



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Höfundar:

**Albert Albertsson
Bergur Benediktsson
Jón-Steinar Guðmundsson
Oddur B. Björnsson
Sigurjón Arason
Sverrir Þórhallsson
Valdimar K. Jónsson
Wilhelm V. Steindórsson**

Ritstjórar:

**Jón-Steinar Guðmundsson
Valdimar K. Jónsson**

NÝJUNGAR Í NÝTINGU JARÐHITA

**Námstefna Endurmenntunarnefndar
16.-18. nóvember 1987**

**OS-88066/JHD-13
Reykjavík, desember 1988**



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Höfundar:

**Albert Albertsson
Bergur Benediktsson
Jón-Steinar Guðmundsson
Oddur B. Björnsson
Sigurjón Arason
Sverrir Þórhallsson
Valdimar K. Jónsson
Wilhelm V. Steindórsson**

Ritstjórar:

**Jón-Steinar Guðmundsson
Valdimar K. Jónsson**

NÝJUNGAR Í NÝTINGU JARÐHITA

**Námstefna Endurmenntunarnefndar
16.-18. nóvember 1987**

OS-88066/JHD-13

Reykjavík, desember 1988

FORMÁLI

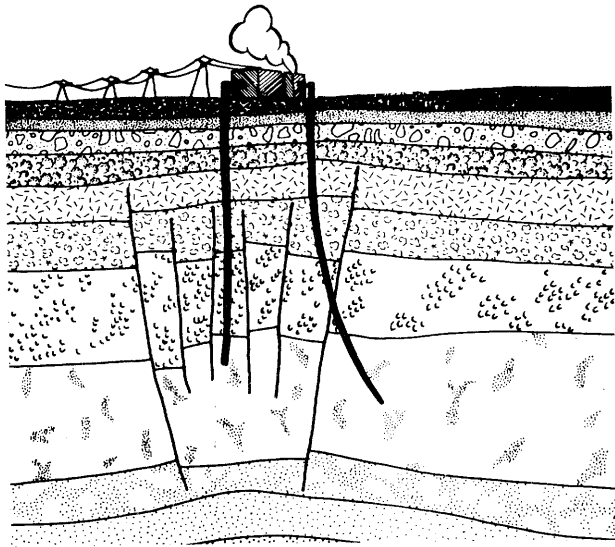
Námstefna Endurmenntunarnefndar um nýjungar í nýtingu jarðhita var þarft framtak, sem aðstandendur eiga þakkir skildar fyrir. Þar voru lögð fram ágæt yfirlit um helstu nýtingarsvið jarðhita hér á landi, einkum til hitunar, þurrkunar og ýmis konar iðnaðar. Ýmislegt nýtt kom fram í þessum erindum, sem ekki hefur verið til á aðgengilegu formi áður.

Ekki var ætlunin fyrirfram að gefa erindi námstefnunnar út sérstaklega. En þar sem efni þeirra sýndist eiga erindi til stærri hóps en þess, sem sótti námstefnuna varð að samkomulagi milli Jarðhitadeildar Orkustofnunar og endurmenntunarstjóra Háskóla Íslands, að deildin tæki að sér að gefa erindin út fjölrituð, þannig að þau yrðu aðgengileg þeim, sem nota vildu í framtíðinni.

Umsjónarmenn námstefnunnar Jón Steinar Guðmundsson og Valdimar K. Jónsson hafa haft allan veg og vanda af lokafrágangi erindanna í samráði við höfunda, en útgáfustjóri Orkustofnunar Páll Ingólfsson hefur séð um útgáfuna að öðru leyti.

Guðmundur Pálmason

forstjóri Jarðhitadeildar



Nýjungar í nýtingu JARÐHITA

NÁMSTEFNA

16. — 18. nóv. 1987 í Borgartúni 6

Umsjónarmenn:

*Jón-Steinar Guðmundsson verkfræðingur og
Valdimar K. Jónsson prófessor*

D A G S K R Á :

Markmið námstefnunnar:

Er að miðla þekkingu á nýtingu jarðhita og kynna möguleikna á betri notkun hans, þeim nýjungum sem þar hafa hafa komið fram á síðustu árum, hvornig hægt er að standa að nýjum nýtingarframkvæmdum og endurbæta þær sem fyrir eru. Lögð verður sérstök áhersla á að þátttakendur taki virkan þátt í umræðum og samantekt á niðurstöðum.

Þátttakendur:

Námstefnan er ætluð verkfræðingum og tæknifræðingum, en hún kemur einnig að gagni fyrir rekstrar- aðila hitaveitna og annarra jarðvarmaorkuvera. Sérstök áhersla er lögð á notkun jarðhita í fiskiðnaði og landbúnaði síðasta daginn. Námsgögn munu liggja fyrir við upphaf námstefnunnar. **Mögulegt er að sækja hluta ráðstefnunnar.**

MÁNUDAGUR 16. NÓVEMBER:

- 9.00-10.30 Nýting jarðhitans, á Íslandi og erlendis
Valdimar K. Jónsson prófessor
- 10.30-10.50 Kaffihlé
- 10.50-12.00 Vinnsla efna úr jarðgufu; salt, kisill, gas o. fl.
Magnús Magnússon verkfræðingur, Sjóefnavinnslunni hf.
- 12.00-13.00 Matarhlé
- 13.00-14.15 Gufuveitur
Sverrir Þórhallsson verkfræðingur, Orkustofnun
- 14.15-15.30 Áætlanir um nýtingu jarðhitans
Oddur B. Björnsson verkfræðingur, Fjarhitun hf.
- 15.30-16.00 Kaffihlé
- 16.00-17.00 Umræður um efni dagsins og samantekt — *O.B.B. og V.K.J.*

ÞRIÐJUDAGUR 17. NÓVEMBER

- 9.00-10.00 Fjölþætt nýting jarðhita
Valdimar K. Jónsson
- 10.00-10.15 Kaffihlé
- 10.15-11.00 Fjölþætt nýting jarðhita — *V.K.J.*
- 11.00-12.00 Vinnslu- og forðafræði
Jón-Steinar Guðmundsson verkfr.
- 12.00-13.00 Matarhlé
- 13.00-14.00 Rekstur varmaorkuvera
Albert Albertsson verkfræðingur Hitaveitu Suðurnesja
- 14.00-15.00 Leiðir til aukinnar hagkvæmni hitaveitna
Wilhelm Steindórsson verkfr.
- 15.00-15.30 Kaffihlé
- 15.30-17.00 Umræður um efni dagsins og samantekt — *J.S.G. og W.S.*
- 17.00-19.00 „Orkuveisla“

MIÐVIKUDAGUR 18. NÓVEMBER

- 9.00-10.30 Þurrkun og notkun jarðhita í fiskiðnaði
Sigurjón Arason verkfræðingur, Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins
- 10.30-10.45 Kaffihlé
- 10.45-12.00 Garðyrkja og notkun jarðhita í landbúnaði
Jón-Steinar Guðmundsson verkfr.
- 12.00-13.00 Matarhlé
- 13.00-18.00 Heimsókn í Sjóefnavinnsluna og Svartsengi

Skráning er á skrifstofu H.Í. — Sími 694306
Nánari upplýsingar á skrifstofu endurmenntunarstjóra í síma 23712 & 687664.
ÞÁTTTÖKUGJALD KR. 8.800.

EFNISYFIRLIT

FORMÁLI	3
DAGSKRÁ	5
EFNISYFIRLIT	7
NÝTING JARÐHITA Á ÍSLANDI OG ERLENDIS Valdimar K. Jónsson, Háskóla Íslands	9
GUFUVEITUR Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun	31
ÁÆTLANIR UM NOTKUN JARÐHITA Oddur B. Björnsson, Fjarhitun	45
FJÖLPÆTT NÝTING JARÐHITA Valdimar K. Jónsson, Háskóla Íslands	77
REKSTUR ORKUVERA Albert Albertsson, Hitaveitu Suðurnesja	105
LEIÐIR TIL AUKINNAR HAGKVÆMNI HITAVEITNA Wilhelm V. Steindórsson, verkfræðingur	121
ÞURRKUN OG ÖNNUR NOTKUN JARÐHITA Í FISKIÐNAÐI Sigurjón Arason, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins Bergur Benediktsson, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins	163
RÆKTUN MEÐ JARÐHITA Jón-Steinar Guðmundsson, Orkustofnun	189
SAMANTEKT UM ERINDI OG UMRÆÐUR Valdimar K. Jónsson, Háskóla Íslands Jón-Steinar Guðmundsson, Orkustofnun	213

NÝTING JARÐHITA Á ÍSLANDI OG ERLENDIS

Valdimar K. Jónsson

Háskóla Íslands

INNGANGUR

HITAVEITA REYKJAVÍKUR

AÐRAR HITAVEITUR

ÖNNUR NOTKUN JARÐHITANS

FRAMLEIÐSLA Á RAFORKU MEÐ JARÐHITA

FLOKKUN Á NÝTINGU JARÐHITA

BEIN NOTKUN JARÐHITANS

RAFORKUFRAMLEIÐSLA MEÐ JARÐHITA Í HEIMINUM

NIÐURSTÖÐUR

HEIMILDIR

Inngangur

Jarðhiti er önnur mikilvægasta orkulind okkar Íslendinga og leggur hann nú til rúmlega 1/3 af þeirri orku sem þjóðin notar. Þetta er einsdæmi í heiminum og þó það finnist þjóðir, sem nota jarðhitann eins mikið og við eða meira, þá er hann samt eilítið brot af þeirri heildarorku sem þessar þjóðir nota.

Það fyrsta sem lesa má sér til um tilveru jarðhita á Íslandi er í Landnámu um nafngift á fyrstu fastri byggð, þ.e. Reykjavík, nafnið sem Ingólfur Arnarsson fyrsti landneminn gaf byggð sinni. Einnig kemur fram í söguheimildum á Sturlungaöld að Snorra kappanum hafi þótt gott að lauga sig í jarðhita í Reykholti. Víða á landinu eru heiti á bæjum og kennileitum frá fornu fari kennd við reyk(gufu), varma eða laugar.

Notkun á jarðhita eins og við þekkjum til í dag var fyrst tekin upp, þegar fyrsta hola eftir heitu vatni var boruð við Þvottalaugarnar í Laugadal árið 1928 og náðust við það 14 l/s af 87°C heitu vatni. Þetta vatn var leitt um 3 km leið inn í bæinn og vatnið notað til að hita upp nýbyggða sundhöll, spítala, tvö skólahúsnaði og 70 íbúðarhús. Þetta var upphaf Hitaveitu Reykjavíkur þó hún hafi verið stofnuð formlega nokkru seinna.

Jarðhiti á Íslandi í dag er að mestu nýttur til upphitunar húsa. Nú njóta um 82% af íbúum landsins upphitunar húsa með jarðhita, 12% nota rafhitun og 6% upphitun með olíu, en ef miðað er við heildarrúmmál húsa eru þessi hlutföll; jarðhiti 85%, rafhitun 10% og hitun með olíu 5%.

Ekki er líklegt að hægt sé að hækka þetta hlutfall jarðhitans mikið meira því mest aukning verður á þeim stöðum, sem þegar hafa virkjað, en þurfa að stækka eða viðhalda því sem fyrir er. Flestar hitaveitur landsins nota lághita, en hitaveitur Suðurnesja, Hveragerðis og Reykjahlíðar nota óbeint háhitasvæði með upphitun á ferskvatni. Í Vestmannaeyjum er notaður hraunhiti, sem fer nú óðum dvínandi. Næsta stækkun hjá Hitaveitu Reykjavíkur verður gerð með upphitun ferskvatns með orku frá háhitasvæðinu á Nesjavöllum, sem tekin verður í notkun 1989.

Tafla 1 sýnir heildarnotkun á jarðhita á Íslandi til upphitunnar árið 1986. Heimildir eru Orkumál Orkustofnunar 1986 og Ársskýrsla Hitaveitu Reykjavíkur 1987. Einnig var haft samband við einstakar hitaveitur til að fá staðfestingar á tölulegum upplýsingum. Orkan er reiknuð þannig að miðað er við að vatnið sé nýtt niður í 37 °C og álagsstuðull hitaveitna sé um 50%. Farið verður nánar í þessa töflu síðar.

Hitaveita Reykjavíkur

Hitaveita Reykjavíkur (HR), óskabarn Reykvíkinga, er talin stærsta hitaveita heims sem notar jarðhita eingöngu. Í árslok 1986 voru um 20.700 hús tengd veitunni og var íbúafjöldinn um 125.000 manns eða 99.5% allra íbúa þeirra fjögurra sveitafélaga sem HR þjónar, en þau eru Reykjavík, Kópavogur, Garðabær og Hafnafjörður. Auk þess selur HR hitaveitunum í Mosfellsbæ, Bessastaðahreppi og Kjalarneshreppi heitt vatn en íbúar þar voru um 4.900 árið 1986. Samtals njóta því um 130.000 manns hita frá hitaveitunni en það eru um 54% þjóðarinnar.

HR vinnur jarðhita á fjórum jarðhitasvæðum, þ.e. á Syðri Reykjum, í Mosfellsdal, við Laugaveg og við Elliðaár og eru afköst svæðana og hiti eins og tafla 2 sýnir.

Tafla 2 - Nýting jarðhitasvæða Hitaveitu Reykjavíkur árið 1986.

Jarðhitasvæði	Vatn þús. m ³	Hiti °C	GWst	MW	Hlutfall%
Lauganessvæði	5901.8	127.4	625.89	121.06	21.74%
Elliðarársvæði	5356.3	93.3	354.94	68.65	12.33%
Suður-Reykir	17365.0	82.0	921.79	178.30	32.02%
Mosfellsdalur	5044.8	92.1	975.91	188.76	33.90%
Samtals	43667.9	93.0	2878.53	556.78	100.00%

Vegna hærri hita á vatni frá jarðhitasvæðunum í Reykjavík er hitagildi þess 34% af heildarorkunni þó vatnsmagnið sé aðeins tæp 26% af heildinni. Þótt jarðhitasvæðin framleiði aðeins 43,67 millj. m³ af vatni þá framleiðir hitaveitan 55,34 millj. m³ af 80 °C heitu vatni og selur af því 50.79 millj. m³.

Í viðbót við rúmlega 550 MW varmaafli, miðað við 5170 klst. nýtingu á ári, sem þessi jarðhitasvæði geta framleitt, á HR olíukynta kyndistöð við Árbæ, sem getur framleitt 95 MW varmaafli, þannig að heildar varmaafli HR er um 650 MW, sem við venjulega nýtingu getur afhent um 2860 GWst til neytenda, en þá er búið að taka tillit til tapa í leiðslum og umframframleiðslu. Þetta er um 10% meira magn en selt var 1986 og sýnir að fram til 1989 verður öll umframorka uppurin vegna venjulegra stækkunnar höfuðborgarsvæðisins.

Jarðhitasvæðin fjögur, sem að ofan greinir, þola ekki meira álag en nú er og samþykkti því borgarstjórn árið 1986 að fara út í nýja virkjun á háhitasvæðinu á Nesjavöllum og er áformað að byggja hana upp í áföngum með um 100 MW varmavirkjun í fyrsta skrefi, sem verður tekið í notkun 1989. Reiknað er með að virkjuð verði þarna um 400 MW varmaafli og um 80 MW rafafli þegar fram líða stundir.

Aðrar hitaveitur

Árið 1986 voru 30 hitaveitur í eigu sveitarfélaga starfandi í landinu, sem nýttu jarðhita. Í viðbót við þessar hitaveitur eru nokkrar starfandi í einkaeign eins eða fleiri aðila. Tafla 1 sýnir þessar hitaveitur, hvenær þær voru stofnaðar, íbúafjölda sem þær þjóna, hita á vatninu og ýmsar aðrar upplýsingar um stærð þeirra og tekjur. Eins og fram hefur komið er Hitaveita Reykjavíkur lang stærsta hitaveitan, eða um 6,5 sinnum stærri en sú næsta með um 2600 GWst orkusölu á ári. Hitaveita Suðurnesja er næststærst með um 400 GWst og Hitaveita Akureyrar með um 300 GWst orkusölu. Síðan koma 7 hitaveitur með orkusölu á bilinu 50 - 100 GWst. Mynd 1 sýnir 15 stærstu hitaveitur á landinu miðað við orkusölu ásamt sameiginlegri orkunotkun allra hitaveitna í einkaeign.

Hitaveiturnar á Brautarholti, Flúðum og Laugarási eru í sérflokk þar sem stór hluti af orkusölu þeirra er til gróðurhúsa og sundlauga. Sumar af útreiknuðum tölum í töflunni er þessvegna ekki mjög nákvæmar, en áhrif þeirra þó hverfandi, þar sem um smáar hitaveitur er að ræða þegar á heildina er litið.

Önnur notkun jarðhitans

Önnur notkun jarðhita hér á landi er í gróðurhús, jarðvegshitun, sundlaugar, snjóbræðslu, iðnaðarnotkun aðalega til þurrkunar, raforkuframleiðslu, fiskirækt og heilsurækt.

Gróðurhús eru næststærstu notendur jarðhita hér á landi og er áætlað að heildarflatarmál gróðurhúsa sem rekin eru í atvinnuskyni sé nær 163.000 fermetrar. Við þetta bætist fjöldi gróðurhúsa til einkanota sem fer sífellt vaxandi og erfitt er að meta heildarstærð þeirra. Í grein Jóns-Steinars Guðmundssonar (1985) er reiknað með að aflþörf gróðurhúsa á Íslandi sé um 0,23- 0,29 kW/m², sem þýðir að aflþörfin er um 37,5- 47,5 MW. Ef reiknað er með að meðaltali 50% notkun af afli á ári og efri mörkin notuð fæst að orkunotkunin er um 208 GWst.

Jarðvegshitun nytjagarða hefur aukist mikið á síðustu 6 - 8 árum og er nú talið að flatarmál þeirra sé um 82.000 m². Sumir þessara garða nota bakrennsli frá gróðurhúsum, en lang stærsti hlutinn notar jarðhitann beint frá borholum. Jón-Steinar Guðmundssonar(1982) áætla aflþörf við jarðvegshitun um 40 -50 W/m² sem gefur aflþörfina tæp 4 MW og miðað við 5 mánaða notkun er áætluð notkun jarðvarmans um 14 GWst. Sundlaugar sem hitaðar eru upp með jarðhita eru um 96 talsins að heildarflatarmáli um 20.000 m² þar af eru um 3.000 m² innanhúss. Sé reiknað með að meðal aflþörf sé 1,5 kW/m² fyrir utanhúss sundlaugar og 0,5 kW/m² fyrir innanhúss fæst að meðalvarmaafli er um 27 MW og heildarorkuþörf sundlauganna er 189 GWst. á ári miðað við 7000 stunda notkun og ef reiknað er með að ofan á þetta leggist um 20% vegna baðvatns fæst heildarorkuþörf sundlauga, sem nota jarðhita, vera 227 GWst á ári.

Snjóbræðslukerfi hafa rutt sér rúms víða á þessum áratug. Flokka má snjóbræðslukerfi í tvo flokka, þ. e. þau sem nota hitann beinnt frá framrennsli og þau sem nota bakrennsli frá íbúðarhúsum. Talið er að flatarmál snjóbræðslukerfa sem nota beina hitun sé um 120.000 m² en það hefur rúmlega tvöfaldast á milli áranna 1986 og 1987. Áætlað

flatarmál snjóbræðslukerfa sem nota bakrennsli er öllu erfiðara að spá um en þó má reikna með að sé komið í flest nýbyggð hús á landinu þar sem bakrennsli er ekki safnað saman til endurnotkunnar. Reikna má með að minnsta kosti 150.000 m² af snjóbræðslu séu með upphitun frá bakrennsli. Fjarhitun (1980) hefur metið meðalorkuþörf snjóbræðslukerfis á Keflavíkurflugvelli og kemst að raun um að hún sé 530 kWst á ári. Þetta er mjög svipað og meðaltal af seldu vatni beint til snjóbræðslu í Reykjavík en frávikið er mjög stórt eða plús/ mínus 50%. Miðað við þessar tölur má reikna með að orka til beinna hitunnar sé um 64 GWst. og með bakrennsli um 80 GWst, eða samtals 144 GWst.

Fiskeldi er vaxandi atvinnugrein hér á landi og á eftir að aukast mjög mikið á næstu árum. Vegna þess að jarðhiti finnst víða ásamt hagstæðum skilyrðum fyrir ferskvatns- og sjónotkun býr Ísland yfir ýmiskonar sérstöðu frá náttúrunnar hendi til fiskeldis. Mikilvægustu eldistegundir hér á slóðum eru og verða laxfiskar. Hlutdeild flatfiska, áls og skeldýra mun hinsvegar aukast í framtíðinni með vaxandi þekkingu á fiskeldi. Auk þess er hugsanlegt að sú sérstaða okkar að búa yfir jarðhita gerir okkur kleift að rækta ýmsar dýrar hitabeltistegundir í framtíðinni. Allavega má reikna með að á næsta áratug verður aðalvöxtur í notkun jarðhita í fiskeldi.

Fyrstu eiginlegu fiskeldisstöðvar voru reistar um 1950. Fram til 1970 voru mest 10 til 15 seiðaeldisstöðvar og klakhús starfandi á landinu. Á áttunda áratugnum tekur stöðvum að fjölga og eru orðnar 20 árið 1979. Frá þeim tíma hefur vöxtur fiskeldisstöðva orðið þessi:

Tafla 3 - Fjöldi fiskeldisstöðva á Íslandi

Ár	1979	83	84	85	86	87
Fjöldi stöðva	20	26	35	55	88	120

Á undanförunum árum hefur fjölgun stöðva verið mest í seiðaeldi. Eru þær stöðvar nú um helmingur allra fiskeldisstöðva í landinu. Fjöldi hafbeitarstöðva hefur lítið breyst undanfarnin 3- 4 ár. Strandeldis- og kvíaeldisstöðvum hefur fjölgað talsvert.

Aðeins lítill hluti starfandi eldisstöðva setti afurði á markað á árinu 1986. Skýringin á því er að framleiðslan tekur langan tíma, t.d. líða tæp tvö ár frá því að hrogn eru tekin og þar til gönguseiði eru tilbúin til sölu og önnur tvö til tvö og hálf ár frá því byrjað er að ala gönguseiði þar til sláturfiskur er tilbúinn á markað.

Tafla 4 hér að neðan sýnir fjölda fiskeldisstöðva og dreifingu þeirra eftir landshlutum og hvað varmaorka hjá þeim hefur verið mikill.

Tafla 4 - Fiskeldisstöðvar á Íslandi 1986

Staður	Fjöldi stöðva	Seiði þús.	Strandeldi tonn	Hafbeit tonn	GWst
Reykjavík	7	565			10
Reykjanes	19	445		54	5
Vesturland	11	266	19	6	4
Vestfirðir	13	222	10	1	2
Norðurland, v	4	602	4		6
Norðurland, e	9	755	90	4	18
Austfirðir	2				0
Suðurland	23	584			10
Samtals	88	3439	123	65	55

Í töflunni hér að ofan er reynt að meta þá jarðhitaorku, sem fer til fiskeldis þó það sé erfitt þar sem ekki liggja nákvæmar tölur fyrir um það. Samkvæmt þessu mati eru um 55 GWst af jarðhitaorku notaðar í fiskeldi með heildaraflþörf upp á tæp 13 MW miðað við 50% nýtingu. Reikna má með að notkun jarðhita verði hlutfallslega meiri við fiskeldi en nú er, sérstaklega í stórseiða- og strandeldisstöðvum.

Á mynd 2a og 2b eru kökumyndir er sýna hvernig fjöldi fiskeldisstöðva skiptast hlutfallslega eftir kjördæmum og hvernig fjöldi söluseiða skiptist eftir kjördæmum. Í ljós kemur að á Suðurlandi er rúmlega 1/4 og Reykjanesi tæplega 1/4 af fiskeldisstöðvum landsins. Norðurland eystra selur hins vegar flest seiðin árið 1986 eða um 22%.

Til almennra iðnaðarnotkunar er áætlað að um 49 MW séu notað af jarðvarmaafli hér á landi og skiptist hún nokkurn veginn sem hér segir:

Tafla 5 - Notkun jarðhita í iðnaði árið 1986

Notkun	Afl MW	Orka GWst
Gróðurhús	55	286
Jarðvegshitun	4	14
Sundlaugar	27	227
Snjóbræðsla	30	144
Fiskeldi	13	55
Vinnsla jarðefna	22	150
Þurrkun í iðnaði	12	60
Landbúnaður	12	60
Sjávarútvegur	3	15
Samtals	178	1011

Framleiðsla á raforku með jarðhita.

Árið 1969 var gangsett 3 MW mótþrýstigufustöð í Bjarnarflagi á vegum Laxárvirkjunar. Stöðin var keyrð svo til samfelld til ársins 1977 þegar hún var stöðvuð vegna gosóróa á svæðinu og afköst borhola dattu niður í það að geta aðeins skilað gufu til Kísiliðjunar. Ári síðar var hún tekin niður vegna goshættu við Bjarnarflag. Árið 1980 var hún sett upp aftur þar sem búið var að afla nægilegrar viðbótargufu. Stöðin var keyrð fram til ársins 1984 en þá var hún alveg lögð niður. Þetta er fyrsta reynsla okkar á framleiðslu rafmagns með jarðhita og reyndist að mörgu leyti vel. Síðari árin sem virkjunin var í gangi framleiddi hún um 6- 9 GWst.

Kröfluvirkjun var reist á árunum 1976-78 og var gangsett haustið 1978 á nokkrum MW vegna skorts á gufu. Á næstu árum jukust afköst virkjunarinnar jafnt og þétt eftir því sem meira var borað og voru þau komin upp í full afköst annara vélasamstæðunnar, 30 MW, árið 1984 og hefur hún keyrt með þeim afköstum síðan, þó með stoppum í um 3 mánuði á sumrin. Framleiðslan síðustu árin hafa verið á bilinu 130-150 GWst raforka. Landsvirkjun tók við rekstri virkjunarinnar í ársbyrjun 1986 með kaupum á henni frá ríkinu, en fram að þeim tíma hafði

Kröflunefnd og frá 1979 Rafmagnsveitur ríkisins séð um reksturinn á stöðinni, en selt rafmagnið til Landsvirkjunar.

Varmaorkan sem fer í að framleiða um 140 GWst af raforku reiknast vera um 1150 GWst miðað við nýtingu á gufu niður í 46° C. Þetta sýnir best að til að framleiða raforku eingöngu úr varmaorku þarf rúmlega 8 sinnum meiri varmaorku miðað við tvíþrýstikerfi eins og er við Kröflu og enn meira ef um einþrýstikerfi er að ræða.

Hitaveita Suðurnesja lét setja upp tvo mótþrýstihverla, hvorn um sig 1 MW að afli, þegar fyrri hluti virkjunarinnar var reistur. Þetta var hugsað þannig að þessar vélar mundu anna raforkuþörf orkuversins við Svartsengi þegar það væri komið upp í fulla stærð. Við hönnun á orkuveri 2 var ákveðið að bæta þar við mótþrýstivélasamstæðu með 6 MW afli. Hún var tekin í notkun 1981. Raforkuframleiðsla Hitaveitu Suðurnesja hefur verið síðustu árin um 40 -50 GWst. Þar af hefur eigin notkun verið um 10 GWst en afgangurinn hefur verið seldur til Landsvirkjunar.

Hitaveita Suðurnesja hefur sótt um leyfi til virkjunar í Svartsengi og við Eldvörp, allt að 25 MW, til þess að mæta auknum þörfum fyrir raforku á Suðurnesjum, sérstaklega til að mæta óskum laxeldistöðva á staðnum, en hefur fengið synjun Iðnaðarráðuneytisins.

Á tveim öðrum stöðum á landinu hafa verið byggðar litlar mótþrýstistöðvar til þess að þjóna eigin þörfum fyrir raforku, en það er á Nesjavöllum, 350 kW stöð, og hjá Sjóefnsvinnslunni á Reykjanesi, 500 kW stöð. Þessar stöðvar hafa verið reknar í nokkur ár með góðum árangri en ekki liggja fyrir nákvæmar tölur um orkuframleiðslu.

Flokkun á nýtingu jarðhita

Áður en lengra er haldið er rétt að gera sér grein fyrir helstu nýtingarmöguleikum á jarðhita. Almennt má flokka nýtingu jarðhita í fjóra höfuðflokka. Þeir eru:

1. Gufunotkun í þekkta eða áður óþekkta iðnaðarferla.
2. Heitt vatn til upphitunar eða þurrkunar.
3. Raforkuframleiðsla með gufu eða tvöföldu kerfi (binary system).
4. Efnavinnsla úr jarðhita.

Baldur Líndal, efnaverksfræðingur, hefur verið ötull að benda á ýmsar leiðir og möguleika á nýtingu jarðhita og við hann er kennt línurit, sem sýnt er á mynd 3, sem kallað er Línurit Líndals (1973). Aðrir hafa síðar útfært þetta línurit í ítarlegra form, eins og John W Lund (1987) hefur gert, og sýnt er á mynd 4 þar sem bent er á ýmsa möguleika á notkun jarðhita í margvíslegum iðnaði og hvaða hitastig er heppilegt að nýta hverju sinni.

Bein notkun jarðhita erlendis

Í dag er jarðhiti notaður víða um heim á fjölmörgum sviðum eins og fiskirækt, jarðvegshitun, gróðurhúsarækt, þurrkun á korni, jarðefnum, timbri, trjákvöðu og pappír. Í matvælaíðnaði er jarðhiti notaður til þvotta, suðu, uppgufunar, gerilsneyðingar, eimingar, þurrkunar og frystingar á grænmeti, ávöxtum, kryddi og kornmeti. Við efnavinnslu úr jarðhita hefur aðalega verið unninn brennisteinn, bóron, amoníak, kolsýra og salt. Fyrstu notkun jarðhita til iðnaðar erlendis, sem vitað er um, var við Lardarello jarðhitasvæðið á Ítalíu, þar sem vinnsla á bórsýru (boric acid) var hafin fyrir um 170 árum úr jarðgufu og jarðvatni. Útfelling á bóron var notuð til skreytingar á vösum. Einnig framleiddu þeir amoníakefnasambönd þegar fram liðu stundir. Eftir síðari heimstyrjöld lagðist þessi vinnsla mikið til niður, en jarðhitinn var áfram notaður til að vinna úr hráefnum sem voru flutt inn frá Tyrklandi. Um 10 kg/s af gufu eru notuð enn þann dag í dag í þennan iðnað.

Önnur þekkt dæmi um notkun jarðhita til iðnaðar er við Kawerau jarðhitasvæðið á Nýja Sjálandi. Tasman trjákvöðu- og pappírverksmiðjan notar um 50 kg/s af gufu til þurrkunar á timbri, trjákvöðu og pappír. Við Broadland jarðhitasvæðið á Nýja Sjálandi hefur jarðhitinn verið notaður í landbúnaði við gróðurhúsarækt, gerilsneyðingu á jarðvegi og til að drepa skordýr, orma og bakteríur. Einnig hafa 12 bændur slegið saman

og nota jarðhita til þurrkunnar á alfalfa framleiðslunni sinni. Við þurrkunina er loft hitað upp í 135 ° C og til þess þarf 7,2 tonn af gufu til að framleiða 1 tonn af þurrkuðum alfalfa töflum. Árleg framleiðsla er um 1.500 tonn af þurrkuðu alfalfa en afköst verksmiðjunnar er 10.000 tonn. Við Rotokawa vatnið á Nýja Sjálandi eru miklar brennisteinsnámur, sem eru metnar á 20 milljón tonn. Brennisteinninn er unnin þarna með því að skafa þunnan jarðveginn ofan af og brennisteininum er síðan skolað út með heitu vatni. Brennisteinninn er notaður í áburð.

Í Bandaríkjunum er komin nokkur reynsla á notkun jarðhita í iðnaði. Við Brady Hot Spring, sem liggur 80 km austur af Reno, Nevada, er fyrirtæki sem loftþurrkar grænmeti með því að nota 132 °C heitt vatn. Laukur, selja og gulrætur eru meðal þess grænmetis sem þurrkað er, en í framtíðinni er reiknað með að þurrka einnig kartöflur.

Í Klamath Falls, Oregon er mjólkurstöð, líkas til sú eina í heimi sem notar jarðhita til að gerilsneyða mjólk. 6 kg/s af 87 °C heitu vatni hitar mjólkina upp í 77 °C í plötuvarmaskipti úr ryðfríu stáli. Til þess að nýta orkuna betur er mjólkinn kæld að hluta niður með kaldari mjólk, sem á að fara að hita upp. Um 225 tonn af mjólk eru gerilsneydd á þennan hátt í hverjum mánuði. Einnig notar mjólkurstöðin jarðhita til mjólkurísframleiðslu. Nýlega hefur þessi stöð verið lögð niður.

Í Boardman, Oregon er jarðhiti notaður til þurrkunnar á alfalfa. Fyrst er grasið sólþurrkað á hefðbundinn hátt til hálf, þannig að rakinn fer niður í 50- 60 %, en síðan er það þurrkað niður í 10- 15 % í loftþurrkara þar sem heitt loft 100- 120 °C er notað til hraðþurrkunnar til þess að halda gæðum og vítamínum í grasinu. Alfaflað er síðan pressað saman í stöngla. Af öðrum löndum, sem nota jarðhita í iðnaði, má nefna Ungverjaland, Japan, Filipseyjar, Kína, Ráðstjórnarríkin og Rúmeníu.

Í grein eftir Jón-Steinar Guðmundsson (1985) telur hann að heildarnotkun jarðhita í heiminum beint til iðnaðar og upphitunar vera um 7072 MW að afli og 24,0 TWst að varmaorku. Ef notað er nýtt endurmat á jarðhitanothun hér á landi, eins og fram hefur komið hér að framan, og tekið er tillit til þess að eitthvað af notkun jarðhita til

sundlauga og gróðurhúsa er tvítalið í heildarsölu hitaveitna, þá skiptist ársnotkunin þannig milli landa miðað við árin 1984- 86.:

Tafla 6. Bein notkun jarðhita í þeim löndum sem nota meira en 100 MWt

LAND	Afl í MWt	Orka í GWst.
Bandaríkin	339	390
Frakkland	300	788
Ísland	1070	4844
Ítalía	288	1365
Japan	2686	6805
Kína	393	1945
Nýja Sjáland	213	1484
Ráðstjórnarríkin	402	1056
Rúmenía	251	987
Tyrkland	166	423
Úngverjaland	1001	2615
Önnur lönd	142	582

Samtals	7251	23284

Hér er miðað við notkun árið 1986 á Íslandi en við árið 1984 hjá honum, en talsverð aukning hefur orðið síðan á notkun jarðhita til hitunar húsa, í fiskeldi og almennum iðnaði, þannig að ekki er mikill munur á þessum tveim tilfellum.

Raforkuframleiðsla með jarðhita í heiminum

Uppbygging raforkustöðva, sem nota jarðhita óx jafnt og þétt fyrst framan af þessari öld eða um 8.3% á ári að meðaltali frá 1920 til 1978. Eftir það fóru áhrif olíukreppunar frá 1974 að koma betur í ljós og frá 1979 til 1985 óx heildar uppsett afl jarðvarmaraforkuvera um 18% að meðaltali, þó mjög misjafnlega eftir löndum. Mynd 5 sýnir þennan vöxt frá 1979-85. Reikna má með að þessi vöxtur verði ekki eins ör seinni helming þessa áratugs þar sem verðfall á olíu hefur dregið úr áætluðum

framkvæmdum og eru Filippseyjar gott dæmi um það, en þar hefur verulega hefur dregið úr framkvæmdum síðan 1985.

DiPippo (1984 og 1986) hefur safnað ítarlegum upplýsingum um notkun jarðhita til raforkuframleiðslu víða um heim og hefur skrifað nokkrar greinar um þetta efni og vísast í heimildarskrá. Tafla 7 hér að neðan dregur saman fjölda uppsettra véla og heildarafl bæði fyrir árin 1983 og 1985 fyrir mismunandi lönd. Tölurnar fyrir Ísland hafa verið eilítið leiðréttar, þar sem hann gerir sér t.d. ekki grein fyrir því að búið var að leggja stöðina í Bjarnarflagi niður.

Tafla 7 - Fjöldi véla og uppsett afl í jarðvarmaorkuverum í heiminum.

Land	Fjöldi 1983	Fjöldi 1985	Rafafi 1983 MW	Rafafi 1985 MW
Bandaríkin	24	56	1,283.7	2,022.1
Filippseyjar	14	21	593.5	894.0
Mexikó	10	16	205.0	645.0
Ítalía	41	43	457.1	519.2
Japan	8	9	227.5	215.1
Nýja Sjáland	14	10	202.6	167.2
El Salvador	3	3	95.0	95.0
Kenya	2	3	30.0	45.0
Ísland	5	6	36.3	38.9
Nicaragua	0	1	0.0	35.0
Indónesía	3	3	32.3	32.3
Tyrkland	1	2	0.5	20.6
Kína	10	12	8.1	14.3
Ráðstjórnarríkin	1	1	11.0	11.0
Frakkl.(Guadeloupe)	0	1	0.0	4.2
Portúgal(Azores)	1	1	3.0	3.0
Grikkland	0	1	0.0	2.0
Samtals	137	189	3,185.6	4,763.9

Af töflunni má margt læra. Á þessum tveim árum sem sýnd eru hafa Bandaríkin meira en tvöfaldað vélakost sinn og aukið afköstin um tæp 60 %. Filippseyjar, sem byrjuðu að virkja jarðhita um líkt leyti og við byrjuðum á Kröfluvirkjun, juku bæði vélakost og afl um 50 % á þessum tveim árum. Mexikó jók fjölda véla um 60 % en vélaafl rúmlega þrefaldaðist. Þessar 3 þjóðir eru nú orðnar stærstu notendur jarðhita í heiminum, þegar haft er í huga að aðeins um 12 % af orkunni nýtist til raforkuframleiðslu. Nýja Sjáland er eina landið þar sem bæði véllum hefur fækkað og afl hefur minnað. Ástæðan fyrir því er að afköst jarðhitasvæða hafa dalað án þess að ný jarðhitasvæði hafi komið í staðinn. Ísland kemur í 9. sæti 1985 en var í 8. tveim árum áður hvað afl varðar, en var í 8. bæði

árin hvað fjöldi véla varðar. Myndir 6 og 7 sýnir betur hvernig fjöldi vél og afl skiptist milli landa árið 1985.

Niðurstöður

Í þessari grein er gerð úttekt á notkun jarðhita á Íslandi og erlendis miðað við 1986 hér á landi og 1985 erlendis. Í þessari athugun kemur í ljós að jarðhiti er er að mestu nýttur hér til upphitunnar húsa sem er um 80% af notkunni. Gróðurhús og sundlaugar nota til samans um 10% af þeim jarðhita sem er nýttur. Enn er tiltölulega lítill hluti jarðhita nýttur hér á landi til raforkuframleiðslu, sem er öfugt miðað við þá þróun sem hefur orðið víðast annarstaðar. Japan hefur þó stærstu beina notkun jarðhita meðal þjóða en Ísland kemur þar skammt á eftir.

Notkun jarðhita til raforkuframleiðslu hefur vaxið mjög ört síðasta áratuginn, t.d. hefur að jafnaði árleg aukning verið 18% á árunum 1979-1985. Bandaríkin eru lang stærstu notendur jarðhita til raforkuframleiðslu en Filippseyjar koma í annað sæti. Þessi tvö lönd hafa slegið við löndum eins og Ítalíu og Nýja Sjálandi, sem voru stærstu notendur jarðhita til raforkuframleiðslu fyrir um tveim áratugum.

Heimildir

Baldur Líndal - Not af jarðhita og ný tækifæri. Orkuþing, júní, 1981.

Baldur Líndal - Industrial and Other Applications of Geothermal Energy
Geothermal Energy, H.C.H. Armstead (ed.), UNESCO, Paris, France,
1973, s 135-148.

Fjarhitun hf. - Athugun á meðalafþörf snjóbræðslu á Keflavíkurflugvelli.
Skýrsla nr. 011, 1980.

Jón-Steinar Guðmundsson og Guðmundur Pálmason - World survey of
geothermal energy utilization. Orkustofnun, OS81005/JHD-02, 1981.

Jón-Steinar Guðmundsson - Mælingar á hitastigi og rennsli í pípulögnum
í gördum 1980. Orkustofnun, OS82027/JHD-03, 1982.

Jón-Steinar Guðmundsson - Geothermal electrical power in Iceland.
Development in prospective. Energy, V 8, 1983, pp 491- 513.

Jón-Steinar Guðmundsson - Direct use of geothermal energy in 1984,
Proceedings of International Symposium of Energy, Geothermal Research
Council, Davis, California, 1985, pp 19- 29.

John W. Lund - Industrial Applications of geothermal energy. Sérprentun
Háskóla Sameinuðu Þjóðanna, Jarðhitaskóla Orkustofnunnar, 1987.

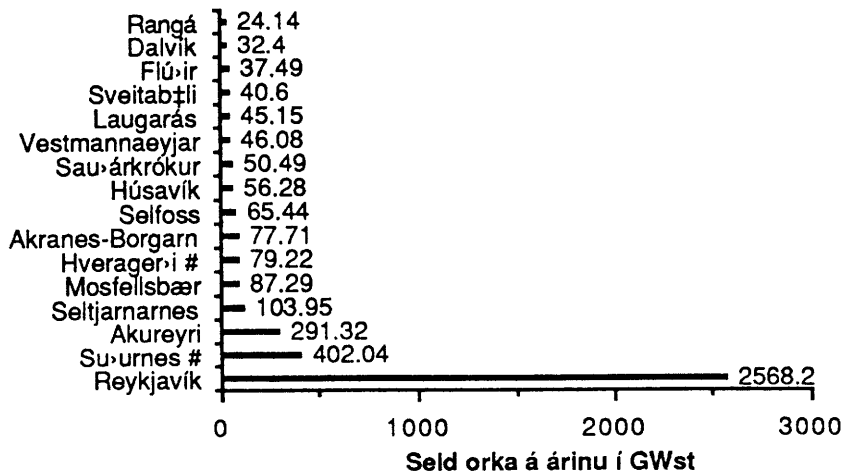
Ronald Di Pippo - Worldwide geothermal power development 1984.
Overview and update. Geothermal Research Council Bulletin, V 13, No 9,
1984, pp 4- 16.

Ronald Di Pippo - Geothermal electrical power, the state of the world -
1985. Geothermal Research Council, 1986.

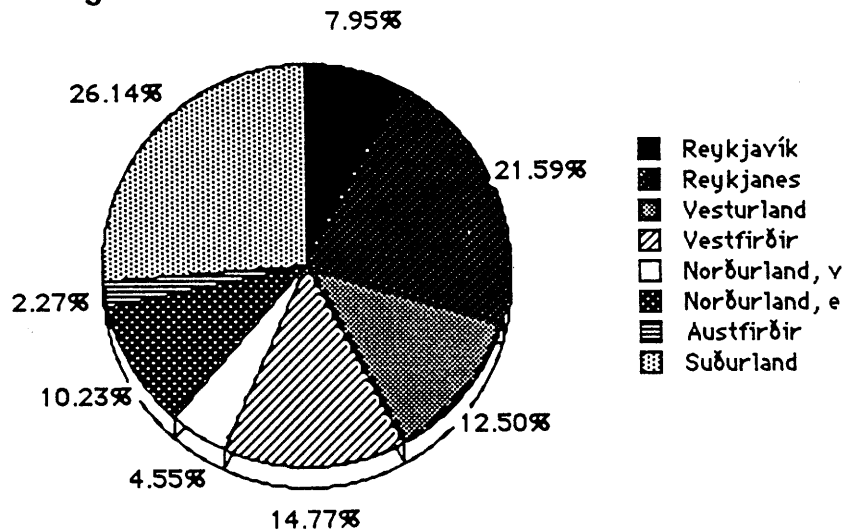
Tafla 1. Sala á heitu vatni hitaveitna 1986.

Sveitafélag	Stofnár	Íbúafjöldi	Hiti °C	Selt vatn þús. m3	Húsrymi þús. m3	Tekjur kkr	Seld orka GWst
Reykjavík	1930	125000	80	48016	29649	991593	2352.78
Seltjarnarnes	1972	3800	82	1800	743	22138	92.40
Mosfellsbær	1943	3700	80	1813	860	23245	88.84
Kjalarneshreppur	1983	400	75	243	130	8505	10.49
Bessastaðahreppur	1980	800	62	237	150	6548	6.64
Suðurnes #	1975	13500	76	7922	4438	406742	351.21
Þorlákshöfn	1979	1100	86	408	303	16085	22.85
Hveragerði #	1952	1500	80	1400	468	15037	68.60
Selfoss	1948	3600	72	1385	750	30737	54.94
Eyrar	1981	1000	65	354	183	17041	11.15
Rangá	1982	1200	77	445	240	26800	20.25
Laugarás	1964	100	93	685	80	2153	43.95
Flúðir	1967	300	96	540	74	2699	36.54
Brautarholt	1979	40	73	32	5	163	1.31
Vestmannaeyjar	1975	4100	75	1026	741	60561	44.29
Akranes-Borgarnes	1980	6700	78	1605	1240	122734	74.90
Reykholar	1974	100	96	34	20	419	2.30
Suðureyri	1977	400	60	240	80	6185	6.16
Hvammstangi	1973	700	78	337	170	9357	15.73
Blönduós	1978	1100	61	459	263	18105	12.32
Sauðárkrúkur	1953	2400	68	1374	676	20938	48.09
Siglufjörður	1975	1700	80	406	290	21253	19.89
Olafsfjörður	1944	1100	58	624	200	9311	14.56
Dalvík	1969	1300	62	1089	320	10349	30.49
Hrísey	1973	300	56	132	75	4423	2.77
Akureyri	1977	13000	78	6017	2750	217804	280.79
Húsavík	1970	2500	80	1109	598	18037	54.34
Reykjahlíð #	1969	300	85	130	77	3239	7.13
Egilsstaðir og Fella	1979	1500	71	469	354	20264	18.06
Sveitabýli	-	1700	80	800	400	20000	39.20
Heild		194940	75	81131	46327	2132465	3832.96

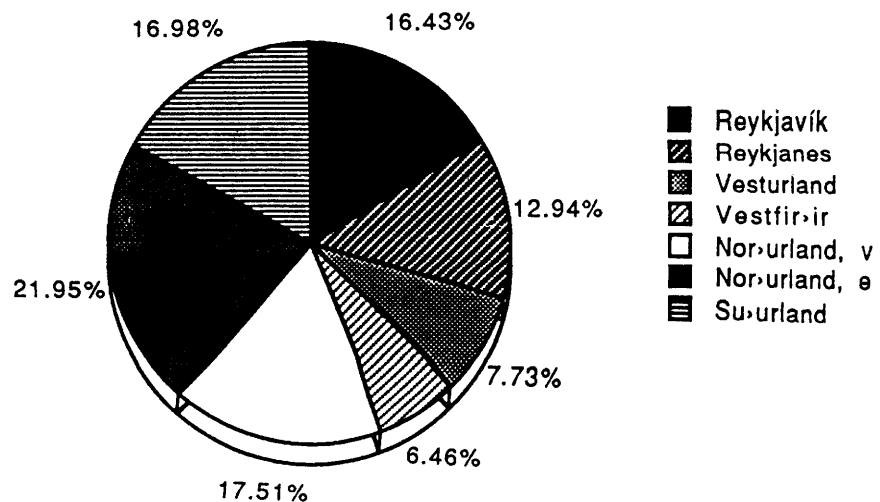
Mynd1 -Stærstu hitaveitur á Islandi 1986

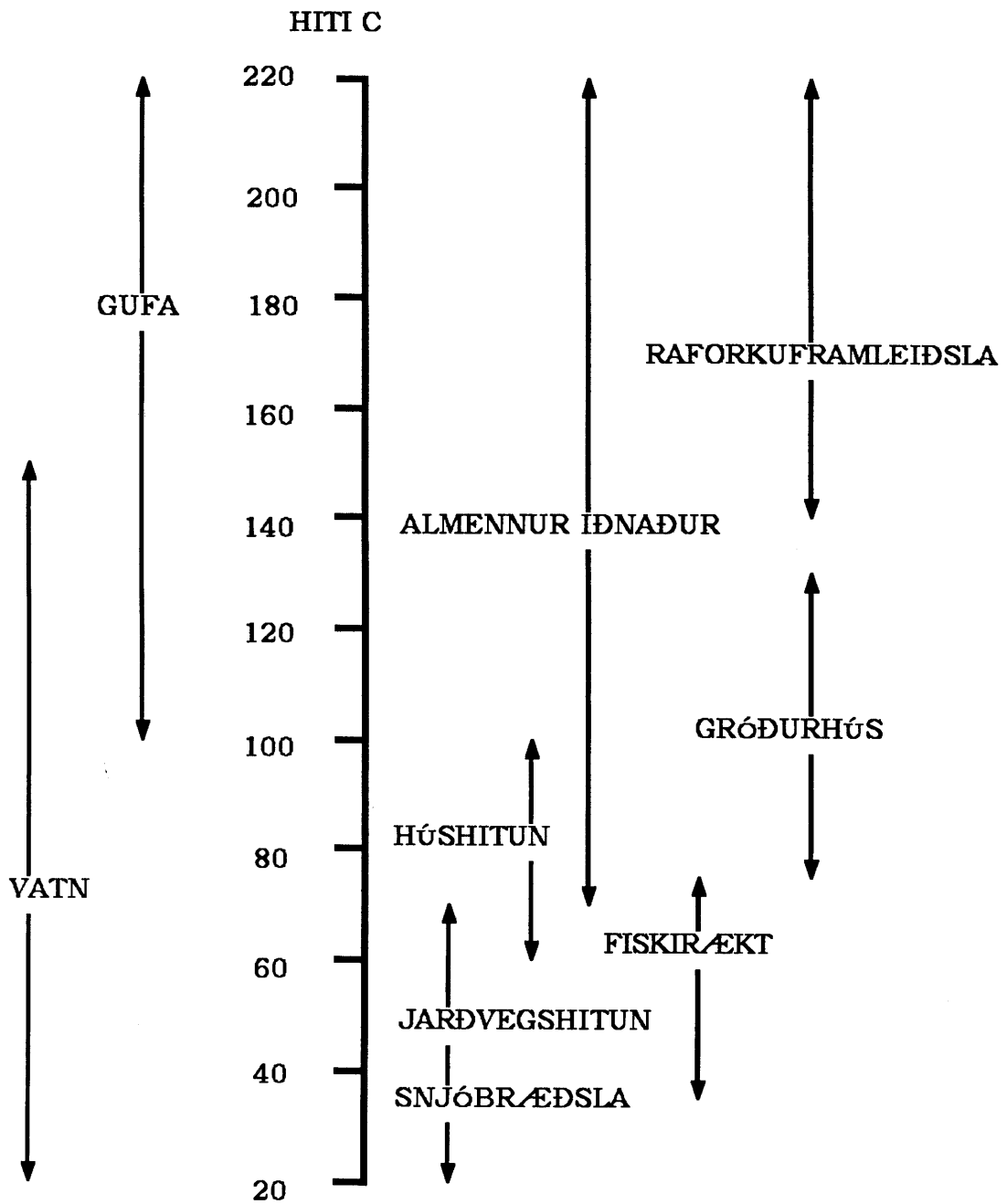


Mynd 2a Dreifing á fiskeldisstöðvum 1986

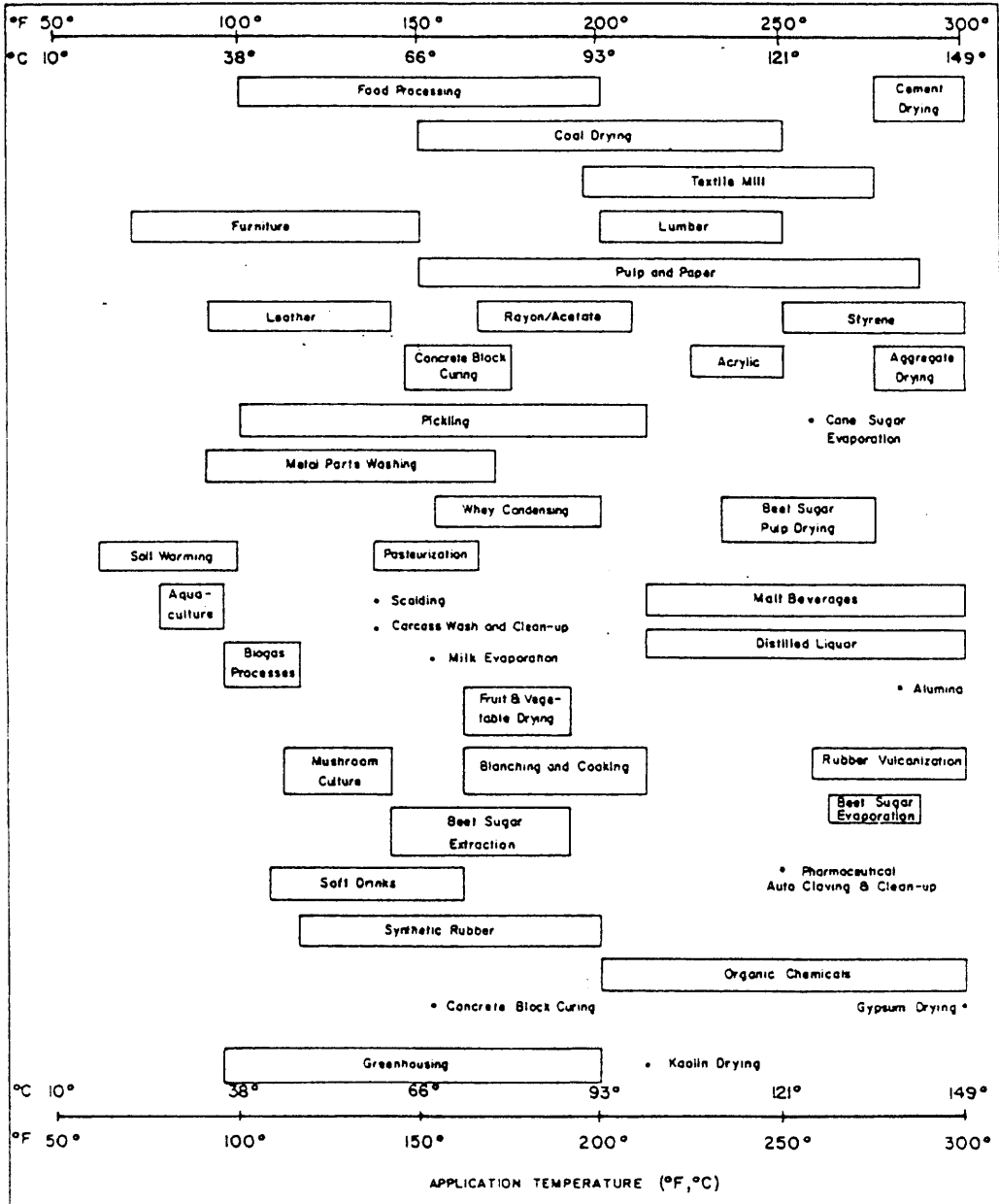


Mynd 2b Hlutfallsleg dreifing á sölu á seiðum



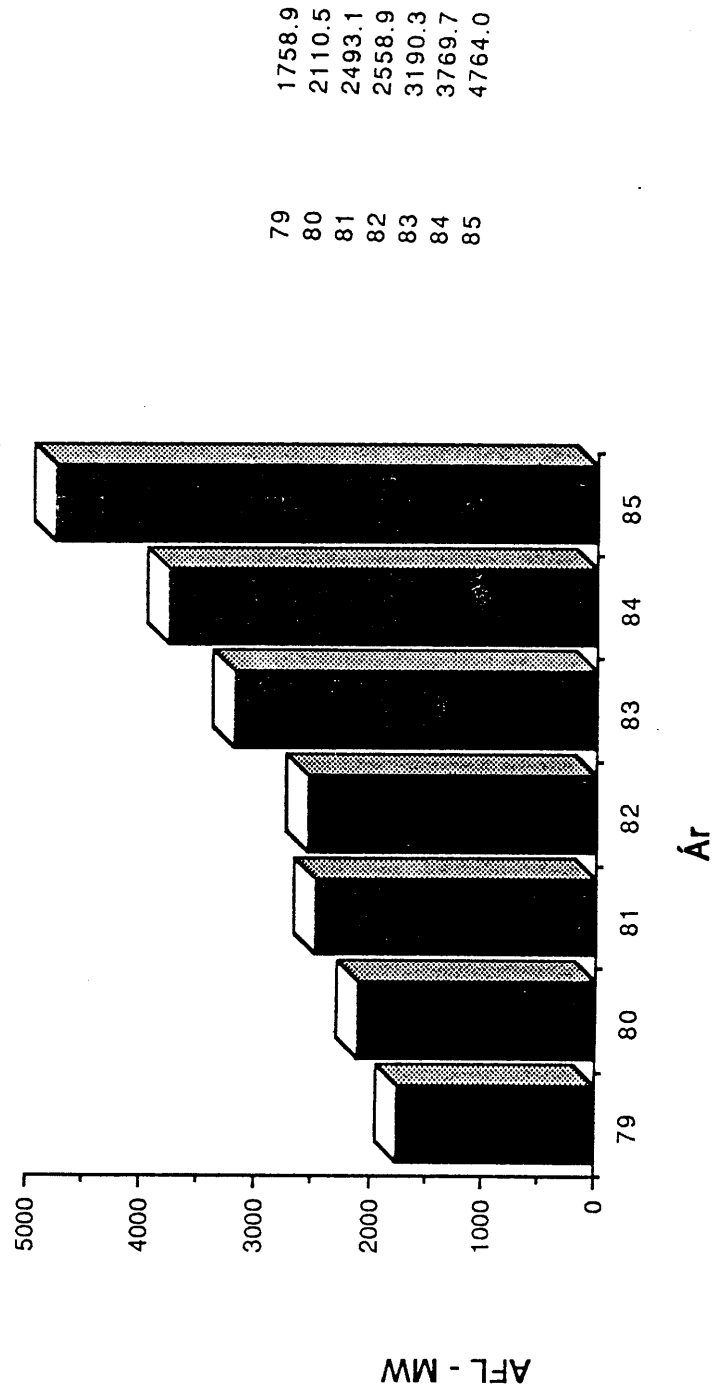


MYND 3 NOTKUNARSVIÐ JARÐHITA - LÍNURIT LÍNDALS

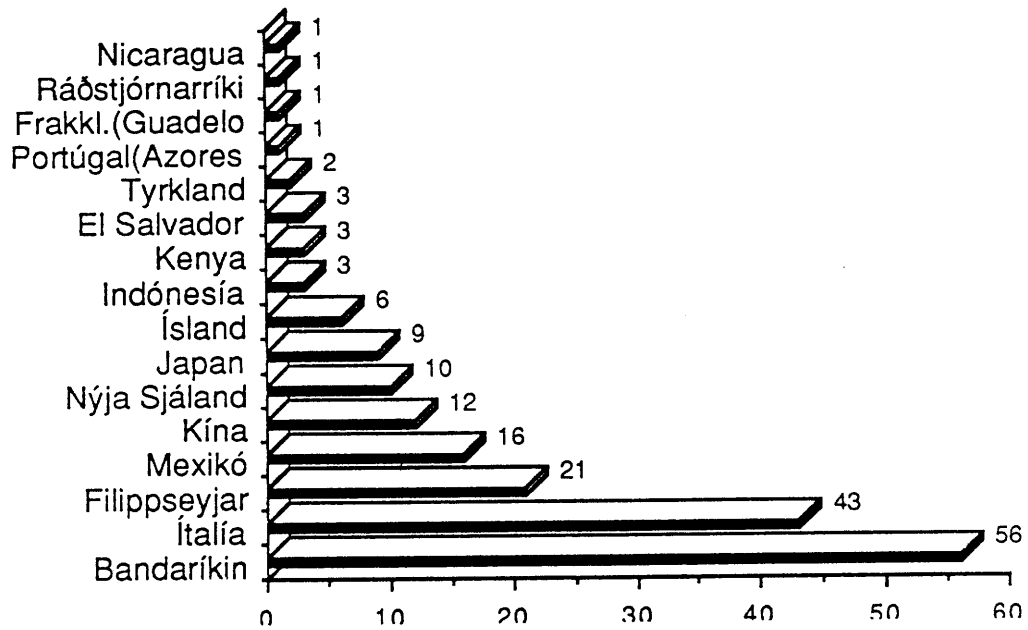


Mynd 4. Notkunarhitastig ýmissa iðnaðar- og landbúnaðarferla.

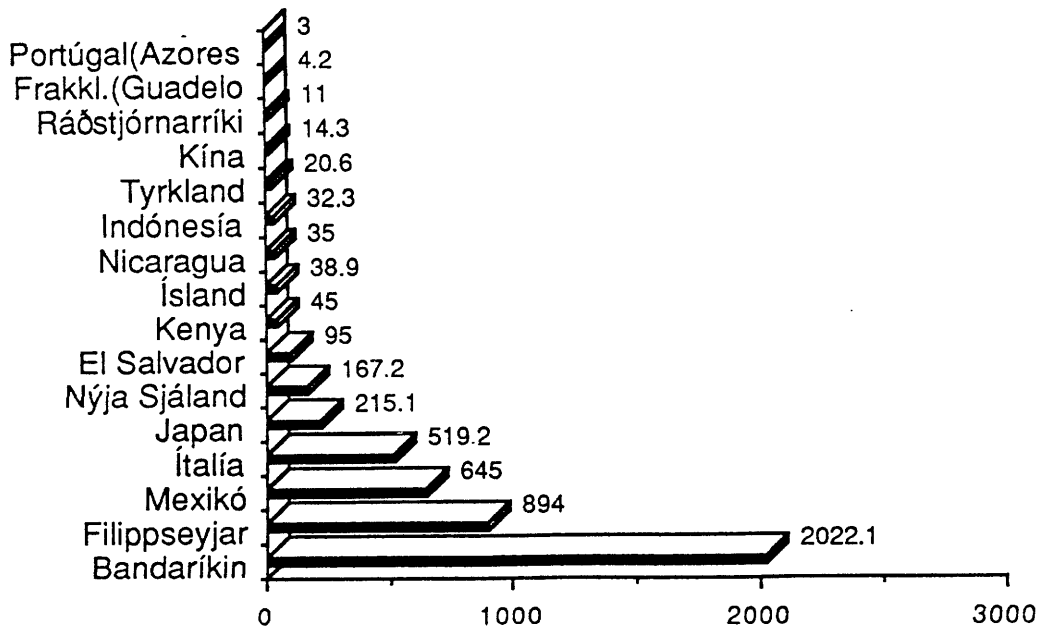
Mynd 5 Heildar rafafi á jarðhita



Mynd 6 Fjöldi véla á jarðhita 1985



Mynd 7 Afl (MW) véla á jarðhita 1985



GUFUVEITUR

Sverrir Þórhallsson

Orkustofnun

INNGANGUR

GUFUVEITUR

NÝTING HÁHITASVÆÐA

ALGENGAR SPURNINGAR

Afköst hola

Hitastig gufu - gufuhluti

Gas í gufu

Útfellingar í gufu - kröfur um hreinleika gufu

Tæring í gufu/þéttivatni

Afhendingaröryggi

Viðhald

FRAMTÍÐARHORFUR

VIÐAUKI A:

Háhitaholur á Íslandi 1987

GUFUVEITUR

INNGANGUR

Nýting jarðgufu hófst á Íslandi fyrir tuttugu árum, þegar gufuveitan í Námafjalli, sem þjónar Kísiliðjunni og Gufustöðinni var tekin í notkun. Fyrir tíu árum hófst rekstur gufuveitna í Svartsengi og Kröflu og nú er unnið að fyrstu áföngum gufuveitu á Nesjavöllum. Minni gufuveitur hafa verið starfræktar lengur og er elsta gufuveitan við Menntaskólaselið 45 ára um þessar mundir, og nýtir hún enn upphaflegu borholuna !

Íslendingar hafa verið á undan öðrum þjóðum í skynsamlegri nýtingu jarðgufu, og hafa hér verið hönnuð og reist orkuver með betri orkunýtingu en þekkist annars staðar. Verðmæti þessarar vinnslu er gífurlegt, en hálf dapurlegt er oft og tíðum að fylgjast með almennt umræðu um óhagkvæmni jarðhitanýtingar, fyrir það eitt að fyrirtækjunum er gert að selja orkuna á eða undir kostnaðarverði, þó svo að hún sé í öllum tilfellum ódýrari en sá orkugjafi sem hún leysir af hólmi.

Í erindi þessu verður fjallað um hversu auðvelt er að nýta jarðgufu, og reynt að miðla þeirri reynslu sem fengist hefur af rekstri á háhitasvæðum. Jarðgufa er ódýrasta orka sem fæst á Íslandi og þrátt fyrir gífurlega hraða undirbyggingu eru enn ónotuð tækifæri á nýtingu hennar og þeim varma sem fellur til við vinnsluna. Leitast verður við að svara algengum spurningum þeirra er hyggjast nýta jarðgufu, og bent á leiðir til að auka hana.

GUFUVEITUR

Alls eru nú (1985) 188 jarðgufuverflar sem framleiða raforku í 17 löndum (4763 MW). Jarðgufa er nær eingöngu virkjuð til raforkuvinnslu, því gufuveitur sem þjóna iðnaði eru aðeins fimm talsins, þ.e. í Námaskarði (Kísiliðjan hf) á Reykjanesi (Sjóefnavinnslan hf), á Nýja Sjálandi í Kawerau (Tasman Paper and Pulp Ltd) Broadlands (alfa-alfa heypurrkun), og í Larderello (bórvinnsla) á Ítalíu. Á þessum stöðum er jarðgufan eingöngu notuð til þurrkunar en aðeins til eimingar hjá Sjóefnavinnslunni og á Ítalíu. Á tveimur stöðum er um nýtingu á þéttvarma útblástursgufu frá gufuhverflum að ræða - í Svartsengi (til hitaveitu) og Piancastagnaio á Ítalíu (gróðurhús).

Hönnun jarðgufuveitna hvort heldur er fyrir raforkuver eða iðnað er mjög svipuð. Frá borholu er vatn og gufa leidd í skilju, þar sem miðflóttarafi og þyngdarsvið hjálpast að við að skilja gufuna frá. Gufuskiljur þessar eru nauðalíkar, og hefur gerð þeirra

tekið litlum breytingum. Þrýsting gufunnar er hægt að ráða við þessa skiljun. Í nokkrum tilfellum er gufan skilin í tveimur þrepum, þ.e. vatn frá fyrstu skilju er sett í aðra skilju við lægri þrýsting og myndast þá viðbótargufa.

Nokkuð er misjafnt hvar gufuskiljum er komið fyrir. Eldri stöðvar hafa gufuskiljur við hverja holu, en þær nýrri safna saman úr nokkrum holum í eina eða fleiri skiljustöðvar. Þessar skiljustöðvar eru ýmist við stöðvarvegg, eða í nokkur hundruð metra fjarlægð frá stöð. Kostur við síðari tilhögunina er að tvífasalagnir (tvífasí=vatn+gufa) frá holu að skilju verða styttri og löng gufulögn fellir örsmaa dropa sem skiljan nær ekki. Þetta er af mörgum talið ákjósanlegasta fyrirkomulagið.

Á nokkrum háhitasvæðum erlendis (og hola 12 Kröflu) er eingöngu gufa sem kemur úr holunum, og þá þarf að vera skilja til að taka ryk sem berst með gufunni. Í slíkum tilfellum hefur stundum verið gripið til þess ráðs að "skrúbba" gufuna með því að blanda vatni úr blautri holu saman við, eða þá þéttivatni.

Við hönnun gufuveitna þarf að gæta streymis í tvífasalögnum (tvífasí = vatn+gufa), og er yfirleitt séð til þess að leiðslur liggi ekki upp í móti til að fyrirbyggja púlserandi streymi (slug). Hraðinn í slíkum lögnum er yfirleitt hafður 20-40 m/s, þannig að streymið er "annular", þ.e. vatnið er á veggjum lagnanna og þá mest neðst og gufan streymir í miðju rörsins. Í flestum tilfellum er rúmmálshlutfall gufunnar í yfirborðslögnum um 98% á móti 2% fyrir vatn. Í gufulögnum eftir skilju er gufuhraðinn 20-40 m/s, þetta fer þó nokkuð eftir aðstæðum en þrýstifall við hönnun er yfirleitt haft 5-10 mmVS/m.

Gufuveitur á Íslandi hafa verið reistar á eftirfarandi stöðum

1. Námafjall 1967 - Kísliðjan hf, Gufustöðin og Léttst.
3. Krafla 1976 - Kröfluvirkjun
4. Svartsengi 1976 - Hitaveita Suðurnesja
5. Reykjanes 1982 - Sjóefnavinnslan hf. og Strandir hf.

Litlar gufuveitur eru á nokkrum stöðum á landinu en gufuþrýstingur í þeim er lágur. Litlum gufuskiljum er komið fyrir við holur eða gufan fönguð með því að setja hjálm yfir gufuhveri. Gufan er þá leidd í gróðurhús og íbúðarhús til upphitunar og athyglisvert er að gufan er notuð til að sjóða mat í stórum gufupottum á fjórum stöðum. Þessar gufuveitur eru á svæði nærri Hveragerði (Hæli Nátturulækningfélags Íslands, Gufudalur, Reykjakot, Öxnalækur) í Ölfusinu (Bakki, Hlíðardalsskóli), í Reykoltsdal (Reykholt, Kleppjárnsreykir), á Laugarvatni og á Hveravöllum/Bláhvammi í Reykjahverfi.

NÝTING HÁHITASVÆÐA

Á Íslandi eru 18 þekkt háhitasvæði og hafa nokkrar skýrslur Orkustofnunar fjallað um jaðhitamat þeirra og stöðu rannsókna. Í viðauka er tafla yfir allar háhitaholur á Íslandi, dýpi, rennsli, varmainnihald, ástand/bilun.

Tafla 1. Vinnsla háþrýstigufu á Íslandi 1986

	Þrýst. (bar abs.)	Háþrýstigufa þús. tonn
1. Námafjall	12	980
2. Krafla	7	1845
3. Reykjanes	11	300
4. Svartsengi	6	1770
5. Nesjavellir	7	(6200)
Samtals		11095

ALGENGAR SPURNINGAR:

Leitast verður við að gefa svör við algengum spurningum þeirra sem hyggja á nýtingu gufu.

