



ORKUSTOFNUN

Samanburður á hagkvæmni nokkurra stóriðjukosta

Gunnlaugur Jónsson, Birgir Árnason

Greinargerð GJ-BÁ-80/01

Samanburður á hagkvæmni nokkurra stóriðjukosta

Gunnlaugur Jónsson

Birgir Árnason

GREINARGERÐARSAFN

Reykjavík
júní 1980

Dags.
1981-07-30

Tilv. vor
JB/GJ/at

Dags.

Tilv. yðar

Iðnaðarráðuneytið,
ARNARHVOLI,

101 Reykjavík.

Varðar: Framleiðslu á benzíni, gasolíu og þotueldsneyti úr svartolíu og rafgreindu vetni.

Hjálagt sendist hinu háa ráðuneyti greinargerð, sem unnin hefur verið á Orkustofnun. Greinargerðina unnu Gunnlaugur Jónsson og Birgir Árnason, og er hún hluti af vinnu Orkustofnunar að orkubúskap Íslands og leit að hagkvæmum vinnsluferli til að breyta vatnsorku í eldsneyti.

Í greinargerðinni eru bornir saman þrjár stóriðjukostir:
1. álframleiðsla, 2. framleiðsla benzíns úr kolum og vetni, 3. framleiðsla á benzíni, gasolíu og þotueldsneyti úr svartolíu og rafgreindu vetni.

Meginniðurstöður miðað við, að greidd séu 17,5 mill/kWh fyrir raforkunni, eru eftirfarandi:

- a. Rekstur álvers stendur í járnum og virðist ekki uppfylla þær kröfur, sem gerðar eru í greinargerðinni um arð af fjárfestingu.
- b. Framleiðsla benzíns úr kolum og vetni er ekki hagkvæm, vegna þess hve mikla raforku og vetni þarf til framleiðslunnar.
- c. Framleiðsla benzíns, gasolíu og þotueldsneytis úr svartolíu og vetni með svokallaðri "hydrocracking" aðferð lítur út fyrir að vera mjög arðbær, miðað við þær aðstæður, sem ríkja á olíumörkuðum nú.

Helztu forsendur fyrir þessari athyglisverðu niðurstöðu eru eftirfarandi:

1. Vetnisnotkunin er tiltölulega lítil, eða sem nemur 4% af þunga afurðanna, ef notuð er svartolía sem hráefni. Ef notuð eru kol, er vetnisnotkunin allt að 30% af þunga afurðanna. 600.000 tonna "hydrocracker" notar 1260 Gwh raforku, en áætlað er, að 110.000 tonna benzínverksmiðja, sem vinnur úr kolum, noti 1700 Gwh raforku.

./.

2. Svartolíuverð hefur verið mun stöðugra en verð á benzíni og gasolíu, sem stafar af því að svartolía keppir við kol og gas til raforkuframleiðslu og í iðnaði. Ef svartolía hækkar í verði, þá er tiltölulega auðvelt að minnka notkun hennar með því að brenna kolum eða gasi. Sama er ekki hægt að segja um benzín og gasolíu.

3. Framleiðslugeta er takmörkuð á þessu sviði í heiminum um þessar mundir, vegna þess hve dregið hefur úr notkun brennsluolíu í iðnaði og til raforkuframleiðslu.

4. Vetni er mjög verðmætt í olíuhreinsunarstöðvum, þar sem það er notað í "hydrocracker", einnig til að eyða brennisteini og köfnunar-efni úr olíunni og bæta brennslueiginleika hennar. Í venjulegri olíuhreinsunarstöð er einungis takmarkað magn vetnis, sem hægt er að vinna úr olíunni sjálfri, án þess að það komi niður á afurðamagninu.

Að mati Orkustofnunar er rétt að fylgja þessari niðurstöðu eftir með sérfræðilegri athugun á hagkvæmni "hydrocracking" svartolíuhreinsunar, sem notar rafgreint vetni. Í því sambandi hefur Orkustofnun einkum í huga The Lummus Company Ltd. í London, sem gerði athugun á olíuhreinsunarstöð á Íslandi árið 1973, og gerði OS vinnutilboð í nóvember 1979. Æskilegt er, að þeim verði sem fyrst falið að athuga hagkvæmni olíuhreinsunar á Íslandi, og sérstaklega að athuga þann möguleika að nýta rafgreint vetni til að breyta svartolíu í verðmætari olíuvörur.

Allra virðingarfyllst,



Jakob Björnsson.

Ágrip

Reynt er að meta og bera saman hagkvæmni þriggja tegunda stóriðju:

1. Álframleiðslu
2. Framleiðslu tilbúins bensíns úr kolum og vetni
3. Framleiðslu bensíns og annarra léttra olíuafurða úr svartolíu og vetni

Niðurstöður lauslegra útreikninga benda til þess að framleiðsla áls, hvort sem er í nýrri verksmiðju eða í viðbót við álverið í Straumsvík, standi í járnum, framleiðsla tilbúins bensíns úr kolum og vetni komi ekki til greina hvernig sem dæmið sé skoðað en vinnsla bensíns og annarra verðmætra olíuafurða úr svartolíu með því að nota vetni virðist hins vegar mjög álitleg, bæði frá efnahagslegu og orkulegu sjónarmiði. Þótt olíuhreinsun af þessu tagi sé vel þekkt og víða notuð er nauðsynlegt að gera mun ýtarlegri athugun áður en hægt verður að fullyrða hvort hagkvæmt sé að koma á fót svona olíuhreinsunarstöð hér á landi eða ekki.

Efnisyfirlit

Ágrip.....	.....
Efnisyfirlit.....	.....
1 Inngangur.....	.....
2 Framleiðsluaðferðir og verðmætasköpun.....	.....
2.1 Álframleiðsla.....	.....
2.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni.....	.....
2.3 Bensín úr svartolíu.....	.....
3 Er öll örka eins?.....	.....
4 Samanburður á örkujafnvægi.....	.....
4.1 Álframleiðsla.....	.....
4.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni.....	.....
4.3 Bensín úr svartolíu.....	.....
5 Hagkvæmni.....	.....
5.1 Álframleiðsla.....	.....
5.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni.....	.....
5.3 Bensín úr svartolíu.....	.....
Viðauki: Olíuhreinsun.....	.....
Viðauki: Rekstraráætlun.....	.....
Heimildir.....	.....

