

biliu

6

ORKUSTOFNUN
MÁLASAFN

569

GP

FUNGAVÆTNSVINNSLA

MEÐ HVERAGUFU.

Athugasir á gerð og kostnaði
D₂O verkmiðju er framleiddi
36 tonn/ári með H₂S/H₂O víxl
aðferðinni.

eftir

Ágúst Valfells

Kjarnfröðanefnd Íslands

Reykjavík

Ágúst 1959.

FUNGAVATNSVINNSLA

MEÐ HVERACUFU.

Athuganir á gerð og kostnaði
D₂O verksmiðju er framleiddi
36 tonn/ári með H₂S/H₂O víxl
aðferðinni.

eftir

Ágúst Valfélis

Kjarnfræðanefnd Íslands

Reykjavík

Ágúst 1959.

ÁGRIP

Í skýrslu þessari birtist yfirlit yfir áætlaða þungavatnsþörf Evrópu næstu 10-15 árin. Því næst er rætt um prócessa, er til greina koma við framleiðslu þungavatns. Virðist H_2S/H_2O ísótópa víxl prócessinn þeirra hagkvæmastur, ef notuð er hveragufa sem orkugjafi. Þó kann svo að fara, að $NH_3 - H_2$ víxl prócessinn reynist hagkvæmari, en um slíkt er ekki hægt að fullyrða að svo stöðu. Jafnvel þó svo reyndist er ólíklegt að hægt væri að fullnægja eftirspurn- inni eftir þungu vatni, nema að einhverju leyti með notkun $NH_3 - H_2$ víxl prócessins, þar eð hann verður einungis nýttur í sambandi við áburðarframleiðslu.

Þá er birt yfirlit yfir helztu breytingar, er gera þyrfti á olíukynntri þungavatnsverksmiðju (H_2S prócess- inn), ef notast ætti við hveragufu í staðinn. Byggt er á skýrslu brezku kjarnorkustofnunarinnar, er fjallar um gerð og kostnað olíukynntrar verksmiðju, er framleiðir 36 tonn D_2O á ári með H_2S prócessinum.

Framleiðslukostnaður yrði minnstur ef hitastig heitu turnanna væri $120^{\circ}C$ og enduvinnsla á varma 40%. Hag- kvæmasta kerfið til hreinsunar, á brennisteinsvetni úr úr- gangsvatninu í verksmiðju, er nýtt við hveragufu, yrði frá- brugðið samsvarandi kerfi í olíukynntri verksmiðju og yrði rafmagnsnotkunin 10% meiri í þeirri fyrrnefndu.

Helstu niðurstöður eru þær, að þungavatnsverksmiðja á Íslandi yrði allt að því samkeppnisfer við bandaríska verksmiðju byggða á sama tíma og vel samkeppnisfer við evróp- íska verksmiðju. Gufuhitinn við verksmiðjuna má fara a.m.k. niður í $130^{\circ}C$ áður en hann fer að hafa verulega neikvæð áhrif á framleiðslukostnaðinn.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
LÍNURIT OG MYNDIR	iv

KAFLI

I. INNGANGUR	1
II. GERÐ OG STARFSSKILYRÐI Í ÞUNGAVATNS- VERKSMÍÐJU, ER NOTAR HVERAGUFU	6
Starfsskilyrði Breytingar á gerð verksmiðjunnar Gufuhiti	
III. LAUSLEG KOSTNAÐARÁÆTLUN FYRIR VERK- SMÍÐJU Á ÍSLANDI	12
Stofnkostnaður Starfrækslukostnaður	
IV. NIÐURSTÖÐUR	16

LÍNURIT OG MYNDIR

LÍNURIT

Bls.

- I. Áætlað verð á þungu vatni sem
funktion af hitastigi heitra
turna og endurvinnslu varma 11
- II. Áætlað verð á þungu vatni sem
funktion af gengi og
vinnukostnaði 13

MYND

1. Efnarás í þungavatnsverksmiðju,
er notar hveraorku 9

I. INNGANGUR

Í skýrslu þessari birtist yfirlit yfir athuganir, er gerðar hafa verið á notkun hveragufu til þungavatns-
vinnslu með H_2S/H_2O ísótópa víxl aðferðinni. Byggt er á
skýrslu þeirri, er brezka kjarnorkustofnunin gaf út 1958.
Skýrsla sú (A.E.R.E. CE/R 2348) birtir útreikninga og
teikningu af þungavatnsverksmiðju, er notar H_2S aðferðina
og oliukynnta gufu sem orkugjafa.

Miðað er við verksmiðju, er framleiðir 36 tonn
á ári, vegna þess að slík verksmiðja notar stærstu turna,
sem eðlismátt er að smíða. Stærri verksmiðjur yrðu sam-
settar úr samsíða tengdum 36 tonna einingum, og kostnaður
þeirra yrði nokkurn veginn í réttu hlutfalli við eininga-
fjöldann.

Ef hveragufa er notuð verður að breyta verk-
smiðjunni nokkuð til að gufan nýtist á sem hagkvæmasta
hátt. Einnfremur verða breytingar á starfsakilyrðum verk-
smiðjunnar (operating conditions).

Hér eru birtar niðurstöður útreikninga, er gerðir
voru til að ákveða hvaða breytingar yrði að gera á olíu-
kynntri verksmiðju til að sem best hagnýting yrði á hvera-
gufunni. Þá er áætlaður stofnkostnaður slíkrar verksmiðju
svo og reksturskostnaður. Einnfremur er áætlað hve lágur
gufuhitinn má vera, en það er háð vegalengdinni, sem þarf
að leiða gufunna.

Þungt vatn er, sem kunnugt er, einn af bestu móderatorum, sem völ er á í kjarnorkureaktora. Það sem aðallega hefur háð notkun þess og ýtt undir notkun annara móderatora er hversu dýrt er að vinna það úr venjulegu vatni.

Frank (1) hefur nýlega gert athugun á líklegri þungavatnspörf Evrópu í náinni framtíð. Hann álitur, að ef kjarnorkuáætlun Evrópulandanna stenzt, muni verða þörf fyrir e.a. 500-700 tonn D_2O á ári fyrir Vestur-Evrópu (O.E.E.C.) eina saman eftir 1965.

Fram til 1965 mun framleiðsla U.S.A. líklega nægja til að fullnægja eftirspurninni.