Afköst hola

Oft er spurt að því hve mikla orku eða gufu megi fá úr einstaka borholu. Nýjar holur eru afkastamældar við mismunandi mótþrýsting, þ.e. holutoppþrýsting, sem gert er með því að opna holulokann í áföngum. Mældur er þrýstingur við útstreymisop (kallaður krítiskur þrýstingur) og vatnsrennsli frá skilju. Út frá þessum upplýsingum er reiknað massastreymi vatns+gufu (kg/s) og heildarvarmainnihald (kJ/kg). Eftir að hola er komin í notkun er hægt að reikna út rennslið um gataplötu (orifice) við holutopp ef þrýstingurinn fellur um meir en helming (krítískt þrýstifall). Afköst virkjaðra hola hafa einnig verið mæld samhliða vinnslu, með því að mæla gufustreymi með "orifice" eða "pitot" aðferð.

Holur hafa sína einkennsiferla hvað afköst varðar, þ.e. massastreymi vs. holutoppþrýsting. Má líkja þeim við "dælukúrfur" sem eru mis "flatar". Á mynd 1 eru sýndir nokkrir afkastaferlar fyrir holur á Íslandi, sem sýna hve misjafnir þeir geta verið. Algengast er að holustreymið aukist við lægri þrýsting, en þar sem innrennsli í holur er takmarkandi geta afköstin orðið nær óháð holutoppþrýstingi (Námafjall).

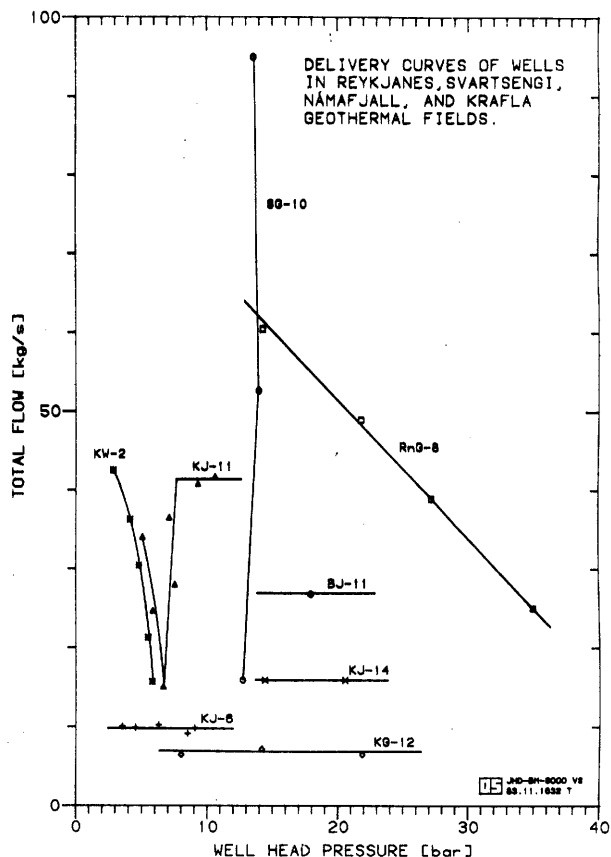
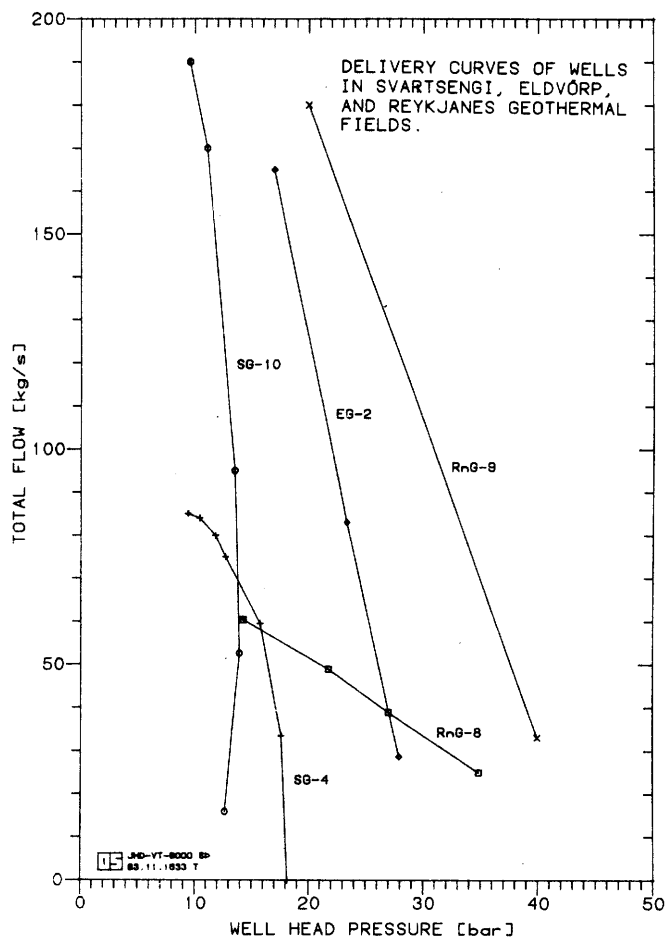
Holur á Reykjanesi hafa reynst með þeim gjöfulustu sem mælst hafa, með um 180 kg/s rennsli af vökva með 1300 kJ/kg varmainnihald. Þetta rennsli nægir til vinnslu á 24 MW af raforku, en varmaorkan er tífalt meiri. Í daglegum rekstri t.d. í Svartsengi er tekið um 1/3 af hámarksrennli úr holunum. Hæstan þrýsting sem hola getur gefið í blæstri er háður hámarkshita. Í holum sem hafa vatn+gufu má áætla hann út frá jöfnunni (R. James 1970):

$$C = 99,75 * P_m^{0,283}$$

C = Hitastig °C

P_m = Mestur holutoppþrýstingur
í blæstri (MDP), bar

Jafnan gildir fyrir 8 < P_m < 80



Mynd 1. Dæmi um mismunandi afkastaferla fyrir holur

Hitastig gufu - gufuhluti

Beint samband er milli hitastigs gufu og þrýstings, enda er jarðgufa oftast það sem nefnt er "mettuð gufa" (sjá gufutöflur). Sem dæmi má nefna að við 5 bar abs. er hitastig gufunnar 152°C og við 12 bar abs. 188°C. Verði gasstyrkur í gufunni hár lækkar hitastigið nokkuð vegna áhrifa frá hlutþrýstingi gassins.

Hve hátt gufuhlutfallið er í hverri holu fer eftir varmáinnihaldinu og þeim þrýstingi sem aðskilnaður gufunnar fer fram við. Við lægri þrýsting myndast meiri gufa. Sem dæmi má nefna að gufuhluti hola í Svartsengi sem er með varmáinnihald 1040 kJ/kg er 0.177 við 6 bar abs. þ.e. 17,7 % af heildarmassatreyminu er gufa og þá 82,3% vatn.

Til að reikna gufuhlutann þarf aðeins upplýsingu um varmainnihald vökvans í holunni (sjá viðauka A) og hefðbundnar gufutöflur því uppleyst steinefni og gös hafa óveruleg áhrif á þessa útreikninga. Á Orkustofnun hefur undirforritið "STEAM" verið samið en það gefur alla eðliseiginleika samkv. gufutöflum. Einfalt er að reikna gufuhlutann fyrir "isenthalpíska suðu" út frá jöfnunni:

$$X = \frac{H-h'}{r}$$

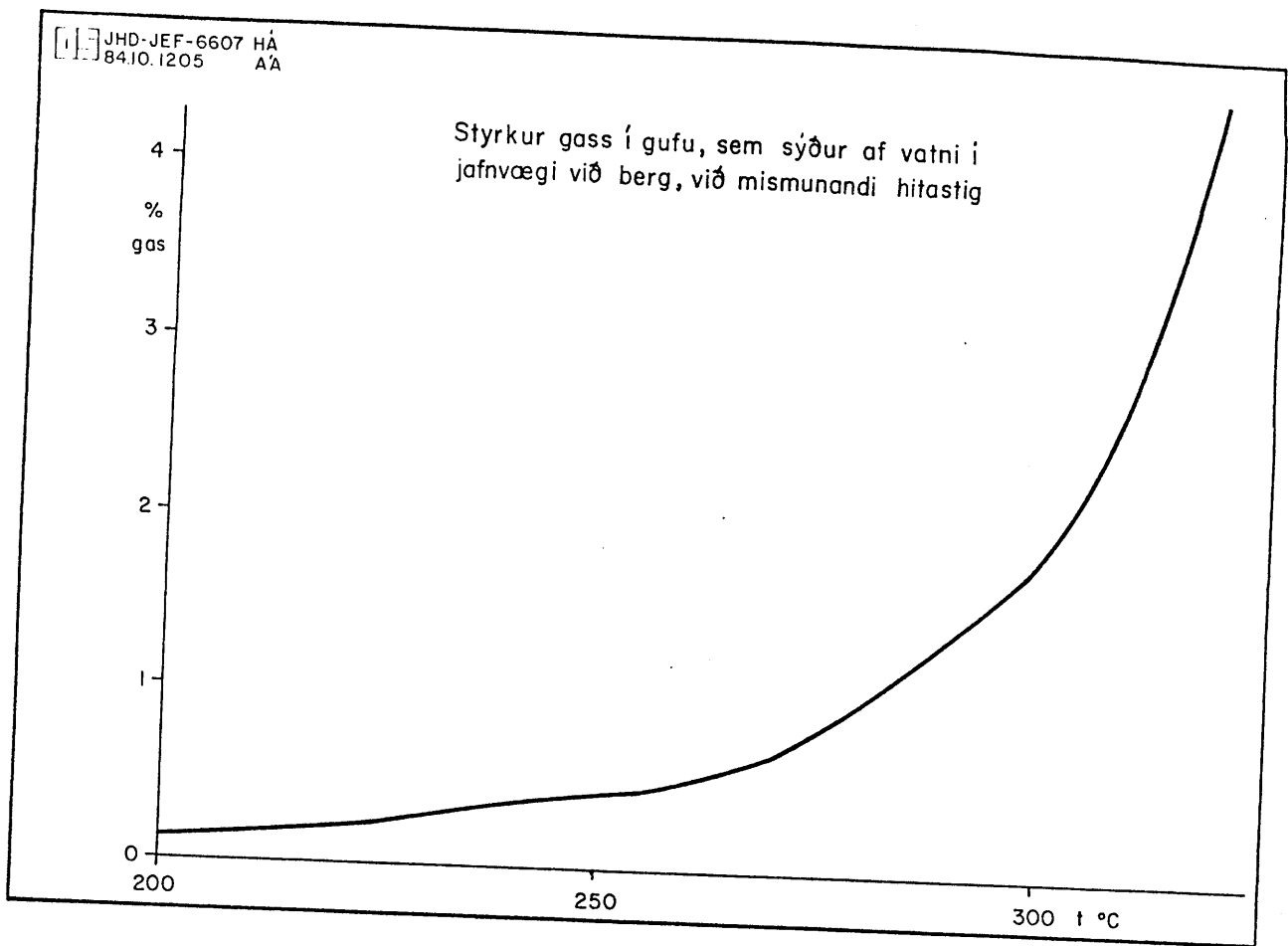
H = heildarvarmainnihald vatns og gufu sem streymir úr holunni (kJ/kg)
h' = varmainnihald vatns við skiljuþrýsting (kJ/kg)
r = uppgufunarvarmi(þéttivami) við skiljuþrýsting (kJ/kg)

Gas í gufu

Við skiljun vatns og gufu verða öll steinefnin eftir í vatnsfasanum, en gösin flytjast alfarið yfir í gufufasann. Þetta hefur mikla þýðingu í sambandi við nýtingu jarðgufu. Þetta þýðir að steinefni sem valda útfellingum er nánast ekki að finna í gufunni, en aftur á móti eru í gufunni öll þau hveragös sem úr holunni koma. Jarðgufan er því hrein vatnsgufa og þarf því eingöngu að taka tillit til gassins við nýtingu hennar.

Gasið er "ópéttanlegt" þ.e. það heldur áfram að vera lofttegund, þótt gufan sé þétt. Þetta veldur sérstökum vandamálum við nýtingu þar sem varminn er nýttur og gufan þétt, því tækin geta fyllst af gasi, þó svo að þéttivatni sé tappað af. Ekki er óalgengt að fyrir hvern lítra af þéttivatni þurfi að fjarlægja einn lítra af gasi. Því þarf t.d. að breyta hefðbundnum varmaskiptum til að losa þá við gasið. Það má segja að sé þessi breyting gerð er hægt að nýta jarðgufu á hvaða gufutæki sem er. Oft nægir einfaldlega að láta gataplötu ("orifice") með litlu gati í þéttivatnslögnina við varmaskiptinn og sleppa gufugildrum.

Gas í jarðgufu er mismikið eftir svæðum og stundum innan þeirra, en með fáum undantekningum fer styrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis eingöngu eftir hitastigi holunnar. Mynd 2. sýnir þessa fylgni koldíoxíðs og brennisteinsvetnis í gufu við hitann. Gas í borholum er CO₂, H₂S, H₂, CH₄, N₂ en stærstur hluti þess er koldíoxíð sem er yfirleitt 90-98% af massa gassins. Gashlutfallið fyrir nokkur háhitasvæði er reiknað í gufu við 6 bar abs. Þrýsting og niðurstöður sýndar í töflu 2. Við lægri þrýsting er gasstyrkurinn nokkru lægri, enda er viðbótargufan sem myndast við frekari suðu gaslaus og "þynnir" því gasið. Í Svartsengi er gufa skilin í tveimur þrepum, og er gufan sem skilin er í seinna þrepi við undirþrýsting svo hrein og gassnauð að henni er blandað beint í vatnið (bein hitun).



Mynd 2. Gasstyrkur í gufu sem fall hitastigi í jarðhitasvæði

Tafla 2. Gas í jarðgufu

Staður	Gas % af massa
Krafla, Leirbotnar efra kerfi (200-240°C)	0,1-0,3
Krafla, Suðurhlíðar, Hvíthólar, Leirbotnar neðra kerfi, ómengað (250-300°C)	0,3-4
Krafla, Leirbotnar, neðra kerfi, kvikugös	1 - 15
Námafjall, fyrir gos í Kröflu (200-250°C)	0,02-0,03
Námafjall, við gos	0,1
Námafjall, holur 11 og 12 (280-300°C)	0,2-0,3
Svartsengi (240°C)	0,2-0,4
Svartsengi, hola 10 eftir að hún þornaði	2 - 12
Reykjanes	0,8

Útfellingar í gufu - kröfur um hreinleika gufu

Áhyggjur af útfellingum í jarðgufu eru algengar hjá þeim sem hyggjast nýta jarðgufu. Þetta er ástæðulaus ótti því eins og áður er getið fara steinefnin burt með vatninu úr gufuskiljunum. Einu steinefnin sem gufan ber með sér finnast í örsmáum vatnsdropum sem berast með gufunni úr gufuskiljunni. Miklu máli skiptir því að skiljunýtnin sé góð, þannig að meðburður í gufunni

sé lítill. Krafa um að skiljunýtni sé 99,95% er algeng krafa, en nauðsynleg nýtni ræðst af kröfum um hreinleika, þ.e. steinefni í gufunni. Í töflu 3 eru sýndar kröfur sem EPRI í Bandaríkjunum gefur upp sem mörk fyrir hreinleika fyrir túrbínur. Hér á landi er skiljunýtni yfirleitt ákvörðuð með því að mæla natríum (Na) í gufunni. Bilun í vatnshæðarstýringu, of mikill gufuhraði, hrjúfleiki í skilju o.fl. geta orsakað lélega skiljunýtni og er gott eftirlit með henni því forsenda þess að útfellinga gæti ekki í gufukerfinu. Í Kröflu er talið óæskilegt að Na fari yfir 0,1 mg/kg, en í skiljuvatninu er styrkurinn um 180 mg/kg. Í Svartsengi mældist kísill í gufunni 0,03 mg/kg, en 4-18 mg/kg í skriðvatni í gufulögninni að gufuhverfli. Í nokkrum gufuveitum er gufan hreinsuð eftir skiljun með því að leiða hana í geng um vírmottur (de-mister), en þar sem gufulagnir eru lengri en ca. 400 m þarf þess ekki.

Útfellingar í gufunni verða eingöngu þar sem uppgufun á örsmáum meðburðardropunum á sér stað, eins og í inntaksþrepi gufuhverfla, og þar sem þrýstingur er felldur í lokum. Gufutúrbínur þarf víðast hvar að hreinsa 1-3 hvert ár, og eru útfellingarnar mestar í inntaksþrepi.

Í varmskiptum þar sem gufa er þétt eru engar útfellingar. Í gufulögnum eru aldrei útfellingar. Nauðsynlegt er þó að hafa fínar síur með vírneti í gufulögnum framan við tækin, því ávalt losnar járnhúð og ryð í nýjum lögnum og þegar lagnir eru kældar.

Tafla 3. Kröfur um hreinleika jarðgufu (EPRI)

	Kísill SiO ₂ (mg/kg)	Uppleyst steinefni (mg/kg)
ÆSKILEGT (kröfur fyrir gufu úr kötlum)	0,02	5
LEYFILEGT (lítill skeljun, minna en 10% aflrýrnun á 2 árum)	0,1	15
VAFASAMT (20% aflrýrnun á 1 ári)	1,0	50

Tæring í gufu/þéttivatni

Ótti við tæringu í gufulögnum úr stáli er ástæðulaus, sé þeim haldið heitum. Þéttivatnið er aftur á móti súrt (um pH 4) og þurfa þéttivatnslagnir því að vera úr ryðfríu stáli. Varmskiptar geta verið úr stáli, en algengt er að þeir séu úr ryðfríu stáli eða jafnvel títan-málm ef um plötuvarmaskipta er að ræða. Kopar varmaskiptar þola ekki brennisteinsvetnið í jarðgufunni og eru kopar- og silfurlageringar bannvara í efnisvali.

Í vetur verður sérstakt endurmenntunarnámskeið haldið á vegum H.Í. um málm-tæringu í jarðhita og verður því ekki fjallað frekar um þetta hér, en vonandi hafa þessar upplýsingar dregið úr ótta manna um tæringarvandamál við nýtingu jarðgufu - hún er jafnvel betri en gufa úr hefðbundnum kötlum !

Afhendingaröryggi

Áhætta af völdum jarðskjálfta og eldsumbrota verður ekki umflúin við virkjun háhitasvæða. Þrátt fyrir þessa áhættu og reynslu af Kröflu ætti hún ekki að fæla menn frá framkvæmdum. Þótt hrun kæmi fram í öllum holum gufuveitunnar í Námafjalli, og jafnvel eldgos í holu 4, tókst að afhenda Kísiliðjunni gufu allan umbrotatímann. Gufulögnin lengdist um 1 m, og jarðsig varð á leiðslustæðum, en án þess að gufulagnir rofnuðu. Umbrotin í Kröflu laskaði nokkrar holur, en gasaukning og breyting á efnasamsetningu jarðhitavökvans voru afdrifaríkari en menn gerðu sér grein fyrir í fyrstu. Gasaukning varð í efra svæðinu, sem magnaði útfellingavandamál. Gasstyrkurinn hefur farið lakkandi og því sýnt að áhrifin ganga all hratt yfir. Jarðskjálftar á Reykjanesi hafa valdið vatnsborðshækkun í holum, og breytingum á yfirborðsvirkni jarðhitans, en ekki röskun á gæfni hola.

Ef loka þarf fyrir holu eða að hún laskast, verður ekki beinn gufuskortur. Þrýstingurinn lækkar einfaldlega í gufuveitunni og við það kemur meira úr hinum holunum og gufuhlutinn verður stærri. Óvæntar bilanir eru sárafaár og stöðvun gufuafhendingar hefur aldrei komið til.

Viðhald

Árlegur viðhaldskostnaður af borholum og mannvirkjum á jarðhitasvæðum er á bilinu 2-4% af stofnkostnaði. Á nokkrum háhitasvæðum er nauðsynlegt að hreinsa kalktappa sem myndast í holunum reglulega með bor. Mikilvæg þróun átti sér stað hér á landi þegar unnt varð að hreinsa holurnar í blæstri. Það vill segja að svarfið berst úr holunum, og ekki þarf að "kæfa" holurnar með köldu vatni sem eykur áraun á fóðringarnar við hitaþenslu.

Daglegur rekstur felst í að fylgst er með holunum viðhald á öryggislokum og stjórnlokum og að fást við gufuleka. Algengast er að einn starfsmann þurfi við daglegan rekstur gufuveitna, en í nokkrum tilfellum hefur verið nóg að hafa mann í hálfu starfi eða minna. Því er ljóst að gufuveitur eru ákaflega þegar í rekstri. Þrátt fyrir fá óvænt atvik í rekstri er þó margt sem ber að varast í rekstri sem þessum og það einmitt í óvæntum atvikum sem reynsla og þekking starfsmanna á eðli háhitahola kann að breyta. Af þessum sökum verður hér ávalt um frekar sérhæfð störf að ræða, þótt þau séu ekki tímafrek.

FRAMTÍÐARHORFUR

Á næstu árum verða framkvæmdir við gufuveitur fyrst og fremst á Nesjavöllum í tengslum við þá virkjun sem Hitaveita Reykjavíkur er að byggja. Uppi eru áform um gufuveitu til Grindavíkur frá Svartsengi til að þjóna fiskimjölsverksmiðjunni þar og með aðra iðnaðarnotkun í huga. Í Hveragerði hefur verið skipulagt iðnaðarsvæði í Ölfusdal á sléttunni ofan við hverinn Grýtu. Svæði þetta er ákjósanlegt fyrir fyrirtæki er vilja nýta gufu úr

holum sem boraðar voru fyrir 26 árum en eru enn í góðu lagi. Aðeins þarf að leggja 400 m langa gufulögn frá holunum. Áhugi er hjá fyrirtæki sem hyggst framleiða gipsplötur að setjast að þar. Í athugun er virkjun gufu í Trölladyngju til að hita vatn til fiskeldis, og er stefnt að framkvæmdum þegar á næsta ári. Það verður ekki fyrr en að gufa fæst "keypt af stút" að vanta má að aukning verði í notkun í iðnaði og landbúnaði. Þetta atriði hefur staðið í veginum fyrir því að smáfyrirtæki hafa ekki nýtt sér þennan ódýrasta orkukost landsins.

Háhitasvæðin á SV horninu eru best fallin til nýtingar á jarðgufu til annarra nota en raforkuvinnslu. Þar eru fjarlægðir frá núverandi þéttbýli nokkur þröskuldur. Orkustofnun lét gera ítarlega könnun, fyrir fjórum árum síðan, á tæknilegum forsendum fyrir flutningi gufu langar leiðir. Af mörgum er talið að nauðsynlegt sé að nýta jarðgufu innnan 1 km frá holu, en þessi könnun sýndi að flutningur jarðgufu allt að 10 km kemur til álita og lengra ef þjöppun er notuð. Síðasta skiljan af þremur fjallaði um flutning gufu frá Þeistareikjum til Húsavíkur (30 km), frá Hengli til Reykjavíkur (32 km) og frá Trölladyngju til Straumsvíkur (10 km). Í skýrslunum eru einnig settar fram almennar forsendur og því má enn nýta efni þeirra við mat á þessum möguleikum.

Orkuspárnefnd er nú að gefa út orkuspá fyrir jarðhita fram til ársins 2015. Í þeirri spá er ekki komið auga á þá möguleika að stórauka jarðgufunýtinguna, aðeins gert ráð fyrir 200 þús. tonna gufunotkun árið 2000 í Grindavík (minna en Kísiliðjan notar) og aukningu hjá Sjóefnavinnslunni. Í skýslunni segir "Að mati Orkuspárnefndar er ólíklegt að á næstu árum muni koma til nýr orkufrekur iðnaður sem notar jarðhita". Vonandi er að þessi spá standist ekki. Á síðast liðnum tuttugu árum hefur gufuvinnslan farið úr nánast engu í yfir 10 milljón tonn á ári - það að sáralítil aukning verði næstu tuttugu árin er óhugsandi. Þessu verður ekki breytt fyrr en fjöldanum verður veittur aðgangur að jarðgufu frá gufuveitum - þá spretta upp gróðurhús á Reykjanesi sem jafnvel framleiða eigin raforku til lýsinga, þá setjast ný fyrirtæki að í Hveragerði, fjölbreytt úrvinnsla fiskafurða dafnar í Grindavík, raforka fyrir Suðurnesin kemur frá Reykjanesi, fisekeldisfyrirtæki nýta sér ódýra gufu til að framleiða raforku og til hitunar bæði fyrir norðan og sunnan og því ekki að leiða gufu frá Kolviðarhól í átt að nýju athafnasvæði ofan við Reykjavík? Næstu tuttugu árin gætu orðið betri en þau sem liðin eru!

ORKUSTOFNUN JHD
14. nóvember 1987
S. Þórh.

HÁHITAHOLUR Á ÍSLANDI 1987

Ár boruð	Holu númer	Dýpt (m)	Hiti (°C)	Varmi (kJ/kg)	Rennsli (kg/s)	Aths.
<u>KRAFLA</u>						
1974	1	1138	298			Ónýtt fóðr. skemmd 45 m
1974	2	1204	220		40	Ónýtt fóðr. skemmd 60 m
1975	3	1740	320			Ónýtt fóðr. skemmd 75 m
1983	3A	985	210	990	25	Opin niður á 45 m
1975	4	2002	314			Ónýtt, myndaði gíg, "blow-out"
1975	5	1299	312	900	19	Í notkun, fóðr. sk. 41 m
1976	6	2000	344	1200	7,0	Ekki notuð
1976	7	2165	344	1320	7,7	Í notkun, fóðr. sk. 850 m
1976	8	1658	304			Ónýtt, fóðr. skemmd 180 m
1976	9	1101	215			
1977	9	1263	290			
1982	9	1280	260	1000	36	Í notkun
1976	10	2082	320			Útfelling > 800 m
1976	11	2217	320	1850	5,0	Í notkun
1978	12	2222	340	2676	3,2	Í notkun, fóðring 1100 m
1980	13	2050	340			
1983	13	1780	330	2500	6,3	Í notkun
1980	14	2107	340	2640	12,2	Í notkun
1980	15	2097	340	2676	4,0	Í notkun, fóðr. skemmd 1000 m
1981	16	1981	280	1600	5,0	Í notkun
1981	17	2190	290	1500	11,0	Í notkun
1981	18	2215	280			Ekki nýtt
1982	19	2150	340	2676	9,6	Í notkun, fyrirst. 495 m
1982	20	1823	305	1700	13,5	Í notkun, fyrirst. 600 m
1982	21	1200	260	1600	42	Í notkun
1983	22	1877	260	1180	21	Í notkun
1983	23	1968	250			Ekki nýtt

NÁMAFJALL

1963	1	265				
1965	1	324,4	228		16	Steypt í holuna
1963	2	431				
1965	2	491	246		35	Ekki notuð
1966	3	683	265		12	Hrunin
1968	4	1138	281		45	Í notkun, hrunin í 627 m
1969	5	637	252			Hrunin í 601 m
1969	6	1193	275		5	Hrunin í 512 m
1969	7	1206	289	1288	52	Hrunin í 400 m
1970	8	1312	274	1093	44	Hrunin í 223 m
1970	9	1312	253	1270		Hrunin í 850 m
1975	10	1809	296	2306	90	Steypt í holuna
1979	11	1923	320	2340	24	Nýtt af Kísiliðju og Gufust.
1980	12	1960	310		19	Nýtt af Kísiliðju og Gufust.

ORKUSTOFNUN JHD
framh.

Ár boruð	Holu númer	Dýpt (m)	Hiti (°C)	Varmi (kJ/kg)	Rennsli (kg/s)	Aths.
-------------	---------------	-------------	--------------	------------------	-------------------	-------

ÖLFUSDALUR

1958	1	982	232	ekki mæld		Borstengur í holunni
1958	2	400	188	796	105	Í notkun
1958	3	652	209	926	85	Í lagi
1958	4	692	184	784	65	Í notkun
1960	5	1206	186	ekki mæld		Full af borleðju
1960	6	661	218	990	52	Í lagi
1961	7	831	224	890	33	Í lagi
1961	8	249	216	884	75	Til sýnis og tilrauna

HVERAGERÐI

1957	1	130	181		14	Í notkun
1959	2	311	176		14	Í notkun
1963	3	245	184		8	Í notkun
1968	5	350			5	Í notkun
1981	6	1000			16	Í notkun
1964	NLFÍ 1	838			24	Í notkun
1967	NLFÍ 2	190	168		10	Í notkun
1964	ASÍ 2	487				Í notkun

NÁMASKARÐ

51-54 1-15 627 alls

KRÍSUVÍK

vantar

Ath.

Afkastamælingar og ákvörðun varmainnihalds er í mörgum tilfellum byggt á mælingum sem gerðar eru skömmu eftir borun. Þegar nýrri mælingar eru til eru þær notaðar. Afkastamælingarnar eru ekki fyllilega samanburðarhæfar, því ekki er miðað við sama holutoppsþrýsitng í öllum holum. Hitastig holu er hæstur mældur hiti, og er miðað við nýjustu mælingu. Afkastamælingar og hitamælingar eru yfirleitt ekki frá sama tíma.

ORKUSTOFNUN JHD
framh.

Ár boruð	Holu númer	Dýpt (m)	Hiti (°C)	Varmi (kJ/kg)	Rennsli (kg/s)	Aths.
-------------	---------------	-------------	--------------	------------------	-------------------	-------

SVARTSENGI

1972	2	240		850	50	Fyllt af steypu 1982
1972	3	402	229	990	72	Fyllt af steypu 1987
1974	4	1713	240	1040	85	Ónýt, gat á fóðringu 1979
1974	5	1519	240	1040	72	Í notkun
1982	6	1995	240	1040	84	Í notkun
1979	8	1603	240	1040	160	Í notkun
1980	9	994	240	1040	160	Í notkun
1980	10	425	230	1000	160	Í notkun
1980	11	1141	240	1040	160	Í notkun
1982	12	1488	240	1040	60	Niðurdælingarhola

REYKJANES

56-69	1-7	3915	saamt.			Óvirkar
1969	8	1756	290	1200	85	Í notkun
1983	9	1445	295	1300	180	Í notkun

TRÖLLADYNGJA

1971	6	843	260			Óvirk, ekki mæld
------	---	-----	-----	--	--	------------------

ELDVÖRP

1983	2	1265	260	1140	165	Ekki virkjuð
------	---	------	-----	------	-----	--------------

NESJAVELLIR

1965	1	129	141			Hitav. f. vinnubúðir
1965	2	393	245			Hrunin 86 m, fyllt af steypu
65-66	3	836	261			Hrunin 168 m, fyllt af steypu
1970	4	431	255			Fyllt af steypu
1972	5	1804	271	1800	10	Hrunin 1011 m, tengd tilr.
1982	6	1145	295	2480	22	Í blæstri
1983	7	2001	307	1320	36	Stendur lokuð á blæðingu
1984	8	400	(140)			Steypt upp
1984	9	1055	278	2200	28	Í blæstri
1984	10	1798	287	1350	52	Stendur lokuð
1985	11	2265	329-381	2520	37	Tappi úr möl í 1584 m v. öryggis
1985	12	1856	312	1320	57	Stendur lokuð
1985	13	1609	304	2500	36	Í blæstri
1985	14	1304	273	1330	28	Stendur lokuð á blæðingu
1985	15	1746	302	1450	47	Stendur lokuð
1985	16	2025	302	2300	27	Í blæstri
1986	17	2100		960	45	
1986	18	2190		940	36	

ÁÆTLÁNIR UM NOTKUN JARÐHITANS

Oddur B. Björnsson

Fjarhitun h.f.

INNGANGUR

ÝMISS UNDIRSTÖÐUATRÍÐI - YFIRLIT

HVAÐ KOSTAR ORKAN?

HAGKVÆMNI VALKOSTA

AFLÞÖRF OG NÝTINGARTÍMI

GRUNNAFL - TOPPAFL

BREYTILEGUR FRAMRÁSARHITI

ARÐSEMI HITAVEITNA

HEIMILDASKRÁ

Inngangur

Jarðhiti hefur verið nýttur á Íslandi til upphitunar í hitaveitum í u.þ.b. 50 ár. Fyrsta umtalsverða notkun jarðhitans í hitaveitum var í Reykjavík og mikið átak varð í útbreiðslu jarðhitaveitna eftir 1970. Nú er svo komið, að jarðhiti hefur víðast verið nýttur í hitaveitur þar sem það telst hagkvæmt.

Notkun jarðhita í iðnaði er enn sem komið er ekki í miklum mæli hér á landi. Þekkt er notkun jarðhita í ullarþvotti og í límtrésframleiðslu, þurrkun fisks hefur verið reynd með misjöfnum árangri, og margs konar áætlanir um notkun jarðhita hafa verið gerðar, en færstar náð fram að ganga. Má þar nefna áætlanir um sykurverksmiðju og ylræktarver í Ölfusdal ofan Hveragerðis.

Hér á eftir verða ýmiss undirstöðuatríði notkunar á jarðhita skoðuð, einkum þó með hliðsjón af upphitun, en einnig verður fjallað um það, hvernig nýta má jarðhita til hvorutveggja hitaveitna og iðnaðar.

Ýmiss undirstöðuatríði - yfirlit

Hér á eftir fer yfirlit um ýmiss atriði sem skoða þarf þegar hagkvæmni jarðhitaveitu er metin.

Fjallað er m.a. um stofnkostnað, nýtingartíma, aflþörf, aðstæður á virkjunarstað, fjarlægð jarðvarmasvæðis frá notendum og aflþéttleika.

Jarðvarmavirkjanir og hitaveitur eru fjárfrekar. Stærsti kostnaðarliður við nýtingu jarðhitans er kostnaður af stofnfjármagni, þ.e. vextir og afskriftir. Þetta kemur þó ekki að sök þegar nýtingartími er langur, því þá dreifist árlegur kostnaður niður á margar kWh og orkukostnaður kr/kWh, er lágur samanborið við aðra orkugjafa.

Nýtingartími og dreifing aflþarfar yfir árið hafa mikil áhrif á hagkvæmni virkjunar (eða orkuvers), sem veitir orku til húshitunar og iónaðar. Afl- og orkuþörf vegna húshitunar er háð veðráttu. Svonefnt langæislinurit árshitans gefur upplýsingar um dreifingu aflþarfar yfir árið, því gera má ráð fyrir að línulegt samband sé á milli hitamunar inni- og útihita og aflþarfar, þ.e. ef ekki er tekið tillit til vinda og sólarálags. Vikið verður nánar að langæislinuritum síðar og skoðað hvernig lengja má nýtingartíma jarðhitaveitna með notkun jarðvarma í iónaði eða fiskeldi, þegar lítið álag er vegna upphitunar. Ýmsir aðrir þættir en álagsferillinn hafa áhrif á hagkvæmni jarðhitaveitu. Þegar kannaðar eru aðstæður til hitaveitu á nýjum stað þarf að skoða m.a. eftirfarandi atriði:

- a) Aðstæður á virkjunarstað, t.d. magn og hita vökvans (vatn, gufa) og virkjunarkostnað.
- b) Afstöðu jarðhitaveitunnar til notenda, t.d. vegna lengdar aðfærsluáðar.
- c) Aflþéttleika notendasvæðisins, þ.e. hver er aflþörf á flatareiningu MW/km² ?
- d) Hámarks aflþörf notendanna.

Atriði a) - d) ásamt álagsferlinum má líta á sem ytri aðstæður, sem áhrif hafa á hagkvæmni jarðvarmavirkjunar. Atriði a) minnir á það, að vökvinn verður helst að vera nýtanlegur beint í hitaveitu eða iónað án breytinga á þeim upphitunar- og iónaðarkerfum, sem fyrir hendi eru. Þetta þýðir venjulega, að vökvinn þarf að vera nægilega heitur, ef um eldri kerfi er að ræða. Ef jarðhitaveita er sett í hús þar sem áður hefur verið hitað, t.d. með olíu, er húsið væntanlega hitað með ofnum. Ofnaitun miðast oftast við 80°C framrásarhita. Ofnar eru hins vegar mjög afkastalitlir hitagjafar (byggjast á geislun og frjálsum streymi) og því mjög óhentugir, ef framrásarhiti er lágur, t.d. 60°C (lághiti eða varmadælukerfi). Hitun með blæstri gegnum lofthitafleti og jafnvel gólfgeislahitun hefur víða verið notuð, þar sem framrásarhiti er lágur, hvort sem vökvinn kemur beint úr jörðinni eða frá varmadælu. Þetta er t.d. gert í Frakklandi og er þar hluti af heildarlausn hitaveitu með jarðhita, varmadælum og olíukötlum. M.ö.o. aðstæður hjá notendum eru samræmdar við hitagjafana, þannig að hagkvæmasta heildarlausn fái st.

Atriði b) minnir á afstöðu jarðhitasvæðis til notenda. Aðveituæðar eru dýrar og því styttri sem þær eru því betra. Í Frakklandi, þar sem víða má bora eftir milliheitu jarðvatni, er komist hjá aðveituæðum með því að bora vinnsluholur (s.k. "doublets", vinnsluhola og niðurdælingarhola í pörum) mitt í íbúðarhverfum. Hitaveitan nær því aðeins til nærliggjandi húsa og er útbreiðslan háð því afli sem borholuparið gefur. Gott dæmi um þetta á Íslandi er í Hveragerði.

Atriði c) fjallar um aflþéttleika eða hve mikil notkun, MW, er á flatareiningu, km^2 , byggðar. Aflþéttleiki er á bilinu $5 \text{ MW}/\text{km}^2$ í dreifðri byggð upp í $40 \text{ MW}/\text{km}^2$ í þéttri og háreistri byggð, t.d. í stórborgum erlendis. Sem dæmi um þéttleika á Íslandi má nefna, að í nýja hverfinu í Grafarvogi er aflþéttleikinn $12 \text{ MW}/\text{km}^2$ og $14 \text{ MW}/\text{km}^2$ í Keflavík, en fer niður í $6 \text{ MW}/\text{km}^2$ í Sandgerði. Í nýjum einbýlishúshverfum í Danmörku er aflþéttleikinn m.v. 10 hús pr. hektara um $8 \text{ MW}/\text{km}^2$ (1). Aflþéttleikinn hefur áhrif á kostnað dreifikerfis hitaveitunnar og varmatap og þar með veruleg áhrif á hagkvæmni hitaveitunnar. Athuganir í Danmörku hafa leitt í ljós, að aflþéttleikinn, sem einnig kemur fram í orkuflæði gegnum dreifikerfi hitaveitunnar, mælt í $\text{GJ}/\text{m} \text{ ár}$, hefur afgerandi áhrif á varmanýtni veitunnar, eða varmatap í dreifikerfi. Orkutap í dönskum hitaveitum er að meðaltali 25 - 30 % af árlegri orkuframleiðslu eða um 12% af mesta afli, en getur verið hærra í litlum dreifðum hitaveitum (2). Mynd 1 sýnir niðurstöður þessara athugana, sem birtust í Fjervarmen árið 1983. Helstu leiðir til úrbóta eru að mati höfundar að lækka hita í dreifikerfinu og að fjölga notendum. Fyrri atriðið kostar lítið í framkvæmd og varmaútreikningar sýna, að framrásarhitinn ætti í raun að vera breytilegur eftir útihita. Þetta atriði verður rætt síðar. Síðara atriðið sýnir að hagkvæmt er að tengja dreifikerfi hitaveitunnar iðnaði, sem notar mikla varmaorku á þeim tíma sem upphitunarþörf er lítil. Ef aflþörf hitaveitunnar er mikil, atriði d), er orkuflæði í dreifikerfi að jafnaði mikið. Jafnframt er fastakostnaður ekki í beinu hlutfalli við uppsett afl, þannig að kostnaður pr. afleiningu er minni í stórum hitaveitum en litlum.

Þær ytri aðstæður sem um hefur verið rætt hér að framan, hafa allar mikil áhrif á hagkvæmni hitaveitu.

Annað sem vegur þungt þegar ákveða á hvort eða hvernig byggja skuli hitaveitu eru aðrir orkugjafar. Hitaveita verður ekki byggð, nema ljóst sé að hún bjóði upp á ódýrustu fánlegu varmaorku. Hér á eftir verður fjallað um þær aðferðir sem beitt er þegar meta á orkukostnað og hagkvæmustu blöndu mismunandi orkugjafa.

Hvað kostar orkan?

Orkukostnaðurinn er samsettur kostnaður stofnfjármagns, eldsneytis (á ekki við um jarðvarma), viðhalds og eftirlits.

Heildarorkukostnað má rita þannig (3)

$$K_{\text{orka}} = \frac{I_0 + I_1 + R_1' \cdot I_1' + R_1 \cdot U + R_2 \cdot E}{R_3 \cdot Q} \quad \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \quad (1)$$

Þar sem,

I_0 = stofnkostnaður hluta með langa endingu

I_1 = " " " " stutta "

I_1' = viðbótarkostnaður vegna endurnýjunar hluta með stutta endingu

U = Árlegt viðhald kr/ár

E = Árlegur rafmagnskostnaður kr/ár

Q = Árleg orkuframleiðsla kWh/ár

R_1' = $(1+r)^{-m}$

$$R_1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{r}$$

$$R_2 = \frac{1 - \left(\frac{1+w}{1+r}\right)^n}{r-w}$$

$$R_3 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^n}{r-q}$$

r = reiknivextir

w = hlutfallsleg árleg breyting í rafmagnsverði

q = " " " varmaverði

n = endingartími hluta með langa endingu

m = " " " stutta "

Ef raf- og varmaorka hækka í framtíðinni í takt við verðbólgu verður $w = q = 0$ og því $R_1 = R_2 = R_3 = R$. Ef ekki er þörf endurnýjunar á búnaði verður, $I_1 + R_1 \cdot I' = 0$

Orkukostnaður verður þá:
$$K_{\text{orka}} = \frac{I + U \cdot R}{Q \cdot R} + \frac{E}{Q}$$

eða sem hlutfall uppsetts afls

$$K_{\text{orka}} = \frac{\frac{I}{P_{\text{hönn}}} + \frac{U \cdot R}{P_{\text{hönn}}}}{\frac{Q}{P_{\text{hönn}}} \cdot R} + \frac{E}{Q}$$

Viðhaldskostnaðurinn er oft settur sem margfeldi af stofnkostnaði t.d. $x = 1$ til 2%. Þá má rita að endingu:

$$K_{\text{orka}} = \frac{i \cdot (1 + x \cdot R)}{t \cdot R} + \frac{E}{Q} \quad \begin{matrix} \text{kr} \\ \text{kWh} \end{matrix} \quad (2)$$

Hér er,

$i =$ stofnkostnaður pr. afleiningu $\begin{matrix} \text{kr} \\ \text{kWh} \end{matrix}$

og $t =$ nýtingartími hámarksafls $\begin{matrix} \text{h} \\ \text{ár} \end{matrix}$

Hagkvæmni valkosta

Ef meta á hvort tiltekin aðferð til orkuframleiðslu er hagkvæm, þarf að finna þann kostnað sem greiða þarf árlega vegna aðferðarinnar á móti árlegu orkuframlagi hennar, þ.e. orkuverð kr/kWh. Ef þetta orkuverð er lægra en tiltekið viðmiðunarverð, á aðferðin rétt á sér (3).

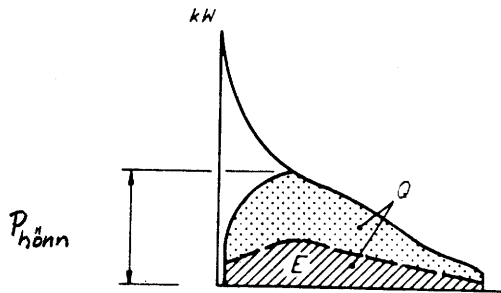
Dæmi um þetta gæti verið hitaveita með varmadælu sem grunnaflgjafa og svartolíu sem toppaflgjafa. Uppi eru hugmyndir um að lengja nýtingartíma varmadællunnar með því að tengja hana varmageymi. Forsenda þess að slíkt sé talið hagkvæmt, er að framleiðslukostnaður viðbótarorkunnar, sem fæst með tilkomu varmageymisins, sé minni en orkukostnaður með svartolíu.

Almennt þegar tiltekið upphitunarkerfi er skoðað, er nauðsynlegt að hafa eitthvert viðmiðunarkerfi sem er þannig valið, að viðbótarþátturinn sé aðgreinanlegur. Ef við viljum t.d. meta hvort varmadæla með varmageymi borgi sig, þurfum við að finna viðmiðunarkerfi sem gerir okkur kleift að aðgreina raunveruleg áhrif varmageymisins á orkuframleiðsluna.

Eðlilegt viðmiðunarkerfi hér er varmadæla, sem nýtir loft sem varmagjafa og hefur þjöppu með sama afli. Mismunur í orkuframleiðslu varmadællunnar með varmageymi og án er viðbótarorkan sem fæst með tilkomu geymisins. Mismunur stofnkostnaðar hvorutveggja kerfanna er viðbótarkostnaðurinn vegna geymisins. Þannig getum við fundið orkukostnað viðbótarorkunnar, en hann verður að vera minni en orkukostnaður með svartolíu. Með sömu aðferð má einnig finna leyfilegan hámarks-kostnað varmageymis (3). Dæmi:

a) Varmadæla án geymis (viðmiðunarkerfi)

Myndin sýnir raforkunotkun varmadællunnar (E) og framleidda varmaorku (Q) yfir árið.

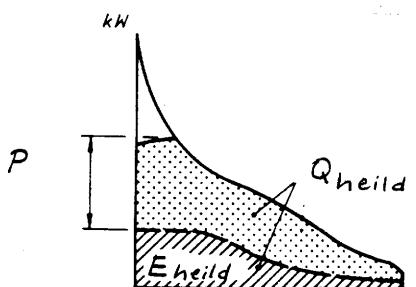


Framleiðslukostnaður orkunnar er,

$$K_{\text{orka}} = \frac{i_1 \cdot (1 + x_1 R) + R_1' \cdot i_1'}{t \cdot R} + \frac{k_e}{\text{COP}}$$

b) Varmadæla með geymi

Myndin sýnir raforkunotkun varmadælu (E heild) og framleidda varmaorku (Q heild) yfir árið, þegar varmadælan nýtir varma jafnframt úr varmageymi.



Framleiðslukostnaður orku er nú:

$$K_{\text{orka, heild}} = \frac{i_1 (1 + x_1 R) + R_1 \cdot i_1 + i_0 (1 + x_0 R) + \frac{k_e}{\text{COP}_{\text{heild}}}}{t_{\text{heild}} \cdot R}$$

Þar sem $i_0 \cdot (1 + x_0 \cdot R)$ tákna árlegan fjármagns- og rekstrarkostnað varmageymisins og,

$$t_{\text{heild}} = \frac{Q_{\text{heild}}}{P_{\text{hönn}}}$$

$$\text{COP}_{\text{heild}} = \frac{Q_{\text{heild}}}{E_{\text{heild}}}$$

Leyfilegur hámarkskostnaður orkunnar sem fæst úr varmadælu með varmageymi er skilgreindur sem vegið meðaltal orkukostnaðar viðmiðunarkerfisins og viðbótarorku vegna varmageymisins á verði svartolíu, þ.e.:

$$K_{\text{orka, heild}} = \frac{K_{\text{orka}} \cdot Q + V_{\text{eldsn}} \cdot (Q_{\text{heild}} - Q)}{Q \text{ heild}}$$

Því verður leyfileg fjárfesting í varmageymi,

$$i_0 = \frac{\left(K_{\text{orka, heild}} - \frac{k_e}{\text{COP}_{\text{heild}}} \right) \cdot t_{\text{heild}} \cdot R - i_1 \cdot (1 + x_1 \cdot R) - R \cdot i_1'}{1 + x_0 \cdot R} \quad \frac{k_{\tau}}{kW}$$

*) Þessi liður inniheldur verð svartolíu.

Aflþörf og nýtingartími

Eins og vikið hefur verið að hér að framan, er hagkvæmni orkuverks (og hitaveitu) mjög háð nýtingartíma þess. Orkuþörf vegna húsahtunar má lýsa með langæislinuritinu. Lítum fyrst á hefðbundið langæislinurit árshitans, t.d. það sem teiknað er eftir veðurfarstölum fyrir Reykjavík árin 1949 til 1980 (4), sjá mynd 2. Á X-ásnum er fjöldi þeirra daga þegar meðalhiti dagsins er minni eða jafn tilteknum hita á Y-ásnum. X-ásinn sýnir m.ö.o. samanlagðan fjölda daga, allt upp í 365d= ár. Vegna tengsla útihita og afls má einnig líta á Y-ásinn sem aflþörf.

Aflferill fyrir hitaveitu á að sýna samanlagða aflþörf vegna upphitunar bygginga, neysluvatns og taps í dreifikerfi. Varmatap bygginga er breytilegt með útihita og er reiknað út frá 17°C innihita (5). Neysluvatnsnotkun er jöfn yfir árið og er algengt að hlutur hennar nemi um 10 - 15% af árlegri heildarorku. Venja er að miða orkutap í dreifikerfi við hönnunarhita veitunnar, sem er -13°C hér á landi. Það er því óháð breytingum í útihita og er sett fast yfir allt árið. Algengt er að miða við 10% af heildarorku, en hvorutveggja hærri og lægri gildi sjást (5,2). Í Danmörku hefur tapið verið mælt allt upp í 40% af heildarorku (2).

Sólargeislun og innri varmamyndun í húsum, t.d. vegna ljósa og manna, hafa áhrif á varmaþörfina. Lögum álagsferilsins gæti breyst eins og mynd 3 sýnir. Rétt er þó að taka hér skýrt fram, að þegar álagsferillinn er reiknaður út frá 17°C innihita, er þar með búið að taka tillit til innri varmamyndunar og sólarálags (5). Ef hins vegar er óskað eftir því, að miða álagsferilinn við 20°C innihita, verður að taka sérstakt tillit til sólarálagsins og annarrar varmamyndunar (6).

Margfeldi afls og tíma er orka. Flöturinn undir langæislinuritinu táknar því orku. Flötinn má tegra í láréttum bútum og fæst þá sú orka, sem tiltekið afl samsvarar. Þar sem flöturinn er langstærstur við neðri enda aflskalans þekur aflgjafi, oft er talað um grunnafll, sem hefur 60% af hámarksaflþörf u.p.b. 96% af orkuþörfinni miðað við langæislinurit fyrir Reykjavík. Toppafl, þ.e. frá 60% upp í 100% aflþarfar, þekur þá ekki nema um 4% orkunnar. Hver orkueining í toppafla er því dýr.

Ef varmaþörf hitaveitu er fullnægt með aflri sem aðeins er tiltækt hluta ársins, t.d. á sumrum, og annar aflgjafi fullnægir þörfinni hinn hluta ársins, er álagsferillinn eða langæislinuritið tegrað í láréttum bútum, mynd 4.

Athygli er vakin á niðurstöðum frá dönskum hitaveitum (1), sem sýna að hámarksafl á álagsferlinum er ekki nema um 65% af samanlögðu hámarksafli allra tengdra húsa. Þetta er vegna samtímastuðuls hitaveitunnar, sjá mynd 5.

Æskilegt er að jafna afldreifingu hitaveitunnar og auka þannig nýtingartíma uppsetts afls. Ef varmi er notaður á sumrin, þegar varmaþörf vegna upphitunar er lítil, gæti aflferillinn breyst eins og mynd 6a sýnir. Hér er miðað við, að hámarksaflþörf að sumarlagi sé jöfn hámarksaflþörf að vetrarlagi. Ef aflþörf að sumarlagi væri meiri en að vetrinum, myndi hins vegar teygjast á aflferlinum og heildarnýting kerfisins versna, mynd 6 b.

Fiskeldi hefur rutt sér mjög til rúms á Íslandi á undanförunum árum . Er það í öllum tilfellum í tengslum við jarðhita að meira eða minna leyti. Varmþörf í fiskeldi er mjög mikil og þannig getur hist á, að mesta þörf fyrir heitt vatn sé á þeim tíma þegar húshitunarþörf er minnst. Á mynd 8 er sýnd álagsdreifing varma í tiltekinni seiðaeldisstöð þar sem seiði eru alin fyrir hafbeit. Hámarksvarmaþörf er frá apríl fram í ágúst. Samnýting lághitasvæða fyrir hefðbundna hitaveitu (húshitun) og laxeldi getur því verið til hagsbóta fyrir hitaveitur sem telja sér hag í því að lengja nýtingartíma hámarksafls. *).

Þess ber þó að gæta , eins og gefið var til kynna á mynd 6b , að hámarksálag fiskeldisstöðvar ásamt húshitun að sumarlagi verði ekki meira en hönnunarforsendur hitaveitunnar gerðu ráð fyrir að vetrarlagi. Markmiðið með samnýtingunni ætti að vera að lengja nýtingartíma hitaveitumannvirkjanna , þ.e. að auka orkuframleiðsluna (stækka flötinn undir álagsferlinum) án þess að auka hámarksafl.

*)

(Ath. Í sumum hitaveitum er talið nauðsynlegt að "hvíla" jarðhitasvæðin á sumrin vegna mikils vinnslukostnaðar nýrra borhola eða takmörkunar jarðvarmageymisins).

Grunnafl - toppafl

Eins og vikið var að hér að framan, eru jarðvarmavirkjanir fjárfrekar. Stærsti kostnaðarliðurinn er kostnaður af stofnfjármagni, þ.e. vextir og afskriftir. Eftir því sem nýtingartími aflsins styttest, þegar nær dregur hámarksaflþörf skv. langæislinuriti aflsins, verður hver orkueining dýrari.

Lítum á jöfnu orkukostnaðarins, sem rituð var hér á undan. Í sinni einföldustu mynd er jafnan þessi:

$$K_{orka} = \frac{i \cdot (1 + x \cdot R)}{t \cdot r} + \frac{E}{Q} \quad (2)$$

Fyrri liður jöfnunnar táknar árlegan kostnað vegna fjármagns og viðhalds, en síðari liðurinn er eldsneytiskostnaður. Fyrri liðurinn er háður nýtingartíma og verður því ríkjandi, þegar nýtingartíminn styttest.

Því reynist það ætíð hagkvæmt að sjá fyrir toppaflum með tækjum sem eru ódýr í stofnkostnaði, jafnvel þótt eldsneytisverð pr. orkueiningu sé hátt.

Á sama hátt og hlutur eldsneytiskostnaðar í orkuverðinu minnkar þegar nær dregur efsta hluta aflferilsins (styttri nýtingartími), eykst hann þegar nýtingartíminn vex.

Unnt er að finna þann flöt (orku) undir álagsferlinum, þegar jafndýrt er að fullnægja orkuþörfinni með grunnaflgjafa og toppaflgjafa. Þessi flötur afmarkast að ofan af aflferlinum en að neðan af láréttri línu, samsíða tímaásnum (X-ás). Þar sem lárétta línan sker Y-ásinn, er það afl, annað hvort í afleiningum eða %, sem grunnaflgjafi á að gefa.

Vegna þess að Y-ásinn táknar jafnframt hita, er einnig hægt að segja til um við hvaða útihita ræsa skuli toppaflgjafa.

Til þess að reikna út mörk grunnafls og toppafls m.v. við mismunandi forsendur um veðurfar, stofnkostnað orkuvera, eldsneytisverð og fjármagnskostnað var jafna orkukostnaðar notuð í töflureikni ásamt upplýsingum um útihita og gráðudaga frá Veðurstofu Íslands, sjá töflur 1 - 8.

Í fyrsta dálki taflanna er lofthiti T_g frá 20°C niður í -15°C . Eins og áður segir, eru gráðudagar reiknaðir m.v. 17°C innihita. 3°C mismuninn ($20 - 17$) má líta á sem orkuþörf vegna neysluvatns og taps í dreifikerfi. Þetta nemur um 18% heildarorkunnar. Í raunverulegu tilfalli ætti þó að reikna þetta af meiri nákvæmni. Annar dálkur í töflunni sýnir samanlagðan fjöldi daga þegar hiti er jafn eða minni en T_g skv. upplýsingum frá Veðurstofu Íslands. Þriðji dálkur sýnir stigdaga ($^\circ\text{CD}$). Í fjórða og fimmta dálki er reiknað út orkuverð grunnafls og toppafls skv. jöfnu orkuverðs.

Orkuverð grunnafls er lægra en orkuverð toppafls þegar nýtingartími er langur, en hærra en orkuverð toppafls þegar nýtingartími er stuttur. Í 5. dálki kemur fram hvenær toppaflið á að taka við. Athygli er vakin á því, að í þessari töflu eru þreppin m.v. 1°C hita og því getur skeikað um brot úr gráðu. Jafnframt er bent á, að orkuverð grunnaflgjafa skv. dálki 4 er ekki rétt orkuverð nema grunnaflið sé notað nær allt árið (meira en 99% orkunnar). Þegar grunnaflgjafi er notaður minna, verður að deila í orkuverðið í dálki 4 með hlutfallsstuðli orkunnar þegar toppaflið tekur við, þ.e. ef grunnaflgjafi uppfyllir 85% árlegrar heildarorku, verður meðalorkuverð ársins jafnt orkuverði í dálki 4, efstu línu, deilt með 0,85.

Í dálkum 8 og 9 er hlutfall afsls og hlutfall orku af heild ársins. Þannig má sjá t.d., að 50% af hámarksafþörf uppfyllir um 90% af heildarorku í Reykjavík.

Niðurstöður úr töflu 1 fyrir Reykjavík hafa verið teiknaðar á línurit eins og þær koma fram í dálkum 1 og 2, sjá mynd 9, og dálkum 1, 3, og 4, mynd 10. Mynd 9 snýr öðruvísi en algengt er, en sýnir hvernig flöturinn undir álagsferlinum, þ.e. orkan, er tegruð í rákum sem hver um sig er 1°C breið. Mynd 10 sýnir hins vegar hvernig orkukostnaður breytist með breyttu álagi. Orkukostnaður toppafls, sem er svartolíuketill í þessu tilfalli, er nánast jafnhár frá 10°C niður í -4°C . Þetta er vegna þess, að eldsneytiskostnaðurinn er allsráðandi. Orkukostnaður jarðhitans vex hins vegar mjög skarpt þegar útihiti lækkar, en það er vegna þess hve stofnkostnaður vegur þungt. Skurðpunktur ferlanna sýnir hvenær rása á svartolíuketilinn til að sinna toppafþörf.

Þær töflur, sem hér eru birtar, eru reiknaðar miðað við að orkukostnaður sé reiknaður eftir jöfnu orkukostnaðar í sinni einföldustu mynd. Ef um breytilegan afskriftartíma tækja er að ræða og/eða óskað er eftir að taka tillit til hækkunar á verði rafmagns og eldsneytis, sem ekki er í takt við verðbólgu, má nota jöfnu 1.

Töflureiknirinn gefur okkur kost á því að breyta forsendum eins og stofnkostnaði, afskriftartíma og vöxtum og sjá strax niðurstöðuna um skiptingu grunnafls og toppafls, orkuverð o.fl. Þannig má kanna mismunandi grunnaflgjafa og toppaflgjafa og finna hagkvæmstu skiptingu. Áhrif breytts álagsferils má einnig finna í töflureikninum.

Þau dæmi sem sýnd eru í töflum 1 til 8 eru byggð á forsendum úr heimildum (4) og (7). Tekið er skýrt fram, að dæmin í töflunum eru einungis sýnidæmi sett fram í þeim tilgangi að útskýra aðferðina.

Breytilegur framrásarhiti

Algengt er hérlendis, að framrásarhiti í jarðhitaveitum og fjarvarmaveitum sé jafn allt árið um kring. Streymi er því breytilegt eftir álagi og verður minna en æskilegt er á sumrum. Kólnun vatnsins í dreifikerfi verður þá mikil og hiti til húsa yst í dreifikerfinu lágur. Þetta getur leitt til óþæginda og er jafnframt ósanngjarnt þegar vatn er selt eftir magnmæli gagnvart notendum sem fá kaldasta vatnið.

Í hitaveitum erlendis, er algengt að hafa hita framrásarvatnsins breytilegan eftir útihita en þó aldrei lægri en 60°C. Þetta er vegna neysluvatnsins. Slík stjórnun framrásarhitans hefur verið reynd í Vestmannaeyjum, og hefur hitanum verið breytt með handvirkum hætti eftir árstíðum. Lágmarkið hefur verið 60°C.

Ástæða fyrir lækkuðum framrásarhita erlendis, og jafnframt í Vestmannaeyjum, er einkum sú, að með því er unnt að nýta þá grunnvarmagjafa lengur sem algengir eru s.s. varmadælur, lághita jarðvarma, þéttihita í kolakynntum raforkuverum og hraunhita. Ennfremur verður varmatap frá hitaveitukerfinu minna (2).

Ókostur þess að lækka framrásarhitann er, að dælingarkostnaður eykst vegna aukins streymis (með streymi í þriðja veldi). Þann kostnað þarf að meta á móti lökkun varmataps og mismunandi hita í dreifikerfinu.

Þar sem lökkun framrásarhita getur haft úrslitaáhrif á hagkvæmni ýmissa orkuvalkosta, t.d. varmadælu, er rétt að skoða samhengið á milli framrásarhita T_f , bakrásarhita T_b , lofthita T_g og streymis m , sjá mynd 7a og 7b (8). Skoðum nú mynd 7b og fylgjum línu $M=0,065$ l/s vatns við hönnunarskilyrði $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_b = 40^\circ\text{C}$ og $T_g = -15^\circ\text{C}$. Þetta vatnsmagn, 0,065 l/s, samsvarar $0,065 \cdot 4,19 \cdot (80-40) = 10,9$ kW eða 27 W/m^3 aflþörf í 400 m^3 húsi. Þegar hiti er hærri en -15°C má framrásarhitinn lækka miðað við óbreytt vatnsstreymi t.d. í 65°C við -5°C . Lágmark framrásarhitans ræðst af óskhita neysluvatns, 60°C , og verður það við u.þ.b. -2°C . Úr því minnkar vatnsstreymið úr 0,065 l/s við $+9^\circ\text{C}$. Í reynd er framrásarhitann haldið föstum við 80°C og má þ.á sjá minnkun streymis á mynd 7b og lökkun bakrásarhita á mynd 7a. Við 3°C er streymið komið niður í 0,025 l/s, 38% af hámarksstreymi, og bakrásarhitinn í 25°C , ef framrásarhita er haldið stöðugt við 80°C . Þessir útreikningar byggjast einvörðungu á upphitunarþörf bygginganna. Vegna neysluvatns og til að vinna gegn varmatapi, þarf meira streymi heldur en útreikningar að baki mynda 7a og 7b segja til um.

Arðsemi hitaveitna

Gera þarf þá kröfu til nýrra fjárfestinga í orkuverum og hitaveitum að þær skili ákveðnum lágmarks innri vöxtum, eða afkastavöxtum. Því meiri sem óvissan er um forsendur og afdrif framkvæmdarinnar verður að gera hærri kröfur um innri vexti, t.d. 20% .

Innri vextir eru skilgreindir sem sá vaxtafótur sem gerir núvirði framtíðarhagnaðar jafnt stofnkostnaði fjárfestingarinnar eða,

$$NV = \frac{b}{a} = I \quad \text{og} \quad a = \frac{b}{I}$$

NV: Núvirði

I: Stofnkostnaður

b: Árlegur hagnaður

$$a: \text{annuitetsstuðull} = \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}$$

$p = p(a, n)$ fæst úr annuitetstöflu en $p =$ innri vextir.

Oft er arðsemi fjárfestinga metin út frá s.k. endurgreiðslutíma. Hann er skilgreindur sem sá fjöldi ára sem, líður áður en árlegur hagnaður af fjárfestingunni hefur endurgreitt upphaflegan stofnkostnað. Þetta má einnig setja fram á eftirfarandi hátt:

$$NV = I = \frac{b}{a}$$

$$a = \frac{b}{I} \quad \text{og} \quad a = a(r, n)$$

Endurgreiðslutímenn n má finna úr annuitetstöflum þegar reiknivextir r eru þekktir. Framkvæmdin er hagkvæm, ef endurgreiðslutímenn er styttri en afskriftartímenn. Stundum er endurgreiðslutímenn reiknaður án þess að taka tillit til vaxta af fjármagninu. Þá er hann reiknaður á einfaldari hátt:

$$n_t = \frac{I}{b}$$

Skoðum að lokum dæmi:

Varmadæla kostar um 1,5 milljónir kr. meira en vanaleg olíukynding. Hins vegar er árlegur sparnaður af varmadælu m.v. olíuketil 200.000 kr. Borgar varmadæla sig ef reiknivextir eru 7% og afskriftartíminn 15 ár ?

1) Núvirði sparnaðar

$$NV = \frac{b}{a} = \frac{200.000}{0,1098} = 1.822.000 \text{ kr}$$

$NV > I$, varmadælan borgar sig.

2) Innri vextir

$$a = \frac{b}{I} = \frac{200.000}{1.500.000} = 0,1333$$

ef $n = 15$ ár er $p = 10,1\%$

$p > r = 7\%$, varmadælan borgar sig

3) Endurgreiðslutími

$$a = \frac{b}{I} = \frac{200.000}{1.500.000} = 0,1333$$

ef $r = 7\%$ er $n = 11$ ár

($n_t = 7,5$ ár)

Heimildaskrá

1. "Fundamentals and economic principles in District Heating Planning", eftir Mogens Larsen.
2. "Ledningstabet kan og bör nedsættes", eftir Benny Larsen, Fjernvarmen 5/83.
3. "The economic margin for alternatives in new energy technology", Swedish Council for Building Research, Doc. D4:1987.
4. "Hagkvæmni í rekstri jarðhitaveitna. Ákvörðun toppafis og stærðar miðlunargeyma". eftir Jóhannes Zoëga. (flutt á fundi Samb. ísl. hitav. maí 1987).
5. "Geothermal district heating, the Iceland experience" eftir Þorbjörn Karlsson, UNU Geoth. Train. Prog., Report 1982-4.
6. "Beregning af effekt- og energibehov for bygninger", eftir Terje Jakobsen, SINTEF avd. for Varmeteknikk, VVS-Seksjonen, EUU-Kurs : Varmepumper 1987-01-19-21.
7. "Orkuöflun til húshitunar í Vestmannaeyjum" Orkustofnun OS-87016/JHD-1, Apríl 1987.
8. "District heating energy analysis" eftir Wu Liya, UNU Geoth. Train.Proc., Report 1984-7.

Tafla 1

REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

Þessar forsendur útreikninga :

i :	Stofnkostnaður jarðhitavirkjunar:	10 Mkr/MW
i :	Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1.5 Mkr/MW
m :	Viðhaldskostn. jarðhitavirkjunar:	1.5 % af i
m :	Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	2 % af i
a :	Afskriftartími jarðhitavirkjunar:	20 ár
a :	Afskriftartími toppafisstöðvar:	15 ár
r :	Reiknivextir:	6 % p.a.
ra :	Arlegar greiðslur (annuitet) jarðh.	8.7 % p.a.
ra :	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	10.3 % p.a.
	Brennslugildi eldsneytis :	11.5 kWh/kg
	Meðalnýtni í katli :	80 %
	Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigdagur °C D	Kostnaður jarðh.virk kr/kWh	Kostnaður toppafisst. kr/kWh	Toppafl kemur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfall afis	Hlutfall orku
20	365.3	6001.5	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.000	0.000
19	365.3	5636.2	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.029	0.061
18	365.3	5270.9	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.057	0.122
17	365.3	4905.6	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.086	0.183
16	365.3	4540.3	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.114	0.243
15	365.3	4175.0	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.143	0.304
14	365.0	3809.7	0.1166	0.6950	11111111	0.117	0.171	0.365
13	362.0	3444.7	0.1176	0.6951	11111111	0.118	0.200	0.426
12	356.0	3082.7	0.1196	0.6955	11111111	0.120	0.229	0.486
11	341.0	2726.7	0.1249	0.6965	11111111	0.125	0.257	0.546
10	318.0	2385.7	0.1339	0.6981	11111111	0.134	0.286	0.602
9	289.0	2067.7	0.1473	0.7005	11111111	0.147	0.314	0.655
8	262.0	1778.7	0.1625	0.7032	11111111	0.163	0.343	0.704
7	239.0	1516.7	0.1781	0.7061	11111111	0.178	0.371	0.747
6	215.0	1277.7	0.1980	0.7097	11111111	0.198	0.400	0.787
5	192.0	1062.7	0.2218	0.7139	11111111	0.222	0.429	0.823
4	170.0	870.7	0.2505	0.7191	11111111	0.250	0.457	0.855
3	145.0	700.7	0.2936	0.7269	11111111	0.294	0.486	0.883
2	122.0	555.7	0.3490	0.7369	11111111	0.349	0.514	0.907
1	100.0	433.7	0.4258	0.7508	11111111	0.426	0.543	0.928
0	81.0	333.7	0.5256	0.7688	11111111	0.526	0.571	0.944
-1	66.0	252.7	0.6451	0.7904	11111111	0.645	0.600	0.958
-2	52.0	186.7	0.8188	0.8217	11111111	0.819	0.629	0.969
-3	41.0	134.7	1.0385	0.8614	-3	0.861	0.657	0.978
-4	31.0	93.7	1.3734	0.9218	-4	0.922	0.686	0.984
-5	23.0	62.7	1.8512	1.0081	-5	1.008	0.714	0.990
-6	15.0	39.7	2.8385	1.1863	-6	1.186	0.743	0.993
-7	10.0	24.7	4.2577	1.4424	-7	1.442	0.771	0.996
-8	7.0	14.7	6.0824	1.7718	-8	1.772	0.800	0.998
-9	4.0	7.7	10.6442	2.5952	-9	2.595	0.829	0.999
-10	2.0	3.7	21.2884	4.5165	-10	4.516	0.857	0.999
-11	0.6	1.7	70.9615	13.4825	-11	13.483	0.886	1.000
-12	0.4	1.1	106.4422	19.8868	-12	19.887	0.914	1.000
-13	0.4	0.7	106.4422	19.8868	-13	19.887	0.943	1.000
-14	0.3	0.3	141.9230	26.2912	-14	26.291	0.971	1.000

Tafla 2

AKUREYRI

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafls og toppafls

Vasar forsendur útreikninga :

i	:	Stofnkostnaður jarðhitavirkjunar:	10 Mkr/MW
i	:	Stofnkostnaður toppaflsstöðvar:	1.5 Mkr/MW
m	:	Viðhaldskostn. jarðhitavirkjunar:	1.5 % af i
m	:	Viðhaldskostn. toppaflsstöðvar:	2 % af i
a	:	Afskriftartími jarðhitavirkjunar:	20 ár
a	:	Afskriftartími toppaflsstöðvar:	15 ár
r	:	Reiknivextir:	6 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) jarðh.	8.7 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	10.3 % p.a.