1 Inngangur

Þær raddir heyrast nú æ eftar er telja að vá steðji að íslensku efnahagslífi nema skjótt verði gripið í taumana. Einkum er því haldið fram að fiskveiðar og fiskiðnaður, sem berið hafa uppi hagvöxt undanfarinna áratuga, nálgist óðfluga náttúruleg takmörk sín. Framundan sé því stöðnun íslensks efnahagslífs með tilheyrandi atvinnuleysi, landflétta og versnandi líf skjörum ef ekki verði hlúð að nýjum vaxtarspretum atvinnulífsins.

Þótt ástandið sé hér án efa málað of dökkum litum er fyllsta ástæða til að huga að nýjum atvinnugreinum til að tryggja næga og fjölbreytta atvinnu í framtíðinni og draga úr þeim reglu- bundnu efnahagssveiflum sem eru fylgifiskur okkar einhæfa fiskveiðipjóðfélags.

Löngum hefur verið til þess ætlast að iðnaður tæki við, er tímar liðu, vaxandi fjölda starfandi manna. Af þessu hefur ekki orðið enda hefur iðnaðurinn hér á landi átt erfitt uppdráttar vegna slæms aðbúnaðar innanlands og harðrar samkeppni við gamalgróinn iðnað erlendis. Einnig er ljóst að ýmis náttúruleg sérkenni lands og þjóðar hafa staðið íslenskum iðnaði fyrir þrifum. En vegna síhækkandi orkuverðs í kjölfar olíukreppunnar hafa veður skipast í lofti.

Orkulindir landsins, vatnsafl og jarðhiti, hafa ekki verið beisl- aðar nema að litlu leyti og verða varla nekkurn tíma nýttar að marki nema til komi orkufrek stóriðja. Engum skyldi því koma á óvart sá endurnýjaði ákafi sem hlaupið hefur í umræðu um orku- frekan iðnað á Íslandi að undanförmu. Öll umræða um stóriðju er holl og góð, málavextir skýrast og auðveldara verður fyrir stjórnvöld að taka ákvörðun um hvert og þá hvaða orkufrek stór- iðja verður sett á laggirnar hér. Nauðsynlegt er að menn geri sér grein fyrir hvaða kröfur verður að gera til orkufreks iðnaðar. Hann verður einkum að uppfylla eftirtalin þrjú skilyrði:

1. Verður að vera hagkvæmur í rekstri þannig að hann skili arði til áframhaldandi eflingar orkufreks iðnaðar og almenns hagvaxtar.
2. Verður að falla að þjóðhagslegum markmiðum um eflingu atvinnu- lífs, umhverfisvernd og meirihlutaeign íslendinga á öllum iðnaði í landinu.
3. Orkujafnvægið verður að vera jákvætt þannig að framleiðslu- afurðirnar innihaldi jafnmikil eða meiri orkuverðmæti en hrá- orkan.

Síðasttalda atriðið verður skýrt nánar í því sem á eftir kemur.

Í þessari greinargerð verður fjallað um hagkvæmni þriggja tegunda stóriðju, nefnilega álbræðslu og tilbúning bensíns, sem mjög hafa verið í brennidepli að undanförmu og að auki eina í viðbót sem lítilill gaumur hefur verið gefinn til þessa en líkur benda til að sé mikillar athygli verð. Hér er um að ræða olíuhreinsun þá sem á ensku nefnist „catalytic hydrocracking“. Hún er fólgin í því að nota vetni ásamt sérstökum hvata til að brjóta niður þungar olíusameindir í léttar, eða með öðrum orðum, að auka hlutfall

vetnisfrumeinda miðað við kölefnisfrumeindir í olfunni. Með þessari olfuhreinsunaraðferð er hægt að breyta svo til allri svartölu í bensín, gasölu og þotueldsneyti með tiltölulega líttilli vetnis- og raferkunetkun. Talið er framleiðslugeta í þessari grein sé mjög takmörkuð í heiminum um þessar mundir því að samtímis því sem eftirspurn eftir eldsneyti fyrir farartaki hefur margfaldast hefur framboð á auðunninni hráölu dregist saman en í hennar stað komið þung og brennisteinsmengun öla.

2 Framleiðsluáferðir og verðmætasköpun

2.1 Álframleiðsla

Ál hefur verið framleitt á Íslandi frá árinu 1969. Á þeim ellefu árum, sem síðan eru liðin, hefur safnast fyrir veruleg þekking á þessu sviði héraendis og litlir tæknilegir örðugleikar eru því samfara að koma á fót íslenskum áliðnaði sem er að meirihluta eða að öllu leyti í eigu Íslendinga. Eftirspurn eftir áli er nú mikil og álverð hátt. Samkvæmt nýlegum fréttum í tímaritinu „Chemical Engineering“ er verð á áli á frjálsum markaði (sbr. Rotterdamverð á olíu) nú um \$1,00 á pund eða \$2.000,00 á tonn. Skráð verð er hins vegar „aðeins“ \$1.750,00 á tonn. Vegna hækkandi orkuverðs að undanförunu hefur verð á áli einnig farið hækkandi og eftirspurn verið mikil. Því er spáð að markaður fyrir ál verði áfram góður. Ljóst er að margar álverksmiðjur, sem notað hafa rafmagn framleitt með olíu, t.d. í Japan, verða lagðar niður. Einnig er talið að eftirspurn eftir áli muni enn aukast með vaxandi olíukreppu þar sem sérhvert kílógramm af áli, sem notað er í samgöngutækjum í stað stáls, sparar margfalda þyngd sína í olíu.

