en 5,8-7,7 \$/GJ og sýnir mynd 5.1 þess vegna að ódýrara er að framleiða metanólið eingöngu úr innfluttum kolum. Miðað við ofangreint vetnisverð (8,4-10,2 \$/GJ) og líklegt kolaverð (1,5-2,5 \$/GJ) kostar metanólið um 196-246 \$/tonn ef notuð eru kol og rafgreint vetni. Metanólið yrði því 20-30% dýrara en úr kolum eingöngu.

Svipaða útreikninga má gera vegna hugmynda um 100% metanól í stað allrar bensínnotkunar landsmanna. Um 242.000 tonn/ári af metanóli þarf til að jafngilda orkuinnihaldi 110.000 tonn/ári af bensíni. Sé miðað við innlenda eldsneytisframleiðslu, sem hagnýtir rafgreint vetni og kol, þá

þarf 158.000 tonn af kolum og 29.000 tonn af vetni til metanólframleiðslunnar. Vetnisverksmiðjan þyrfti að hafa 122 rafgreina (skv. töflu 4.) og kostar vetnið þá 8,6-10,4 \$/GJ miðað við 15-20 m\$/kWh raforkuverð. Þetta er aðeins hærra vetnisverð en hér að framan í 170 rafgreina verksmiðjunni. Vetnisverðið er hærra en 5,8-7,7 \$/GJ, eins og við var búist skv. útreikningunum hér að ofan, og því yrði ódýrara að framleiða metanólið eingöngu úr innfluttum kolum. Metanólið frá þessari verksmiðju mundi kosta um 8,7-10,8 \$/GJ eða 200-248 \$/tonn, sem er 20-30% dýrara en metanól úr innfluttum kolum.





## ORKUSTOFNUN

Framleiðslukostnaður metanóls úr kolum eingöngu  
eða kolum og rafgreindu vetni

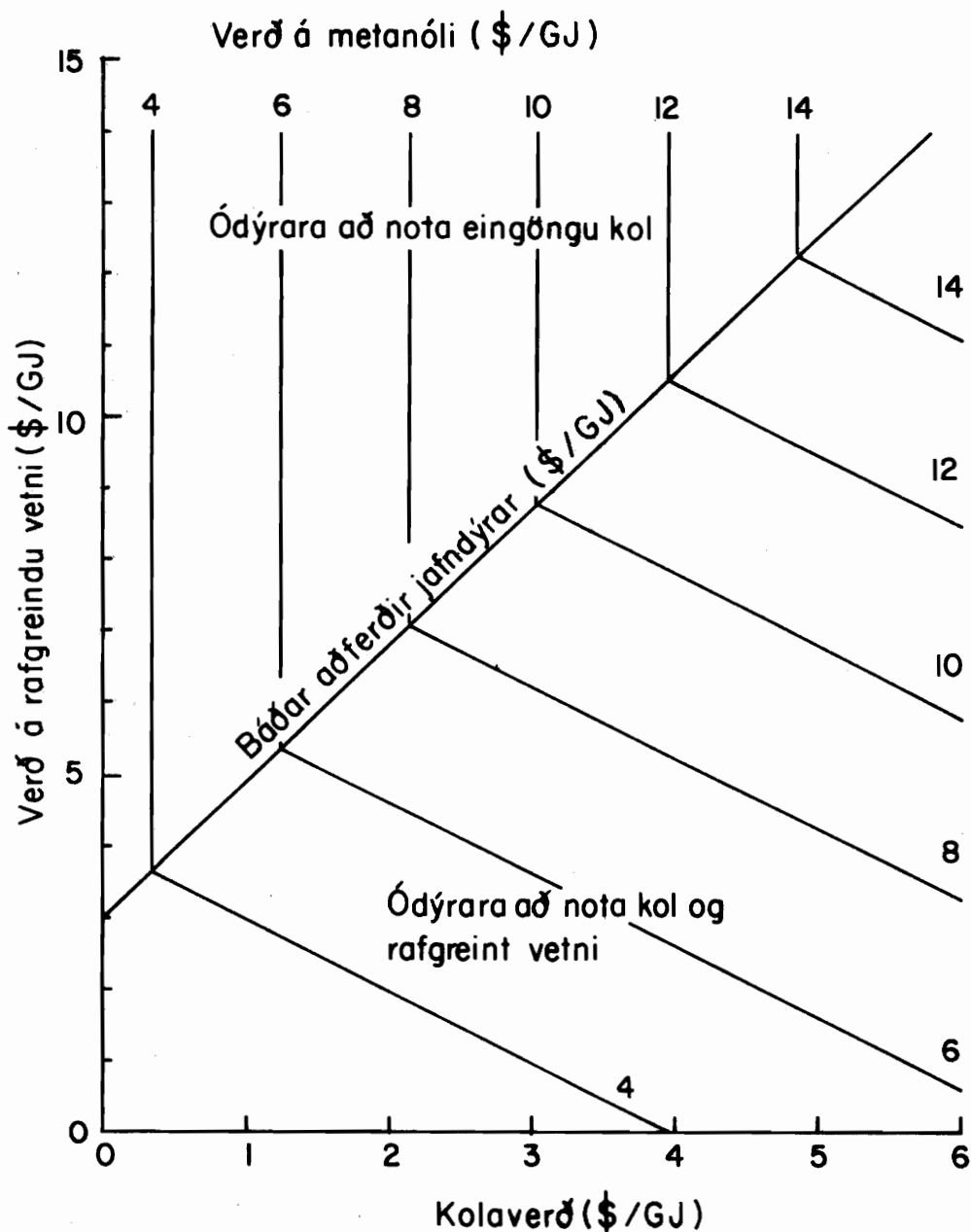
80.01.30.

JSG/H

Vinnslut.

F-19060

Mynd 5.1



Verksmiðjustærð 266.200 tonn/ári

Verðlag ársbyrjun 1979

Líklegt kolaverð 1,5-2,5 ( $\$/GJ$ )

Skv. Merrick o.fl. [21] (kostur 2)

6 TILBÚIÐ BENSÍN

Vinnuhópurinn hefur m.a. komist að þeirri niðurstöðu að vetni komi tæplega til greina sem orkuveri í íslenskum orkubúskap fram til aldamóta. Vinnuhópurinn hefur líka komist að þeirri niðurstöðu að notkun metanóls (bæði hreint og blandað) komi varla til greina á næstu árum vegna óvissu um brennslutækni metanóls í aflvélum. Til að fullnægja þörfum Íslands með eldsneytisframleiðslu innanlands kemur því varla annað til greina en tilbúið bensín, ef sú framleiðala telst þá hagkvæmari en innflutningur. Tækni til að framleiða tilbúna gasolíu m.a. fyrir fiskiskip er ekki fyrir hendi nema að takmörkuðu leyti.