(Svartolía)

Brennslugildi eldsneytis :	11.5 kWh/kg
Meðalnýtni í katli :	80 %
Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg

TAFLA

Hiti °C	Tg	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigdagur °C D	Kostnaður jarðh.virk kr/kWh	Kostnaður toppaflsst. kemur inn kr/kWh	Toppafl við x °C	Lágmarks-kostnaður kr/kWh	Hlutfall afls	Hlutfall orku
20		365.3	6176.6	0.1166	0.6950	11111111	0.12	0.000	0.000
19		365.3	5811.3	0.1166	0.6950	11111111	0.12	0.029	0.059
18		365.3	5446.0	0.1166	0.6950	11111111	0.12	0.057	0.118
17		365.3	5080.7	0.1166	0.6950	11111111	0.12	0.086	0.177
16		365.3	4715.4	0.1166	0.6950	11111111	0.12	0.114	0.237
15		364.0	4350.1	0.1170	0.6950	11111111	0.12	0.143	0.296
14		356.0	3986.1	0.1196	0.6955	11111111	0.12	0.171	0.355
13		345.0	3630.1	0.1234	0.6962	11111111	0.12	0.200	0.412
12		332.0	3285.1	0.1282	0.6971	11111111	0.13	0.229	0.468
11		318.0	2953.1	0.1339	0.6981	11111111	0.13	0.257	0.522
10		303.0	2635.1	0.1405	0.6993	11111111	0.14	0.286	0.573
9		282.0	2332.1	0.1510	0.7012	11111111	0.15	0.314	0.622
8		259.0	2050.1	0.1644	0.7036	11111111	0.16	0.343	0.668
7		238.0	1791.1	0.1789	0.7062	11111111	0.18	0.371	0.710
6		214.0	1553.1	0.1990	0.7098	11111111	0.20	0.400	0.749
5		203.0	1339.1	0.2097	0.7118	11111111	0.21	0.429	0.783
4		178.0	1136.1	0.2392	0.7171	11111111	0.24	0.457	0.816
3		161.0	958.1	0.2645	0.7216	11111111	0.26	0.486	0.845
2		141.0	797.1	0.3020	0.7284	11111111	0.30	0.514	0.871
1		122.0	656.1	0.3490	0.7369	11111111	0.35	0.543	0.894
0		104.0	534.1	0.4094	0.7478	11111111	0.41	0.571	0.914
-1		88.0	430.1	0.4838	0.7612	11111111	0.48	0.600	0.930
-2		73.0	342.1	0.5832	0.7792	11111111	0.58	0.629	0.945
-3		61.0	269.1	0.6980	0.7999	11111111	0.70	0.657	0.956
-4		48.0	208.1	0.8870	0.8340	-4	0.83	0.686	0.966
-5		40.0	160.1	1.0644	0.8660	-5	0.87	0.714	0.974
-6		30.0	120.1	1.4192	0.9301	-6	0.93	0.743	0.981
-7		22.0	90.1	1.9353	1.0232	-7	1.02	0.771	0.985
-8		20.0	68.1	2.1288	1.0582	-8	1.06	0.800	0.989
-9		16.0	48.1	2.6611	1.1542	-9	1.15	0.829	0.992
-10		15.0	32.1	2.8385	1.1863	-10	1.19	0.857	0.995
-11		8.0	17.1	5.3221	1.6346	-11	1.63	0.886	0.997
-12		5.0	9.1	8.5154	2.2109	-12	2.21	0.914	0.999
-13		3.0	4.1	14.1923	3.2356	-13	3.24	0.943	0.999
-14		1.0	1.1	42.5769	8.3591	-14	8.36	0.971	1.000
-15		0.1	0.1	425.7690	77.5256	-15	77.53	1.000	1.000

Tafla 3

AKUREYRI

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

Ymsar forsendur útreikninga :

i	:	Stofnkostnaður jarðhitavirkjunar:	25 Mkr/MW
i	:	Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1.5 Mkr/MW
m	:	Viðhaldskostn. jarðhitavirkjunar:	1.5 % af i
m	:	Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	2 % af i
a	:	Afskriftartími jarðhitavirkjunar:	20 ár
a	:	Afskriftartími toppafisstöðvar:	15 ár
r	:	Reiknivextir:	6 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) jarðh.	8.7 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	10.3 % p.a.

(Svartolia)

Brennslugildi eldsneytis :	11.5 kWh/kg
Meðalnýtni í katli :	80 %
Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigdagur °C D	Kostnaður jarðh.virk kr/kWh	Kostnaður toppafisst. kr/kWh	Toppafli kemur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfall afis	Hlutfall orku
20	365.3	6176.6	0.2914	0.6950	11111111	0.29	0.000	0.000
19	365.3	5811.3	0.2914	0.6950	11111111	0.29	0.029	0.059
18	365.3	5446.0	0.2914	0.6950	11111111	0.29	0.057	0.118
17	365.3	5080.7	0.2914	0.6950	11111111	0.29	0.086	0.177
16	365.3	4715.4	0.2914	0.6950	11111111	0.29	0.114	0.237
15	364.0	4350.1	0.2924	0.6950	11111111	0.29	0.143	0.296
14	356.0	3986.1	0.2990	0.6955	11111111	0.30	0.171	0.355
13	345.0	3630.1	0.3085	0.6962	11111111	0.31	0.200	0.412
12	332.0	3285.1	0.3206	0.6971	11111111	0.32	0.229	0.468
11	318.0	2953.1	0.3347	0.6981	11111111	0.33	0.257	0.522
10	303.0	2635.1	0.3513	0.6993	11111111	0.35	0.286	0.573
9	282.0	2332.1	0.3775	0.7012	11111111	0.38	0.314	0.622
8	259.0	2050.1	0.4110	0.7036	11111111	0.41	0.343	0.668
7	238.0	1791.1	0.4472	0.7062	11111111	0.45	0.371	0.710
6	214.0	1553.1	0.4974	0.7098	11111111	0.50	0.400	0.749
5	203.0	1339.1	0.5243	0.7118	11111111	0.52	0.429	0.783
4	178.0	1136.1	0.5980	0.7171	11111111	0.60	0.457	0.816
3	161.0	958.1	0.6611	0.7216	11111111	0.66	0.486	0.845
2	141.0	797.1	0.7549	0.7284	2	0.73	0.514	0.871
1	122.0	656.1	0.8725	0.7369	1	0.74	0.543	0.894
0	104.0	534.1	1.0235	0.7478	0	0.75	0.571	0.914
-1	88.0	430.1	1.2096	0.7612	-1	0.76	0.600	0.930
-2	73.0	342.1	1.4581	0.7792	-2	0.78	0.629	0.945
-3	61.0	269.1	1.7450	0.7999	-3	0.80	0.657	0.956
-4	48.0	208.1	2.2175	0.8340	-4	0.83	0.686	0.966
-5	40.0	160.1	2.6611	0.8660	-5	0.87	0.714	0.974
-6	30.0	120.1	3.5481	0.9301	-6	0.93	0.743	0.981
-7	22.0	90.1	4.8383	1.0232	-7	1.02	0.771	0.985
-8	20.0	68.1	5.3221	1.0582	-8	1.06	0.800	0.989
-9	16.0	48.1	6.6526	1.1542	-9	1.15	0.829	0.992
-10	15.0	32.1	7.0961	1.1863	-10	1.19	0.857	0.995
-11	8.0	17.1	13.3053	1.6346	-11	1.63	0.886	0.997
-12	5.0	9.1	21.2884	2.2109	-12	2.21	0.914	0.999
-13	3.0	4.1	35.4807	3.2356	-13	3.24	0.943	0.999
-14	1.0	1.1	106.4422	8.3591	-14	8.36	0.971	1.000
-15	0.1	0.1	1064.4225	77.5256	-15	77.53	1.000	1.000

Tafla 4

REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

Þessar forsendur útreikninga :

(Rafmagn / olía)

i	:	Stofnkostnaður rafskautakatla:	1.5 Mkr/MW
i	:	Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1 Mkr/MW
m	:	Viðhaldskostn. rafskautakatla:	3 % af i
m	:	Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	1.5 % af i
a	:	Afskriftartími rafskautakatla:	25 ár
a	:	Afskriftartími toppafisstöðvar:	25 ár
r	:	Reiknivextir:	6 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) rafk.:	7.8 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	7.8 % p.a.

	(Svartolía)	(Rafmagn)
Brennslugildi eldsneytis:	11.5 kWh/kg	
Meðalnýtni í katli :	80 %	
Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg	0.235 kr/kWh

TAFLA

Hiti	Tg	Fjöldi daga	Stigdagur	Kostnaður	Kostnaður	Toppafli	Lágmarks-	Hlutfall	Hlutfall
°C		með hita	°C D	rafsk.k.	toppafisst.	keur inn	kostnaður	afis	orku
		<= Tg		kr/kWh	kr/kWh	við x °C	kr/kWh		
20		365.3	6001.5	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.000	0.000
19		365.3	5636.2	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.029	0.061
18		365.3	5270.9	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.057	0.122
17		365.3	4905.6	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.086	0.183
16		365.3	4540.3	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.114	0.243
15		365.3	4175.0	0.2535	0.6845	11111111	0.25	0.143	0.304
14		365.0	3809.7	0.2535	0.6846	11111111	0.25	0.171	0.365
13		362.0	3444.7	0.2537	0.6846	11111111	0.25	0.200	0.426
12		356.0	3082.7	0.2540	0.6848	11111111	0.25	0.229	0.486
11		341.0	2726.7	0.2548	0.6853	11111111	0.25	0.257	0.546
10		318.0	2385.7	0.2563	0.6861	11111111	0.26	0.286	0.602
9		289.0	2067.7	0.2584	0.6874	11111111	0.26	0.314	0.655
8		262.0	1778.7	0.2608	0.6887	11111111	0.26	0.343	0.704
7		239.0	1516.7	0.2633	0.6902	11111111	0.26	0.371	0.747
6		215.0	1277.7	0.2665	0.6920	11111111	0.27	0.400	0.787
5		192.0	1062.7	0.2702	0.6941	11111111	0.27	0.429	0.823
4		170.0	870.7	0.2748	0.6968	11111111	0.27	0.457	0.855
3		145.0	700.7	0.2816	0.7007	11111111	0.28	0.486	0.883
2		122.0	555.7	0.2904	0.7058	11111111	0.29	0.514	0.907
1		100.0	433.7	0.3026	0.7128	11111111	0.30	0.543	0.928
0		81.0	333.7	0.3185	0.7219	11111111	0.32	0.571	0.944
-1		66.0	252.7	0.3375	0.7328	11111111	0.34	0.600	0.958
-2		52.0	186.7	0.3651	0.7486	11111111	0.37	0.629	0.969
-3		41.0	134.7	0.4000	0.7687	11111111	0.40	0.657	0.978
-4		31.0	93.7	0.4532	0.7992	11111111	0.45	0.686	0.984
-5		23.0	62.7	0.5291	0.8428	11111111	0.53	0.714	0.990
-6		15.0	39.7	0.6859	0.9329	11111111	0.69	0.743	0.993
-7		10.0	24.7	0.9114	1.0624	11111111	0.91	0.771	0.996
-8		7.0	14.7	1.2013	1.2288	11111111	1.20	0.800	0.998
-9		4.0	7.7	1.9260	1.6450	-9	1.65	0.829	0.999
-10		2.0	3.7	3.6171	2.6161	-10	2.62	0.857	0.999
-11		0.6	1.7	11.5086	7.1480	-11	7.15	0.886	1.000
-12		0.4	1.1	17.1454	10.3850	-12	10.39	0.914	1.000
-13		0.4	0.7	17.1454	10.3850	-13	10.39	0.943	1.000
-14		0.3	0.3	22.7822	13.6221	-14	13.62	0.971	1.000
-15		0.0	0.0					1.000	1.000

Tafla 5

REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

		(Rafmagn / olía)	
Vasar forsendur útreikninga :			
i :	Stofnkostnaður rafskautakátla:	1.5 Mkr/MW	
i :	Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1 Mkr/MW	
m :	Viðhaldskostn. rafskautakátla:	3 % af i	
m :	Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	1.5 % af i	
a :	Afskriftartími rafskautakátla:	25 ár	
a :	Afskriftartími toppafisstöðvar:	25 ár	
r :	Reiknivextir:	6 % p.a.	
ra :	Arlegar greiðslur (annuitet) rafsk.	7.8 % p.a.	
ra :	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	7.8 % p.a.	
		(Svartolía)	(Rafmagn)
	Brennslugildi eldsneytis:	11.5 kWh/kg	
	Meðalnýtni í katli :	80 %	
	Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg	0.376 kr/kWh (Rarik)

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigidagar °C D	Kostnaður rafsk.k. kr/kWh	Kostnaður toppafisst. kr/kWh	Toppafl kewur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfall afls	Hlutfall afls
20	365.3	6001.5	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.000	0.000
19	365.3	5636.2	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.029	0.061
18	365.3	5270.9	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.057	0.122
17	365.3	4905.6	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.086	0.183
16	365.3	4540.3	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.114	0.243
15	365.3	4175.0	0.3945	0.6845	11111111	0.39	0.143	0.304
14	365.0	3809.7	0.3945	0.6846	11111111	0.39	0.171	0.365
13	362.0	3444.7	0.3947	0.6846	11111111	0.39	0.200	0.426
12	356.0	3082.7	0.3950	0.6848	11111111	0.40	0.229	0.486
11	341.0	2726.7	0.3958	0.6853	11111111	0.40	0.257	0.546
10	318.0	2385.7	0.3973	0.6861	11111111	0.40	0.286	0.602
9	289.0	2067.7	0.3994	0.6874	11111111	0.40	0.314	0.655
8	262.0	1778.7	0.4018	0.6887	11111111	0.40	0.343	0.704
7	239.0	1516.7	0.4043	0.6902	11111111	0.40	0.371	0.747
6	215.0	1277.7	0.4075	0.6920	11111111	0.41	0.400	0.787
5	192.0	1062.7	0.4112	0.6941	11111111	0.41	0.429	0.823
4	170.0	870.7	0.4158	0.6968	11111111	0.42	0.457	0.855
3	145.0	700.7	0.4226	0.7007	11111111	0.42	0.486	0.883
2	122.0	555.7	0.4314	0.7058	11111111	0.43	0.514	0.907
1	100.0	433.7	0.4436	0.7128	11111111	0.44	0.543	0.928
0	81.0	333.7	0.4595	0.7219	11111111	0.46	0.571	0.944
-1	66.0	252.7	0.4785	0.7328	11111111	0.48	0.600	0.958
-2	52.0	186.7	0.5061	0.7486	11111111	0.51	0.629	0.969
-3	41.0	134.7	0.5410	0.7687	11111111	0.54	0.657	0.978
-4	31.0	93.7	0.5942	0.7992	11111111	0.59	0.686	0.984
-5	23.0	62.7	0.6701	0.8428	11111111	0.67	0.714	0.990
-6	15.0	39.7	0.8269	0.9329	11111111	0.83	0.743	0.993
-7	10.0	24.7	1.0524	1.0624	11111111	1.05	0.771	0.996
-8	7.0	14.7	1.3423	1.2288		-8	1.23	0.998
-9	4.0	7.7	2.0670	1.6450		-9	1.65	0.999
-10	2.0	3.7	3.7581	2.6161		-10	2.62	0.999
-11	0.6	1.7	11.6496	7.1480		-11	7.15	1.000
-12	0.4	1.1	17.2864	10.3850		-12	10.39	1.000
-13	0.4	0.7	17.2864	10.3850		-13	10.39	1.000
-14	0.3	0.3	22.9232	13.6221		-14	13.62	1.000
-15	0.0	0.0					1.000	1.000

Tafla 6

REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

		(kol / olía)
Ymsar forsendur útreikninga :		
i	: Stofnkostnaður kolaorkuvers:	1.95 Mkr/MW
i	: Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1 Mkr/MW
m	: Viðhaldskostn. kolaorkuvers:	3 % af i
m	: Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	1.5 % af i
a	: Afskriftartími kolaorkuvers:	23 ár
a	: Afskriftartími toppafisstöðvar:	20 ár
r	: Reiknivextir:	6 % p.a.
ra	: Arlegar greiðslur (annuitet) kolak.	8.1 % p.a.
ra	: Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	8.7 % p.a.
		(Svartolia)
	Brennslugildi eldsneytis:	11.5 kWh/kg
	Meðalnýtni í katli :	80 %
	Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg
		(Kol)
		7.3 kWh/kg
		88 %
		2.15 kr/kg

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigidagar °C D	Kostnaður kolaorkuv. kr/kWh	Kostnaður toppafisst. kr/kWh	Toppafli kemur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfalli afis	Hlutfalli orku
20	365.3	6001.5	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.000	0.000
19	365.3	5636.2	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.029	0.061
18	365.3	5270.9	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.057	0.122
17	365.3	4905.6	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.086	0.183
16	365.3	4540.3	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.114	0.243
15	365.3	4175.0	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.143	0.304
14	365.0	3809.7	0.3620	0.6856	11111111	0.36	0.171	0.365
13	362.0	3444.7	0.3622	0.6857	11111111	0.36	0.200	0.426
12	356.0	3082.7	0.3626	0.6859	11111111	0.36	0.229	0.486
11	341.0	2726.7	0.3637	0.6864	11111111	0.36	0.257	0.546
10	318.0	2385.7	0.3657	0.6873	11111111	0.37	0.286	0.602
9	289.0	2067.7	0.3685	0.6886	11111111	0.37	0.314	0.655
8	262.0	1778.7	0.3718	0.6902	11111111	0.37	0.343	0.704
7	239.0	1516.7	0.3751	0.6917	11111111	0.38	0.371	0.747
6	215.0	1277.7	0.3794	0.6937	11111111	0.38	0.400	0.787
5	192.0	1062.7	0.3845	0.6961	11111111	0.38	0.429	0.823
4	170.0	870.7	0.3906	0.6990	11111111	0.39	0.457	0.855
3	145.0	700.7	0.3998	0.7033	11111111	0.40	0.486	0.883
2	122.0	555.7	0.4117	0.7088	11111111	0.41	0.514	0.907
1	100.0	433.7	0.4281	0.7165	11111111	0.43	0.543	0.928
0	81.0	333.7	0.4495	0.7265	11111111	0.45	0.571	0.944
-1	66.0	252.7	0.4750	0.7384	11111111	0.47	0.600	0.958
-2	52.0	186.7	0.5121	0.7558	11111111	0.51	0.629	0.969
-3	41.0	134.7	0.5591	0.7778	11111111	0.56	0.657	0.978
-4	31.0	93.7	0.6308	0.8113	11111111	0.63	0.686	0.984
-5	23.0	62.7	0.7329	0.8590	11111111	0.73	0.714	0.990
-6	15.0	39.7	0.9440	0.9578	11111111	0.94	0.743	0.993
-7	10.0	24.7	1.2476	1.0997	-7	1.10	0.771	0.996
-8	7.0	14.7	1.6378	1.2822	-8	1.28	0.800	0.998
-9	4.0	7.7	2.6133	1.7383	-9	1.74	0.829	0.999
-10	2.0	3.7	4.8896	2.8028	-10	2.80	0.857	0.999
-11	0.6	1.7	15.5122	7.7701	-11	7.77	0.886	1.000
-12	0.4	1.1	23.0998	11.3181	-12	11.32	0.914	1.000
-13	0.4	0.7	23.0998	11.3181	-13	11.32	0.943	1.000
-14	0.3	0.3	30.6874	14.8662	-14	14.87	0.971	1.000
-15	0.0	0.0	#DIV/0!				1.000	1.000

Tafla 7

REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafls og toppafls

(kol / olía)

Þessar forsendur útreikninga :

i	:	Stofnkostnaður kolaorkuvers:	1.95 Mkr/MW
i	:	Stofnkostnaður toppaflsstöðvar:	1 Mkr/MW
m	:	Viðhaldskostn. kolaorkuvers:	3 % af i
m	:	Viðhaldskostn. toppaflsstöðvar:	1.5 % af i
a	:	Afskriftartími kolaorkuvers:	22 ár
a	:	Afskriftartími toppaflsstöðvar:	20 ár
r	:	Reiknivextir:	6 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) kolak.	8.3 % p.a.
ra	:	Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	8.7 % p.a.

		(Svartolía)	(Kolavökvi)
Brennslugildi eldsneytis:		11.5 kWh/kg	5.4 kWh/kg
Meðalnýtni í katli :		80 %	88 %
Verð eldsneytis :		6.2 kr/kg	5 kr/kg

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigdagur °C D	Kostnaður kolaorkuv. kr/kWh	Kostnaður toppafsst. kr/kWh	Toppafll Lágmarks- kemur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfall afls	Hlutfall orku
20	365.3	6001.5	1.0773	0.6856	20	0.69	0.000	0.000
19	365.3	5636.2	1.0773	0.6856	19	0.69	0.029	0.061
18	365.3	5270.9	1.0773	0.6856	18	0.69	0.057	0.122
17	365.3	4905.6	1.0773	0.6856	17	0.69	0.086	0.183
16	365.3	4540.3	1.0773	0.6856	16	0.69	0.114	0.243
15	365.3	4175.0	1.0773	0.6856	15	0.69	0.143	0.304
14	365.0	3809.7	1.0774	0.6856	14	0.69	0.171	0.365
13	362.0	3444.7	1.0776	0.6857	13	0.69	0.200	0.426
12	356.0	3082.7	1.0780	0.6859	12	0.69	0.229	0.486
11	341.0	2726.7	1.0791	0.6864	11	0.69	0.257	0.546
10	318.0	2385.7	1.0811	0.6873	10	0.69	0.286	0.602
9	289.0	2067.7	1.0840	0.6886	9	0.69	0.314	0.655
8	262.0	1778.7	1.0872	0.6902	8	0.69	0.343	0.704
7	239.0	1516.7	1.0906	0.6917	7	0.69	0.371	0.747
6	215.0	1277.7	1.0949	0.6937	6	0.69	0.400	0.787
5	192.0	1062.7	1.1000	0.6961	5	0.70	0.429	0.823
4	170.0	870.7	1.1062	0.6990	4	0.70	0.457	0.855
3	145.0	700.7	1.1155	0.7033	3	0.70	0.486	0.883
2	122.0	555.7	1.1275	0.7088	2	0.71	0.514	0.907
1	100.0	433.7	1.1440	0.7165	1	0.72	0.543	0.928
0	81.0	333.7	1.1656	0.7265	0	0.73	0.571	0.944
-1	66.0	252.7	1.1914	0.7384	-1	0.74	0.600	0.958
-2	52.0	186.7	1.2288	0.7558	-2	0.76	0.629	0.969
-3	41.0	134.7	1.2762	0.7778	-3	0.78	0.657	0.978
-4	31.0	93.7	1.3485	0.8113	-4	0.81	0.686	0.984
-5	23.0	62.7	1.4515	0.8590	-5	0.86	0.714	0.990
-6	15.0	39.7	1.6645	0.9578	-6	0.96	0.743	0.993
-7	10.0	24.7	1.9707	1.0997	-7	1.10	0.771	0.996
-8	7.0	14.7	2.3643	1.2822	-8	1.28	0.800	0.998
-9	4.0	7.7	3.3484	1.7383	-9	1.74	0.829	0.999
-10	2.0	3.7	5.6447	2.8028	-10	2.80	0.857	0.999
-11	0.6	1.7	16.3604	7.7701	-11	7.77	0.886	1.000
-12	0.4	1.1	24.0146	11.3181	-12	11.32	0.914	1.000
-13	0.4	0.7	24.0146	11.3181	-13	11.32	0.943	1.000
-14	0.3	0.3	31.6687	14.8662	-14	14.87	0.971	1.000
-15	0.0	0.0					1.000	1.000

Tafla 8

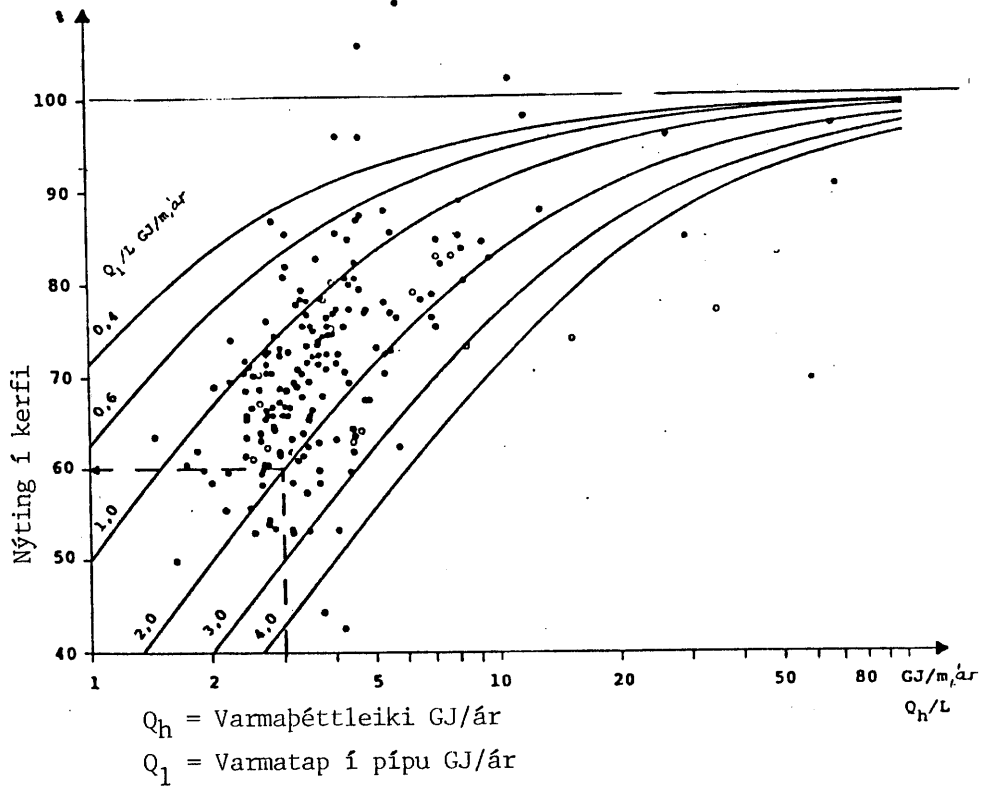
REYKJAVÍK 1949 - 1980

Gráðudagar - Orkukostnaður - Hagkvæmasta skipting grunnafis og toppafis

		(Varmadæla / olía)	
Ymsar forsendur útreikninga :			
i	: Stofnkostnaður varmadælu:	15.5 Mkr/MW	
i	: Stofnkostnaður toppafisstöðvar:	1 Mkr/MW	
m	: Viðhaldskostn. varmadælu:	2 % af i	
m	: Viðhaldskostn. toppafisstöðvar:	1.5 % af i	
a	: Afskriftartími varmadælu:	18 ár	
a	: Afskriftartími toppafisstöðvar:	25 ár	
r	: Reiknivextir:	6 % p.a.	
ra	: Arlegar greiðslur (annuitet) varmad	9.2 % p.a.	
ra	: Arlegar greiðslur (annuitet) topp:	7.8 % p.a.	
		(Svartolía)	(Varmadæla)
	Brennslugildi eldsneytis:	11.5 kWh/kg	CDP =2.7
	Meðalnýtni í katli :	80 %	
	Verð eldsneytis :	6.2 kr/kg	0.235 kr/kWh

TAFLA

Hiti Tg °C	Fjöldi daga með hita <= Tg	Stigdagur °C D	Kostnaður varmad. kr/kWh	Kostnaður toppafisst. kr/kWh	Toppafli kemur inn við x °C	Lágmarks- kostnaður kr/kWh	Hlutfall afis	Hlutfall orku
20	365.3	6001.5	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.000	0.000
19	365.3	5636.2	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.029	0.061
18	365.3	5270.9	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.057	0.122
17	365.3	4905.6	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.086	0.183
16	365.3	4540.3	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.114	0.243
15	365.3	4175.0	0.2857	0.6845	11111111	0.29	0.143	0.304
14	365.0	3809.7	0.2858	0.6846	11111111	0.29	0.171	0.365
13	362.0	3444.7	0.2875	0.6846	11111111	0.29	0.200	0.426
12	356.0	3082.7	0.2909	0.6848	11111111	0.29	0.229	0.486
11	341.0	2726.7	0.2998	0.6853	11111111	0.30	0.257	0.546
10	318.0	2385.7	0.3152	0.6861	11111111	0.32	0.286	0.602
9	289.0	2067.7	0.3381	0.6874	11111111	0.34	0.314	0.655
8	262.0	1778.7	0.3640	0.6887	11111111	0.36	0.343	0.704
7	239.0	1516.7	0.3907	0.6902	11111111	0.39	0.371	0.747
6	215.0	1277.7	0.4245	0.6920	11111111	0.42	0.400	0.787
5	192.0	1062.7	0.4650	0.6941	11111111	0.46	0.429	0.823
4	170.0	870.7	0.5139	0.6968	11111111	0.51	0.457	0.855
3	145.0	700.7	0.5875	0.7007	11111111	0.59	0.486	0.883
2	122.0	555.7	0.6818	0.7058	11111111	0.68	0.514	0.907
1	100.0	433.7	0.8127	0.7128	1	0.71	0.543	0.928
0	81.0	333.7	0.9829	0.7219	0	0.72	0.571	0.944
-1	66.0	252.7	1.1865	0.7328	-1	0.73	0.600	0.958
-2	52.0	186.7	1.4825	0.7486	-2	0.75	0.629	0.969
-3	41.0	134.7	1.8569	0.7687	-3	0.77	0.657	0.978
-4	31.0	93.7	2.4278	0.7992	-4	0.80	0.686	0.984
-5	23.0	62.7	3.2420	0.8428	-5	0.84	0.714	0.990
-6	15.0	39.7	4.9246	0.9329	-6	0.93	0.743	0.993
-7	10.0	24.7	7.3434	1.0624	-7	1.06	0.771	0.996
-8	7.0	14.7	10.4533	1.2288	-8	1.23	0.800	0.998
-9	4.0	7.7	18.2279	1.6450	-9	1.65	0.829	0.999
-10	2.0	3.7	36.3688	2.6161	-10	2.62	0.857	0.999
-11	0.6	1.7	121.0264	7.1480	-11	7.15	0.886	1.000
-12	0.4	1.1	181.4960	10.3850	-12	10.39	0.914	1.000
-13	0.4	0.7	181.4960	10.3850	-13	10.39	0.943	1.000
-14	0.3	0.3	241.9657	13.6221	-14	13.62	0.971	1.000
-15	0.0	0.0					1.000	1.000



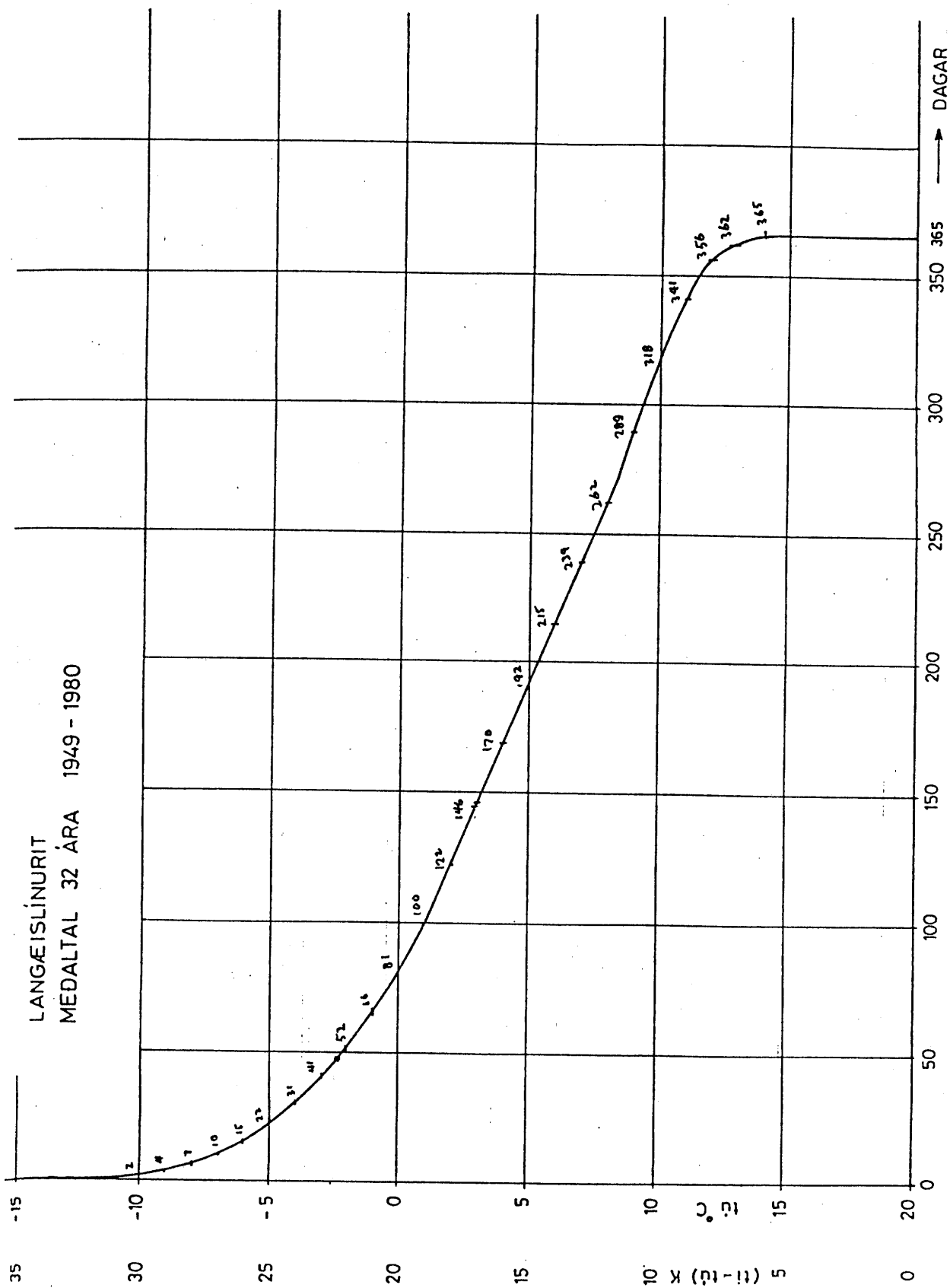
Mynd 1. Nýtni (eða orkutap) í dreifikerfi sem fall af
 1) orkuflæði í dreifikerfi 2) varmatapi í dreifikerfi, (2)

VARMATAP Í EINANGRUÐUM HITAVEITUPÍPUM Í JÖRÐU MV. ORKUFLÆÐI

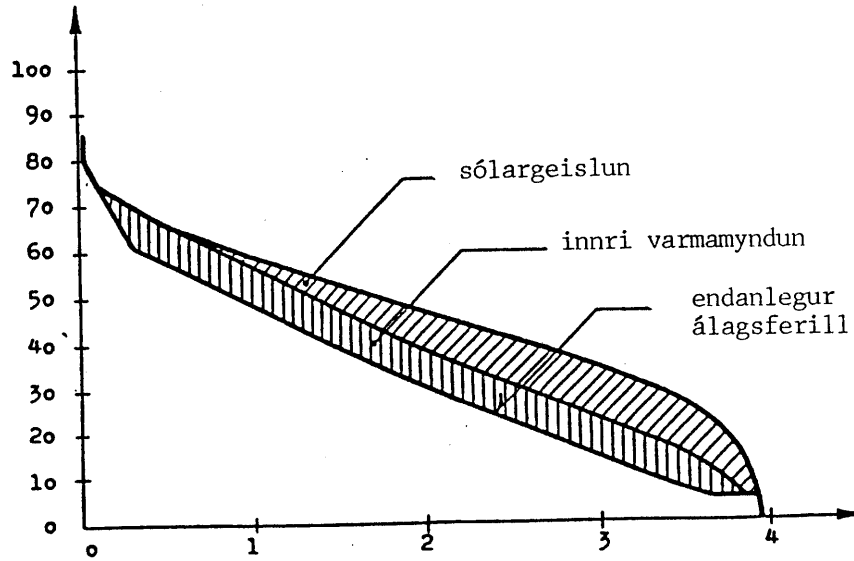
Nafnstærð mm	Kólnunartala W/m°C	Kólnun mv. lengd GJ/m/ár (1 GJ/m/ár=31,7 W/m)			Streymi l/s miðað við 10 próm. (þrýstif.)	Orkuflæði mv. lengd GJ/m/ár (Nýting vatns 40°C)	
		dT=70°C	dT=80	dt=95		L=1 km	L=10 km
65	0.29	0.6	0.7	0.9	3.2	16.9	1.7
100	0.33	0.7	0.8	1.0	8.1	42.8	4.3
150	0.44	1.0	1.1	1.3	23.6	124.8	12.5
200	0.48	1.1	1.2	1.4	33.3	* 176.1	17.6
250	0.49	1.1	1.2	1.5	61.0	* 322.5	32.3

Athuga: * 5 próm.

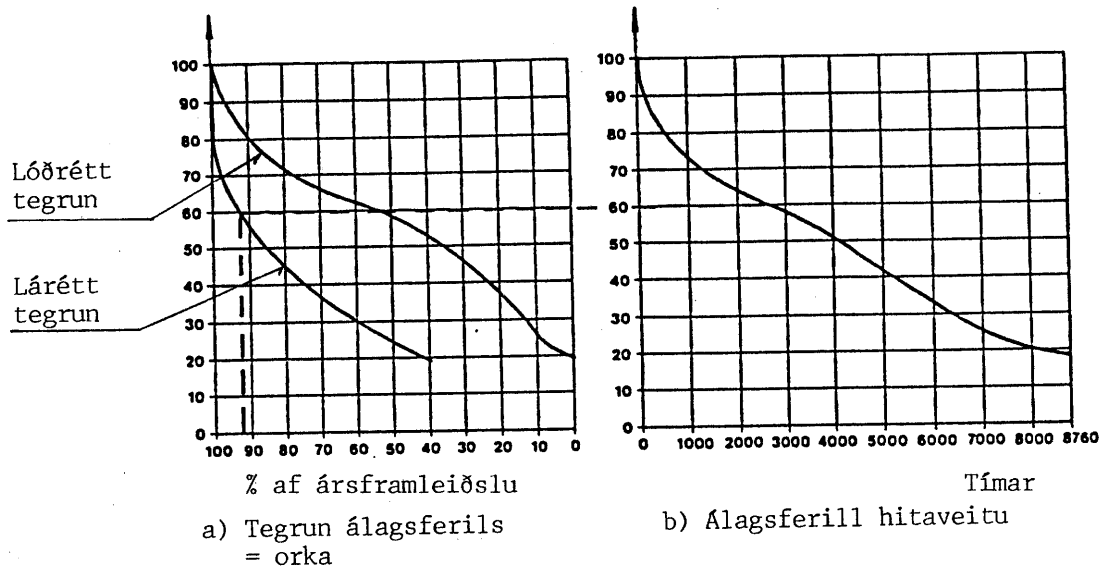
Til skýringar: Þessi tafla gefur tilkynna orkuflæði og varmatap (kólnun) í einangruðum hitaveitulögnum sem algengar eru á Íslandi.



Mynd 2. Langæislinurit fyrir Reykjavík (4)

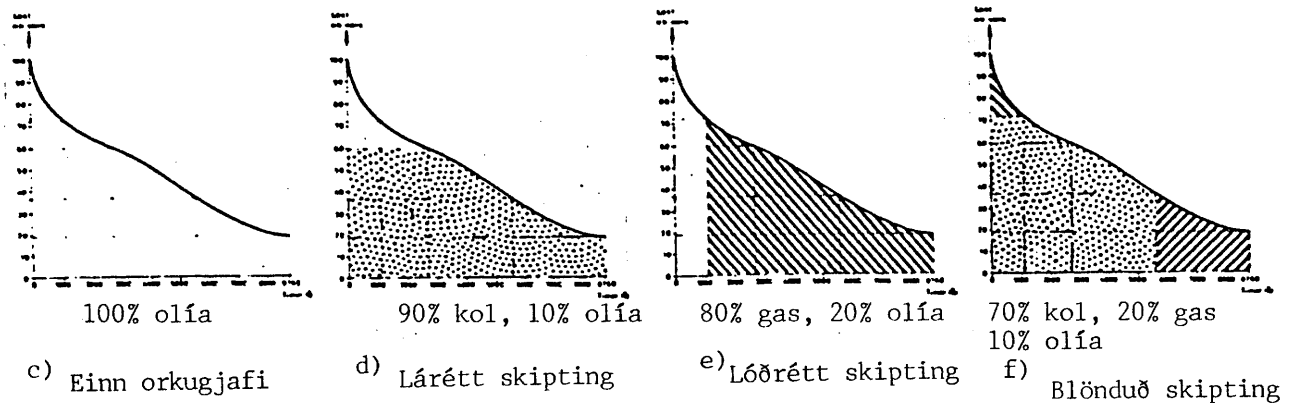


Mynd 3. Áhrif sólargeislunar og innanri varmamyndunar á álagsferil hitaveitu



a) Tegrún álagsferils = orka

b) Álagsferill hitaveitu



100% olía

90% kol, 10% olía

80% gas, 20% olía

70% kol, 20% gas
10% olía

c) Einn orkugjafi

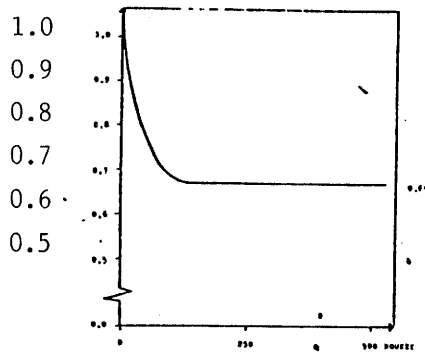
d) Lárétt skipting

e) Lóðrétt skipting

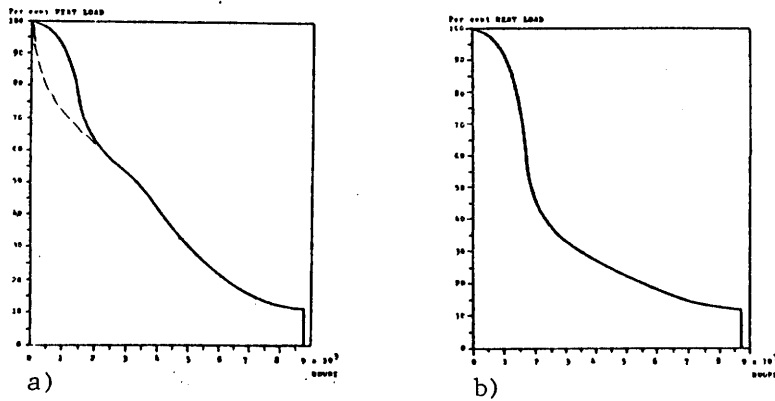
f) Blönduð skipting

Mynd 4.

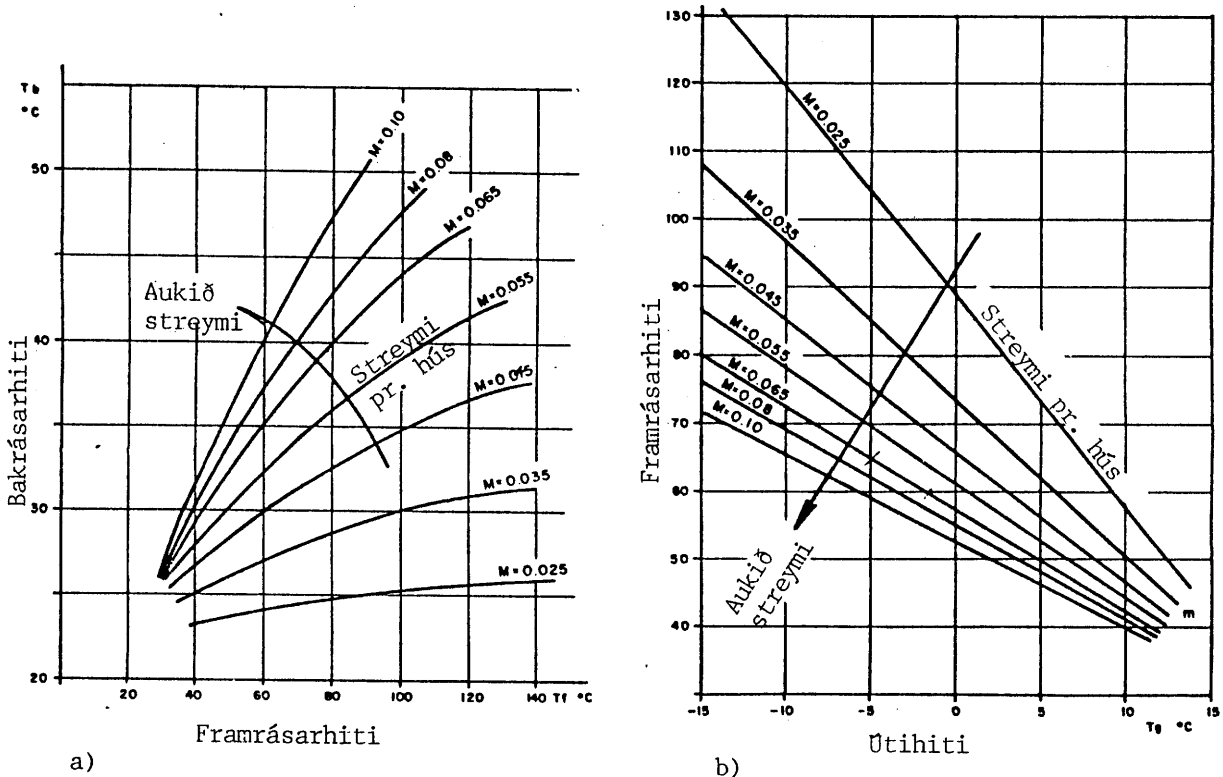
Álagsferlar. Sýndir eru mismunandi orkugjafar og hugsanleg samsetning þeirra.



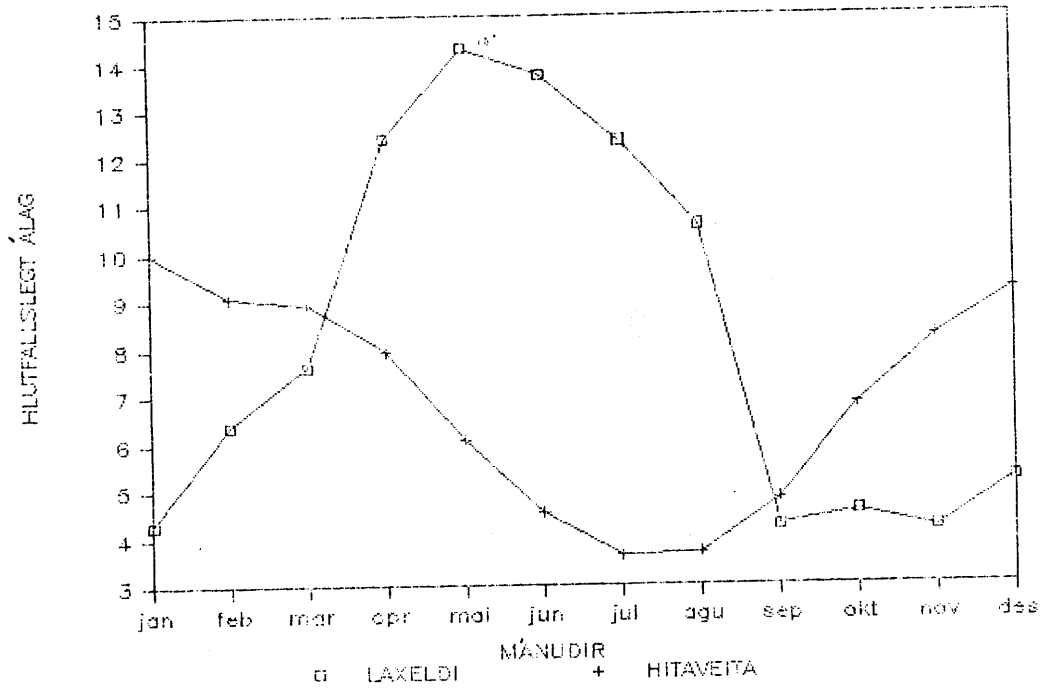
Mynd 5. Samtímastuðull álags í hitaveitu (1)



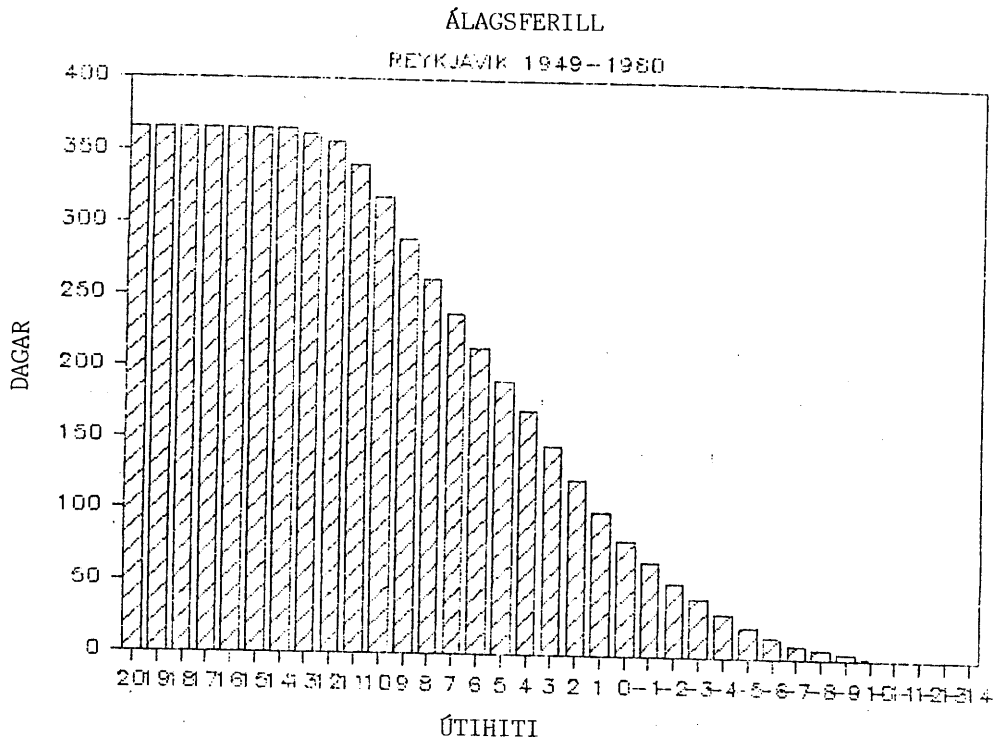
Mynd 6. Álagsferill hitaveitu a) með viðbótarálagi að sumarlagi jafnt hámarki að vetri, b) ef viðbótarálag að sumri er meira en að vetri. (1)



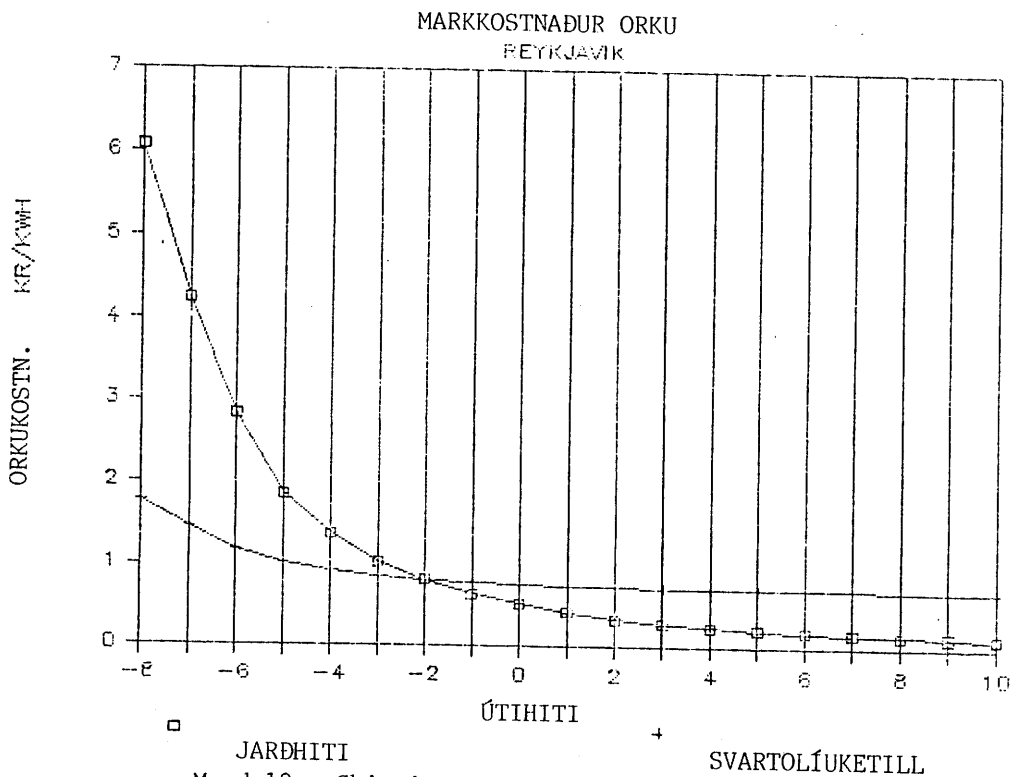
Mynd 7. Samhengi framrásarhita T_f , bakrásarhita T_b , útihita T_g og streymis M (8)



Mynd 8 Álagsdreifing varma í seiðaeldi og hitaveitum



Mynd 9 Álagsferill fyrir Reykjavík skv. Töflu 1



Mynd 10 Skipting jarðvarma og svartolíu

FJÖLPÆTT NÝTING JARÐHITA

Valdimar K. Jónsson

Háskóla Íslands

INNGANGUR

FJÖLPÆTT NÝTING JARÐHITA

VERÐLAGNING Á ORKU VIÐ FJÖLPÆTTA NÝTINGU

EFNISVAL Í JARÐHITATÆKJUM

GUFUSKILJUR

VARMASKIPTAR

Inngangur

Gerð varmaskipta

Skeljun í varmaskiptum

GUFUGILDRUR

STÝRIBÚNAÐUR

NIÐURSTÖÐUR

1. Inngangur

Mikið hefur verið skrifað og skrafað um nýtingu jarðhita í iðnaði á Íslandi án þess að til framkvæmda hafi komið nema í einstökum tilfellum. Hver man ekki eftir þungavatnsverksmiðju, sykurverksmiðju, ylræktarveri, súrálsværksmiðju og trjákvöðuverksmiðju? En engar af þessum vangaveltum hafa komið til framkvæmda, þrátt fyrir að sumar þeirra þættu fýsilegur kostur þegar arðsemisathuganir voru gerðar. Það kom alltaf eitthvað upp sem breytti dæminu.

Á öðrum sviðum hafa verksmiðjur verið reistar eins og Kísiliðjan í Bjarnarflagi og Þörungaverksmiðjan á Reykhólum og Sjóefnavinnslan hefur verið reist að hluta. Þessar verksmiðjur hafa gengið misjafnlega vel og er Kísiliðjan sú eina sem hefur sannað tilverurétt sinn, þrátt fyrir að hún hefur áður fyrr átt við erfiðleika að stríða, bæði vegna erfiðrar fjárhagsstöðu og náttúruhamfara sem ollu skemmdum á verksmiðju og jarðhitasvæðinu í Bjarnarflagi.

Hvað er það sem veldur því að tilraunir með notkun jarðhita til iðnaðar hefur átt við svona mikla örðugleika að etja? Það er eflaust margt sem kemur til, ef útskýra á örðugleika þess að koma þessum verksmiðjum á fót og er engin ein skýring sem á við allar þær athuganir sem gerðar hafa verið. Telja má þó nokkrar upp eins og t.d. ótryggar markaðshorfur, sveiflur á vöruverði, flutningskostnaður bæði á hrávöru og fullunninni vöru er of stór hluti af heildarverðmæti vörunnar og fl. Þó er áberandi að tvennt hefur vantað sem hefði eflaust getað leitt til hagkvæmari fjárfestingar. Það eru: Fjölpættari nýting á sama jarðhitasvæðinu og að athugaðar hafa verið meira óþekktar vinnslurásir frekar en hefðbundnar og þekktar. Ég vil skýra þetta öllu nánar hér á eftir.

Af þeim þremur iðnaðarverksmiðjum sem starfa hér á landi, Kísil-, Þara- og Sjóefnaverksmiðjum, eru vinnsluferlarnir nýir og hafa ekki verið reyndir annars staðar áður. Þróa þurfti nýjar aðferðir, sem byrjunarerfiðleikar fylgdu og sköpuðu fyrirtækjunum erfiðari fjárhagsstöðu í byrjun, sem oft tekur langan tíma að ná upp. Aftur á móti eru ýmiskonar þurrkun á efnum, matvælum, eiming, gerilsneyðing og fleira, velþróaðar greinar annars staðar og er enginn munur á hvort heitt vatn eða gufa kemur frá kola- eða oliúkyntum kötlum eða frá jarðhita. Ætlanagerð um hagkvæmni síðarnefndu þáttanna eru miklu nákvæmari en þeirra fyrrnefndu og gerir ákvarðanatöku þess vegna auðveldari.

2. Fjölpætt nýting jarðhita

Ef nýta á háhitasvæði, þá kemur margt til greina, eins og raforkuframleiðsla, iðnaðarnotkun, ræktun gróðurs eða fiska, upphitun, heilsurækt o.fl. Hvert eitt út af fyrir sig af því sem upptalið er hér að ofan gerir nýtingu kostnaðarsama og jafnvel orkusóandi. Samnýting gerir fjárfestinguna á jarðhitasvæðinu hlutfallslega minni. Meginástæða fyrir þessu er að jarðhitaöflunin er hlutfallslega stór liður í heildarkostnaði. T.d. ef reisa á raforkuver, sem nýtir jarðhita, þá er kostnaður við gufuöflun milli 20-40% af heildarkostnaði virkjunarinnar og um 90% af varmanum er kastað án þess að nýta hann nokkru frekar. Ef leitað væri að öðrum leiðum til að nýta hluta af orkunni, sem annars væri kastað, hlyti orkuöflunarkostnaður að minnka hlutfallslega. Gott dæmi um þetta er Hitaveita Suðurnesja, sem framleiðir bæði rafmagn og heitt vatn til upphitunar húsa. Samt er nýtingin þar ekki eins og best verður á kosið, enda vatni kastað þar um 70 °C heitu án þess að reyna að nýta það eitthvað frekar. Nú hefur affallsvatnið reynst vera mjög heilsusamlegt og væri sjálfsagt hægt með bættum aðbúnaði að hafa nokkrar tekjur af því.

Í sambandi við Svartsengi má nefna leiðir til bættrar nýtingu orkunnar til þess að vekja umhugsun um það efni sem hér verður rætt um. Hægt er að nýta hita vatnsins lengra niður, t.d. niður í 25 °C, sem síðan væri notað í sundlaug fyrir heilsuræktarstöð, sem bæði gæti verið utan og innan húss eða til niðurdælingar. Nýting vatnsins gæti verið með ýmsum hætti, annað hvort til upphitunar, þurrkunar eða frystingu á fiski eða öðrum matvælum, en Grindavík er aðeins í nokkra km fjarlægð svo ekki þyrfti að flytja aðföngin langt að. Úr þeim efnum sem kæmu úr vatninu væri t.d. hægt að vinna kísil og fl. efni og úr gufunni mætti vinna kolsýru. Með þessum hætti væri um gjörnýtingu jarðhitans að ræða. Mynd 1 sýnir dæmigert flæðilínurit fyrir fjölpætta nýtingu jarðhita frá háhitasvæði.

En hvað er það sem þarf til við slíka gjörnýtingu? Hvað varðar flesta þessa þætti þá þarf að flytja varmann frá jarðhitavökvanum yfir í annað efni, vatn, loft eða gufu og þetta er gert með varmaskiptum af ýmsum gerðum og lögum en það er því mikilvægt að menn geri sér grein fyrir þessum mismunandi gerðum og við hvaða aðstæður ber að nota þær. Einnig er annar tækjabúnaður sem skiptir máli í fjölpættri nýtingu jarðhitans eins og dælur, pípur, gufuskiljur, gastæmingartæki, gufugildirur, stýribúnaður og öryggisbúnaður. Engan einn þessara þátta er hægt að skilja frá, heldur tengjast þeir saman í eina órofa mynd ásamt borholum og afköstum þeirra og frágangi á þeim úrgangsefnum sem kastað er í vinnslurásunum.

Í íslenskri tungu er ekkert eitt heiti til yfir efni sem geta streymt, þ.e. runnið. Á enskri tungu er til samheitið fluid yfir efni hvort sem þau eru í loftkenndu eða fljótandi formi. Hér verður notast við nýyrðið kvikefni og getur það verið samheiti fyrir fljótandi vatn, loft eða vatnsgufu.

3. Verðlagning á orku við fjölpættu nýtingu

Oft hefur verið reynt að meta hvernig ætti að verðsetja varmaorku, sem afhent er við mismunandi hita og þrýsting, hvort sem vatnið er í vökva- eða gufuformi eða blanda af því. Einnig getur það vafist fyrir mörgum hvort sá aðili sem notar varmann frá ákveðnu kvikefni, eftir að annar aðili hefur notað hluta af honum og borgað fyrir notkunina, eigi ekki rétt á að nota hann án endurgjalds. Á þessu vandamáli hefur ekki verið tekið á Íslandi eða annars staðar svo vitað sé. Þegar um fjölpættu nýtingu er að ræða og margir aðilar munu nota varmann, eins og bent hefur verið á hér að framan, kemur það auðvitað fyrst í huga manna hvað eigi að borga fyrir notkun varmans og hvernig kostnaður skiptist hlutfallslega niður á marga notendur sama varmamiðils.

Varmaorka er mæld í einingu eins og t.d. kWst. en á sá aðili sem notar 1 kWst framleidda af gufu við 170 °C hita og við þrýsting 6 bar að borga það sama og annar sem notar 1 kWst varma úr vatni við 80 °C hita? Svárið er nei, því í fyrra tilfellinu er orkan nýtt við hærri orkustig en í seinna tilfellinu. Enþalþía (h) er mæling á orku í gufu. Mismunur á enþalþíu, sem mælir orkunotkunina gefur þó ekkert til kynna hvort er dýrmætara, að nota 170 °C heita gufu eða 80 °C heitt vatn. Ef nota á t.d. gufu til raforkuframleiðslu, þá verður varmanýtnin meiri, eftir því sem hún er heitari. Það hlýtur því að vera hagkvæmara að framleiða raforku eða mekaniska vinnu frá hverflum eftir því sem hitastig er hærri. Það er því ljóst að ofansögðu, að þeim mun hærri sem hiti jarðvökvans er, þeim mun hærri ætti verðið á hverja kWst að vera.

Oft hefur verið sagt að varmaorka sé óæðra orkuform, vegna þess að það er ekki hægt fræðilega að breyta henni 100% í annað orkuform eins og t.d. mekanískari orku eða raforku. Hins vegar getur mekanisk orka og raforka fræðilega breyst 100% í varmaorku. Hér á orðið fræðilega við um það að þessi umbreyting verður alltaf fyrir einhverjum töpum, s.s. viðnámi í

straumvélum og legum en þessi töp er hægt að gera minni og minni með bættri hönnun, sem veldur þó dýrari tækjakostnaði. Skilgreint hefur verið orkufall sem mælir hvað mikið af varmaorku er fræðilega hægt að breyta í annað orkuform, eins og mekaniska orku eða raforku. Þetta orkufall hefur verið nefnt exergy á ensku (höfundur telur að Gunnar Böðvarsson prófessor, sé sá fyrsti sem notað hafi þetta orð á sviði jarðhita) eða available energy, sem gæti útlagst sem sá hluti varmaorkunnar sem fræðilega má breyta í annað orkuform.

Exergy mætti kalla varmaorkustig á íslensku, þ.e. hvernig varminn er metinn sambærilega við annað orkuform. Til styttingar mætti einnig nota orðið varmastig, sem mælikvarða á varmaorku eins og hitastig er mælikvarði á hita.

Frjáls orka (free energy eða Gibbs fall) er skilgreint á eftirfarandi hátt

$$E = h - T \cdot s \quad (1)$$

þar sem

h er varmaorka (enthalpy), kJ/kg
 s er óreiða (entropy), kJ/kg-°K
 T er algjört hitastig, °K = 273 + °C.

Óreiða er hugtak sem tengist öðru höfuðlögmáli varmafræðinnar og er mælikvarði á ringulreið eða óumsnúanleika vinnsluferla, þegar breyta á ástandi efnis frá einu varmastigi í annað. Ef varmi er tekinn frá ákveðnu efni, þannig að varmastig þess breytist frá ástandspunkti 1 til ástandspunkts 2, verður breyting í varmastigi (exergy).

$$E = E_1 - E_2 = h_1 - h_2 - T_2(s_1 - s_2) \quad (2)$$

þar sem hitastigið T_2 er miðað við lágsta hitastig notkunarinnar. Rétt er að benda á að hvort sem ástand kvikefnisins er í hreinum gufufasa eða vatnsfasa eða blöndu af

þeirra eftir notkun við hitann T_2 breytir engu um varmastigið vegna þess að við fast hitastig gildir að

$$h_{2,g} - h_{2,v} = T_2 (s_{2,g} - s_{2,v}) \quad (3)$$

þar sem g og v stendur fyrir gufu- og vatnsfasa.

Franskur vísindamaður að nafni Carnot (1824) varð fyrstur manna til að benda á að varmaorku væri ekki hægt að breyta að fullu yfir í annað orkuform, og hefur þetta lögmál stoppað margan uppfinningamanninn við að framleiða eilífðarvélina, sem getur gengið stanslaust án þess að fá nokkra orku.

Carnot-lögmálið segir að stærsta hlutfallslega breyting á varmaorku yfir í annað orkuform sé

$$\text{nýtni} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (4)$$

þar sem T_1 er hærra hitinn og T_2 það lægra miðað við algjöran hita. T.d. ef nýta á 170 °C heita gufu í hverfli og gufan er þétt fyrir aftan vél við 40 °C, þá er fræðilega stærsta nýtnin,

$$\text{nýtni} = \frac{(170+273) - (40+273)}{170+273} = 0.29 \quad (5)$$

eða 29% varmanýtni, þ.e. aðeins er hægt að breyta 29% af varma yfir í mekaniska orku. Í raunverulegum vinnuferlum er nýtni ennþá minni og oft ekki nema um 50-60% af Carnot-nýtni.

Ef við snúum okkur aftur að orkustigi þá fæst að varmanýtni er einnig hægt að skilgreina sem varmastig (exergy) á móti heildarorku varmans, sem er enþalþían eða varmanýtnin verður

$$\text{nýtni} = \frac{(E_1 - E_2)}{(h_1 - h_2)} = 1 - \frac{T_2(s_1 - s_2)}{(h_1 - h_2)} \quad (6)$$

Þar sem h_2 stendur fyrir enþalpiu vatns, gufu eða blöndu við hitann T_2 .

Mynd 2 og 3 sýna varmastig fyrir gufu og vatn við upphafshitann miðað við mismunandi aðstæður. Hver lína fyrir sig er við ákveðinn upphafshita (afhendingarhita) en lárétti ásinn gefur til kynna hvað efnið er notað niður í lágan hita. Einnig sýnir tafla 1 varmastigið í kJ/kg fyrir vatn og gufu og hlutfall þeirra. Ef við tökum sem dæmi gufu eða vatn við 180 °C sem er nýtt niður í 100 °C heitt vatn, þá fæst frá töflunni að varmastig gufunnar er 389,3 kJ/kg og vatnsins 33,5 kJ/kg. Ef verðið á orkunni er miðað við varmastigið ætti hvert kg af gufu að vera 11,6 sinnum dýrari en hvert kg af vatni. Hins vegar ber að hafa í huga að varmaorkan í gufunni er 6,85 sinnum meiri í gufunni en vatninu þannig að út kemur að hver orkueining gufunnar er um 70% verðmætari en hver orkueining vatnsins miðað við magn. Hlutfall varmastig/orku er nefnt nýtni ferilsins og er í raun breyting á varmastigi á móti breytingu á orku efnisins.

Mynd 4 og 5 sýna nýtnina fyrir gufu og vatn frá 180 °C allt niður í 40 °C. Tafla 2 sýnir varmanýtni fyrir mismunandi hitastig á T_1 og T_2 .

Einn galli er þó á að nota varmastig eingöngu í viðmiðun við orkustig. Þegar gufa þéttist við ákveðinn hita, verður varminn sem hún gefur frá sér sami og þéttivarminn ($h_g - h_v$) en einnig jafnt og $T(s_g - s_v)$ þannig að varmastig verður núll. Þetta er ekki góður mælikvarði við þau tilfelli svo eitthvað þarf að taka til bragðs í því tilfelli. Einnig gefur þetta til kynna að óreiða er stærst þar sem varmi er nýttur við fast hitastig og þess vegna nýttur á óhagkvæmasta háttinn miðað við gjörnýtingu.

Hlutfallið

$$\frac{T_2(s_1 - s_2)}{(h_1 - h_2)} \quad (7)$$

gefur betur til kynna vannýtingu varmaorkunnar. Hlutfallið er hærra eftir því sem minni munur er á hitamismun nýtingarinnar ($T_1 - T_2$), og hún gefur einnig til kynna hvernig orkan hefur verið vannýtt til framleiðslu verðmætari orku, sem stóð til boða, í stað þess að nota hana beint sem varmagjafa til upphitunar eða þurrkunar á öðru efni. Þeim mun verr sem varminn er nýttur, þeim mun meira ætti að borga fyrir hana fyrir hverja kWst.

Út frá þessum vangaveltum um varmastig og óreiðu sýnir það sig að gufa ætti að vera um helmingi dýrari á hverja orkueiningu en vatn við sama hita og að verðið fer hækkandi með hækkandi afhendingarhita. Einnig ætti verð á orkueiningu að vera hærra eftir því sem hitinn fellur minna hjá notanda, samkvæmt jöfnu (7). Ef við reynum að koma öllum þessum atriðum inn í verðlagninguna gæti orkuverðlagning litið þannig út.

$$\text{Orkuverð} = k \quad v \quad \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (8)$$

þar sem k = álagningarstuðull sem er fall af afhendingar og skilahita

v = grunnverð orkunnar, kr/kWst

\dot{m} = massastreymi, kg/s

h_1 = afhendingar enþalpía, kJ/kg

h_2 = skilaenþalpían, kJ/kg.

