

Landsvirkjun

Orkustofnun

**Rafmagnsveitur
ríkisins**

VARMADÆLA TIL HÚSHITUNAR

Tilraun gerð á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu

Gísli Júlíusson, Landsvirkjun

María Jóna Gunnarsdóttir, Orkustofnun

Róbert Magnússon, Rafmagnsveitum ríkisins

Reykjavík

Apríl 1982

Unnið fyrir

Orkusparnaðarnefnd

Iðnaðarráðuneytisins

Landsvirkjun

Orkustofnun

**Rafmagnsveitur
ríkisins**

VARMAÐÆLA TIL HÚSHITUNAR

Tilraun gerð á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu

Gísli Júlíusson, Landsvirkjun

María Jóna Gunnarsdóttir, Orkustofnun

Róbert Magnússon, Rafmagnsveitum ríkisins

Reykjavík

Apríl 1982

Unnið fyrir

Orkusparnaðarnefnd

Iðnaðarráðuneytisins

EFNISYFIRLIT

1	FORSAGA	1
2	TÆKNILEG LÝSING Á VARMADÆLU	3
3	ÞÓRGAUTSSTAÐIR	6
3.1	Staðarlýsing	6
3.2	Jarðhiti	6
3.3	Efnagreining á vatni	7
3.4	Dæling á jarðhitavatni	8
3.5	Kerfislýsing	8
3.6	Mælingar	10
3.7	Áætluð orkupörf húss	11
4	HAGKVÆMNIATHUGUN	13
4.1	Stofnkostnaður	13
4.1-01	Varmadæla	13
4.1-02	Vinna	13
4.1-03	Efni	13
4.1-04	Heildarstofnkostnaður	14
4.2	Einingarverð orku	14
4.2-01	Olíuhitun	14
4.2-02	Rafhitun	14
4.2-03	Raforkuverð til varmadælu	15
4.2-04	Samantekt	15
4.3	Niðurstöður	15
5	ÁLYKTANIR	22
6	VIÐAUKI A: MÆLINGAR	24
7	VIÐAUKI B: HAGKVÆMNIÓTREIKNINGAR	27

1. KAFLI

FORSAGA

Á vegum iðnaðarráðuneytisins hefur frá því á miðju ári 1979 starfað sérstök orkusparnaðarnefnd. Í tillögum sem nefndin lagði fram vorið 1980 um aðgerðir í orkusparnaði á tímabilinu 1. maí 1980 - 30. apríl 1981 segir m.a.: "veittur verði styrkur til kaupa á varmadælu til tilraunareksturs á einhverju sveitabýli og hagkvæmni þess að draga úr rafafloppörf í dreifbýlinu með þessum hætti, metin í ljósi niðurstaðna af þeirri tilraunastarfsemi." Sumarið 1980 undirbjó nefndin málið og fékk til liðs við sig Gísla Júlíusson, verkfræðing, en hann hafði áður tekið þátt í störfum hóps áhugamanna um varmadælu. Í júlí 1980 var auglýst í dagblöðum eftir bændum, sem áhuga hefðu á að taka þátt í tilrauninni. Auglýsingunni svöruðu 11 bændur og auk þess létu tveir umboðsaðilar áhuga í ljós. Í september 1980 lagði orkusparnaðarnefnd til við iðnaðarráðuneytið, að skipuð yrði framkvæmdanefnd til að sjá um tilraunina. Iðnaðarráðuneytið sendi þá Landsvirkjun, Orkustofnun og Rafmagnsveitum ríkisins svohljóðandi bréf:

"Orkusparnaðarnefnd hefur í samráði við iðnaðarráðuneytið ákveðið að gera tilraun með notkun varmadælu hér á landi og er áætlað að verja 3 milljónum króna (g.kr.) í ár til þessarar rannsóknar. Nefndin hefur auglýst eftir áhugaaðilum sem vildu taka þátt í tilrauninni og fylgir yfirlit yfir þá sem hafa gefið sig fram hér með. Þrír þessarar staða, Hofstaðir, Framnes og Tungufell hafa verið valdir til nánari greiningar.

Á fundi nefndarinnar 10. september 1980 var ákveðið að setja á laggirnar sérstaka framkvæmdanefnd til að sjá um áframhald þessa máls. Hlutverk nefndarinnar yrði að annast endanlegt val á tilraunastað, velja og útvega heppilega varmadælu, sjá um hönnun og uppsetningu tækjabúnaðar, fylgjast með og annast nauðsynlegar mælingar og eftirlit með tilrauninni og leggja mat á niðurstöður og ganga frá greinargerð að henni lokinni.

Samþykkti nefndin að leita til Orkustofnunar, Landsvirkjunar og Rafmagnsveitna ríkisins um tilnefningu á manni í áður nefnda framkvæmdanefnd.

Hér með er þess farið á leit við Landsvirkjun, (Orkustofnun og Rafmagnsveitur ríkisins) að hún (þær) tilnefni mann í umrædda framkvæmdanefnd og jafnframt að stofnunin sjálf kosti þá vinnu sem viðkomandi nefndarmaður kemur til með að inna af hendi vegna þátttöku í framkvæmdanefndinni."