Í dag er tiltæk tækni til þess að framleiða bensín úr metanóli [5,23] og bensín úr kolum [24]. Auk þess er unnið að endurbótum aðferða til þess að framleiða olíuvökva úr kolum (kolíu) sem síðan má hreinsa líkt og hráolíu og búa til bensín, gasolíu og aðrar olíuvörur [5,21,25,26]. Þessi tækni (kolíuframleiðslan) verður varla nothæf fyrr en eftir 1990 [5,27] og því er mjög erfitt að gera ábyggilegar áætlanir þar að lútnadi. Nú er bensín framleitt úr kolum í Suður-Afríku með Fischer-Tropsch aðferðinni [24]. Sú aðferð hefur í för með sér framleiðslu allra tegunda olíuvara, frá léttum gösum niður í þungar tjörur og mun bensín vera um 1/3 af framleiðslunni. Slík framleiðsla hentar því varla íslenskum aðstæðum nema til komi olíuhreinsun og umtalsverður efnaiðnaður. Hér verður því miðað við framleiðslu bensíns úr metanóli með Mobil-aðferð, sem vinnuhópurinn telur hentugustu aðferðina á Íslandi nú.

Mobil olíufyrirtækið hefur fundið upp aðferð til að framleiða bensín úr metanóli [14,23]. Þessi tækni er einskorðuð við bensínframleiðslu og ekki er hægt að svo stöddu að framleiða með henni gasolíu [5]. Nú er ekki til svona verksmiðja, sem framleiðir bensín, en sama tæknin er notuð í mörgum álíka vinnsluþrepum í olíuhreinsunarstöðvum um allan heim. Mobil olíufélagið telur fullvíst að ekkert sé því til fyrirstöðu að byggja slíka verksmiðju strax [5], t.d. er rætt um tilraunaverksmiðju í Vestur-Þýskalandi, sem framleiða á 4.000 tonn á ári og 520.000 tonn/ári verksmiðju á Nýja-Sjálandi [28].

Vinnuhópurinn gerði áætlun um 110.000 tonn/ári bensínframleiðslu með Mobil aðferðinni, en það er áætluð bensínnotkun landsmanna 1985 skv.

töflu 2.2. Í Mobil aðferðinni er bensínið framleitt með því að láta metanólið streyma yfir sérstakan hvata við um 400°C og 10 bara þrýsting. Um 80% af metanólinu breytist þá í bensín, en afgangurinn í gastegundir og tjörur. Til að framleiða bensín með Mobil-aðferðinni þarf 2,37 tonn af hreinu metanóli til að fá eitt tonn af bensíni [29]. Við útreikninga á framleiðslukostnaði metanóls miðaði vinnuhópurinn við áætlun National Coal Board [21] um notkun innfluttra kola og rafgreinds vetnis. Í þeirri áætlun er metanólið framleitt með ICI-aðferðinni, sem skilar því 98% hreinu. Í áætlun vinnuhópsins var því reiknað með 2,42 tonnum af metanóli fyrir hvert tonn bensíns, eða samtals 266.200 tonn/ári af metanóli. Skv. áætlun National Coal Board [21] um framleiðslu metanóls úr kolum og rafgreindu vetni þarf slík verksmiðja 31.900 tonn/ári af vetni og 173.300 tonn/ári af innfluttum kolum. Upplýsingar í kafla 4 sýna að til að framleiða 31.900 tonn/ári af vetni þarf 134 rafgreina vetnisverksmiðju. Aflþörf slíkrar verksmiðju áætlast 202 MW, stofnkostnaður um 80M\$ og starfsmannagjöldi 108. Tafla 4.1 sýnir að þetta jafngildir nokkurn veginn verksmiðjustærð IV. Í slíkri verksmiðju kostar vetnið um 8,6 \$/GJ ef raforkan kostar 15 m\$/kWh.

Framleiðslukostnaður metanóls úr kolum eingöngu og kolum og rafgreindu vetni er sýndur á mynd 5.1 fyrir verksmiðju sem framleiðir 266.200 tonn/ári af metanóli og miðar við hærra hitagildið. Myndin er byggð á áætlun National Coal Board [21] um verksmiðju sem framleiðir 3.300.000 tonn/ári af metanóli eða rúmlega 12 sinnum meira magn en þarf til innlendarar bensínframleiðslu. Áætlun National Coal Board miðast auk þess við verðlag í janúar 1977. Vinnuhópurinn hefur fært kostnaðarútreikninga áætlunarinnar fram um tvö ár og gert breytingar á einingarverði stofnkostnaðar vegna 12,4 sinnum minni verksmiðju. Reiknað var með 10% dollaraverðbólgu á ári og hækkaði einingarverð stofnkostnaðar því samsvarandi. Í áætlun National Coal Board var alls staðar reiknað með 0,9 sem veldisvísi við breytingar á stofnkostnaðarliðum vegna hagkvæmni stærðarinnar. Í þeim útreikningum miðaði vinnuhópurinn við kolamagn framleiðslunnar enda ræðst stofnkostnaður metanólverksmiðju National Coal Board einna helst af kola hlutanum en ekki metanólhlutanum. Fyrir verksmiðju sem framleiðir 266.200 tonn/ári af metanóli úr kolum og rafgreindu vetni áætlaði vinnuhópurinn að einingarverð stofnkostnaðar (\$/kW kolanotkun) hækkaði um 56% við það að breyta verðlaginu og minnka verksmiðjuna. Við það að minnka verksmiðjuna tólfalt og færa verðlagið til 1979 þá lækkaði stofnkostnaðurinn aðeins áttfalt. Vinnuhópurinn gerði samskonar breytingar á framleiðslukostnaði metanóls úr kolum eingöngu. Tafla 6.1 sýnir niðurstöðutölur

Þessara verðlags- og stærðarbreytinga fyrir báðar framleiðsluaðferðirnar sem mynd 5.1 byggir á.

Í kafla 5 kom fram að rafgreint vetni þarf að kosta minna en 5,8-7,7 \$/GJ svo það borgi sig að nota það í metanólframleiðsluna ef miðað er við 1,5-2,5 \$/GJ sem líklegt kolaverð. Þessar tölur eru fengnar úr mynd 5.1 sem sýnir jafnframt að metanólið kostar 6,6-8,8 \$/GJ ef aðeins eru notuð innflutt kol á 1,5-2,5 \$/GJ. Hér að framan kom fram að miðað við 15 m\$/kWh raforkuverð þá kostar vetnið 8,6 \$/GJ í verksmiðju af þeirri stærð sem passar fyrir innlenda bensínframleiðslu. Þetta vetnisverð er 12-14% herra en það hámarksverð vetnis (5,8-7,7 \$/GJ) sem borgar sig að nota í stað innfluttra kola. Af þessu leiðir að metanól (og þar með bensín) framleitt úr innfluttum kolum og rafgreindu vetni verður dýrara en bensín framleitt úr innfluttum kolum eingöngu. Innlendan framleiðslukostnað verður líka að bera saman við verð á innfluttu bensíni til að fá betri hugmynd um hvaða kostur sé ódýrastur.