Til að framleiða eitt tonn af áli úr súráli þarf nú um 16.000 kWh raforku. Í álverinu í Straumsvík hefur raforkunotkunin komist niður í 15.500 kWh/tonn af áli. Með nýjustu tækni við álframleiðslu, sem einkum er fólgin í stærri rafgreiningarkerjum en áður (úr því að taka 100 kA straum í 170-200 kA), minnkar raforkunotkunin niður í 13.500 kWh/tonn af áli. Miðað við að fob verð áls sé 90% af skráðu verði, þ.e. \$1.575,00 á tonn, er framleiðsluverðmætið um \$0,117 á kWh raforku. Frá þessari upphæð má þó draga um helming vegna hráefniskaupa og fæst þá út að verðmætasköpunin er um \$0,058 á kWh raforku.

2.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni

Nýlega hefur verið gerð frumáætlun um framleiðslu bensíns úr rafgreindu vetni og innfluttum kolum. Reiknað er með að framleidd yrðu 110.000 tonn af bensíni árlega og til þess notaðar 1.697 GWh raforku og 173.000 tonn af innfluttum kolum. Fyrir er í landinu löng reynsla og veruleg þekking á framleiðslu vetnis með rafgreiningu. Sá hluti framleiðslunnar yrði því varla verulegt vandamál. Hins vegar er framleiðsla á kolsýru og vetni (CO og H₂) úr kolum (coal gasification) tæknilega mjög flókin, þar sem nauðsynlegt er að skilja frá öll óæskileg efni svo sem brennisteins- og köfnunarefnissambönd (S- og N-efnasambönd). Raunar má segja að þessi þáttur framleiðslunnar sé enn á tilraunastigi og alkunna er að hagkvæma lausn á vandanum verður að sníða að þeim kolum sem notuð yrðu hverju sinni, eða svo vitnað sé í „An Energy Policy for Australia“ sem birtist í tímaritinu „Energy“ ekki alls fyrir löngu:

„Viða um heim er verið að rannsaka aðferðir til að vinna fljótandi eldsneyti úr kolum. Framleiðsla eldsneytis úr áströlskum kolum krefst nákvæmrar athugunar á brennslu- og „gösunar“-eiginleikum þeirra og þeim umhverfisvanda sem notkun þeirra til eldsneytisframleiðslu veldur hvaða aðferð sem verður fyrir valinu. Útilokað er að meta eiginleika

ástralskra kœla af reynslu af öðrum kelum..."

"Nauðsynlegt er að ráðstafa allt að \$500 milljónum til þessara athugana á næstu 5-10 árum..."

Ástralíumenn treysta sér ekki til að hefja framleiðslu á olíu úr kelum án þess að gera miklar og kostaðarsamar rannsóknir áður. Þetta er sérstaklega athyglisvert ef tekið er tillit til þess að þeir eru háðir olíuinnflutningi en flytja út kol í miklum mæli og hafa að auki langa reynslu af að nota kol til rafmagns- og gasframleiðslu.

Framleiðsla eldsneytis úr rafgreindu vetni og kelum á Íslandi er því háð innflutningi á tækni sem ekki er enn ljóst hver verður þar sem framleiðsluaðferðirnar eru enn á tilraunastigi. Til að framleiða eitt tonn af bensíni þarf rúmlega eitt og hálf tonn af kolum að verðmæti um \$90,00 og um 15.000 kWh raforku. Miðað við núverandi verð á bensíni, \$360, má áætla verðmætatsköpunina \$270 á tonn bensíns eða \$0,018 á kWh raforku.

2.3 Bensín úr svartolíu

Fyrsta stig olíuhreinsunar er fólgið í því að eima úr hrá-olíunni léttar olíuafurðir svo sem bensín, gasolíu og þotueldsneyti. Eftir verður þá olía sem á ensku nefnist "residual oil" en á íslensku ýmist svartolía eða brennsluolía. Þessu stigi má líkja við að skilja rjóma úr mjólk; eftir verður verðminni hluti hráefnisins, undanrennan eða svartolían. Verðmæti svartolíunnar er alltaf minna en verðmæti hráolíunnar og aðeins um helmingur af verðmæti bensíns eða gasolíu.

Með efnafræðilegri aðferð, sem nefnist "hydrocracking", er hægt að breyta svartolíu í léttari olíuafurðir, þ.e. bensín, gasolíu og þotueldsneyti. Blöndu af vetni og svartolíu er dælt í gegnum hvata við 100 loftþyngda þrýsting og 350°C hita. Við þennan háa nita rofna efnatengi á milli kolefnisfrumeinda og þungar sameindir klöfna í tvennt. Við klöfninginn myndast tvítengi á milli kolefnisfrumeinda. Vetnið mettar síðan kolvetnið þannig að tvítengið verður aftur einfalt. Þannig breytast langar og þungar sameindir í svartolíunni í léttar sameindir sem hafa til notkunar í bensín, gasolíu og þotueldsneyti. Rúmmál olíunnar vex verulega og má reikna með að fá allt að 125 m³ af bensíni, gasolíu og þotueldsneyti úr hverjum 100 m³ af svartolíu. Engin úrgangsolía myndast en nokkur hluti framleiðslunnar, eða 10% miðað við þyngd, er gas. Verulegan hluta af þessu gasi, þ.e. um 7% sem er ísóbútan og bútan, má nota til blöndunar í bensín. Afganginn má selja sem gas á kúta eða nota sem eldsneyti við olíuhreinsunina.

Vetnismagnið, sem þarf til að breyta svartolíu í léttar olíuvörur, er háð ýmsum eiginleikum svartolíunnar, svo sem eðlisþyngd og brennisteinsinnihaldi. Venjulega má reikna með að vetnisnotkunin nemi 3-4,5% af þunga framleiðslunnar. Til þess að framleiða eitt tonn af bensíni, gasolíu og þotueldsneyti (hlutfallinu á milli framleiðsluafurða er stjórnað m.a. með hitastigi, þrýstingi og vetnismagni) þarf því 30-45 kg vetnis. Ef reiknað er með 40 kg

vetnis á hvert tonn framleiðslu er raferkupörfin til rafgrein-
ingar um 2.000 kWh. Verðmætasköpunin á hvert tonn framleiðslu
er frá \$160 á tonn gaselfu upp í \$213 á tonn háektan bensíns miðað
við verðlag í júní 1980. Raunar er verðmæti prýpan og bútan
enn meira miðað við verð á innanlandsmarkaði en hann er sve lítill
að ekki tekur því að reikna með honum enda aðeins um 1.000 tonn
á ári. Að meðaltali má reikna með að verðmætasköpunin sé \$185
á hvert tonn framleiðslu og að til hennar þurfi um 40 kg af raf-
greindu vetni sem framleidd eru með 2.000 kWh raferku. Verðmæta-
sköpunin á hverja kWh er því \$0,09.