Nokkra faktora verður að taka til greina, sem getu ef til vill dregið úr eftirspurninni eftir þungu vatni. Hinn fyrsti er sá, að takist að hagnýta fusion reaktionina sem orkugjafa á hægkvæmari hátt en fission, þá er líklegt, að eftirspurnin eftir þungu vatni minnki, jafnvel þótt þungt vatni verði notað í slíka reaktora. Þetta er vegna þess, að tiltölulega litlu D_2 mundi vera „brennt“ í slíkum reaktor, svo og mundi þrýstingurinn í reaktornum að öllum líkindum vera mjög lágur ($<10^{-5}$ atm) og því lítið magn af D_2 notað sem hleðsla, jafnvel á stóra reaktora.

Annað atriði er það, að ef þróun fission reaktora á eftir að verða sú, að reaktorarnir verði gerðir fyrir hærri og hærri hitastig, til þess að ná betri nýtni, mundi það heldur vega á móti notkun þungs vatns sem móderators, því aðalannmarki þess er einmitt sá hve gufuþrýstingur þess vex með auknu hitastigi, er aftur hefur aukinn reaktorkostnað í för með sér.

Sérstaklega mundi þessa gæta, ef að thermoelektrískar aðferðir við framleiðslu rafmagns reyndust hagkvæmari en þær, sem nú eru notaðar (gufa-túrbína-rafall).

Viðvíkjandi fyrra atriðinu er það ólíklegt, að fusion reaktorar verði skoðar keppinautar fission reaktora innan næstu 15-20 ára. Mögulegt er þó, að farið verði að framleiða orku með neðanjarðar vetnissprengingum (Project Flowshare), en þessi aðferð mundi líklega auka enn eftirspurn eftir þungu vetni.

Hvað viðkemur seinna atriðinu virðist líklegt, að þróunin gangi í þá átt að reka reaktora við sem hæst hitastig. Hinsvegar gæti verið, að það borgaði sig að fórnar að nokkru leyti nýtninni fyrir það að geta haft minni reaktor en ella með því að nota D_2O í stað einhvers lélegri modera-tors, ef nota mætti við hærri hitastig.

Ólíklegt virðist þó, að þessir tveir faktorar hafi veruleg áhrif á þungavatnsmarkaðinn næstu 10-20 árin og virðist mega gera ráð fyrir ca 500 tonna ársþörf á Evrópumarkaði eftir 1965 a.m.k. fram til 1975.

Næst er að athuga hvaða prócessar aðrir en H_2S prócessinn gætu komið til greina við framleiðslu þungavatns. Irir prócessar koma helst til greina: a) Eiming fljótandi vetnis, b) Becker prócessinn ($H_2 + H_2O$ ísótópa víxl) og c) $NH_3 + H_2$ víxl + eiming á ammoníaki.

Allir hafa þessir prócessar það sameiginlegt, að þeir verða aðeins reknir í sambandi við vetnisframleiðslu og þá einnig framleiðslu köfnunarefnisáburðar. Samkvæmt áætluðum kostnaðartölum Franks (1) verða tveir þeir fyrrnefndu ekki samkeppnisförrir við H_2S prócessinn, þegar notuð er við hann

hveragufa. Hinsvegar hafa komið fram áætlanir um að $\text{NH}_3\text{-H}_2$ víxl prócessinn ætti að vera samkeppnishæfur við H_2S prócessinn, jafnvel með hveragufu (2). Hinsvegar eru þessar áætlanir (Construction John Brown firmað) enn mjög á byrjunarstigi og því mjög óáreiðanlegar.

Gera má ráð fyrir, að ef köfnunarefnisáburðarframleiðsla Vestur-Evrópu eykst að sama skapi og hún hefur gert undanfarið (3), verði hún komin upp í 6 mill. tonn N_2 árið 1965, en sé þungavetnið nýtt fyllilega (með 70% nýtni, sem staðhæft hefur verið að CJB prócessinn geti gert) úr samsvarandi vetnis-magni (gert er ráð fyrir, að áburðurinn sé NH_4NO_3), yrði það sem svarar 860 tonnum/ár af D_2O . Hinsvegar er ólíklegt, að það borgaði sig að setja á stöfn parasítískar þungavatnsverksmiðjur í sambandi við köfnunarefnisáburðarframleiðslu, nema áburðarverksmiðjurnar séu allstórar, jafnvel þótt CJB prócessinn reyndist samkeppnisfær við H_2S prócessinn. Ekki er hægt að nota lágþrýstigufu við CJB prócessinn.

Í stuttu máli: Ef kjarnorkuáætlun Vestur-Evrópu verður framkvæmd eins og nú er gert ráð fyrir, er líklegt að þörf verði fyrir ca 500-700 tonn af þungavetni árlega frá 1965 a.m.k. til ársins 1975 og líklega lengur. Það geti farið svo, að þungavatnsreaktorar mundu smátt og smátt víkja fyrir öðrum tegundum reaktora, sérstaklega ef thermoelektriskar aðferðir við framleiðslu rafmagns reynast mjög hagkvæmar. Þetta yrði þó varla innan 10-15 ára.

Líklegt er, að H_2S prócessinn haldi áfram að vera sá hagkvæmasti við framleiðslu þungs vatns og líklega sá eini, sem hagkvæmt væri að nota við sjálfstöðvar þungavatnsverksmiðjur. Hinsvegar geti verið, að CJB prócessinn, rekinn

sem parasítískur prócess við áburðarverksmiðju mundi gefa þungt vatn ódýrara en það, sem framleitt væri með H_2S aðferðinni, en líklega yrði ekki nóg af áburðarframleiðslunni í Vestur-Evrópu nýtt til að fullnægja árlegri eftirspurn.

Eins og sákir standa núna virðist sem eftirspurnin eftir þungu vatni ætli að verða sú, sem hér að ofan greinir og enn fremur að H_2S aðferðin verði sú hagkvæmasta við framleiðslu þess. Samkvæmt kostnaðaráætlunum, sem gerðar hafa verið í Evrópu yrði kostnaður D_2O framleiddu þar með olíukyntri gufu, £ 95/kg. Bandaríska verðið er nú £ 62/kg, en verksmiðjur Bandaríkjanna voru reistar um 1950. Síðan hefur kostnaður við uppsetningu elnaverksmiðja rísið svo að búast má við, að þungt vatn framleitt í bandarískri verksmiðju, er reist yrði núna, mundi verða £ 72/kg.