Í nefndina voru skipuð:

Gísli Júlíusson, Landsvirkjun
María Jóna Gunnarsdóttir, Orkustofnun og
Róbert Magnússon, Rafmagnsveitum ríkisins

Nefndin hóf störf í október 1980. Hennar fyrsta verk var að skrifa um 20 varmadæluframleiðendum í Þýskalandi og Bandaríkjunum og einnig nokkrum hérlendum umboðsmönnum. Spurst var fyrir um verð og afgreiðslutíma á varmadælum, er nýtt gætu jarðhitavatn á bilinu 10-40 °C. Slík tæki skyldu skila heitu vatni á bilinu 50-80 °C og vera 6-15 kW að hitunarafli. Samhliða þessu var unnið að því að afla upplýsinga um jarðhita og aðrar aðstæður á þeim stöðum, sem svör við auglýsingunni höfðu borist frá. Að vandlega athuguðu máli var ákveðið að gera tilraunina að Þórgautsstöðum í Hvítársíðu.

Tilboð komu frá 11 þýskum varmadæluframleiðendum. Voru þeir spurðir hvort þeir gætu afgreitt tæki með einfasa þjöppu og 10 °C hitafalli á fæðivatni. Fimm framleiðendur kváðust geta afgreitt varmadælu með einfasa þjöppu án aukakostnaðar, en aðeins tveir þeirra gáfu upp 10 °C hitafall án aukakostnaðar þar sem staðall þeirra allra er 5 °C hitafall.

Ákveðið var að kaupa varmadælu (vatn-vatn) frá fyrirtækinu HVV (Heiztechnik, Vorrichtungsbau und Vertriebsgesellschaft, GmbH). Í flutningi til landsins tapaðist varmadælan og tafðist tilraunin við það um fjóra mánuði.

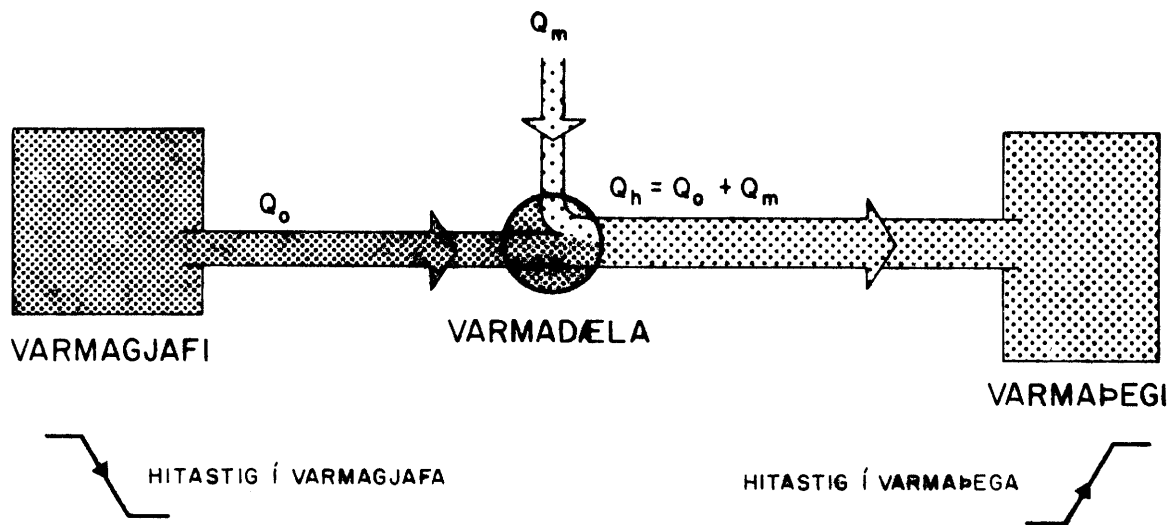
Varmadælan var síðan sett upp að Þórgautsstöðum í nóvember 1981. Verkið var unnið af fyrirtæki Sveins Jónssonar, vélstjóra, sem sérhæft er í uppsetningu og viðhaldi á frystitækjum.

Orkusparnaðarnefnd styrkti kaup og uppsetningu dællunnar með 63.500 kr. samkvæmt kostnaðaráætlun framkvæmdanefndar. Innkaupadeild Rarik sá um pöntun dællunnar og greiðslur vegna afgreiðslu og uppsetningar dællunnar. Orkustofnun lagði til mælitæki vegna tilraunarinnar. Rafmagnsveitur ríkisins, Orkustofnun og Landsvirkjun kostuðu vinnu nefndarmanna.

2. KAFLI

TÆKNILEG LÝSING Á VARMADÆLU

Varmadæla er tæki til hitunar. Hún getur notað sem aflgjafa rafmagn, olíu eða gas eftir því sem við á. Varmadælan, sem hér um ræðir, gengur fyrir rafmagni, og vinnur því varma úr umhverfinu með raforku. Í aðalatriðum svipar varmadælum mjög til frystivéla. Mynd 2.1 sýnir varmaflæðið í gegnum dæluna.