3 Er öll orka eins?

Orkunetkun iðnaðarlandanna mótadist á tímum ódýrrar og auðfáanlegrar elfu. Hún óx þá veldisvexti og skynsamlegri orkunýtingu var þá líttill gaumur gefinn. Þeir áhyggjulausu tímar eru liðnir. Olufukreppurnar hafa gert mönnum ljósar hættur sem fylgja því að stofna samfélög á þernandi uppsprettu. Leitað hefur verið ljósum legum að nýjum orkulindum og árangurinn hefur ekki látið á sér standa. Enginn óttast lengur að einn góðan veðurdag í næstu framtíð verði öll orka til þurrðar gengin. En mikið átak þarf til að virkja hinar nýju orkulindir og víst er að brúðlið og séunin, sem voru fylgifiskar elfuþjóðfélaga undangenginna áratuga, verða ekki látin viðgangast. Nokkur tími mun samt líða þar til nýju orkulindirnar geta tekið við hlutverki sínu og þangað til er orkusparnaður eða réttar sagt skynsamleg orkunetkun meðalið sem beitt verður gegn orkuskorti.

Þegar rætt er um orku vill það oft gleymast að myndir orkunnar eru margar og henta misjafnlega vel til ýmissa hluta. Orkumyndirnar, sem oftast er minnst á, raforka og varmaorka, eru í eðli sínu ólíkar. T.d. er auðvelt að breyta raforku í varma með mikilli nýtni en varmaorku verður aldrei breytt í rafmagn nema með verulegum orkutöpum. Skýringarinnar á þeim mun, sem er á mismunandi orkumyndum, er að finna í einu af grundvallarlögmálum eðlisfræðinnar sem kennir að sérhver atburður verði til þess að óreiðan (entropy) í alheimi aukist. Óreiðustig ákveðinnar orkumyndar er mælikvarði á gæði hennar. Þetta merkir að því lægra sem óreiðustig orkunnar er þeim mun fjölbreyttari not er hægt að hafa af henni. T.d. er hægt að gera allt það með rafmagnni sem mögulegt er með varma en rafgreining verður hins vegar aldrei gerð með varma nema breyta honum fyrst í rafmagn og þá með verulegum töpum, enda er óreiðustig raforku lægra en varmaorku. Í hagnýtum tilgangi dugir oftast að flokka orkumyndir í þrennt; hágæðaorku (extra prime energy), gæðaorku (prime energy) og lággæðaorku (second rate energy). Eftirfarandi tafla sýnir skiptingu algengustu orkutegunda samkvæmt ofangreindri flokkun. Þótt hagnýtt sjónarmið ráði flokkuninni liggur óreiðulögmálið (2. lögmál varmafræðinnar) henni til grundvallar:

Flokkun orkutegunda

Hágæðaorka	-	Stöðuorka
	-	Hreyfiorka
	-	Raforka
Gæðaorka	-	Kjarnorka
	-	Sólarorka
	-	Efnaorka
	-	Háhitakerka
Lággæðaorka	-	Lághitakerka

(Flokkun þessi er fengin úr „Energy in Transition“). Eins og af framansögðu má ráða gilda þær almennu reglur að þeim mun meiri sem gæði orkunnar eru þeim mun fjölbreyttari eru notin sem hægt er að hafa af henni og að orku í háum gæðaflokki verður auveld-

lega breytt í orku í lægri gæðaflekki en ekki öfugt. Skynsamleg orkunotkun felst þess vegna í því að nota ekki orku í hærri gæðaflekki en nauðsyn krefur. Engin glóra er, t.d., í því að nota olfu til að framleiða rafmagn til húshitunar og mun áreiðanlega verða frá því hærfið hvar sem það er enn stundað. Í framhaldi af þessu viljum við mælast til þess að hin miklu gæði raforkunnar verði höfð í huga þegar ákveðið verður hvaða orkufrekum iðnaði verði komið á fót hér á landi. Ef tryggja á samkeppnisaðstöðu orkufreks iðnaðar á Íslandi má hann ekki heyja samkeppni við iðnað í öðrum löndum sem kemst af með orku í lægri gæðaflekki.

Mörgum kemur án efa spáskt fyrir sjónir að sjá sólarorkuna talda gæðaorku eins og gert er hér að framan. Ástæðan er efalaust sú hversu óbein notin, sem við höfum af sólinni, eru. Berum saman sólarorku og efnaorku en báðar þessar orkutegundir eru flokkaðar sem gæðaorka. Erfitt er að safna sólarorku saman og geyma hana. Hún er dreifð í rúmi þar sem tiltölulega lítil orka fellur á hverja flatareiningu og einnig í tíma þar sem víðast skín sólin einungis hluta úr sólarhringnum. Efnaorka er aftur á móti víða samþjöppuð í miklum olfulindum og kolanámum. Olía er einnig auðveld í geymslu og flutningi. Vegna þessa eðlismunar á sólarorku og efnaorku verður olía fyrir valinu þar sem þörf er á mikilli orku á litlu svæði, svo sem í farartækjum. Sólarorkan er hins vegar beisluð með hjálp nytjajurta ýmiss konar eða með uppgufunarlónum sem þakið geta stór landsvæði með lítilli fjárfestingu á flatareiningu. Efnaorkan (kol, olía), sem hægt er að geyma og flytja er verslunarvara í sjálfu sér, en sólarorkan verður aldrei seld sem slík, þótt afurðir framleiddar með aðstoð hennar séu mjög verðmetar og stór þáttur í heimsversluninni.