Árið 1976 áætlaði Mobil olíufélagið [29] að það kostaði (framleiðslukostnaður án hráefniskostnaðar) 0,048 \$/gallon að framleiða bensín úr metanóli. Með 10% dollaraverðbólgu í 3 ár áætlast þessi kostnaður 1979 um 0,023 \$/kg (= 23 \$/tonn) bensíns eða 0,52 \$/GJ ef hitagildið er áætlað 44 MJ/kg. Mynd 5.1 má nota til þess að ákvarða framleiðslukostnað metanóls úr innfluttum kolum og rafgreindu vetni þó svo það sé ódýrara að nota eingöngu kol. Línunum frá þeim helmingi myndarinnar þar sem ódýrara er að nota kol og rafgreint vetni er einfaldlega framlengt yfir á hinn helminginn. Þannig var framleiðslukostnaður metanóls úr innfluttum kolum og rafgreindu vetni fundinn 8,7-9,4 \$/GJ þegar vetnið kostar 8,6 \$/GJ (raforkan 15 m\$/kWh) og kolin 1,5-2,5 \$/GJ. Ef herra hitagildi metanóls er 23 MJ/kg jafngildir 8,7-9,4 \$/GJ um 200-216 \$/tonn af metanóli. Umreiknað í bensín í samræmi við Mobil aðferðina verður framleiðslukostnaðurinn 507-546 \$/tonn af bensíni þegar búið er að bæta við 23 \$/tonn. Til að fá heildarmynd af áætluðum framleiðslukostnaði bensíns í 110.000 tonn/ári verksmiðju var bensínverðið líka reiknað fyrir 5 m\$/kWh og 25 m\$/kWh raforkuverð.

Mynd 6.1 sýnir áætlaðan framleiðslukostnað bensíns úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum. Lárétti ásinn sýnir raforkuverð til vetnisverksmiðju og kostnaðarverð vetnis frá þeirri verksmiðju miðað við 31.900 tonn/ári vetnisframleiðslu. Bensínverðið var reiknað fyrir kolaverðið

1,5 \$/GJ og 2,5 \$/GJ. Fram hefur komið að miðað við þetta verð á kolum þarf vetnið að kosta minna en 5,8-7,7 \$/GJ svo það sé ódýrara að nota rafgreint vetni en vetni framleitt úr kolum. Mynd 6.1 sýnir greinilega að miðað við 15-20 m\$/kWh sem líklegt raforkuverð til vetnisframleiðslu í stórum stíl þá er ódýrara að nota einungis kol heldur en kol og rafgreint vetni. Vetnið er einfaldlega of dýrt til að keppa við innflutt kol. Líklegt bensínverð skv. mynd 6.1 er á bilinu 507-622 \$/tonn ef notuð eru innflutt kol og rafgreint vetni.

Til samanburðar má geta þess að nýlegar upplýsingar [5] frá Mobil olíufélaginu sýna að frá 420.000 tonn/ári bensínverksmiðju, sem framleiðir metanólið úr kolum (Wyoming kol, ekki er vitað um verð) kostar bensínið um 434 \$/tonn (1,2 \$/gallon) á verðlagi 1979. Þetta er lægri kostnaður en áætlast hér enda um allt að 4 sinnum stærri verksmiðju að ræða. Á sama grundvelli áttlar Mobil að bensín með Fischer-Tropsch aðferð kosti um 648 \$/tonn (1,8 \$/gallon). Til að fá einhverja hugmynd um stofnkostnað Mobil verksmiðju (sem breytir metanóli í bensín) á Íslandi, má miða við upplýsingar frá 1976. Þá áttlar Mobil að 420.000 tonn/ári bensínverksmiðja kosti um 28 M\$. Með því að gera ráð fyrir 10% dollaraverðbólgu á ári og aukins einingarkostnaðar vegna minni verksmiðju, áttlaði vinnuhópurinn að 110.000 tonn/ári bensínverksmiðja gæti kostað um 17 M\$ árið 1979. Notaður var veldisvísirinn 0,6 á hagkvæmni stærðarinnar, eins og tíðkast fyrir svipaðar verksmiðjur í efnaiðnaði, en ekki 0,9 eins og fyrir kolaverksmiðju National Coal Board [21]. Samanlagður stofnkostnaður vetnis-, metanóls- og bensínverksmiðjanna áttlast því um 138 M\$ (80+41+17). Við þessa tölu þarf að bæta stofnkostnaði vegna virkjana og línukerfis til að fá hugmynd um heildarfjárfestinguna fyrir þjóðarbúið.

Vetnisverksmiðja fyrir 110.000 tonn/ári bensínframleiðslu notar 202 MW í 350 daga (8400 klst.) en það samsvarar 1697 GWh/ári af raforku. Vatnsorkuver sem annaði þessari orkuþörf þyrfti að framleiða 1786 GWh/ári miðað við 5% flutningstöp og vera 298 MW ef nýtingartíminn er 250 dagar (6000 klst.) á ári. Skv. áttlunum Orkustofnunar fyrir Fljótsdalsvirkjun á Austurlandi gæti ofangreind virkjun kostað um 238 M\$. Þennan stofnkostnað má síðan hækka um 20% vegna hlutdeildar í stofnlínukerfi. Heildarkostnaður raforkukerfisins áttlast því um 286 M\$ skv. verðlagi í ársbyrjun 1979.

Til að framleiða bensín á Íslandi úr kolum einungis þarf að flytja inn 504.200 tonn/ári af kolum til að framleiða þau 266.200 tonn/ári af metanóli sem þarf til bensínframleiðslunnar. Fram hefur komið að metanólið frá slíkri verksmiðju kostar 6,6-8,8 \$/GJ ef kolaverðið er 1,5-2,5 \$/GJ. Líklegt verð á tilbúnu bensíni úr kolum eingöngu ætti þá að vera 390-513 \$/tonn. Mynd 6.2 sýnir framleiðslukostnað bensíns úr mismunandi öýrum innfluttum kolum. Tafla 6.1 sýnir áætlaðan stofnkostnað metanól- verksmiðju sem framleiðir 266.200 tonn/ári af metanóli sem 128 M\$. Til að framleiða metanólið þarf enga vetnisverksmiðju og engar sérstakar virkjanir og áætlast stofnkostnaðurinn um 145 M\$ alls eða 34% af stofn- kostnaði tengdum bensínframleiðslu úr innfluttum kolum og rafgreindu vetni. Ef bensínverðið á myndum 6.1 og 6.2 er athugað má sjá að þegar raforkuverðið er 20 m\$/kWh þá kostar 20-50% meira að nota rafgreint vetni en ekki (þ.e.a.s. eingöngu kol) ef kolaverðið er á bilinu 1,5-2,5 \$/GJ. Við lægra raforku- verð, 15 m\$/kWh, nemur þessi mismunur 6-30%.

Í þeim útreikningum, sem hér hafa verið gerðir, er ekki reiknað með kostnaði við hafnar- og uppskipunaraðstöðu fyrir kolin né öðrum aukakostnaði, er mundi fylgja uppbyggingu eldsneytisiðju hér á landi. Ekki hefur verið unnt að meta slíkan aukakostnað í þessari álitsgerð og verður því að skoða ofangreind kostnaðarverð tilbúins bensíns sem lágmarksverð. Stofnkostnaður metanól- og bensínverksmiðjanna verður auk þess að teljast gróflega áætlaður.

