

ÞUNGAVATNS FRAMLIDSILA

Skýrsla um lauslega áætlaðan kostnað  
36t./ári D<sub>2</sub>O Verksmiðju á Íslandi

Skýrslan er byggð á skýrslum  
A.E.R.E. CE/R2348 og ORECC/SCC/2

eftir

Ágúst Valfells

Kjarnfræðanefnd Íslands

Reykjavík

Sept. 1958

## A G R I P

Athuguð eru þau starfskilyrði (operating conditions) er mest áhrif hafa á kostnað verksmiðjunnar og hvort þau yrðu mjög breytt við íslenskar aðstæður frá því sem þau eru við brezkar.

Þá er rétt um þá kostnaðarliði í stofn og reksturskostnaði er mundu breytast vegna ódýrari gufu, hreinna vatns og annars vinnukostnaðar í íslenskri verksmiðju.

Hiðurstaðan er sú, að þungavatnsverksmiðja á Íslandi, er notaði  $H_2S$  prócessinn yrði samkeppnisfær við verksmiðju í Evrópu, en varla við verksmiðju í U.S.A. Ef verðið á þungu vatni félli enn nokkuð á heimsmarkaðnum yrði íslenska verksmiðjan ef til vill því aðeins samkeppnisfær, að sá gjaldeyrir, er lagður yrði í hana á Íslandi, væri seldur herra verði en samsvarar núverandi gengi krónunnar.

EFNISYFIRLIT

	2
I. Inngangur .....	bls. 1
II. Ástlaður kostnaður við verkmiðjuna .....	" 5
III. Niðurstöður .....	" 8
Bókaskrá .....	" 11
Viðaukar .....	" 12
1. Hitaskiptakerfi	
2. Vatnshreinsun	
3. Vinna	

## TEIKNINGAR

Mynd	bls.
1. Framleiðalukostnaður sem Funktion af Gengi og Neðal- kaupi .....	10
2. Hitaskiptakerfi .....	13
3. Merkel Diagram fyrir Mettara og Afmottara .....	14
4. Optimum Kúrvur fyrir Mettara og Afmottara .....	15
5. Optimum Kúrvur fyrir Endurvinnslu Varma .....	16
6. Samband milli Vatnshörku og Súlnalengdar .....	18

# I

## INNGANGUR

Breytt Starfsakilyrði:— Þessi skýrsla er byggð á kostnaðaráætlun þeirri er brezka kjarnorkumálastofnunin gerði fyrir 36t./ári þungavatnsverksmiðju er hagnýtti  $H_2S-H_2O$  efnaskiptasöferðina.

Vegna annars hlutfalls milli stofn og reksturskostnaðar á Íslandi en í Bretlandi, yrði íslenska verksmiðjan nokkuð frábrugðin þeirri brezku hvað starfsakilyrði (operating conditions) snertir. Þau starfsakilyrði er kostnaður verksmiðjunnar er háðastur eru:

- 1) Hitastig heitu turnanna
- 2) Hversu nálægt jafnvægisáðstaðum (equilibrium conditions) starfsalínur turnanna liggja.
- 3) Margföldun þungavetnisinnihálds í hverju þrepi.

Brezka kostnaðaráætlunin miðar við  $130^{\circ} C$  hitastig heitu turnanna, 98% nálgun við jafnvægisáðstaður og 20 földun í fyrsta þrepi.

Íslenskar áðstaður mundu nokkuð breyta hagkvæmstu starfsakilyrðum verksmiðjunnar. Hinsvegar mundi stofnkostnaðurinn aðeins breytast lítið vegna þessa, eins og sjá má af kúrvunum er sýna stofnkostnað sem fúnktion af hitastigi heitu turnanna og nálgun við jafnvægisáðstaður (sjá GE/R2348).

Munurinn á hagkvæmstu þrepaskiptingu í brezku og íslensku verksmiðjunum kynnir hinsvegar að orsaka nokkurn mun á stofnkostnaði í þessum tveim tilfellum. Í stórrí íslenskri verksmiðju (100-500 tonn á ári) mætti vera að það borgaði sig að hafa þrjú þrep í stað tveggja (sjá bls. 14 GE/R2348). Hér mun þó miðað við 20 földun í fyrsta þrepi.

Heppilegasta hitastig heiltu turnanna hérlendis yrði ef til vill nokkuð lagra en   Bretlandi. Vegna þessa var miðað við 120  C   hitaskipta treikningunum og fundin hagkvæmasta endurvinnsla   varma við það hitastig. Hagkv masta endurvinnsla og áhrif af hitaskiptakostna i   reksturakostna  munu hinsvegar litið breytast þ tt þessi gildi s u notuð við 130  C, og mun það gert h r.

H r verður því miðað við sömu starfaskilyr i og   brezku verksmiðjunni, þ.e. 20 atm. þrýsting, 130  C hitastig heitra turna, 98% nálgun við jafnv gis st dur og 20 földun   fyrsta þrepi. Kostnaðurinn verður miðaður við 36t./ári verksmiðju, því þessi stærð er s  st rsta sem heppilegt er   smi a sem eina heild og st rri verksmiðjur yrðu samst dur slíkra eininga og kostnaðurinn við þar   beinu hlutfalli við einingafj ldann.

Breyttir Kostnaðarliðir: - Þeir kostnaðarliðir er yrðu einna mest frábrugðnir   íslenskri verksmiðju og enskri eru þessir:

- 1) Kostnaður   hitaskiptakerfi.
- 2) Kostnaður   vatnshreinsunart kjum.
- 3) Kostnaður   vinnu við uppsetningu verksmiðjunnar.