MYND 2.1 Varmaflæði í varmadælu

Á myndinni er Q_o varminn frá varmagjafa, Q_m er varminn frá þjöppu, og Q_h er heildarvarminn sem skilast til varmaþega. Varmaberinn í varmadælukerfinu, sem er lokuð hringrás, er venjulega Freon, eða annar kælivökvi af flúorkolvetnisgerð. Vökvinn gufar upp í uppgufaranum (sjá nánar á mynd 3.3), eins og í eiminum í kælivél. Þjappan sogar til sín gufuna, sem myndast, og þjappar henni saman. Við þjöppunina hitnar gufan og þrýstist inn í þéttinn (eimsvalann), þar sem hún þéttist og gefur frá sér varma. Varminn í þjöppumótornum nýtist einnig. Kælmiðillinn fer síðan eftir kælingu í gegnum þrýstiminnkara og breytist þar með í vökva, sem gufar síðan upp aftur.

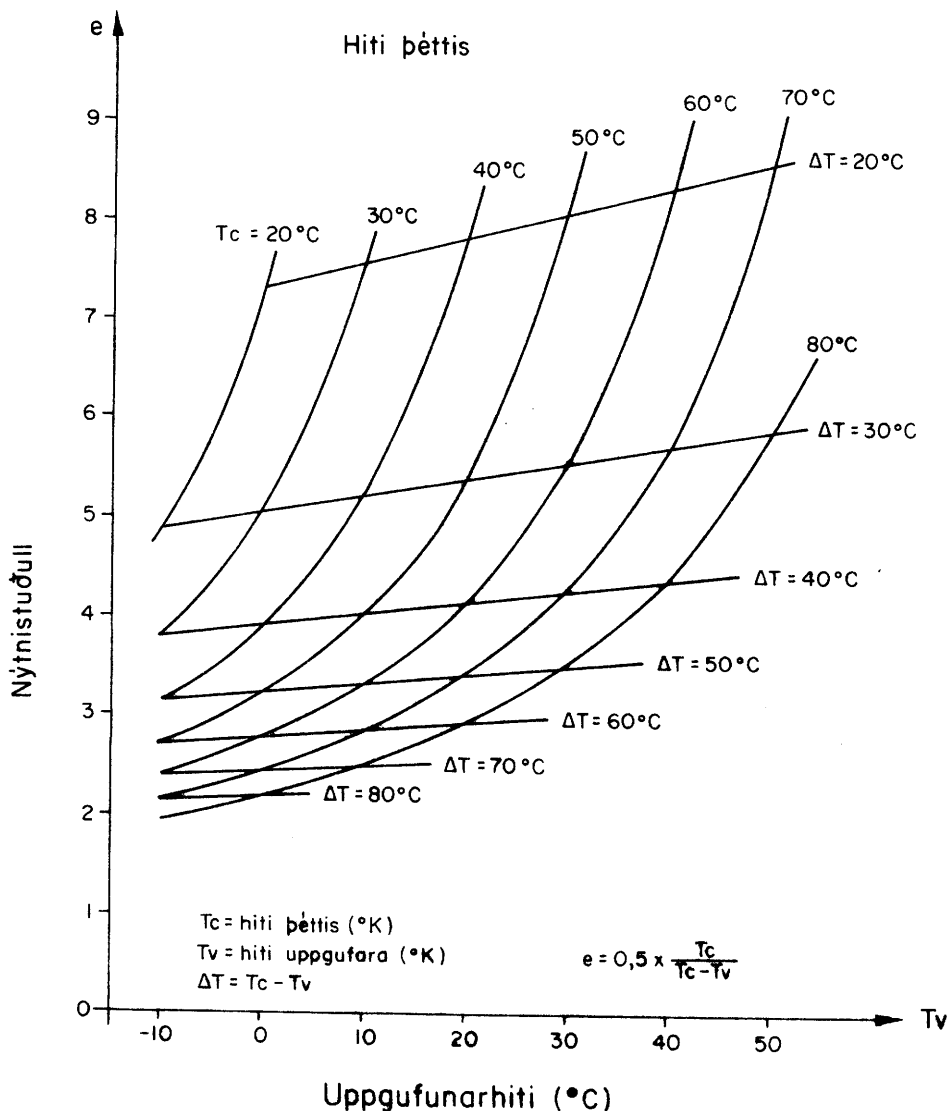
Hlutfallið

$$Q_h/Q_m = (Q_o + Q_m)/Q_m = e \tag{2.1}$$

er kallað nýtnistuðull. Nýtnistuðullinn er því skilgreindur sem hlutfall þeirrar orku, er fæst frá varmadælunni, og orkunnar, sem þarf til þess að knýja hana. Nýtnistuðullinn má enn fremur rita sem