TAFIA 6.1

Samanburður á metanólverksmiðjum eftir stærð, verðlagi og framleiðsluáferð

Verksmiðja	Áætlun	Framleiðsla og hráefni (tonn/ári)		Einingarverð* (\$/kW)	Stofnkostnaður (M\$)
		Metanól	Kol		
Metanól úr kolum og rafgreindu vetni	NCB:1977	3.300.000	2.148.400	143	325
	OS:1979	266.200	173.300	223	41
Metanól úr kolum eingöngu	NGB:1977	3.300.000	6.200.000	153	1002
	OS:1979	266.200	504.200	238	128

\* Miðað við varmagildi kolanotkunar

NCB = National Coal Board [21]

OS = Orkustofnun, vinnuhópur



ORKUSTOFNUN

Framleiðslukostnaður bensíns úr rafgreindu vetni og kolum

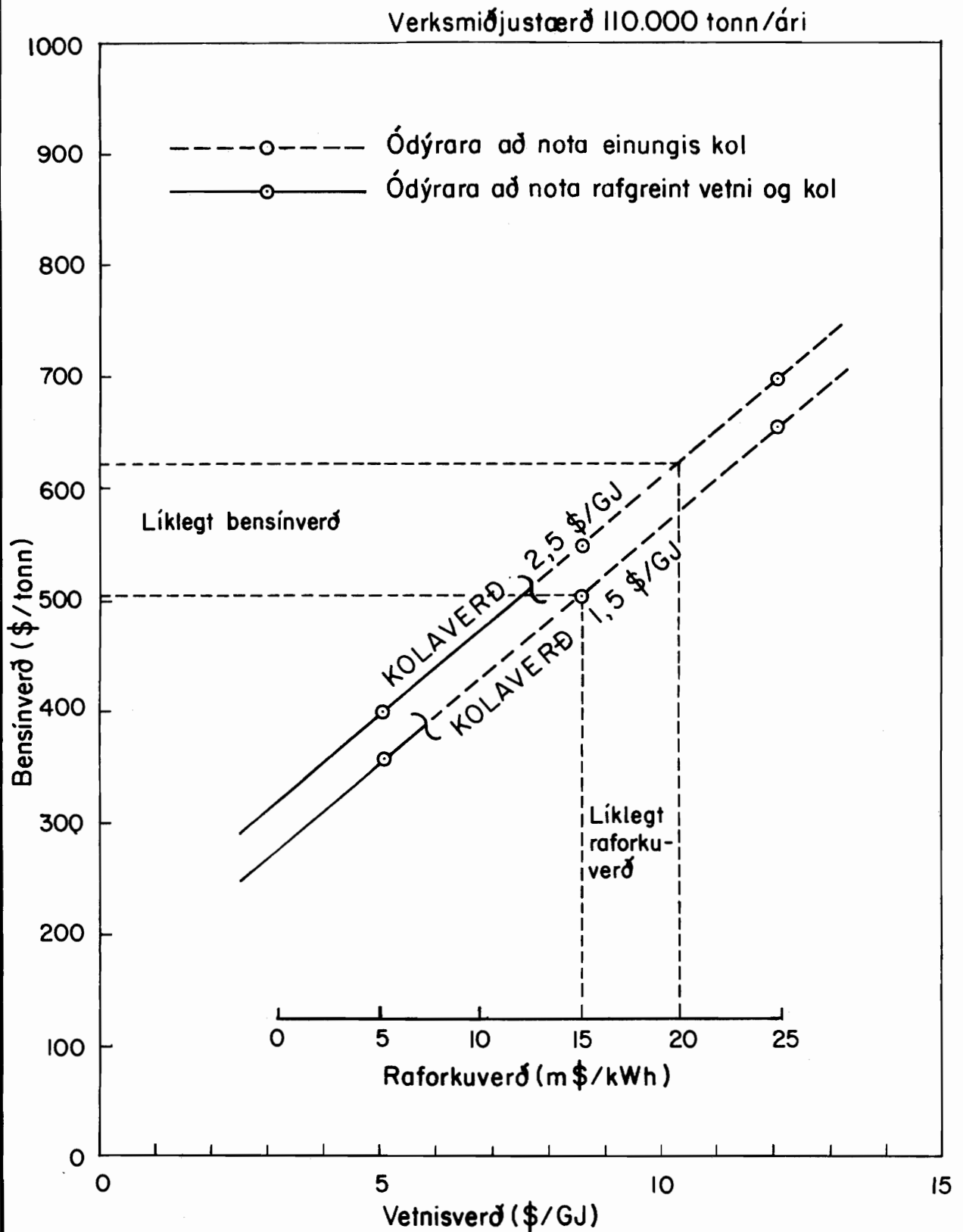
80-01-30

JSG/H

Vinnslut.

F-1906I

Mynd 6.1







ORKUSTOFNUN

Framleiðslukostnaður bensíns úr  
mismunandi dýrum kolum

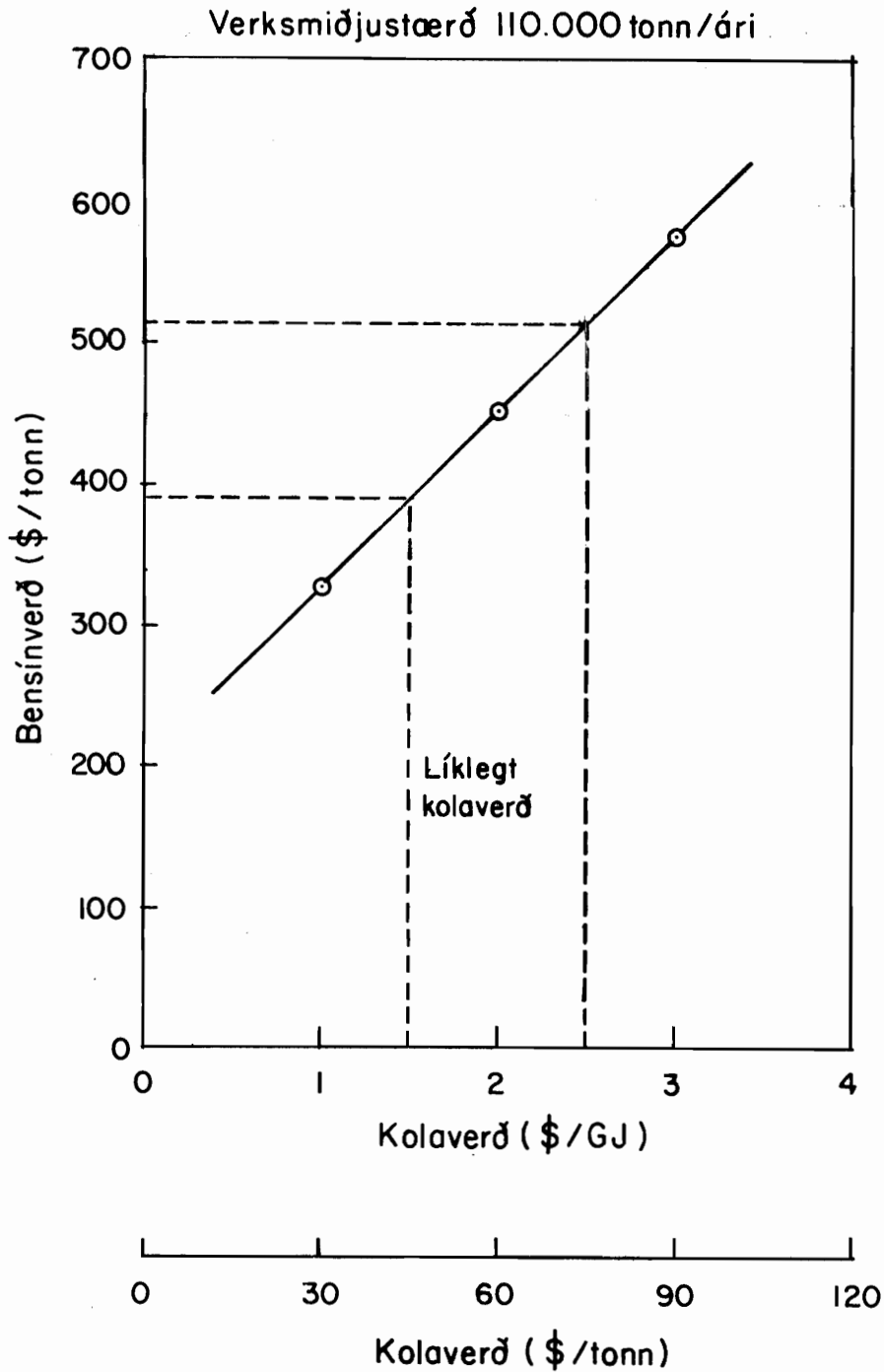
80.01.30

JSG/H

Vinnslut.