Hitaskiptar: - Hitaskiptakerfi  h r yrði frábrugðið hitaskiptakerfinu   Bretlandi vegna ódýrari varma hérlendis. Gufukostna ur hér er  0.09/10<sup>6</sup> p.c.u. (0.5 mil/Kwhr. eða 1/- per tonn af gufu mettaðri við 150  C) h r vs.  0.63/10<sup>6</sup> p.c.u. (3.5 mil/Kwhr. eða 19/- per tonn af gufu mettaðri við 350 p.s.i.g.)   Bretlandi. Heppilegasta hitaskiptakerfi   íslenska verksmiðju kemur til með   kosta eitthvað n lagt K  174.0/36 tonn af D<sub>2</sub>O   ári (K  er kilopund=  1000). Þessi tala samsvarar 359-174-k  185   sparnaði. Viðauki 1. gefur nánari upplýsingar um hitaskiptakerfi .

Vatnshreinsunart ki: - Vegna þessa hversu vatnið   Íslandi er hreinna en   Bretlandi mundi verða sm sparna ur   stofnkostnaði vatnshreinsunart kja.

Harka vatnsins í Ölfusá (ef verksmiðjan yrði byggð í Henglinum) er 31 ppm vs. 100 ppm í Bretlandi. Því mundu "Deionization columns" minnka í verði allt niður á KE 33. Sparnaður yrði því 50-33-KE 17. Sjá viðauka 2.

Vinnukostnaður:- Þessi liður er einna óákveðnastur vegna hins margvíslega gengis krónunnar.

Reikna má með að það fari 52,000 vinnustundir í að reisa verkamiðju, fyrir hvert tonn af  $D_2O$  er hún framleiðir á ári.

Þetta samsvarar 7/- á vinnustund í Bretlandi. Samkvamt upplýsingum Baldurs Línðal mundi meðalkostnaður vinnustundar láta nærri að vera kr. 35- á Íslandi. Þessi tala samsvarar um það bil 10/- ef sterlingspundið er reiknað á 72 kr. Þetta yrði ca. 43% aukakostnaður á vinnu, ef miðað er við brezku skýrsluna.

Þó er ekki gert ráð fyrir að það sé fluttur inn nokkur vinnukraftur, en það mun vera þörf á einhverjum svo ef til vill má gera ráð fyrir að 50% sé raunse tala. Reynslan við Áburðarverkmiðjuna sýndi, að einungis lítil þörf var fyrir innfluttan vinnukraft.

## II

### ÁETLADUR KOSTNAÐUR

#### VIÐ VERKSMÍÐJUNA

Í þessum hluta er miðað við tölur gefnar upp í A.E.R.:E. CE/R2348 og þær tölur miðaðar við íslenskar aðstaður er notaðar eru í OEEC/SCC/2, nema þær er varða þau atriði er áður eru nefnd og þau atriði er sérstaklega er getið í sambandi við starfrækslu kostnaðinn (operating cost).

Starfrækslukostnaður: - Starfrækslukostnaður er óbreyttur frá því er gert er ráð fyrir í OEEC/SCC/2 nema hvað snertir varmanotkun og vinnu. Bins og sýnt er á 5. mynd borgar sig best 41% endurvinnsla á varma. Þetta samsvarar £ 1600/t.D<sub>2</sub>O eða K£ 57.5 á ári. Þetta lækkar samanlagðan kostnað á kalivatni, gufu og rafmagni niður í ca. £ 3883/t. D<sub>2</sub>O.

Viðvíkjandi vinnu við starfrækslu, þá verður hún 50% hærri (samskvæmt níverandi gengi) en í Bretlandi. Því verður vinna og viðhaldskostnaður  $769 \times 0.5 = £ 374$  dýrari per tonn af þungu vatni en OEEC skýrslan gerir ráð fyrir, eða  $4,451 + 374 = 4,825$  sterlingspund per tonn. Ennfremur bætast £ 374 ofan á "overhead" kostnaðinn. Þannig verður sá kostnaður  $769 + 374 = £ 1,143$  per tonn.

Kostnaðarástlunin verður því í stórum dráttum þessi:

(Allar tölur teknar úr OEEC skýrslunni nema þau atriði er breytt eru að því að ofan greinir)



a) Stofnkostnaður	£	£
Tækjakostnaður (U.K.)	2,969,000	
-Sparnaður á hitaskiptum	185,000	
-Sparnaður á vatnshreinsitækjum	<u>17,000</u>	
	2,767,000	
+9% Innflutningskostnaður	<u>250,000</u>	3,017,000
Vinnukostnaður (U.K.)	655,100	
+5%	<u>327,550</u>	982,650
Samanlagður kostnaður tækja og vinnu við uppsetningu á Islandi		3,999,650
		eða ≈ 4,000,000
+ Verkfræðistörf 10%		400,000
+ Öfyrirséð 10%		<u>440,000</u>
	SAMTALS	<u>4,840,000</u>

Stofnkostnaður á hvert tonn á ári = £ 134,000

b) Starfræskelukostnaður	£/t. B <sub>2</sub> O	
Hráefni	1,538	
Gufa, rafmagn og kælivatn	3,883	
Vinna, viðhald etc.	<u>4,825</u>	
	10,246	
+ "Overhead"	<u>1,143</u>	
	SANTALS 11,389	≈ <u>11,390</u>

Ef miðað er við 13% kostnað á stofnfé  
þ.e. 8% afskriftir (til 10 ára) og  
5% vexti verður kostnaðurinn á hvert tonn  
af þungu vatni:  $134,000 \times 0.13 = 17,400$   
+11,390  
SANTALS £28,790

### III

#### NIDURSTÖÐUR

Lokaverðið £ 28,700/tonn  $D_2O$  samsvarar \$ 79/kg.