4 Samanburður á orkujafnvægi

Eins og áður er getið er ekki öll orka jafnverðmæt. Til að endurspegla þann mun sem er á orkutegundum hefur víða verið notað hugtakið olíufgildi (eil equivalent) eða kolafgildi (coal equivalent). Samkvæmt þessum mælikvarða hafa kol og olía verið borin saman miðað við varmaerku en rafmagn metið 2,86 sinnum hærra (1/0,35) vegna þess að orkunýtni kola- og olíurafstöðva er í besta falli 35%. Nú á tímum olíukreppu má segja að þessi mælikvarði sé erðinn úreltur þar eð hann endurspeglar ekki þá staðreynd að olía er mun þægilegri í netkun en kol og hefur þess vegna mun fjölbreyttara netkunarsvið. Á næstu áratugum er líklegt að eldsneyti, sem hingað til hafa verið unnin úr olíu, verði í ríku mæli framleitt úr kolum. Það er því skoðun höfunda að tími sé til kominn að taka upp nýjan mælikvarða þar sem olía og kol verði ekki borin saman miðað við varmaerkuinnihald heldur verði olíufurðir og gas. Almenn er nú talið að þessi nýtni sé á bilinu 40-60%. Sé miðað við að nýtnin við framleiðslu á hreinsuðum olíum og gasi sé 40% en óhreinsuðum 60% má segja að hreinsuð olía sé 2,5 sinnum verðmætari en kol og óhreinsuð olía, svartolía og jarðolía 1,7 sinnum verðmætari en kol. Samkvæmt framansögðu er sett fram eftirfarandi tillaga um orkuígildi:

<u>Tegund orku</u>		<u>kolaígildi</u>
1 kWh kolaorku	jafngildir	1 kWh
1 kWh hráolíuorku	-	1,7 kWh
1 kWh orku úr unninni olíu	-	2,5 kWh
1 kWh raforku	-	2,85 kWh

Orkujafnvægi þeirra þriggja framleiðslugreina, sem nefndar eru í þessari greinargerð miðað við ofangreind hlutföll, er sýnt hér á eftir.

4.1 Álf framleiðsla

Til að framleiða eitt tonn af áli úr súráli þarf 13.500 kWh raforku sem svara til 38.475 kWh kolaorku samkvæmt töflunni hér að framan. Ef raforkan væri framleidd með svartolíu væri orkuígildið mun hærra eða 65.400 kWh kolaorku. Sú orkunotkun, sem gefur lægst kolaígildi, önnur en netkun raforku frá vatnsaflsvirkjun, er kolanotkun en kolaígildi hennar er að sjálfsögðu hið sama. Rafgreining súrális felur því í sér eftirfarandi orkujöfnu:

$$13.500 \text{ kWh raforku} \rightarrow 38.475 \text{ kWh kolaorku}$$

4.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni

Orkujafnan fyrir framleiðslu tilbúins bensíns úr kolum og rafgreindu vetni lítur þannig út:

$$15.000 \text{ kWh raforku} + 12.000 \text{ kWh kolaorku} \\ \rightarrow 12.100 \text{ kWh olíuorku}$$

Ef við breytum öllum liðum í þessari jöfnu í kolaorku með áður-nefndum stuðlum fáum við:

42.750 kWh kolaorku + 12.000 kWh kolaorku

→ 30.250 kWh kolaorku

Segja má að þessi aðferð við framleiðslu bensíns hafi neikvætt orkujafnvægi.

4.3 Bensín úr svartolífu

Hér lítur orkujafnan út á eftirfarandi máta:

2.000 kWh raforku + 11.500 kWh hráolífuorku

→ 12.100 kWh olíuorku

Sé þessu breytt í kolaorku með viðeigandi stuðlum verður niðurstaðan þessi:

5.700 kWh kolaorku + 19.550 kWh kolaorku

→ 30.250 kWh kolaorku

Samkvæmt þessum útreikningum má líta svo á að vinnsla bensíns úr svartolífu hafi jákvætt orkujafnvægi. Þessari framleiðslu má líkja við varmadælu, sem notar raforku til að hækka hitastigið á mun meiri varma. Algeng margfeldisáhrif varmadælna eru 3-4-föld, þ.e. 1 kWh raforku nýtist til að breyta 3-4 kWh lágvarma í varma við herra hitastig. Við olíuhreinsunina eru notaðar 2.000 kWh raforku til að breyta 11.500 kWh efnaorku (svartolífu) í 12.100 kWh efnaorku (bensín) sem er hreinni og verðmeiri. Margfeldisáhrifin eru í þessu tilviki 6-föld.

5 Hagkvæmni

Erfitt er að bera saman hagkvæmni þess að framleiða ál með rafgreiningu, bensín úr kolum og rafgreindu vetni og bensín og aðrar elfuverur úr svartelfu en þó er rétt að gera tilraun til þess með þeim fyrirvara að kostnaðartölur eru allar nokkurri óvissu undirþrpnar.

5.1 Álframleiðsla

Stofnkostnaður álvers er á bilinu \$2-4.000 á tonn álframleiðslu. Sé reiknað með viðbót við álverið í Straumsvík er kostnaðurinn nær \$2.000 en sé reist nýtt álver nær \$4.000. Almennt gildir að stofnkostnaður nýs álvers er þeim mun meiri á framleiðslueiningu sem álverið er minna vegna hagkvæmni stærðarinnar. Í nýju álveri gæti stofnkostnaðurinn verið \$3.500 á tonn framleiðslu og raforkunotkunin 13.500 kWh á tonn framleiðslu. Lausleg áætlun um framleiðslukostnað áls í slíkri verksmiðju lítur þá þannig út:

Hráefni	\$	800
Raforka \$0,0175/kWh	\$	236
Stofnkostnaður og viðhald 14%	\$	490
Launakostnaður*	\$	200
		<hr/>
		\$1.726

Miðað við að fob verð á áli sé \$1575 á tonn er rekstrarhalli á þessu álveri \$151 á tonn eða um 9% af framleiðslukostnaði. Einnig má segja að álverið hafi \$339 upp í afskriftir og viðhald, eða 9,7% af stofnkostnaði.