F-19062

Mynd 6.2



Í þessari álitssgerð hefur aðallega verið fjallað um þá framleiðslutækni fljótandi eldsneytis sem vinnuhópurinn telur vænlegasta til árangurs á næstu árum. Minna hefur verið fjallað um tækni sem enn er unnið að og komið gæti til álita undir aldamótin eða síðar. Með þessari afmörkun á efni álitssgerðarinnar var höfð í huga sú ákvarðanatáka varðandi frekari athugasir sem væntanlega fylgja í kjölfarið. Hér að framan var t.d. lögð á það óhersla að áætla kostnaðarverð tilbúins bensíns með tækni sem til er nú. Engu að síður eru fyrir hendi óvissuþættir sem getu haft afgerandi áhrif á framtíðarmöguleika innlendra eldsneytisiðju. Í þessum kafla verður fjallað um nokkur atriði sem vinnuhópurinn telur rétt að komi fram og séu áreittuð.

Við ákvarðanatöku um innlenda bensínframleiðslu verður að taka mið af líklegri verðþróun þeirra eldsneytistegunda og hráefna sem skipta máli. Þar er sérstaklega um að ræða verðþróun hráolíu og kola erlendis og framleiðslukostnað raforku og vetnis hÉrlendis. Að flestra mati heldur hráolían áfram að hækka í verði á næstu árum og talið er líklegt að auknar truflanir verði á innkaupum og flutningum frá helstu framleiðslulöndunum. Af þessum sökum eykst mikilvægi þess að hafa tryggja samninga um innflutning olíuvara og/eða óháða framleiðslu innanlands. Þegar verð á hráolíu hækkar frekar þykir líklegt að verð á kolum hækki líka. Það sama má segja um jarðgas því sennilega fylgir það hráolíunni eftir í verði. Í þessu sambandi má geta þess að raforka er almennt talin verðmætari orka en olía, kol og gas. Af þessu leiðir að markaðsverð raforku kemur væntanlega til með að hækka á næstu árum.

Framleiðslukostnaður rafgreinds vetnis ræðst aðallega af stofnkostnaði verksmiðjunnar og raforkuverðinu. Fram hefur komið að líklegt raforkuverð frá næstu virkjunum geti verið á bilinu 15-20 m\$/kWh. Hér verður ekki fjallað um líklegt kostnaðarverð raforku á Íslandi enda ekki tilgangurinn með þessari álitssgerð. Um rafgreiningartæknina gildir öðru máli. Að mati vinnuhópsins er það lykilatriði hvernig sú tækni þróast á næstu árum. Í dag virðist ljóst að rafgreint vetni er ekki samkeppnisfært við innflutt kol. Miðað við þær forsendur sem hér eru notaðar fyrir framleiðslu tilbúins bensíns, þá þarf rafgreinda vetnið að lækka um 10-44% svo það sé jafn dýrt að nota eingöngu kol eins og að nota vetni og kol.

Þessi samanburður fer að sjálfsögðu eftir því raforku- og kolaverði, sem miðað er við. Tafla 7.1 sýnir hvað verðlækkunin þarf að vera mikil, þegar miðað er við líklegt raforku- og kolaverð.

Á næstu árum má vænta betri og ódýrari rafgreiningartækni, sem hugsanlega getur dregið úr framleiðslukostnaði rafgreinds vetnis. Mynd 3.1 sýnir t.d. áætlun sem gerir ráð fyrir allt að 50% lækkun á vetnisverði með því að nota nýja rafgreiningartækni. Að mati vinnuhópsins eru litlar sem engar líkur til þess að hægt verði að nálgast þetta takmark á næstu árum. Önnur áætlun [30] um nýja rafgreiningartækni gerir hins vegar ráð fyrir allt að 25% lækkun á framleiðslukostnaði vetnis með þessari sömu rafgreiningartækni og endurbættri hefðbundinni tækni. Skv. þessum og öðrum upplýsingum telur vinnuhópurinn að á næstu árum megi vænta í mesta lagi 25% lækkunar á framleiðslukostnaði rafgreinds vetnis. Með hækkandi kolaverði og betri rafgreiningartækni er því álitnið að þróun næstu ára verði rafgreiningu vetnis í hag.

Í þessari greinargerð hefur verið fjallað um bæði metanól og tilbúið bensín sem eldsneyti. Komist var að þeirri niðurstöðu að brennslutækni metanóls væri enn á þróunarstigi og því óvíst hvort það þæmi til greina hérlandis. Auk þess væri óráðlegt fyrir okkur að fara út í notkun á nýrri eldsneytistegund ef aðrar þjóðir gera það ekki líka. Rétt þykir að bera saman framleiðslukostnað metanóls og tilbúins bensíns. Skv. kafla 6 kostar bensínið 507-546 \$/tonn ef raforkan kostar 15 m\$/kWh og kolin 1,5-2,5 \$/GJ. Að framleiða bensín með Mobil aðferð kostar um 23 \$/tonn (bensíns) og orkunýtingin er um 93%. Tilbúna bensínið áætlast því 12-13% (allt að 15%) dýrara en metanólið miðað við orkuinnihald. Á móti þessu herra verði tilbúins bensíns kemur tvöfaldur dreifingarkostnaður metanóls og kostnaður við breytingar á vélum og búnaði til að gera metanólið brúklegt, ef tæknin er þá fyrir hendi. Til að nota tilbúið bensín þarf hins vegar engar breytingar að gera á vélum og búnaði. Kostir tilbúins bensíns umfram metanól virðast því nokkuð ljósir.

Í þessari álitagerð vinnuhópsins er framleiðslukostnaður tilbúins bensíns úr kolum eingöngu áætlaður 390-513 \$/tonn (eða 400-500 \$/tonn), en 507-622 \$/tonn (eða 500-600 \$/tonn) úr rafgreindu vetni og kolum. Skv. mynd 2.1 var innflutningsverð bensíns 1979 hinsvegar 200-400 \$/tonn. Hér er ekki ætlunin að spá um þróun bensínverðs á næstu árum, en vinnuhópurinn telur að 300-400 \$/tonn gefi réttari samanburð við framleiðslukostnað tilbúins

eldsneytis. Í stórum dráttum má því segja að á verðlagi ársins 1979 kosti það 300-400 \$/tonn að flytja inn bensín, 400-500 \$/tonn að framleiða tilbúið bensín úr kolum eingöngu, og 500-600 \$/tonn að framleiða það úr rafgreindu vetni og kolum. Við ofangreindan samanburð ber jafnframt að hafa í huga hvað það getur kostað að framleiða tilbúið bensín í erlendum risaverksmiðjum. Fram hefur komið að í fjórum sinnum stærri verksmiðju en hér er fjallað um áttlar Mobil félagið að það kosti 434 \$/tonn að framleiða tilbúið bensín úr kolum eingöngu. Tafla 6.1 sýnir auk þess að í verksmiðju sem framleiðir rúmlega 12 sinnum meira metanól en þarf vegna innlendarar bensínframleiðslu, þá áttlast stofnkostnaðurinn aðeins 8 sinnum hærri. Af þessum sökum vaknar m.a. sú spurning, hvort það yrði ekki ódýrara að flytja inn tilbúið eldsneyti frá erlendum risaverksmiðjum heldur en að framleiða það í lítilli verksmiðju innanlands.