$D_2O$  samkvæmt núverandi gengi á sterlingspundinu. Þessi tala er miðuð við 10 ára afskriftir og 5% vexti á stofnfé.

Brezka verðið er áætlað á £ 34,600/t.  $D_2O$  eða \$ 95/kg.  $D_2O$ . Bandaríska verðið er \$ 62/kg. en það mun miðast við 18 ára afskriftir og líklega 6% vexti af stofnfé.

Ef hér væri miðast við 18 ára afskriftir og 6% vexti af stofnfé, yrði verðið á Íslandi ca. \$ 68/kg. Svo langur afskriftatími mun þó líklega óraunsaer hérlendis.

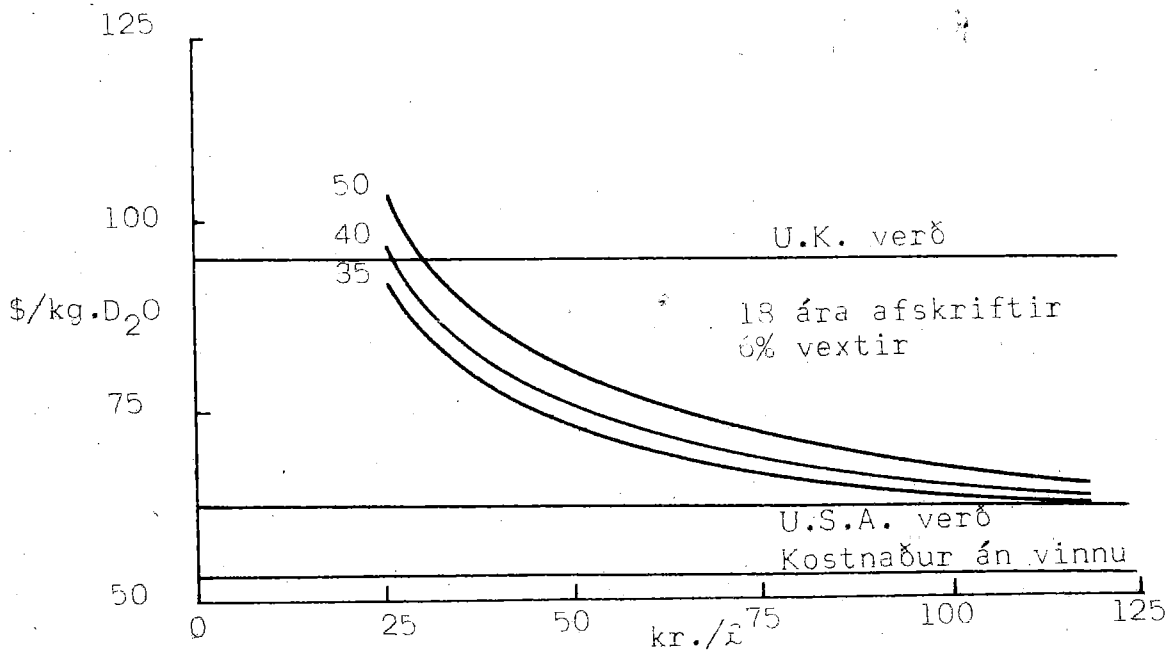
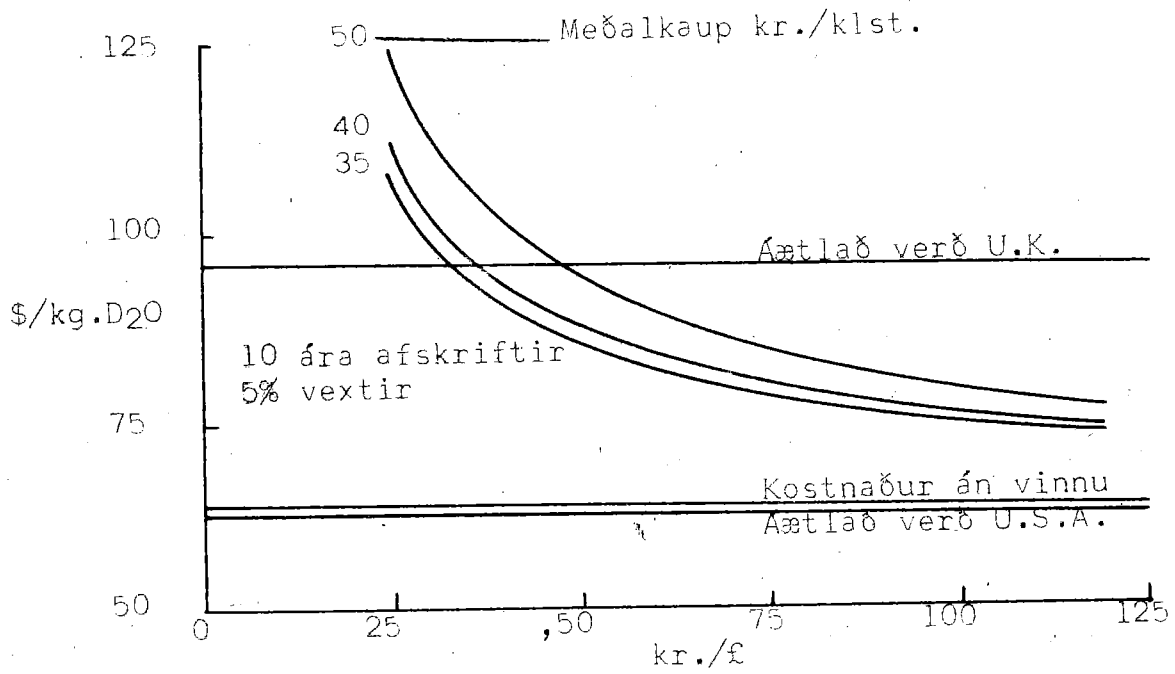
Annað það atriði er hefur áhrif á kostnað þungavatnsins er gengi íslensku krónunnar en það er að minnsta kosti 50% of hátt ef miðast er við kaupmátt hennar. Ef að nýjar og hagkvæmari framleiðsluaðferðir koma fram, t.d. ef svo reyndist með  $NH_3-H_2$  víxl prócessinn, kynni verðið á þungu vatni að falla þó nokkuð á heimsmarkaðnum. Til að íslensk verksmiðja yrði sem samkeppnishæfust, yrði hagur í því að sá gjaldeyrir er lagður yrði í hana hérlendis, væri seldur á a.m.k. sama verð og um útflutning væri að ræða.