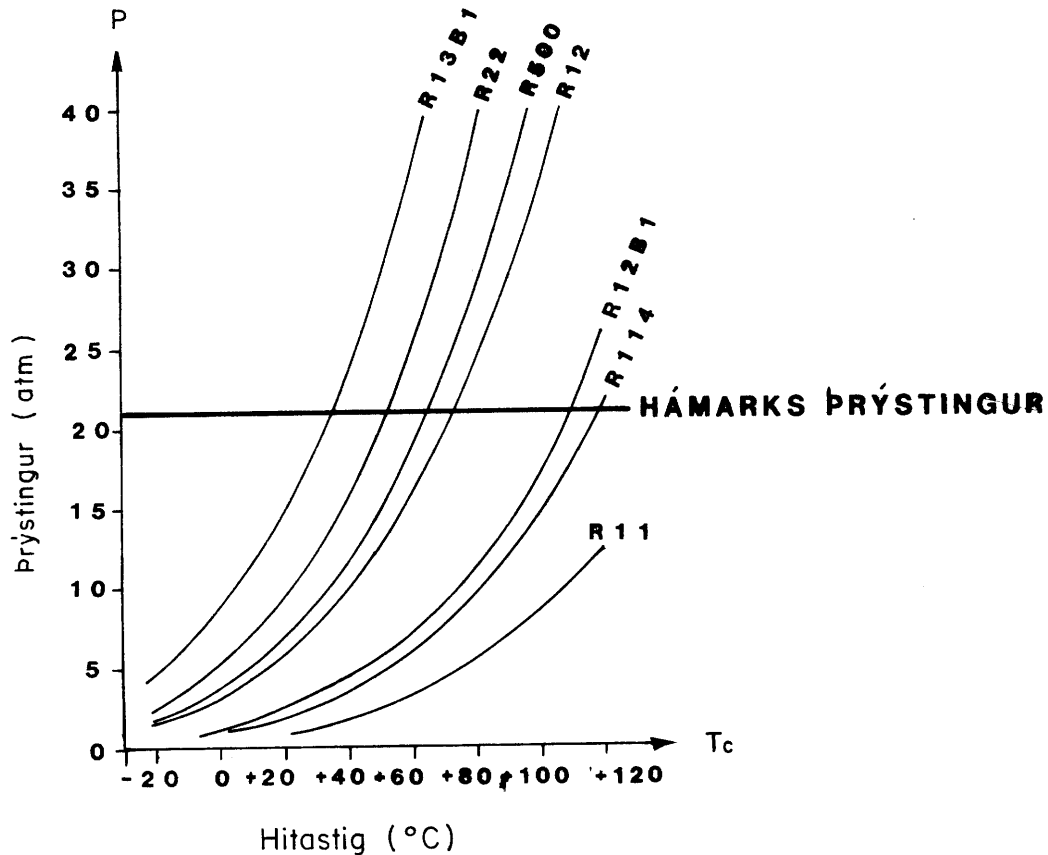
$$e = a T_c / (T_c - T_v) \tag{2.2}$$

þar sem T_c er hitastig kælimiðilsins við þéttingu ($^{\circ}K$), T_v er hitastigið við uppgufun og a er stuðull, einnig háður hitastigsmuninum $T_c - T_v$ og er einkennandi fyrir kerfið ($a = 1$ gefur fræðilegan nýtnistuðul; a er alltaf < 1). Sem dæmi má taka að fyrir Þórgautsstaðadæluna er $T_v = 4^{\circ}C$, $T_c = 63^{\circ}C$, og mældur nýtnistuðull $e = 3$. Þar er því $a = 0,53$. Oft er $0,4 < a < 0,6$. Á mynd 2.2 er sýnt hvernig nýtnistuðullinn breytist með T_c , T_v og ΔT þegar $a = 0,5$.



MYND 2.2 Dæmi um breytingu nýtnistuðuls með hitastigi við uppgufun og þéttingu.

Mynd 2.3 sýnir sambandið á milli gufuprýstings og hitastigs fyrir ýmsa algengustu kælimiðla, sem notaðir eru fyrir varmadælur.



MYND 2.3 Samband gufuprýstings og hitastigs fyrir algenga kælimiðla.

Svera lárétta línan sýnir hæsta leyfilega prýsting fyrir venjulegar varmadælupjöppur. Sýnilegt er að hæsta hitastig er mismunandi eftir kælimiðlum. Varmaflutningsgetan er minni hjá þeim kælimiðlum sem ná herra hitastigi og þarf þá að nota stærri þjöppur.

Með R12 sem notað er í þessari tilraun má komast upp í um 70 °C samkvæmt þessu línuriti en með R22 sem er algengur kælimiðill er hæsta hitastig með hæsta leyfilegan prýsting um 55 °C.

3. KAFLI

ÞÓRGAUTSSTAÐIR

3.1 Staðarlýsing

Að Þórgautsstöðum í Hvítársíðu býr Ketill Jómundsson með fjölskyldu sinni, og leggur stund á kúa- og fjárbúskap. Í næsta nágreppi við Þórgautsstaði, að Síðumúla, er veðurathugunarstöð. Meðalárshiti er þarna $3,2^{\circ}\text{C}$ eða $1,1^{\circ}\text{C}$ lægri en í Reykjavík. Meðalársúrcoma er svipuð og í Reykjavík eða um 750 mm.

Ibúðarhúsið að Þórgautsstöðum er 400 m^3 steinhús (skv. skrá Fasteignamats ríkisins) byggt árið 1968. Húsið var olíukynt og að sögn Ketils var olíunotkun til húshitunar u.þ.b. 7000 l/ári. Einangrun hússins er 4" glerull í lofti og 2" plast í veggjum. Tvöfalt gler er í gluggum.