Auk samanburðar á framleiðslukostnaði bensíns er fróðlegt að athuga hlutfall gjaldeyrissparnaðar og áttlaðs stofnkostnaðar bensínframleiðslu á Íslandi. Tafla 7.2 sýnir stofnkostnað 110.000 tonn/ári bensíniðnaðar skv. verðlagi í ársbyrjun 1979. Stofnkostnaður bensínframleiðslu úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum (kostur A) áttlast samtals 424 M\$ en aðeins 145 M\$ ef eingöngu er notuð innflutt kol (kostur B). Stofnkostnaður A er allt að þrisvar sinnum hærri en B. Það vekur athygli að stofnkostnaður raforkukerfisins í kosti A nemur 67% (2/3) heildarkostnaðarins og er því afgerandi fyrir hagkvæmni innlendarar eldsneytisframleiðslu. Í kosti A þarf að flytja inn 173.300 tonn/ári af kolum skv. töflu 6.1 en 504.200 tonn/ári í kosti B. Til einföldunar má gera ráð fyrir meðalverði bensíns nálægt 350 \$/tonn (300-400 \$/tonn) og kola 60 \$/tonn (45-75 \$/tonn). Sparnaður í bensíninnflutningi nemur því um 39 M\$/ári í báðum kostunum. Í kosti A nemur kolainnflutningurinn 10 M\$/ári en 30 M\$/ári í kosti B. Hugsanlegur sparnaður í kosti A nemur 29 M\$/ári eða 7% af stofnkostnaði. Kostur B minnkar innflutninginn um 9 M\$/ári sem er 6% af áttluðum stofnkostnaði. Þessar prósentutölur miðast við ágískað meðalverð á innfluttu eldsneyti (bensín og kol) og eru því aðeins til viðmiðunar, enda um algjöra frumathugun að ræða.

Hér að framan hefur mikið verið rætt um tilbúið bensín en lítið sem ekkert um gasolíu. Með hliðsjón af notkun þessara eldsneytistegunda hérlendis hefði verið eðlilegra að gera hið gagnstæða og fjalla öllu meira um gasolíuna, enda sýnir tafla 2.2 að 1985 er áttlað að gasolíunotkunin verði um helmingi meiri en bensínnotkunin. Ein af ástæðunum fyrir þessu misræmi

er sú skoðun vinnuhópsins að bensínframleiðsla með Mobil aðferð sé einna vænlegust til árangurs hérlendis á næstu árum. Mobil tæknin er tiltæk nú og með henni má breyta metanóli í há-oktan bensín. Unnið er að því að breyta henni svo hægt sé að framleiða gasolíu úr metanóli en lítið er vitað um hvenær sú tækni gæti orðið nothæf. Takist Mobil að búa til gasolíu úr metanóli má ætla að framleiðslukostnaðurinn verði svipaður og á tilbúnu bensíni. Hér að framan hefur heldur ekkert verið fjallað um þotueldsneyti. Tafla 2.2 sýnir hisn vegar að áætluð notkun þotueldsneytis 1985 er hátt hlutfall af bensínnotkuninni eða tæplega 75% (3/4). Þá vaknar sú spurning hvort ekki sé hægt að framleiða þotueldsneyti með Mobil aðferðinni. Vinnuhópurinn hefur ekki kannað þennan möguleika sérstaklega en telur fyllstu ástæðu til að svo verði gert. Fljótt á lítið virðist vel koma til greina að framleiða þotueldsneyti með sömu aðferðum og bensín.

Áfangaskipti í uppbyggingu hugsanlegrar eldsneytisiðju á Íslandi skipta miklu máli vegna þess hve fjárfestingin er mikil. Ef miðað er við 110.000 tonna bensínframleislu úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum, þá nemur fjárfestingin 424 M\$ eða upphæð sem jafngildir hálfum fjárlögum ríkisins. Að reisa slíka bensíniðju hlýtur því að kosta þjóðina mikið átak svo ekki sé ofmælt. Engu að síður virðist 110.000 tonna bensínverksmiðja vera nálægt heppilegri stærð sem fyrsti áfangi í frekari uppbyggingu. Minnsta stærð hugsanlegrar eldsneytisiðju ræðst fyrst og fremst af afkastagetu kolaofnsins í metanólverksmiðjunni. Koppers-Trotzek gasofnar afkasta t.d. allt að 15 tonn/klst af kolum [3] en skv. töflu 6.1 þarf um 20 tonn/klst af kolum til metanólframleiðslunnar. Frekari áfanga í uppbyggingu mætti hugsanlega miða við áætlaða notkun bensíns og þotueldsneytis um 1990, sem verður um 220.000 tonn/ári. Þar á eftir mætti hugsa sér að tvöfalda framleiðsluna aftur með því að reisa gasolíuverksmiðju, ef tækni til þess verður þá fyrir hendi.

Í kafla 6 kom fram að skv. nýlegum upplýsingum [5] frá Mobil olíufélaginu þá kostar 50% meira að framleiða bensín með aðferð Fischer-Tropsch en þeirra eigin. Upplýsingar sem þessar ber eðlilega að taka með varúð, enda ekki vitað hvaða tæknilegar forsendur liggja að baki. Auk þess er Mobil hagsmunaaðili í málinu. Skýringar á þessum mikla verðmun má e.t.v. finna í kostum og göllum aðferðanna. Mobil framleiðir nær einungis bensín en Fischer-Tropsch margskonar kolvetni. Í Suður-Afríku t.d.,

þar sem Fischer-Tropsch aðferðin hefur verið notuð í 25 ár, nemur bensín- og gasolíuhlutinn aðeins þriðjungum framleiðslunnar, en gastegundir um helmingi. Til að fá meira bensín þarf frekari meðhöndlun í olíuhreinsunarstöð, sem eykur þá framleiðslukostnaðinn, en að öðru leyti eru aðferðirnar svipaðar ef öll framleiðsluþrepin eru talin með. Fischer-Tropsch tæknin virðist því falla vel að markaði sem notar bæði fljótandi eldsneyti og gas. Hins vegar ber að hafa í huga þá þróun, sem hefur orðið á Fischer-Tropsch aðferðinni undanfarin ár. T.d. er verið að byggja nýja verksmiðju í Suður-Afríku sem á að framleiða hlutfallslega meira bensín og gasolíu en sú eldri. Að mati vinnuhópsins má því alls ekki útiloka þann möguleika að Fischer-Tropsch komi jafnvel til greina héraðs og Mobil, enda hefur aðeins annar kosturinn verið athugaður í þessari álitserð.