Ef aftur á móti yrði ákveðið að stækka álverið í Straumsvík með stofnkostnaði sem næmi \$2.000 á tonn framleiðslu og 16.000 kWh raforkunotkun á sama tonn liti dæmið þannig út:

Hráefni	\$	800
Raforka \$0,0175/kWh	\$	280
Stofnkostnaður og viðhald 14%	\$	280
Launakostnaður**	\$	250
		<hr/>
		\$1.610

Miðað við sama fob verð og áður er rekstrarhalli \$35 á tonn (2,2% af framleiðslukostnaði) eða álverið hefur \$245 upp í afskriftir og viðhald (12,25% af stofnkostnaði).

*Reiknað er með launakostnaði \$25.000 á mann og 125 tonna framleiðslu á mann.

**Reiknað er með launakostnaði \$25.000 á mann og 100 tonna framleiðslu á mann.

5.2 Tilbúið bensín úr kolum og rafgreindu vetni

Enn meiri óvissa ríkir um stefnkostnað verksmiðju, er framleiðir bensín úr kolum og rafgreindu vetni, en álvers því að framleiðsla af þessu tagi er enn á tilraunastigi. Nýlega tókst þó að fá upplýsingar um áætlaðan stefnkostnað slíkrar verksmiðju á Nýja-Sjálandi. Samkvæmt þeim kostar verksmiðja, sem framleiðir 420.000 tonn af metanóli úr jarðgasi (sem er 60% metan og 40% koltvísýringur), \$150 milljónir en verksmiðja, sem framleiðir bensín úr 1.540.000 tönnum af metanóli, \$420 milljónir miðað við verðlag 1979. Ef kostnaður þessi er færður niður með veldisvísi $x=0,9$ samkvæmt förmúlunni:

$$\frac{\text{Stefnkostnaður A}}{\text{Stefnkostnaður B}} = \left(\frac{\text{Afköst A}}{\text{Afköst B}} \right)^x$$

Fæst út fyrir verksmiðju sem framleiðir 110.000 tonn af bensíni:

Metanólverksmiðja	\$100 milljónir
Bensínverksmiðja	\$ 86 milljónir
Samtals	<u>\$186 milljónir</u>

Veldisvísirinn 0,9 er sá stærsti sem hægt er að nota. Sé hins vegar notaður veldisvísirinn 0,6, eins og oftast er mælt með við áætlanir um olíuhreinsun, verður niðurstaðan:

Metanólverksmiðja	\$114 milljónir
Bensínverksmiðja	\$146 milljónir
Samtals	<u>\$260 milljónir</u>

Í framhaldinu verður lægri stefnkostnaðartalan notuð. Stefnekostnaðurinn er þá \$186 milljónir og ársframleiðsla 110.000 tonn af bensíni, þannig að stefnkostnaður á tonn framleiðslu er \$1.690. Áður hefur verið áætlað að stefnkostnaður rafgreina sé \$80 milljónir eða \$727 á tonn af bensíni. Samtals er því stefnkostnaðurinn um \$2.400 á tonn bensínframleiðslu. Lausleg rekstraráætlun lítur því þannig út:

Kol 1,57 tonn á \$60/tonn	\$ 94
Raforka 15.000 kWh á \$0,0175/kWh	\$262
Stefnkostnaður og viðhald 14%	\$336
Launakostnaður*	\$ 50
Samtals	<u>\$742</u>

Heimsmarkaðsverð á bensíni er nú \$360 á tonn þannig að nærri latur að hráefnið, kol og raforka kosti jafnmikið og afurðir efan-greindrar framleiðslu.

*Reiknað er með launakostnaði \$25.000 á mann og 500 tenna framleiðslu á mann.

5.3 Bensín úr svartölfu

Stofnkostnaður verksmiðju, sem þarf til að vinna bensín úr svartölfu, er óþekktur þar sem áætlun um að koma á fót verksmiðju af þessu tagi hefur aldrei verið gerð. Framleiðslu- aðferðin er samt vel þekkt og auðvelt yrði að fá nákvæma áætlun unna af sérfræðingum ef það þætti eskilegt. Það sem einkum veldur óvissu um stofnkostnaðinn er að ekki er ljóst hversu mikið geymslurými er nauðsynlegt í tengslum við verksmiðjuna til að geyma óunna svartölfu og hreinsaðar olíuafurðir. Einnig er ekki vitað hvaða tegund svartölfu ætti að nota og um hugsanlegan aukabúnað í verksmiðjunni fyrir utan rafgreina til að framleiða vetni og „hydrocracker“ til að framleiða bensín og gasölfu. Einnig er ekki ljóst hvort reikna eigi með útflutningi á unnum olíuvörum og þá samsvarandi stærri verksmiðju. Í eftirfarandi áætlun, sem byggir á bókinni „Petroleum Refining; Technology and Economics“, New York 1975, er reiknað með að unnið verði úr 600.000 tonnum af svartölfu árlega, eða 12.000 tunnum á dag. Til þess þarf að framleiða 24.000 tonn af vetni á ári og nota til þess 1.200 GWh raforku auk 63 GWh í verksmiðju. Samkvæmt töflu hér á eftir er heildarstofnkostnaður \$121 milljón. Taflan er gerð samkvæmt fyrirmælum í bókinni og er m.a. reiknað með 30% aukastofnkostnaði miðað við Mexíkóflóann vegna staðsetningar á Íslandi:

„Hydrocracker“	\$ 10,0	milljónir
Blöndunartæki	\$ 1,0	
Hreinsitæki	\$ 3,7	
Olíugeymar	\$ 16,8	
Gufukatlar	\$ 0,75	
Kælikerfi	\$ 0,125	
Alls	\$ 32,4	milljónir
	\$ 6,48	
Alls	\$ 38,88	milljónir
Land og annað 4%	\$ 1,56	
Alls	\$ 40,44	milljónir
Vegna staðsetningar 30%	\$ 12,13	
Alls	\$ 52,57	milljónir
Ófyrirséð 15%	\$ 7,89	
Alls	\$ 60,46	milljónir
Verðbreytingar 1973-80 100%	\$ 60,50	
Samtals	\$120,96	milljónir

Heildarþungi efnanna, sem notuð eru við framleiðsluna er 624.000 tonn. Heildarþungi afurðanna er sá sami en gert er ráð fyrir því að 24.000 tonnum sé brennt til eigin nota í verksmiðjunni en 600.000 tonn seld. Stofnkostnaður vetnisverksmiðjunnar er \$60 milljónir og heildarstofnkostnaður því \$181 milljón eða \$300 á tonn framleiðslu. Gróf kostnaðaðar- áætlun fyrir hvert tonn seldra afurða lítur þá þannig út:

Hráefni 1 tonn svartelía	\$180
Raferka 2,100 kWh á \$0,0175/kWh	\$ 37
Stofnkostnaður og viðhald 14%	\$ 42
Rekstur olíuhreinsunar 5% af \$200	\$ 10
Launakostnaður *	\$ 12,5
	<hr/>
Samtals	\$281,5

Reiknað er með að meðalverð afurða sé \$330 á tonn sem er varlega áætlað því að meirihluti framleiðslunnar yrði bensín sem að hluta yrði flutt út. Taflan hér á eftir sýnir verðskráningu á Rotterdammarkaði í júní 1980:

Háektan bensín	\$367,0/tonn
Venjulegt bensín	\$357,0/tonn
Þotuelsneyti	\$338,0/tonn
Gaselía	\$305,5/tonn
Svartelía	\$153,5/tonn

Samkvæmt þessum útreikningum er rekstur verksmíðju sem framleiðir bensín, gaselíu og þotuelsneyti úr svartelíu mjög hagkvæmur. Ágóði er verulegur og mun meiri en í öðrum stóridnaði sem um hefur verið rætt. Áður en lengra verður haldið er rétt að athuga þetta nánar og fá nákvæmari áætlun gerða af sérfróðum aðila. Í þessu sambandi er einkum mikilvægt að grennslast fyrir um gangverð vetnis í olíuönaðinum því að það gefur vísbendingu um þann virðisauka sem hægt er að ná með notkun vetnis til að bæta nýtni olíuhreinsunarstöðva. Í aðgerðarannsóknnum er svonefnd línuleg „programming“ oft notuð til að hámarka arð af rekstri olíuhreinsunarstöðva. Með þeirri aðferðarfræði fæst svokallað hulið verð (shadow price) hvers hráefnis í framleiðslunni. Ef þetta verð vetnis er \$1,500 eða meira er það eindregin vísbending um að hagkvæmt kunni að vera fyrir okkur Íslendinga að framleiða vetni með rafgreiningu og nota það til að breyta svartelíu í bensín og aðrar léttar olíuafurðir.

*Reiknað er með launakostnaði \$25.000 á starfsmann og 2.000 tónna framleiðslu á mann.

Viðauki: Olfuhreinsun

Olíuhreinsun

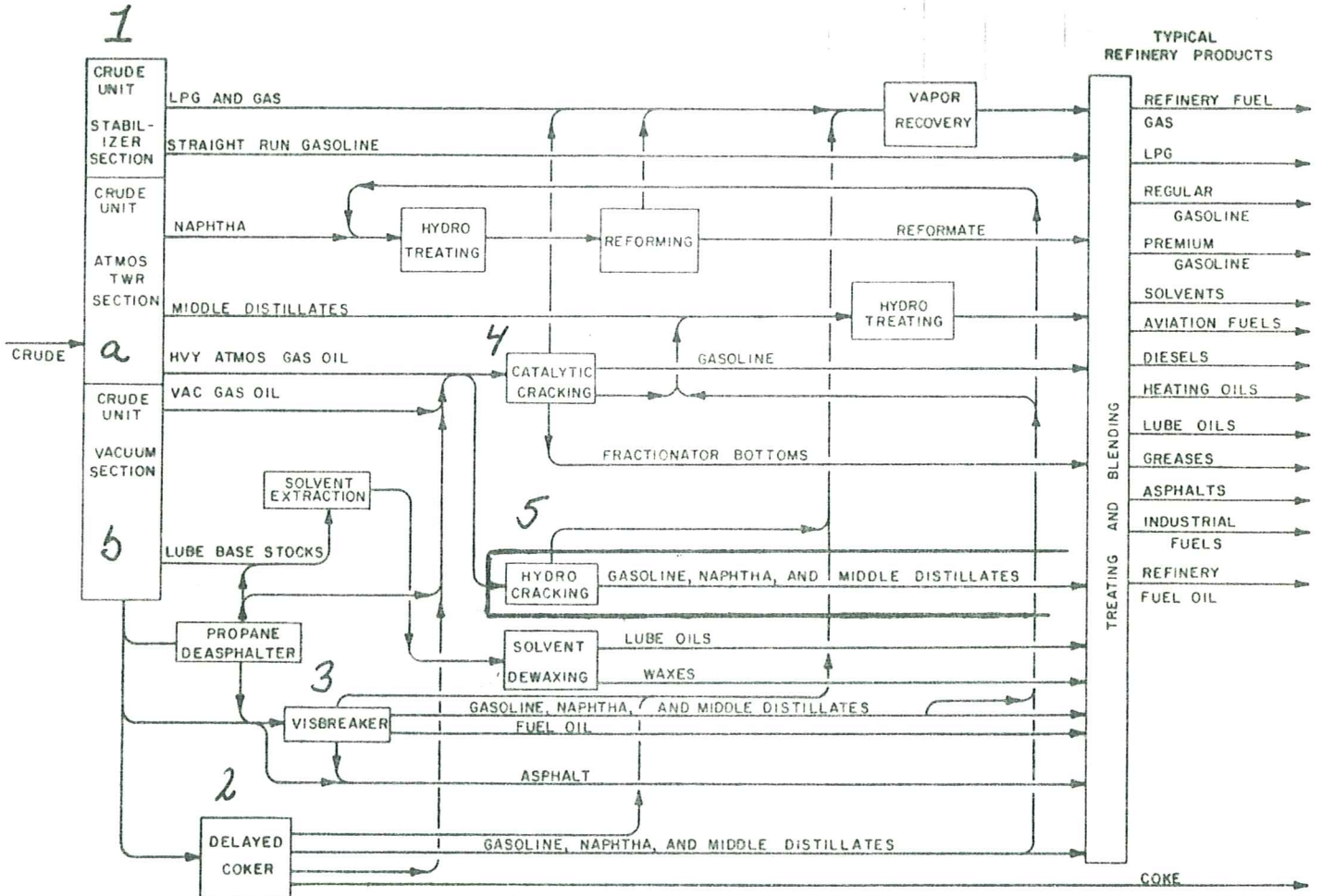
Framleiðsluferill í nýttísku olíuhreinsunarstöð er mjög margbrotinn og erfitt er að brjóta hann upp í sjálfstæðar einingar sem hægt er að lýsa í fáum orðum.