3.2 Jarðhiti

Volgrur eru á nokkrum stöðum í landi Þórgautsstaða með hitastig $16-19^{\circ}\text{C}$. Tvær volgrur hafa verið nýttar til þvotta í mjólkurhúsi og íbúðarhúsi. Rennsli er 0,3 l/s, sjálfrennandi á hvorn stað. Þegar ákveðið var, að varmadælan skyldi sett upp á Þórgautsstöðum, var Katli falið að sjá til þess að a.m.k. 0,8 l/s væru til staðar fyrir varmadæluna. Þetta magn var áætlað miðað við nýtingarstuðul 3, kælingu á jarðhitavatni um 2°C og hámarksaflþörf húss 25 W/m^3 eða 10 kW. Hann hafði orðið var við hita í jörð við súrheysturn og gróf því þar 3 m djúpan brunn og fékk vatn. Úr brunnum er hægt að dæla 1 l/s af 17°C heitu vatni án þess að vatnsborð lækki til muna en vatnsstaða er nú á 2 m dýpi. Frá brunni að íbúðarhúsi lagði hann leiðslu (1 1/4" plaströr) og einangraði hana með plasteinangrun. Leiðslan er grafin á um 50 cm dýpi og er 120 m að lengd. Vatnið er um $16,8^{\circ}\text{C}$ komið í hús, en meðalrennsli er 0,5 l/s.

3.3 Efnagreining á vatni

Tekið var sýni úr volgrunum til efnagreiningar til að athuga hvort hætta væri á útfellingum eða tæringarskemmdum. Niðurstöður efnagreiningar eru settar fram í töflu 3.1. Þar sést m.a. að ekkert brennisteinsvetni (H_2S), sem tærir kopar, er í vatninu og að lítið er af uppleystum efnum eða aðeins 64,2 mg/l, sem er svipað og í Gvendarbrunnvatni. Hins vegar er töluvert af súrefni í vatninu eða 3-5 PPM sem veldur tæringu í svörtum stálrörum. Öll rör í varmadælu eru úr kopar og einnig leiðslur til og frá dælu, en tengi eru úr galvaníseruðu stáli. Þetta er heppilegt efnisval fyrir súrefnisríkt jarðhitavatn. Efnahiti bendir til um 38 °C djúphita á vatni.

TAFLA 3.1 EFNAGREINING VATNS

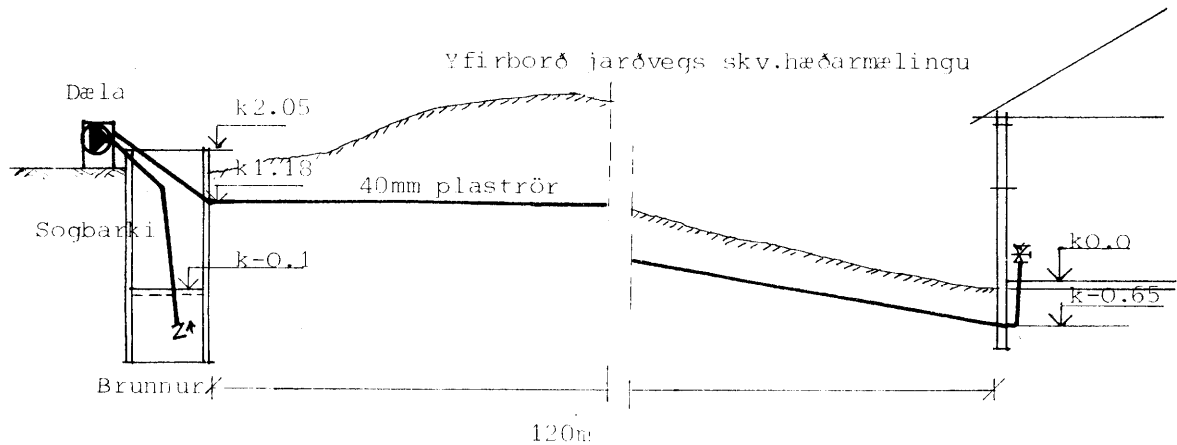
Þórgautsstaðir
Hvítársíðuhreppur
Mýrasýsla

Sýni tekið 16.02.82

Efnasamsetning vatns (PPM)			
SiO ₂	24,20	Mælt hitastig °C	15,6
Na	24,30	Ωm/°C	95,2/22,8
K	0,25	pH/°C	8,90/20,5
Ca	1,32		
Mg	0,12	Kalsedonhiti	37,7 °C
CO ₂	26,10	Alkalíhiti	38,5 °C
SO ₄	3,15		
H ₂ S	0,00	Súrefni	3-5 PPM
Cl	16,20		
F	0,22		
Uppleyst efni	64,20		