Sem tillaga um verðlagningarstuðul fyrir gufu

$$kg = 0.005(T_1 + T_2) \quad (9)$$

fyrir vatn

$$k_v = 0.0025(T_1 + T_2) \quad (10)$$

þar sem T_1 er afhendingarhiti og T_2 skilahiti. Ef tekin eru nokkur dæmi um þetta bæði fyrir vatn og gufu til að sýna hvernig þetta virkar. Þurr mettuð gufa við 180 °C er seld fyrsta aðila sem notar hana niður í 120 °C og afhendir aftur sem gufu, álagningarstuðullinn er 1,5. Næsti notar gufuna við 120 °C og nýtir niður í 80 °C heitt vatn, álagningarstuðull er 1,00. Þriðji aðillinn fær vatnið 80 °C heitt og notar það niður í 40 °C, álagningarstuðull 0,3, síðan er vatnið notað niður í 8 °C hjá fjórða aðila, álagningarstuðull er 0,12. Heildarverð á hvert kg/s fyrir $v = 1,0$ kr/kWst.

$$\begin{aligned} \text{Verð} &= 1,5(2776,7 - 2706) + 1(2706 - 334,92) \\ &+ 0,3(334,92 - 167,45) + 0,12(167,45 - 33,60) \\ &106,05 + 2371,08 + 50,24 + 16,06 = 2543,4 \end{aligned}$$

$$\text{heildarvarminn} = (2776,7 - 33,6) = 2743,1.$$

$$\text{Meðalverð} = \text{Verð/heildarvarmi} = 0,927 \text{ kr/kWst.}$$

Annað dæmi: Sá fyrsti notar gufuna niður í 100 °C. Annar þéttir hana við 100 °C, sá þriðji nýtir vatnið niður í 40 °C og sá síðasti nýtir það síðan niður í 8 °C.

$$\begin{aligned} \text{Verð:} &= 1,4(2776,7 - 2676) + 1,0(2676 - 419,06) \\ &0,7(419,06 - 167,45) + 16,06 = 2590,11 \end{aligned}$$

$$\text{Meðalverð} = 9,444 \text{ kr/kWst.}$$

Í þessum dæmum greiðir sá hæsti 1,5 kr/kWst og sá lægsti 12 aura/kWst sem virðist ekki vera óeðlileg dreifing á verði varmaorkunnar.

4. Efnisval í jarðhitatækjum

Oft er talað um að jarðhitavökvi geti bæði valdið tæringu eða skeljun á hlutum sem komast í snertingu við hann. Hér verður aðeins stiklað á stóru um efnisval í vissum tilfellum.

Tærandi hluta jarðkvikuefnisins má oftast leiða til jarðgufu sem verið er að þétta, sérstaklega ef hún er rík af gastegundum eins og brennisteinsvetni. Við þéttingu á jarðgufu verður þéttivatnið mjög súrt og virkar tærandi á efni sem það kemst í snertingu við. Einnig getur jarðkvikuefni valdið tæringu ef það kemst í snertingu við andrúmsloft, því það er sjálft mjög snautt af súrefni. Loft og jarðkvikuefni í snertingu virka strax tæringarvaldandi á flest efni.

Skeljun á sér hins vegar stað þar sem jarðvatn hefur verið skilið frá gufu og vatn verið kælt. Við það yfirmettast það af uppleystum steinefnum sem falla út.

Kvikefni veldur einna truflun í borholum þegar það byrjar að sjóða vegna lakkandi þrýstings upp borholuna og myndast þá kalkútfelling í borholum, sem þarf að hreinsa reglulega. Efnisval er ekki afmarkað í tvífasalögnum, og er algengast að nota venjulegt stál í lagnir, bæði ofan- og neðan jarðar. Við lágan hita kemur plast og fiberplastefni einnig til greina.

Við þéttingu jarðgufu þarf að vanda betur til efnisvals og er oftast notað ryðfrítt stál eða titan. Einnig kemur til greina að nota fiberplast eða rotvarið timbur (oregonfura).

Fyrir jarðhitakvikefni sem eru í snertingu við loft er best að nota plast, rotvarið timbur, steinsteypu, álblöndu eða jarðefni eins og móberg eða granít. Einnig kemur til greina að nota ryðfrítt stál í einstökum tilfellum.

Forðast ber að nota eðalmálma eins og óvarinn kopar, koparblöndu, silfur eða gull, þar sem jarðkvikuefni er notað, eða hveraloft getur leikið um.

Tafla 3 gefur yfirlit yfir þær gastegundir sem hafa hvað skaðvænlegust tærandi áhrif á efni í lögnum og tækjum.

5. Gufuskiljur

Í varmaorkuverum eru miklar kröfur gerðar til skiljuhæfni gufuskilja og er ekki óeðlilegt að settar eru kröfur um að gufan sé með um 99.9% gufuinnihald, eða að vatnsdropar séu ekki meira en 0.1% af gufunni miðað við massa. Meginrök eru að með vatninu berast uppleyst steinefni, sem valda skeljun á hlutum, og þar af leiðandi tíðari upptökur tækja til hreinsunar ef skiljuhæfin er ekki nógu góð.

Mikil fastheldni ríkir þó í gerð gufuskilja á jarðhitasviðinu og hefur myndast föst hefð hvernig beri að hanna þær og lítið er vikið frá þeirri hefð víðast hvar.

Ný-Sjálendingar (P.Bangman 1970) voru fyrstir til að festa hönnunarforsendur gufuskilja af miðflótttaafslgerð (cyclon separator). Gufu og vatni er hleypt inn í lóðréttan skiljubelg þvert í snertilstefnu belgsins eða með spíralinntaki. Meginpartur vatnsins kastast út til hliða í belgnum vegna miðflóttakrafts og fellur niður með hliðunum á botn skiljunnar. Gufan streymir hins vegar upp skiljubelginn, en stærstu dropar sem berast með gufunni detta fljótt niður vegna þyngdar sinnar. Minnstu droparnir berast þá með gufunni upp belginn og þeim mun meira eftir því sem gufuhraðinn er stærri. Gufan er síðan leidd út úr belgnum ofan frá eða niður eftir röri sem liggur í miðju belgsins. Mynd 6 sýnir dæmigerða gufuskilju.

Talsverð reynsla hefur fengist af gufuskiljum af þessari gerð, bæði hér á landi og erlendis og hafa afköst þeirra verið mældar. Afköst eru mikið háð rúmmálsstreymi gufuhlutans eða inntakshraða gufunnar inn í skiljuna. Gróf viðmiðun er að meðalgufuhraðinn inn í skilju er ekki meiri en 40-45 m/s eða rúmmálsstreymi gufunnar um $3 \text{ m}^3/\text{s}$ miðað við 12 tommu spíralinntak. Miðað er við að afköst séu um 75% þeirra afkasta sem brjóta niður skiljuhæfnina.

Þegar velja á gufuskilju eru ákveðin atriði sem höfundur telur að þýðingarmikið sé að taka tillit til. Það eru:

1. Spíralinntak gefur betri skiljuhæfni en snertilinntak (tangential). Ástæðan fyrir því er að vatnið fer að leggjast út með veggjum spíralsins áður en það kemur inn í skiljuna og veldur minni blöndun gufu og vatnsúða inni í skiljunni heldur en við snertilinntak.
2. Að taka gufuna niður eftir röri inni í skilju er betra en að leiða hana beint upp úr henni. Droparnir hendast betur frá vegna þess að gufan þarf að taka 180 beygju inn í gufurörið.

Í nokkrum tilfellum hér á landi hefur verið reynt að nota dropahák (demistor) inn í skilju en það er vírnetsmotta sem sett er þvert yfir skiljubelginn ofarlega þar sem gufan er tekin út að ofan. Þessir dropahákar hafa ekki skilað þeim árangri sem til var ætlast og hafa vatnsdropar viljað rífast upp með gufunni í gusum og valda erfiðleikum og truflunum á tækjum.

Í skýrslu Bangam á tækjum er mælt með því að stærðarhlutföll skilju með spíralinntaki sé eins og sýnt er á mynd 7. Í svigum eru sýndar stærðir fyrir skilju með snertilinntaki og er þá $D_1 = 0,8D$. Allar stærðir eru margfeldi af inntaksþvermálinu D , þar eð hraðinn inn í skiljuna er tekinn sem hönnunarforsenda (kriterium) fyrir skiljuafköstum.

6. Varmaskiptar

6.1 Inngangur

Megintilgangur varmaskipta er að flytja varma úr einu kvikefni í annað á beinan eða óbeinan hátt, þ.e. með blöndu á efnunum (opnum) eða með því að halda þeim fráskildum (lokuðum). Algengustu dæmi um opna varmaskipta á jarðhitasviðinu eru; eimsvalar, en þar er köldu vatni úðað yfir jarðgufuna og hún þéttuð, en við það hitnar vatnið upp; og kæliturnar þar sem loft er notað til að kæla vatn sem síast niður turninn. Slíka varmaskipta má finna við Kröflu, eimsvali aftan við hverfil til að þétta gufuna og kæliturn til að kæla kælivatnið. Við Svartsengi er einn barometriskur eimsvali, þar sem lágþrýstigufa er þétt með ferskvatni til upphitunar á vatninu. Lokaðir varmaskiptar eru þó algengustu gerðir á varmaskiptum, þar sem kvikefnunum er haldið aðskildum. Margar gerðir eru til af slíkum varmaskiptum og má nefna t.d. vatnskassa í bíl eða ofn í húsi. Í báðum þessum tilfellum er vatn að innanverðu og loft að utan, en tilgangurinn er mismunandi. Í fyrra tilfellinu er hann að kæla niður vatnið með loftinu en í síðara tilfellinu er tilgangurinn að hita upp loftið í herberginu. Annað dæmi er plötuvarmaskiptir sem víða er notaður hjá hitaveitum til að hita upp neysluvatn. Aðaltilgangur í þessu tilfelli er að hita upp ferskvatn til neyslu með menguðu jarðhitavatni sem ekki er nothæft til neyslu.

6.2 Gerð varmaskipta

Það finnast margar og mismunandi tegundir af lokuðum varmaskiptum, eins og röravarmaskiptar, plötuvarmaskiptar, spíralvarmaskiptar o.fl. Streymið í gegnum varmaskiptana getur verið mismunandi. Kvikefnin geta streymt samsíða (meðstreymi) eða gengt hvert öðru (mótstreymi). Einnig geta streymin verið þvert hvort á annað (krossstreymi)

Hagkvæmasti varmaskiptirinn er plötuvarmaskiptir. Hann er oftast besta lausnin ef hiti og þrýstingur liggur innan við þau mörk sem takmarkar notkun hans. Framleiðendur gefa upp um 130-140 °C hita og 16-25 bara þrýsting, sem hámark fyrir hefðbundna varmaskipta með gúmmípakkningum. Ef nýta þarf hærri þrýsting eða hita eru röravarmaskiptar oftast notaðir, en þar sem erfitt er að hreinsa þá utan frá þarf vökvinn sem leikur um þá að utanverðu að vera tiltölulega vel hreinn. T.d. er allt í lagi að nota jarðgufu utan um rörin, en ef skiljuvatn er notað þarf það að streyma inni í rörunum, því þau er hægt að hreinsa með því að taka botna varmaskiptisins frá. Plötuvarmaskiptarnir hafa marga góða kosti, þeir eru ódýrir, þeir taka ekki mikið pláss, það er auðvelt að taka þá í sundur og hreinsa plöturnar og þá er auðvelt að stækka með því að bæta við plötum, ef afköstin eru ekki nægjanleg. Einnig er val efnis á plötum mjög fjölbreytilegt og hægt að skipta um ef efnisval í upphafi hafi ekki verið nægilega gott.

Ókostir plötuvarmaskipta eru t.d. að bilið milli platna er mjög lítið, aðeins nokkrir mm, þannig að þeir geta stíflast mjög fljótt ef um mikla skeljun er að ræða eða gróf óhreinindi eru í vökvunum. Einnig geta komið upp vandamál við afgösun ef gufa sem er rík af gasi er notuð.

Nýlega hafa komið á markaðinn sjálfhreinsandi röravarmaskiptar sem lofa góðu. Þeir eru byggðir upp á þann hátt að varmaskiptirinn stendur lóðréttur og inni í rörunum eru kúlur eða agnir nokkrir mm í þvermál úr málm eða gleri. Þegar vatn streymir inni í rörunum lyftast kúlurnar upp og svífa með streyminu upp rörin. Við það myndast mikið iðustreymi og slást kúlurnar út í vegginn og hreinsa þá um leið skel, sem gæti sest að innan á veggjum röranna. Tilraunir hafa verið gerðar með svona varmaskipta bæði í Svartsengi og á Nesjavöllum og hafa tilraunir á Nesjavöllum sýnt mjög góðan árangur. Þessir varmaskiptar sýna um 3-4 sinnum hærri varmaflutning

heldur en venjulegur röravarmaskiptir, en á móti kemur að þrýstifall er einnig 4-6 sinnum hærra kúlumegin en fyrir venjulegan varmaskipti. Þetta gerir kannske ekki svo mikið til á jarðhitasvæðum þar sem skiljuþrýstingur er venjulega um 5-7 bör og því nægilegur þrýstingur á vatninu frá skiljum til að þola þetta þrýstifall inni í rörunum.

6.3 Skeljun á varmaskiptum

Eftir því sem hiti jarðhitasvæða er hærra, þeim mun meira af efnum hefur leystst upp í þeim og er kísill oftast stærsti hluti uppleystra efna í jarðvatninu. Þegar vökvinn er síðan kældur niður í varmaskiptinum, veldur kælingin yfirmettun uppleystra efna sem falla út sem föst efni og setjast á fleti varmaskiptisins. Þessi útfelling á yfirborð varmaskiptisins myndar lag sem kallað er skeljun (fouling). Þessi skelhúð veldur auknu viðnámi gegn færslu varmans milli kvikefnanna og þar af leiðandi minni afköstum varmaskiptisins. Einnig veldur þessi skeljun auknu þrýstifalli yfir varmaskiptinn og þannig minnkandi rennsli jarðvatnsins í gegn, sem einnig stuðlar að minnkandi afköstum. Skeljun á sér ekki eingöngu stað í annarri hlið varmaskiptisins, heldur getur hún verið á báðum hliðum, sérstaklega ef einhver óhreinindi eru í vatninu, sem á að hita upp.

Við hönnun varmaskipta þarf að taka tillit til skeljunar, með því að hanna þá þannig að þeir geti annað þeim afköstum sem til er ætlast milli hreinsana. Gera þarf sér grein fyrir hvað oft þarf að hreinsa varmaskipta og hversu hröð skeljunin er. Þetta er oft erfitt að áætla við ný jarðhitasvæði sem lítt eru þekkt. Árleg hreinsun þykir mjög eðlileg og oft er hægt að tengja hana annarri upptekt tækja til skoðunar. Tíðari hreinsanir geta valdið truflun á rekstri vinnslurásarinnar.

Algenzt er að hanna varmaskipta 25-35% stærri að flatarmáli, en nauðsynlegt er miðað við afköst hreinna varmaskipta, til að taka tillit til skeljunar.

7. Gufugildur

Meginmarkmið gufugilda er að sleppa þéttivatni út án þess að tapa of mikilli gufu með því.

Til eru margs konar tegundir og gerðir, sem ýmist vinna samfelld eða í gusum. Þær gildirur sem hafa reynst bestar hér á landi í tengslum við jarðhita eru af flothykjaerð og opnast, þegar vatnið hefur stigið upp að ákveðnu marki í safnpotti.

Helstu atriði sem þarf að athuga og taka tillit til við val á gufugildrum eru að:

1. Leyfa lágmarki af gufunni að sleppa út með þéttivatninu.
2. Velja gufugildru sem slitnar ekki mikið.
3. Velja gufugildru sem hleypa ekki lofti inn í sig.
4. Velja hæfilega stærð, þ.e. að þær séu hvorki of mikið notaðar eða of lítið, t.d. 4 - 5 sinnum stærri í afköstum en framleiðandi gefur upp.

8. Stýribúnaður

Nauðsynlegt er að nota stýribúnað fyrir jarðhitavinnslurásir, bæði fyrir jarðhitavökvann og önnur kvikefni sem hituð eru upp með honum. Segja má að það séu tvær ástæður fyrir stýringu:

1. Að nota jarðhitann hagkvæmlega og forðast ofnotkun eða að kasta honum vannýttum. Jarðhitakerfi eru takmörkuð að stærð og endast því lengur ef nýtingin er góð.
2. Það verður að vera hægt að stýra hita upphitaða efnisins til þess að ná því markmiði sem að var stefnt.

Í flestum tilfellum er nauðsynlegt að stýribúnaður sé sjálfvirkur, þó í einstökum einföldum tilfellum nægi handstýrður stýribúnaður. Stýribúnaður fyrir beina notkun jarðvarma er háður afköstum borhola eða dæla, nýtni vinnslurásarinnar og á hvern hátt orkan er notuð.

Fyrir samfellda orkunotkun allan sólarhringinn, er það venjan að stýra hitastigi upphitaða kvikefnisins. Þetta er yfirleitt gert með stýriloka, með fjarlægum hitanema eða hitastýriloka. Til þess að stýra hita jarðhitasvökvans áður en honum er sleppt er ýmist notaður hitastýrður loki eða gufugildra þegar um þéttingu á gufu er að ræða. Á þennan hátt er forðast að kasta jarðvökvannum of heitum. Fylgjast þarf þó vel með, að afköst tækja eins og varmaskipta minnki ekki niður fyrir ákveðin mörk, þannig að þau geti ekki afkastað óskgildum upphitaða efnisins. Miklægt er að stýrilokar séu rétt hannaðir og af réttri stærð þannig að þeir stýri vinnslurás. Oft er nauðsynlegt að nota um 50% af leyfilegu heildarþrýstifalli í kerfinu yfir stýrilokann. Flestir framleiðendur á stýrilokum gefa upp streymisstuðla fyrir loka sem ákvarða stærðina, sem er skilgreind sem það rúmmálsstreymi sem streymir í gegnum lokann fullopin við 1 bar þrýstifall.

Fyrir kvikefni gildir:

$$K_V = \dot{V} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \quad (8)$$

þar sem

V = rúmmálsstreymi, m^3/sek

ρ = eðlismassi kvikefnisins, kg/m^3

ΔP = þrýstifall yfir lokann í Pascal

Þegar K_V hefur verið reiknað út er hægt að fara í töflu frá framleiðendum til að ákvarða stærðina.

Val á lokastærð fyrir vatn og gufu skapar ekkert vandamál en fyrir tvífasa rennsli eða gasríkt jarðvatn getur verið hætt á því að lokinn sé valinn of lítill og stýring því slæm við hönnunarskilyrði. Í þessu tilfalli er best að velja stærri loka en K_V stuðull gerir til kynna.

Stýrilokar þurfa reglulegt viðhald. Aðalvandamálið er að fá þá alveg þetta og sérhver leki út um áspéttingar á lokaspjaldinu getur valdið rekstrartruflunum, þ.e. að hann festist. Oft er nauðsynlegt að hafa tvöfalt kerfi af stýrilokum, til þess að ekki komi til stöðvunar vegna upptöku eða hreinsunum á þeim.

9. Niðurstöður

Hér á undan hefur verið reynt að rökstyðja það að gjörnýting ákveðins jarðhitavökva leiðir til bættrar nýtingu á jarðhitageyminum jafnframt því sem kostnaður á orkueiningu minnkar og hagkvæmni fjárfestingarinnar eykst.

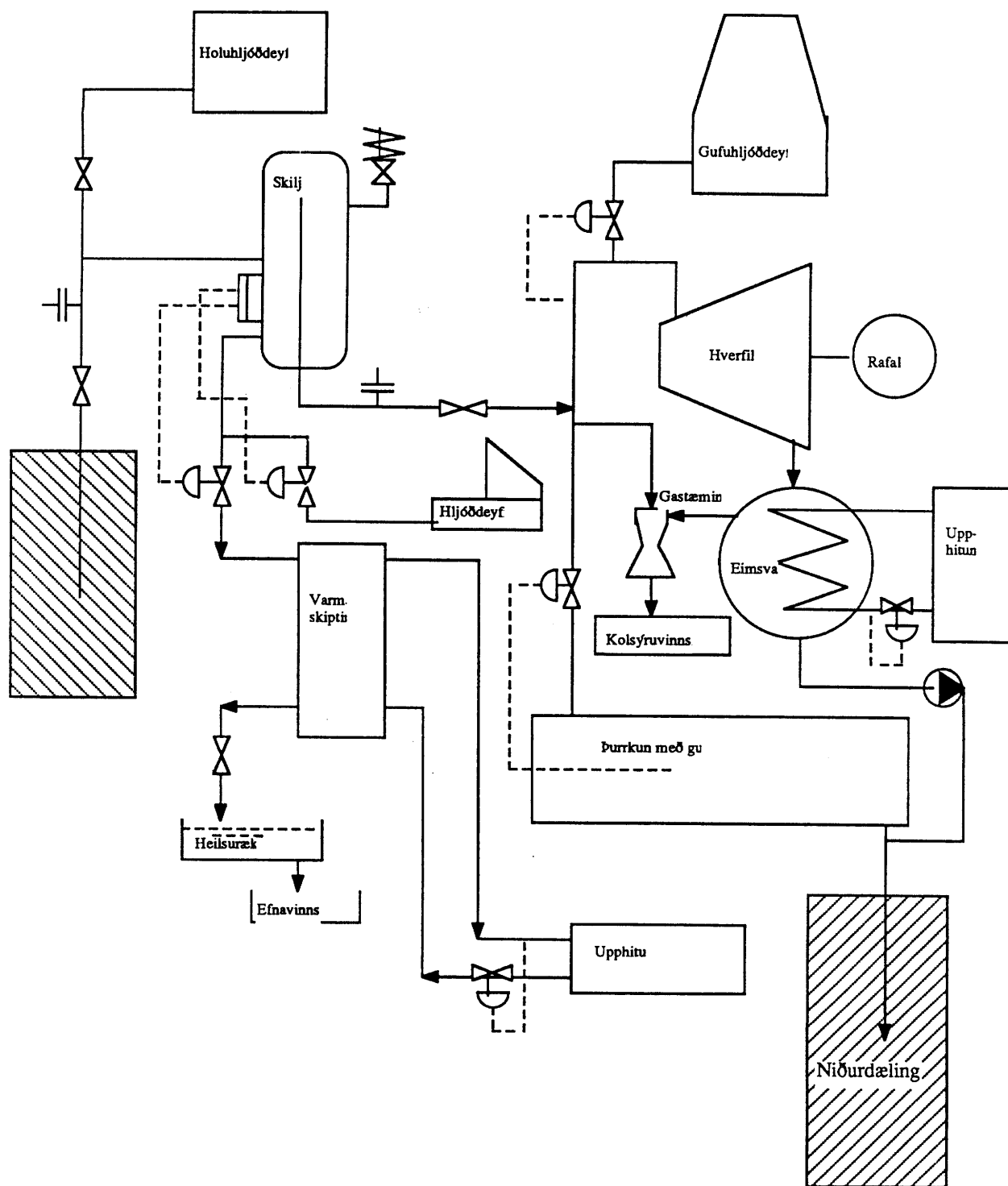
Komið er fram með hugmyndir um verðlagningu á orkunni og hvernig verð á henni minnkar eftir því sem tekið er á móti jarðvökvanum við lægri hita. Þetta á sérstaklega við þegar um marga notendur er að ræða og sem samnýta varmann t.d. hver á eftir öðrum.

Við nýtingu á jarðhita þarf ýmsan tækjabúnað sem getur flutt jarðvarmavökvann, flutt varmann frá vökvannum yfir í annað kvikefni, og skilið gufu frá vatni og stýrt afköstum og afli eftir vild. Í þessari grein hefur verið gerð lausleg grein fyrir nokkrum þessara þátta og hvað beri að varast í þeim efnum. Allir þessir þættir tengjast saman í eina órofa mynd ef takast á að gjörnýta jarðhitavökvann.

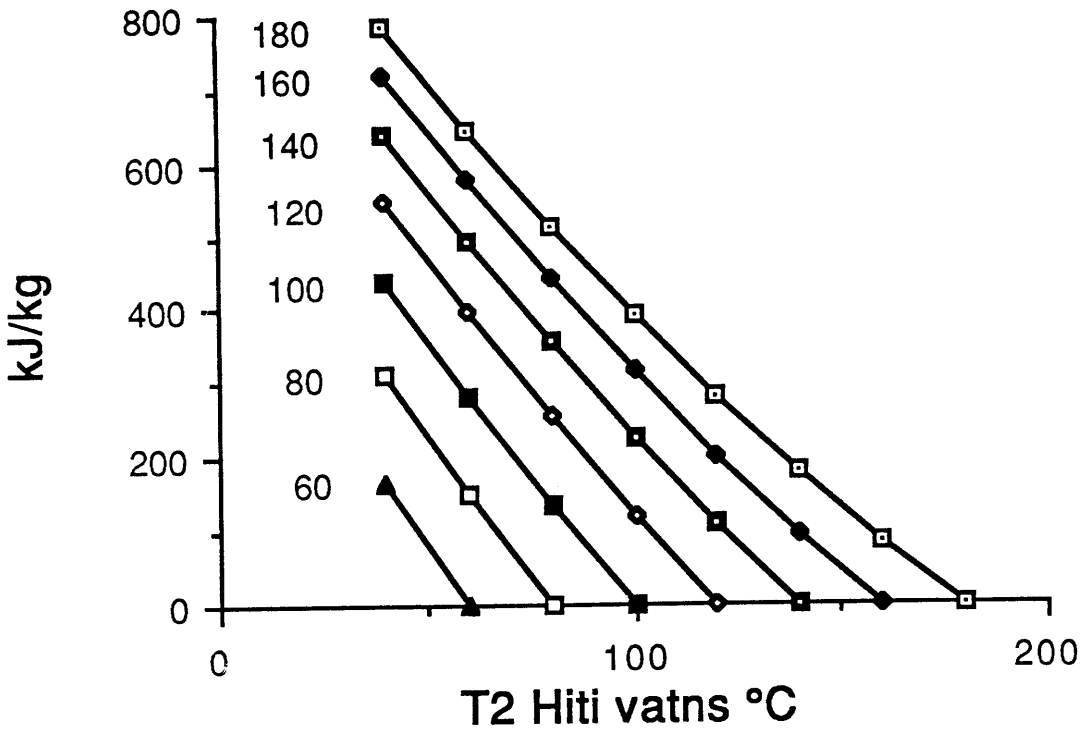
Tafla 3. Efni sem hafa tærandi áhrif í jarðhitakerfum.

Efni	Áhrif
Súrefni	; * Mjög tærandi á kolstál og á lágblönduðu ; kolstáli. 30 ppb veldur fjórföldun á ; tæringu. ; * Styrkleiki yfir 50 ppb veldur ; alvarlegum tæringarpollum.
Vetnisjón í blönduðu stáli.	; * Tæring getur byrjað við pH<8. ; * Lág pH tala <5 veldur tæringarbrotum ; * Lág pH tala getur verið hættuleg og ; brotið niður eiginleika ryðfrís stáls. ; * Lág pH tala brýtur niður sement.
Koltvíoxíð	; * Uppleyst koltvíoxíð í vatni lækkar pH ; og getur þess vegna valdið tæringu á ; stáli. Getur brotið niður eiginleika ; ryðfrís stáls.
Brennisteinsvetni	; * Veldur spennutærandi brotum í blönduðu ; stáli. Mjög tærandi á öll efni sem ; innihalda kopar og nikkell.
Klóríðjón	; * Mjög hættulegt, en staðbundið, bæði ; fyrir stál, ryðfrítt stál og sement.

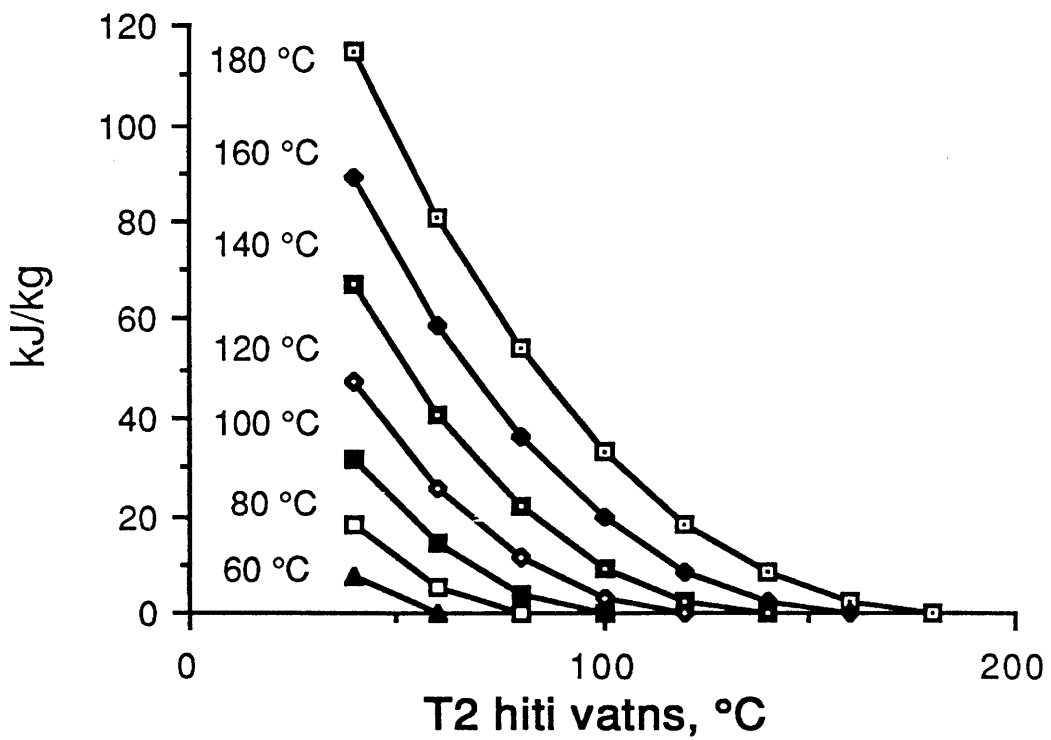
Mynd 1 Fjölpætt nýting jarðhita frá háhitasvæði.



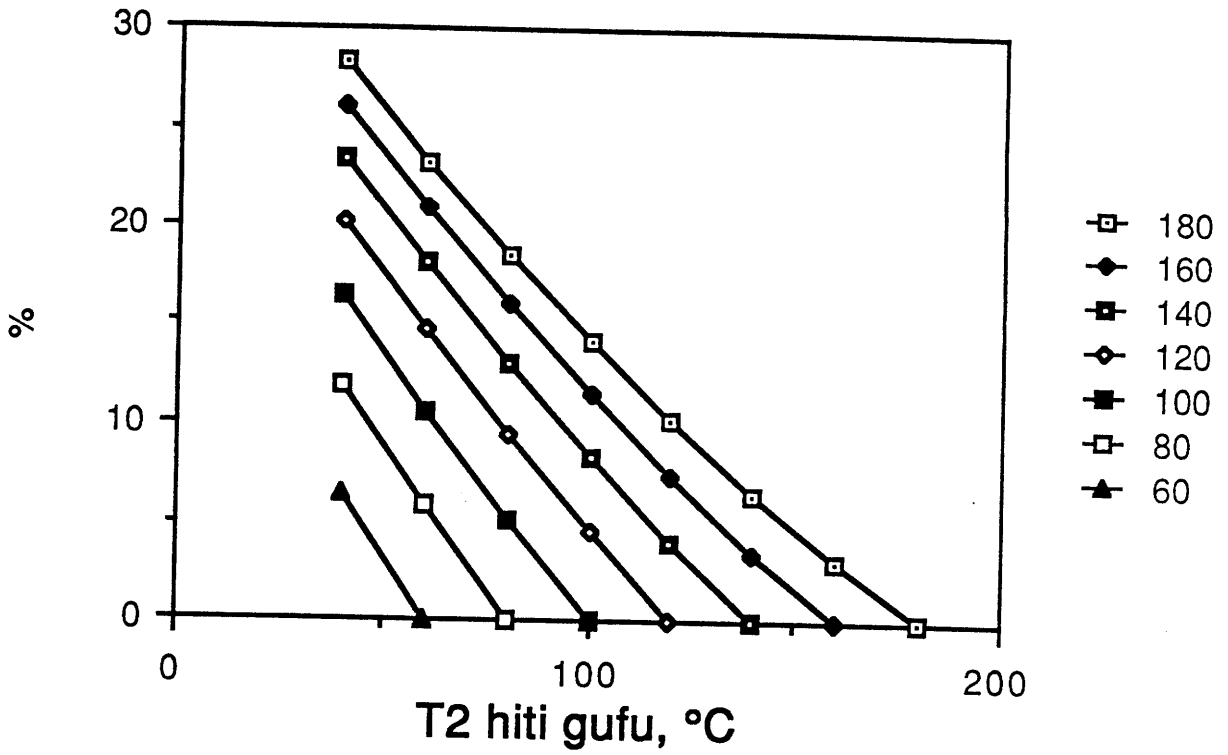
Mynd 2 Varmastig vatnsgufu



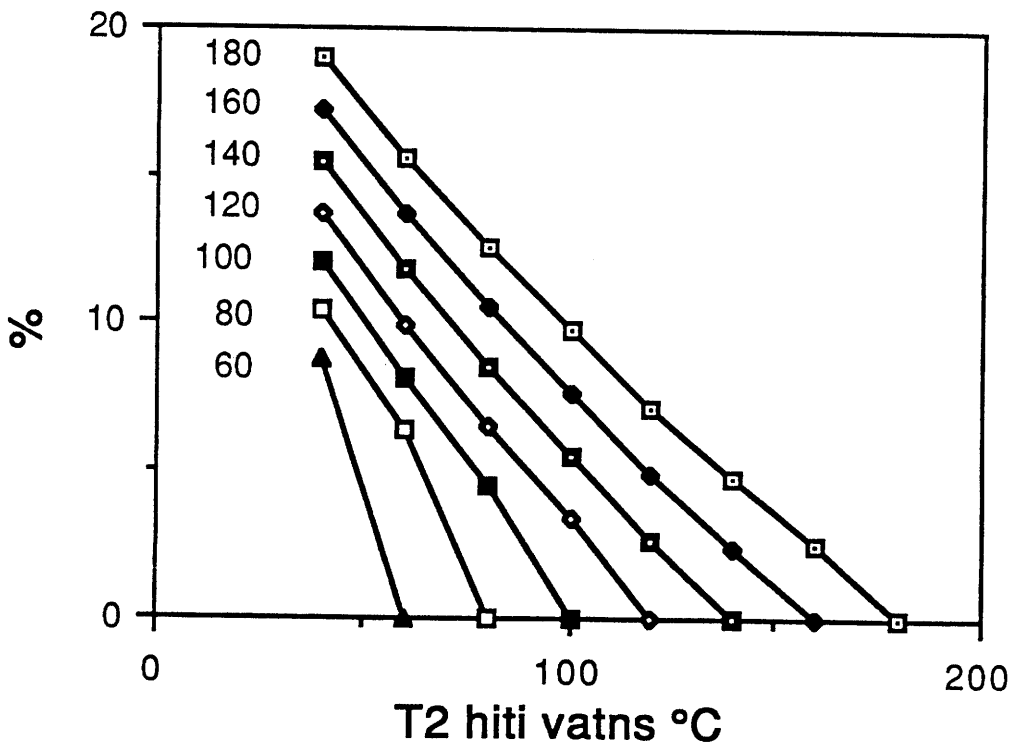
Mynd 3 Varmastig vatns

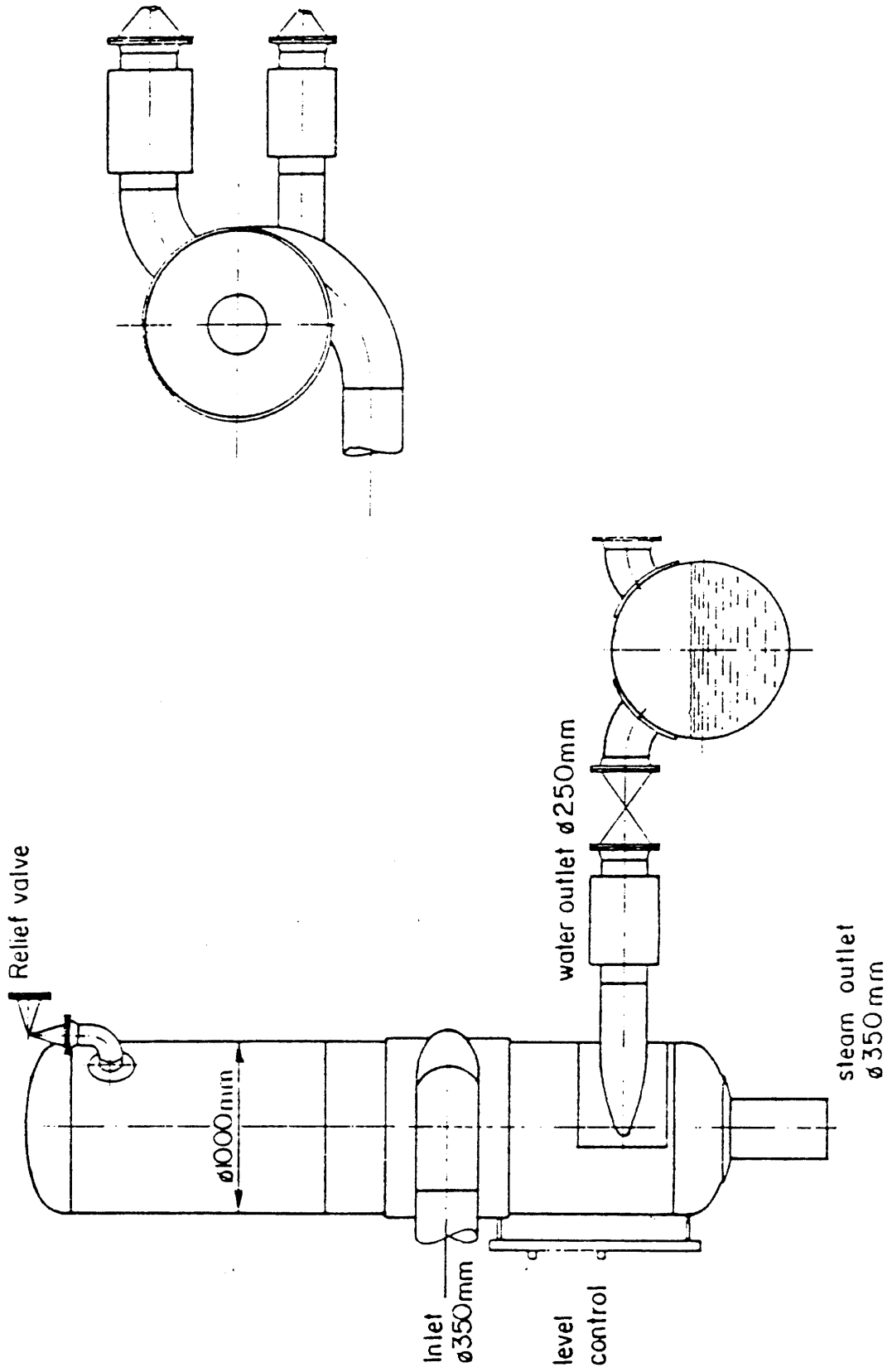


Mynd 4 Varmanýtni gufu

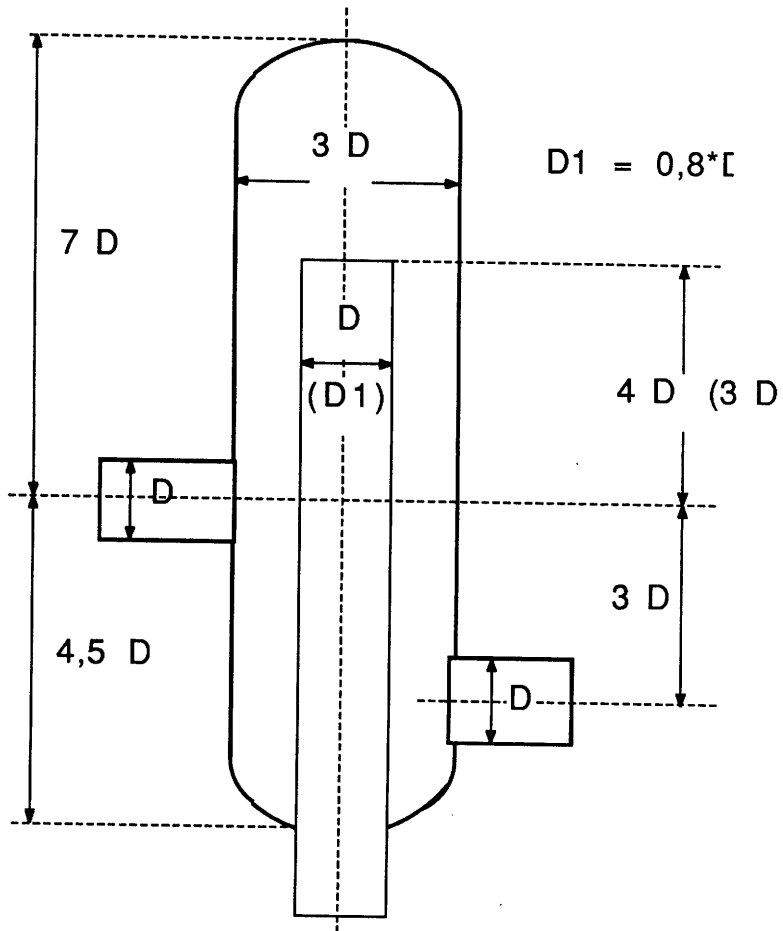


Mynd 5 Varmanýtni vatns





Mynd 6. Dæmigerð gufuskilja



MYND 7. STÆRÐARHLUTFÖLL GUFUSKILJU.

REKSTUR ORKUVERA

Albert Albertsson
Hitaveitu Suðurnesja

INNGANGUR

SAMANTEKT

REKSTRARÞÆTTIR VARMAORKUVERS Í SVARTSENGI

Yfirlit

Jarðhitageymir-borholur

Ferskvatnsgeymir-borholur

Gufuveita

Ferskvatnsveita

Orkuver

Afall og niðurdæling

FRUMÞARFIR REKSTRAR (SKAMMTÍMA OG LANGTÍMA)

Rétt menntaður mannaflí

Staðhæfðar rekstraraðferðir

Markmiðsstjórnun

Tenging verkefnis- og fjármálastjórnunar

FYRIRBYGGJANDI VIÐHALD

EFNIS- OG TÆKJARANNSÓKNIR OG SKRÁNING REKSTRARREYNSLU

TÆKI, TÓL OG LAGER

SÉRHÆFT REKSTRARVERKSTÆÐI

HAGRÆNAR REKSTRARSTÆRÐIR SVARTSENGIS

NIÐURLAG

1. Inngangur:

Þetta erindi fjallar um rekstur orkuvers Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi.

Fjallað er um mikilvægi fyrirbyggjandi viðhalds og þess hversu mikilvægt það er að hafa vel menntað og atorkusamt starfsfólk sem fengið er mikil ábyrgð og mikið frjálstræði.

2. Samantekt:

Í Svartsengi er beytt fyrirbyggjandi viðhaldi og virðist það gefa góða raun.

Mikil sérhæfing starfsfólks í rekstri jarðvarmaorkuversins í Svartsengi gefur góða raun í tvennum skilningi þ.e.a.s. starfsfólk fær hvetjandi verkefni við sitt hæfi sem gerir það ánægt og það fær ábyrgð sem það vill, viðhald verður gott og markvisst.

Starfsmannastjórnun sem grundvallast á ábyrgð, hæfni og menntun starfsmanna gefur góða raun. Starfsmenn vilja láta gera miklar og rökstuddar kröfur til sín.

Jarðvarmaorkuverið í Svartsengi er rekið öðrum þæði sem tilraunastöð og hefur það reynst nauðsynlegt til að bæta reksturinn, afla reynslu fyrir næstu virkjana áfanga og skapa starfsmönnum "frumherja" umhverfi.

Markmiðsstjórnun þar sem flestir starfsmenn setja markmiðin er forsenda hagkvæms rekstrar.

Sérhæft rekstrarverkstæði er nauðsyn.

Heildar rekstrarkostnaður er um 8 - 9 aurar á hverja kwh.

3. Rekstrarþættir varmaorkuversins í Svartsengi.

3.1 Yfirlit.

Á fyrstu mynd, sem ber heitið rekstrarþættir er sett fram gróf skipting rekstrarþátta varmaorkuvers á háhitasvæði. Þessir þættir eru:

Auðlyndirnar tvær jarðvarmi og ferskvatn svo og geymarnir, sem þær eru unnar úr.

Gufu-, jarðsjávar og ferskvatnsveita, sem er sá búnaður sem veitir hráefnunum gufu, jarðsjó og ferskvatni til orkuversins.

Orkuverið, sem gegnir ferns konar megin hlutverki:

1) Upphitun ferskvatns 2) afloftun upphitaðs ferskvatns 3) rafmagnsframleiðsla 4) meðhöndlun affallsvatns og niðurdæling.

Affallsveita sem gegnir því hlutverki að veita jarðsjó, þéttivatni og öðru affalli frá orkuverinu með þeim hætti að ferskvatnsforði og aðrar náttúruauðlyndir mengist ekki eða skaðist á annan hátt.

Niðurdæling gegnir margþættu hlutverki svo sem að halda vatnsborði jarðhitageymisins stöðugu, auka varmavinnslu úr heitum bergmassa og draga úr mengun á yfirborði vegna jarðsjávarlóna o.fl.

3.2 Jarðhitageymir-borholur.

Áður er vinnsla er hafin úr jarðhitageymi þá ber brýna nauðsyn til að mæla ýmsa eiginleika jarðhitageymisins um nokkurt skeið svo upphafsástand hans sé vel þekkt.

Þegar til reksturs jarðhitageymis kemur þá verður að mæla reglulega nokkrar rekstrarstærðir og eru þessar helstar:

1. Heildarstreymi (gufa+jarðsjór) úr hverri borholu, kg/s (símæling)
2. Hitastig og þrýstingur á holutopp hverrar holu (a.m.k. vikulega)
3. Hitastig og þrýstingur sem fall við dýpi í hverri holu (a.m.k. tvisvar á ári)
4. Viddarmæling sem fall við dýpi hverrar holu (a.m.k. árlega)
5. Vatnsborðsmæling í mæliholu (símæling)
6. Efnagreiningar jarðhitavökva (a.m.k. einusinni til tvisvar á ári)
7. Nákvæmar hæðarmælingar og þyngdarmælingar vegna jarðsigs, er orsakast af jarðhitavinnslunni (hæðarmæling árlega, þyngdarmælingar annaðhvert eða þriðjahvert ár)
8. Afkastamælingar hverrar holu (á a.m.k. tveggja til þriggja ára fresti)
9. Jarðskjálftamælingar (símæling)
10. Almennt eftirlit með borholum og vinnslusvæði til að fylgjast með borholubúnaði, gufuaugum og öðru varmaútstreymi, útfellingum o.fl. (vikulega)

Verði vart við breytingar í jarðhitageyminum þá verður að auka tíðni ofanefndra mælinga til að freista þess að skrá þær sem best.

Umræddar mælingar ber að skrá og halda vel til haga og taka saman í skýrslu árlega.

Tilgangurinn með ofantöldum mælingum og athugunum er:

1. Meta afkastagetu jarðhitageymisins hverju sinni með líkanreikningi.
2. Leggja mat á lífslengd jarðhitageymisins og borhola með líkanreikningi.

3. Segja fyrir um eðlisbreytingar á jarðhitageyminum með líkanreikningi.
Hér er átt við myndun gufupúða í jarðhitasvæðinu, breytingar á afkastagetu einstakra borhola, entalípubreytingar o.fl.
4. Meta áhrif niðurdælingar og segja til um hentuga staði fyrir niðurdælingaholur.
5. Auka skilning manna á eðli jarðhitageymis í stöðugum rekstri, þannig að verði vart breytinga í geyminum þá verði orsakirnar fljótt fundnar og áhrif breytinganna á rekstur orkuversins metin til skamms og langs tíma.

3.3 Ferskvatnsgeymir-borholur.

Áður en vinnsla hefst úr ferskvatnsgeymi þá ber brýna nauðsyn til að mæla ýmsa eiginleika ferskvatnsgeymisins um nokkurt skeið svo upphafsástand hans sé vel þekkt.

Á meðan á rekstri ferskvatnsgeymis stendur verður að mæla reglulega nokkrar rekstrarstærðir og verða þær taldar upp hér að neðan. Það skal tekið fram að upptalningin hér að neðan miðast við ferskvatnsgeymi Reykjanesskaga, sem í reynd er ekki annað en 40-60m þykkt regnvatnslag sem situr í hraunlögum og flýtur á sjó.

Helstu rekstrarstærðir sem mæla verður:

1. Streymi úr sérhverju vatnsbóli (símæling), kg/s
2. Hitastig, selta og efnainnihald ferskvatns úr aðalæð (a.m.k. vikulega)
3. Hitastig, selta innihald, sem fall við dýpi mælt í mæliholum (árlega)
4. Síritun vatnsborðs á a.m.k. 4-5 stöðum
5. Tæringarhraði borholubúnaðar.
6. Almennt eftirlit með vatnsbólum og ferskvatnssvæði til að fylgjast með dælubúnaði, jarðvegsbreytingum og mengunarhættu af mannavöldum (vikulega)
7. Úrkomumælingar og veðurathuganir (daglega)

Verði vart við breytingar í ferskvatnsgeyminum þá verður að auka tíðni mælinganna og bæta jafnvel nýjum við svo glögg mynd fái af breytingunni.

Mælingarnar ber að skrá og halda vel til haga og taka saman í skýrslu árlega.

Tilgangurinn með ofantöldum mælingum og athugunum er.

1. Meta afkastagetu ferskvatnsgeymisins með líkanreikningi.

2. Leggja mat á lífslengd vatnstökusvæðis sem unnið er úr með líkanreikningi.
3. Hafa eftirlit með afkastagetu einstakra borhola.
4. Meta mengunarhættu ferskvatnsins og flokka vatnstökusvæðið í mismunandi vatnsgæða svæði með líkanreikningi.
5. Segja fyrir um eðlisbreytingar ferskvatnsforðans með líkanreikningi.
6. Afla gagna og þekkingar sem nýta má til stjórnunar ferskvatnstöku á Suðurnesjum, mengunarvarna og skilgreiningu vatnsverndunarsvæða.
7. Auka skilning manna á eðli flotvatnsgeymis í stöðugum rekstri, þannig að verði vart breytinga í geyminum þá verði orsakirnar fljótt fundnar og áhrif breytinganna á rekstur orkuversins metin bæði til skamms og langstíma.

Flestar rekstrarmælingarnar sem gerðar eru á jarðhita- og ferskvatnsforðanum eru framkvæmdar af starfsmönnum Hitaveitunnar en þær sérhæfðari keyptar af Orkustofnun.

Það er reynsla HS að starfsmenn HS eiga sjálfir að annast flestar rekstrarmælingar ef ekki allar, en leita reglubundið markvissrar ráðgjafar varðandi þær.

Með þessu móti verða starfsmenn HS nánast ábyrgir fyrir auðlindarekstrinum.

Rekstrarmælingar sem þessar efla áhuga starfsmanna, auka ábyrgðarkennd þeirra og skapa jákvæða umræðu um auðlindareksturinn þvert í gegnum fyrirtækið.

3.4 Gufuveita:

Gufuveita samanstendur af holutoppi ofan höfuðholuloka, safnæðum, öryggisbúnaði svo sem sprengidiskum o.fl., háþrýsti-, lágþrýsti- og dropaskiljum, gufulögnum, jarðsjávarlögnum, jöfnunarkútum, stjórnlokum, hljóðdeyfum og mælibúnaði.

Rekstur gufuveitu felst í viðgerðum, fyrirbyggjandi viðhaldi og eftirliti sem í grófum dráttum má skipta í þrennt eftirlit með búnaði innanverðum eða þar sem jarðhitavökvi leikur um, eftirlit með búnaði utanverðum þar sem andrúmsloft leikur um og álagsprófun búnaðar svo sem reglubundnar þrýstiprófanir.

Tilgangur eftirlitsins er að safna rekstrarreynslu búnaðarins þar sem áhersla er lögð á:

1. Tæringu hverskonar
2. Slit og málmþreytu
3. Útfellingu úr jarðhitavökva
4. Gæðamat hönnunar og forsenda hennar
5. Eðlileg rekstrarskilyrði og jaðargildi

6. Lífsleingd og afskriftatíma búnaðar

3.5 Ferskvatnsveita:

Ferskvatnsveita samanstendur af vatnsbólisdælum með tilheyrandi búnaði, safnæðum, vatnstönkum, stjórnlokum og mælibúnaði.

Rekstur ferskvatnsveitu felst í viðgerðum, fyrirbyggjandi viðhaldi og reglubundnu eftirliti.

Eftirlitið tekur m.a. til athugana og skráningar á.

1. Tæringu og tæringarvörnum
2. Sliti og málmþreytu
3. Meðburði á sandi og "leir"
4. Gæðum hönnunar og hönnunar forsenda
5. Lífsleingd og afskriftartíma búnaðar
6. Sótthreinsunarþörf tanka og búnaðar
7. Álagsprófun búnaðar
8. Nýtni og afkastagetu búnaðar

3.6 Orkuver.

3.6.1. Vatnsframleiðsla.

Við framleiðslu á heitu vatni í orkuverinu í Svartsengi þá er haft eftirlit með.

1. Vatnshæð í heitavatnstönkum
2. Framleiddu vatnsmagni, kg/s
3. Hitastigi vatnsins
4. Súrefnisinnihaldi vatnsins
5. Sýrustigi vatnsins (PH-gildi) við 25 C
6. Seltu eða leiðni vatnsins
7. Efnaíblöndun

Þetta framleiðslueftirlit annast vélgæslumenn og eru vatnssýni tekin á líðlega klukkustundarfresti allan sólarhringinn.

Rekstur framleiðslubúnaðar heitavatnsins felst svo í fyrirbyggjandi viðhaldi, viðgerðum og reglubundnu eftirliti. Eftirlitinu er ætlað að skrá, fylgjast með og leggja mat á.

1. Tæringu og tæringavarnir
2. Slit og málmþreytu

3. Efnisval
4. Gæði hönnunar og hönnunarforsenda
5. Lífslengd og afskriftartíma búnaðar
6. Nýtni og afkastagetu búnaðar við hönnunar- og jarð skilyrði
7. Framkvæmt viðhald og viðgerðir og afla nauðsynlegra upplýsinga fyrir fyrirbyggjandi viðhaldskerfið.

3.6.2 Raforkuframleiðsla:

Við framleiðslu raforku í Svartsengi er fylgst með og skráð:

1. Afl framleiðsla, MW
2. Orkuframleiðsla, Mwst
3. Raunafl, launafl og spenna
4. Hitastig í legum og titringsmæling
5. Oliuþrýstingur á legum og í stjórnkerfi
6. Þrýstingur og hitastig gufu fyrir og eftir hverfil
7. Gufumagn í gegnum hverfil
8. Staða stjórnloka sem fall við framleitt afl og tíma
9. Óvænt stöðvun hverfla, orsakir fundar og flokkaðar.
10. Hreinsun olíu í skilvindu þ.e.a.s. mat á vatnsmagni og óhreinindum í olíunni.

Til viðbótar þessari reglubundnu vélgæslu kemur svo reglubundið viðhald, viðgerðir og eftirlit. Við eftirlit og viðhald hverfla er einkum litið eftir:

1. Tæringu og sliti þeirra hverfilhluta sem jarðgufa og þéttivatn leikur um
2. Útfellingu og útfellingar mynstri í hverfilhúsi og það tengt afkastarárnun, titringsmælingum og mælingu á stöðu stjórnloka o.fl.
3. Áspéttingum og tæringu og sliti áspéttiflata
4. Hönnun hverfils m.t.t. útfellinga (innri gufupéttingar) og hönnunarútbóta

Árlega er einnig reynt að meta lífslengd og afskriftartíma hverflanna í ljósi fenginnar reynslu.

Við eftirlit og viðhald rafbúnaðar er einkum litið eftir:

1. Gangtíma búnaðar
2. Tæringu af völdum H₂S og raka
3. Gæði hönnunar og hönnunarforsenda
4. Sliti á hreifanlegum hlutum
5. Lífslengd og afskriftartíma búnaðar
6. Framkvæmdu viðhaldi og viðgerðum til að afla nauðsynlegra upplýsinga fyrir fyrirbyggjandi viðhald.

Þessu til viðbótar þá er mjög brýnt að fylgjast grannt með öllum loftræsti- og lofthreinsibúnaði, því lofthreinsun samfara rakasnauðu lofti er forsenda öruggs rekstrar rafbúnaðar í jarðvarmavirkjunum.

3.7 Affall og niðurdæling:

Jarðsjó úr lágþrýstiprepi svo og þéttivatni frá orkuveri er sem stendur dengt úr í Bláalónið. Á ári hverju fellur út 3000-4000 tonn af kísl, sem veldur því að lónið stækkar ár frá ári.

Til að fylgjast með stækkun lónsins hafa verið teknar loftmyndir af lóninu árlega og flatarmál þess mælt. Einnig er næsta grennd lónsins athugað einusinni til tvisvar á ári. Vatnshæð lónsins er metin reglulega.

Til viðbótar þessum rekstrarþáttum affallsveitunnar þá eru tekin efnasýni úr nokkrum vatnsbólum í Grindavíkurbæ til að kanna hugsanlega mengun flotvatnsins í grennd við orkuverið.

Helstu rekstrarþættir niðurdælingar eru skráning eftirtalinna stærða:

1. Magn niðurdælingavökva; kg/sek (símæling)
2. Hitastig niðurdælingavökva
3. Efnainnihald niðurdælingarvökva

Einnig er fylgst með útfellingu, tæringu og sliti á niðurdælingarbúnaði.

4. Frumþarfir rekstrar.

4.1. Rétt menntaður mannaflí:

Ef rekstur á að vera markviss og áfallalítill þá ber brýna nauðsyn til þess að fyrirtækið fjárfesti í rekstrarþekkingu og að starfsmenn starfi með hönnuðum þegar frá upphafi.

Hitaveita Suðurnesja réð til sín vélstjóra og verkfræðinga meðan á hönnun varmaorkuversins í Svartsengi stóð og grundvallast reksturinn og þær rekstraraðferðir sem nú er beitt á reynslu þessara manna.

Ráðning vélstjóra reyndist farsæl þar sem í þeim fer saman málakunnátta og geta til að lesa erlendar leiðbeiningar með vélbúnaði, skilningur á vélgæslu og nauðsyn á fyrirbyggjandi viðhaldi og að lokum þá eru flestir vélstjóranna meistarar í einhverri málmiðnaðargrein svo sem rennismiði.

Það hafa verið gerðar margar breytingar á orkuverunum, sem gera þau öruggari og einfaldari í rekstri, þökk sé vel menntuðum og áhugasömum vélstjórum.

Vélstjórar í Svartsengi sinna einungis vélgæslu núorðið og er það skoðun mín að mennta þurfi sérstaka vélgæslumenn sem hafi minni menntun en vélstjórar og sem eru þar með ódýrara vinnuafli. Vélstjóra ber að nota í sérhæft viðhald og eftirlit með "flóknum" búnaði svo sem gufuhverflum o.fl. einnig nýtist þeirra menntun vel í margskonar tilraunastarfsemi með vélbúnað.

Vel menntaðir rafvirkjar eru lykilmenn í hverri virkjun. Þeir tveir rafvirkjar sem ráðnir hafa verið í Svartsengi hafa tekið þátt í uppbyggingunni frá fyrstu byrjun og hafa þeir átt stóran þátt í að móta rafkerfið allt.

Það er reynsla HS að gera verður mjög strangar kröfur til rafvirkjanna og eru þessar helstar: 1) málakunnátta 2) góð færni í að lesa teikningar og að rekja hugsunina að baki þeim 3) hæfileiki til að vinna sjálfstætt 4) færni í meðferð hverskyns mælitækja 5) áhugi og vilji til að kynna sér nýjungar og reyna þær 6) yfirvegað hugrekki og ákveðni.

Þeir aðrir iðnaðarmenn sem starfa í Svartsengi eru: járnmiðnaðarmenn þ.e.a.s. rennismiðir og vélvirkjar, bifvélavirki og trésmiður. Það er reynsla HS að gera verður miklar kröfur til þessara iðnaðarmanna um færni í starfi sem og annarra starfsmanna.

Það er einnig reynsla HS að farsælt sé að hafa a.m.k. einn iðnaðarmann úr hverri stétt.

Sem að ofan segir þá starfa í Svartsengi vélaverkfræðingur, vélstjórar, rafvirkjar, rennismiðir, vélvirkjar, bifvélavirki og trésmiður en vöntun er á múrara og blikksmið.

Álklæðning vélbúnaðar er ekki á færi annarra en blikksmiða eigi álklæðning að fara vel og þjóna sínum tilgangi.

Öll steinsteypa fer mjög illa í jarðhitaumhverfi og er glöggur múrari því lykilmaður í viðhaldi steinsteyptra mannvirkja. Viðgerðarefni, viðgerðar- og viðhaldsaðferðir steypumannvirkja fleygir fram og er það því einungis á færi fagmanna sem skilja eðli steinsteypu þ.e.a.s. múrara að annast umrætt viðhald.

Að lokum skulu hér að neðan taldir upp starfsmenn í Svartsengi:

Stöðuheiti:

Fjöldi:

Stöðvarstjóri	1
Yfirvélfraðingur	1
Verkstæðisformaður	1
Vakthafandi vélstórar	5
Vaktmenn (sjá um þrif m.a.)	3
Starfsmenn gufuveitu	2

Járniðnaðarmenn	4
"Smyrjari"	1
Viðhald steyptra mannvirkja	1
Rafvirkjar	2
Lager maður	1
Alls	<u>22</u>

Uppsett afl í Svartsengi er:

125 MW	varmaafll
8 MW	rafafl
<hr/>	
Alls	133 MW

Hvert MW í uppsettu afli útheimtir því:

$$\frac{22}{133} = \underline{0,17 \text{ starfsmann}}$$

4.2 Staðhæfðar rekstraraðferðir.

Hitaveita Suðurnesja er opinbert fyrirtæki í eigu ríkis (20%) og sveitarfélaga (80%). Af þessum sökum hefur ekki verið unnt að greiða fagfólki sömu laun og hinn almenni markaður getur boðið.

Lausn HS á þessu vandamáli hefur verið eftirfarandi:

1. Gera strangar hæfniskröfur til starfsmanna
2. Leggja þunga áherslu á frumherjapátt starfsins
3. Gera starfsmenn sjálfstæða og ábyrga fyrir ákveðnum viðhalds- og rekstrarþáttum
4. Láta starfsmenn fylgjast grannt með nýjungum í sinni starfsgrein
5. Sjá starfsmönnum fyrir fullkomnum og góðum "professional" verkfærum
6. Starfsmenn fylgjast með verkfæranýjungum
7. Starfsmenn móta störf sín að stórum hluta til sjálfir
8. Starfsmönnum fengin í hendur verkefni er reynir bæði á huga og hönd þ.e.a.s. reynt er að forðast hefðbundnar lausnir.
9. Starfsmenn taka þátt í gerð fjárhags og framkvæmdaáætlana og eru ábyrgir að hluta fyrir þeim (sjá 4., 5. og 6. mynd svo og viðauka)
10. Starfsmönnum er gefinn kostur á mikilli yfirvinnu
11. HS styður með öflugum hætti við bakið á félagsstarfi starfsmanna

Þessar aðferðir hafa reynst nokkuð vel hingað til, sem sjá má af því að 11 manns ná 10 ára starfsaldri á þessu ári.

Það hefur verið megin stefna HS allt frá upphafi að annast allan daglegan rekstur og tilfallandi viðhald með eigin starfsfólki. Allt meiriháttar viðhald er boðið út.

Þessu markmiði átti að ná með því að ráða vel menntað og hæft starfsfólk sem gæti gengið í störf hvers annars.

Þetta reyndist ekki farsæl leið því það kom fljótlega í ljós að rekstrarvandamálin voru svo margþætt og flókin að það þurfti mikillar sérhæfingar við.

HS varð að byggja upp öfluga sérþekkingu með starfsfólki sínu.

Helstu sérsviðin eru þessi:

1. Gufuhverflar og riðbreytar
2. Stjórnlokar
3. Loftpressur
4. Loftræstikerfi
5. Suðutækni
6. Sérhæfð rennismiði
7. Tæringarvarnir vélbúnaðar
8. Tæringarvarnir rafbúnaðar

Starfsmenn hafa síðan verið gerðir ábyrgir fyrir hinum ýmsu sérsviðum.

Með þessum staðhæfðu rekstraraðferðum hefur fengist öflugt rekstrar og viðhaldskerfi rekið af kappsfullu starfsfólki.

4.3. Markmiðsstjórnun:

Í október og nóvember ár hvert setja starfsmenn sér rekstrar og viðhaldsmarkmið fyrir næsta ár.

Á grundvelli þessa vinna starfsmenn upp svokallaða fjárhags- og framkvæmdaáætlun (sjá viðauka).

Þessi áætlun er síðan tekin til meðhöndlunar af stjórn HS í desember ár hvert og forgangsröðun verkefna yfirfarin. Áætlunin er síðan samþykkt fyrir jólar hvert.

4.4 Tenging verkefnis- og fjármálastjórnunar:

Umrædd fjárhags- og framkvæmdaáætlun kemur til framkvæmda í byrjun hvers árs og er hún síðan yfirfarin 4-5 sinnum á starfsárinu.

Endurskoðun áætlunarinnar gegnir eftirfarandi megin hlutverkum:

1. Tryggja það að rekstrar- og viðhaldsmarkmið náist
2. Tryggja að tímaáætlanir standist
3. Tryggja að kostnaður fari ekki úr böndum

4. Sveigja áætlunina að breyttum aðstæðum t.d. fella niðu verkefni eða bæta við verkefnum

Með þessu móti hefur tekist að halda rekstrarkostnaði að mestu innan áætlaðs ramma en tímaáætlanir hafa oft riðlast einkum í verkum sem ekki hafa verið unnin áður.

5. Fyrirbyggjandi viðhald:

HS hefur þróað og látið gera öflugt fyrirbyggjandi viðhaldskerfi fyrir vél- og rafbúnað orkuversins í Svartsengi. Þetta kerfi var dýrt í upphafi en kostnaðurinn fékkst endurgreiddur á fáum árum í færri bilunum og minni rekstrarkostnaði.

Þetta viðhaldskerfi er notað fyrir vélbúnaðinn en rafbúnaðurinn bíður að hluta vegna tímaskorts.

Það er tvímælalaust skoðun og reynsla HS að fyrirbyggjandi viðhald sé besti viðhalds kosturinn sem völ er á. Fyrirbyggjandi viðhaldskerfi ber að setja upp um leið og hönnun mannvirkjanna fer fram.

Fyrirbyggjandi viðhaldskerfið í Svartsengi útheimtir 1/2 starfskraft.

Í upphafi voru neyðarviðgerðir tíðar, en viðhaldskerfið hefur komið því til leiðar að þær heyra sögunni til.

6. Efnis- og tækjarannsóknir, skráning rekstrarreynslu:

Tæring málmhluta og slit svo og stuttur líftími "gúmmi" þéttinga hverskonar eru helstu rekstrarvandamál í rekstri jarðhita-virkjana. Af þessum sökum er HS stöðugt með tilraunir við mismunandi aðstæður. Suðuaðferðir eru prófaðar svo og mismunandi suðumálmur.

Einnig er mismunandi hönnun hluta prófuð.

Umfangsmiklar tilraunir með málningu og málningaraðferðir svo og margvíslegar málmhúðunaraðferðir hafa verið gerðar og eru í framkvæmd.

Verið er að gera tilraunir með steinsteypu með ryðfríum stáltrefjum í stað hefðbundinnar járnagrindar. Margs konar yfirborðsmeðhöndlun steinsteypu hefur verið reynd.

Orkuverið í Svartsengi er í reynd lifandi stór tilraunastöð sem skapar frjótt umhverfi og hvetjandi fyrir starfsmenn.

Flokkun og skráning tilraunaniðurstaða og rekstrarreynslu er afar brýnt verkefni sem því miður hefur ekki verið unnt að sinna sem skildi og má með nokkru sannri segja að í Svartsengi sé þekkingarlegur öskuhaugur þar sem öllu ægir saman.

Unnið er að lausn þessa vanda með því að innleiða tölvuvædda skráningu niðurstaða í æ ríkara mæli.

7. Tæki, tól og lager:

Í hverju orkuveri er nauðsyn að koma upp sérhæfðum tækjum og verkfærum svo viðhald og rekstur verði markviss.

Þessi sérhæfðu tæki og tól eru:

1. Aldrifs þjónustubílar
2. Kranabíll
3. Lyftari
4. Aldrifs traktor með sandblástursbúnaði
5. Sandþurrkunarbúnaður
6. Málmhúðunarbúnaður
7. Hreinsiborbúnaður
8. Margskonar sérsmíðuð verkfæri

Þessi búnaður hefur verið keyptur og smíðaður að áeggjan starfsmanna hinna ýmsu sérsviða.

Á lager HS í Svartsengi starfar einn maður og er sá vélvirki. Hlutverk lagermanns er lagervarsla og endurvinnsla á notuðu efni svo sem flöngsum, lokum o.fl.

Lagerinn verður tölvuvæddur á næsta ári og mun lagermaðurinn reka tölvukerfið undir yfirstjórn innkaupa- og fjármáladeildar.

Verðmætustu hlutar lagersins í Svartsengi eru sérhæfðir varahlutir í gufuhverfla, stjórnlokar og hlutar þeirra svo og raf og stjórnubúnaður.

Þess er gætt að liggja einungis með lágmarksmagn af þeim brúkslutum sem fást í verslunum á Suðurnesjum og á stór Reykjavíkursvæðinu.

8. Sérhæft rekstrarverkstæði:

Það gefur augaleið að til þess að geta annast hið margbrotna viðhald, fyrirbyggjandi viðhald og tilraunir þá verður orkuverið að vera búið vönduðu sérhæfðu rekstrarverkstæði þar sem allt er í sem mestri röð og reglu.