Línaritin á l. mynd sýna verðið per kg.  $D_2O$  sem fúnktion af gengi og meðalkaupi við uppsetningu og starfrækslu verksmiðjunnar við mismunandi árskostnað á stofnfé.

Lokaniðurstaðan er sú að frá tæknis og hagfræðilegu sjónarmiði yrði þungavatsverksmiðja á Íslandi fær um að keppa við samskonar verksmiðju í Evrópu, en varla í U.S.A.

Enn hagkvæmara væri að hafa verksmiðjuna á Íslandi, ef sá gjaldeyrir er yrði lagður í hana hér væri seldur hærra en samsvarar núverandi skráðu gengi. Þetta kynni að vera nauðsynlegt þar eð heimsmarkaðsverðið gæti enn fallið nokkuð.

---



Mynd. 1--Framleiðslukostnaður sem Funktion af Gengi og Meðalkaupi.

## BÓKASKRÁ

- Björnsson, G. og Nordal, J., "Álitsgerð um Þungavatnsvinnslu á Íslandi", Haforkunáskrifstofan, Reykjavík, 1958,
- McWilliams et. al. "Spraypak", a New Industrial Distillation and Absorption Tower Packing", Harwell, 1955.
- Walker, P.T. and Hart-Jones, "Notes on the Applicability of U.K.A.E.A. Report A.E.R.E. CE/R2348 to Icelandic Conditions", (OECC/SCC/2), Harwell, 1958.
- Walker et al. "Heavy Water, Part VI. Flowsheet, Design and Cost Estimates for 22 and 36 ton/year Production Plants Using the  $H_2S$  Process", Harwell, 1958.

**V I D A U K A R**

## VIÐAUKI 1.

### Hitaskiptakerfi

Þrenns konar hitaskiptakerfi voru athuguð frá kostnaðarsjónarmiði og eru þau sýnd á 2. mynd. Mynd 2b. sýnir það kerfi, er hagkvæmast reynist, og voru gerðar "optimization" útreikningar á því.

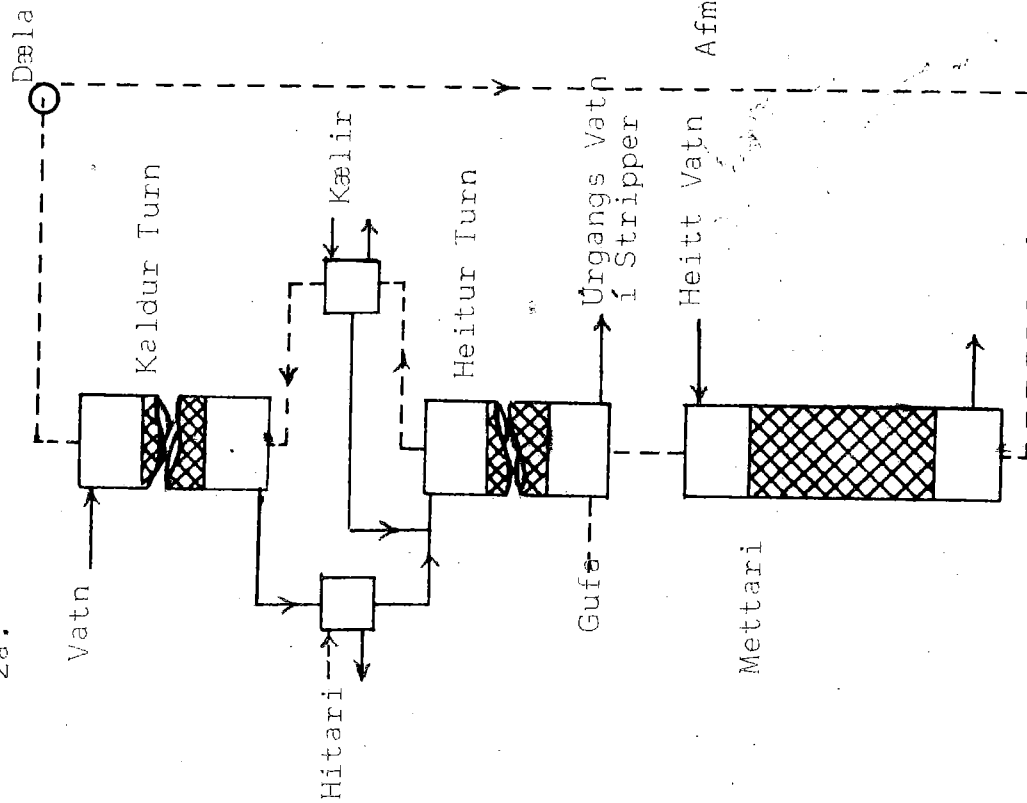
Mynd 3 sýnir Merkel diagram fyrir mettarann og afmettarann og teoretískan plötufjölda í hvorum. Þakka mætti plötum í mettarannum niður í allt að 47-8 plötum eins og sjá má af 4. mynd, er sýnir optimum hitastig á vatni úr mettara og afmettara.