II. GERÐ OG STARFSSKILYRÐI PUNGA-
VATNSVERKSMÍÐJU, ER
NOTAR HVERAGUFU.

Starfsskilyrði

Margföldun í fyrsta þrepi.-- Hagkvæmt er að hafa margföldun-
ina að minnsta kosti það mikla, að ekki þurfi fleiri en tvö
þrep í verksmiðjuna.

Til þess þarf minnst fjórföldun í fyrsta þrepi.
Ef margföldunin í fyrsta þrepi er hinsvegar mjög stór verður
samanlagt rúmmál turna miklu stærra en hagkvæmt er. Sama
máli gegnir með orkuneyzlu. Í Savannah river verksmiðjunni
er notuð fjórföldun í fyrsta þrepi og 250-földun í öðru
þrepi. Í A.E.R.E. CE/R 2348 er hinsvegar gert ráð fyrir 20-
földun í fyrsta þrepi og 50-földun í öðru. Tiltölulega litlu
munar hvor hátturinn er hafður á, en úr því að komið er upp
fyrir 20-földun byrjar kostnaður fyrsta þreps að aukast mikið
fram yfir það, sem hann er við 4-földun. Mun miðað við 20-
földun í þessari skýrslu.

Þrýstingur.-- Heppilegast er að hafa þrýstinginn sem mestan,
þar eð það þýðir mjórri turna en ella. Þó má þrýstingurinn
ekki fara upp fyrir 20 atm., því þá myndast fast hexahýdrat
af brennisteinsvetninu í kalda turninum.

Nálgun við jafnvægisstöður.-- Þessi faktor mundi verða sá
sami í olíukynntri verksmiðju og þeirri, er notar hveragufu.

Í breyktu skýrslunni er gert ráð fyrir 98% nálgun við jafnvægisástandur (approach to equilibrium conditions) og mun það einnig gert hér.

Hitastig kalda turnsins.— Best er að hafa hitastig kalda turnsins eins lágt og hægt er, en hérna setur hydrátmyndunin aftur stólinn fyrir dyrnar. Við 20 atm. þrýsting má ekki fara lengra niður en 30°C. Að vísu mætti hafa hann kaldari við lægri þrýsting, en það borgar sig ekki þar eð þá þyrfti gildari turna.

Hitastig heita turnsins.— Þessi faktor er háður gufukostnaðinum. Í verksmiðju, er notaði hveragufu (á 2 shillinga/tonn) mundi hagkvæmast hitastig heita turnsins vera 120°C í stað 130°C í olíukynntri verksmiðju.

Breytingar á gerð verksmiðjunnar.

Vegna þess hve hveragufa er miklu ódýrari en olíukynnt gufa borgar sig að hafa minni endurvinnsla á varma í þeirri fyrrnefndu. Þar af leiðir færri hitaskipta og minni stofnkostnað (með tilliti til hitaskipta) en aukna gufunotkun.

Í verksmiðju, er notar hveragufu borgar 40% endurvinnsla á varma sig best. Hagkvæmast er að nota „einfalt“ mettunarkerfi, þ.e. þannig kerfi, að hvergi eigi sér stað efnisflutningur inn á eða út af afmettaranum eða mettaranum, nema við endana á tekjunum (sjá skýrslu höfundar frá sept.1958 K.N.I). Fyrir 36 tonn/ár D₂O verksmiðju samsvarar þetta gufunotkun um 72 tonn/klst (mettuð við 150°C). (Sjá línurit 1).

Ekki er hægt að setja hveragufuna beint inn á prócesskerrið, heldur verður að nota varmann úr henni með því að láta hana hita eða sjóða vatn.

Stungið hefur verið upp á hvort nota mætti heitt vatn undir þrýstingi í stað gufu til að auka hitastigsmuninn milli strauna í hitaskiptunum, þar sem varminn er tekinn inn í verksmiðjuna og þar af leiðandi minnka kostnað þeirra (7). Þetta mun þó ekki borga sig, þar eð kostnaður á háþrýstikerfi og dolum yrði meiri en samsvarandi sparnaður á hitaskiptum.

Vegna þess hve gufuhitinn er lágur er ekki hægt að hreinsa brennisteinsvetnið úr úrgangsvatninu við meiri þrýsting en 2 atm. Athugað var hvort ekki myndi borga sig að framleiða olíukynnta gufu til að hreinsa vatnið við 20 atm. en svo reyndist ekki. Þar eð vatnið er hreinsað við 2 atm. verður að dala brennisteinsvetninu, sem hreinsað er úr því aftur upp í 20 atm. Þetta krefst 423 hestafla í dæluafli, og er áætluð viðbót við stofnkostnað, sem af þessu leiðir á 112.000. Dæluaflið mundi auka rafmagnsbörf verksmiðjunnar um 10.5% fram yfir börf olíukynntrar verksmiðju.

Vegna einfaldara hitaskiptakerfis í hveragufuverksmiðju verður nettó takjasparnaður ca. á 100.000, þrátt fyrir dýrara hreinsunarkerfi. Ennfremur yrði vatnshreinsunarkerfi eitthvað ódýrara í verksmiðju staðsettri á Íslandi, heldur en í Evrópu. Möguleg efnarás fyrir slíka verksmiðju er sýnd á mynd 1.