Á verkstæðinu í Svartsengi er læst verkfæraherbergi undir öll handverkfæri sérstakt verkstæði fyrir upptekt og viðhald finni hluta, rafmagnsverkstæði vel búið tækjum og að lokum smíðverkstæði þar sem soðið er m.a.

Einnig er lítið renniverkstæði með öflugum rennibekk til staðar. Á smíðaverkstæði er hátt til lofts og krani er í lofti.

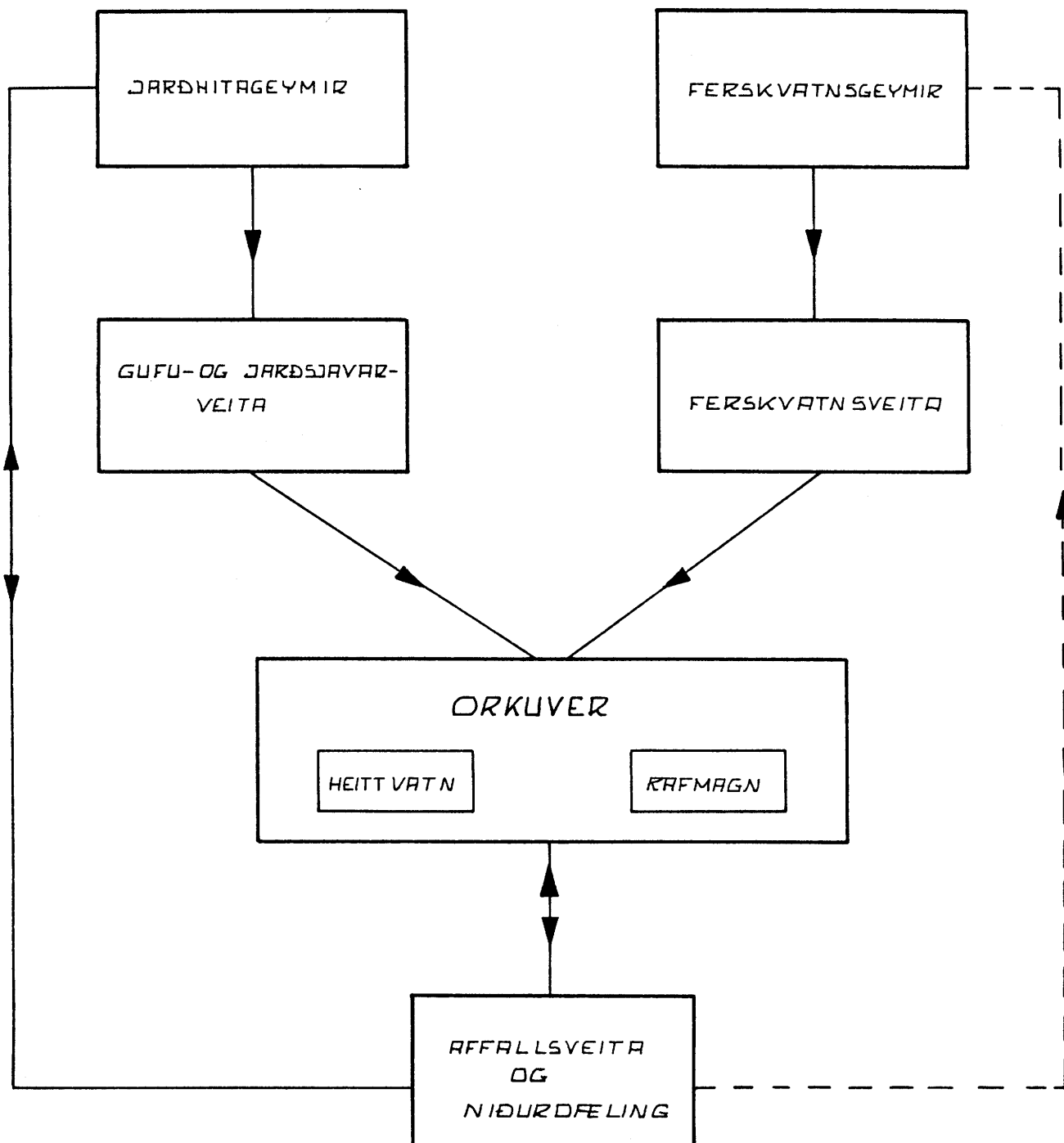
9. Niðurlag:

Að lokum þá vill ég þakka endurmenntunardeild Háskóla Íslands fyrir að gefa Hitaveitu Suðurnesja kost á því að segja frá sinni rekstrarreynslu.

Rekstur orkuversins í Svartsengi á langt í land með það að verða eins og honum er ætlað að verða og eigum við margt ólært.

Markmið hefur verið sett, heildarrekstrarkostnaður reiknaður á hverja kwh skal lækkaður um 30% á næstu 5 árum.

REKSTRAR ÞÆTTIR VARMAORKLIVERS.



1. MYND.

LEIÐIR TIL AUKINNAR HAGKVÆMNI HITAVEITNA

Wilhelm V. Steindórsson

Verkfræðingur

INNGANGUR

STOFNÁÆTLANIR HITAVEITNA

LEIÐIR TIL AUKINNAR HAGKVÆMNI Í REKSTRI

Gjaldmiðilssamsetning skulda

Sölufyrirkomulag

Endurnýting hitaveituvatns

Aðrir orkugjafar

Samnýting raforku og varma

Rafhitunarmarkaðurinn

Dælustýring

1. Inngangur.

Á Íslandi eru í dag starfræktar 30 almenningshitaveitur og nokkrar einkaveitur. Þjóna þær um 210.000 notendum eða um 86% landsmanna. Elst þeirra og stærst er Hitaveita Reykjavíkur sem stofnuð var árið 1930 og þjónar um 120.000 notendum.

Um helmingur hitaveitnanna er byggður í framhaldi af hinnri hröðu oliuverðshækkun sem átti sér stað um og eftir 1970. Má því nokkur reynsla vera fengin af uppbyggingu og rekstri hitaveitna við íslenskar aðstæður.

Grundvöllur fyrir velgengni, er að byggt sé á reynslu og miðlun hennar er mikilvæg.

Hér verður reynt að draga saman þá rekstrarþætti í íslenskum hitaveitum sem undirritaður hefur reynslu af og telur sig sjá að víða mætti huga betur að og jafnvel að lagfæra, íslenskum hitaveitum til aukinnar hagkvæmni. Að innleiða breytingu í rekstri einnar hitaveitu, sem góð reynsla er fengin af hjá annarri, er nýjung fyrir viðkomandi veitu.

Í þessu sambandi er af mörgu að taka og verður hér aðeins stiklað á stóru.

2. Stofnátlanir hitaveitna.

Áður en tekin er ákvörðun um hvort byggð skuli hitaveita, er gerð verkfræðileg og fjárhagsleg áætlun um uppbyggingu hennar og fjárhagslega afkomu, kölluð frumáætlun. Verður að telja þessa áætlun einn mikilvægasta þáttinn í uppbyggingunni. Auk þess að vera sú áætlun sem myndar undirstöðuna undir allt sem á eftir kemur, er hún fyrsta myndin sem birtist aðstandendunum af því sem á að verða. Þessi fyrsta mynd hefur ótrúlega mikil og varanleg áhrif á aðstandendurna og mælist það að jafnaði ekki vel fyrir ef hún reynist frábrugðin því, er síðan verður. Þetta vita bæði hönnuðir og aðrir þeir sem ábyrgir eiga að vera fyrir ákvörðunum um málin og má allt of oft sjá að aðilar hanga fastir í því sem upphaflega hafði verið sagt og sjálfsagðar breytingar til bóta fá ekki hljómgrunn. Það ætti að vera föst regla um alla stærri uppbyggingarþætti hitaveitna, að það sé **ekki** sami aðili sem gerir frumáætlun um verkið og útfærir það síðan endanlega eftir að ákvörðun byggð á frumáætluninni hefur farið fram. Ef af einhverjum ástæðum þetta þó þætti eðlilegt, ætti að ráða annan aðila (eftirlitsaðila með hönnun) sem hefði hagsmuni af því að meta hönnunina gagnrýnið á öllum stigum. Varast skal að ganga þannig frá hönnunarsamningum að í þeim sé fólgin bein fjárhagsleg tengsl á milli þóknunar hönnuða og endanlegs kostnaðar við verkið.

Nokkuð algengt er, að meðal nýrri hitaveitna hafi komið í ljós, að frumáætlanir hafi ekki stöðist og má sjá ýmsar ástæður fyrir því.

Einn megin bresturinn í frumáætlanagerðum seinni tíma hitaveitna er matið á stærð jarðhitageymanna og vatnsgæfni þeirra. Almennt má sjá, að litið var á jarðhitageymana sem óþrjótandi auðlind er endurnýjaði sig stöðugt. Aðveitukerfi, dreifikerfi, sölukerfi o.fl. bera víða þessa viðhorfs glögg merki. Hagkvæmni í nýtingu þessa orkugjafa og orkusparnaður urðu að mestu óþörf hugtök. Almennt má segja að jarðhitasvæði hafi takmarkaða stærð og að það gangi á þau eftir því sem að meira er af þeim tekið. Þau séu náma og vatnsvinnsla frá þeim sé námuvinnsla.

Afleiðingin hefur orðið mun lakari rekstrarafkoma veitnanna en frumáætlanir höfðu gefið til kynna.

3. Leiðir til aukinnar hagkvæmni í rekstri.

Ekki er óalgengt að rekstur hitaveitna hafi fljótt orðið erfiðari en frumáætlanir höfðu gert ráð fyrir. Mörg ár liðu þar til menn fóru að átta sig á og viðurkenna að töluvert vantaði á að upphaflegar áætlanir stæðust. Á þessum árum voru lánskjör á erlendum lánamörkuðum óhagstæð og hallaði mjög undan fæti í rekstri margra íslenskra hitaveitna á ótrúlega skömmum tíma.

Dæmi um rekstraratriði hitaveitna sem ástæða er að taka til ihugunar og endurmats gætu verið eftirfarandi.

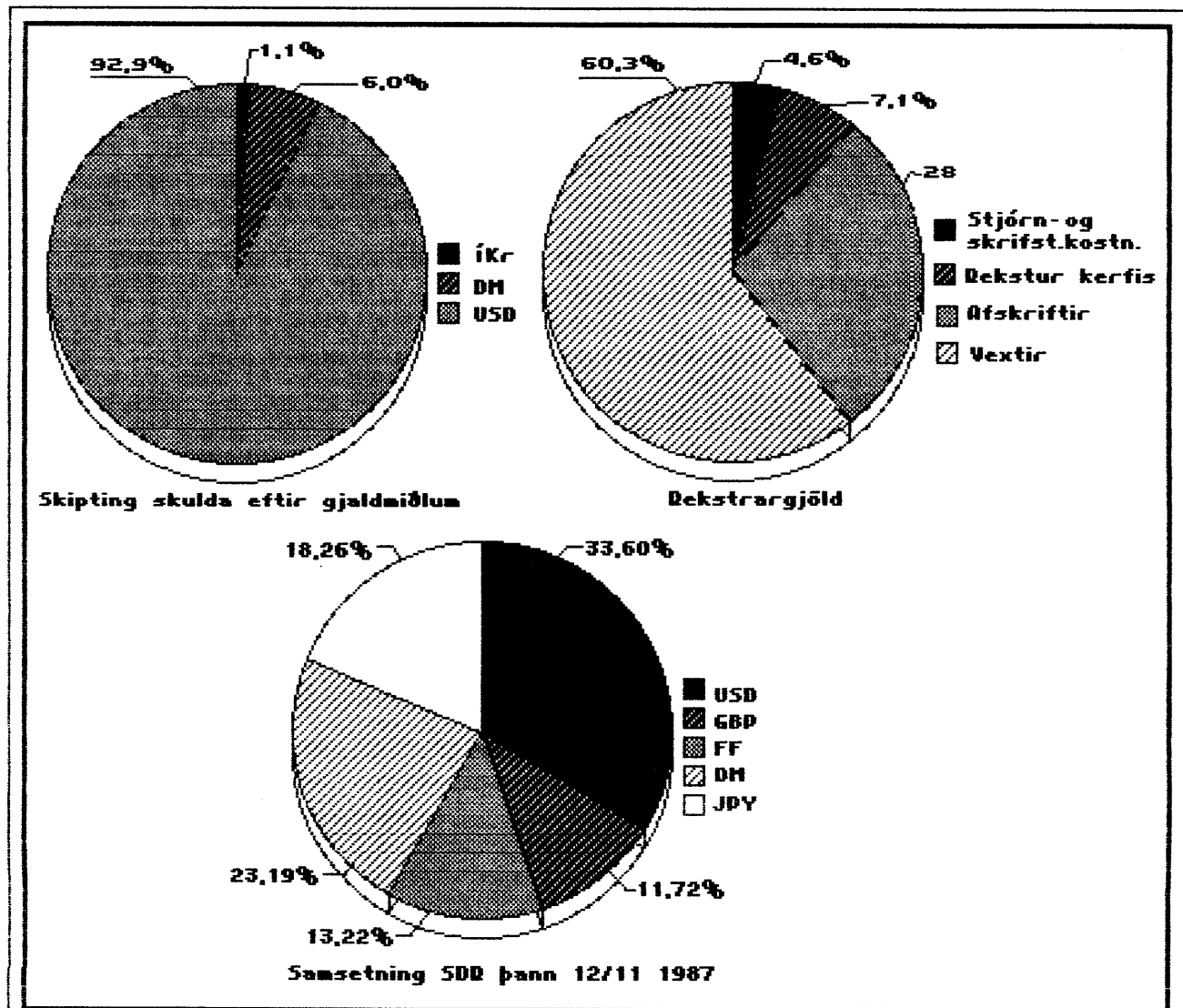
1. Samsetning skulda í gjaldmiðlum.
2. Sölufyrirkomulag og tekjustofn.
3. Varmamarkaðurinn.
4. Aðrir orkugjafar.
5. Nýting hitaveituvatns.
6. Samnýting raforku og varma.
7. Dælukostnaður og dælustýringar.

3.1 Gjaldmiðilssamsetning skulda.

Á þeim tíma sem uppbygging hitaveitna var hvað mest, eftir 1970, var framboð á innlendu fjármagni til hitaveituframkvæmda í þeim mæli sem um var að ræða, ekki fyrir hendi. Flestar nýrri hitaveitur fjármögnuðu stærstan hluta síns stofnkostnaðar með erlendu lánsfé.

Grundvallaratriði í fyrirtækjarekstri er að bein tengsl séu á milli rekstrarútgjalda og tekna. Þannig að þegar hækkun verður á framleiðslukostnaðarliðum vöru, verði sú hækkun strax látin speglast í söluverði vörunnar.

Algengt er að verð á heitu vatni sé látið fylgja vísitölu byggingarkostnaðar. Svo lengi sem innlend verðlagsþróun ræður reksturskostnaðarþróun hitaveitna má segja að þannig náist nokkuð góð framangreind tengsl. Á þetta hins vegar sjaldnast við þegar stór hluti rekstrarútgjalda er fjármagnskostnaður, jafnvel eins erlends gjaldmiðils.



Mynd 1

Á mynd 1 er sýnt dæmi um skiptingu rekstrarútgjalda hjá hitaveitu og skiptingu skulda á gjaldmiðla á sama tíma.

Langtíma rekstrarafkoma þessarar veitu var gerð á verðlagi frumáætlunarársins og miðaði við að gjaldskrárverð hennar fylgdi vísitölu byggingarkostnaðar.

Með að leggja allar skuldir hitaveitu undir einn og sama gjaldmiðilinn er verið að taka mestu rekstrarlegu áhættu.

Að dreifa "eggjunum" í fleiri körfur mun reynast íslenskum hitaveitum happadrýgst. Hvernig þau skipti eiga að vera, er ekkert einhlítt svar til við. Þar sem íslenskar hitaveitur hafa að jafnaði ekki tekjur í erlendri mynt, hefur verið bent á að gjaldmiðilssamsetning lána þeirra, ætti að vera sem næst viðskiptavog íslensku krónunnar þannig að gengistap þeirra verði sem minnst vegna innbyrðis gengisbreytinga erlendra mynta.

Í frumáætlunum hönnuða væri hins vegar ekki óeðlilegt að reikna með sömu gjaldmiðilssamsetningu áætlaðra skulda og samsetning viðskiptalegra gjaldmiðilshugtaka eins og t.d. ECU og alþjóðlegum áætlunum um þróun þess gjaldmiðils. Hefur þar með strax í frumáætlun verið bent á mikilvægi framangreindra tengsla, sem auðveldað gæti hinum kjörnu fulltrúum að átta sig á, að hver veita þarf að finna sína eigin leiðréttingavísitölu sem ræðst af gjaldmiðilssamsetningu skulda annars vegar og hlutfalli útgjalda vegna þeirra skulda og útgjalda sem háð eru innlendra verðlagsþróun hins vegar.

Þegar stærsti hlutinn af tekjum hitaveitu rennur til að greiða fjármagnskostnað er spurning hvort ekki væri þá réttast að miða gjaldskrár hitaveitna við gengi gjaldmiðilshugtaksins SDR. Á mynd 1 er sýnd gjaldmiðilssamsetning SDR frá 12 nóvember 1987.

3.2 Sölufyrirkomulag.

Flestar nýrri hitaveitna byrjuðu að selja heita vatnið samkvæmt magnhemli. Um er að ræða aflsölu þar sem notandinn ákveður hvaða mesta afl hann vill hafa aðgang að. Aflstilling gildir að jafnaði eitt ár í senn og er greitt árlegt aflgjald sem deilt er jafnt á mánuði ársins.

Aflsala er þekkt sölufyrirkomulag samanber marktaxta rafveitna. Aflsala leiðir að jafnaði til hárrar nýtingar notandans á keyptu afli, af eðlilegum ástæðum þar sem útgjöld notandans eru gerð óháð orkunotkuninni. Í margbreytilegu taxtafyrirkomulagi rafveitna á hreinn afltaxti rétt á sér upp að ákveðnu marki. Svo er hins vegar ekki hjá hitaveitum.

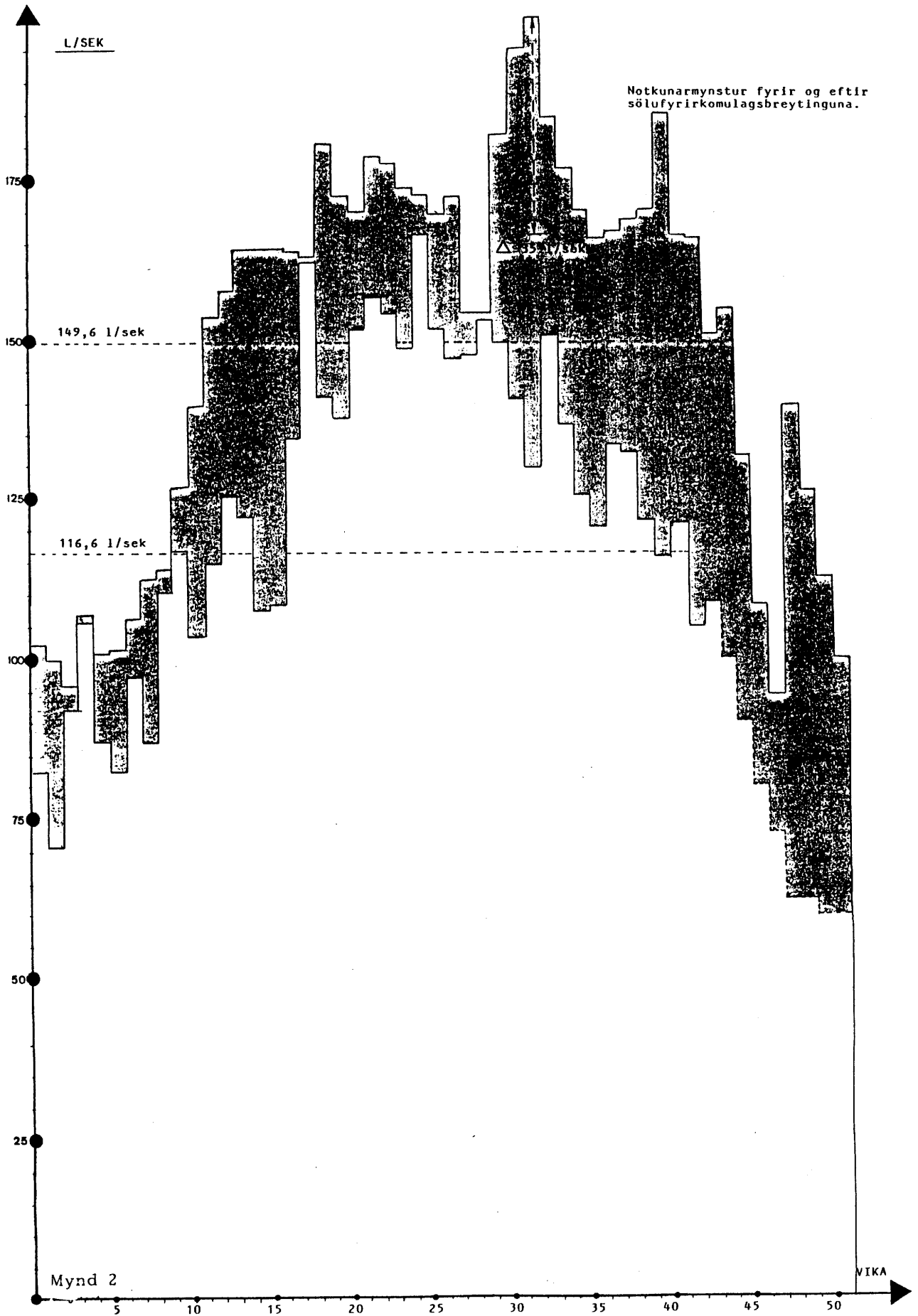
Jarðhitageymar hitaveitna eru takmörkuð auðlind. Þeir eru náma sem minnkar eftir því sem af er tekið. Á þetta þó ekki alfarið við um þær hitaveitur sem ennþá byggja á stöðugu sjálfrennsli úr svæðum. Jarðhitageymar búa að jafnaði yfir töluverðum miðlunareiginleika sem gerir þeim kleyft að geta gefið hlutfallslega mikið magn (afl) í ákveðinn tíma ef þeim er hlíft að sama skapi á öðrum tíma. Þennan eiginleika er hægt að nota til að dæla miklu magni á kaldasta tíma, enda sé dæling minnkuð á öðrum tíma.

Notandi hitaveitu sem kaupir ákveðinn aflskammt og greiðir fast gjald alla mánuði ársins hefur tilhneigingu til að reyna að nýta aflið sem mest. Þegar ekki þarf á því að halda til upphitunar er reynt að nota það til annars s.s. til gróðurhúsa, í heita potta o.fl. Jafnframt letur sölufyrirkomulagið notendur til umhugsunar og aðgerða hvað varðar stýribúnað fyrir ofnakerfi og afleiðingin verður veruleg umframnotkun á heitu vatni. Dæmi er um það hjá hemlaveitunum að minnsta heildardæling á sumrin sé 12-14% lægri en mesta dæling á veturna.

Afleiðingin er að stöðugt fleiri hitaveitur löngu fyrr en áætlað hafði verið neyðast til að elta vatnsborð jarðhitasvæðanna við að "sikka" dælingu sínar með tilheyrandi auknum rekstrarkostnaði dælubúnaðar og auknum rafmagnskostnaði vegna aukinnar lyftihæðar vatnssúlu. Jafnframt fjölgar stöðugt þeim hitaveitum sem standa frammi fyrir vatnsskortri miðað við óbreytta dælingu frá svæðunum.

Nokkrar hitaveitur hafa þegar breytt sölufyrirkomulagi sínu og farið að selja heita vatnið eftir magnmæli (orka) í stað hemils (afl). Reynslan er að heitavatnsnotkun minnkar verulega. Fyrir nokkrum árum breytti Hitaveita Reykjavíkur í tveimur hverfum í Garðabæ úr hemlum yfir í mæla. Niðurstaðan varð að allt að 40% minna vatnsmagn var notað eftir breytinguna. Eftir breytingu á sölufyrirkomulagi Hitaveitu Akureyrar minnkaði heitavatnsnotkunin um 23%. Á Dalvík minnkaði heitavatnsnotkunin um 43%. Eftir breytinguna í Mosfellsbæ úr hemlum yfir í mæla er svipaða sögu að segja.

Nokkuð kom á óvart að almennt minnkaði notkun á öllum tímum ársins. Hæsti afltoppur varð lægri eftir breytingu úr hemli yfir í mæli. Á Akureyri minnkaði dæling á kaldasta tíma um 33 l/sek eða um 17%, sjá mynd 2. Ástæðan fyrir þessari lækkun er eflaust margþætt, en benda má á, að meðal bakrásarhiti frá húsum þar



sem hann hefur verið mældur, hefur viðá lækkað við breytinguna um 10-12°C en var viðá yfir 50°C þegar hlýjast var. Jafnframt má áætla að neysluvatnsnotkun hafi minnkað eftir að farið var að mæla hana.

Viðhald hemla hefur reynst verulega meira en áætlað hafði verið og ýmiss konar örðugleikar komið fram við notkun þeirra. Innkaupsverð á hemli er a.m.k. helmingi hærra en á t.d. magnmæli.

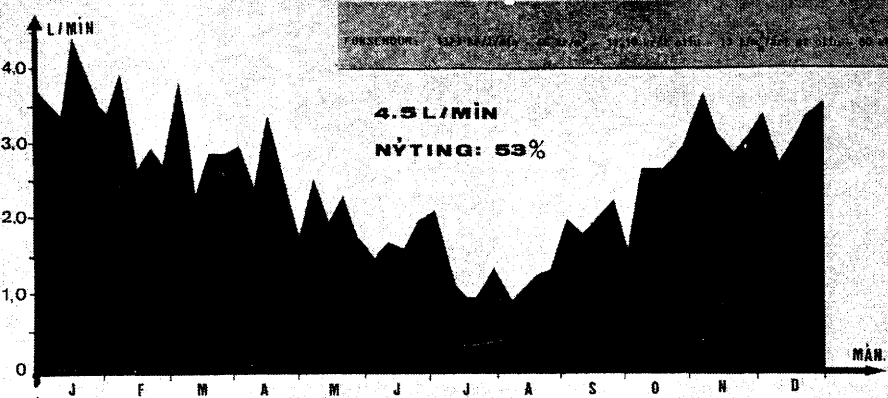
Í frumáætlun hitaveitna var tekjustofn veitnanna áætlaður á grundvelli þess að hver rúmmetri húss krefðist lágmarks innstillingar á hemli (lágmarksafl) í mínútulítrum til eðlilegrar og fullnægjandi upphitunar, sem greitt yrði fyrir jafnt allt árið. Reyndin varð sú að notendur keyptu að jafnaði ekki þá aflstillingu sem áætlanir höfðu miðað við og tekjur veitnanna urðu lægri en áætlað hafði verið. Nokkuð var það háð verðlagningu á aflinu hve notendur voru reiðubúnir að kaupa aflinnstillingu í miklu samræmi við áætlanir. Leiddi þetta m.a. til þess að hækka varð fljótlega aflgjaldið meira en áætlað hafði verið. Viðbrögð notenda við því voru almennt á sama veg, þeir óskuðu eftir lækkun á aflinnstillingu og tóku á sig kulda í húsum sínum á kaldasta tíma ársins, eða notuðu viðbótarafgjafa (toppafl) á þeim tíma. Toppaflgjafinn var almennt rafmagnsofnar sem reknir voru á heimilistaxta viðkomandi rafveitu.

Má segja að rekstur flestra dýrari hemlaveitnanna hafi verið kominn í vitahring. Vegna eðli hemlasölunnar náðu veiturnar ekki áætluðum tekjum en vatnsnotkun varð verulega meiri en áætlað hafði verið og sem sýndi sig að mörg jarðhitasvæðanna þoldu ekki. Rekstrarkostnaður veitnanna varð hærri af þessum sökum en áætlað hafði verið. Viðbrögð veitnanna var hækkun aflgjalds umfram upphaflegar áætlanir. Við því brugðust notendur, með almennum beiðnum um lækkun aflinnstillingar þ.e. afkaupa og sátu óánægðir í köldum húsum hluta vetrarins.

Taka má dæmi um 600 m³ hús sem þarf aðgang að 4,5 mínútulítrum á kaldasta tíma. Kaupi þessi notandi þann skammt, hefur hann aðgang að fullnægjandi upphitun húss síns á öllum tímum ársins og greiðir fyrir það samkvæmt innstilltum hemli kr 71.442 á ári. Sami notandi velur að kaupa 2,5 l/mín til upphitunar húss síns. Fyrir það greiðir hann kr 39.679 á ári eða 44% af því sem hann greiddi miðað við það afl sem veitti honum aðgang að fullnægjandi upphitun allt árið. Ef miðað er við meðalárferði á Íslandi má áætla að það vatnsmagn sem hann ekki fær vegna skerðingar af völdum lægri aflinnstillingar sé um 13 % af því sem hann þarf til fullrar hitunar, sjá mynd 3. M.ö.o. að orkan skerðist ekki að sama skapi til notandans og notandinn skerðir tekjur hitaveitunnar við lækkun aflinnstillingar. Af þessu leiðir að hemlasalan veldur verulegum ójöfnuði meðal notenda í

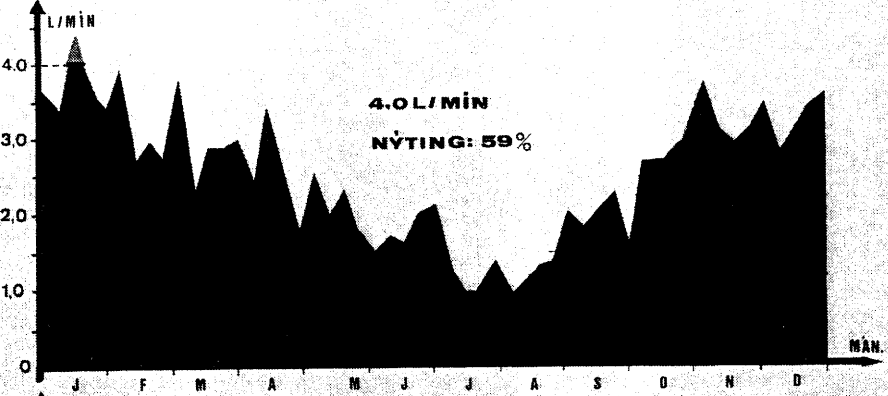
FORSEÐUR: 100% HVAÐAÐ - 2000 W - 110 VAC/60 HZ - 15 L/min @ 3.0 bar - 90 W/100 L - 20 W/100 L - 60 W/100 L

HITAVEITA AKUREYRAR. — 'ALAGSFERLAR.

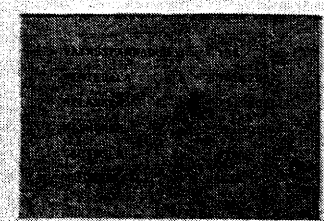
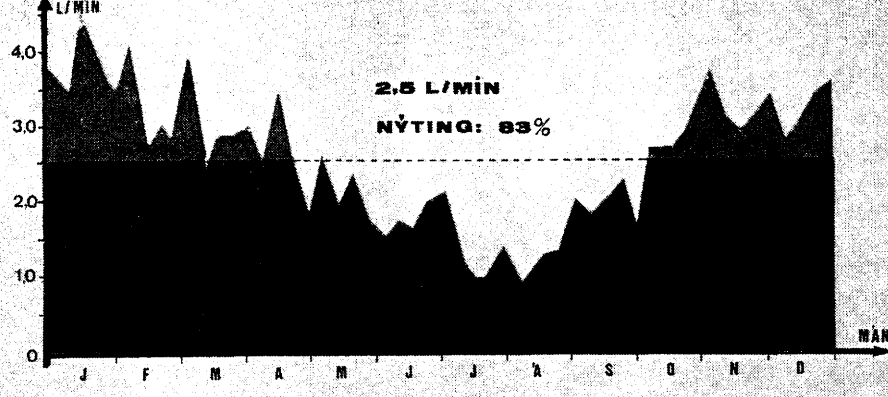
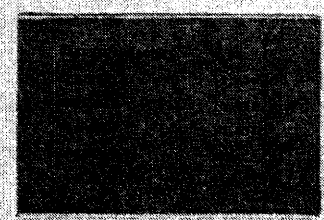
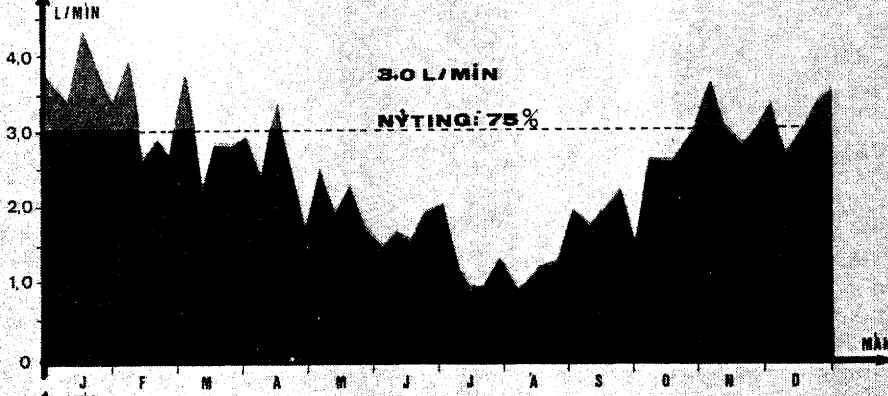
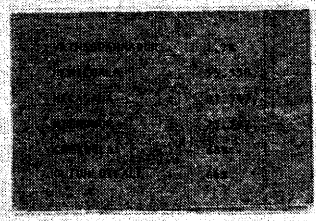
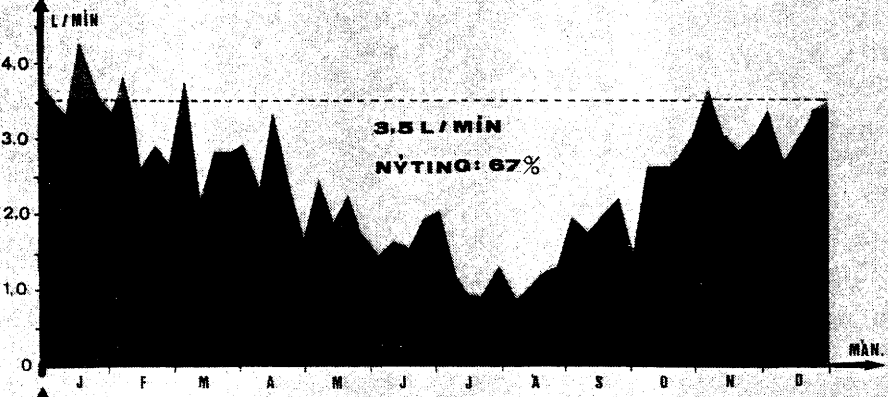


HÚSRÝMI: 600 M³H

VATNSPANHAFUR	0
HEITISALA	11.447
HEILISALA	64.725
HEIÐRUB	11.223
DRÖTUSLA	600
ÖLSHREYFAR	63%



VATNSPANHAFUR	0.29
HEITISALA	63.466
HEILISALA	64.867
HEIÐRUB	18.381
DRÖTUSLA	600
ÖLSHREYFAR	70%



greiðslum þar sem ekki er línulegt samband á milli afllækkunar og skerðingu á orku. Þeir notendur sem mest lækka aflkaup sín frá því er þeir þurfa til fullnægjandi upphitunar, nýta afl sitt best og greiða þar af leiðandi minnst fyrir orkueininguna eða hvern rúmmetra vatns.

Af fenginni reynslu ætti að vera ljóst að hemlasölufyrirkomulag hentar ekki við íslenskar hitaveituaðstæður, heldur ekki hjá veitum sem tímabundið eru það vel settar að þær byggja á sjálfrennsli frá jarðhitasvæðum. Grundvallaratriði til öruggrar rekstrarafkomu hitaveitna er að þær byggi tekjustofn sinn á að innheimta í hlutfalli við það sem þær selja (orka) og að þær þekki sinn markað.

3.3 Endurnýting hitaveituvatns.

Algengt er að bakrásarvatn frá húsum tengdum nýrri hitaveitunum sé um 30-40°C heitt. Hjá hemlaveitum er algengt að sjá bakrásarhita nokkuð hærrí vegna vöntunar á ofnastýringum í húsum. Leiðir þessi tiltölulega hári bakrásarvatnshiti af hlutfallslega litlum ofnaflötum húsa sem er vegna þess að í flestum tilvikum eru ofnakerfin hönnuð fyrir minna hitafall sem algengt er þegar um lokuð upphitunarkerfi er að ræða fyrir olíu eða rafmagn.

Í mörgum tilvikum er það ekki óarðbært að tvöfalda hluta dreifikerfa hitaveitna og ná til endurnotkunar allt að 20-40% af öllu bakrásarvatni húsa. Er þá haft í huga tvöfalt kerfi frá stærri byggingum, vatnsfrekum húsum og þéttbýliskjörnum.

Endurnotkun á þessu vatni gæti verið með ýmsu móti. Allt frá beinni endurnotkun án hitunar eða endurnotkun eftir endurhitun með utanaðkomandi orkugjafa, til viðbótarnýtingar með hjálp varmadælna.

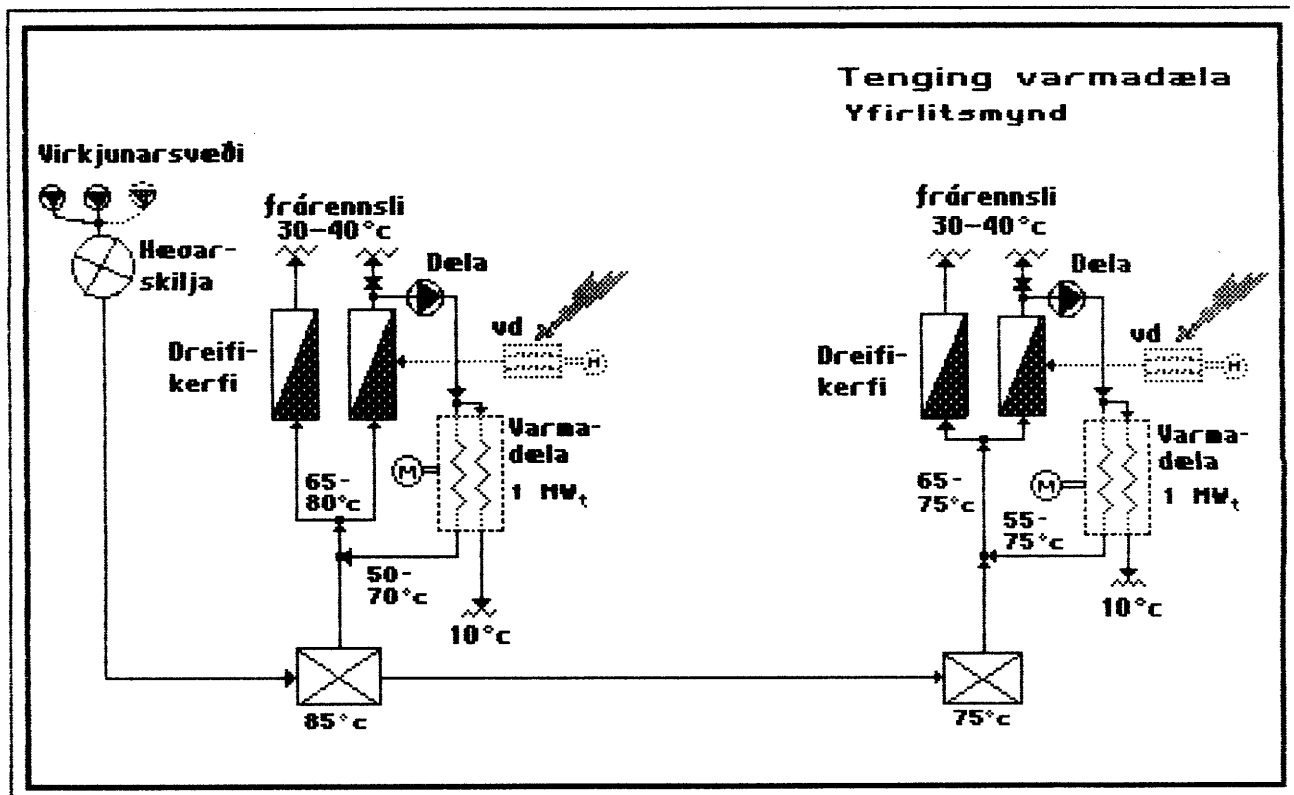
Stýring á framrásarhita hitaveitna eftir útihita með blöndun bakrásarvatns hefur lítið verið framkvæmd hér á landi. Með því móti má lágmarka töp í dreifikerfi og jafna innhita notenda utan mestu álagstíma. Endurnotkun á óupphituðu bakrásarvatni gefur ekki aukna nýtingu sem slík. Hún leiðir hins vegar til minni dreifikerfistapa og hlutfallslega betri skilunar á "raunvatnshita" til notenda. Hitaveitur sem nota viðbótar-orkugjafa (olíu, rafmagn, varmadælu o. fl.) og fjarvarmaveitur ættu tvímælalaust að ihuga stýringu á vatnshita eftir útihita.

Endurnotkun vatns eftir endurhitun gæti verið hagkvæmur orkuöflunarkostur fyrir hitaveitur þar sem erfiðleikum er bundið að afla vatns og jarðhitageymirinn er litill, sjá næsta kafla 3.4.

Við hönnun ofnakerfa ætti það að vera sjálfsögð regla að hönnuður hafi samband við viðkomandi hitaveitu og fái uppgefið hver

áætlaður meðal kerfishiti er á þeim stað þar sem ofnakerfinu er ætlað að vinna. Of algengt er að hönnuðir gangi út frá hitaforsendum við hönnun sem fyrirsjánlegt er að ekki muni ganga eftir. Afleiðingin verður meiri vatnsnotkun, meiri hitaveituútgjöld notenda, heitara bakrásarvatn til sjávar og meiri dæling frá virkjunarsvæðunum.

Í 20-25°C heitu vatni er bundinn mikill varmi sem ekki er auðvelt að nýta í almennum ofnakerfum. Með stöðugt fullkornari og öruggari varmadælubúnaði er þetta hins vegar framkvæmanlegt á tiltölulega hagkvæman hátt. Hitaveita sem hefur aðgang að bakrásarvatni á einum stað getur með hjálp varmadælu kælt hluta þess vatns svo langt niður sem hagkvæmt þykir, allt niður undir 4°C og notað þann varma sem við það losnar til að endurhita hinn hluta bakrásarvatnsins sem síðan yrði endurnotaður inn á dreifikerfi hitaveitunnar. Með þessu móti má fá grunnafl fyrir hitaveituna sem gæti leitt af sér minnkun dælingar frá jarðhitasvæðunum og lengingu á líftíma þeirra. Varmadæla sem nýtir bakrásarvatn hefur verið starfrækt hjá Hitaveitu Akureyrar í nokkur ár með tiltölulega góðum árangri. Á mynd 4 er sýnd yfirlitsmynd yfir tengingu slíkra varmadælukerfa.



Mynd 4

Verð á uppsetta afleiðingu í varmadælum er hlutfallslega hátt miðað við uppsett afl í öðrum orkugjöfum s.s. oliukötlum, kolakötlum, rafskautakötlum o.fl. Mikilvægt er því að finna rekstrarfyrirkomulag sem byggir á hárrí nýtingu uppsetts afls til að rekstrarhagkvæmni verði góð.

Lang áhrifamesti rekstrarliðurinn í varmadæluverkstri er að jafnaði raforkukostnaðurinn. Miðað við hagkvæmni annarra aðgengilegra orkugjafa hér á landi er vart hægt að hugsa sér rekstur á stærri varmadælum öðru vísi en að raforkan fái á verði afgangorku eða á verði sem miðar við að viðkomandi raforkuseljandi verði ekki fyrir toppaflls aukningu af völdum varmadæluverkstrursins, samanber varmadælurnar á Akureyri.

Eftirfarandi eru tvö dæmi um rekstur stórra varmadælna sem bæði hafa verið skoðuð hér á landi og á mynd 5 er sýnd rekstrahagkvæmni þessara varmadælna sem fall af raforkuverðinu (k₁) til þeirra. Miðað er við meðalverðlag ársins 1987.

Varmadæla A er 1 MW, mótorstærð fyrir pressu er áætluð 340 kW og ábatastuðull (cop) áætlaður 3,0. Áætlað er að kæla í uppgufara 8 l/sek af 30-40 °C heitu bakrásarvatni. Á þéttahlið varmadælunnar er áætlað að hita 50-60°C heitt vatn í allt að 76 °C. Í áætluninni er ekki reiknað með kostnaði við öflun bakrásarvatns.

Varmadæla B er 3,5 MW, mótorstærð fyrir pressu er áætluð um 900 kW og ábatastuðull (cop) áætlaður 3,5. Áætlað er að kæla í uppgufara 25 l/sek af 40 °C heitu vatni niður um 25 °C. Á þéttahlið varmadælunnar er áætlað að hita vatn frá 35 °C upp í 65-70 °C. Nokkur kostnaður er áætlaður við rekstur vinnsluvæða þar sem áætlað er að dæla 40 °C heitu saltvatni úr borholu.

Stofnkostnaður VD A, 1 MW.

þús.kr
Samtals 13.300

Rekstrarkostnaður VD A, 1 MW.

þús.kr
Samtals 1.750+1,67KI×10³

Framleiðsluverð orku frá varmadælu A, 1 MW.

K-_{vd/A} = 0,35 + 0,33KI (kr/kWh)

(mynd 5)

Stofnkostnaður VD B, 3,5 MW.

þús.kr

Samtals 40.000

Rekstrarkostnaður VD B, 3,5 MW.

þús.kr

Samtals 10.000+8KI×10³

Framleiðsluverð orku frá varmaælu B, 3,5 MW.

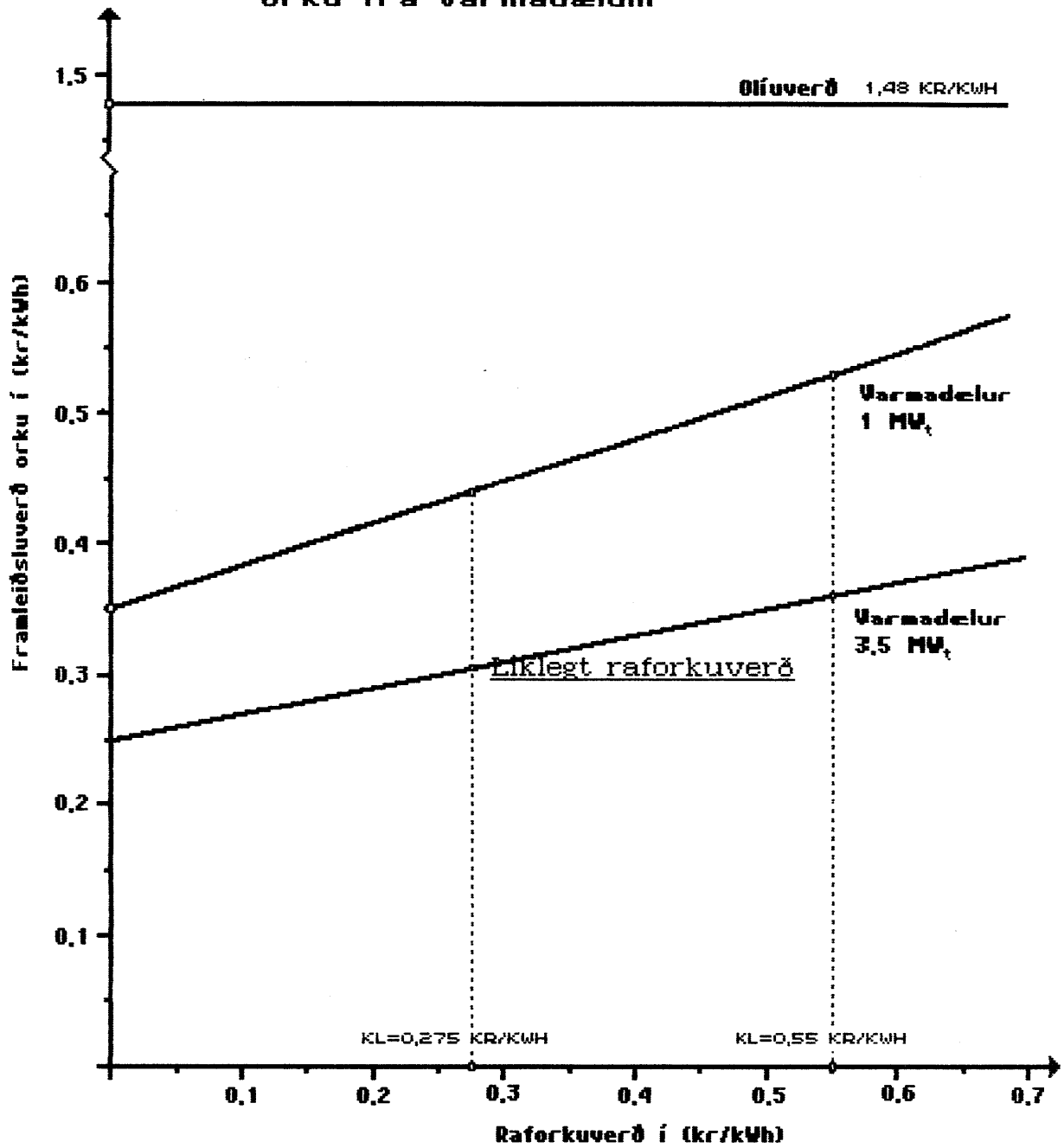
$$\underline{K\text{-vd} = 0,25 + 0,20KI \quad (\text{kr/kWh})}$$

(mynd 5)

3.4 Aðrir orkugjafar.

Það fjölgar stöðugt þeim hitaveitum þar sem fyrirsjáanlega stefnir í orkuskort innan fárra ára ef ekki kemur til viðbótarafgjafi. Í sumum tilvikum eru líkur á að auka megi orkugetu veitnanna með áframhaldandi borunum á viðkomandi jarðhitasvæði. Í öðrum tilvikum er svo ekki.

Samanburður á framleiðsluverði orku frá varmadælum



Mynd 5

Augljóst er af þeirri reynslu sem fengist hefur af nýtingu jarðhitasvæða landsins, að þau búa yfir töluverðum miðlunareiginleika. Þennan eiginleika er hægt að nota til að fullnægja mikilli aflþörf í skamman tíma, enda sé viðkomandi jarðhitasvæði hlíft að sama skapi. Reynslan hefur sýnt að mörg jarðhitasvæðanna er mjög viðkvæm þannig að aðeins örfárrar sekúndulíttra mismunur í meðaldælingu á ári ræður því hvort vatnsborð svæðisins stefnir upp á við eða niður á við. Orkustofnun hefur á grundvelli fenginnar reynslu og með nýjum fræðilegum aðferðum endurmetið vatnsgæfni virkjunarsvæða og gert framtiðar vatnsborðsspár miðað við mismikla meðaldælingu frá svæðum. Flest bendir til, að það sé meðaldæling hvers árs sem ræður langtíma vatnsborðspróun svæða fremur en skemmri tíma dælingarsveiflur.

Í ljósi þessarar reynslu er eðlilegt að spyrja hvort íslensk lághitasvæði yrðu í raun ekki betur (hagkvæmar) rekin sem toppaflgjafi með utanaðkomandi grunnaflgjafa í stað þess að reka þau sem grunnaflgjafa eða bæði sem grunnafls- og toppaflsgjafa.

Orkuframleiðsluverð frá aðgengilegum grunnaflgjöfum hlýtur að ráða mestu um það hvort og þá hvenær skynsamlegt væri að taka í notkun utanaðkomandi grunnaflgjafa.

Þegar hafa verið virkjuð flest þau jarðhitasvæði sem næst þéttbýli hafa verið og má búast við hlutfallslega hærri vatnsöflunarkostnaði hitaveitna hér eftir en hingað til. Jafnframt standa nokkrar hitaveitur frammi fyrir því að öll þekkt jarðhitasvæði í nágrenni þeirra eru talin fullnýtt.

Með utanaðkomandi orkugjöfum er átt við þá orkugjafa aðra en dælingu á heitu vatni úr borholum sem gerðir eru til upphitunar á vatni. Má þar nefna svartolíuketil, rafskautaketil, kolaketil, vindmillu (vatnsbremsa), varmadælu sem nýtir volgt vatn, varmadælu sem nýtir sjó, varmadælu sem nýtir loft, sorpbrennsluver o. fl.

Hér á eftir eru sýnd nokkur dæmi um stofnkostnað mismunandi orkugjafa og á mynd 6 er sýndur samanburður á framleiðsluverði orku frá mismunandi orkugjöfum. Vakin er athygli á að hér er aðeins um grófan samanburð að ræða þar sem orkugjafarnir sem bornir eru saman eru misstórir og eru husaðir við mismunandi aðstæður. Gera þarf samanburð fyrir hvert einstakt tilvik miðað við sömu orkuframleiðslu. Verð eru miðuð við meðalverðlag ársins 1987.

Svartoliuketill, 1 MW.

þús.kr
Samtals 4.200

Svartoliuketill, 10 MW.

þús.kr
Samtals 8.500

Rafskautaketill, 1 MW (lágspenntur)

þús.kr
Samtals 6.050

Rafskautaketill, 3 MW (háspenntur)

þús.kr
Samtals 14.900

Kolaketill, 4 MW.

þús.kr
Samtals 13.000

Kolaketill, 18-20 MW.

þús.kr
Samtals 37.200

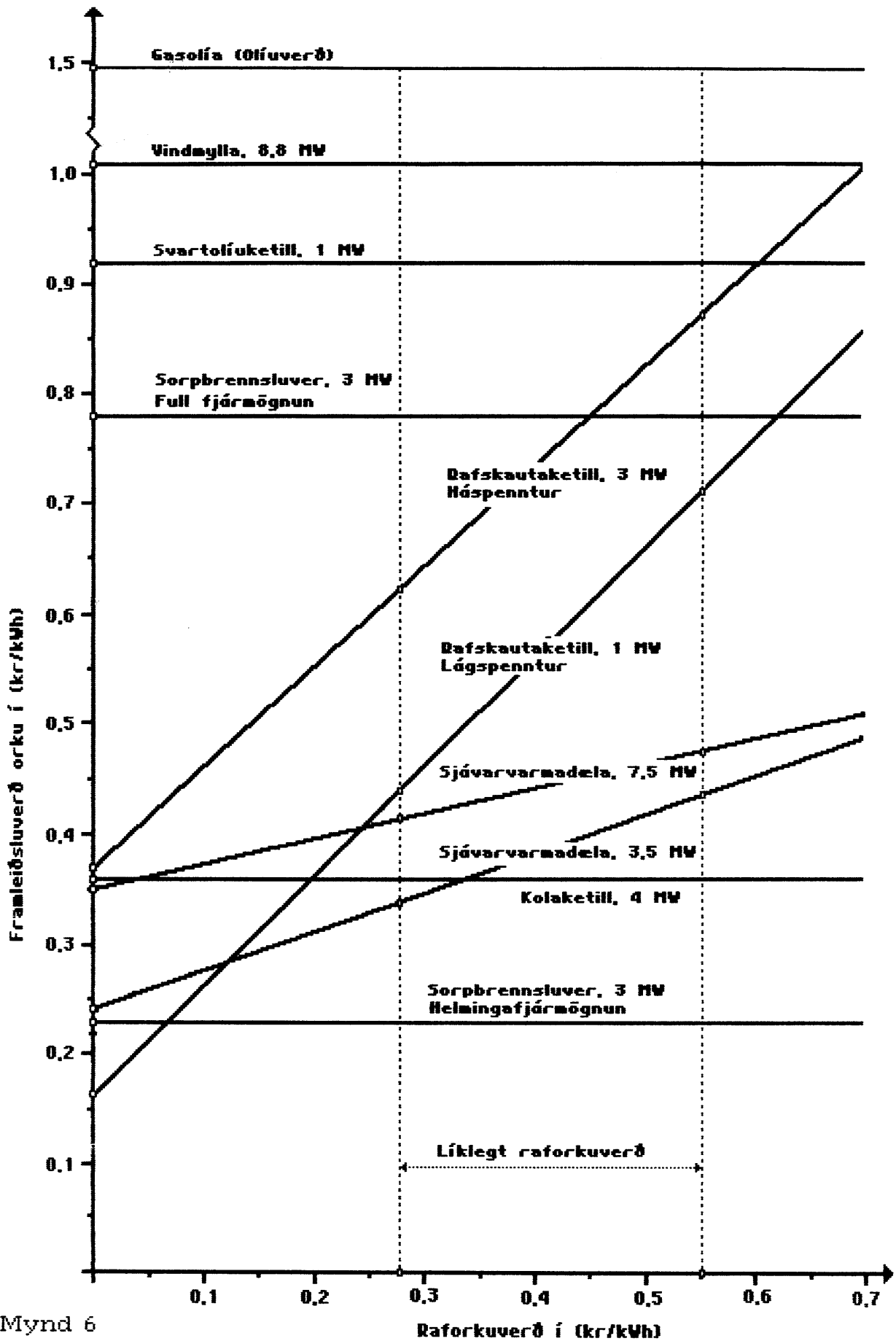
<u>Vindmylla, 8,8 MW (vatnsbremsa)</u>	þús.kr
Samtals	<u>216.000</u>

<u>Varmadæla, 3,5 MW (sjávarnýting)</u>	þús.kr
Samtals	<u>55.000</u>

<u>Varmadæla, 7,5 MW (sjávarnýting)</u>	þús.kr
Samtals	<u>114.000</u>

<u>Sorpbrennsluver, 3 MW</u>	þús.kr
Samtals	<u>85.000</u>

Samanburður á framleiðsluverði orku frá mismunandi orkugjöfum

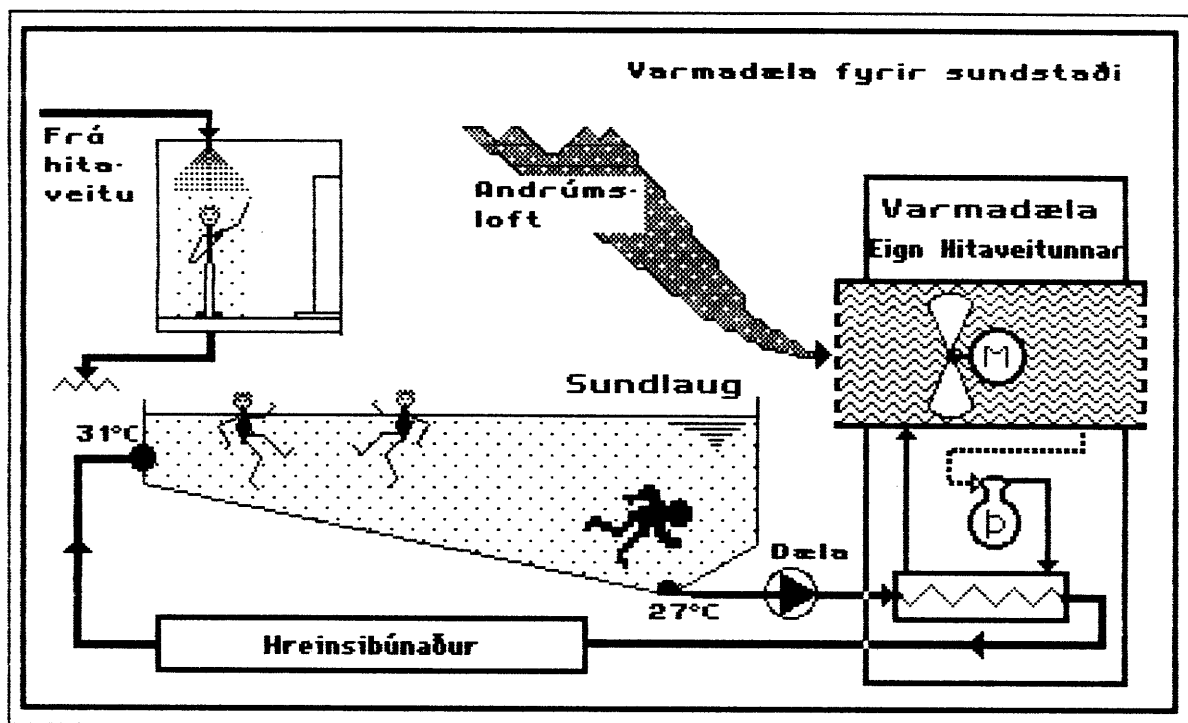


Mynd 6

Á undanförunum árum hafa varmadælur sem nýta varma úr andrúmsloftinu rutt sér mjög til rúms. Í stað þess að fá varmann úr rennandi volgu vatni, er varminn nú fenginn úr loftstraumi sem dælt er með þar til gerðum loftdælum. Í báðum tilvikum nýtist varminn til upphitunar á vatni.

Sem möguleiki til aukningar á afli fyrir hitaveitur, er að stærstu notendurnir yrðu tengdir slíkum varmadælukerfum, hver á sínum stað. Þeim mun lægri sem úthiti frá varmadælum má vera, þeim auðveldar ganga dæurnar og ábatastuðull (cop) þeirra verður hærri. Af þessari ástæðu eru sundlaugar mjög heppilegir staðir til tengingar við slík varmadælukerfi. Að jafnaði þarf vatnshiti til sundlauga ekki að yfirstiga um 31°C og fer frá sundlaugum til endurupphitunar um 27°C.

Vatn fyrir sturtur og e.t.v. heita potta yrði tekið beint úr hitaveitukerfinu, sjá mynd 7.

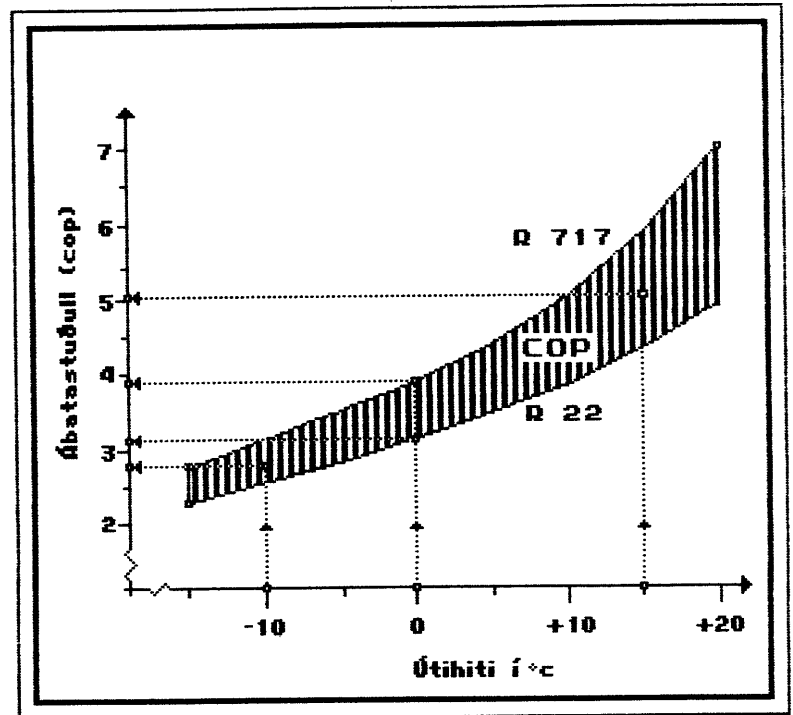


Mynd 7

Áætlað er að allt að 2 l/sek meðaltalsrennsli þurfi til reksturs á meðalsundlaugum. Ef sundstaðirnir yrðu tengdir slíkum varmadælukerfum minnkaði deiling frá virkjunarsvæðunum að sama skapi. Aðeins lítill hluti af vatni til sundlauga notast í sturtur. Með þessu móti yrði líftími virkjunarsvæðisins lengdur við að samnýta hitaveitukerfið og annan orkugjafa heima í héraði.

Á mynd 8 er sýndur áætlaður ábatastuðull (cop) fyrir varmadælu-kerfi sem hitar upp sundlaugarvatn og nýtir varmann úr andrúmsloftinu, sem fall af úti-hita. Sjá má að við 0°C útihita er ábata-
stuðullinn 3,2-3,9. Til samanburðar má geta þess, að varma-
dælukerfi Hitaveitu Ak-
ureyrar er hannað með ábatastuðli $\text{cop} = 3,6$.

Ef rekstur slíkra ein-
stakra varmadælukerfa þætti álitlegur kostur, myndi hitaveitan eiga og reka varmadælu-
urnar. Mætti þá líkja þeim rekstri við rekstur spennistöðva rafveitna. Mynd 8



Í eftirfarandi arðsemisathugun er áætlað að sundlaugin sé starfrækt í 7 mánuði á ári. Til að ná viðunandi nýtingu á úgefnu afli varmadælu-
urnar er valið varmadælu-
kerfi sem við meðalúti-hita á suðurlandi (apr-okt, +7,5°C) afkastar 222 kW með ábatastuðli 3,9. Meðal rekstrartími varmadælu-
kerfisins er 4000 stundir á ári, áætlun A.

Til samanburðar er í áætlun B, gert ráð fyrir tjaldi yfir sundlaug og sama varmadælu-
kerfi. áætlaður rekstrartími er 7000 stundir á ári. Meðal útihiti er áætlaður +4°C, útgefið afl varmadælu við þann útihita verður 202 kW með ábatastuðli 3,7.

Stofnkostnaður, A

þús.kr

Samtals 3.000

Rekstrarkostnaður, A

þús.kr

Samtals 1.240

Framleiðsluverð orku frá varmadælu til
sundlaugareksturs.

$$\underline{K-vds,A} = 1.240/888 = \underline{1,40 \text{ (kr/kWh)}}$$

Stofnkostnaður, B

pús.kr

Samtals 4.700

Rekstrarkostnaður, B

pús.kr

Samtals 1.770

Framleiðsluverð orku frá varmadælu til
sundlaugareksturs.

$$\underline{K-vds,B} = 1.770/1.414 = \underline{1,25 \text{ kr/kWh}}$$

Eins og sjá má er raforkukostnaðurinn langtum stærsti rekstrarkostnaðarliðurinn. Mikilvægt er að kannaðir verði samningar á milli viðkomandi rafveitu og hitaveitu um rekstur varmadælnanna án þess að þær verði toppaflmyndandi fyrir rafveituna. Hér er gengið út frá gildandi gjaldskrá RARIK til varmadælna.

3.5 Samnýting raforku og varma.

Í öllum raforkukerfum er afgangsocka. Kemur hún til af því að uppsett afl í virkjunum er að jafnaði meira en mesta aflþörf og mismikil eftir aðstæðum. Yfirleitt eftir að ný virkjun er tekin í notkun er afgangsocka mest en minnkar eftir því sem liður að gangsetningu næstu virkjunar minnkar afgangsockan. Misgöð vatnsár hafa hér einnig nokkuð að segja og er því um ótrygga orka að ræða.

Æskilegt ætti að vera fyrir raforkuframleiðandann ef unnt yrði að nýta afgangskraftuna á hverjum tíma þannig að af henni fengjust tekjur. Afhending afgangskraftu verður alltaf að vera bundin sérsamningi sem tryggir framleiðandanum heimild til skerðingar eða rofs á orkuafhendingunni, nánast án fyrirvara um lengri eða skemmri tíma. Af þessu leiðir að kaupandi afgangskraftu verður í flestum tilfellum að hafa aðgengilegt varaafli þannig að rof afgangskraftunnar skaði ekki framleiðslu eða rekstur þann er á afgangskraftunni byggir.

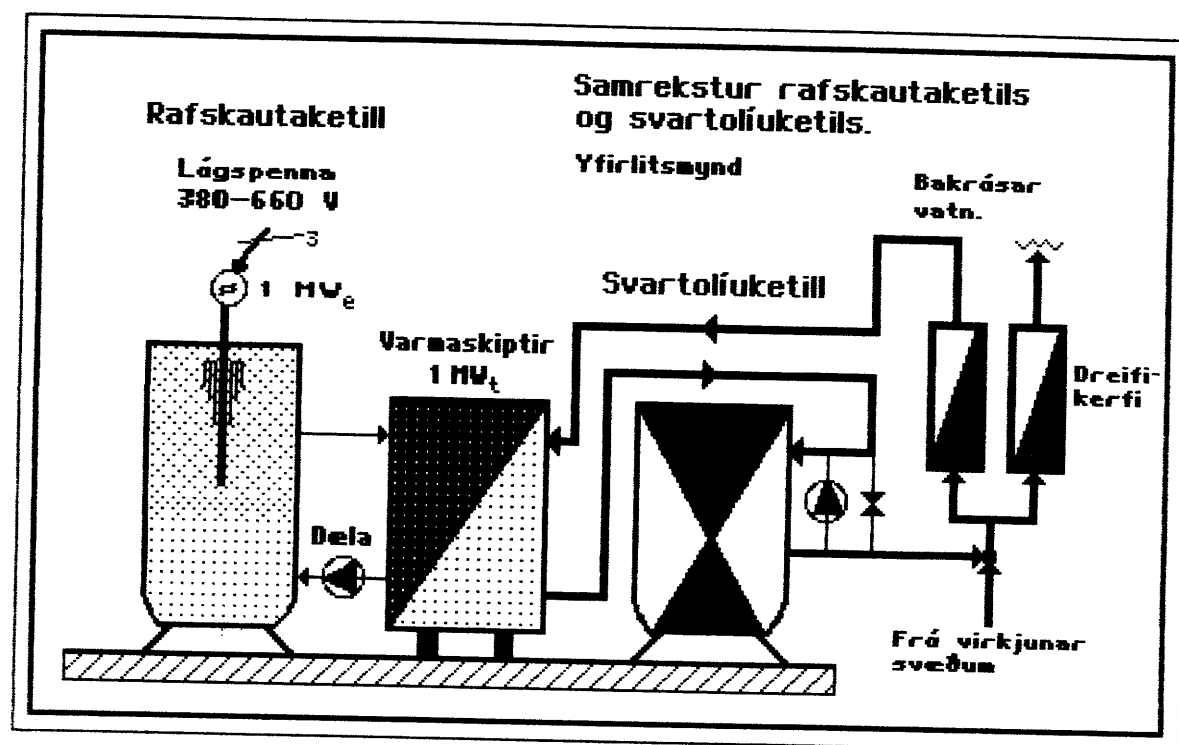
Eins og áður hefur verið nefnt, er af fenginni reynslu ljóst að jarðhitasvæði eru ekki óþrjótandi auðlind, heldur orkunáma sem minnkar eftir því sem af er tekið. Jafnframt er það ljóst að mörg jarðhitasvæðanna eru mun minni námur en áætlað hafði verið. Mörg jarðhitasvæðanna búa yfir miðlunareiginleika sem gefur margvíslega möguleika á hárrí toppaflsframleiðslu. Meðaldæling frá virkjunarsvæðum virðist vera ráðandi um þróun vatnsborðsstöðu til lengri tíma. Jarðhitasvæðin eru því kjörin toppaflsframleiðandi, sem hvert um sig þarf að læra að þekkja og finna hagkvæmasta rekstrarform fyrir, til lengri tíma lítið.