3.4 Dæling á jarðhitavatni

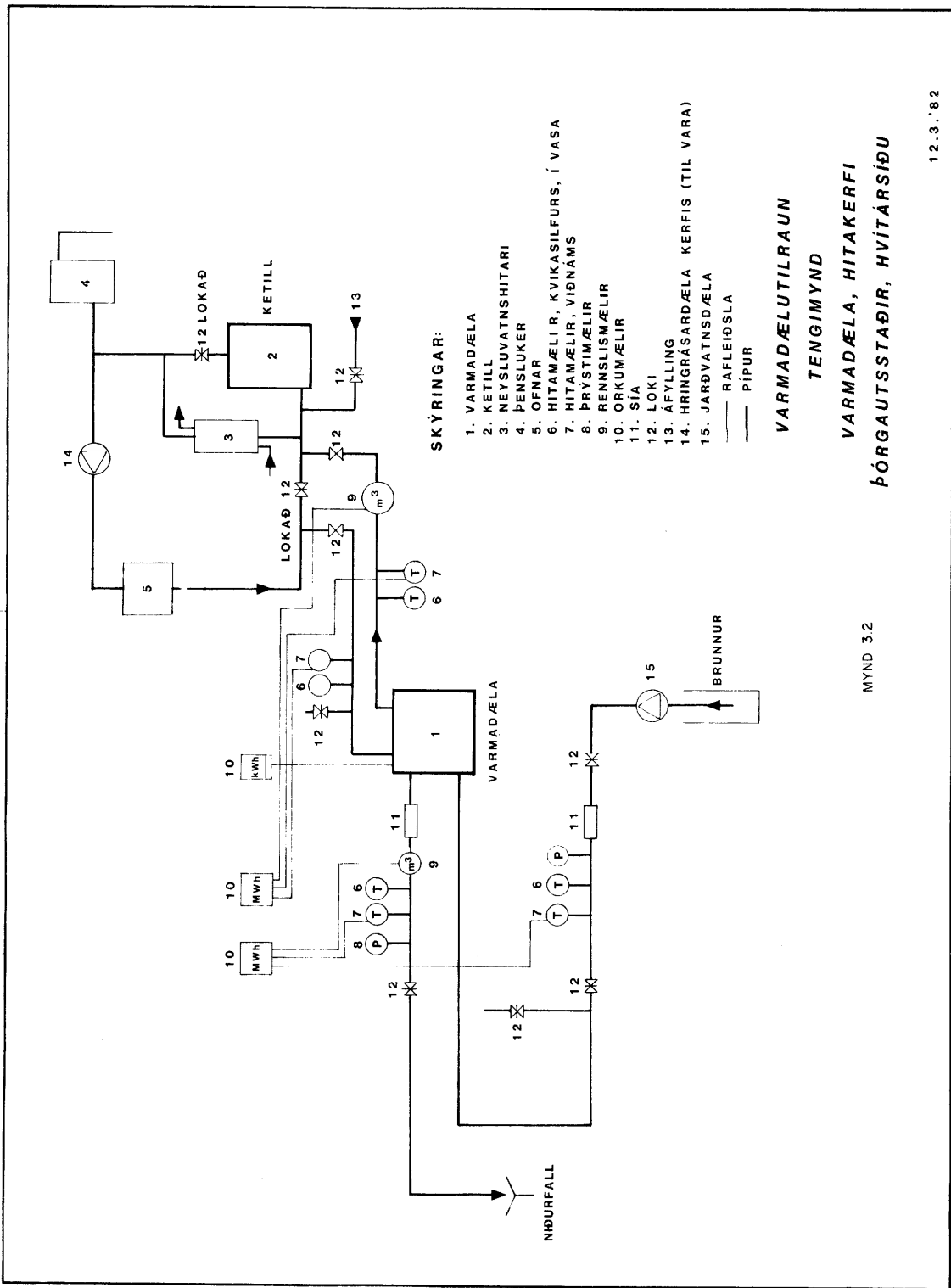
Til að fá nægilegt vatnsmagn heim í hús er nauðsynlegt að dæla vatninu. Í upphafi var notuð gúmmíblöðkudæla, sem staðsett var inni í húsi, og sogaði vatn úr brunninum. Sú staðsetning auðveldaði stýringu. Fljótlega fór að bera á að loftbólur mynduðust í vatninu og að rennsli minnkaði stöðugt. Þetta benti til að loft safnaðist fyrir í hápunkti leiðslunnar. Þá var dælan færð út að brunni og sogbarki settur ofan í brunninn (sjá mynd 3.1). Fyrir misgáning var lokað fyrir vatnið og brann dælumótorinn þá yfir. Í staðinn var sett venjuleg vatnsdæla (miðflótttaafli-) og gengur hún nú stöðugt. Til óþæginda er að við rafmagnstruflanir missir dælan vatnið á soghlið og verður að fylla hana til að koma dælingu af stað aftur. Eins er hætta á frostskeiddum, þar sem dælan stendur úti. Varanlegri lausn væri að fá brunn-dælu. Dælan tekur 0,37 kW og orkunotkun verður því um 3240 kWh á ári miðað við stöðuga keyrslu. Æskilegt er að minnka þetta verulega með því að láta vatnsdæluna aðeins ganga, þegar varmadælan er í gangi.