Loks sýnir 5. mynd hvernig árlegur kostnaður á varma og hitaskiptum breytist með endurvinnslu varmans og sést, að 41% endurvinnsla er hagkvæmust.

Útreikningarnir eru miðaðir við 120°C hitastig heitra turna og 18 ára afskriftir með 6% p.a. vöxtum. Hins vegar breytist optimum endurvinnsla varma svo og hitaskiptakostnaður mjög lítið með auknum afskriftum svo talið var óhætt að nota þessar tölur við 13% árskostnað á stofnsfé.

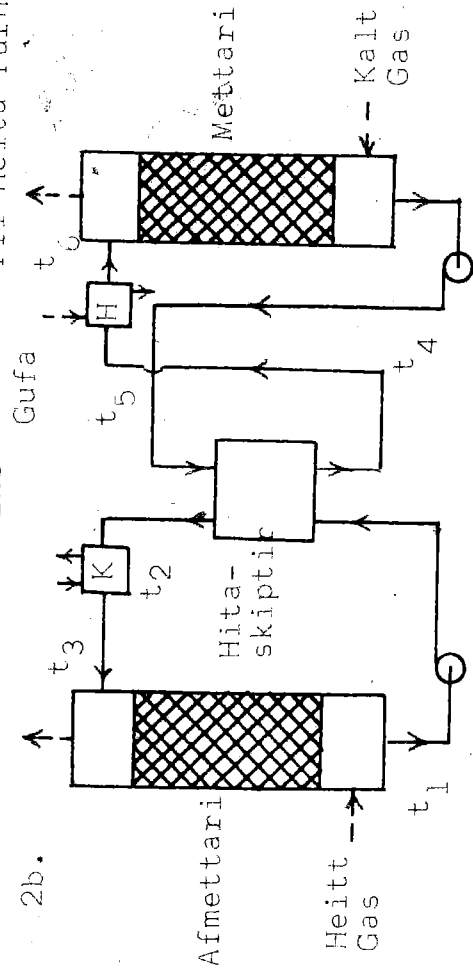
Optimum endurvinnsla varmans breytist ennfreður ekki mjög, er hitastig heitu turnanna er hækkað upp í 130°C, og þá heldur til batnaðar (frá kostnaðarsjónarmiði séð). Auk þess verður hitaskiptakostnaður nokkurn veginn sá sami við 130°C eins og við 120°C. Því þótti óhætt að nota optimum gildi fundin við 120°C við 130°C. Aftur á móti eykst varmanotkunin um  $\frac{82}{64} (= (H_{130} - H_{30}) / (H_{120} - H_{30}))$  fyrir óbreytt gegnumstreymi. Því verður gufukostnaður  $(82/64)(45,000/36) = £ 1600/\text{ton}$ .

2a.



Til Kalda Turnsins

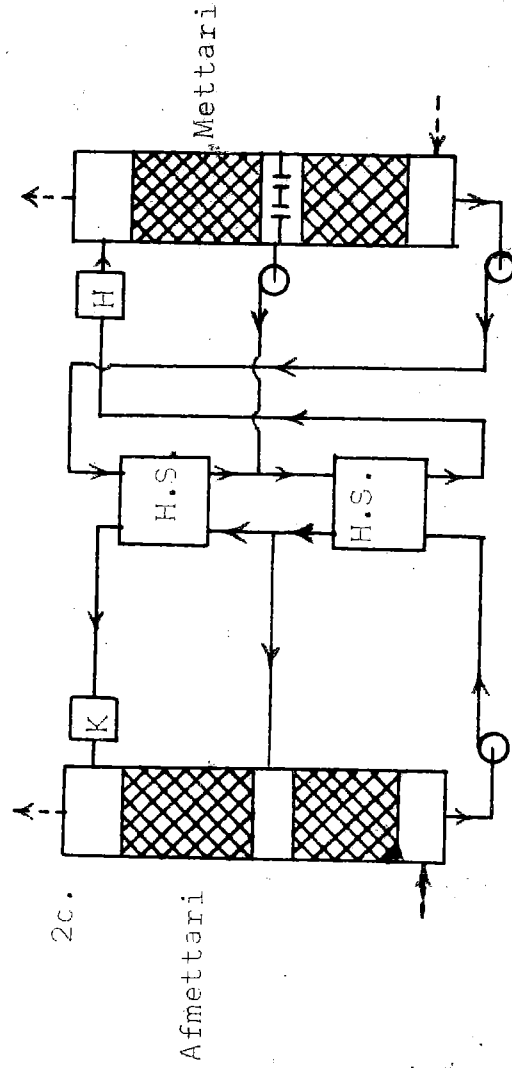
2b.