Umhverfisáhrif hugsanlegrar eldsneytisiðju héraðs geta orðið veruleg og ráða væntanlega miklu um alla ákvarðanatöku í málinu. Nú er ljóst að notkun vetnis kemur varla til greina á þessari öld svo innlend eldsneytisframleiðsla verður að byggja á notkun kolefnis úr einhverjum kolefnisgjafa. Fram hefur komið að ótímabært er að gera nákvæmar áætlanir um útblástur stóriðju og íslenskan mó sem kolefnisgjafa og því er nauðsynlegt að miða við influtt kol. Þrátt fyrir það er full ástæða til frekari athugana á þessum og öðrum kolefnisgjöfum. Mikill innflutningur á kolum býður heim mörgum þeim vandamálum sem stórar iðnaðarþjóðir stríða við í dag. Þar má nefna ryk og brennistein í andrúmslofti og margvísleg óhreinindi og óæskileg efni í frárennsli. Fergja þarf kolaösku og aukin hætta skapast á olíumengun sjávar og vatnsfalla. Þá eru ótalin áhrif stórrar eldsneytisiðju á byggð og mannlíf þar sem verksmiðjurnar yrðu byggðar. Hér er ekki ætlunin að gera tæmandi lista yfir umhverfisáhrif hugsanlegrar eldsneytisframleiðslu, heldur benda á nauðsyn þess að taka tillit til þeirra frá upphafi.

Með hliðsjón af líkleikum umhverfisáhrifum innlendrar eldsneytisiðju má ætla að ekki komi önnur framleiðsluaðferð til greina en sú sem hefur minnstan kolainnflutning í för með sér. Tafla 6.1 sýnir t.d. að framleiðsla tilbúins bensíns úr kolum eingöngu krefst allt að þrisvar sinnum meiri kolainnflutnings en væri bensínið framleitt úr rafgreindu vetni og kolum. Á móti kemur allt að þrisvar sinnum hærri stofnkostnaður eldsneytisiðju, sem byggir á kolum og rafgreindu vetni skv. töflu 7.2 og framleiðslukostnaður bensínsins áætlast um fjórðungi hærri sbr. kafla 6. Hins vegar

er það skoðun vinnuhópsins að ekki komi til greina að reisa eldsneytisverksmiðju hérlendis nema verið sé að nýta innlendar orkulindir og þá á hagkvæman máta. Þess vegna beri einungis að miða við eldsneytisframleiðslu úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum hérlendis. Áætlanir um verksmiðjur sem nota eingöngu kol eru aðeins til viðmiðunar.

Ákvarðanataka um innlenda eldsneytisiðju hlýtur að taka mið af öðrum orkunýtingarkostum landsmanna. Um er að ræða hvort rétt sé að nýta raforku til vetnisframleiðslu ef aðrir nýtingarmöguleikar eru fyrir hendi. Þetta mál er margslungið og ekki tilgangur vinnuhópsins að gera því skil. Hins vegar má ekki horfa framhjá þeirri staðreynd hér að innlend eldsneytisframleiðsla er aðeins einn af mörgum orkunýtingarkostum þjóðarinnar. Fram hefur komið að raforka er almennt verðmætara orkuform en eldsneyti. Erlendis er eldsneyti t.d. brennt til að framleiða raforku en þá fæst aðeins þriðjungs orkunýtni. Verðlag raforkunnar hlýtur því að vera samsvarandi herra. Tvö ekki óskyld atriði skipta jafnframt miklu máli við ráðstöfun á raforku til iðnaðar hérlendis. Vegna þess að raforka er verðmætari orkuberi en olía, kol og gas, þá telur vinnuhópurinn óráðlegt að nota hana við aðstæður þar sem hægt er að nota brennsluefni, nema eitthvað sérstakt komi til, sbr. ammoníakframleiðslu. Vinnuhópurinn telur m.ö.o. að raforka verði best notuð við aðstæður þar sem ekki komi til greina að nota olíu, kol eða gas, sbr. rafgreining og rafbræðsla. Á næstu árum verða því að liggja fyrir áætlanir um fjölda orkunýtingarkosta svo hægt verði að taka skynsamlega ákvörðun um hugsanlega eldsneytisframleiðslu og frekari nýtingu raforku hérlendis.

TAFLA 7.1

"Nauðsynleg" verðlækkun á rafgreindu vetni

Kolaverð (\$/GJ)	Raforkuverð	
	15 (m\$/kWh)	20 (m\$/kWh)
1,5	33%	44%
2,5	10%	25%

TAFLA 7.2

Áætlaður stofnkostnaður \* bensíniðnaðar (110.000 tonn/ári)

Tegund iðnaðar	Stofnkostnaður (M\$)	
	Kostur A	Kostur B
Raforka	286 (67%)	-
Vetni	80 (19%)	-
Metanól	41 (10%)	128 (88%)
Bensín	17 (4%)	17 (12%)
Alls	424 (100%)	145 (100%)

A: Rafgreint vetni og innflutt kol

B: Innflutt kol eingöngu

\*: Verðlag ársbyrjun 1979 (\$= 320 kr)





## 8 NIÐURSTÖÐUR

Til frekari glöggvunar á helstu niðurstöðum vinnuhópsins verða dregin saman mikilvægustu atriðin í þessum kafla:

1. Tæknilega er ekkert því til fyrirstöðu að framleiða vetni með rafgreiningu hérlendis. Hægt er að brenna vetni í stórum stíl og eins kemur til greina að nota það í aflvélar. Framleiðslu- og brennslutæknin virðast því vera fyrir hendi. Öðru máli gegnir um geymslu og dreifingu vetnis. Hagkvæm tækni til þeirra hluta er ekki til nú og ekki fyrirsjáanlegt að svo verði á næstunni. Vetni verður tæplega notað sem eldsneyti hérlendis á þessari öld.
2. Framleiðslukostnaður rafgreinds vetnis lækkar meira með vaxandi verksmiðjustærð en ætlað var í fyrstu. Gerð var áætlun um fjórar vetnisverksmiðjur 3-13 sinnum stærri en Áburðarverksmiðjan. Í stærstu verksmiðjunni nemur orkukostnaðurinn um 2/3 framleiðslukostnaðarins. Á næstu árum má vænta 25% lækkunar á framleiðslukostnaði vetnis vegna betri rafgreiningartækni.
3. Óráðlegt þykir á þessu stigi að mæla með notkun metanóls sem eldsneytis hérlendis. Brennslutæknin er enn á þróunarstigi og ljóst þykir að metanól hafi litla sem enga kosti umfram tilbúið bensín. Til að nota metanól sem eldsneyti þarf bæði að breyta aflvélum og tvöfalda geymslu- og dreifingarkerfið. Orkuinnihald metanóls er helmingi minna en bensíns. Tilbúið bensín kostar aðeins 15% meira en metanól miðað við sama orkuinnihald.
4. Hægt er að framleiða tilbúið bensín á Íslandi úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum. Framleiðslukostnaður bensíns í 110.000 tonna verksmiðju er áætlaður 507-622 \$/tonn miðað við verðlag í ársbyrjun 1979, raforkuverð 15-20 m\$/kWh og kolaverð 45-75 \$/tonn. Hugsanleg bensínframleiðsla þyrfti 298 MW virkjun, 202 MW vetnisverksmiðju og 266.200 tonna metanólverksmiðju, ásamt verksmiðju sem breytti metanóli í tilbúið bensín. Áætlaður stofnkostnaður næmi 424 M\$ og innflutningur eldsneytisvara gæti minnkað um 29 M\$/ári miðað við 350 \$/tonn bensínverð og 60 \$/tonn kolaverð. Hins vegar er hægt að framleiða tilbúið

bensín á Íslandi úr innfluttum kolum eingöngu og er áætlaður framleiðslukostnaður þess í 110.000 tonna verksmiðju 390-513 \$/tonn miðað við 45-75 \$/tonn kolaverð.