Augljóst er að víða þar sem illa horfir í vatnsöflunarmálum á virkjunarsvæðum er hægt að hafa veruleg bættandi áhrif á heildar orkuframleiðslustöðuna með því að taka í rekstur annan orkugjafa sem ekki þarf að vera stór í afli, en sem rekinn yrði sem grunnafllsgjafi.

Það er hér sem skapast hefur mikill möguleiki á að samnýta raforku og varma. Þegar orka er laus í raforkukerfinu og skiptir þar ekki öllu máli hvenær og hve lengi í senn, er hægt að nýta hana til upphitunar á bakrásarvatni til endurnotkunar inn á dreifikerfi hitaveitnanna. Við það dregur úr dælingu og meðaldæling þar af leiðandi minnkar. Þetta getur leitt til þess að vatnsborð jarðhitasvæðanna stendur í stað eða jafnvel hækkar. Þegar síðan afgangskraftin þrýtur getur vatnsstaða hafa batnað það mikið að á meðan á rofi stendur anni virkjunarsvæðin ein allri afl - og orkupörfinni. Í þeim tilfellum væri varaafli hitaveitunnar gagnvart rofi á afgangskraftunni bundið í auknum forða í jarðhitageyminum. Yfir sumartímenn þegar að jafnaði mikil ónýtt orka er í raforkukerfinu er bakrásarvatn hitaveitnanna minnst. 1,5 MW í rafafli, hita um 10 l/sek af bakrásarvatni upp í fullan framrásarhita.

Hjá flestum hitaveitum landsins er þörfin fyrir utanaðkomandi grunnafli 3 MW og minna. Auðvelt er að reka slíka rafskautakatla á lágspennu (380-660 V) sem í stofnkostnaði er verulega hagkvæmara en með háspennu (6-11 kV) eins og algengt er.

Á mynd 9 er sýnd yfirlitsmynd yfir 1 MW lágspenntan grunnafsketil með svartolíuketil til vara. Jafnframt er sýnd stofnkostnaðaráætlun fyrir slíka stöð.



Mynd 9

Samrekstur rafskautaketill, 1 MW (lágspenntur) og svartolíuketill. Stofnkostnaður.

	pús.kr
Samtals	7.900

3.6 Rafhitamarkaðurinn.

Í frumáætlunum flestra nýrri hitaveitna var áætlað að hitaveiturnar myndu yfirtaka allan hitunarmarkað viðkomandi byggðarlags. Nokkuð er mismunandi hvað þær hafa sóst eftir þeim markaði og dæmi eru um að allt að 15-20% af hitunarmarkaði hitaveitusvæða eru rafhituð. Ljóst má vera að þetta atriði hefur haft veruleg áhrif á upphaflega áætlaðan tekjustofn veitnanna.

Ástæða þess að rafhitanotendur hafa ekki tengst hitaveitunum er að þeim býðst raforka til hitunar á það lágu verði að hitaveiturnar verða ekki samkeppnisfærar. Leiðir þessi vöntun á áætluðum markaði til hærri gjaldskrár hitaveitnanna til þeirra hitanotenda sem þeim eru tengdir og vesnar þá samkeppnisaðstaða hitaveitnanna enn frekar.

Ástæðan fyrir hinu lága raforkuverði til hitunar er, að það er niðurgreitt með þeim töxtum sem hærri eru en meðal orkusöluverð rafveitnanna. Þessir taxtar rafveitnanna eru m.a. heimilistaxtinn, sem að stærstum hluta er borinn uppi af hitaveitunotendunum. Má því segja að hitaveitunotendur greiði niður rafhitunartaxtana í gegnum heimilistaxtann og korni þannig í veg fyrir að rafhitanotendur tengist hitaveitunum og verða síðan að axla hærri hitaveitukostnað að launum.

Reynt hefur verið að rökstyðja hina lágu rafhitunartaxta með því að lita svo á að þeir séu ekki toppafslmyndandi fyrir viðkomandi rafveitu. Er þetta ekki nema að hluta til rétt. Vitað er að hluti rafhitunarafsl rafveitna er toppafslmyndandi. Breyting á notkunarmynstri heimilisnotkunarinnar á undanförunum árum hefur gert það að verkum, að stöðugt stærri hluti rafhitunarafsl verður toppafslmyndandi. Ástæðan er sú að hinir gömlu þekktu hádegis- og kvöldtoppar rafveitna verða sífellt minna afgerandi og er nú hlutfallslega lægri og breiðari. Þar af leiðandi er ekki með rofi á rafhitun lengur hægt að halda rafhituninni eins mikið utan toppa og áður var. Ennfremur vegna hlutfallslega hárrar gjaldskrár hemlaveitnanna, brúa margir hitaveitunotendur sína toppa með rafmagnsofnum á heimilistaxtanum og verður það afl að fullu toppafslmyndandi. Um 60% af útgjöldum rafveitna til raforkukaupa er vegna toppafsl.

Boðuð breyting á gjaldskrá Landsvirkjunar mun væntanlega leiða til verulegrar hækkunar á rafhitunartaxta rafveitna sem gera mun samkeppnisstöðu hitaveitnanna betri á eftir. Í öllu falli skapast þá aðstæður til lægfæringar þessara þátta ef menn vilja notfæra sér þær.

3.7 Dælustýringar.

Algengt er að lokustýringar séu notaðar í dælustöðvum hitaveitna til að stýra rennsli eftir þörfinni. Augljóst er að mikilli raforku er sóað með þessari stýringu. Þegar rennslisþörf minnkar væri eðlilegt að raforkunotkun dælumótors minnkaði. Svo er hins vegar ekki nema að litlu leyti með notkun lokustýringu. Dælumótorinn skilur ekki muninn á því að deila miklu magni í gegnum opinn loka og litlu magni í gegnum hálflokaðan loka. Í stað þess að minnka við sig afl við minni dælingu gerir hann það ekki nema að litlu leyti heldur notar stærstan hluta af aflgetu sinni í staðinn til að byggja upp þrýsting framan við lokann, engum að gagni.

Dæmi er um að raforkukostnaður hitaveitu hafi numið allt að 55% af heildarrekstrarkostnaði veitunnar án vaxta, eða Mkr 21 af Mkr 32 heildar rekstrarútgjöldum á verðlagi ársins 1985.

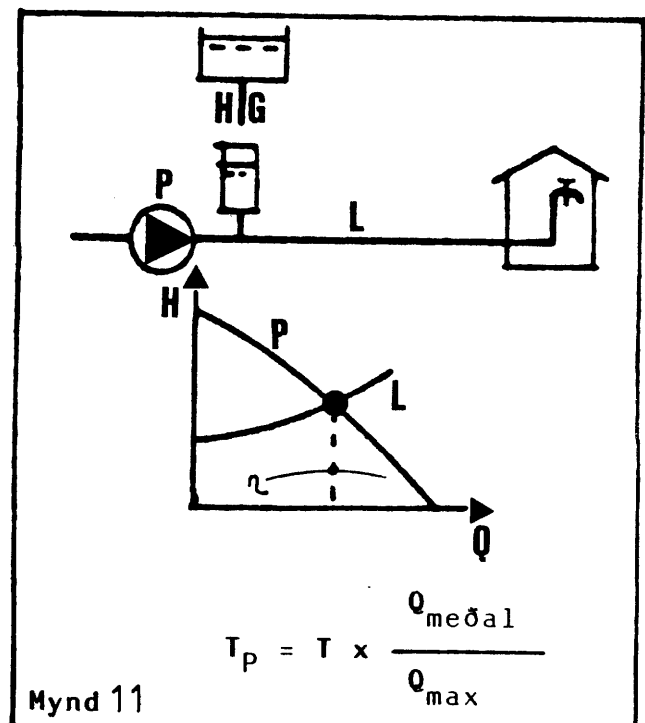
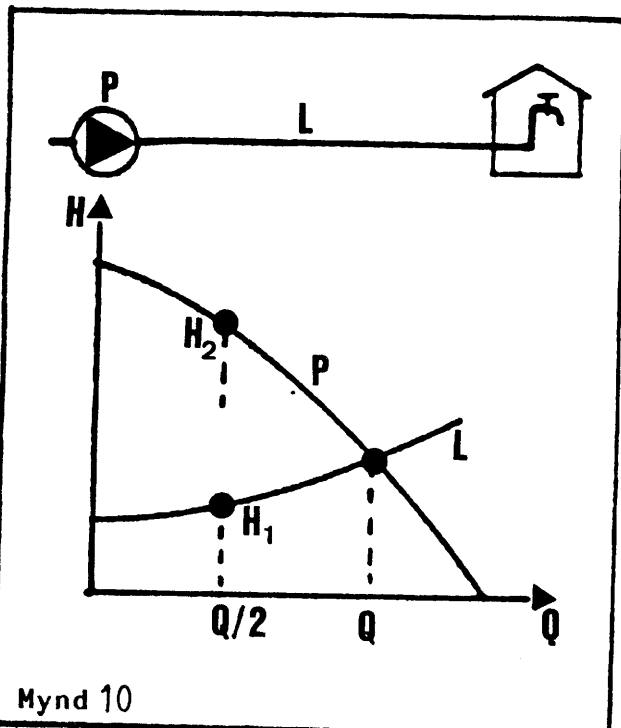
Hjá hemlaveitum þar sem dæling er tiltölulega jöfn yfir árið breytir dælustýring ekki mikið raforkukostnaðinum, en jafnhliða því að reyna að lækka dælingu utan kaldasta tímans með t.d. breyttu sölufyrirkomulagi er endurskoðun á dælustýringarkerfinu skynsamleg ráðstöfun.

Jafnframt því að spara í öllum tilvikum raforku til dælingar miðað við aðrar stýringar, slitur hraðastýring dælubúnaði mun minna en aðrar stýringar. Þar sem dælt er í geymi, er með hraðastýringu unnt að halda nánast stöðugu vatnsborði í geymi sem auðveldað getur í mörgum tilfellum baráttu við súrefnisupptekt í geymum.

Mestur er ávinningurinn af hraðastýringu í lokuðum kerfum þar sem enginn statískur þrýstingur er. Sé um að ræða statískan þrýsting í kerfi, leiðir það til minni hagkvæmni hraðastýringar. Sérstaka aðgát skal hafa við athugun á hagkvæmni þess að nota hraðastýringar á borholudeelur þar sem statískur þrýstingur er að jafnaði hár.

3.7.1 Lokustýring.

Á mynd 10 mynda húsið og kraninn ákveðið notendakerfi sem fær vatn frá dælunni P. Við skulum hugsa okkur að þessi deila sé stöðugt í gangi allan ársins hring án stýringar. Vatnsmagnið stýrist þess vegna af notendum sem annað hvort eru með kranann fráskrúfaðan eða lokaðan. Þessi aðferð hefur í för með sér verulega orkusóun. Við hálf tág er þrýstingurinn H_1 á kerfisferlinum nægjanlegur, en dælan heldur uppi þrýstingnum H_2 sem er allt of hár, sjá mynd 10.



Á þennan máta hafa mörg kerfi verið rekin fram til dagsins í dag og enn má við sjá þessari aðferð beitt í dælustöðvum hitaveitna. Orkusóun hefur verið mikil með tilheyrandi útgjöldum fyrir hitaveitur. Einhverskonar sjálfvirkt stýrikerfi er hér skynsamleg ráðstöfun.

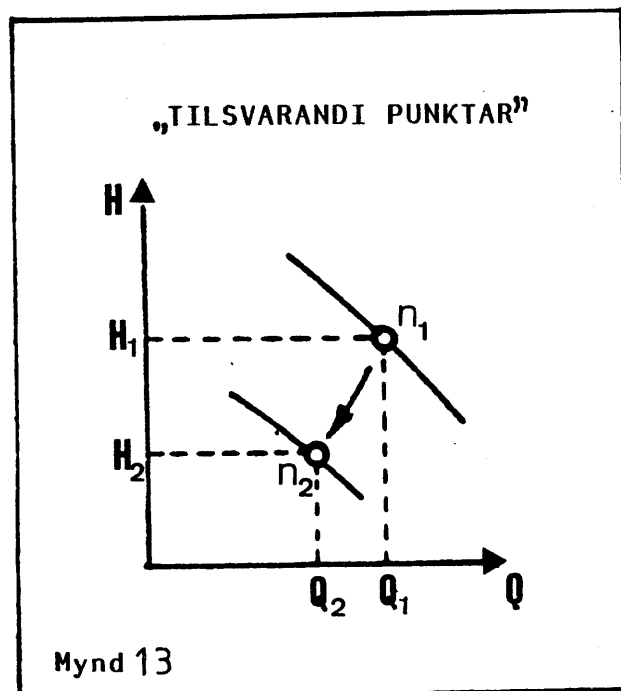
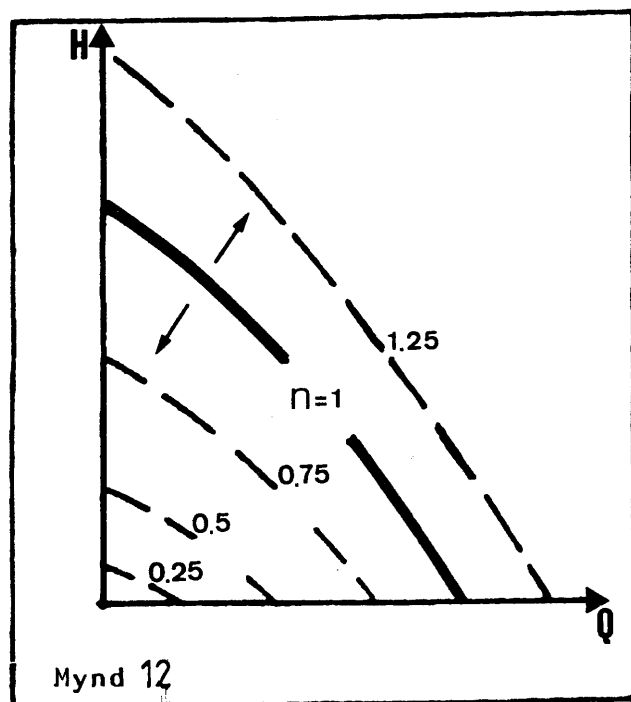
Þekktur dælusérfræðingur orðaði það svo, " að þessu megi líkja við að aka leigubíl í New York. Þar stiga menn bensingjöfina í botn og tempra síðan hraðan með bremsunum."

3.7.2 Start-stopp stýring.

Algeng stýringaraðferð er dæling í geymi með hæðarskynjun. Hún hefur þann kost, að í hluta tímann er dælan stopp og notar þá enga raforku. Sparar þetta orku miðað við lokustýringu. Þegar síðan dælan gengur þarf það að gerast við sem besta nýtni (hæstan nýtnistuðul). Orkusparnaðurinn kemur fram í hlutfallslegum gangtíma, sjá mynd 11.

Þessi stýriaðferð er mjög einföld en alls ekki fjárhagslega fullnægjandi í öllum tilvikum.

Raforkuverðið hefur hér mest að segja og er almennt orðið það hátt, að þarft hefur verið að leita nýrra leiða til stýringa í dælukerfum. Hefur mótorkraðastýring náð mestri útbreiðslu.



3.7.3 Mótorkraðastýring.

Fyrir hvern áhveðinn snúningshraða dælumótors gildir einn ákveðinn dæluferill. Við breittan snúningshraða flyst dæluferillinn til. Mynd 12 sýnir röð af dæluferlum fyrir lægri snúningshraða en þann upprunalega. Meiri snúningshraði er einnig mögulegur en þá

flytjast dæluferlarnir utar á myndina. Þetta er þó sjaldan áhugavert, þar sem meiri hornhraði (snúningur) mótorá skapar að jafnaði mekanísk vandamál.

Tilfærðan dæluferil er hægt að reikna út og teikna samkvæmt ákveðnum umreikningslíkingum sem gilda fyrir "tilsvarandi punkta" á dæluferlinum, sjá myndir 13 og 14. Einn ákveðinn punktur á dæluferlinum við snúningshraðann n_1 , táknaður við flæðið Q_1 og þrýstihæðina H_1 flytst yfir í nýjan punkt, táknaðan við gildin Q_2 og H_2 þegar snúningshraðinn breytist frá n_1 yfir í n_2 . Hin nýju gildi reiknast samkvæmt líkingunum á mynd 14.

Allir ferlar viðkomandi dælu breytast, þar með taldir NPSH- og aflferlarnir. Þó breytast nýtnistuðlar "tilsvarandi punkta" ekki. Þetta er mjög þýðingarmikið atriði í þessu samhengi, ásamt því að aflíð breytist með 3ja veldinu af snúningshraðanum. Breytist snúningshraðinn niður í hálfan snúning, fellur aflnotkunin niður í 1/8 hluta. Í þessari staðreynd felast hinir miklu möguleikar hraðastýringar til orkusparnaðar.

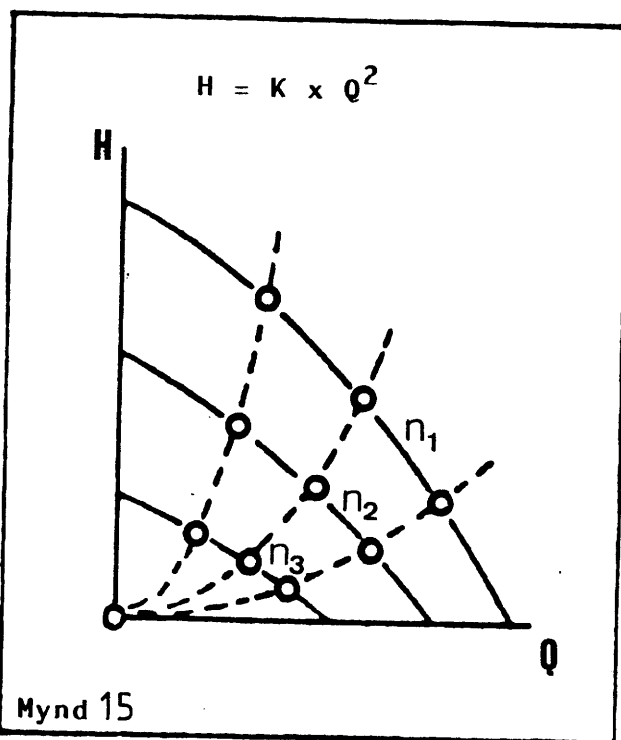
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

$$\frac{NPSH_1}{NPSH_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = 1$$

Mynd 14



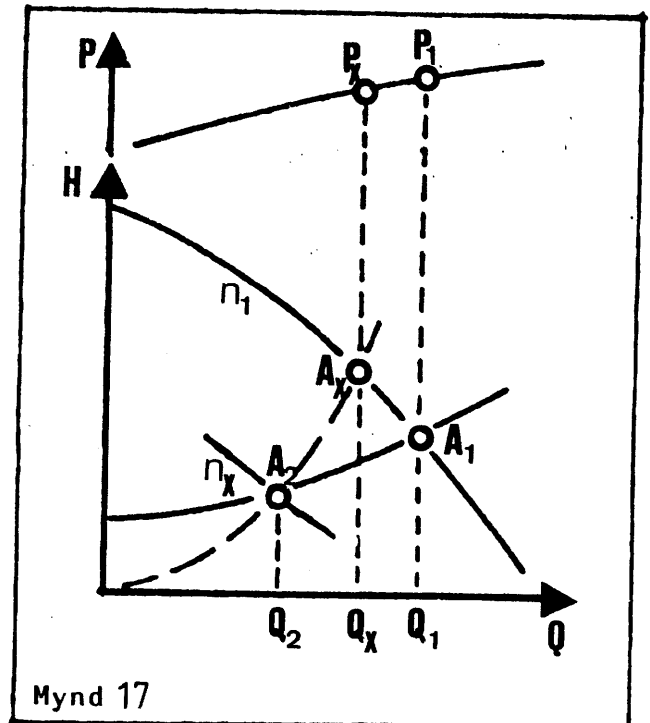
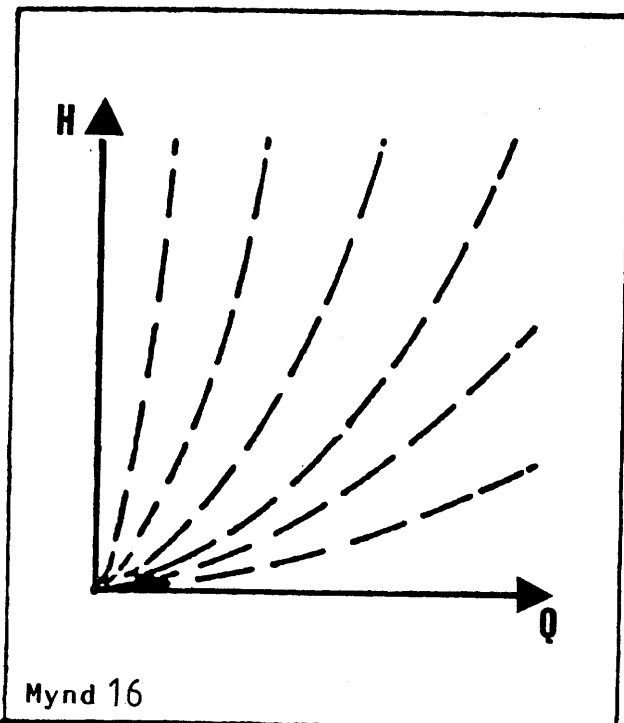
Mynd 15

Umreikningslíkingarnar kalla ekki á flókna stærðfræði sem slíkar, en eru þannig framsettar að auðvelt er að gera stórar skekkjur ef þær eru ekki notaðar rétt. Hér er það haft í huga, að hugtakið "tilsvarandi punktar" sé rétt notað. Í því sambandi getur myndræn útfærsla komið að góðum notum. Reikni maður og teikni röð af tilsvorandi punktum fyrir mörg mismunandi snúningshraðagildi, kemst maður að raun um að þeir liggja á velskilgreindum bognum ferli, sem gengur í gegnum 0-punkt kerfisins, sjá mynd 15. Af umreikningslíkingunum má finna að þessir bognu ferlar eru parabolur með hina stærðfræðilegu líkingu

$$H = k \times Q^2 \quad \text{mynd 15}$$

Mjög gagnlegt er að teikna á þessu stigi hjálparmynd sem samanstendur af röð parabóla. Best er að gera þessa teikningu á gegnsæan pappír, sjá mynd 16 og fylgiblað 8. Hjálparmyndina er nú hægt að leggja ofan á dæluferilinn og á einfaldan máta, frihendis að teikna "tilsvarandi punkta".

Á mynd 17 er sýnt dæmi. Fyrirliggjandi er dæluferill og kerfisferill. Í vinnupunktinum fæst flæðið Q_1 og aflíð P_1 . Hve mikil er aflþörfin fyrir flæðið Q_2 við notkun snúningshraðastýringar?



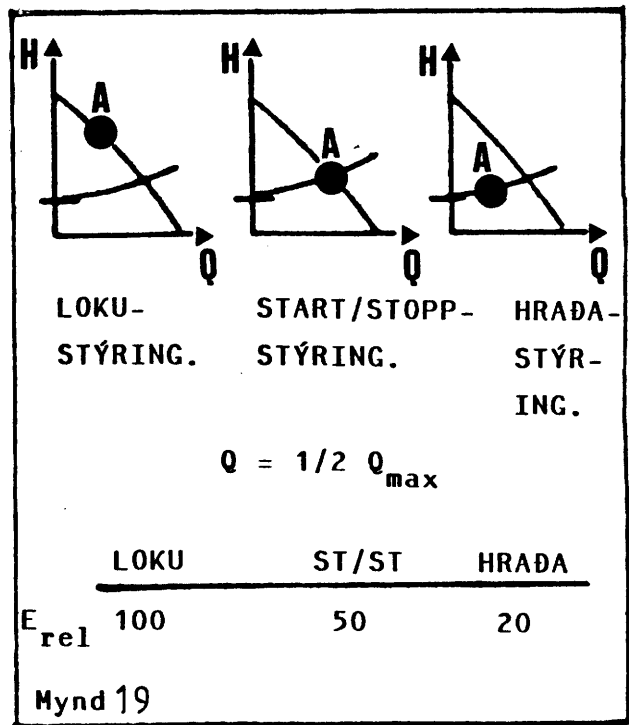
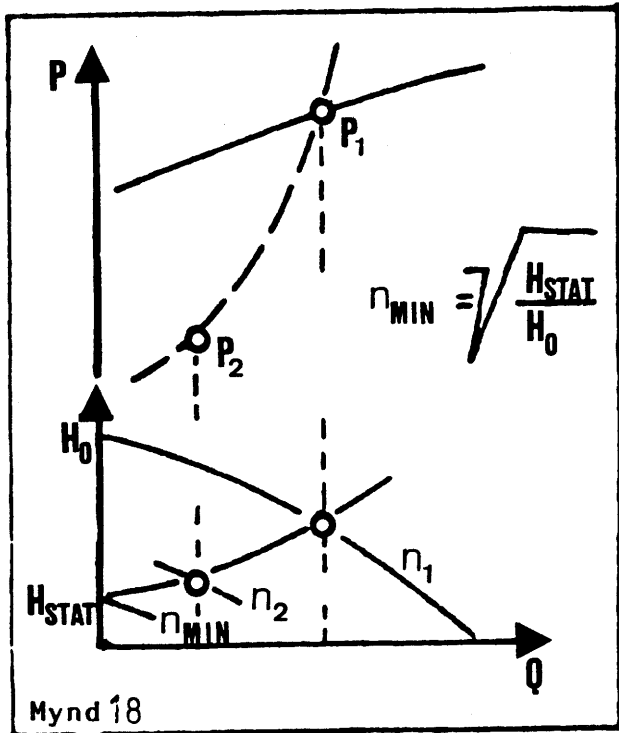
Hinn nýi vinnupunktur verður A_2 . Við að nota hjálparmyndina getur maður teiknað parabólu í gegnum 0 og A_2 . Parabólan sker dæluferilinn í A_x . Frá umreikningslíkingunum þekkjum við, að

$$Q_x/Q_2 = n_1/n_2$$

n_1 , Q_x og Q_2 eru þekktar stærðir og þar með er hægt að reikna út n_2 . Aflíð í vinnupunktinum A_2 má síðan reikna út frá líkingunni

$$P_x/P_2 = (n_x/n_2)^3$$

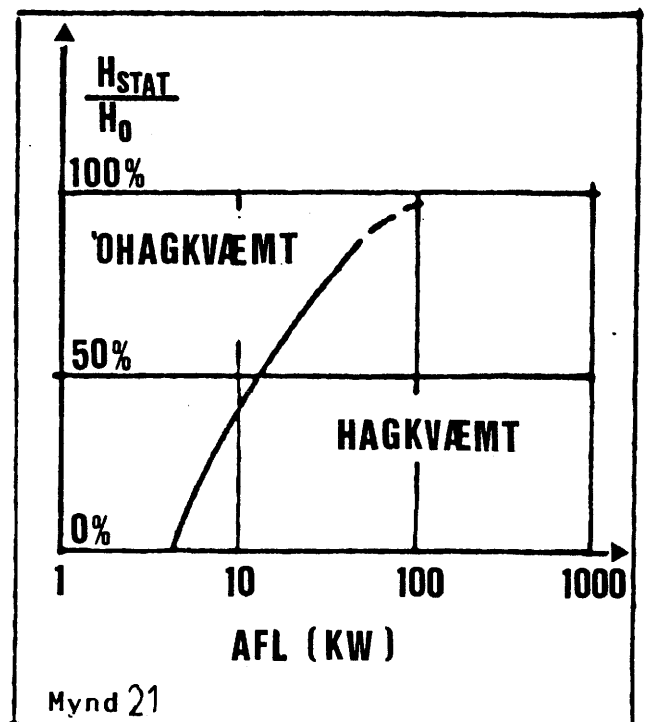
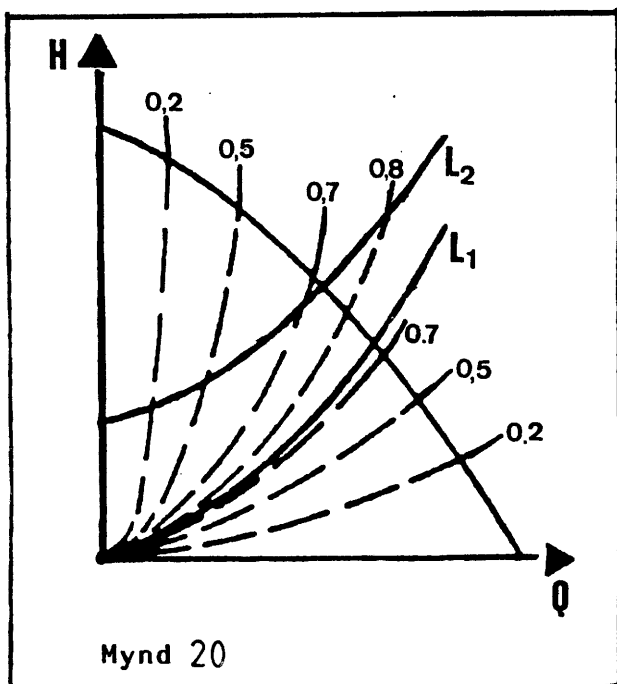
P_x , n_x og n_2 eru nú þekktar stærðir þannig að auðvelt er að reikna út aflíð P_2 .



Á þennan máta má teikna nýjan aflferil fyrir hraðastýringuna, sjá mynd 18. Sjá má að aflferillinn "P2" sýnir verulega lækkingu við lækkingu Q miðað við ferilinn "P1".

Á myndinni er einnig sýnd líking til útreiknings á minnsta mögulega snúningshraða í kerfi með gefinn kerfisferil og gefna lyftihæð.

Til að undirstrika kosti hraðastýringar er á mynd 19 sýnt sambandi orkunotkunar við ímyndaðar aðstæður, þar sem notuð er lokustýring, start/stoppstýring eða hraðastýring. Í öllum þremur tilvikunum er flæðinu stýrt niður í helming af mesta flæði (Q_{max}).



3.7.4 Notkun hraðastýringar.

Fyrir "tilsvarandi punkta" er nýtnistuðullinn sá sami. Á mynd 20 er sýndur dæluferill og röð af ferlum sem hver um sig samanstendur af punktum með sama nýtnistuðul. Eins og áður segir mynda þessir ferlar parabólur. Einnig eru á myndinni innteiknaðir tveir kerfisferlar. L1 hefur enga lyftihæð en L2 hefur lyftihæð. Á myndinni sést hvernig kerfisferillinn L2 beygir þvert á nýtniferlana (parabólurnar) og reksturinn því mismunandi hagkvæmur, háður því hvar á kerfisferlinum L2 unnið er. Aftur á móti er kerfið L1 rekið með sama háa nýtnistuðlinum allan tímann.

Lyftihæðir (statískur þrýstingur) er því af hinu illa þegar um hraðastýringar er að ræða. Meta þarf sérstaklega hvert einstakt tilvik áður en til fjárfestingar kemur eða að stýringarmöguleikanum er ýtt til hliðar.

3.7.5 Hagkvæmnisathugunarferill.

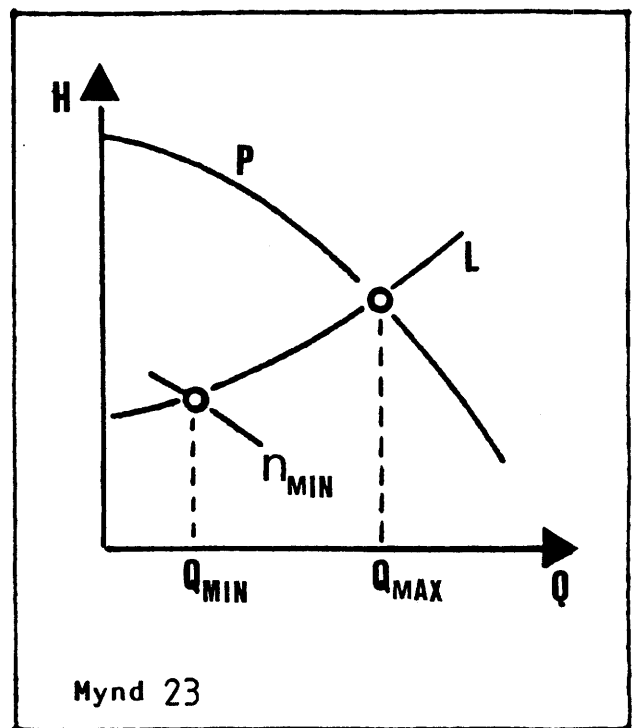
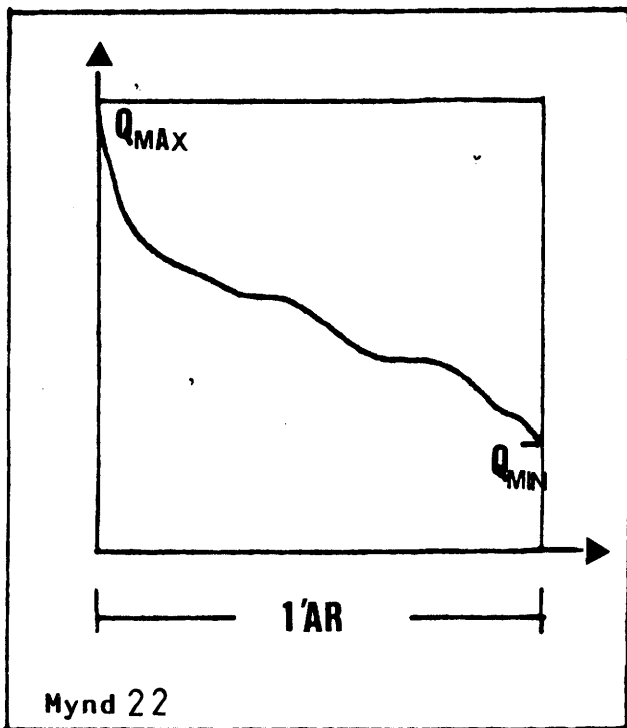
Gerð er krafa um að sú stýringaraðferð sem valin verður, geti stýrt flæðinu jafnt yfir það svið sem viðkomandi kerfi þarfnast. Athugun þarf að fara fram á kerfisaðstæðum, stofnkostnaði, rekstraraðstæðum og væntanlegum rekstrarkostnaði. Orkukostnaðurinn er eins og áður sagði lang stærsti rekstrarþátturinn og hann er því skoðaður hér sérstaklega.

Til að geta útfært orkunotkunargreiningu þurfa að vera til staðar upplýsingar um notkun og notkunarmynstur yfir lengra tímabil, helst eitt ár. Upplýsingar þarf að vinna á svokallað tíðniferilform, sjá mynd 22. Dæluferill og kerfisferill þurfa að vera þekktir, sjá mynd 23. Með hjálp þeirra er hægt að reikna út minnsta snúningshraða, svarandi til Qmin. Þar með er stýringarsviðið þekkt

Þar næst þarf að liggja fyrir nýtniferill fyrir þann stýribúnað sem verið er að kanna. Af þeim ferli má lesa nýtnistuðlana yfir allt stýrisviðið, sjá mynd 24. Hér þarf að athuga sérstaklega hvort nýtnistuðullinn fyrir mótorinn er innreiknaður í ofangreindan nýtnistuðul fyrir stýribúnaðinn.

Út frá aflferlinum er nú hægt að reikna og teikna aflferilinn fyrir stýringarsviðið með hjálp umreikningslíkinganna á mynd 14. Á mynd 25 er aflferillinn sýndur.

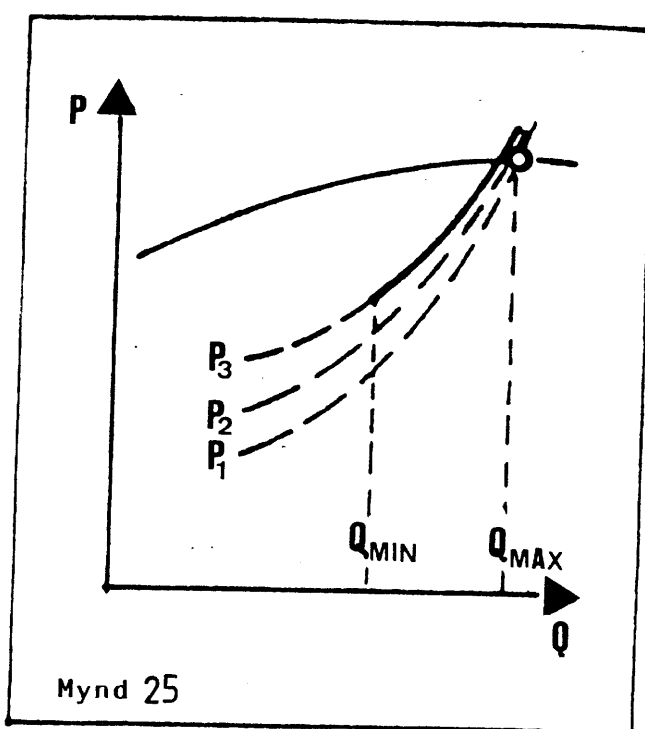
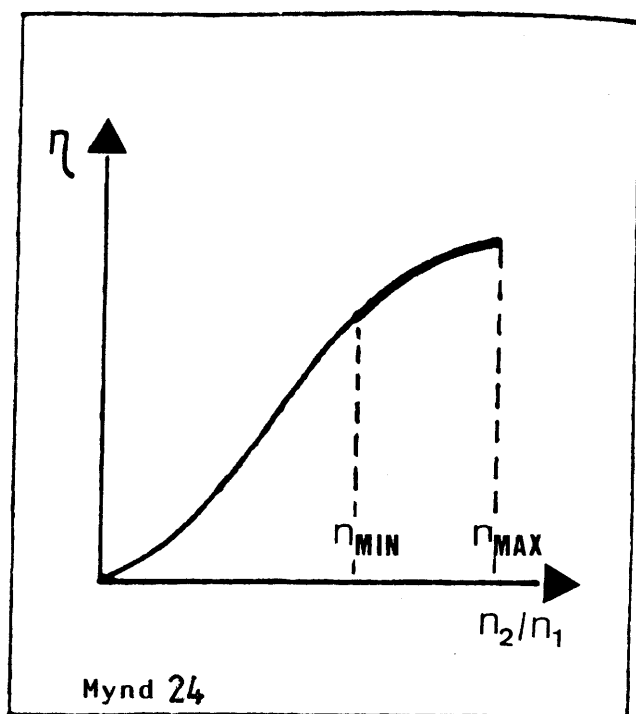
Til að finna meðalhæð á bognum ferli má með góðri nálgun nota meðalgildislíkingu Simpson's sem sýnd er á mynd 26 og fylgiblöðum 3, 5 og 7.



3.7.6 Hagkvæmnisathugun H. A.

Í dælustöðinni við Þórunnarstræti á Akureyri fer fram dæling á svokallað efra þrýstisvæði veitunnar. Tvær dælingar eru staðsettar í stöðinni. Dæla 1 er 4-þrepa sem dælt getur allt að 110 l/sek og dæla 2 er 3-þrepa sem dælt getur allt að 90 l/sek. Lokustýring er á báðum dælum.

Á fylgiblaði 1 er sýnt álagsmynstur fyrir kerfi efra þrýstisvæðisins á tíðniformi. Sjá má að álagið er t.d. 80 l/sek eða meira í 69 daga á ári og 50 l/sek eða meira í 297 daga á ári.



Á fylgiblaði 2 er dæluferill PI fyrir 4-þrepa dælu sýndur ásamt nýtniferli og kerfisferli L fyrir efra þrýstisvæðið. Ljóst er að dæla PI annar rúmlega hámarks dælingarþörf kerfisins.

Árið 1984 notaði H.A. 4-þrepa dæluna nánast allt árið með lokustýringu og reyndust raforkukaup veitunnar það ár til dælingar vera 612.000 kWh.

Á fylgiblaði 3 hefur aflþörf dæluveris verið reiknuð við mismunandi dælingu og teiknuð á tíðniferilform. Með hjálp meðalgildislíkingu Simpson's er síðan hægt að finna meðal aflþörf dæluveris yfir tímabilið. $PI, M = 70,2 \text{ kW}$. Útreiknuð orkuþörf dæluveris á ári er því $EI = 70,2 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 614.950 \text{ kWh}$ sem er nánast sama orkunotkun og raunverulega varð árið 1984.

Á fylgiblaði 4 er dæluferill PII fyrir 3-þrepa dælu sýndur ásamt nýtniferli og kerfisferli L fyrir efra þrýstisvæði. Ljóst er að dæla PII annar ekki hámarks dælingarþörf veitunnar.

Á árinu 1985 var PII rekin svo lengi sem hún annaði þörfinni og síðan tók PI við. Báðum dælum var stjórnað með sjálfvirkri lokustýringu. Raunveruleg raforkunotkun til dælingarinnar árið 1985 varð 577.900 kWh. Jafngildir þetta u.þ.b. 6% raforkusparnaði á ársgrundvelli.

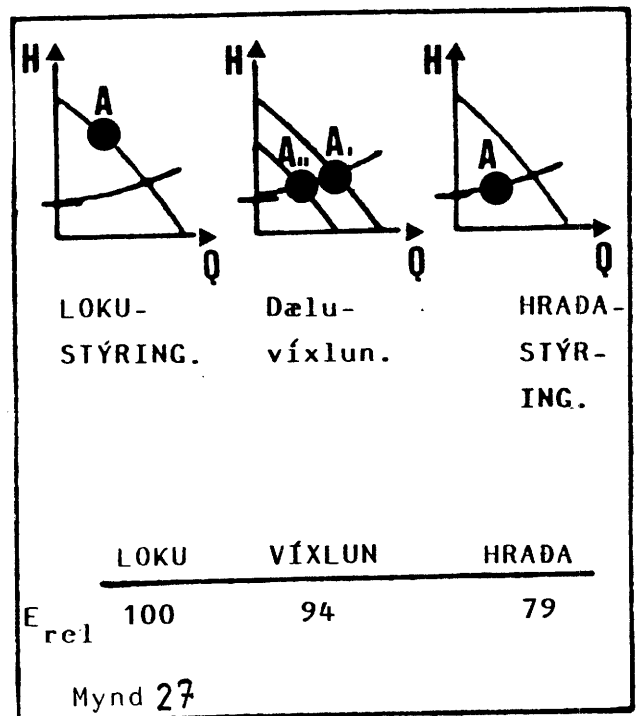
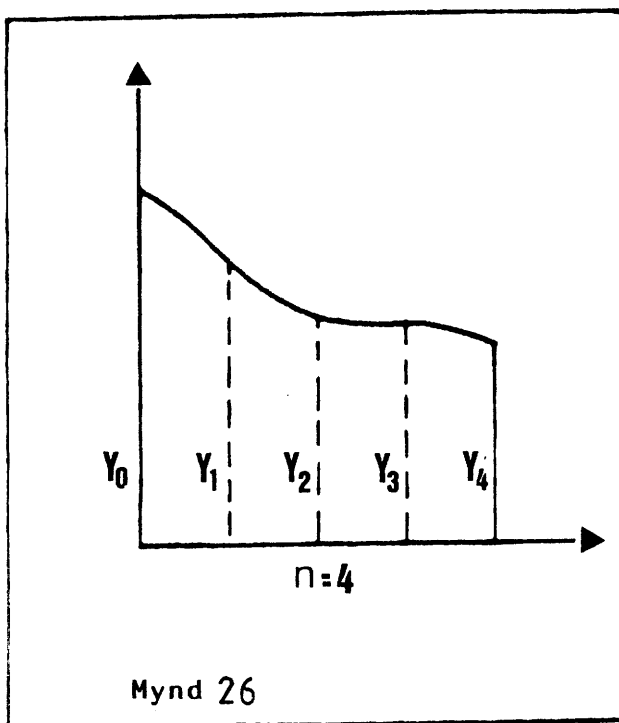
Á fylgiblaði 1 var álagsmynstur kerfisins sýnt. Á fylgiblaði 5 hefur þetta mynstur verið teiknað upp á tíðniferilform. Með hjálp umreikningslíkinganna má umreikna hvern dælingarþrýstisferilsins yfir í tilsvareandi aflþörf dælumótors. Á fylgiblaði 6 er umreikningurinn sýndur og á fylgiblaði 7 hefur aflþörfin verið teiknuð á tíðniferilform. Á fylgiblaði 2 er útreikningur sýndur fyrir $Q_2 = 50 \text{ l/sek}$. Parabólurnar eru sýndar á fylgiblaði 8.

Með hjálp meðalgildislíkingu Símpson's má finna meðal aflþörf dælumótorsins yfir tímabilið, sjá fylgiblað 7.

$P_{I\bullet} M = 55,8 \text{ kW}$. Útreiknuð orkuþörf dæluunnar á ári er því $E_{I\bullet} = 55,8 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 488.800 \text{ kWh}$. Jafngildir þetta u.þ.b. 21% raforkusparnaði á ári.

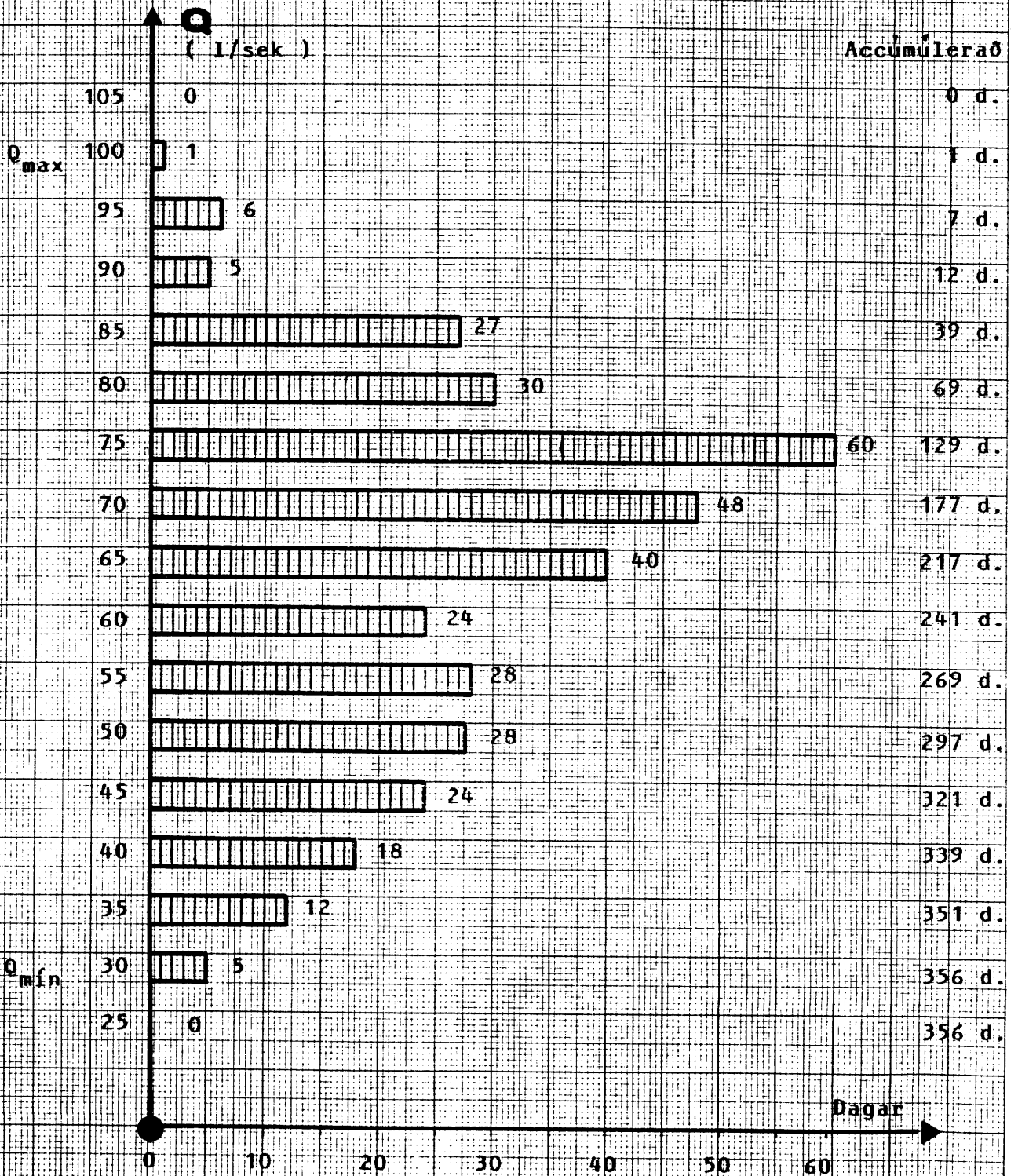
Á mynd 27 má sjá hlutfallslegan samanburð á raforkunotkun til dælingar á efra þrýstisvæði H. A. með mismunandi dælustýringum.

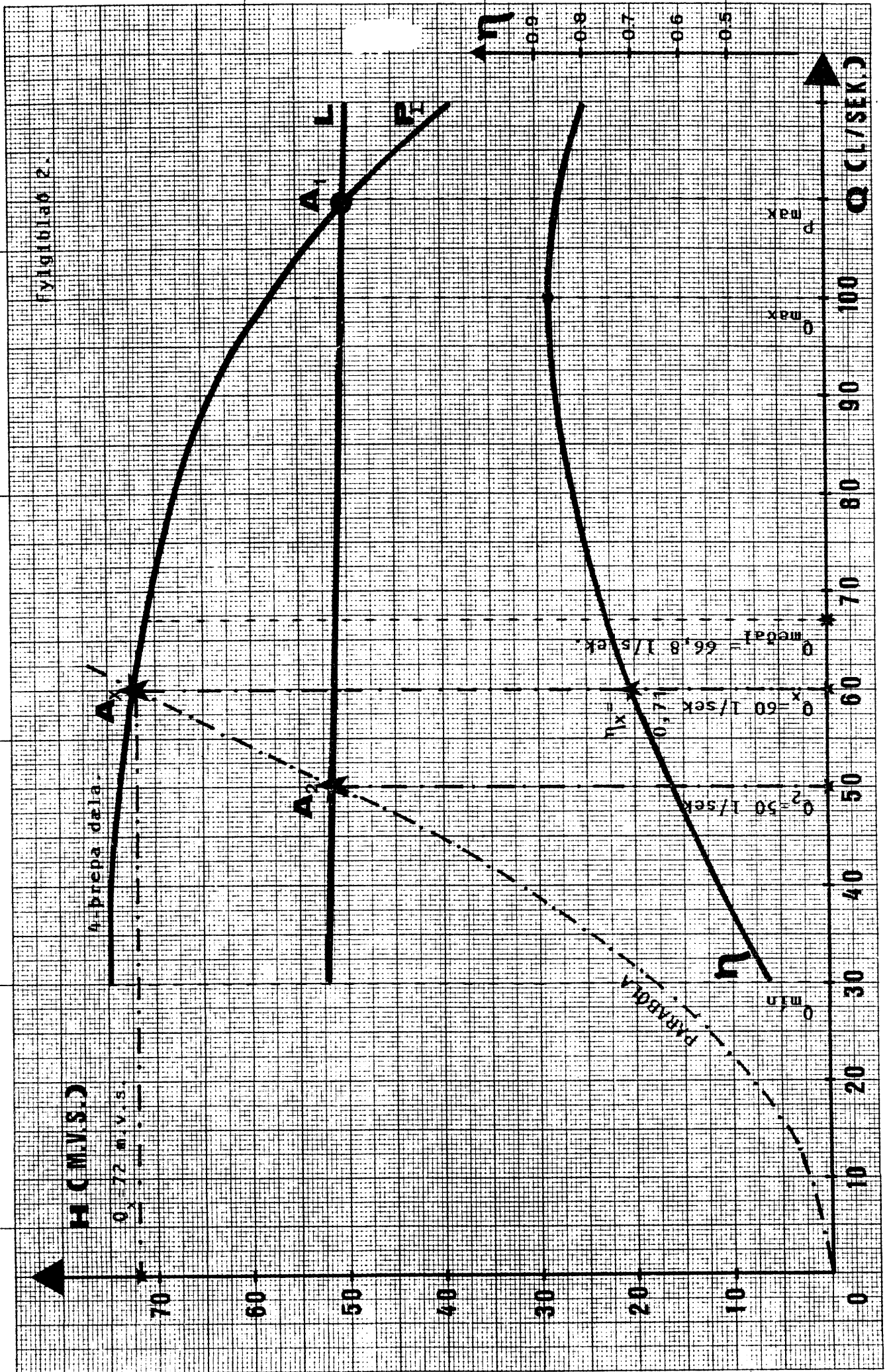
Raforkusparnaður af hraðastýringu miðað við lokustýringu er $614.950 \text{ kWh} - 488.800 \text{ kWh} = 126.150 \text{ kWh}$.

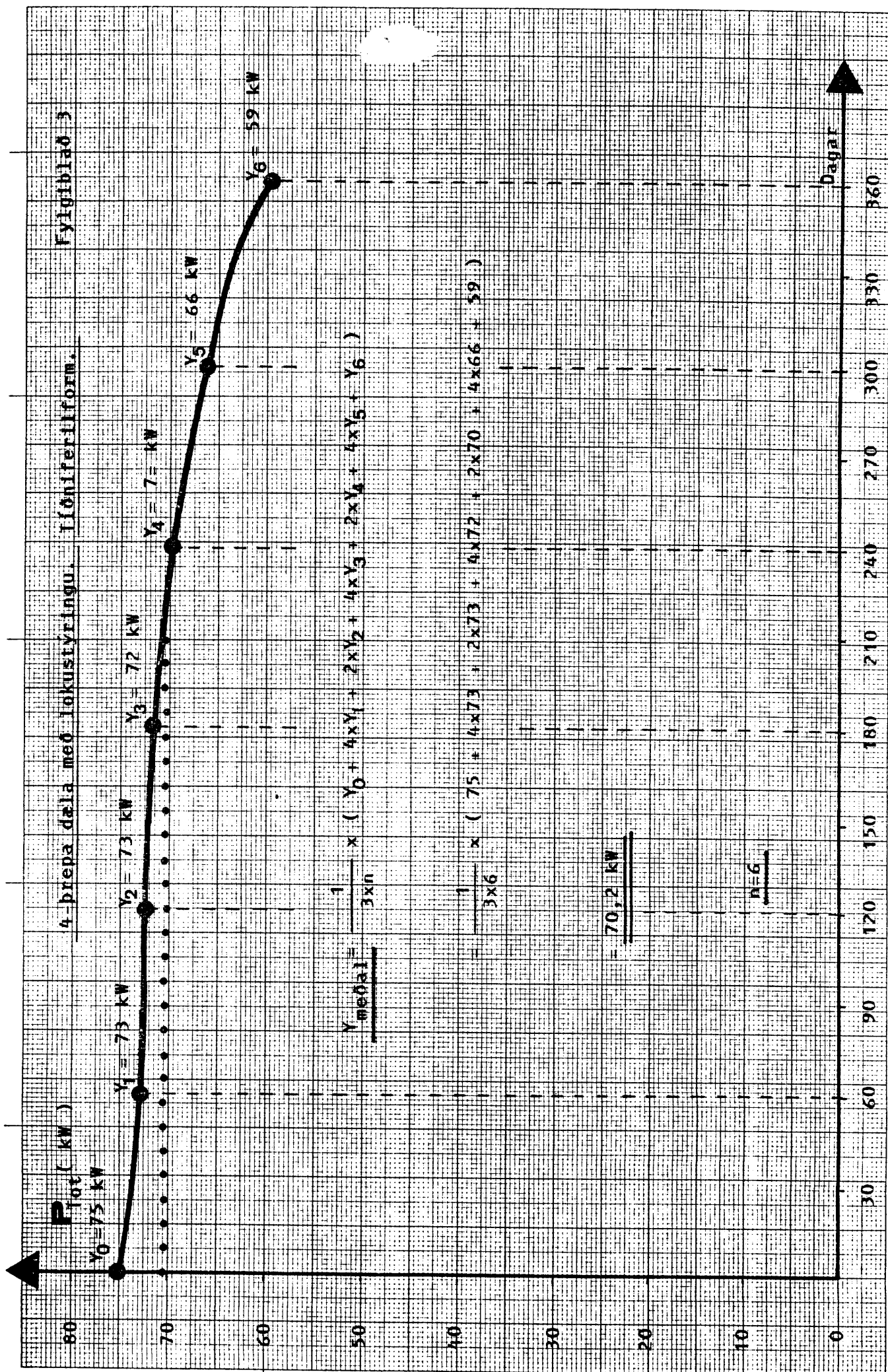


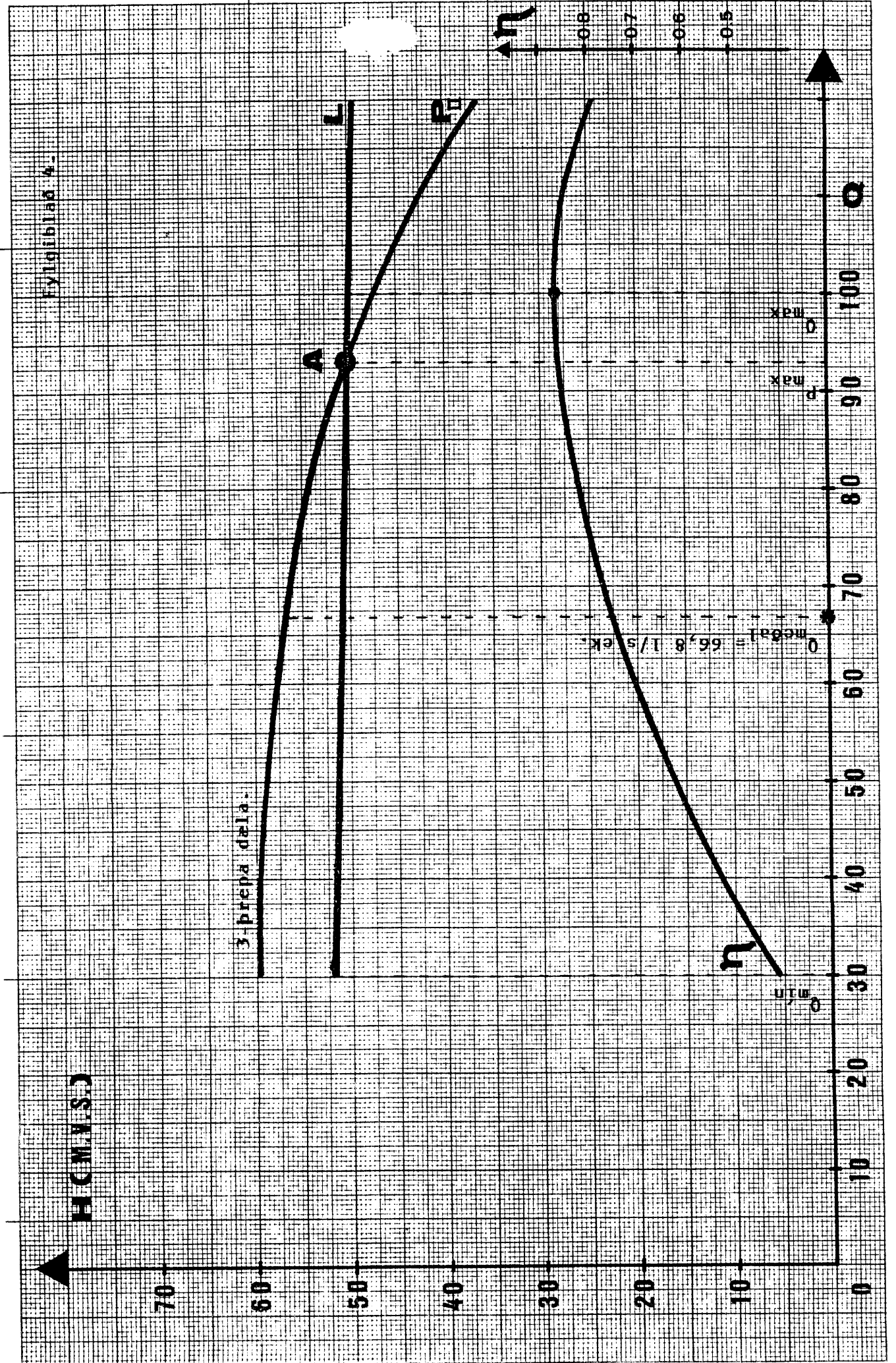
Ein leið til að koma til móts við notendur um kröfu þeirra til leiðréttingar fyrir mismunandi vatnshita, er að reikna út kælingu í dreifikerfi við t.d. meðal álag. Meðalálag er það álag þegar árs meðal rennsli allra notanda rennur í dreifikerfinu á sama tíma. Meðalrennsli hvers notanda er þekkt sem ársnotkun, sjá fylgiblað 9.

TÍÐNITAFLA FYRIR DÆLINGU Á EFRA ÞRÝSTI-
SVÆÐI HITAVEITU AKUREYRAR .









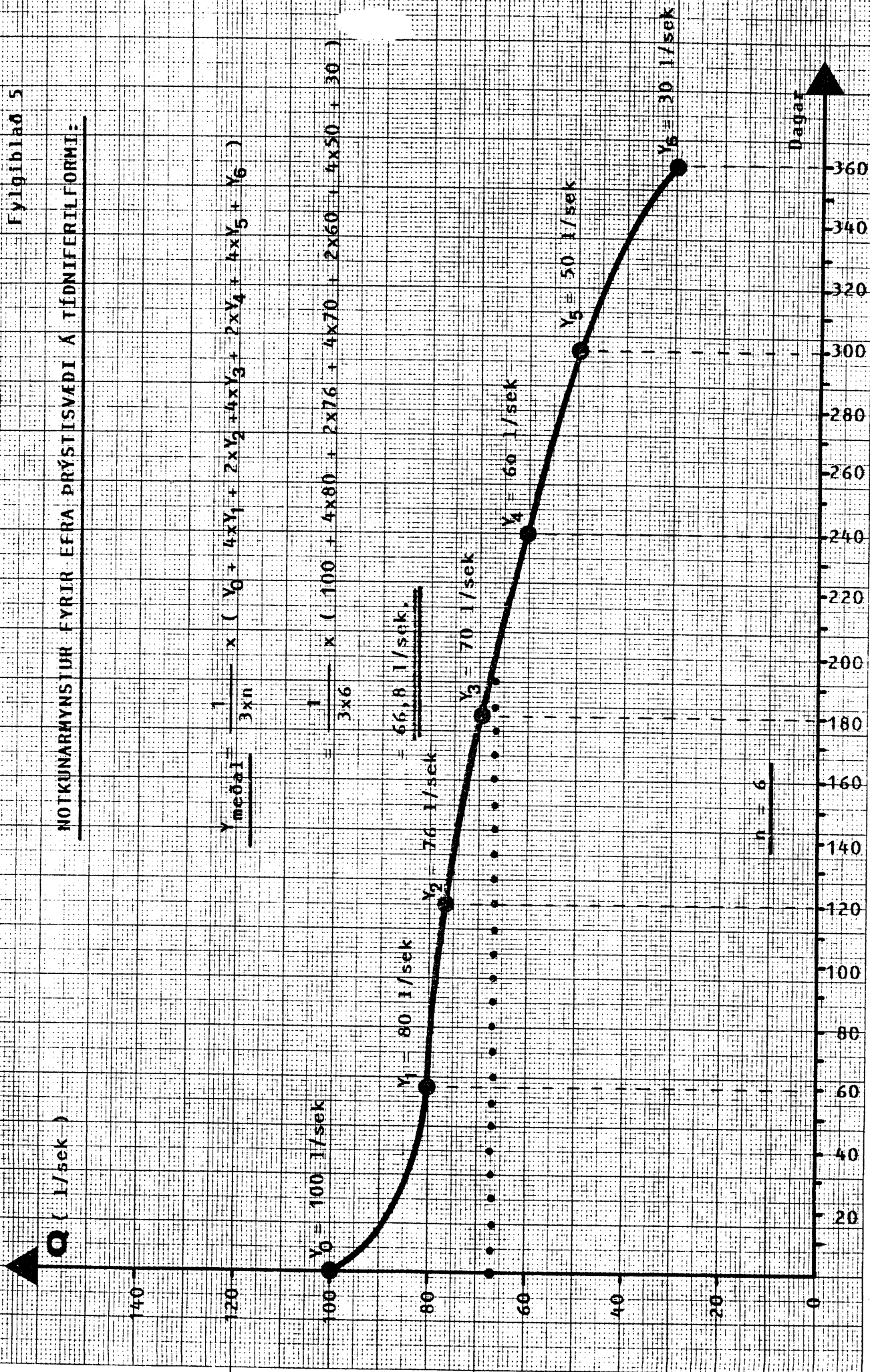
Fylgiblað 5

NOTKUNARMYNSIÐH FYRIR EFRA ÞRÝSTISVÆÐI Á TÍÐNIFERILFORMI:

$$\frac{Y_{\text{meðal}}}{3 \times n} = \frac{1}{3 \times n} \times (Y_0 + 4 \times Y_1 + 2 \times Y_2 + 4 \times Y_3 + 2 \times Y_4 + 4 \times Y_5 + Y_6)$$

$$= \frac{1}{3 \times 6} \times (100 + 4 \times 80 + 2 \times 76 + 4 \times 70 + 2 \times 60 + 4 \times 50 + 30)$$

$$= 66,8 \text{ l/sek.}$$



Aflþörf 4-þrepa dala P með hraðastýringu.

$n_x = n_y = 1450 \text{ sn/mín}$

$\rho = 975 \text{ kg/m}$

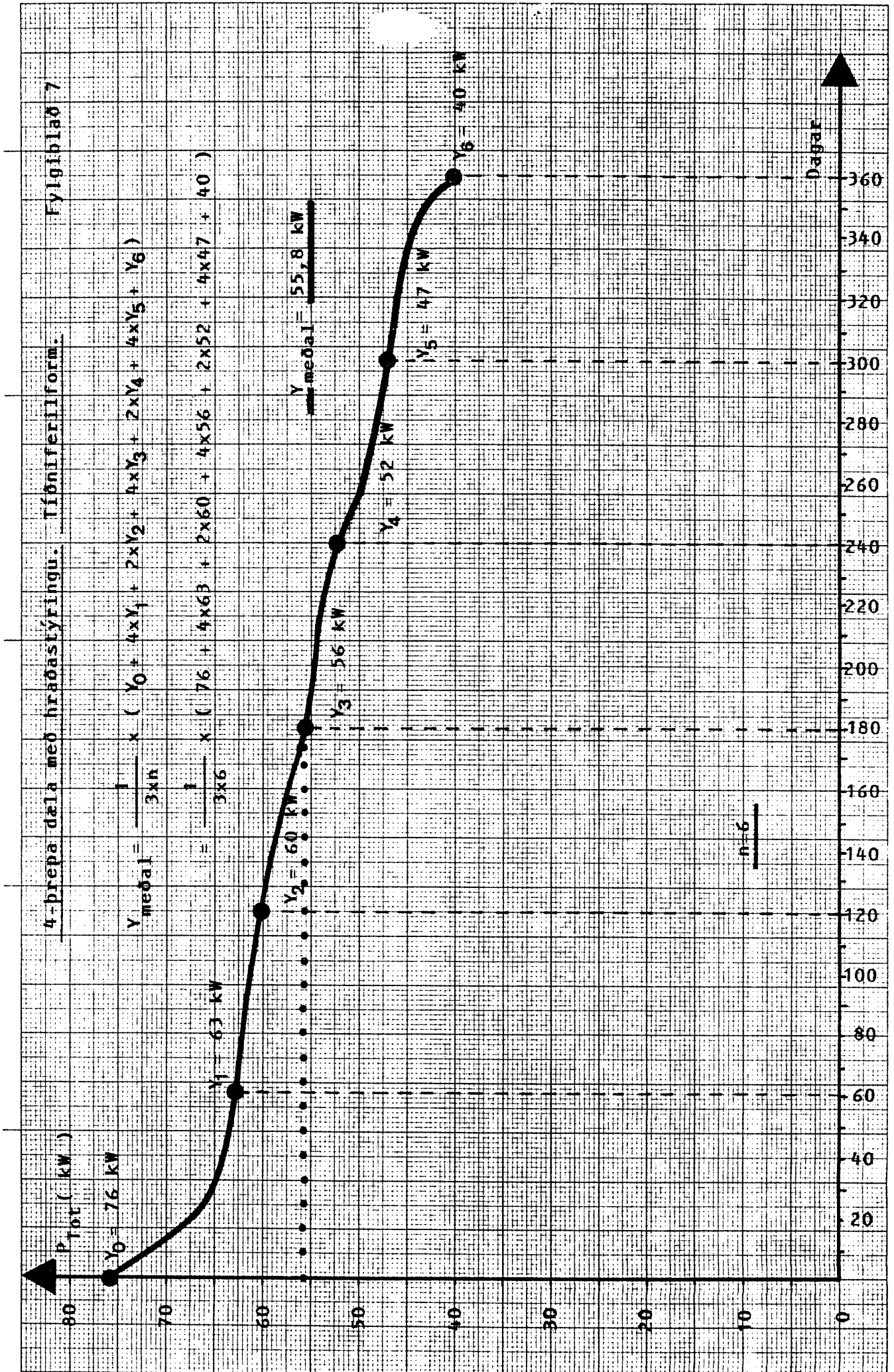
$g = 9,81 \text{ m/sek}^2$

ϕ_2 (1/sek)	ϕ_x (1/sek)	n_2 (sn/mín)	H_x (m)	η_x	P_x (kW)	P_2 (kW)	$\eta_{M,T}$	P_{Tot} (kW)
30	37	1176	74,5	0,50	52,8	28,2	0,70	40,3
35	42	1208	74,0	0,55	54,1	31,3	0,70	44,7
40	48	1196	73,5	0,61	56,0	31,4	0,70	44,9
45	54	1208	73,0	0,66	57,2	33,1	0,70	47,3
50	60	1198	72,0	0,71	58,7	33,1	0,71	46,6
55	66	1208	71,0	0,75	59,8	34,6	0,71	48,7
60	71	1225	70,0	0,78	61,0	36,8	0,71	51,8
65	76	1240	68,5	0,81	61,5	38,5	0,71	54,2
70	81	1245	67,0	0,84	62,2	39,4	0,71	55,5
75	86	1265	65,5	0,85	63,5	42,2	0,71	59,4
80	90	1289	63,5	0,86	63,6	44,7	0,71	63,0
85	94	1304	61,5	0,86	64,7	47,1	0,72	65,4
90	97	1338	59,5	0,86	64,6	50,8	0,72	70,6
95	101	1357	56,5	0,87	63,1	51,7	0,72	71,8
100	104	1388	54,0	0,86	62,8	55,1	0,72	76,5
105	107	1416	52,0	0,86	62,2	57,9	0,72	80,4
110	110	1450	50,0	0,85	62,0	62,0	0,72	86,1

*

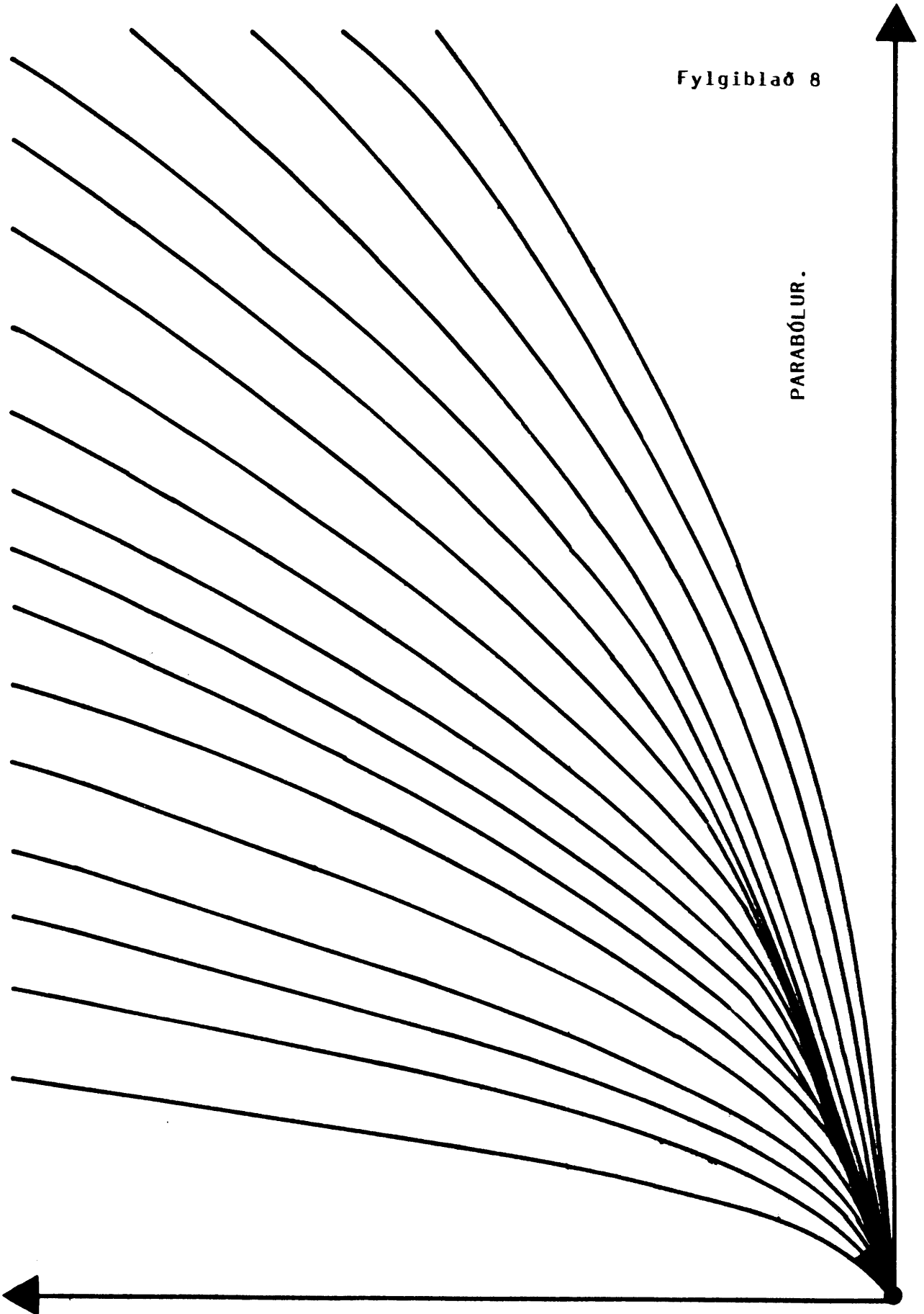
* SJÁ FYLGIBLAÐ 2 (Parabólur).

$$P_x = \frac{H(m) \times \phi(1/sek) \times \rho(kg/l) \times g(m/sek^2)}{\eta_x} = (W)$$



Fylgiblað 8

PARABÓLUR.