Til Heita Turnsins

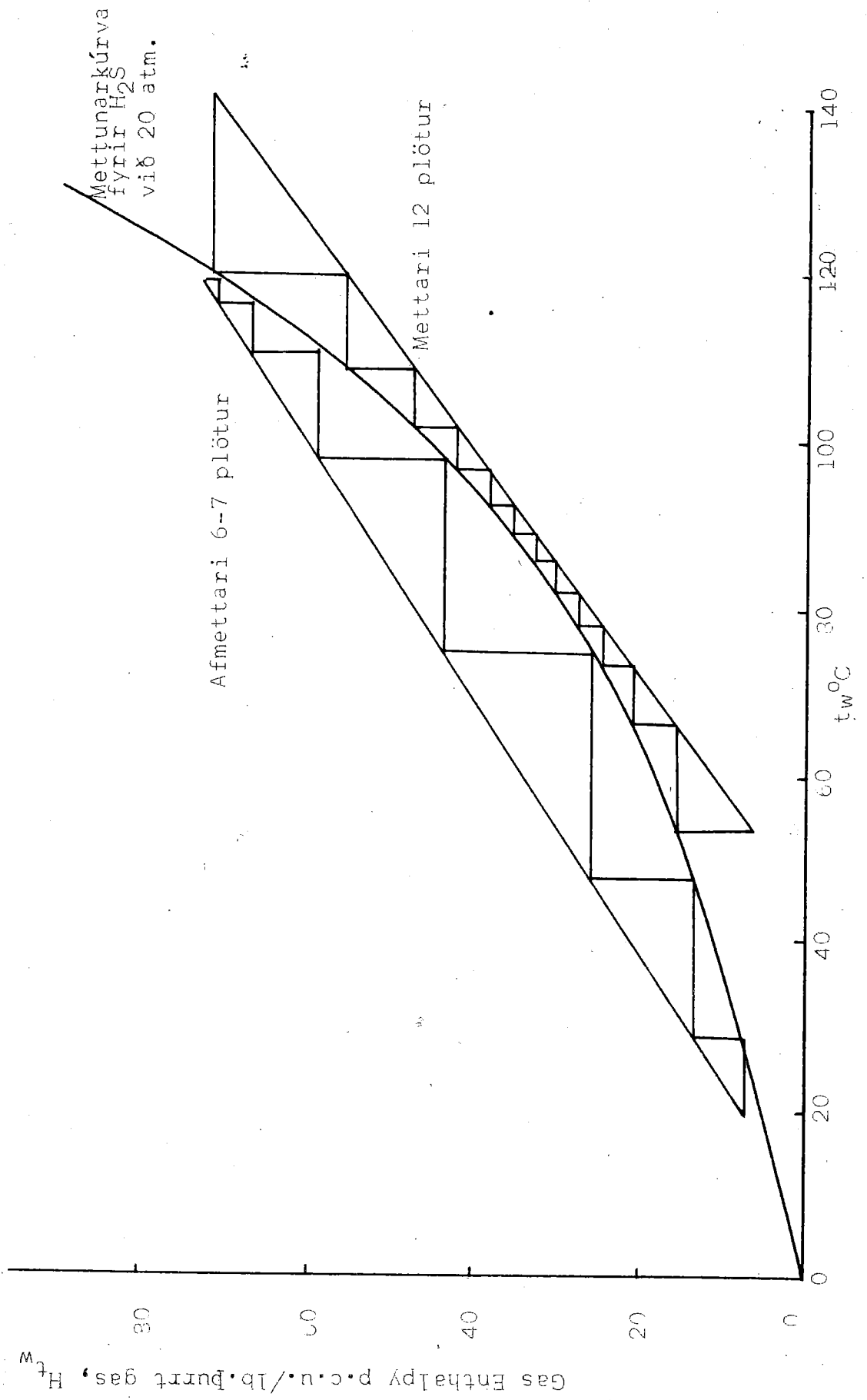
Gufa

2c.