5. Með hækkandi verði á olíu og kolum og með betri rafgreiningartækni má búast við verðlagsþróun á næstu árum, sem gæti orðið hagstæð fyrir innlenda eldsneytisframleiðslu. Verðlag næstu ára getur jafnframt orðið hagstætt fyrir aðra orkunýtingarkosti landsmanna. Allar hugmyndir um innlenda eldsneytisframleiðslu verður því að skoða í ljósi hagkvæmni og með samanburði við aðra nýtingarmöguleika raforku.

9 TILLÖGUR

Helstu tillögur vinnuhópsins til orkumálastjóra eru þessar:

1. Fylgst verði með þróun rafgreiningartækni vetnis og framleiðslutækni tilbúins eldsneytis á næstu árum.
2. Stuðlað verði að samvinnu við þær þjóðir, sem hyggja á framleiðslu tilbúins bensíns á næstu árum.
3. Hafist verði handa um athuganir á öðrum orkunýtingarkostum landsmanna til samanburðar við innlenda eldsneytisframleiðslu.
4. Gerð verði athugun á íslenskum mó með tilliti til notkunar við framleiðslu fljótandi eldsneytis í framtíðinni.
5. Orkustofnun vinni að því að samræma frekari athuganir á innlendri eldsneytisframleiðslu.



HEIMILDASKRÁ

1. Veziroglu, T.N. & Seifritz, W. 1978: Hydrogen Energy System.  
Proc. 2nd World Hydrogen Energy Conf., Zürich, 21-24 August.
2. Bragi Árnason 1978: Eldsneyti úr innlendum orkulindum. Raunvís-  
indastofnun Háskólans, RH-78-15, 73 s.
3. Jón Steinar Guðmundsson 1979: Vetni, grómun og kísill. Orkustofnun,  
OS79021/JHD10, 40 s.
4. Jón Steinar Guðmundsson, Gunnlaugur Jónsson, Bragi Árnason & Jóhann  
Már Maríusson, 1980. Gögn er varða störf vinnuhóps um vetni og  
vetnissambönd. Orkustofnun, Greinargerð JSG-GJ-BÁ-JMM-80/03.
5. Jón Steinar Guðmundsson & Runólfur Þórðarson 1979: Bensín, metanól  
vetni, kolía og grómun. Orkustofnun, OS79048/JHD24, 14 s.
6. Bragi Árnason, 1980: Vetni og vetnissambönd - framleiðsla og hugsan-  
leg notkun í stað núverandi eldsneytis. Orkustofnun, 118 s.
7. Orkuspárnefnd 1979: Olíunotkun 1979-2000, drög að spá.
8. Orkuspárnefnd 1978: Raforkuspá 1977-2000.
9. Olíunefnd 1979: Áfangaskýrsla I, 45 s.
10. Gregory, D.P., Tsaros, C.L., Arora, J.L. & Nevrekar, P. 1979:  
The Economics of Hydrogen Production. Symp. Prod. Marketing  
Hydrogen, Current & Future, ACS/CSF Chemical Congress, Honolulu,  
1-6 April, 27 s.
11. Svensk Metanolutveckling AB 1978: Methanol as Motor Fuel. Annual  
Report, 76 s.
12. Liquid Fuels Trust Board 1979: Report of the Liquid Fuels Trust  
Board of New Zealand. Presented to the House of Representatives,  
10 s.

13. Liquid Fuels Trust Board 1979: Development of an Initial Strategy for Transport Fuels and Gas Utilisation. Supporting Information for a Report to the Minister of Energy, New Zealand, 28 s.
14. Paul, J.K. 1978: Methanol Technology and Application in Motor Fuels. Noyes Data Corporation, New Jersey, 470 s.
15. Finnbogi Jónsson 1978: Minskat oljeberoende för Island genom Metanolframställning baserad på inhemska energiresurser. Institutionen för Varme- och Kraftteknik, Tekniska Högskolan i Lund, LUTMDN/(TMVK-5084)/1-40 (1978), 36 s.
16. Ágúst Valfells 1978: Ísland 2000 - framleiðsla, fólksfjöldi og líf skjör. Landsvirkjun, 70 s. (Tímarit VFI, 63, 65-87).
17. Reed, T.B. & Lerner, R.M. 1973: Methanol: A Versatile Fuel for Immediate Use. Science, 182, 1299-1304.
18. Wigg, E.E. 1974: Methanol as a Gasoline Extender: A Critique. Science, 186, 785-790.
19. Steinberg, M. 1977: Nuclear Power for the Production of Synthetic Fuels and Feedstocks. Energy Policy, 5, 12-24.
20. Institute of Gas Technology 1979: Management Assessment of Peat as an Energy Resource. Conf. papers, Arlington, Virginia, 22-24 July.
21. Merrick, D., Arnold, M. St. J., Audus, H. & Topper, J.M. 1978: The Use of Non-Fossil Derived Hydrogen in Coal Conversion Processes. Final Report on Research Project XII/797/76 068-76 EHUK to the Commission of the European Communities, National Coal Board, Cheltenham, U.K., 57 s.
22. International Energy Agency 1978: Steam Coal - Prospects to 2000. OECD, Paris, 157 s.
23. Meisel, S.L., McCullough, J.P., Lechthaler, C.H. & Weisz, P.B. 1976: Gasoline from Methanol in One Step. Chemtech, 6, 86-89.

24. Hoogendoorn, J.C. 1977: Coal Gasification at Sasol (Republic of South Africa). Energy Technology Handbook. Cosidine, D.M., editor-in-chief, McGraw Hill Book Company, 1/285 - 1/296.
25. Thurlow, G.C. 1978: Oil from Coal. Chemical Engineer, 337, 733-735.
26. Stewart, J.T., Klett, M.G. 1979: Converting Coal to Liquid/Gaseous Fuels. Mechanical Engineering, 101, 34-41.
27. Durie, R.A. 1979: The Current Coal Conversion Scene in Australia. Chemical Engineer, 347/8, 570-577.
28. Anonymous 1979: Mobil's Methanol-to-Gasoline Route will be used in two Projects. Chemical Engineering, 86, 43. (Deutsch, D.J., 1979: A Big Boost for Gasoline-from-Methanol. Chemical Engineering, 87, 43-45).
29. Voltz, S.E. & Wise, J.J. 1976: Development Studies on Conversion of Methanol and Related Oxygenates to Gasoline. Prepared for the U.S. Energy Research and Development Administration, Mobil Research and Development Corporation, FE 1773-25, Paulsboro, New Jersey, 224+112 s.
30. LeRoy, R.L. & Stuart, A.K. 1978: Present and Future Costs of Hydrogen Production by Unipolar Water Electrolysis. Ind. Water Electrolysis Symp., 153rd Meeting Electrochemical Society, Seattle, 25 May, 15 s.