MYND 3.1 Jarðvatnsbrunnur og lögn að húsi

3.5 Kerfislýsing

Hitunarkerfið, sem fyrir var á Þórgautsstöðum, er eins og áður sagði olíukynt vatnsmiðstöðvarkerfi. Eins og í venjulegu vatnshitakerfi er olíubrennara stýrt af



vatnshitastigi í katli, en hringrásardælu stýrt af stofu-hitastilli. Neysluvatnshitari er utan ketils og er tengdur með víðum rörum til þess að hringrás geti myndast án dælingar. Mynd 3.2 sýnir núverandi tengingu kerfisins með breytingum sem gera þurfti vegna varmadællunnar. Bætt var við einum miðstöðvarofni til að kæla betur bakrennslisvatnið.

Við uppsetningu á varmadællunni var olfuketill ekki aftengdur heldur settur renniloki á framrennslu frá honum. Þetta var gert til að hringrásarvatn rynni ekki í gegnum olfuketilinn þegar brennarinn er ekki í gangi til að fyrirbyggja óþarfa hitatap. Olfukynding er því notuð sem vara- og toppafl. Kveikt er á henni með handstýrðum rofa og er þá opnað fyrir lokann.

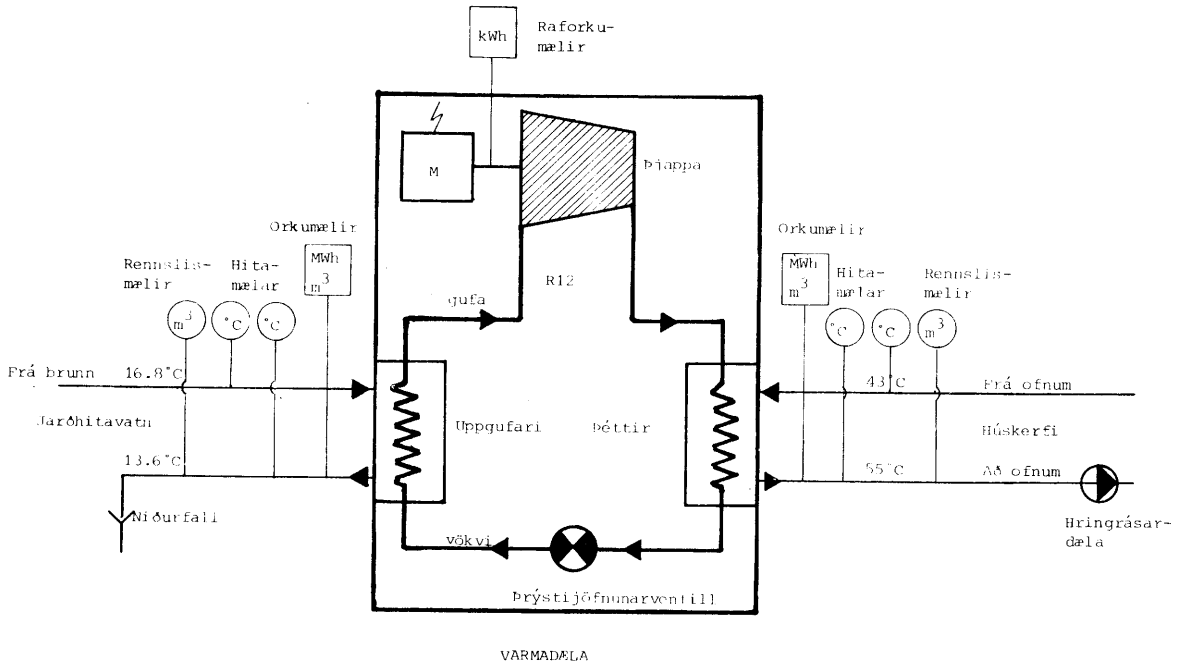
Nokkrir erfiðleikar komu í ljós í upphafi tilraunarinnar. Það alvarlegasta var, að laus tenging olli skammhlaupi í lokaða hluta varmadællunnar, sem geymir mótör og þjöppu og varð að skipta um þann hluta vegna þessa galla. Sams konar kælipjappa var sett í staðinn. Til öryggis var kælivifta sett við þjöppuna og er henni stýrt af hitastilli, sem kveikir á viftunni við 32 °C hita á þjöppu, en að sögn framleiðanda dællunnar er það ekki nauðsynlegt. Varmadællunni er einungis stýrt af stofuhitastilli sem fyrir var. Hann er staðsettur á gangi á suðurhlið hússins. Varmadællan hefur til þessa annað hitapörf hússins.

3.6 Mælingar

Til að mæla orkunotkun og nýtni varmadælu voru settir upp þrjár orkumælur sem mæla afköst varmadælu, raforkunotkun og orku tekna úr jarðhitavatni. Einnig voru settir vasar fyrir kvikasilfursmæla til að mæla hitafall jarðhitavats og hitaaukningu hringrásarvats. Á rennslismælum, sem fylgja orkumælum, er einnig hægt að mæla rennslid á hverjum tíma (sjá mynd 3.3). Á varmadælu er gangtímamælir. Skráðar stærðir eru því kíló- og megawattstundir, rúmmetrar vats, nýtingartími varmadælu, hitastig á hringrásarvatni og jarðhitavatni inn og út úr varmadælu auk rennslis (l/s). (Sjá niðurstöður mælingar í viðauka A). Mælingar hafa staðið yfir síðan varmadæla var sett upp í nóvember 1981, en ýmislegt veldur því að mælingar á orkupörf eru einungis marktækar frá 22. janúar, 1982. Meðal annars má nefna erfiðleika með dælingu, að hitastýring var ekki komin í fastar skorður og að vatn rann í gegnum olfuketil sem olli óþarfa kælingu á vatni, sem fyrr sagði.