Gufuhiti

Eins og áður segir mundi hagkvæmasta hitastig heitra

- B/E1 HYDROGEN SULFIDE VAPORISER
- B/E2 H₂S RECOVERY CONDENSER
- C/E1 HEAT RECOVERY EXCHANGER (HIGH TEMPERATURE)
- C/E2 HEAT RECOVERY EXCHANGER (LOW TEMPERATURE)
- C/E3 DEHUMIDIFIER FINLCOOL
- C/E4 DEHUMIDIFIER FINLCOOL
- C/E5 STAGE 1 HOT TOWER FEED PREHEATER
- D/E1 STAGE 2 HOT TOWER FEED PREHEATER
- D/E2 STAGE 2 HOT TOWER FEED PREHEATER
- D/E3 STAGE 2 H₂S STRIPPER REBOILER
- D/E4 STAGE 2 PRODUCT COOLER

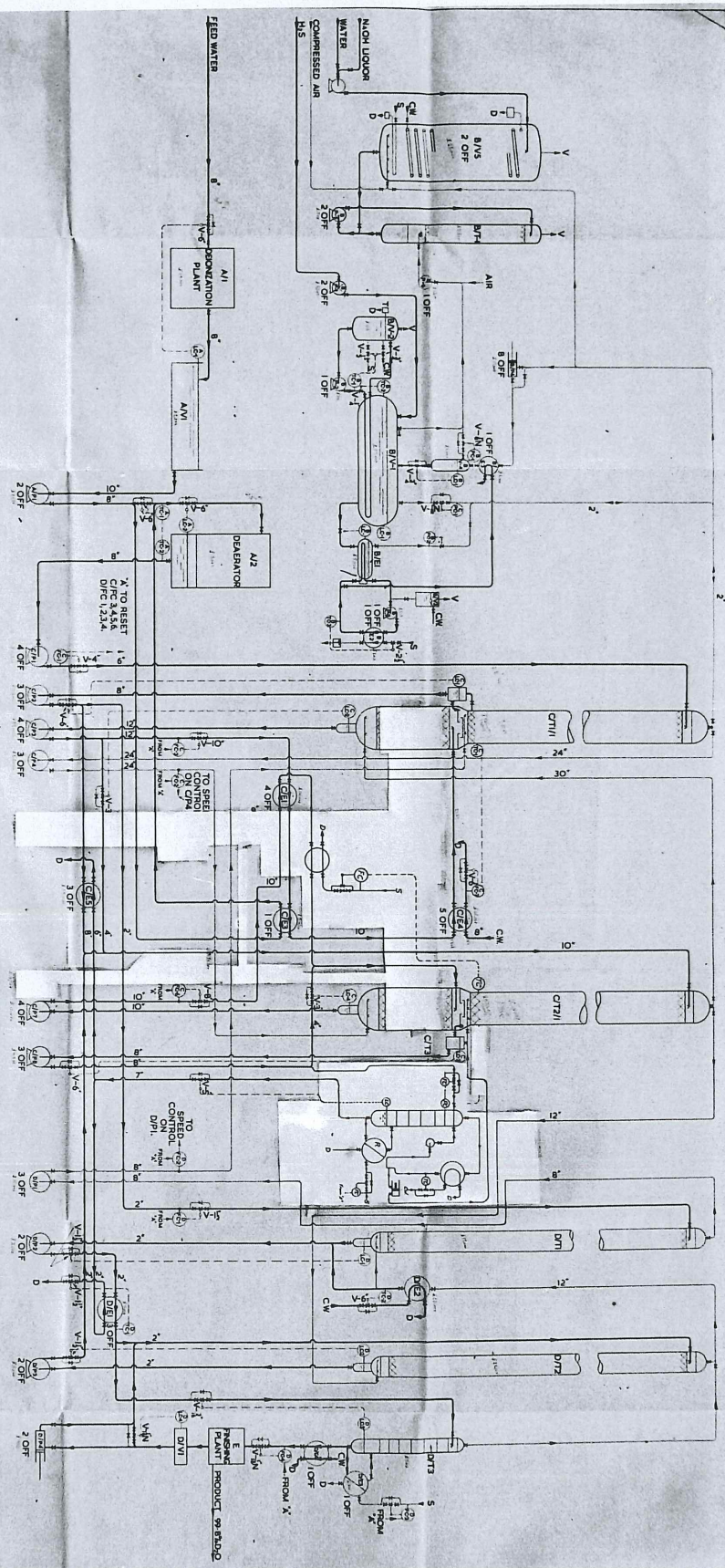
- A/P1 DEAERATOR FEED PUMP
- B/P1 LIQUID H₂S PULPING PUMP (H₂S TANKS)
- B/P2 WATER CIRCULATING PUMP (H₂S VAPORISER)
- B/P3 H₂S COMPRESSOR
- B/P4 AIR BLOWER
- C/P1 STAGE 1 COLD TOWER FEED PUMP
- C/P2 DEHUMIDIFIER CIRCULATING PUMP (N#1)
- C/P3 STAGE 1 HOT TOWER FEED PUMP
- C/P4 DEHUMIDIFIER CIRCULATING PUMP (N#2)
- C/P5 DEHUMIDIFIER CIRCULATING PUMP (N#2)
- C/P6 HUMIDIFIER CIRCULATING PUMP (N#1)

- C/D7 HUMIDIFIER CIRCULATING PUMP (N#2)
- C/D8 STAGE 1 WASTE STRIPPER FEED PUMP
- D/P1 STAGE 2 GAS CIRCULATOR
- D/P2 STAGE 2 HOT TOWER FEED PUMP
- D/P3 STAGE 2 RESOLVE PUMP
- D/P4 FINISHING PLANT FEED PUMP
- B/T1 CAUSTIC SODA SCRUBBER
- C/T1 STAGE 1 COLD TOWER AND DEHUMIDIFIER
- C/T2 STAGE 2 STRIPPER
- D/T1 STAGE 2 COLD TOWER
- D/T2 STAGE 2 HOT TOWER
- D/T3 STAGE 2 H₂S STRIPPER

- A/V1 DEIONIZATION PLANT SURGE TANK
- B/V1 H₂S STORAGE TANKS
- B/V2 HOT WATER MIXING TANK (H₂S TANKS)
- B/V3 WATER HEAD TANK (H₂S VAPORISER)
- B/V4 SURGE TANK (H₂S RECOVERY)
- B/V5 CAUSTIC SODA STORAGE TANK
- A/I DEIONIZATION PLANT COMPLETE
- A/2 DEAERATOR COMPLETE

- DESIGNATIONS
- E/ HEAT EXCHANGER
- P/ PUMP OR CIRCULATOR
- D/ STAGE 2 EXCHANGE
- N/ VESSEL
- V/ FINISHING PLANT

A.E.R.C. 61R2348. FIG. 9. LINE DIAGRAM OF 36 TON/YEAR HEAVY WATER PLANT. H₂S-H₂O EXCHANGE PROCESS.