Í hráolíu eru hundruð efnasambanda. Margvísleg tækni er notuð í olíuhreinsunarstöðvum til að aðskilja þessi efnasambönd og fá þannig ótalmargar mismunandi afurðir en eiginleikar þeirra verða að uppfylla ákveðin eðlis- og efnafræðileg skilyrði. Í olíuhreinsunarstöð af fullri stærð er unnið úr 5-10 milljónum tonna af hráolíu árlega. Þessi mikla framleiðslugeta er nauðsynleg til að nýta að fullu hagkvæmni stærðarinnar. Hagkvæmnin kemur fram í betri orkunýtingu og minni rekstrarkeðnaði á hverja framleiðslueiningu.

Meðfylgjandi mynd, sem tekin er úr bókinni „Petroleum Refining; Technology and Economics“ og áður er minnst á, sýnir stærstu drættina í framleiðsluferli olíuhreinsunarstöðvar. Hráolían er hituð og eimuð í eimingarturni (1). Eimingarturninn skiptist í tvo hluta, fyrri hlutinn (a) vinnur við einnar loftþyngdar þrýsting en hinn síðari (b) við nærri lofttæmi. Í fyrri hlutanum eimast léttari olíuafurðir úr og þær er hægt að nota að miklu leyti beint til íblöndunar í bensín, gasolíu og þotueldsneyti. Afgangurinn er það sem nefnist „topped crude“ og er líklega það sama og selt er hér á landi sem „rússnesk“ svartolía. Þessi afgangur er eimaður við lítinn þrýsting og fæst þá þung gasolía, „vacuum gas oil“ og mjög þung svartolía. Ef síðari eimingin ætti að fara fram við einnar loftþyngdar þrýsting væri nauðsynlegt hitastig svo hátt að olían myndi sundrast í kolefni og létt kolvetni sem ekki er eins hentugt að nota í bensín og gasolíu og þungu gasolíuna. Þunga svartolían fer um einingar 2, „delayed coker“, og 3, „visbreaker“, og er síðan notuð ásamt þungu gasolíunni í einingum 4, „catalytic cracking“, og 5, „hydrocracking“, til að framleiða olíuafurðir sem nothæfar eru í bensín og svartolíu.

Eins og fram kemur á myndinni fer einungis líttill hluti olíunnar sem unnin er í olíuhreinsunarstöðinni, um hverja af einingum 2, 3, 4 og 5. Algengast er að um einingu 5, „hydrocracker“, fari aðeins sjötti hluti olíunnar. Þessi eining notar vetni til að breyta þungri gasolíu og svartolíu í bensín, gasolíu og þotueldsneyti. „Hydrocracker“, sem notar 24.000 tonn af vetni til að breyta 600.000 tönnum af rússneskri svartolíu eða þungri svartolíu í bensín, gasolíu og þotueldsneyti, væri því nánast af fullri stærð miðað við nýttísku olíuhreinsunarstöðvar þannig að hagkvæmni stærðarinnar ætti að nýtast að miklu leyti.

Flæðirit er sýnir framleiðsluferil olíuhreinsunarstöðvar



Refinery flow diagram

Viðauki: Rekstraráætlun

Lausleg rekstraráætlun fyrir „hydrocracker“ olíuhreinsunarstöð
árið 1987 á nágildandi verðlagi

Tekjur af sölu:

Bensín 112.000 tonn á \$360/tonn	\$40.320.000
Petueldsneyti 50.000 tonn á \$340/tonn	\$17.000.000
Gasölfa 189.000 tonn á \$310/tonn	\$58.590.000
Útflutt háektan bensín feb 249.000 tonn á \$340/tonn	\$84.660.000
Samtals	<u>\$200.570.000</u>

Rekstrarvörur:

Svartolífa 600.000 tonn á \$180/tonn	\$108.000.000
Raferka 1.263 GWh á \$0,0175/kWh	\$22.102.500
Ymislegt áætlað \$5/tonn	\$3.000.000
Rekstrarvörur alls	<u>÷ \$133.102.500</u>
Laun 300 starfsmanna \$25.000/ári	÷ \$7.500.000
Afskriftir \$180.000.000 á fimmtán árum	÷ \$12.000.000
Vextir af lánum 12% af \$150.000.000	÷ \$18.000.000
Rekstrarafgangur	<u><u>\$29.967.500</u></u>

Heimildir:

Petroleum Refining; Technology and Economics. James H. Gary and Glenn E. Handwerk. Marcel Dekker, Inc., New York 1975.

Energy in Transition. A report on energy policy and future options. Sekretariatet for future studies. Mans Lönnroth et al., Stockholm March 1977.

Energy, Volume 5, Number 4, April 1980.

Framleiðsla eldsneytis á Íslandi. Vinnuhépu um vetni og vetnis-sambönd. Orkustefnun, maí 1980.