ÞURRKUN OG ÖNNUR NOTKUN JARÐHITA Í FISKIÐNAÐI

Sigurjón Arason

Bergur Benediktsson

Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins

INNGANGUR

ÞURRKUN

ÞURRKBÚNAÐUR

Grindakerfi

Færibandakerfi

Varmadælukerfi

EFTIRÞURRKUN

ÞURRKUN Á ÞORSKHAUSUM

ÞURRKUN SMÁFISKS

SKREIÐARFRAMLÆIÐSLA Í ÞURRKKLEFUM

ORKUNÝTING Í INNÞURRKUN

ORKUGJAFAR

FISKMJÖLSIÐNAÐUR

AÐRAR ÞURRKAÐFERÐIR

Frostþurrkun

Úðþurrkun

Valsþurrkun

Flotþurrkun

NIÐURLAG

HEIMILDASKRÁ

INNGANGUR.

Þurrkun er ævarforn geymsluaðferð fyrir matvæli og aðalmarkmið með þurrkun er að gera matvælin óaðlaðandi fyrir örveragróður. Við þurrkun þarf utanaðkomandi orku til að fjarlægja vatn. Í þessari grein verður lögð áhersla á þurrkun fisks og þá vinnsluferla sem hún kemur inn í og tengjast notkun jarðhita. Í lokin mun verða fjallað um fiskmjölsiðnað og komið inn á aðrar fiskiðngreinar.

ÞURRKUN.

Þurrkun þýðir að vatn er fjarlægt úr efninu og er það yfirleitt gert með hitun af einhverju tagi. Við þurrkunina skipta tvö ferli höfuðmáli þ.e. varmaflutningur til þess að útvega gufunarvarmann, og massaflutningur vatnsgufu gegnum fæðuna og síðan burt frá yfirborði fæðunnar.

Helsta ástæðan fyrir þurrkun er sú að lengja geymslupól fæðunnar. Í örstuttu máli getum við sagt að skemmdir í matvælum stafi ýmist af örverum eða efnahvörfum. Bæði þessi ferli hægja á sér og stöðvast að lokum alveg eftir því sem þurrkunin gengur lengra, þó með einni undantekningu sem er þránun.

Besta aðferðin til þess að meta gang þurrkunar og áhrif hennar á geymslupól er að líta á vatnsvirkni.

Mælingar á vatnsvirkni (a_w) eru mjög mikilvægar af því að hún getur skorið úr um það hvort og hvaða örverur þrífast í matvælum og hvort og hvaða efnahvörf geta gengið fyrir sig í matvælum.

Skilgreining á vatnsvirkni er:

$$a_w = \frac{p}{p^0}$$

Þar sem p er hlutþrýstingur vatns í matvælinu og p^0 er gufuþrýstingur vatns við sama hitastig. Þetta segir okkur að það er beint samband á milli rakans í matvælinu og raka loftsins, sem matvælið er í jafnvægi við.

Vatnsvirkni er mælikvarði á virkni vatnsins sem er í fæðunni. Hún er mæld á kvarða sem nær frá núlli og upp í 1.00. Í skraufþurru matvæli er vatnsvirknin núll, en í hreinu vatni er hún 1.00. Sjá mynd 1. Þótt ótrúlegt megi virðast byggja frýsting og þurrkun á svipuðu lögmáli, sem sé að taka vatnsfasann úr umferð svo örverur geti ekki þrífist.

Vatni í fiski er skipt í tvo hluta, bundið vatn og óbundið. Einungis óbundið vatn er mögulegt að fjarlægja með þurrkun.

Þurrktíma er yfirleitt skipt í tvö tímabil, tímabil stöðugs þurrkhraða og tímabil fallandi þurrkhraða. Fyrra tímabilið einkennist af því að yfirborðið er allt rakametnað, við vothitastig loftsins. Þurrkhraðinn stjórnast þá mest af lofthraða auk hitastigs og rakastigs loftsins. Á tímabili fallandi þurrkhraða er yfirborðið orðið þurr en uppgufun verður inni í fisknum og streymir vatnsgufan út úr fisknum. Nú hefur lofthraðinn minni áhrif og stjórnast þurrkhraðinn mest af því hversu mikil mótsstaða er gegn vatnsgufustreyminu út frá miðju fiskisins.

Að lokum stöðvast þurrkunin með öllu, þurrkhraðinn verður 0, og það rakainnihald sem fiskurinn hefur þá er kallað jafnvægisraki. Jafnvægisraki er háður rakastigi loftsins og að nokkru leyti hita.

Tafla 1.

<u>loftrakastig %</u>	<u>jafnvægisraki %</u>
20	7
30	8
40	10
50	12
60	15
70	18
80	24

Fullþurr skreið er með rakainnihald um 18% þannig að fullþurrka mætti skreið með því að blása yfir hana 70% röku lofti.

Tilraunir sem gerðar hafa verið bæði hér heima og erlendis sýna að hegðun fiskholds er þó ekki svona einföld við þurrkun. Tímabili stöðugs þurrkhraða virðist mega skipta í nokkur minni tímabil, þar sem þurrkhraðinn er stöðugur á hverju bili en dettur síðan snögglega niður sbr. mynd 2. Engin skörp skil eru á milli tímabila stöðugs og fallandi þurrkhraða því vegna lögunar fiskisins þornar grennsti hluti hans fyrst, og hefur þetta í för með sér að þurrkunin verður ójöfn og tímabil fallandi þurrkhraða byrjar á mismunandi tíma í hverjum fiski.

Ýmsar jöfnur hafa verið settar fram sem lýsa þurrkhraða á þessum tímabilum þurrkunarinnar (C.J.Geankoplis).

ÞURRKBÚNAÐUR.

Grindarklefi.

Við innþurrkun á skreið hefur aðallega verið notaður grindarklefi og er algengast að nota tvískiptan þurrkklefa (pýramíðaklefi), en hægt að færa pýramíða til þannig að ef klefinn er aðeins hálfur er pýramíðinn settur undir jaðar falskaloftsins. Í öllum forþurrkununum er reiknað með möguleika á því að hringrás loftinu. Í þurrkklefanum eru sett loftspjöld í innsogs- og hringrásarop, en stilling spjaldanna ræðst af loftraka, sem mælist með rakanema fremst í klefanum (næst hitara). Segulloki á hitavatnslögninni er tengdur hitanema, sem er staðsettur á sama stað og rakaneminn og ræður hann hitastiginu í þurrkklefanum. Myndir 3 sýnir uppbyggingu grindaklefa.

Færibandaklefi.

Þessir klefar mynd 4 hafa verið reistir á tveim stöðum á landinu og nota vatnsgufu sem orkugjafa. Þeir eru eingöngu notaðir til að forþurrka þorskhausa og smá fisk s.s. kolmunna. Byrjað er að keyra inn á efsta bandið og síðan stoppað í ca. 3 tíma. Eftir þann tíma er afurðin keyrð niður á næsta band, samtímis sem aftur er keyrt inn á efsta bandið, o.s.frv. Tvö neðstu böndin eru keyrð á tvöfalt minni hraða en þrjú efstu þannig að afurðin er um 6 tíma á hvoru bandi.

Samtals er hráefnið 20 - 24 tíma inni í klefanum og er það komið niður í ca. 60% af upprunalegri þyngd. Hitastig inni í klefanum er 15 - 25°C og lofthraði um 2 m/s.

Varmadæluklefi.

Á mynd 5 er sýndur þurrkklefi sem hannaður hefur verið í Noregi og er framleiðsla á þeim nú hafin í stórum stíl. Loftið gengur í lokaðri hringrás í klefanum, þ.e.a.s. sama loftið er notað aftur og aftur. Loftið er hitað upp í þéttinum og blásið síðan í gegnum klefann. Í uppgufaranum er loftið kælt og rakinn sem tekinn var upp í klefanum fellur út áður en það er aftur hitað upp í þéttinum. 40% af orkuþörfinni við upphitunina er fengin með rafmagni en hin 60% eru fengin með því að nota aftur þéttivarmann sem losnar í uppgufaranum.

Í kynningarbæklingi með þessum klefum er sagt að stofnkostnaður við þessa gerð sé um 50% meiri en við klefa þar sem vatn er hitað í oliukatli, en orkukostnaður hins vegar þrisvar sinnum minni.

Ekki er að efa að vatnsútfellingarkerfi geta komið að góðum notum við upphitun lofts hér á landi þar sem jarðhiti er ekki til staðar. Hins vegar er

stofnkostnaður hár og meðan reynsla af þessum kerfum er ekki enn orðin nógu mikil hafa menn verið tregir að leggja út í slíkt fyrirtæki.

EFTIRÞURRKUN.

Þegar fiskur er þurrkaður í grindarklefa eða færibandaklefa er hann tekin úr klefanum þegar vatnsinnihald hans er um 50-55%. Fiskurinn er settur í þurrkassa, sem eru 1-2m³ að stærð. Kassinn er settur ofan á loftstokk og loftinu er blásið upp í gegnum þá. Hægt er að stafla 3-4 kössum í hæðina, sjá mynd 6.

ÞURRKUN Á ÞORSKHAUSUM.

Þurrkun á þorskhausum hófst fyrir rúmum 10 árum í verulegu magni og í fyrstunni voru allir hausarnir hengdir út á skreiðarhjalla. Innþurrkun á hausum hófst fljótlega, upp úr því og þá fyrst í tilraunaskyni. Í dag eru starfræktir 8-10 þurrkklefar bara fyrir þorskhausa og allir nota þeir jarðhita að undanskildum einum sem notar varmadælur og nýtir varmann úr kælivatni frá frystivélum. Þurrkklefarnir eru byggðir fyrir þurrkgrindur og er hausunum raðað á grindur en aðeins einn aðili hefur notað færibandapurrkara.

Fullþurrkun á þorskhausum inni í húsi hefur gengið vel hjá þeim aðilum sem hafa reynt það. Þurrkuninni er skipt í tvö þrep þ.e. for- og eftirþurrkun. Forþurrkunin fer fram í grindaklefa eða færibandaklefa. Grindaklefinn er lang algengastur og er þorskhausunum raðað í eitt lag á grindurnar og er hægt að setja um 25 kg af hausum á hvern fermeter af grind. Kjörskilyrði loftsins eru hitastig 18-22°C, hlutfallslegur raki 20-50% og lofthraðinn er um 1.5 m/s. Vatnsinnihald hausanna í lok þessa þreps er um 50-55% og tekur það um einn sólarhring að ná því marki (sjá mynd 7).

Í eftirþurrkuninni eru hálfþurrkuðu þorskhausarnir settir í þurrkassa, sem eru 1-2 m³ að stærð, og er loftinu síðan blásið í gegnum þá.

Kjörskilyrði eru: lofthitastig 22-26°C, loftraki 20-50% og lofthraði í fullum kassa um 1/2 m/s. Vatnsinnihald þorskhausanna eftir þurrkun er um 18% og hægt er að ná því eftir um það bil 3 sólarhringa þurrkun í þessu þrepi.

Stærsti kosturinn við þessa tvískiptingu á þurrkuninni er að hlutfallslega er hægt að koma fyrir meira magni af hausum í eftirþurrkunarbúnaðinum en forþurrkarann. Kostnaðurinn við smíði og rekstur eftirþurrkarans er mun lægri en fyrir forþurrkarann þannig að framleiðslukostnaðurinn er minni við tvískipta þurrkun heldur en við samfellda þurrkun.

Hugsanlegt er að endurnýta varmann í þurrkloftinu sem er blásið út eða hringrásað. Endurnýting varmans er mjög brýn, sér í lagi á þeim svæðum, sem liggja

fyrir utan jarðvarmasvæðin. Niðurstöður úr frumathugunum hjá Rf gefa til kynna að hægt sé að spara um 35% af orkunni ef notaðir eru varmaskiptar, en allt að 80% með varmadælum.

Tafla: Forsendur fyrir þurrkbúnað sem tekur 10 tonn í fyllingu á forþurrkara.

<u>Forþurrkun</u>	<u>Eftirþurrkun</u>
loft: $V = 60.000 \text{ m}^3/\text{klst}$ hitað frá 16°C í 24°C $E = 180 \text{ kw}$ $dp = 30 - 40 \text{ mm v.s.}$	loft: $V = 8.000 \text{ m}^3/\text{klst}$ hitað frá $12^\circ-15^\circ$ í $25-27^\circ\text{C}$ $dp = 50-70 \text{ mm v.s.}$
vatn: $dT = 45^\circ\text{C}$ $T_{\text{inn}} = 80^\circ\text{C}$	vatn: $dT = 45^\circ\text{C}$ $T_{\text{inn}} = 80^\circ\text{C}$

PURRKUN SMÁFISKS.

Í ársbyrjun 1977 hófust tilraunir með þurrkun smáfisks í þurrkskáp Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins, sem er u.þ.b. 2ja metra hár stokkur, og er loftinu blásið upp í gegnum stokkinn, þar sem fiskurinn liggur í körfum. Unnt er að stjórna lofthita, lofthraða og loftraka. Í tíu ár hefur verið þurrkaður smáfiskur en í mismiklu mæli. Á tímabilinu 1979-1982 var þurrkaður kolmurni, spærlingur og loðna og var framleiðslan um 200 tonn af skreið á ári frá 3 framleiðendum. Á síðasta ári var aðeins einn framleiðandi eftir og framleiddi hann um 100 tonn af loðnuskreið og stærsti hluti hennar var ætlaður til manneidis.

Gerðar voru tilraunir með að þurrka kolmunna óslægðan en það reyndist ekki gjörlegt sökum þess að fituinnihald kolmunnans var mjög breytilegt. Á sama tíma og í sama togi fékkst kolmurni með fituinnihald á bilinu 2-8%.

Vinnslurás fyrir kolmunnaþurrkun ásamt nýtingartölum yfir hvert þrep er lýst á mynd 8. Þurrktími fyrir slægðan kolmunna mældist um 80 klst og nýtingin um 20%, en fyrir óslægðan kolmunna er þurrktíminn um 140 klst og nýtingin um 23%, þurrktími sést á mynd 9.

Í tilraununum var athugað við hvaða rakastig fisksins er best að flytja hann, úr forþurrkun í eftirþurrkun. Þurrkun var framkvæmd í tveimur þrepum. Það fyrra er þurrkun í þurrkklefa á grindum, þá minnkar rakinn úr 80% í 50%, og skel myndast á yfirborðinu og engin hætta er á að fiskurinn límist saman og myndi klump. Síðara þrepið er eftirþurrkun eða haugþurrkun. Fiskinum er hellt af grindunum í haug eða þurrkkassa og síðan þurrkaður við hægjan blástur við hærri hitastig en í forþurrkaranum. Niðurstöður eru færðar inn á mynd 10. Fyrst var tekið úr þurrkklefanum eftir 11 tíma þurrkun en það reyndist allt of snemmt.

Fiskarnir límdust saman og þurrkuðust ekki í miðjum haugnum, og sest þetta á efstu línunni á mynd 10. Næst var tekið úr klefanum eftir 25 tíma. Þessi skammtur þornaði eins vel í eftirþurrkaranum og í forþurrkaranum og var það svo um alla hina skammtana.

Þurkkhraðinn var meiri í eftirþurrkun og stafar það aðallega af hærri hita og um leið þurrara lofti. Lofthraði var frá 0.2 - 0.7 m/s og hitinn milli 25 og 32°C.

Hitastigsdreifing í þurkklefa var mæld og sjást niðurstöður úr þeim mælingum á mynd 11. Þurkklefinn var fylltur af kolmunna og voru sett 9 kg á hverja grind (0.8 x 0.8 m²) og 21 grind í hverja stæðu. Lofthraðinn var nokkuð jafn yfir allar grindurnar og var hann 1.6 m/s.

Miklar mælingar voru gerðar við þurrkun á loðnu. Þurkkferlinum er skipt upp í tvennt eins og fyrir kolmunnann.

Gerðar voru tilraunir til að þurrka loðnu með 10-11% fitumagni. Hún var mjög lengi að þorna og lak af henni lýsið. Loðnan var tekin út úr skápnum eftir rúma 15 tíma og var þá ónýt. Síðar var reynt að þurrka loðnu með 5% fitumagni og fór það á sömu leið, að lýsi lak af henni og hún ónýttist. Er því ljóst, að nota verður loðnu með innan við 5% fitumagni, til þess að unnt sé að þurrka hana. Fita í loðnunni er undir 5% í um 2 vikur í lok mars þess vegna þarf að geyma loðnuna frá því að hún er veidd þangað til að hún er þurrkuð.

Hugsanlegt er að geyma loðnu annað hvort frosna, en þá þarf að þiða hana fyrir þurrkun, eða saltaða og þarf því að útvatna hana fyrir vinnslu. Um 10% prósent af þurrefni loðnunnar, sem var söltuð, tapast við útvötnunina. 3-5 sinnum ódýrara er að geyma loðnuna saltaða en frosna. Þurkkferlar eru sýndir á myndum 12 og 13.

Kjörskilyrði við þurrkun smáfisks.

Bestu þurrskilyrðin við þurrkun smáfisks sem fyrst fengust úr tilraunum og framleiðendur notuðu síðan eru:

1. Forþurrkun: Þurrkunin fer fram á grindum eða á færiböndum í þurkklefum og er haft eitt lag af fiskinum, og er nýtingin 12 - 14 kg á m² af grind. Kjörskilyrði eru: Lofthitastig 22^o - 26^oC, loftraki 40-60% og lofthraði 1.5 - 2 m/s. Lokaraki skreiðarinnar í þessu þrepi er um 55% og tekur það ca. einn sólarhring að ná því marki fyrir kolmunna en 10 - 20 klst fyrir loðnu.

2. Eftirþurrkun: Hálfþurrkaða skreiðin frá 1. þrepi er sett í þurkkassa, sem er allt að 1 1/2 m³ að stærð, og er hægt að blása í gegnum þá. Kjörskilyrði eru: Loft-hitastig 25^o - 28^oC, loftraki um 50% og lofthraði um 0.2 - 0.5 m/s. Lokaraki skreiðarinnar um 15%, er náð eftir 1 - 3 sólarhringa þurrkun.

SKREIÐARFRAMLEIÐSLA Í ÞURRKKLEFUM.

Skreiðarverkun þar sem öll þurrkun fer fram í þurrkklefa er ekki hafin ennþá í verulegu magni.

Framleidd hafa verið nokkur tonn af þorskskreið í þurrkklefum.

Efna- og gerlafræðilegar rannsóknir hafa farið fram á skreiðinni og ekki kom í ljós neinn verulegur munur á inni- og útiþurrkaðri skreið. Mikill munur var á litnum, þannig að inniþurrkuð skreið var dekkri og líktist meir litnum á nýjum þorski en útiþurrkuð.

Niðurstöður úr þessum tilraunum benda til þess að þurrktíminn sé um 15 - 25 dagar.

Helstu kostir við inniþurrkun á bolfiski eru meðal annars:

styttri þurrktími,
hægt að þurrka allt árið,
afurðin hefur jafnari gæði,
nýtingin eykst,
meiri vinnuhagræðing,
nýting á innlendri orkulind,
jafnari afskipanir.

Hægt er að stytta þurrktíma á útiþurrkaðri skreið um nokkra mánuði með því að taka skreiðina inn í eftirþurrkun. Þurrkskilyrðin fyrir eftirþurrkun á skreið eru þau sömu og fyrir hausa og smáfisk að undanskildu hitastigi, en það er haft lægra eða um 13 - 20°C. Þannig er hægt að flýta fyrir afskipunum og fá jafnari gæði heldur en ef fiskurinn hefði verið fullþurrkaður úti.

Vanda þarf til gæðamats.

Inniþurrkun á hausum og smáfiski hefur gengið vel og gæðin verið mikil, ef hráefnið hefur verið gott og rétt að þurrkuninni staðið.

Ekki hefur tekist að þurrka skreið inni allan þurrktímann og fá fram gæði sem kröfuhörðustu skreiðarkaupmenn eru ánægðir með. Inniþurrkun á hálfþurrkaðri skreið hefur gefið góða raun.

Keppinautum okkar í skreiðarframleiðslu hefur heldur ekki tekist að inniþurrka bolfisk með góðum árangri.

Ef tilraunir takast vel með inniþurrkun á bolfiski, þá verður hægt að framleiða skreið allt árið með jöfnum gæðum. Þá verður markaðurinn fyrir skreið stöðugri heldur en hann er við núverandi aðstæður. Batnandi gæði auka líkur á stöðugra verði og einnig að okkur haldist á mörkuðum eins og t.d. Ítalíu.

Við framleiðslu á skreið verður að hafa hugfast að við erum að framleiða dýra afurð til manneldis. Af þeim sökum þarf að vanda mjög til gæðamats og verðum við

að fara eftir þeim reglum sem kaupandinn setur og jafnvel setja meiri gæðakröfur en kaupandinn. Keppinautar okkar á mörkuðunum mega ekki fara fram úr okkur hvað snertir skreiðargæði, þá er hætt á að þeirra skreið verði tekin fram yfir, ef markaðurinn dregst saman.

ORKUNÝTING Í INNÞURRKUN.

Orkunýting í þurrklefum er að sjálfsögðu háð mörgum mismunandi þáttum. Er hún yfirleitt mæld í kcal á kg uppgufað vatn. Uppgufunarvarmi vatns við 20°C er um 585 kcal/kg en við hönnun þurrklefa er talan 1.000 - 1.200 kcal/kg yfirleitt notuð. Mismunurinn á þessum tölum eru töp og má skipta þeim í tvo flokka, leiðni- og geislunartöp annars vegar og varmatöp í afkastslofti hins vegar. Leiðni- og geislunartöpin eru til komin af því að þurrklefinn er heitari en umhverfið, og einfaldasta leiðin til að draga úr þeim er að einangra klefann. Þessi töp eru hins vegar af það litilli stærðargráðu að það hefur ekki talið borga sig að leggja út í miklar framkvæmdir þeirra vegna.

Varmatöp í afkastslofti eru háð því hversu rakt það er. Ef því er hent mjög þurru er augljóst að lítill raki hefur verið tekinn upp í klefanum, þannig að orkuþörf í kcal/kg uppgufa vatn er mikil. Til að ná því marki að hafa rakann í afkastslofti sem mestan er einkum um tvær leiðir að velja. Hafa klefann mjög langan eða hringrása loftinu að einhverju leyti áður en því er hent. Það að vera með mjög langan klefa hefur þó nokkra ókosti í för með sér. Það sem fyrst stingu í augun er að það krefst meira rýmis og þar með hugsanlega aukinn kostnað. Annað atriði er að nauðsynlegt er að hafa fiskinn í færanlegum vögnum, og helst þannig að vagnarnir gangi stöðugt í mótstraum við loftið, og þá með sjálfvirkum búnaði. Ef það er ekki gert verður þurrkunin mjög ójöfn í klefanum og hætt er við að fiskur í rakasta loftinu þurrkist það hægt að hann skemmist. Orkuþörf blásara eykst með aukinni lengd þurrklefa, því mótþrýstingur eykst. Er lengdinni þar með viss takmörk sett því rafmagnsorkan sem blásarinn notar er í flestum tilvikum mun dýrari en varmaorkan sem fer í upphitun loftsins.

Af þessu sést að aukning í varmanýtni þurrklefa getur verið nokkuð dýru verði keypt með þessari aðferð. Er því nauðsynlegt að skoða hvert dæmi áður en lagt er í framkvæmdir, þar sem erfitt er að benda á almenna lausn sem gildir í öllum tilvikum.

Hér á landi hefur eingöngu verið ráðist í gerð stuttra klefa, með sjálfstýrðri endurhringrás loftsins. Varmanýtni í þessum klefum verður alrei eins góð og fá má í löngum klefum en stofnkostnaður er mun minni vegna einfaldari og minni búnaðar. Varmanýtni eykst hins vegar til muna miðað við klefa, þar sem loftinu er blásið aðeins einu sinni í gegn. Í þessum sjálfstýrðu klefum er yfirleitt reiknað með

orkubörfinni 1.000 - 1.100 kcal/kg uppgufað vatn miðað við 1.300 - 1.400 kcal/kg áður en sú tækni kom til sögunnar.

Ein leið til að auka orkunýtingu í styttri klefum er að setja varmaskipti í lofthringrásina. Varmaskiptirinn yrði notaður til að forhita inntaksloft og kæla niður afkastsloft í leiðinni og fella út úr því raka. Það sem helst mælir á móti þessari aðferð er hversu dýrir varmaskiptar til þessara hluta eru. Er það vegna þess að um lítinn hitastigsmun er um að ræða milli köldu og heitu hliða varmaskiptisins sem þýðir að hann þarf að vera tiltölulega mjög stór.

ORKUGJAFAR.

Hér á landi hefur ekki verið reynt að þurrka fisk inni, nema á þeim svæðum sem jarðhiti er fyrir hendi. Ástæðan er að sjálfstöðu kostnaðarlegs eðlis, bæði stofn- og rekstrarkostnaður þurrkstöðvar sem notar jarðhita, nema hægt hafi verið að komast í afgangsvatn frá fiskimjölsverksmiðjum eða öðru slíku.

Einingarorkuverð er mjög mismunandi eftir orkugjöfum.

Á mynd 14 er sýndur orkukostnaður við upphitun lofts fyrir þurrkun á 1 kg skreið. Verðin eru miðuð við verðlag í ágúst 1982 og febrúar 1988, og helstu forsendur eru að orkubörf við uppgufun á 1 kg vatns sé 1.100 kcal. Ketilnýting í oliukötlum er áætluð 85%. Varmastuðull varmadælanna er áætlaður 2.5 og reiknað er með að heita vatnið megi nýta úr 80°C í 30°C . Mismiklar breytingar hafa orðið á orkukostnaði við þurrkun og hefur olían hækkað minnst.

FISKMJÖLSIÐNAÐUR.

Jarðvarmi fyrirfinnst á nokkrum stöðum í næsta nágrenni við fiskmjölsverksmiðjur og mætti athuga hagkvæmni á notkun jarðvarmans í stað olíu- eða rafhitunar. Heita vatnið á lághitasvæðunum er oftast um 80°C heitt og mætti vel hugsa sér að nýta það í forhitara fyrir hráefnið, í soðkjarnatækin o.fl. En þessi nýting borgar sig tæplega ef hægt er að nýta varma sem fellur til í sjálfri vinnslunni.

Jarðgufa finnst á tveim-þrem stöðum þar sem hugsanlegt er að nýta hana í fiskmjölsvinnsluna. Helstu staðirnir eru Suðurnes og við Húsavík og staðsetningin er góð ef það er athugað að þessir staðir eru á sitthvoru landshorninu. Fyrirhugað er að leggja gufulögn frá Svartshengi til Grindavíkur. Hugsanlegt væri að reisa eina stóra verksmiðju á hvorum staðnum.

Áður en farið verður út í notkun á jarðgufu við fiskmjölsframleiðslu, þá verður að kanna eftirfarandi atriði:

1. Efnainnihald gufu og þéttivatns. Bæði gufan og þéttivatnið innihalda talsvert af gastegundunum H_2S og CO_2 . Einnig eru fleiri gastegundir og uppleyst eða óuppleyst föst efni í gufunni.
2. Tæringarhætta. -Þéttivatnið er súrt þar sem það inniheldur CO_2 og HS^- (súlfíð). Hætta getur verið á tæringu, en þetta þarf að rannsaka betur.
3. Kísilútfelling. -Ákveðið samband er á milli botnhita vatnsins og þess hitastigs/þrýstings sem kísilútfellingar hefjast við. T.d. ef botnhitinn er $230^{\circ}C$ hefst kísilútfelling við $126^{\circ}C/2.39$ bar.
4. Frárennslisvatn. -Ef miklar kísilútfellingar eru í vatninu væri best að útbúa setlón.

Ákveðin reynsla er komin á þessi atriði frá jarðgufuvirkjunum bæði í Svartshengi og Kröflu, en ekki er hægt að heimfæra þá reynslu beint upp á gufunotkun í fiskmjölsverksmiðjum.

Í framkvæmd.

Jarðgufuna er hægt að taka inn á tvo vegu og fer val á þessum kostum eftir því hvort rannsóknir leiði það í ljós að mögulegt sé að taka jarðgufuna beint inn á tækin eða að taka jarðgufuna fyrst gegnum varmaskipta.

Varmaskiptakosturinn verður dýrari bæði í rekstri og í stofnkostnaði. Ferskt vatn er notað í gufuframleiðsluna og jarðgufan er þétt í varmaskiptinum. Besti kosturinn er að taka gufuna beint inn á öll tækin í fiskmjölsverksmiðjunni.

Þurrkarinn verður að vera gufuþurrkari annað hvort með hitun inni í þurrkbelgnum eða með hitaelementi fyrir framan belginn þannig að þurrkloftið yrði hitað upp við að fara í gegnum hitaelementið.

Öll hitun verður að vera óbein hitun og má ekki hita hráefnið með beinni snertingu við jarðgufuna. Ástæðurnar eru brennisteins- og kísilinnihald jarðgufunnar og einnig það að vatnsinnihaldið eykst í hráefninu og þarf þá að auka orku til að fjarlægja það vatna aftur.

Gerðar hafa verið tvær skýrslur um jarðgufunotkun í fiskmjölsverksmiðjum þ.e. "athugun á notkun jarðvarma til reksturs fiskmjölsverksmiðju" sem kom út 1976 og var unnin hjá Rf (Geir Þórólfsson) og hin skýrslan er um "Nýja

fiskmjölsverksmiðju á Suðurnesjum" og kom hún út 1981 og var unnin af Stefáni Erni Stefánssyni. Niðurstöður þessara skýrslna eru samhljóða um að verksmiðja með jarðgufu er mun ódýrari í rekstri en verksmiðja með olíukyndingu, en staðsetning með tilliti til hafnar og gufuholu hefur veruleg áhrif á arðsemina.

Mismunur á tækjabúnaði verksmiðju, sem notar jarðgufu, og verksmiðju sem notar gufu framleidda í katli er sáralítill. Innan verksmiðjunnar sjálfrar er svo til enginn munur, nema gasaftöppunaraðstöðu þarf fyrir jarðgufuna en engan gufuketil til gufuframleiðslu eins og í venjulegum fiskmjölsverksmiðjum. Annað sem er sérkenni fyrir fiskmjölsverksmiðju með jarðgufu eru lagnir frá borholum, gufuskiljur, uppistöðulón og annar búnaður til að losna við frárennslisvatn.

Fyrir 4 árum hófst vinnsla í fiskmjölsverksmiðjunni Ströndum á Reykjanesi og notaði hún eingöngu jarðgufu til upphitunar en einnig var framleitt rafmagn með gufutúrbín í mjög litlu mæli. Vinnslan gekk vel í verksmiðjunni hvað varðar notkun jarðgufunnar en sjálfur reksturinn gekk mjög illa og varð verksmiðjan að hætta fyrir 2 árum.

AÐRAR ÞURRKAÐFERÐIR.

Frostþurrkun.

Frostþurrkun getur verið góður valkostur. Frostþurrkun fer mjög vel með afurðina sem er þurrkuð. T.d. ef búnaðurinn er notaður á matvæli þá minnkar rúmmálið lítið eða 1 - 5% en léttunin er um 80%. Upprunalegt bragð helst næstum óbreytt en hætta er á þránun vegna oxun matvæla enda getur vatnsvirknin legið á bilinu 0.2 - 0.4, sem er hættulegt vegna þránunar. Við þökkun í lofttæmi eða í köfnunarefni hægir á þráarmynduninni. Frostþurrkuðu matvælin taka næstum því jafnmikið af vatni upp aftur þegar þau eru bleytt upp. Hugsanlegur markaður fyrir slíkan mat hefur aukist mikið en hann er t.d. matur fyrir fjallgöngumenn, matur í útilegu, í sumarfríum, fyrir hermenn og fyrir geimfara.

Best væri að staðsetja frostþurrkarann sem næst góðri gufuholu með háan þrýsting. Gufan yrði tekin inn t.d. með 8 kg þrýsting á jektorana (3 - 4 þrep) og lofttæmdist þá þurrkklefinn niður í 2 mm Hg þrýsting en lágþrýstigufan eða heita vatnið frá jektorunum yrði notuð til upphitunar. Hreyfiorka gufunnar yrði notuð til lofttæmis en hitaorkan til þurrkunar.

Þessi þurrktækni hefur verið að sækja á undanfarið og ættum við að geta nýtt ferskt hráefni og jarðorku til að ná langt á þessum markaði.

Úðapurrkun.

Tæknin byggist á því að efnið, sem á að þurrka, kemur í vökvaformi inn á úðara og er vökvastreymið brotið upp í vökvadropa. Stærð vökvadropanna ræðst af rennslis hraða vökvans inn á úðarann og af hraða snúningsdisks eða hjóls, sem sett er beint í vökvarennslíð, og einnig af seigju vökvans. Mikið loft er notað við þurrkunina og er þurrkarinn bæði til sem mót- og meðstreymis þurrkari, það er að lofti er blásið á móti eða í sömu átt og innstreymi vökvadropanna. Auðvelt er að hita loftið upp með jarðvarma og hitaelementi. Þurrkloftið er haft um 160°C og jafnvel hærra, en efnishlutinn fer sjaldan hærra en 60-70°C. Jarðgufa mun henta vel fyrir þessa þurrktækni. Heppilegt hráefni til að þurrka í þessum búnaði er td. salt, fiskmjölssoð, fiskkraft, meltuþykkni, mjólk og egg.

Valsaþurrkun.

Þurrkbúnaðurinn er þannig uppbyggður að efnið er dreift á valsa, sem eru holir að innan og streymir gufa í holrúminu og hitar valsana. Hægt er að leiða jarðgufuna beint inn á valsana og um leið fengist góð nýting á orkunni. Þurrktími er stuttur, en lokahitastig á efninu verður hátt. Þurrkafköstin eru hlutfallslega lítil og er búnaðurinn frekar dýr í innkaupi. Valsaþurrkari væri hugsanlegur í þurrkun á fiskmarningi, fiskmjöli, fiskkrafti, þangi, meltuþykkni, eggjum, kartöflum o.fl..

Flotþurkun

Tæknin er óbein loftþurrkun og yrði jarðgufan tekin inn á hitaelement sem hitar loftið. Þurrkloftinu er blásið upp í gegnum fínriðað net eða netfæriband. Efnið sem á að þurrka liggur ofan á netinu og smígur loftið upp í gegnum efnið og um leið hreifist efnið og helst á floti. Helstu kostir þurrkarans eru þeir að mjög hár varmaflutningsstuðull fæst og þurrktíminn er stuttur. Hugsanlegt er að nota yfirhitaða gufu við upphitun á þurrklofti. Gufan nýtist þá aftur í þurrkferlinum.

Efnisagnir verða helst að vera jafn stórar þannig að það fái stöðugt jöfn þurrkun og að það verði síður hætta á því að stórar agnir þorni ekki og þær smærri ofþorna. Minnstu agnirnar berast með loftstrauminum og verður að fjarlægja þær úr loftstrauminum með loftskilju (cyklon).

Þessi þurrkbúnaður ætti að henta vel við framleiðslu á fiskmjöli, þangmjöli, fiskmarningi o.fl..

NIÐURLAG

Þurrkun í matvæla- og fóðuriðnaði er afar forn vinnsluaðferð en þurrktæknin hefur tekið örum breytingum og mun breytast mikið í framtíðinni. Framleiðsla á skreið hefur verið ein af vinnslugreinum fiskiðnaðarins og hefur hún alltaf farið fram á hjöllum úti undir berum himni. Oft hafa verið gerðar tilraunir til að

framleiða innþurrkaðan bolfisk, en þær tilraunir hafa ekki tekist fullkomlega, en allt bendir til þess að það sé þó framkvæmanlegt.

Notkun jarðvarma við þurrkun á bolfiski og þorskhausum kemur til með að aukast í framtíðinni. Aðallega er verið að tala um notkun jarðvarma af lághitasvæðum. Fiskmjölsiðnaðurinn kemur til með að nota jarðgufu í sína vinnslu og innan fárra ára verður gufa leidd frá Svartsengi til Grindavíkur. Talað er um að verð á jarðgufu komið í fiskmjölsverksmiðju í Grindavík sé um fimmtungur af kostnaði við framleiðslu á gufu með olíu.

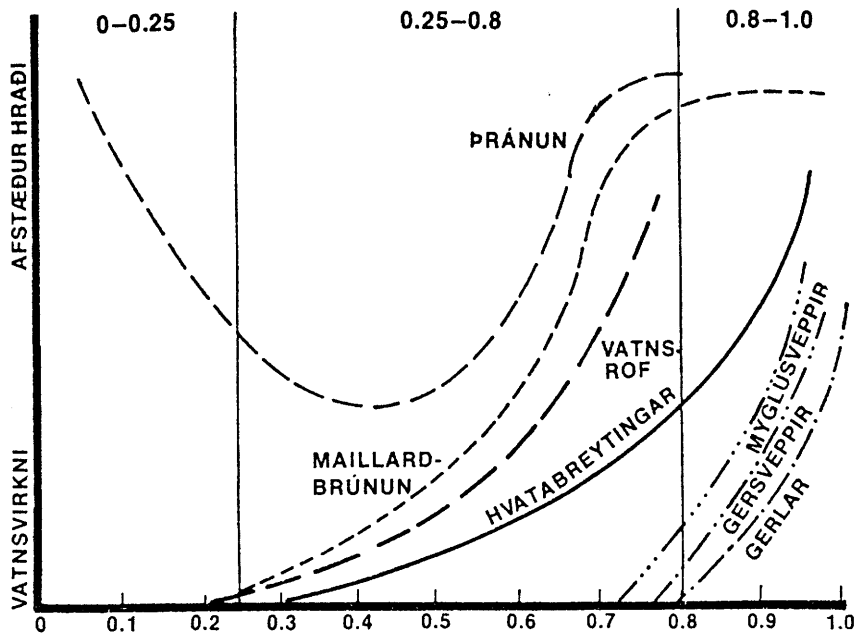
Á síðustu fimm árum hefur olían ekki hækkað eins mikið eins og innlenda orkan. Verðbreytingarnar sjást vel á mynd 14. Búast má við því að oliuverð komi til með að hækka meira en innlend orka í framtíðinni og þess vegna er vert að huga að notkun innlendra orkugjafa í iðnaðinum.

Fiskmjölsiðnaðurinn stendur á ákveðnum tímamótum og er verið að prófa nýjan vinnslubúnað, meðal annars til að minnka orkukostnað og auka gæði afurða. Til að mynda er verið að athuga með nýjan þurrkbúnað og þar á meðal er flotþurrkari og eru miklar vonir bundnar við hann.

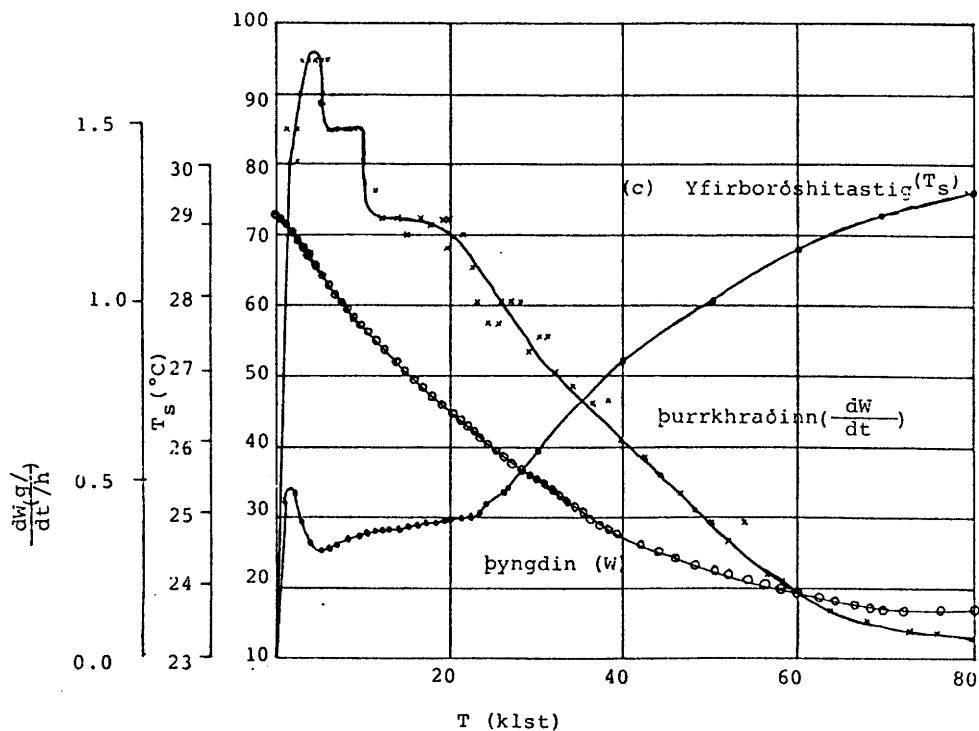
HEIMILDASKRÁ.

1. Arason, S.: "Kolmunnatilaunir", Tæknitíðindi nr. 118, Rf., febr. 1980.
2. Arason, S.: "Inniþurrkun á þorskhausum og bolfiski", Fiskvinnslan, Fiskiðn., bls. 13-15, nr. 1, 1982.
3. Arason, S.: "Notkun innlendra orkugjafa við fiskmjölsframleiðslu og hugleiðingar um orkusparandi aðgerðir í fiskmjölsvinnslu". Erindi flutt á ráðstefnu um ýmis sérhæfð mál er varða fiskmjölsiðnað, Tæknitíðindi nr. 132, Rf., júní 1982.
4. Arason, S., Jónsson, Þ. og Þorsteinsson, T.Þ.: "Nokkur almenn atriði um úti- og inniþurrkun bolfisks". Tæknitíðindi nr. 136, Rf., nóv. 1982.
5. Árnason, H., Arason, S. og Jónsson, V.K.: "Orkunotkun í fiskmjölsiðnaði". Rit nr. 10, Rf., júní 1986.
6. Árnason, Ó. og Arason, S.: "Frysting matvæla með jarðhita og útblástursvarma skipavæla og iðnaðartækja". Rit nr. 6, Rf, apríl 1983.
7. Geankoplio, C.J.: "Transport processes and unit operations", Allyn and Bacon, U.S.A., 1983.
8. Jason, A.C.: "A study of evaporation and diffusion processes in the drying of muscle", Fundamental aspects of the dehydration of food-stuffs, Papers read at the conference held in Aberdeen 25. - 27. March 1958.
9. Stefánsson, Ö.: Skýrsla: "ný fiskimjölsverksmiðja á Suðurnesjum", unnið fyrir: Sjávarútvegsráðuneytið, Reykjavík, ágúst 1981.
10. Valdimarsson, G. og Guðbjörnsdóttir, G.B.: "Örverugróður í skreið", Rit nr. 5, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, okt. 1982.
11. Valsson, B.: "Rekstrarstaða fiskmjölsiðnaðar í nútíð og framtíð" erindi flutt á ráðstefnu um fiskmjölsiðnaðinn, maí 1987.

12. Vilhelmsson, K. og Eiríksson, T.: "Þurrkun smáfisks", Tæknitíðindi nr. 95, Rf., júní 1977.
13. Waterman, J.J.: "The Production of Dried Fish", FAO Fisheries Technical Paper No. 160, FIIM/T160.
14. Þórólfsson, G.: "Athugun á notkun jarðvarma til reksturs fiskmjölsverksmiðju", lokaverkefni í vélaverkfræði við H.Í. 1976.

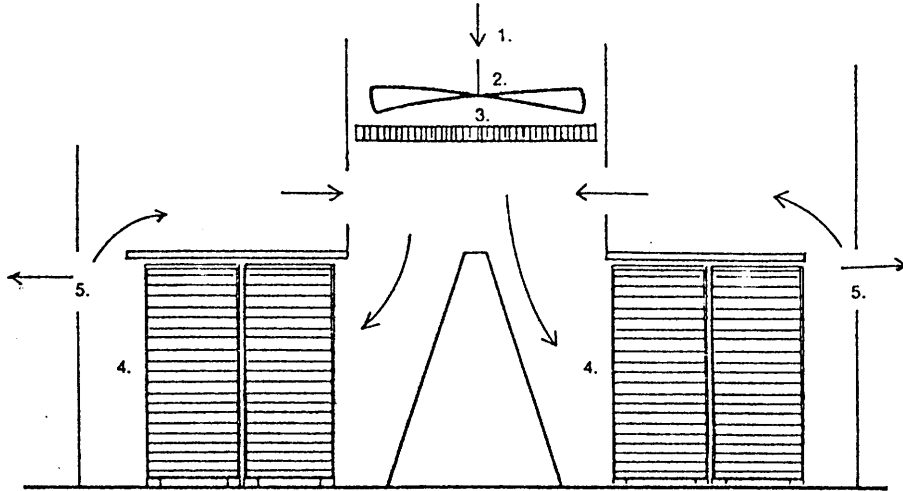


Mynd 1 Samband milli vatnsvirkni og hraða efnabreytinga og vaxtarhraða örvera.



MYND 2

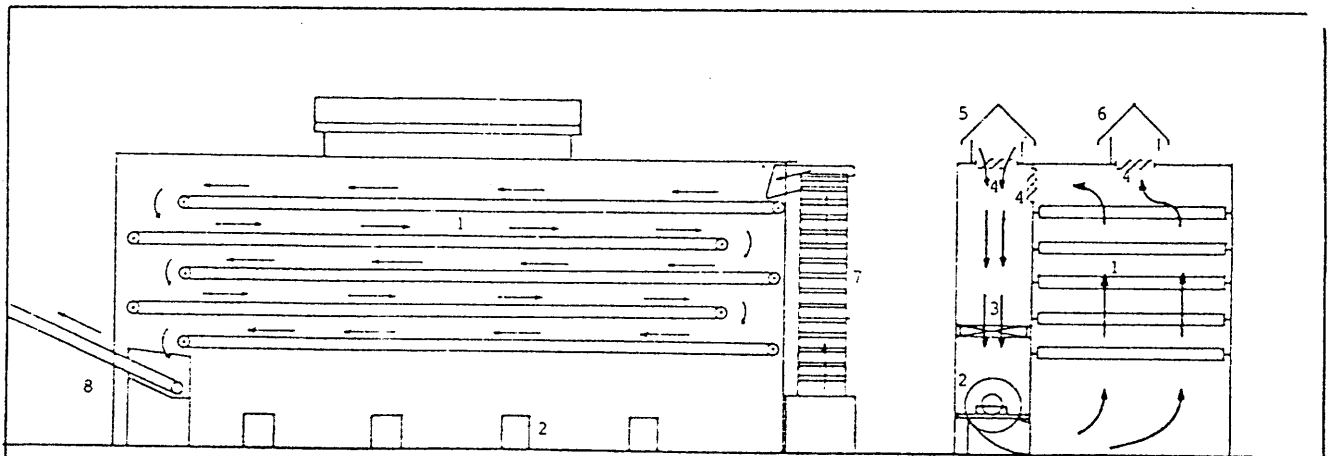
Þurrkun á þorskflaki (10x5x1,5 cm) í þurrkklefa með lofthraða 0.3 m/s og lofthita 30°C ("dry bulb" 30°C og "wet bulb" 18°C) (1)



MYND 3

Teikning af frumpurrkaranum, sem notaður var í O-tilrauninni.

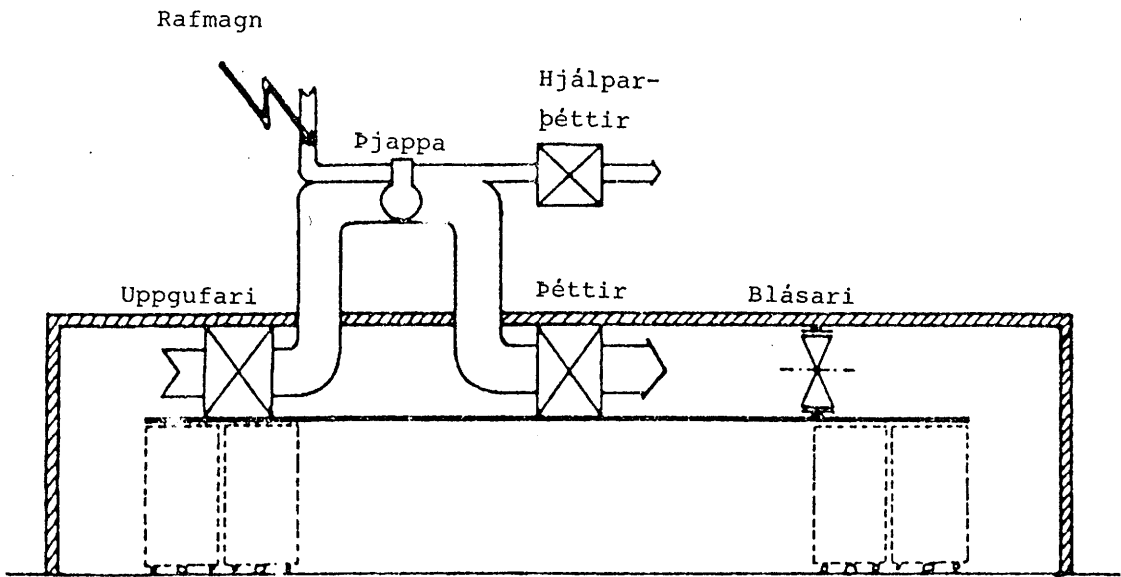
1. Stíllanlegt loftinntak.
2. Vifta.
3. Hitaelement.
4. Þurrkbakkar.
5. Stíllanlegt loftúttak.



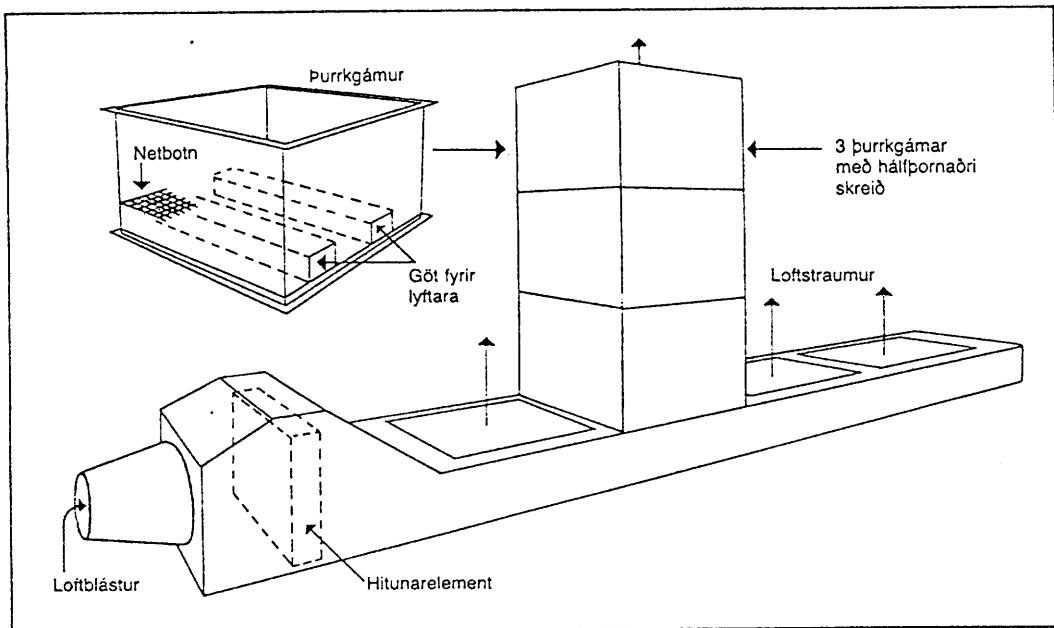
1. Færibönd
2. Blásari
3. Hitaelement
4. Loftspjöld
5. Loftinntak
6. Loftúttak
7. Innmötun
8. Úttak

→ Loft
→ Hráefni

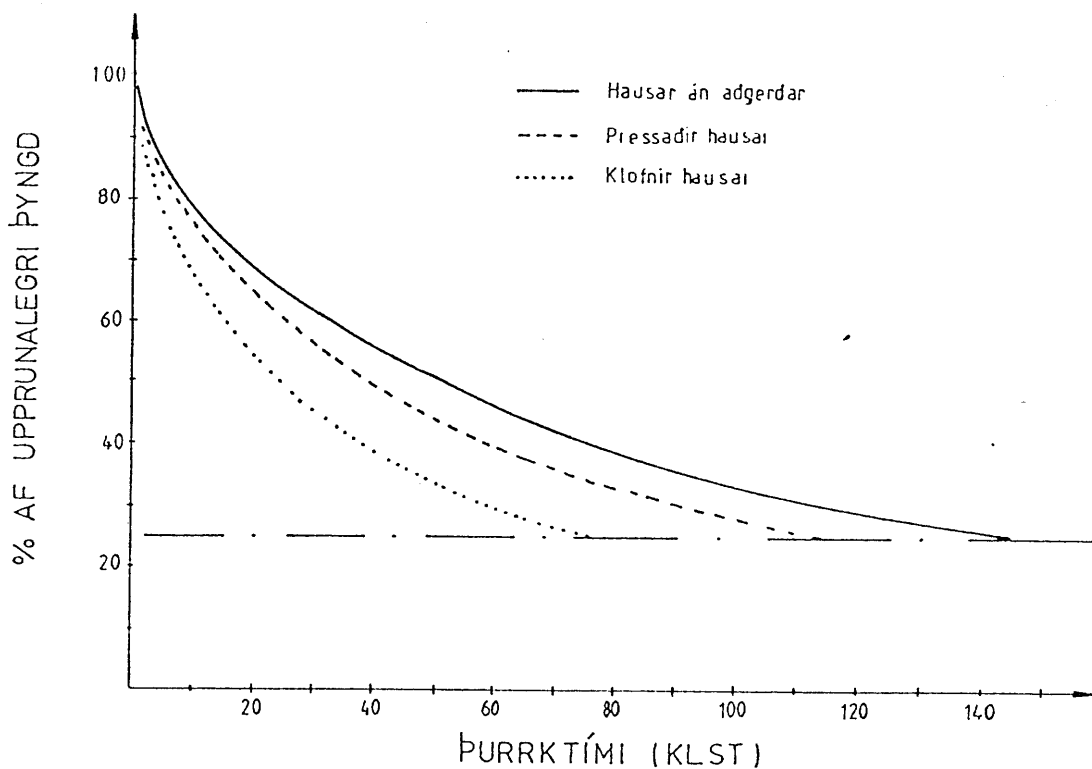
Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins tæknid.		dags. 1/7 82
Mynd 4.	Hannaó	M.kv.
Færibandaþurrkklefi.	teiknaó	Nr.820701



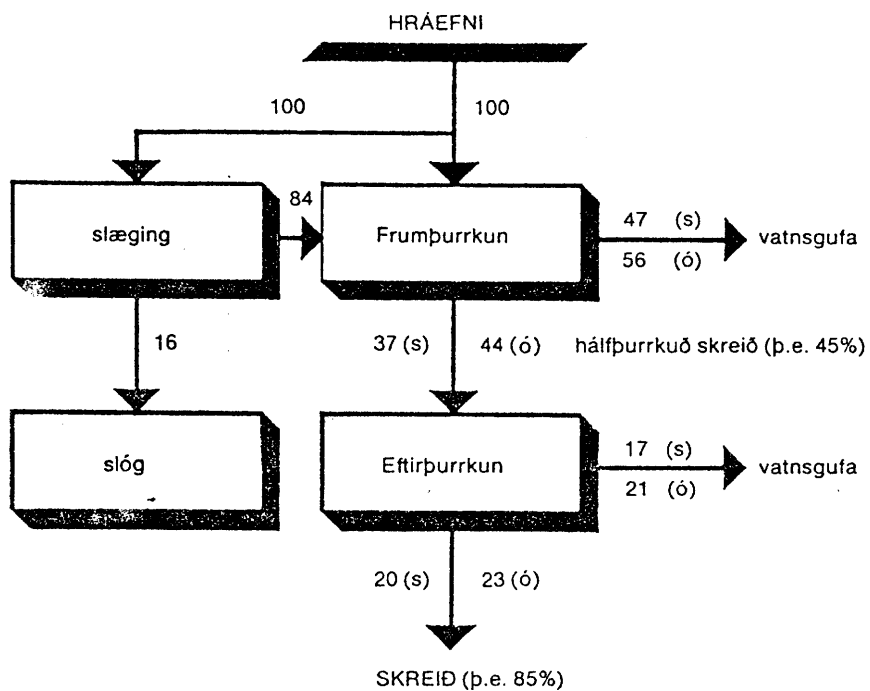
Mynd 5.: Þurrkklefi með varmadælubúnaði.



MYND 6 Eftirþurrkunarbúnaður fyrir þorskhausu og skreið.



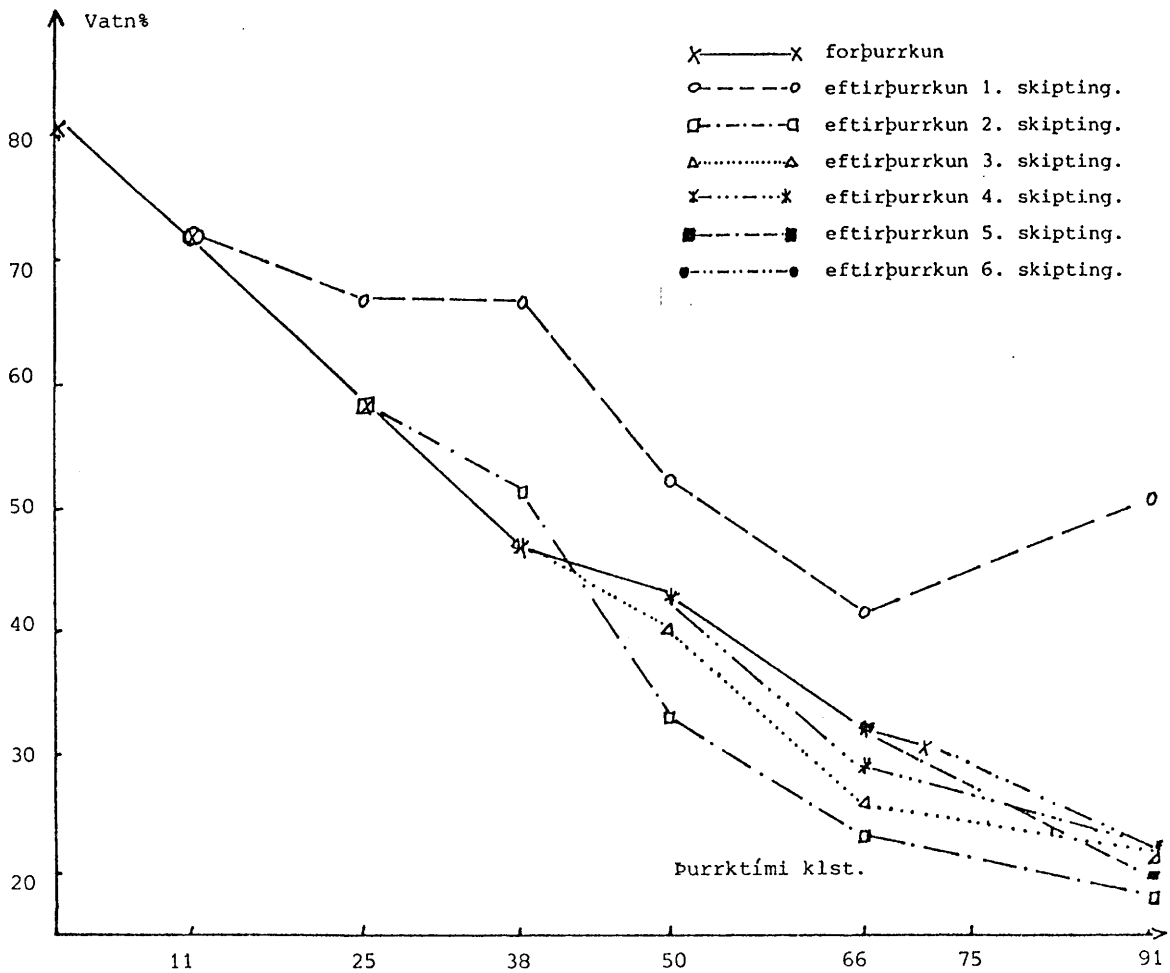
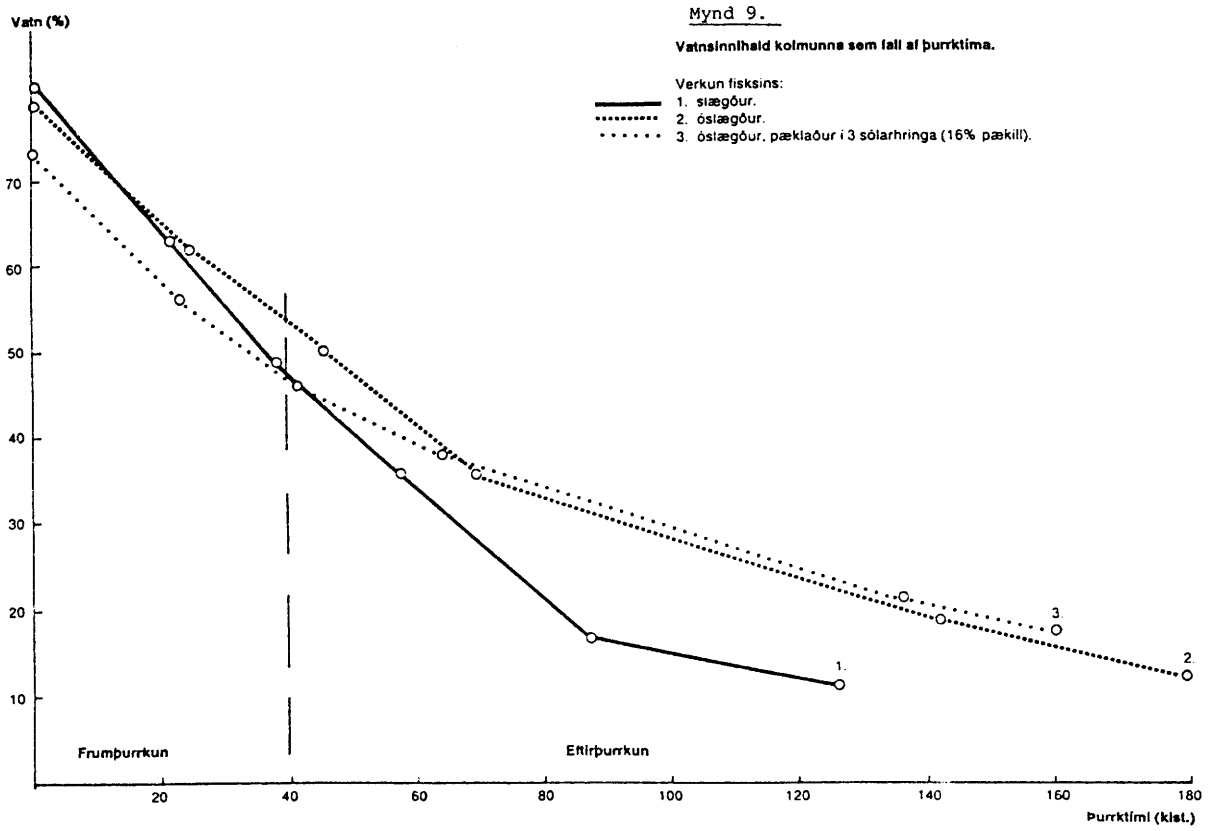
Mynd 7 Innþurrkun á þorskausum.



MYND 8

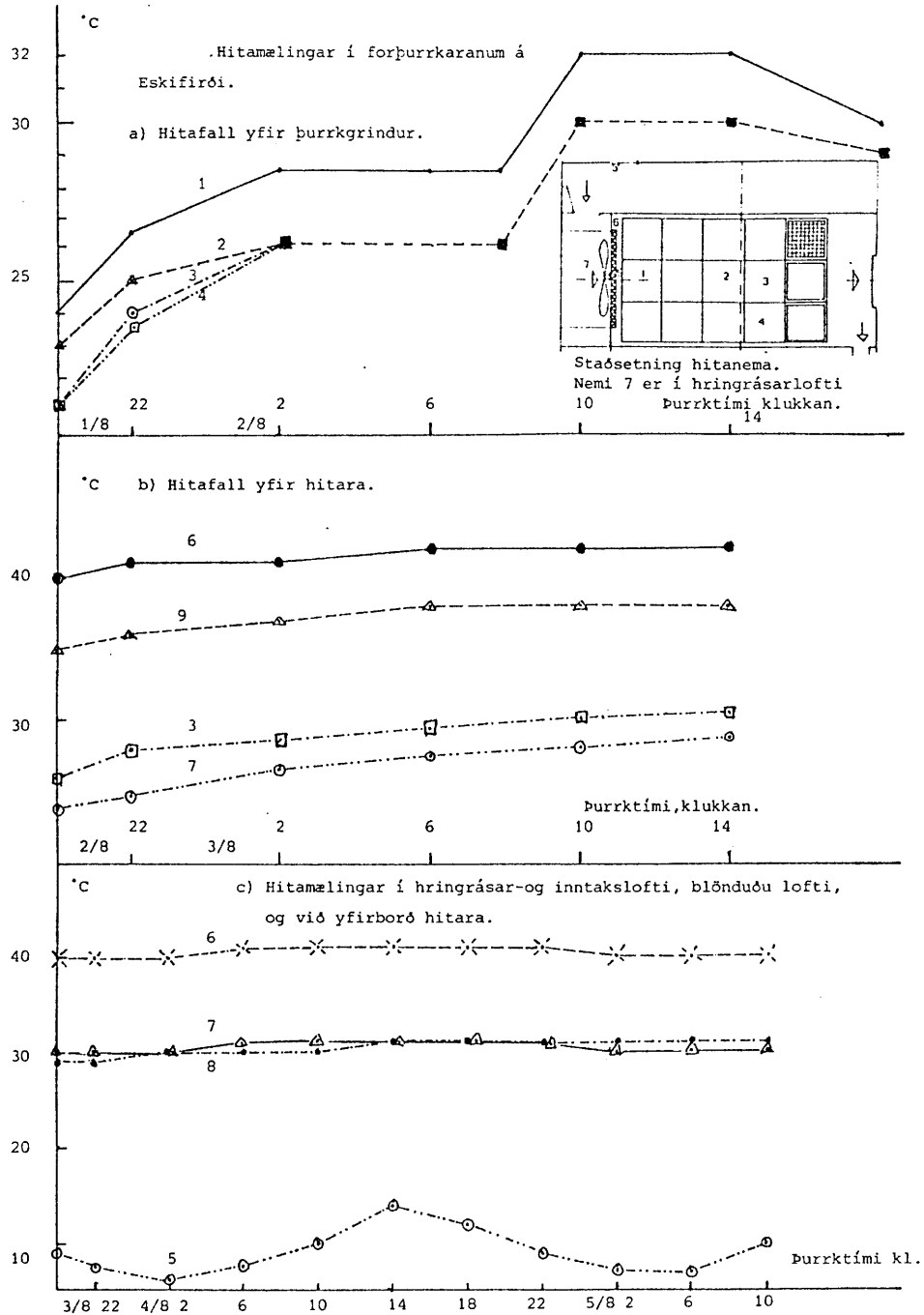
Vinnslurás fyrir þurrkun kolmunna ásamt nýtingartölum eftir hvert þrep.

s = slægður fiskur,
ó = óslægður fiskur.