Кыргыз Республикасынын Энергетикасынын
 Кыргыз Республикасынын Энергетикасынын

turna vera um 120°C . Þetta þýðir, að gufuhitinn má ekki fara niður fyrir $125\text{--}130^{\circ}\text{C}$ við verksmiðjuna. Að vísu má lækka hitastig heitu turnanna, ef gufan fast aðeins við lægra hitastig, en þá rís stofnkostnaður verksmiðjunnar og þar með verð per kg. af framleiddu þungu vatni. Línurit I sýnir hvernig áætlað er, að verð á þungu vatni breytist með gufuhita (t_g) og hitastigi heitu turnanna (t_n).

Gufuhiti við verksmiðjuna fer eftir tvennu: a) Gufuhita við holu og b) Hversu langt þarf að leiða gufuna.

Sá faktor, sem takmarkar hversu langt má leiða gufuna er fyrst og fremst þrýstingsfallið, er verður í leiðslunni. Við verksmiðjuenda leiðslunnar má gufuþrýstingurinn ekki vera lægri en svo, að gufan þéttist við hitastig, sem er herra en hitastig heitu turnanna. Gufuverðið er vitanlega háð vegalengd leiðslunnar. Gufuverðið hefur svo aftur áhrif á gerð og starfsskilyrði verksmiðjunnar. Í gufuverðinu, sem hér er notað (2 sh per tonn), er miðað við að leiða þurfi gufuna nokkra km. Frá teknisku sjónarmiði má leiða hana allt að 30 km, en slíkt mundi verða mjög dýrt.

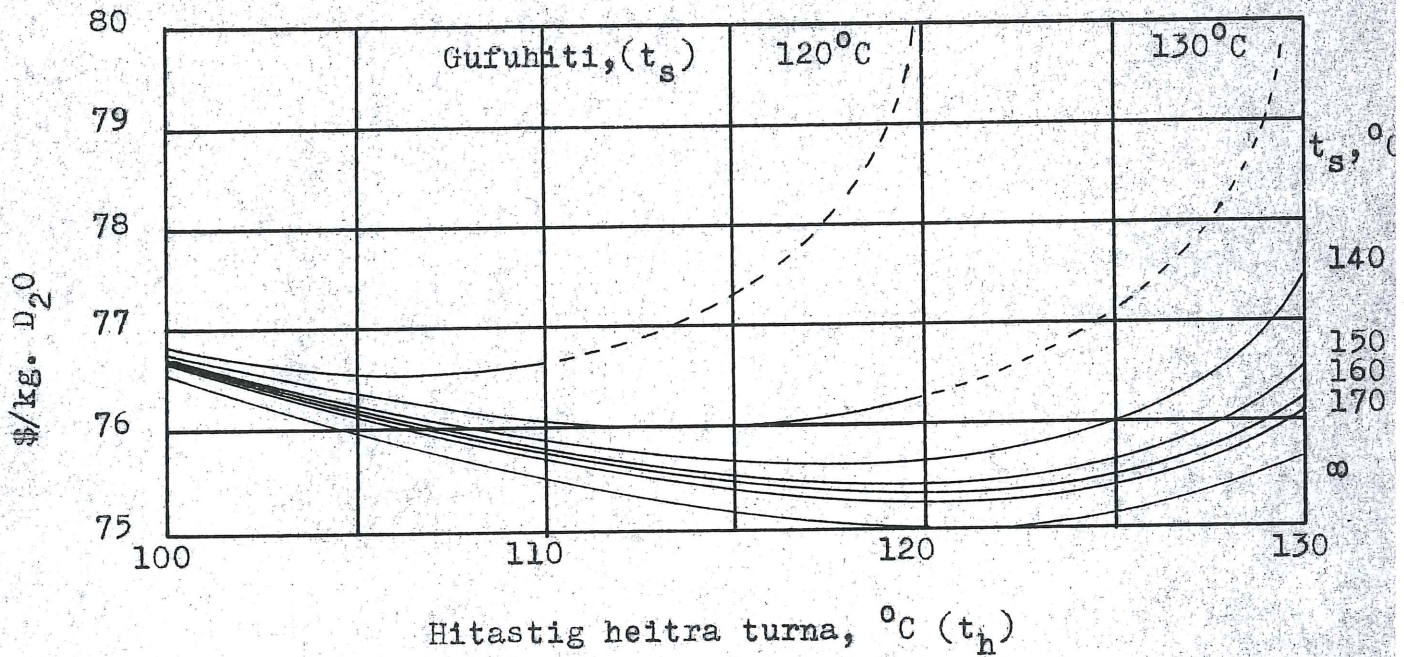
Ef leiða þyrfti gufuna það langt, að þrýstingurinn við verksmiðjuna yrði of lágur mætti komprímara hana, en þá ykist kostnaður hennar enn.

Þar sem stofnkostnaður verksmiðju á Íslandi og í Evrópu yrði nokkuð líkur (fyrir líkt hitastig heitra turna) mætti gufukostnaðurinn við íslenska verksmiðju nálgast gufukostnaðinn við evrópska verksmiðju (ca. 19 sh/tonn) áður en íslenska verksmiðjan hætti að vera samkeppnisfer. Hins vegar yrði íslenska verksmiðjan ekki samkeppnisfer við bandaríska verksmiðju byggða 1960, nema að gufan fengist fyrir ca. 2 sh/tonn.