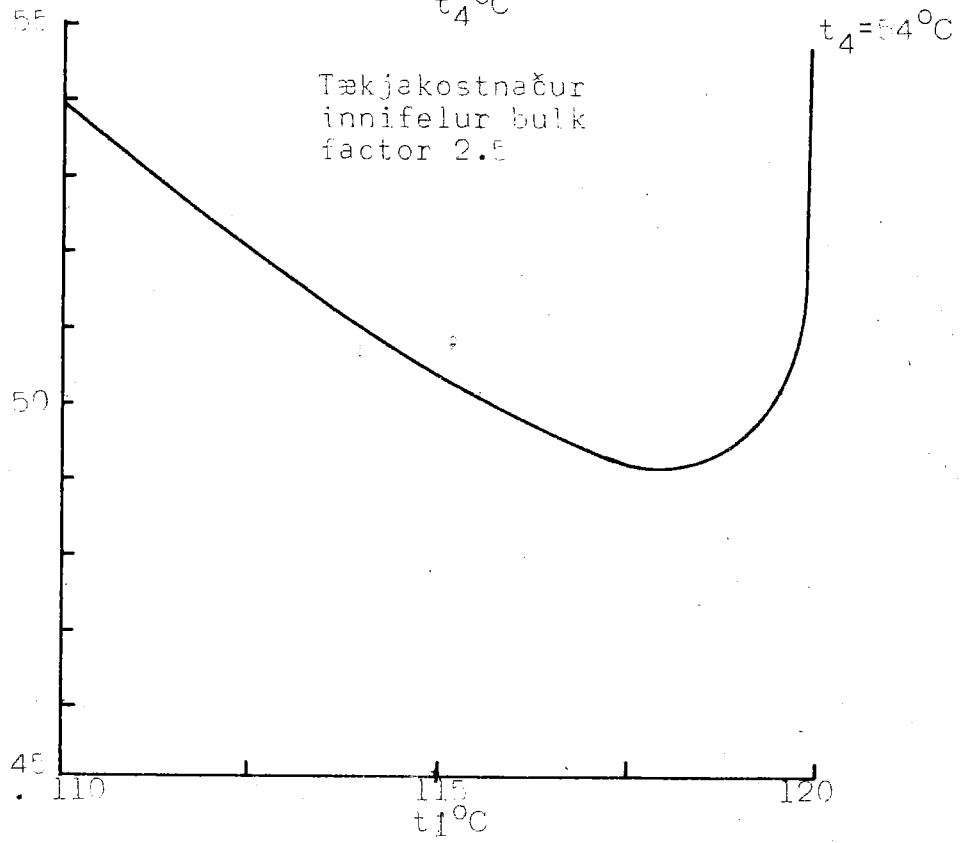
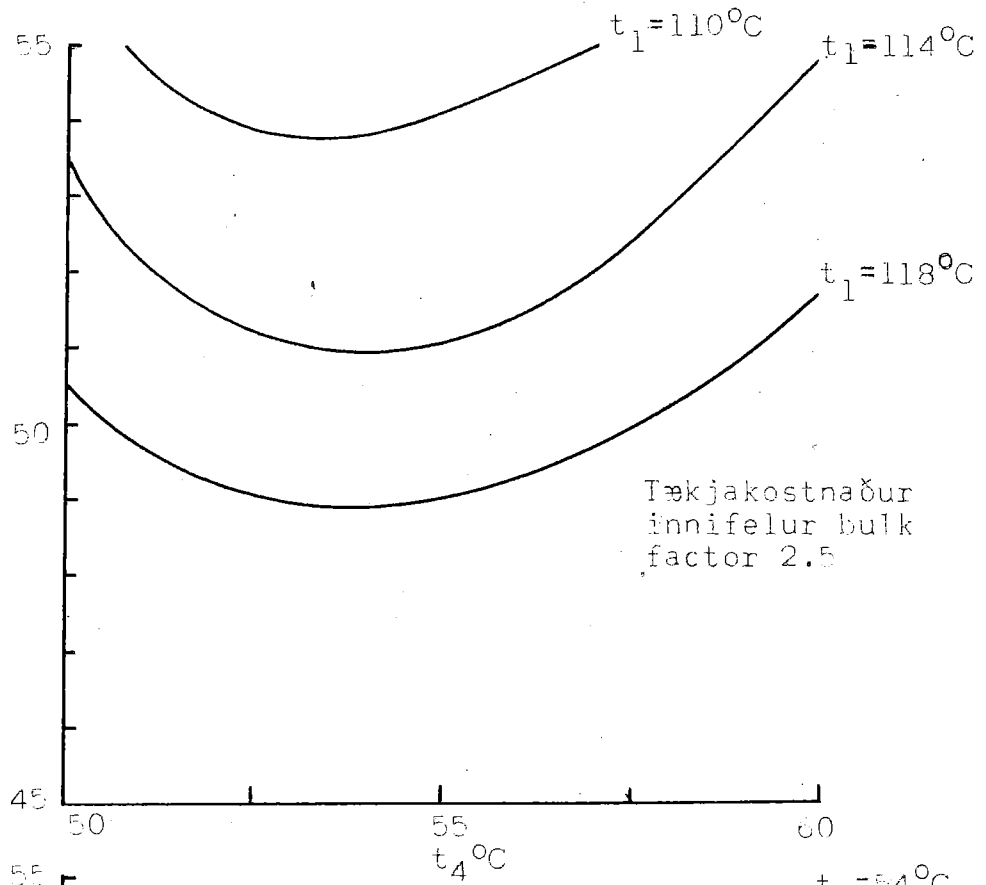
Mynd 2.--Hitaskiptakerfi