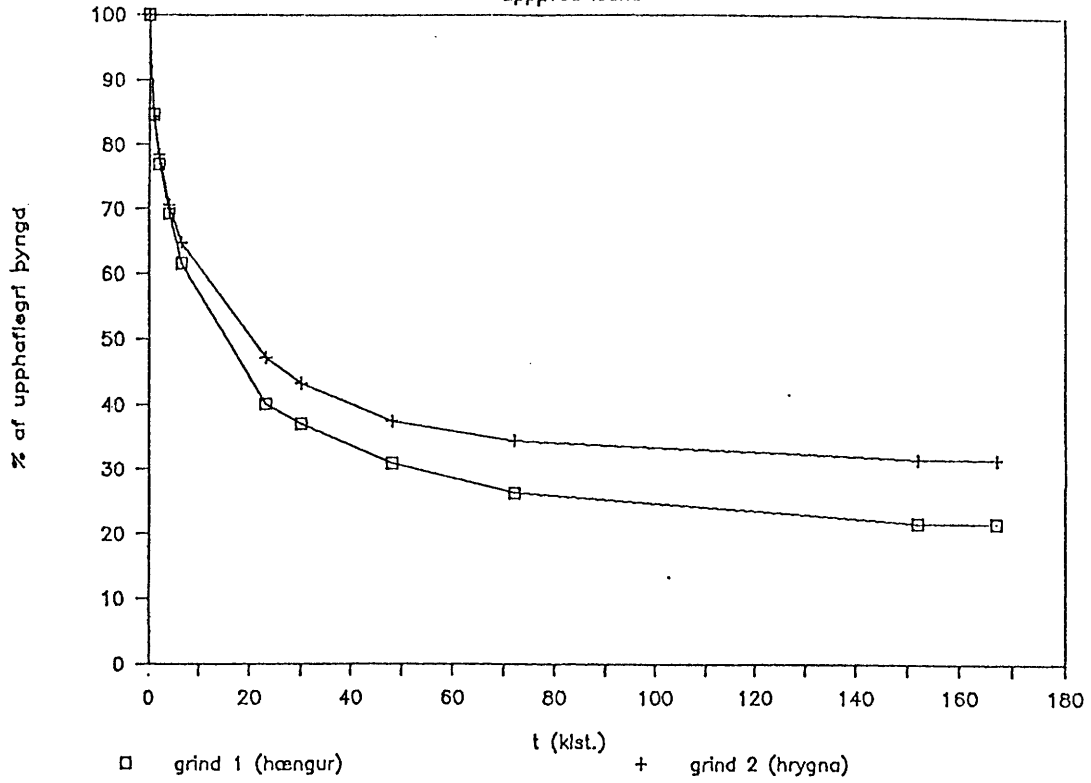
MYND 10 Þurrktilraun til að finna hvenær best er að hætta forþurrkun og byrja eftirþurrkun.

MYND 11



TILRAUN 7 (LOKATILRAUN)

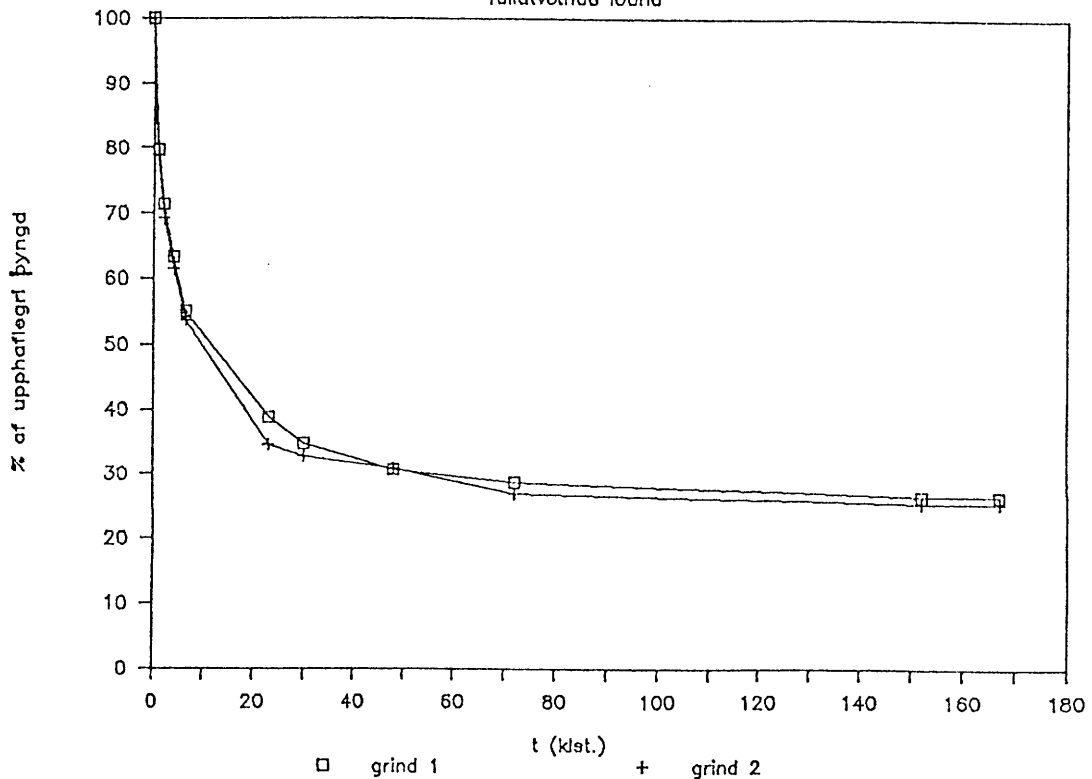
uppháttad löðna



Mynd 12, þurrkun á löðnu.

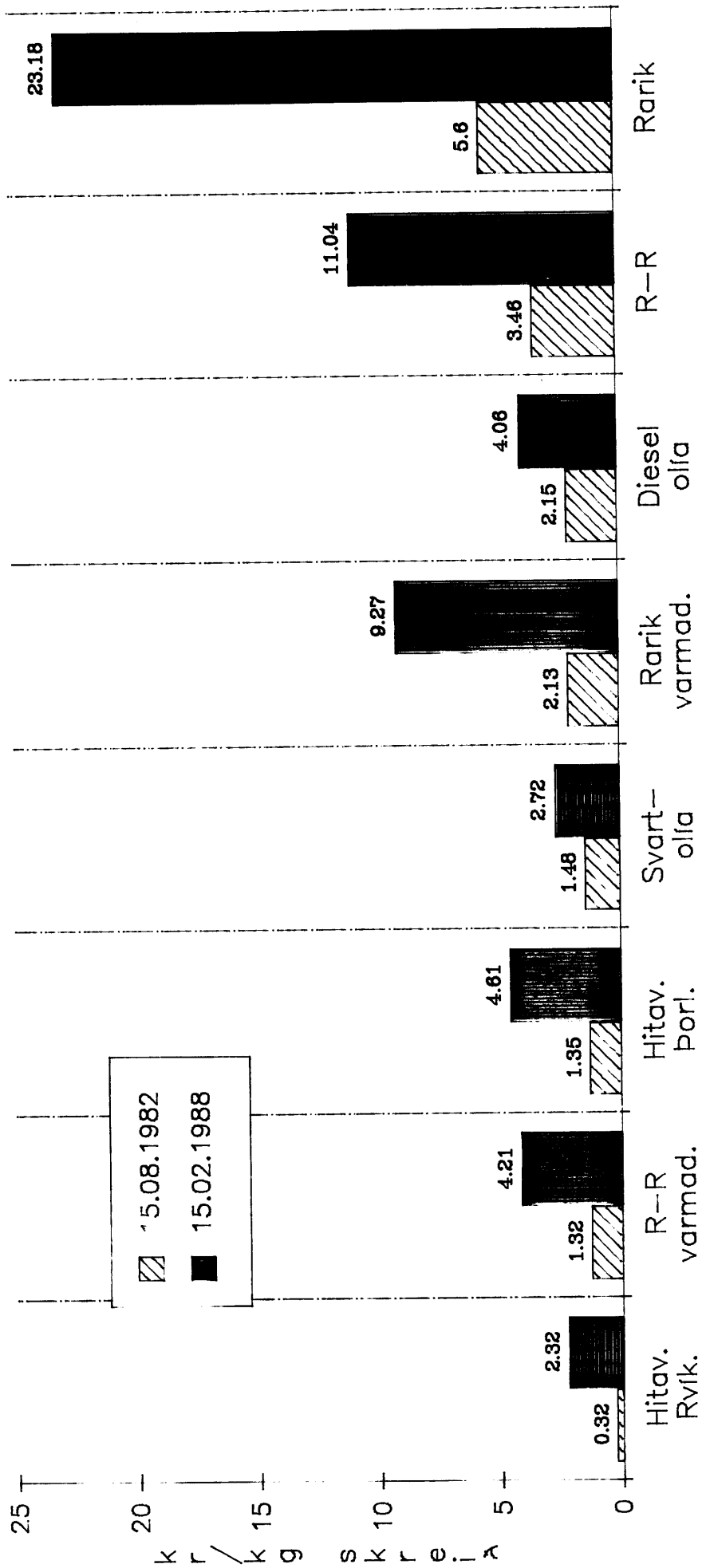
TILRAUN 7 (LOKATILRAUN)

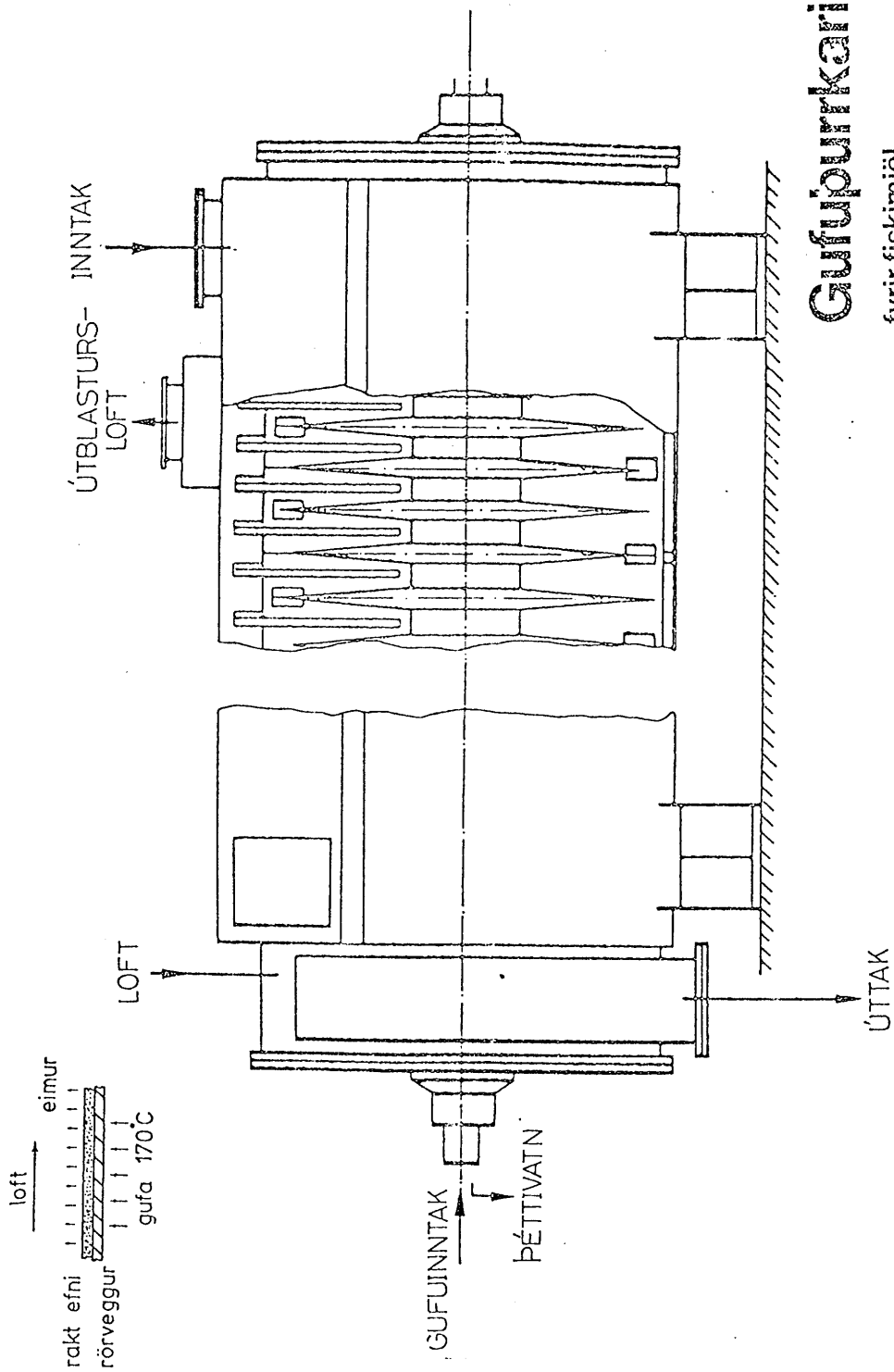
fullutvötnuð löðna



Mynd 13, þurrkun á löðnu.

Mynd 14:
Orkukostnaður við upphitun
lofts fyrir þurrkun á
1 kg af skreið.





Gufubúurkari

fyrir fiskimjöl

MYND 15 GUFUBURRARI FYRIR FISKIMJÖL.

RÆKTUN MEÐ JARÐHITA

Jón-Steinar Guðmundsson

Orkustofnun

INNGANGUR

ALMENNT

FISKELDI

GRÓÐURHÚS

JARÐVEGSHITUN

HEIMILDIR

VIÐAUKI: GRÓÐURHÚSABYGGINGAR

Axel V. Magnússon

INNGANGUR

Gróðurhús og jarðhiti tengjast órúfanlegum böndum hér á landi. Þannig hefur það verið allar götur frá 1924, en þá var fyrsta gróðurhúsið byggt á Reykjum í Mosfellssveit (Axel V. Magnússon, 1986). Síðan hefur byggð sprottið upp þar sem garðyrkjubændur ná í ódýran jarðhita, sbr. Hveragerði, Flúðir, Laugarás og víðar.

Miklar breytingar hafa orðið á neysluvenjum þjóðarinnar á undanförnum árum, sérstaklega er varðar grænmeti. Latur nærri að heildarneysla (framleiðsla og innflutningur) grænmetis hafi tvöfaldast á tíu árum og sé nú um 30 kg/íbúa (Orkuspárnefnd, 1987). Talið er að meiri aukning hafi verið í blómarækt undanfarin ár í samanburði við grænmetisrækt.

Ræktun matjurta í heitu landi hefur tíðkast víða um land frá fornu fari (Óli Valur Hansson, 1982). Þá eru dæmi þess að menn hafi leitt hveravatn eftir lokræsnum til að hita garða. En það var ekki fyrr en plaströr fengust að farið var að hita garðlönd í stórum stíl. Það var fyrst gert 1973 í Hvammi við Flúðir.

Upphitun gróðurhúsa og garða er hluti af þeirri tækni, sem garðyrkubændur þurfa að kunna. Vatn/gufa til upphitunar er líka hluti af þeim kostnaði, sem garðyrkubændur þurfa að gera skil á í rekstrinum. Hvort tveggja tengist jarðhita og þeim hugmyndum, sem upp kunna að koma um nýjungar, rannsóknir og þróun jarðhitanytingar.

Ræktun við jarðhita getur átt við gróðurhús, jarðvegshitun, fiskeldi og hverja þá ræktun sem krefst varmaorku.

UMHVERFISHITI

Umhverfishiti getur haft mikil áhrif á hvers konar ræktun, sbr. plöntur, fiska, dýr, örverur. Og með stjórnun

umhverfishita má bæta árangur í ræktun, sem þýðir aukna hagkvæmni. Þetta hefur lengi verið ljóst í garðyrkju, sérstaklega, en einnig í fiskeldi. Hagkvæmni upphitunar í dýrahaldi, hins vegar, er ekki talin eins afgerandi. Fróðlegt er að skoða áhrif umhverfishita á plöntur, fiska og dýr.

Vaxtarhraði gúrka, tómata og salats er sýndur á 1. mynd, sem prósent af mesta vaxtarhraða viðkomandi tegundar (Gudmundsson og Lund, 1985). Fram kemur að gúrkur vaxta best við 25-30°C, tómatar við 18-22°C og salat við 12-16°C. Fram kemur einnig að vaxtarhraðinn er minni við bæði lægri og hærri hitastig. Sem dæmi, þá vaxa tómatar helmingi hægar við 12°C og 28°C en við 20°C. Af þessu má ráða að mikilvægt er að halda stöðugu hitastigi þar sem tómatar (og gúrkur og salat og fleira) eru ræktaðir.

Vaxtarhraði dýra og fiska er sýndur á 2. mynd, sem prósent af mesta vaxtarhraða (Gudmundsson og Lund, 1985). Fram kemur að viðkomandi rækjutegund (ferskvatnsrækja) vex hraðast við 30-32°C en hægar við bæði lægri og hærri hitastig. Þá má sjá að ferillinn hefur vel afmarkað hámarksgildi. Vöxtur rækjunnar lækkar um helming þegar hitinn fellur í 20°C eða eykst í 35°C. Öðru máli gegnir um kjúklinga og nautpening vegna þess að ferlarnir eru tiltölulega flatir. Fram kemur að vaxtarhraði kjúklinga er við hámark frá 14°C til 22°C og nautpenings frá 8°C til 14°C. Myndin sýnir að mikilvægt er að halda stöðugu hitastigi fyrir ferskvatnsrækju. Og myndin sýnir líka að hænsnfuglar og nautpeningur vaxa álíka vel við 5°C til 25°C, sem er ólíkt með fiskum og plöntum.

Myndirnar (1.-2. mynd) sýna að plöntur og fiskar vaxa hraðast á þröngu hitastigsbili, sem þýðir að mikilvægt er að stjórna umhverfishitastiginu. Það virðist, hins vegar, vera lítill ávinningur af því að stjórna umhverfishita dýra.

FISKELDI

Árangur í ræktun fer eftir mörgum samverkandi þáttum. Fiskeldi er ágætt dæmi um það hlutverk sem umhverfishiti gegnir við ræktun.

Þáttur kjörhita er ræddur í riti Rannsóknaráðs um þróun fiskeldis hér á landi (Rannsóknaráð ríkisins, 1986). Þar er bent á að af uppfylltum skilyrðum um nægilegt fæði er vaxtarhraði lífvera, sem ekki hafa heitt blóð, háður hitastigi. Vaxtarhraðinn vex með hitastigi upp að vissu marki en fer þá lakkandi aftur þegar hækkað hitastig fer að hafa neikvæð áhrif á líkamsstarfsemina. Önnur ytri skilyrði svo sem selta, sýrustig og súrefnismagn og önnur efnafræðileg atriði vatnsins, birtuskilyrði o.fl. hafa einnig áhrif á vaxtarhraða og þroskaferil lífvera. Hver þau áhrif eru fer eftir uppruna tegundanna í náttúrinni, enda ræðst útbreiðsla þeirra einnig að miklu leyti af því hvar kjörskilyrði þeirra er að finna. Skilningur á líffræðilegum og lífeðlisfræðilegum áhrifum umhverfis og fæðuvals á tegundina er undirstaða árangursríks eldis.

Það hitastig sem nokkrar álitlegar eldistegundir vaxa hraðast, miðað við að þeim sé gefið ofgnótt fóðurs, er sýnt í 1. töflu. Við ofgnótt fóðurs verður nokkur sóun vegna þess að besta fóðurnýting fæst alltaf við lægra hitastig en það sem gefur örastan vöxt. Fóður er hins vegar veigamesti kostnaðarliðurinn í öllu eldi og því mikilvægt að finna þau skilyrði sem leiða til mestrar hagkvæmni. Dæmi um samband milli vaxtarhraða, hita og fóðurnýtingar sést á 3. mynd sem gildir fyrir rauðlax. Á myndinni má sjá að örasti vöxtur næst með ofgnótt fóðurs við 14-15°C, besta fóðurnýting næst við 12°C og að besta fóðurnýting næst þegar daglegur fóðurskammtur er nálægt 4-5% af þunga eldisdýrs.

GRÓÐURHÚS

Fjölmargar tegundir grænmetis og blóma eru ræktaðar í gróðurhúsum landsmanna. Helst skal þar telja tómata og gúrkur, sem allir þekkja. Á síðari árum hefur ræktun papikru orðið algengari. Af blómum má helst telja rósir og chrysanthemum, svo er líka mikið um pottaplöntur.

Flatarmál gróðurhúsa landsmanna 1985 var áætlað 163.000 m² (Axel V. Magnússon, 1986). Síðustu áratugi hefur flatarmál gróðurhúsa stöðugt farið vaxandi, eins of fram kemur á 4. mynd (Orkuspárnefnd, 1987). Frá 1975 til 1985 óx flatarmálið að meðaltali um 1,5% á ári.

Í 2. töflu er sýnt það flatarmál gróðurhúsa, sem hinar ýmsu tegundir taka (Orkuspárnefnd, 1987). Gróðurhús eru oft nýtt hluta úr ári undir eina framleiðslu og síðan eru þau notuð undir aðra ræktun það sem eftir er ársins. Skv. 2. töflu virðist álíka mikið rými vera annars vegar lagt undir ræktun grænmetis og hins vegar undir ræktun blóma og plantna.

Ódýr jarðhiti skiptir miklu máli fyrir hagkvæmni í rekstri gróðurhúsa. Þannig hafa gróðurhús verið byggð þar sem auðvelt er fá ódýran jarðhita. Með tíð og tíma, hins vegar, er viðbúið að garðyrkjubændum reynist erfiðara að fá ódýrt heitt vatn til upphitunar, vegna þess að búið er að virkja vænlegasta jarðhitann. Það sem virkjað verður í framtíðinni mun að öllum líkindum kosta meira en það sem jarðhitinn hefur kostað fram til þessa. Eins má segja að vinnsla á núverandi svæðum mun minnka vegna niðurdráttar og kælingar. Af þessum sökum og öðrum, þurfa garðyrkjubændur að nýta jarðhitann betur í framtíðinni en nú. Þetta leiðir af sér aukna nauðsyn á að vita nákvæmlega hvaða upphitun þarf í gróðurhúsum - bæta þarf hönnun og rekstur. Og um leið þurfa garðyrkjubændur að fara sparlega með jarðhitann og nýta hann eins vel og kostur er á.

Reynsla (þumalfingursregla) hefur sýnt að það þurfi 1,5-2,0 sekúndulíttra af 90°C vatni til að ná góðum hita undir 1000 m² af gleri. Þetta samsvarar 250-330 W/m² fyrir 50°C og 40°C frárennslishita. Önnur reynslutala, sem m.a. hefur verið notuð við áætlanagerð um ylræktarver, segir að upphitunarþörfin sé 200-250 kcal/h.m², sem samsvarar 230-290 W/m². Þessar tölur miða við fermetra undir gleri.

Frá Bretlandi má fá þær upplýsingar að upphitunarþörf (varmaflutningsstuðull) gróðurhúsa sé á bilinu 0,75-1,4 Btu/hr.ft².°F (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1964). Þetta jafngildir 4,3-7,9 W/m².°C og á við yfirborð gróðurhúss. Við mat á mestu aflþörf var lagt til að nota efri mörkin. Bent var á að þó svo vindur auki aflþörf gróðurhúsa, þá er ólíklegt að mestu kuldar og mesta vindhæð fari sama. Sé miðað við 25°C mismun á inni- og útihita, áætlast aflþörfin því mest 200 W/m².

Til eru leiðbeiningar um byggingu gróðurhúsa hér á landi (Axel V. Magnússon, 1981), sem fylgja hér í viðauka. Þar er fylgt aðferð við útreikninga á aflþörf og rörafjölda, sem notuð er í Danmörku og fram kemur í bók Jensen o.fl.(1980). Í því sambandi skal þess getið að prentvilla er í bókinni. Það vantar veldisvísinn (-1) á hitastigmismuninn þar sem rörafjöldinn er reiknaður. Jafnan er rétt í viðaukanum hér að aftan. Axel V. Magnússon leggur til að við hönnun gróðurhúsa hér á landi sé reiknað með að varmaflutningsstuðullinn sé 6,5 kcal/h.m².°C. Þessi stuðull jafngildir 7,6 W/m².°C. Um er að ræða upphitun sem miðast við yfirborði gróðurhúsa. Lagt er til að við þessa aflþörf sé bætt 10% vegna vinda. Stuðullinn verður þá í reynd 8,4 W/m².°C. Þegar búið er að áætla aflþörfina, þarf að áætla fjölda röra, þ.e. hitakerfið í gróðurhúsinu. Í leiðbeiningum Axels V. Magnússonar, kemur fram að kólnunartalan (varmaflutningsstuðullinn) er 12,1 kcal/h.m².°C (14 W/m².°C) fyrir 1-1/4" rör og 11,3 kcal/h.m².°C (13 W/m².°C) fyrir 2" (50 mm) rör. Í bók Jensen o.fl. (1980) kemur fram að kólnunartalan er á bilinu 10 kcal/h.m².°C fyrir 100 mm rör og 12 kcal/h.m².°C

fyrir 20 mm (3/4") rör. Af þessum tölum má ráða að við aðstæður í gróðurhúsum er varmaflutningsstuðull röra um helmingi hærri en glers.

Upplýsingar um raunverulega aflþörf og orkunotkun gróðurhúsa eru af skornum skammti. Í Reykjavík eru nokkur gróðurhús þar sem vatnsnotkunin hefur verið mæld. Orkuspárnefnd (1987) hefur birt þessar mælingar frá 1986 fyrir átta gróðurhús. Vatnskaup húsanna á flatareiningu eru mjög mismunandi eða frá um 0,6 l/s á 1000 m² upp í 2,8 l/s. Vegið meðaltal fyrir gróðurhúsin átta var 1,35 l/s fyrir hverja 1000 m² undir gleri, sem er aðeins lægra en reynslutalan 1,5-2,0 l/s. Gróðurhúsin kaupa vatnið eftir hemli. Vatnsnotkunin 1986 sýnir að nýting toppaflsins (það sem gróðurhúsið fær mest um hemil) er mjög mismunandi, allt frá tæpum 3000 klst. upp í rúmar 8000 klst. Vegið meðaltal fyrir gróðurhúsin átta var 5200 klst. Varmapörf gróðurhúsa er nokkuð háð þeirri ræktun sem um er að ræða og skýrist munur á milli húsa eitthvað af því en einnig eru verslanir auk ræktunar í sumum húsunum. Orkuspárnefnd (1987) reiknaði með 40°C hitafalli við nýtingu vatns í gróðurhúsum. Fyrir 1,35 l/s í 5200 klst. áætlast orkunotkunin því 1200 kWh/m² undir gleri.

Gróðurhús sem er 1000 m² að flatarmáli (undir gleri) getur haft yfirborð sem nemur um 1600 m². Hitastig í gróðurhúsum er venjulega um 20°C. Ef miðað er við 5°C meðalárshita í Reykjavík og ef varmaflutningsstuðullinn er 8,4 W/m².°C, þá áætlast orkunotkunin yfir árið (8760 klst) því 1100 kWh/m² undir gleri. Sé miðað við -10°C sem það hitastig (frost) sem hitakerfi gróðurhúsa í Reykjavík þurfa að geta annað, jafngildir það 50% álagsstuðli. Ef garðyrkjubændur láta það nægja að halda 15°C innihita þegar úti er -10°C frost, jafngildir það 60% álagsstuðli. Af þessu má sjá að það getur skipt miklu máli hvað heita vatnið kostar og hvernig garðyrkjubændur láta smíða og reka hitakerfi í gróðurhúsum.

Þegar rætt er um virkjun jarðhita vegur þungt að geta annað mestu aflþörf. Þannig vaknar sú spurning hvaða afl þarf

fyrir 163.000 m² af gróðurhúsum, sem voru undir gleri 1985. Til þess að áætla aflíð má nota stuðulinn 8,4 W/m².°C, sem Axel V. Magnússon (1981) leggur til að lagður sé til grundvallar við hönnun. Þá þarf að áætla yfirborð þeirra gróðurhúsa sem hafa 163.000 m² undir gleri. Sem nálgun má notast við dæmigert gróðurhús þar sem gleryfirborð er 60% meira en flatarmál. Af þessu má ráða að 1985 hafi uppsett afl allra gróðurhúsa landsmanna verið um 55 MW, miðað við 25°C mismun úti- og innihita.

Rafferty (1986) hefur fjallað um hönnun gróðurhúsa við Bandarískar aðstæður.

Nokkur orð um lýsingu (Axel V. Magnússon, 1986). Á vetrum er birta takmarkandi vaxtapáttur og í raun er það svo að heita má að naumast sé um vöxt að ræða hjá plöntum hér á landi á tímabilinu síðarihluta október til fyrrihluta febrúar, við náttúrulegar aðstæður, enda þótt kjörhitastig plantna sé til staðar. Á síðari árum hafa verið teknar í notkun ljósgjafar sem nýta orkuna hlutfallslega vel og hefur það ýtt verulega undir notkun plöntulýsingar. Hingað til hefur þetta einkum haft þýðingu við uppeldi allskonar unglantna, þar sem hægt er að lýsa mikinn fjölda plantna án þess að kostnaður sé tilfinnanlegur. Lýstar plöntur eru að jafnaði miklu heilbrigðari en ólýstar, þegar birta er í lágmarki. Hið misjafna birtumagn, ekki aðeins munur á vetri og sumri, heldur einnig sveiflur í geislun á milli ára hafa afar mikil áhrif á uppskeru. Það að hiti skipti eingöngu máli er misskilningur. Geislun og þá einkum heildargeislun á vaxtarskeiði er afar mikilvægur þáttur og ekki síst geislun á aðal vaxtartíma. Þetta atriði orsakar líka misjafnt framboð, sem er mjög áberandi í íslenskri garðyrkju. Eins og fyrr getur er að nokkru leyti hægt að hafa áhrif á þenna þátt með plöntulýsingu, en eigi að síður er framleiðslumagn mjög háð árstíðum vegna birtu.

Nokkur orð um kolsýru. Vitað er að aukið kolsýrumagn í gróðurhúsum getur aukið vöxt og heilbrigði plantna. En það

var ekki fyrr en nýlega að farið var að framleiða kolsýru á Reykjanesi. Garðyrkjubændur hafa tekið þessari framleiðslu vel. Nú er svo komið að kolsýra er notuð í nokkrum gróðurhúsum, þó enn í litlum mæli. Eins og með lýsingu, hentar að auka kolsýru þar sem uppeldi plantna fer fram. Plönturnar virðast heilbrigðari ef kolsýrumagn í loftinu er aukið.

JARÐVEGSHITUN

Undanfarin ár hefur jarðvegshitun til að bæta skilyrði í útirækt aukist mikið. Er nú svo komið að flatarmál slíkra garða er orðið tæplega 82.000 m² (Borghildur Jóhannsdóttir o.fl., 1986). Þróun jarðvegshitunar tímabilið 1973 til 1986 er sýnt á 5. mynd (Orkusparnefnd, 1987). Á árunum 1973 til 1980 jókst flatarmál jarðvegshitaðar garða úr um 9000 m² í um 19.000 m² eða að meðaltali um rúm 11% á ári. Eftir 1980 hefur aukningin verið enn meiri eða að meðaltali rúm 27% á ári. Á árunum 1981 og 1983 jókst flatarmál garða mest eða um tæplega 18.000 m² hvort ár. Aukningin var næst mest árin 1982 og 1986 eða nálægt 11.000 m².

Jarðvegshitun í atvinnuskyni er stunduð á alls 16 garðyrkjubýlum, sem öll eru á Suðurlandi (Borghildur Jóhannsdóttir o.fl., 1986). Á 12 þessara býla er ræktað blómkál (tvö þeirra rækta eingöngu blómkál) í hituðum görðum, sem eru að flatarmáli rúmlega 7000 m². Hvítkál er ræktað á 11 býlum og eru þeir garðar að flatarmáli rúmlega 5000 m². Garðar að flatarmáli rúmlega 6000 m² eru eingöngu lagðir undir gulrætur en alls eru þær ræktaðar á 8 býlum. Kínakál er ræktað á fjórum þessara býla. Minna er um ræktun af öðrum tegundum í hituðum görðum. Á þessum 16 garðyrkjubýlum eru hituðu garðarnir tæplega 82.000 m² að flatarmáli. Sömu býli hafa um 60.000 m² af görðum sem ekki eru hitaðir. Þar að auki eru undir gleri hjá þessum aðilum rúmlega 22.000 m².

Jarðvegshitun með plaströrum hófst 1973 á Hvammi við Flúðir, Hrunamannahreppi. Frá 1979 hafa farið fram ýmsar mælingar og rannsóknir á upphitunarþætti jarðvegshitunar. Þá hafa ræktunaraðilar gert margvíslegar prófanir. Eftirfarandi efni hefur m.a. verið birt um þessar athuganir.

Fjölmörg erindi um jarðvegshitun voru flutt á ráðstefnu sem Orkustofnun efndi til 1980 (Jón Steinar Guðmundsson, 1982). Flutt voru erindi um eftirfarandi efni: Útirækt við jarðvegshitun (Óli Valur Hansson), Tilraunir með jarðvegshitun 1977-1980 (Sigurður Þráinsson), Veðurfar og garðyrkja á Íslandi (Hreinn Hjartarson), Lýsingartilraunir við Garðyrkjuskóla ríkisins 1975-1980 (Magnús Ágústsson), Mælingar á hitastigi og rennsli í pípulögðum görðum 1980 (Jón Steinar Guðmundsson), Markaðsmál garðyrkjuafurða (Þorvaldur Þorsteinsson) og Ylræktarver (Vilhjálmur Lúðvíksson).

Með jarðvegshitun má auka bæði uppskerumagn og fjölbreyttni í útiræktun matjurta ásamt því að minnka líkurnar á uppskerubresti í slæmu árferði. Jarðveginn má hita með því að láta heitt vatn streyma í niðurgröfnum plaströrum. Gerðar voru mælingar á hitastigsdreifingu í jarðvegi umhverfis heit rör og orkubúskapur jarðvegshitunar metinn (Grétar Leifsson og Jón Steinar Guðmundsson, 1981). Fundnar voru stærðfræðilegar jöfnur, sem leggja má til grundvallar við hönnun pípukerfa í upphitaða garða. Miðað við líkleg gildi á helstu áhrifapáttum jarðvegshitunar, voru útbúnar hönnunarleiðbeiningar fyrir ylræktarráðunauta og tæknimenn. Þessar leiðbeiningar voru settar fram á nokkrum myndum. Fram kom að rörin geta verið á 50-90 cm dýpi. Ef notað er 60°C vatn sem kælt er niður í 30°C þá ættu að vera 80-280 cm á milli roranna fyrir þessi dýpi.

Í grein eftir Jónsson o.fl. (1982) er fjallað um jöfnur þær sem lýsa hitastigsdreifingu í jarðvegshitun. Í grein eftir Guðmundsson (1983) er fjallað um mælingar í hituðum görðum og áhrif upphitunar á uppskeru, ásamt stöðu jarðvegshitunar hér

á landi. Jöfnur til hönnunar koma fram í báðum greinunum.

Samantekt um jarðvegshitaða garða 1986 hefur verið gefin út sem skýrsla á Orkustofnun (Borghildi Jóhannsdóttur o.fl., 1986). Þar er öllum jarðvegshituðum görðum lýst og birtar teikningar af hitalögnum og öðrum einkennum. Þannig fengust upplýsingar um þróun og stöðu jarðvegshitunar í landinu. Samantektinni var m.a. dreift til garðyrkjubænda.

HEIMILDIR

- Axel V. Magnússon (1981): Gróðurhúsabyggingar, Búnaðarfélag Íslands.
- Axel V. Magnússon (1986): Gróðurhúsarækt - Ylrækt, Búnaðarfélag Íslands.
- Borghildur Jóhannsdóttir, JoAnne Graber og Jón-Steinar Guðmundsson (1986): Samantekt um jarðvegshitaða garða, Orkustofnun, OS-86-058/JHD-21.
- Grétar Leifsson og Jón-Steinar Guðmundsson (1981): Jarðvegshitun: hönnun pípukerfa fyrir upphitaða garða, Orkustofnun, GL-JSG-81/04.
- Gudmundsson, J.S. (1983): Geothermal soil heating in Iceland, Transactions, Geothermal Resources Council, vol. 7, 601-606.
- Gudmundsson, J.S. and Lund, J.W. (1985): Direct uses of earth heat, Energy Research, vol. 9, 345-375.
- Jensen, J.H. Klougart, A. og Nielsen, V. (1980): Væksthus-
teknik, Væksthusinfo.
- Jón-Steinar Guðmundsson (1982): Nýting jarðhita við garðyrkju, Orkustofnun, OS-82-027/JHD-03.
- Jónsson, V.K., Leifsson, G. and Gudmundsson, J.S. (1982): Subsurface soil heating with geothermal water in pipes: numerical solutions of the energy equation, Int. Conf. Geothermal Energy, Florence, Italy.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1964): Commercial Glasshouses - Siting, Types, Construction and Heating, Bulletin No. 115, Her Majesty's Stationery

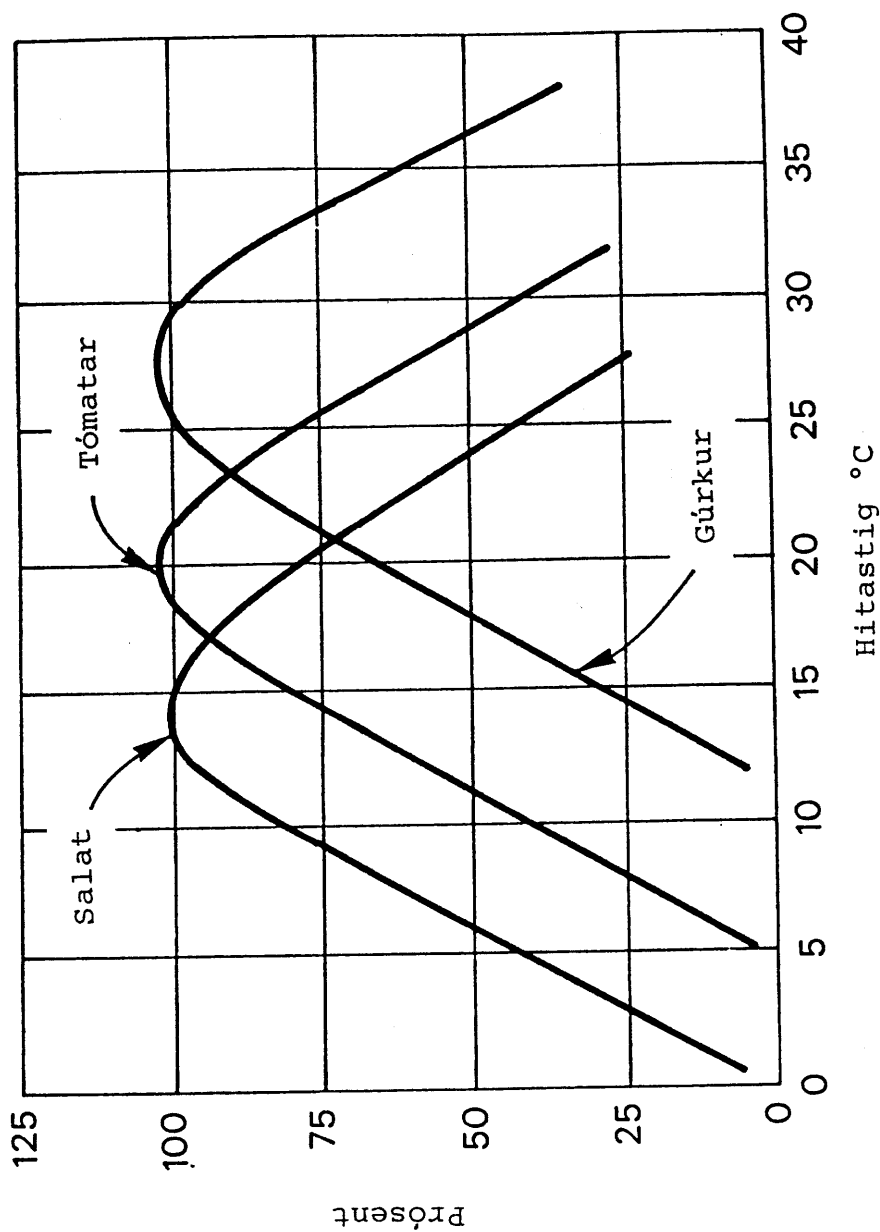
- Office, London, 111 bls.
- Orkusparnefnd (1987): Jarðvarmaspá 1987-2015, Orkustofnun, OS-87045/OBD-01.
- Óli Valur Hansson (1982): "Útiræktun við jarðvegshitun," Nýting jarðhita við garðyrkju (Jón-Steinar Guðmundsson, ritstjóri), Orkustofnun, OS-82027/JHD-03, 1-5.
- Rafferty, K. (1986): Some considerations for the heating of greenhouses with geothermal energy, Geothermics, vol. 15, no. 2, 227-244.
- Rannsóknaráð ríkisins (1986): Þróun fiskeldis, Rit 1986:1, 92 bls.

1. tafla - Kjörhiti nokkurra álitlegra eldistegunda, miðað við ofgnótt fóðurs (Rannsóknaráð ríkisins, 1986).

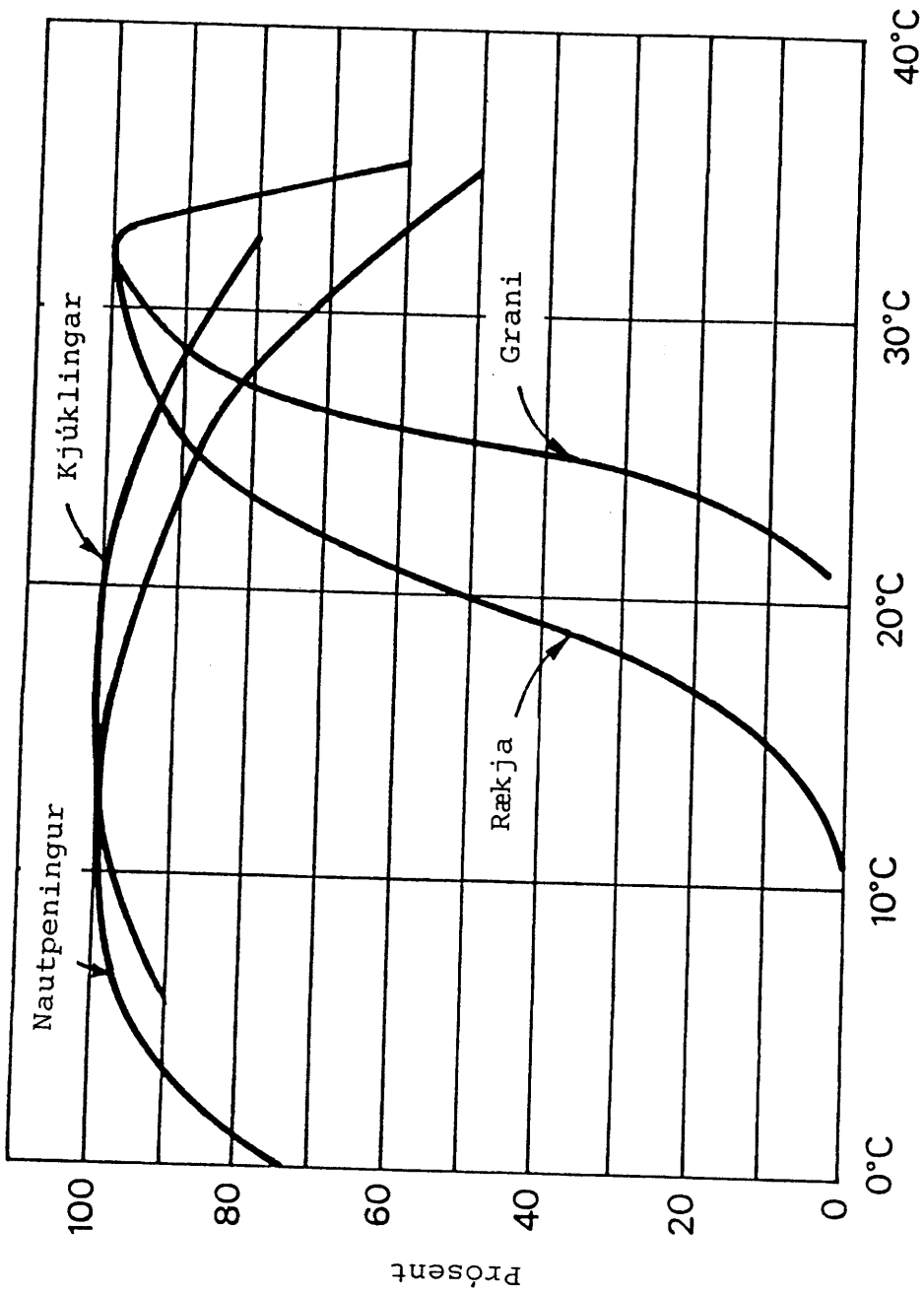
Tegund	Kjörhiti (°C)	Stærð (g eða cm)
Porskur	8-10	-
Atlantshafslax	10-14	0,1-30 g
Urriði	13	10-300 g
Bleikja	14	0,1-20 g
Rauðspretta	14	10-500 g
Sandhverfa	14	10-500 g
Regnbogasilingur	17	0,3-3 g
Áll	25	5-400 g
Kræklingur	12	1-7 cm
Risaferskvatnsrækja	25-30	0,5-320 cm

2. tafla - Helstu tegundir ræktaðar í gróðurhúsum 1986 (Orkuspárnefnd, 1987).

Tegund	Flatarmál (m ²)
Tómatar	42.000
Gúrkur	20.000
Paprika	9.000
Salat	...
Kínakál	...
Gulrætur	...
Rósir	16.000
Chrysanthemum	8.000
Sóllilja	2.000
Nellikur	2.000
Laukar og hnyði	...
Pottaplöntur	14.000
Sumarblóm o.fl.	12.600

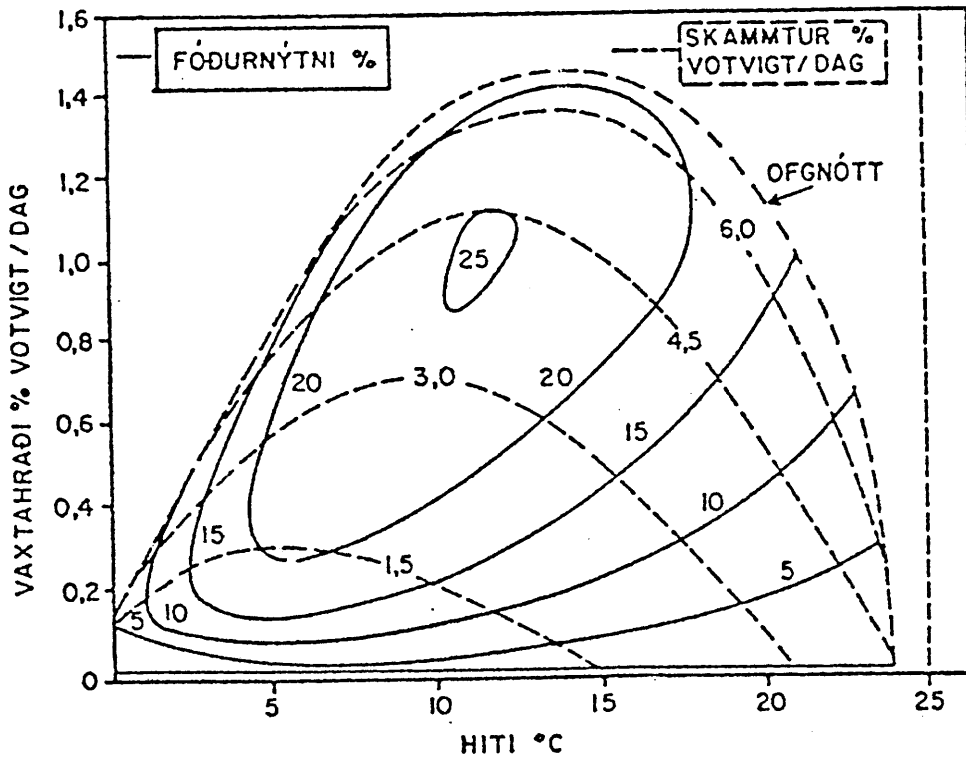


1. mynd - Vaxtarhraði gúrka, tómata og salats sem prósent af mesta vaxtarhraða (Gudmundsson & Lund, 1985).

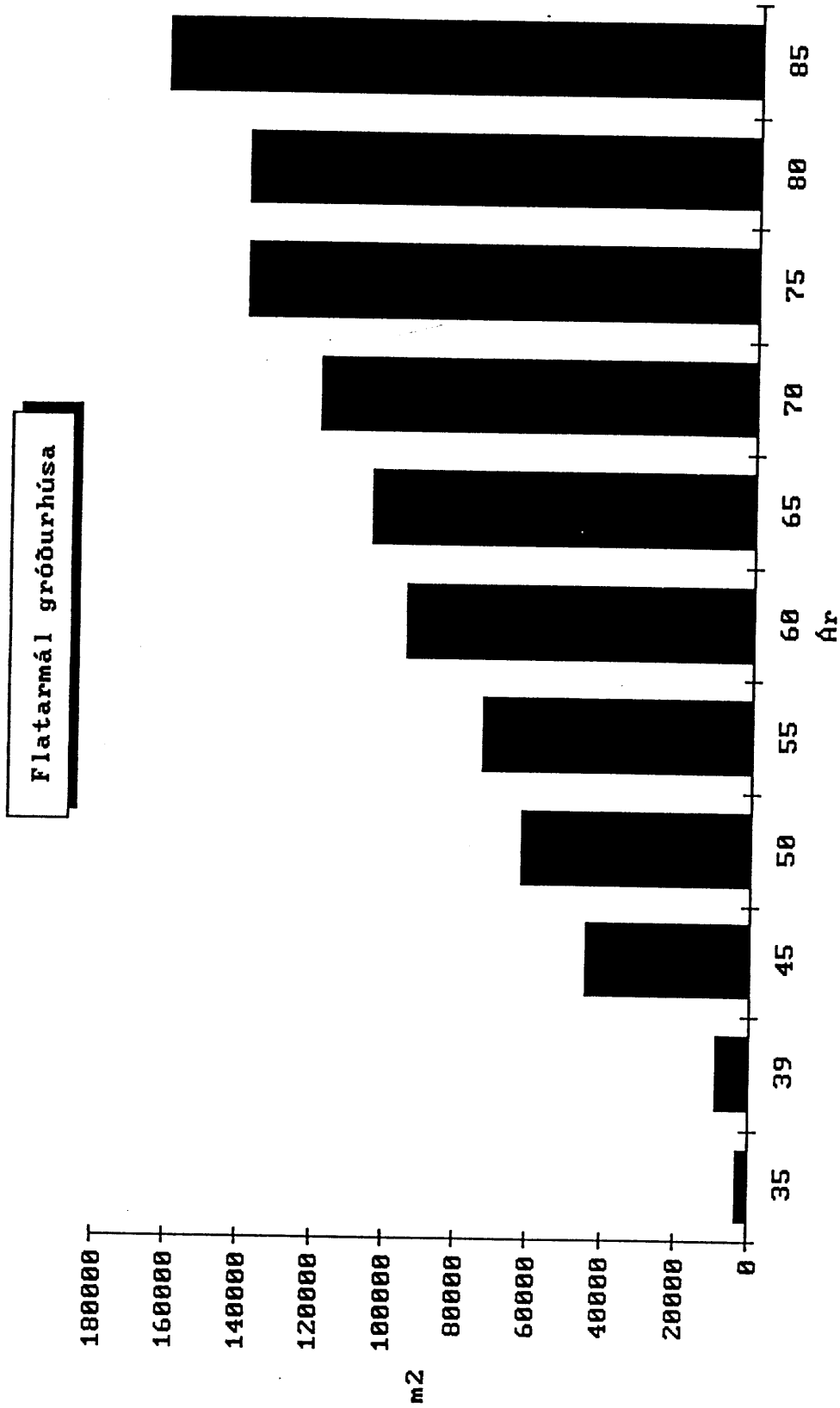


Hitastig °C

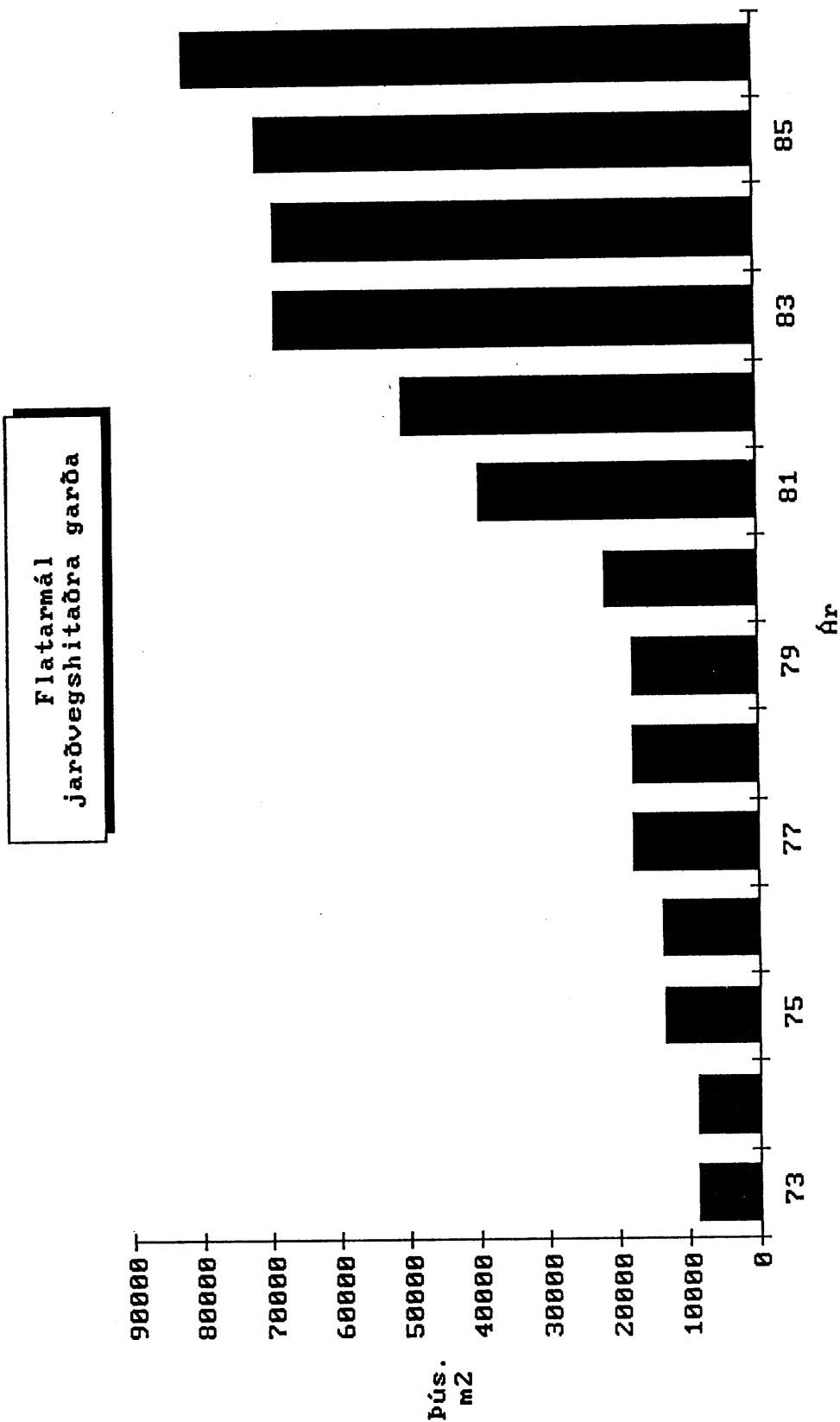
2. mynd - Vaxtarhraði fiska sem prósent af mesta vaxtarhraða (Gudmundsson & Lund, 1985).



3. mynd - Samband vaxtarhraða, hita og fóðurnýtingar fyrir rauðlax (Rannsóknaráð ríkisins, 1986).



4. mynd - Flatarmál gróðurhúsa (Orkuspárnefnd, 1987).



5. mynd - Flatarmál jarðvegshitaðra garða (Borghildur Jóhannesdóttir o.fl., 1986).

GRÓÐURHÚSABYGGINGAR

Axel V. Magnússon

(1981)

1. Staðsetning

Nýja garðyrkjustöð skal skipuleggja með tilliti til þeirrar ræktunar, sem þar á að fara fram, og framtíðaruppbyggingar, þar sem gert er ráð fyrir allri þeirri aðstöðu og byggingum, sem nauðsynlegar eru á viðkomandi garðyrkjustöð. Fjarlægð milli gróðurhúsa skal vera sem næst breidd húsanna. Geymslu- og þökkunarhús, vinnuskúrar, moldargeymslur, véla- og verkfæra-geymslur, skulu staðsetjast norðan við gróðurhúsin. Þessi hús skulu ekki vera sambyggð við gróðurhúsin. Gróðurhúsin skulu snúa hliðum móti suðri, eftir því sem landslag og aðrar aðstæður leyfa, en einnig skal taka tillit til ræktunartegunda og ræktunaraðferða. Rétt er að athuga, að það getur aukið birtuna verulega að nota ljósa mól í kringum gróðurhúsin.

2. Undirstöður

Gæta skal þess, að undirstöður burðarveggjanna séu traustar og þarf frágangur allur að vera svipaður og annarra húsa. Steyptir hliðarveggir skulu ekki vera lægri en 20 cm yfir moldaryfirborðinu í gróðurhúsunum. Ekki skal steypa gafla og norðurhlið gróðurhúsa, nema ef ytri aðstæður krefjast þess. Þar sem burðargrindin kemur niður í burðarveggina, verður sökkullinn að vera nægjanlega traustur, og tryggt skal að frost geti ekki valdið skemmdum.

3. Framræsla

Framræslupípur skal leggja langsum í gróðurhúsin í 75-125 cm dýpt með 2,0 m millibili. Pípurnar næst hliðunum mega þó ekki vera fjær en 0,5 m. Framræslulögn skal liggja fyrir utan hús, til að leiða burt yfirborðsvatn. Rörin skulu liggja sem næst neðri brún sökkla. Framræslulagnir skulu

vera úr 100 mm steinsteyptum pípum ópökkuðum eða götuðum plaströrum. Æskilegt er, að framræslulagnir liggi í hreinsibrunn.

4. Burðargrind

Burðargrind gróðurhúsa skal vera úr járni. Leggja skal fram séruppdrætti af burðargrind gróðurhúsa, er sýni allan frágang í einstökum atriðum. Uppdrættir séu byggðir á sérfræðilegum útreikningum. Við burðarpolsreikning skal reikna með vindalagi 120 kg/m². Snjópunga skal reikna 25 kg/m² á láréttan flöt sunnan- og vestanlands, 50 kg/m² norðan- og austanlands. Leyfilega járnspennu má hækka um allt að 20%. Póstar (sprossar) séu járn, álprófilar eða tré. Vegg hæð skal ekki vera minni en 2,10 m og þakhalli ekki minni en 25°.

5. Yfirborðsáferð

Allt járn skal vera ryðvarið með viðurkenndum efnum t.d. kaldgalvinserað eða rústbarið og menjað. Allt timbur skal fúaverja (gagnvarið). Allt timbur og járn skal mála í ljósum lit (hvítleitt) eða silfurbrónza.

6. Gler-Plast

Nota skal gler eða plast eftir því sem henta þykir. Plast skal vera trefjaplast, acrylplast eða annað það plast, sem hefur birtuskilyrði á við gler. Gler skal ekki skara meira en 1,5 cm. Plast sé þétt með öruggum þéttingum. Ekki skal að jafnaði hafa stærri glervíddur en 4 x 700 x 900 mm.

7. Loftræsting

Öll gróðurhús skal loftræsta með fullnægjandi loftræstiútbúnaði. Afköst loftræstitækja skulu vera 50-70 m³/m² á klst. Sé loftræst með gluggum skal fremur loftræsta í gegnum glugga í þaki en á hlið. Stærð opnanlegra glugga skal vera 5-6% af grunnfleti hússins miðað við frítt op. Gluggar séu opnaðir með tannstöngum eða útbúnaði, sem leikur

á rörum eða teinum. Séu gluggar opnaðir með sjálfvirkum útbúnaði, skal nota rafmagnsmótora og rofastilli eða loftþrýstiloka og loftþrýsti-stilli eða annað jafngott. Ef viftuútbúnaður er notaður, skulu mótorar vera rakapéttir, vifta sé tengd sjálfvirkum hitastilli. Frágangur á viftum skal vera þannig að loftop þeirra séu fullkomlega þétt, þegar þær eru ekki í notkun. Loftinntak skal vera þannig, að viftur geti starfað óhindrað og eðlilega.

8. Hitalögn

Hitalögn skal reikna út í hverju einstöku tilfalli. Við útreikninga skal reikna með kólnunartölunni $6 \text{ kcal/m}^2/\text{klst}/^\circ\text{C}$ fyrir gler í trésprossum og $6,5 \text{ kcal/m}^2/\text{klst}/^\circ\text{C}$ fyrir gler í járn eða álsprossum. Leggja skal til 10% vegna vinda. Nota skal fremur grönn rör en sver. Við útveggi og gafla skal aðeins setja þann rörafjölda, sem er nauðsynlegur til að svara því hitatapi, sem fer um útveggina. Af því rörmagni, sem eftir er, skal staðsetja 60-80% eins neðarlega og hægt er, afganginn skal staðsetja upp í húsinu í um 2,5 m hæð. Við staðsetningu röra skal taka tillit til þeirrar ræktunar, sem fer fram í gróðurhúsinu. Innbyrðis millibil á milli lóðréttra röra skal ekki vera minni en 25 cm. Til að öðlast jafna dreifingu á hitanum, skal skipta hitaflötum og vatns-hringrásin í gegnum hitalögnina skal ganga svo fljótt fyrir sig, að hitamismunur við inntak og úttak verði mest 15°C . Æskilegt er að hitakerfi sé sjálfstýrt þ.e. notaðir séu segullokak eða mótorklokar, sem stjórnað er með hitaþreifara. Við útreikninga á röramagni má reikna með eftirfarandi líkingu:

$$R = \frac{W}{FK} \left(\frac{T_f + T_b}{2} - T_i \right)^{-1}$$

W	hitatapi í gróðurhúsi í kcal/klst
R	röralengdin í m
F	rörayfirborð í m^2 pr. 1 m af röri
K	kólnunartala hitarörs kcal/ $\text{m}^2/\text{klst}/^\circ\text{C}$
T_f	framrennslshitastig hringrásarvatns $^\circ\text{C}$

T_b bakrennslitastig hringrásarvatns °C
 T_i hitastigið í gróðurhúsinu °C

Reikna má með eftirfarandi kólnunartölum fyrir rör: 2" 11,3 kcal/m²/klst/°C, 1-1/4" 12,1 kcal/m²/klst/°C. Kólnunartölur miðast við, að loft geti óhindrað leikið um rörin, ef loftstreymi um rörin er hindrað, skal minnka kólnunar-töluna.

Við ákvörðun á lágsta innihita í gróðurhúsum má nota eftirfarandi tölur til viðmiðunar:

Tómatar	18°C
Gúrkur	18-20°C
Nellikur	10-12°C
Rósir	12-14°C
Pottaplöntur	14-15°C

9. Vökvun

Í öllum gróðurhúsum skal vera vökvunarútbúnaður. Gerð vökvunarútbúnaðar skal vera í samræmi við ræktunartegund og ræktunaraðferð.

10. Gerfilýsing

Í gróðurhúsum skal vera útbúnaður fyrir gerfilýsingu, þar sem þess gerist þörf. Þar sem gerfilýsing er notuð, þarf að athuga eftirfarandi:

- Gerfilýsing vegna uppeldis: ljósgjafinn skal vera orkumikill (100-250 watt/m²).
- Gerfilýsing vegna blómgunar: ljósgjafinn skal vera orkulítill (25-40 watt/m²).

11. Koltvísýringsgjöf

Í öllum gróðurhúsum skal vera aðstaða fyrir koltvísýringsgjöf.

SAMANTEKT UM ERINDI OG UMRÆÐUR

Valdimar K. Jónsson, Háskóla Íslands

Jón-Steinar Guðmundsson, Orkustofnun

SAMANTEKT UM ERINDI OG UMRÆÐUR

Valdimar K. Jónsson
Jón-Steinar Guðmundsson

Námstefnan var haldin dagana 16.-18. nóvember á vegum Endurmenntunarnefndar Háskóla Íslands. Helsta markmið námstefnunnar var að miðla þekkingu á nýtingu jarðhita og kynna möguleika á betri notkun hans. Í námstefnunni tóku þátt um 30 manns og voru flutt 11 erindi og fram fóru umræður um þau. Einnig voru heimsótt nokkur fyrirtæki sem nota jarðhita.

Nýting á vatni hjá hitaveitum hefur batnað þegar skipt er frá hemlum yfir í mæla. Þetta sýnir sig bæði í aflí og orku. Hér á landi hafa menn einblínt á eina leið til upphitunar á húsum þ.e. með ofnum. Ekki hefur ætíð verið tekið nægilegt tillit til eðli jarðhitans við hönnun hitakerfa í húsum. Ofnar eru almennt slakir varmaskiptar, en geislahitun og lofthitun húsa nýta jarðvarmann mun betur en ofnahitun. Eitt sem hefur valdið sumum hitaveitum vandræðum er að jarðhitasvæðin eru ekki ótæmandi orkulind. Hér þurfa hitaveitur að bregðast rétt við í vali á öðrum orkugjöfum þegar þær þurfa að meta hagkvæmni milli grunnafls og toppafls í mati á jaðarkostnaði. Eitt af þýðingarmestu atriðum hjá hitaveitum er að láta fylgjast vel með forðafræði jarðhitans og hvernig jarðhitasvæðin bregðast við sífellt aukinni notkun. Hér er öflug rannsóknastarfsemi mikilvæg. Einnig var sýnt fram á að með því að stýra betur framrásarhita hjá hitaveitum eftir álagi mætti bæta nýtinguna og minnka orkutap í lögnum. Komið hafa fram hugmyndir um að sumar hitaveitur gætu aukið tekjur sínar með því að bjóða til sölu heitt vatn utan aðal-húshitunartíma, t.d. til fiskeldisstöðva.

Framleiðsla á kolsýru og þurris úr jarðhita var tekin upp hjá Sjóefnavinnslunni 1986. Hér koma fram ótal möguleikar til notkunar svo sem í gosdrykkjaframleiðslu, kolsýrunotkun í gróðurhúsum, kælingu í gámum, til slátrunar í sláturhúsum og

á eldisfiski o.fl. Einnig er til athugunar önnur efnavinnsla úr jarðsjó. Hægt er að flytja jarðgufu á hagkvæman hátt lengra en áður var haldið. Æskilegt væri að koma upp gufuveitum til afhendingar á gufu á ákveðnum stöðum t.d. nærri Reykjavík og við Grindavík. Þetta gæfi smá fyrirtækjum möguleika á að nota ódýra gufu. Fiskimjölsverksmiðjur nota um 60-70 þús. tonn af svartoliu til þurrkunar. Með því að fækka verksmiðjum og byggja tvær stórar á Húsavík og Grindavík, sem notuðu jarðhitagufu til þurrkunar, gæti reksturinn orðið hagkvæmari og gjaldeyrissparandi.

Þurrkun á grænmeti og fiski með jarðhita er hægt að stórauka, bæði á skreið, saltfiski og harðfiski. Þurrkun annarra fiskafurða er enn óþlögður akur. Rétt væri að taka upp að nýju athugun á ylræktarveri, sérstaklega vegna nýrrar þróunar í lýsingu á plöntum og annarar tæknilegrar þekkingar sem er betur þekkt nú. Mikil aukning hefur verið í jarðvegshitun grænmetisgarða á síðustu árum, sem eykur uppskeru verulega. Til þess að gera orku frá háhitasvæðum sem ódýrasta, er nauðsynlegt að hafa fjölpætta nýtingu á henni eða gjörnýtingu. T.d. væri hægt að nota jarðhitann til raforkuframleiðslu, þurrkunar, hitunar, fiskiræktar eða jarðvegshitunar og að lokum til heilsuræktar, allt samtímis þannig að orkan gjörnýttist. Svo þetta gæti tekist þyrfti rekstur orkuveitunnar að vera í höndum sérfræðinga á því sviði, en viðskiptavinirnir (fyrirtækin) þyrftu ekki að hafa áhyggjur af orkuöflun og gætu sinnt sínu sérsviði betur. Huga verður að verðlagningu orkunnar á hverju vinnslustigi, sem væri háð hita og ástandi við afhendingu. Einnig kæmi forðafræðin inn í heildarverðlagningu jarðhitans. Mikil þörf er fyrir þjálfun starfsfólks jarðhitafyrirtækja og aukinni miðlun á reynslu milli þeirra.