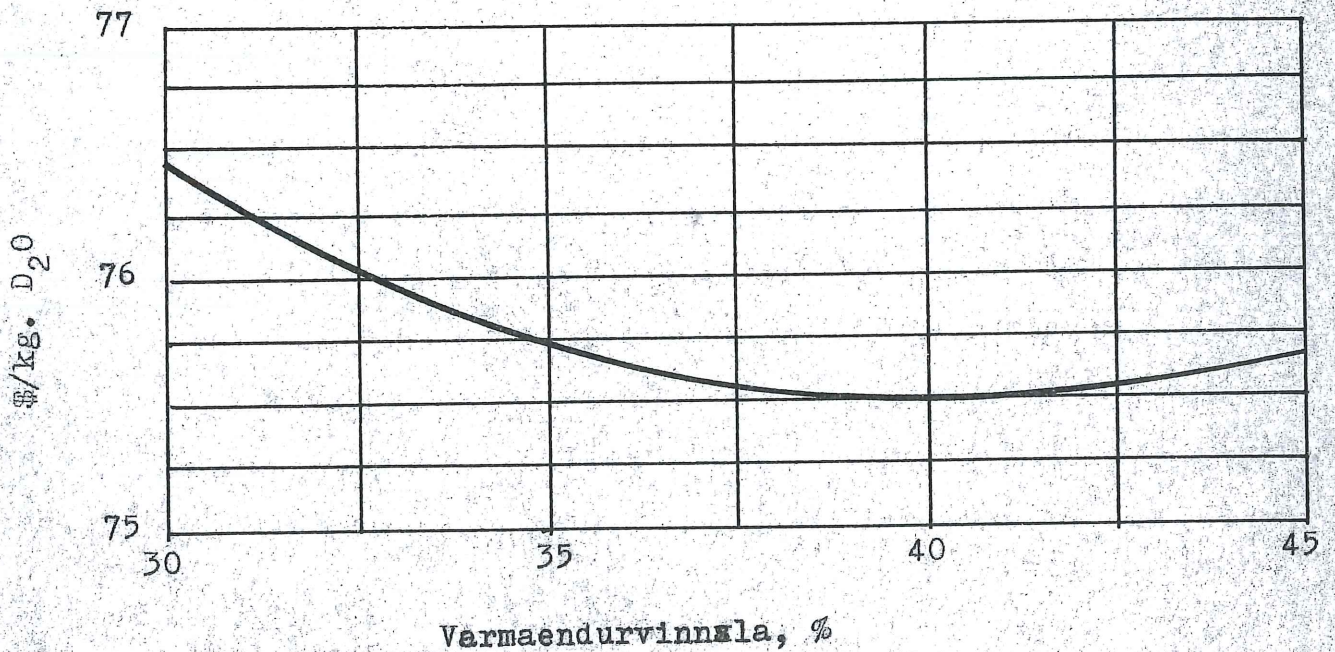
LÍNURIT I.

Aætlað verð á þungu vatni sem
funktion af hitastigi heitra
turna og endurvinnslu varma.

a) $\$/\text{kg } D_2O$ vs. t_h .



b) $\$/\text{kg } D_2O$ vs. varmaendurvinnsla.



III. LAUSLEG KOSTNADARÁÆTLUN FYRIR
VERKSMÍÐJU Á ÍSLANDI.

Stofnkostnaður

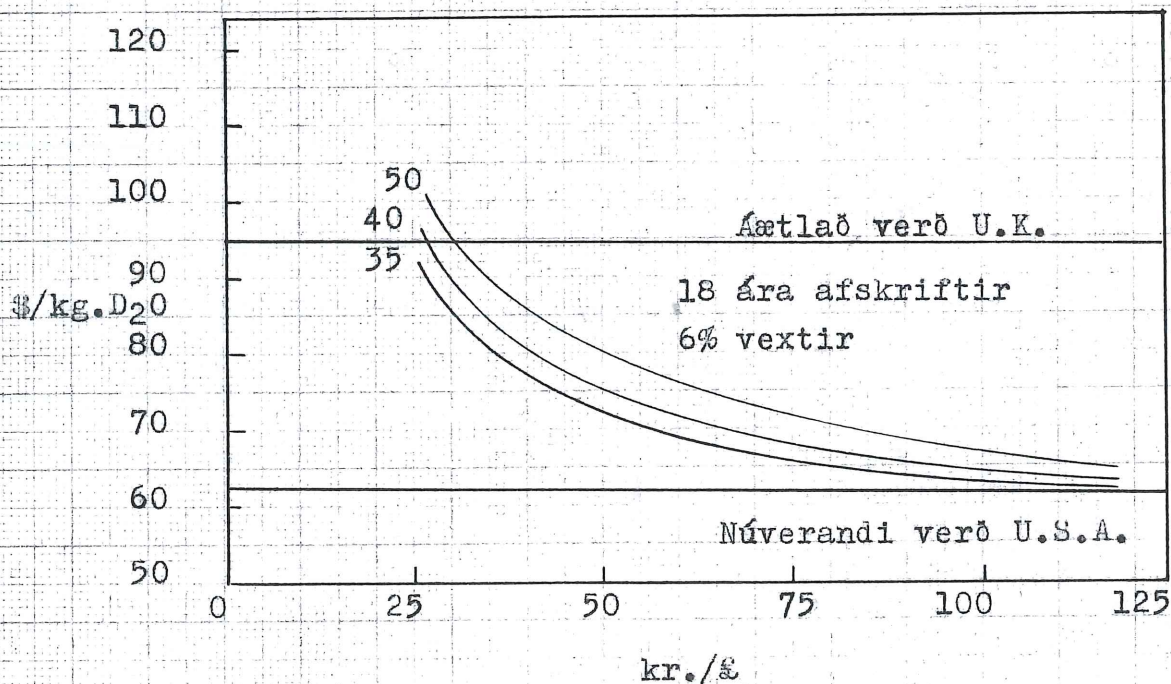
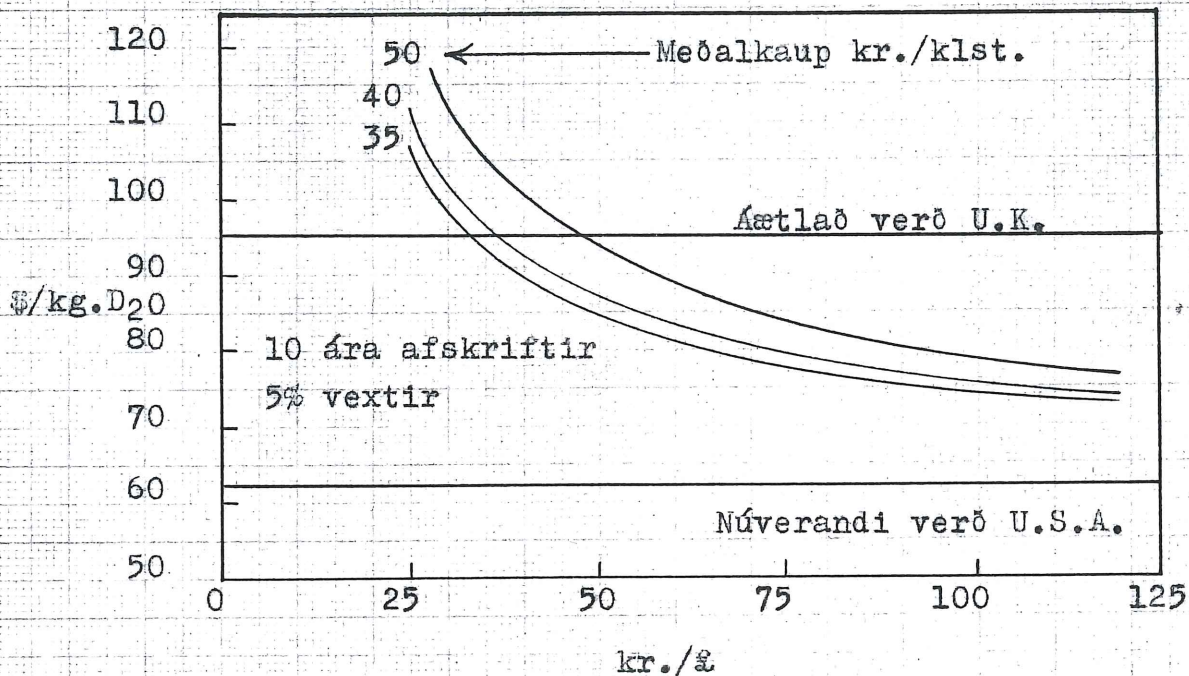
Hitaskiptakerfi.-- Vegna einfaldara hitaskiptakerfis (þar eð endurvinnsla á varma má vera minni) mundu hitaskiptar í 36 tonn/ár D₂O verksmíðju kosta ca. á 200.000 minna, ef notast væri við hveragufu en ef olíukynnt gufa væri notuð.