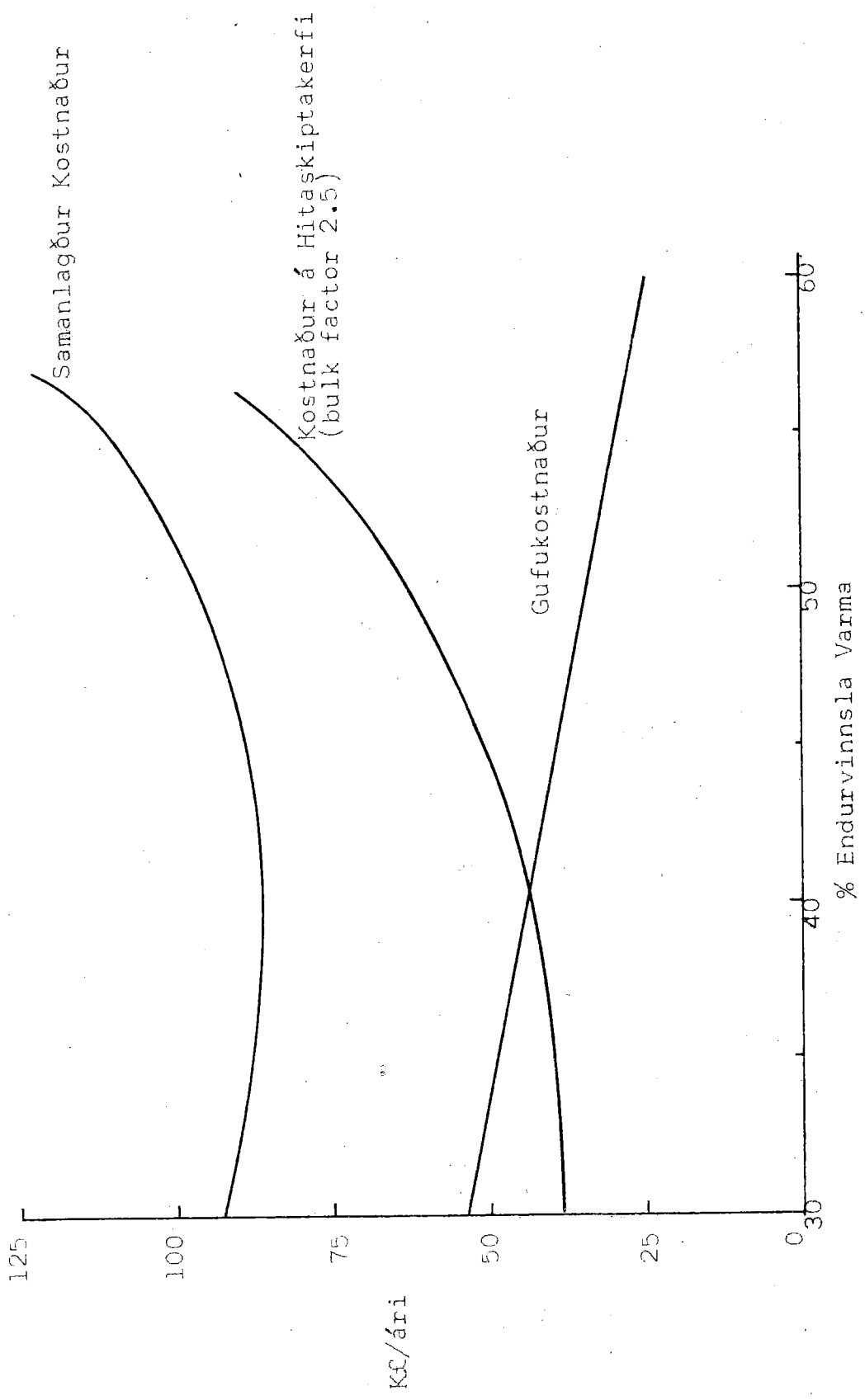


Mynd 3.--- Merkel Diagram fyrir Mettara og Afmettara

Árskostnaður við Mettara, Afmettara og Gufu Kk



Mynd 4.--Optimum Kúrvur fyrir Mettara og Afmettara.



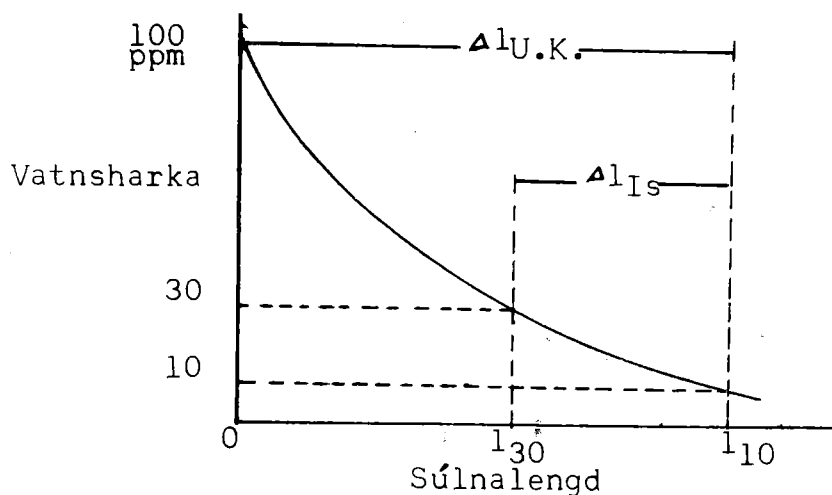
## VIÐAUKI 2.

### Vatnshreinsun

Vatnið er fyrst hreinsað í tveim "Ion Exchange Columns". Vegna þess hve harka vatnsins er miklu minni á Íslandi heldur en í Bretlandi, má gera lauslega áætlun um sparnað við "Ion Exchange" súlurnar (miðað við óbreytt gegnumstreymi).

Þar sem gegnumstreymið er óbreytt verður þverskurðarflatarmálið hið sama og í brezku verksmiðjunni.

Gerá má ráð fyrir að harkan á vatninu minnki



Mynd 6.--Samband milli Vatnshörku og Súlnalengdar.

nokkurnvegin exponentíalt með lengd súlnanna eins og

6. mynd sýnir. Af því leiðir að:

$$\Delta l_{U.K.} = l_{10} \propto 100(1 - e^{-1/10})$$

$$\Delta l_{Is} = l_{10} - l_{30} \propto 100(1 - e^{-1/10}) - 100(1 - e^{-1/30})$$

$$\frac{\Delta l_{Is}}{\Delta l_{U.K.}} = 1 - \frac{1 - e^{-1/30}}{1 - e^{-1/10}} = 0.652$$

$$\Delta l_{Is} = 0.652 \Delta l_{U.K.}$$

Sparnaður:

$$50(1 - 0.652) = \text{K£ } 17.4$$

### VIÐAUKI 3

#### Vinna

Skýrsla OKEC gerir ráð fyrir KE 655 í vinnukostnað við uppsetningu verksmiðjunnar.

Glúmur Björnsson og Jóhannes Nordal gefa upp 25 mannrá á hvert tonn á ári sem vinnu við að reisa slíka verksmiðju, en það samsvarar 7/- á hverja vinnustund.

Þessi tala virðist mjög sennileg þar eð mest af vinnunni við uppsetningu verksmiðjunnar er fagvinna. Baldur Linds hefur veitt þær upplýsingar, að meðalkostnaður per vinnustund við uppsetningu efnaverksmiðja á Íslandi sé nálægt kr. 35,-.

Við reksturskostnaðinn var áætlað, að vinnukostnaður yrði sá sami per vinnustund eins og við uppsetningu, þar eð mikill hluti vinnukostnaðar við starfrækslu væri kostnaður á fagvinnu, er færi í viðhald.

Ef vinnukostnaður ætti að vera sá sami hér og í Bretlandi samsvarar það því að það væru 100 ísl. krónur í sterlingspundinu. Með 72 krónur í sterlingspundinu verður vinnukostnaður á Íslandi 50% hærri en í Bretlandi.

Þessi factor er eina breytilega stærðin, er hægt væri að hafa áhrif á af íslenskum aðilum og yrði því að velja það verð á gjaldeyrinn, sem hagkvæmast reyndist.

1. mynd sýnir söluverð á  $D_2O$  sem fúktion af vinnukostnaði og gengi íslensku krónunnar.