Hreinsun á úrgangsvatni.-- Vegna þess hve gufuhitinn er miklu minni yrði kerfið til hreinsunar á brennisteinsvetninu úr úrgangsvatninu ca. á 100.000 dýrara en ella í verksmíðju þar sem hveragufa er notuð.

Vinna.-- Í Evrópu er áætlað, að vinnukostnaður sé ca. 18-22% af tækjakostnaði. Hver vinnukostnaður yrði hérna í £/vinnustund færi eftir gengi íslensku krónunnar svo og meðalkaupi í kr/klst við verksmíðjuna. Samkvæmt upplýsingum frá Áburðarverksmíðjunni er vinnukostnaður á Íslandi, eins og er, mjög álíka og í Evrópu. Línurit II sýnir hvernig lokaverð þungavatnsins er háð vinnukostnaði og gengi bæði við uppsetningu og starfsakslu. Ef áætlað er, að vinna við verksmíðjuna yrði álíka dýr hér og í Evrópu verður lausleg áætlun um stofnkostnað eins og hér fer á eftir. Allar tölur eru teknar úr OEEC SCC/2, nema þær sem breyttar eru að því er ofan greinir.

LÍNURIT II.

Áætlað verð á þungu vatni sem
funktion af gengi og vinnu-
kostnaði.



Tekjakostnaður	£ 2.969.000
- Tekjasparnaður með notkun hveragufu	- 100.000
	<hr/> 2.869.000
+ 9% innflutningskostnaður	258.000
	<hr/> 3.127.000
Vinnukostnaður	655.000
	<hr/> 3.782.000
Samanlagður kostnaður vinnu og tekja:	3.782.000
+ Verkfæðistörf 10%	378.200
	<hr/> 4.160.200
+ Ófyrirséð 10%	416.020
	<hr/> 4.576.220

Stofnkostnaður á hvert tonn á ári = $\frac{4.576.220}{36} = \text{£ } 127.000$

Starfrækslukostnaður

Fau atriði, sem breytast við notkun hveragufu eru: a) Gufukostnaður, b) Rafmagnskostnaður.

a) Kostnaður hveragufu er áætlaður 2/tonn (mettuð við 150°C). Verksmiðjan notar 72 tonn/klst. Þar af leiðandi er árskostnaður gufu:

$$\begin{aligned}\text{£/ári} &= (\text{tonn/klst})(\text{£/tonn})(\text{klst/ári}) \\ &= 72 \times 0.1 \times 8760 = 64.000\end{aligned}$$

$$\text{£/tonn } D_2O = \frac{64.000}{36} = 1780 \text{ £/tonn } D_2O$$

Við olíukynnta verksmiðju er gufukostnaður áætlaður 8.502 £/tonn D_2O . Mismunurinn er því $8.502 - 1.780 = 6,722$ £/tonn.

b) Í brezku skýrslunni er gert ráð fyrir 3.042 £/tonn D₂O í rafmagnskostnað. Á Íslandi er einingarverð rafmagns sem stendur 0.6 d./kWh (7 mill/kWh) vs. 1 d./kWh í Bretlandi. Rafmagnsnotkun yrði 12% meiri í verksmiðju, er nýtti hveragufu. Því yrði verðið per tonn D₂O:

$$\text{£/tonn} = 1.12 \times 0.6 \times 3.042 = 2.045 \text{ £/tonn.}$$

Munurinn yrði því 3.042 - 2.045 = 988 £/tonn.

Samanlagður sparnaður á rafmagn og gufu yrði 6722 + 988 = 7.710 £/tonn D₂O.

Ef kælivatnskostnaður er áætlaður álíka hér og í Bretlandi lækkar áætlaður kostnaður á gufu rafmagn og kælivatni um 7.710 £/tonn D₂O.

A.E.R.E. CE/R 2348 áttlar samanlagðan kostnað þessara þriggja atriða 12.002 £/tonn D₂O. Því mátti reikna kostnaðinn við verksmiðju, er nýtti hveragufu 12.002 - 7710 = 4292 £/tonn.

Áðrir kostnaðarliðir yrðu eins og þeir eru áætlaðir í OEEC SCC/2 og yrði starfrækslukostnaður í aðalatriðum svona:

	£/tonn D ₂ O
Hráefni	1.538
Gufa, rafmagn og kælivatn	4.292
Vinna og viðhald	4.451
	<hr/>
	10.281
+ Overhead	769
	<hr/>
	11.050

IV. NIÐURSTÖÐUR

Ef reiknað er með afskriftum til 10 ára (8%) og 5% rentum á stofnfé eins og gert er í A.E.R.E. CE/R 2348 verður árlegur kostnaður á stofnfé 13%. Heildarkostnaður per tonn D_2O verður því $127.000 \times 0.13 + 11.050 = 27.550$ £/tonn. Þetta samsvarar $\$ 75.50$ kg D_2O sankvæmt núverandi gengi. A.E.R.E. CE/R 2348 gerir hinsvegar ráð fyrir að lokakostnaður yrði $\$ 95$ /kg D_2O . Eins og áður er getið er ólíklegt, að bandarísk verksmíða, sem veri byggð núna, gæti framleitt þungt vatn fyrir minna en $\$ 72$ /kg.

Því má búast við að verksmíða, er notaði hveragufu yrði svo til samkeppnisfær við bandaríska og vel samkeppnisfær við evrópska verksmíðu.

Lokaniðurstöður verða því þessar:

1) Líklegt er að þungavatnspörf Evrópu verði 500-700 tonn á ári eftir 1965 (sbr. Frank), nema því aðeins að aðrar reaktorategundir eigi eftir að reynast hagkvæmari en reaktorar moderabir með þungu vatni.

2) Líklegt er að H_2S prócessinn verði sá prócess, sem best borgar sig að nota. Þó getur verið, að hagkvæmt yrði að nota CJB prócessinn í sambandi við nokkrar helstu áburðarverksmíður Evrópu. Það er ólíklegt, að jafnvel þó svo reyndist myndi nóg af vetnisframleiðslunni verða ha₂-nýtt til að fullnægja eftirspurninni á þungu vatni. Hinsvegar kynni aukið framboð að geta lækkað verðið, ef til vill niður fyrir $\$ 75$ /kg.

3) Ef H_2S prócessinn reynist sá er best borgar sig, bendir allt til þess, að verksmiðja er nýtti varma úr hveragufu yrði næstum samkeppnisfer (á $\$ 75/kg$) við bandaríska olíukynnta verksmiðju ($\$ 72/kg$), byggða samtímis og vel samkeppnisfer við evrópíska verksmiðju ($\$ 95/kg$).

4) Heppilegasta hitastig heitra turna í slíkri verksmiðju yrði $120^{\circ}C$, ef miðað er við gufu, er kostar 2 sh./tonn. Hagkvemasta endurvinnsla á varma yrði 40%.

5) Gufuhitinn við verksmiðjuna má fara allt niður í $125-130^{\circ}C$ áður en hann fer að hafa neikvæð áhrif á starfrækslu og stofnkostnað verksmiðjunnar. Að vísu mætti lækka hitastig heitu turnanna niður í allt að $110^{\circ}C$ eða jafnvel nokkuð neðar, ef gufan fengist ekki heitari en t.d. $120^{\circ}C$, en slíkt mundi auka stofnkostnað verksmiðjunnar allverulega.

6) Vegalengdin, sem leiða má gufuna, takmarkast fyrst og fremst af því þrýstingsfalli, sem verður í pípunni. Þrýstingsfallið má ekki vera meira en svo, að gufuþrýstingurinn við verksmiðjuna samsvarar lagra mettunarhitastigi en hitastigi, sem er $5-10^{\circ}C$ hærra en hitastig heitu turnanna. Þannig ákvarðast lágmarkshitastig gufu við holi af því hversu langt þarf að leiða hana svo og hversu lágt má fara niður með hitastig heitu turnanna. Að vísu mætti komprimera gufuna, en slíkt mundi auka gufukostnað geypilega.

7) Ef hveragufuhitinn fer ekki niður fyrir $130^{\circ}C$, verður stofnkostnaður verksmiðju á Íslandi mjög álíka og í Bretlandi. Því má verð gufunnar nálgað evrópíska verðið (19 sh./tonn) áður en verksmiðja héraendis yrði ófar til samkeppni við evrópíska verksmiðju. Hinsvegar má gufuverðið ekki verða meira en 2 sh./tonn, ef íslenska verksmiðjan ætti

að verða samkeppnisfær við bandaríska verksniðju byggða
santímis.

8) Það borgar sig betur að hreinsa brennisteins-
vetnið úr úrgangsvatninu við 2 atm. en við 20 atm. Slíkt
leiðir þó til aukins kostnaðar við delur og eykur rafmagns-
þörf ca 10% fram yfir þörf olíukynntrar þungavetnsverksniðju.

BÓKASERA

1. Frank, P.J., Studies of the Market for Nuclear Materials II, Moderators, Heavy Water, STRESA Conference Report, May 1959.
2. Constructors John Brown Ltd., Eastbourne Terrace, Paddington, London W.2., Böklingur um $\text{NH}_3\text{-H}_2$ vixl prócessinn (1958).
3. McCabe and Smith, Unit Operations of Chemical Engineering, McCraw Hill Book Co., New York, 1956.
4. McWilliams et.al. Spraypak, A New Industrial Distillation and Absorption Tower Packing, UKEA Report A.E.R.E. CE/R 1548, Harwell, 1955.
5. Nucleonics 16:9, p. 110 (Sept. 1958).
6. Perry (Ed.), Chemical Engineers Handbook, 2nd edition. McCraw Hill Book Co., New York, 1941.
7. Topsoe, úr samtali við Magnús Magnússon 29.maí 1956.
8. Statistical Yearbook 1954, U.N. Publications, New York, 1954.
9. Walker et.al., Heavy Water, Part 6., UKEA Report A.E.R.E. CE/R 2348, Harwell, 1958.
10. Walker et.al., Heavy Water Production, OEEC Report SCC/2 (1958).

SUMMARY

This report includes a short resumé based on estimates of West-Europe's heavy water requirements the next 10-15 years. This is followed by a discussion of heavy water manufacturing processes that could be economically considered at present. The H_2S/H_2O isotope exchange process when coupled with a geothermal heat source seems the most economical at present.

Next the main differences between a geothermal plant and that considered in A.E.R.E. CE/R 2348 are discussed and appropriate allowance is made for the probable difference in capital and operating costs.

The most economical hot tower temperature is $120^{\circ}C$ and 40 percent the optimal degree of heat recovery. The temperature of the geothermal steam can go as low as $130^{\circ}C$ at the plant before it will affect the product price adversely to an appreciable extent. Due to a more complicated stripping system in the geothermal plant its consumption of electricity will be of the order of 10% greater than otherwise.

It is concluded that a geothermal heavy water plant in Iceland using the H_2S process would be competitive with a corresponding European plant and almost competitive with a U.S. plant built at the same time or later.