Bráðabirgðaniðurstöður eru þær að meðalnýtnistuðull varmadælu er 3. Afl frá varmadælu er 8,7 kW sem samsvarar 21,5 W/m³. Aflþörf varmadælu á pressu og viftu mældist 2,9 kW. Jarðhitavatn inn á varmadælu er u.þ.b. 16,8°C heitt og er

Það nýtt niður um $3,2^{\circ}\text{C}$ við rennsli $0,5$ l/s. Hitastigshækkun á hringrásarvatni er um 12°C og rennsli stöðugt $0,18$ l/s. Framrásarhitastig frá varmadælu er hæst um 55°C .



MYND 3.3 Kerfismynd varmadælu með uppsettum mælum að Þórgautsstöðum

3.7 Áætluð orkupörf húss

Orkunotkun Þórgautsstaða í febrúar 1982 var 3334 kWh skv. mælingu (sjá viðauka A). Nákvæmar tölur um olfunotkun fyrri ára liggja ekki fyrir. Við mat á hagkvæmni þarf að áætla heildarorkupörfina. Eftirfarandi aðferð má nota til þess að áætla notkunardreifingu hitaorku: Ef T_i er hitastig innanhúss og meðalhiti mánaðar m er T_m , gefur mismunurinn $T_i - T_m$ vísbendingu um hitaorkupörfina. Þeim mun stærri sem hann er, þeim mun meira þarf að kynda. Hlutfall hitaorkunotkunar hvers mánaðar er þá

$$h_m = \frac{T_i - T_m}{\sum_{j=1}^{12} (T_i - T_j)} \quad (3.1)$$

Meðalhitastig hvers mánaðar tímabilið 1971-80 er gefið í viðauka A. Ef T_i er sett 20 °C fæst þannig $h = 0,104$, þ.e. 10,4% heildarhitaorkunnar er notað í febrúar að meðaltali. Meðalhitastig í febrúar 1982 var óvenjuhátt eða +1,4 °C en meðalhitastig í febrúar 1971-80 var -1,0 °C. Ef leiðrétt er fyrir þennan mun á svipaðan hátt, mundi orkunotkun í febrúar verða að meðaltali 13% hærri eða 3764 kWh. Samkvæmt þessu áætlast orkupörf Þórgautsstaða í meðalári vera $3764/0,104 = 36000$ kWh. Þetta er svipað og áætluð orkunotkun í 400 m³ staðalhúsi (sjá grein 4.2-01).

Endanlegar niðurstöður mælinga munu ekki liggja fyrir fyrr en mælt hefur verið í a.m.k. eitt ár. Þá munu orkuframleiðsla og orkunotkun varmadælnnar verða skilgreindar nákvæmar en í dag og niðurstöðurnar því nytsamari.

4. KAFLI

HAGKVÆMNIATHUGUN

4.1 Stofnkostnaður

4.1-01 Varmadæla

Varmadælan, sem sett var upp að Þórgautsstöðum, er hæfilega öflug til að hita upp meðalstórt íbúðarhús. Stofnkostnaður hennar er nokkuð dæmigerður fyrir þess konar tæki samkvæmt upplýsingum frá framleiðendum. Þórgautsstaðadælan kostaði 7045 DM (fob) en flutningur og váttrygging nam u.p.b. 6,5% af þeirri upphæð. Miðað við gengi í mars 1982 (1 DM = 4,20 kr) er stofnkostnaður án gjalda því um 31500 kr. Með 35% tolli, 24% vörugjaldi, og 25,85% söluskatti (margföldunarstuðull = 2,11) verður stofnkostnaður um 66500 kr.

4.1-02 Vinna

Áætla má að uppsetning við venjulegar aðstæður (lágmarkskerfi án mælitækja nema e.t.v. raforkumælir) taki 2 menn u.p.b. 3 daga (10 h/dag). Til viðbótar má áætla 1 dag vegna athugunar á aðstæðum og undirbúnings uppsetningar. Þannig má reikna með 80 h heildartíma. Ekki er fjarri sanni að tímakaupið sé 200 kr/h (útseld vinna) og uppsetningarkostnaður verði því um 16000 kr.

4.1-03 Efni

Gert er ráð fyrir að aðgerðum vegna vatnsöflunar fyrir varmadæluna sé lokið og vatnsleiðsla frá volgru að varmadælnni til staðar. Efni sem kaupa þarf er þá hitastillar, rör, tengi, sfur, o.fl. Áætlast þessi efniskostnaður hér 5000 kr.

Erfitt er að taka tillit til efniskostnaðar við vatnslagnir að varmadælu vegna mjög mismunandi aðstæðna. Slíkt þarf að meta í hverju tilfalli sérstaklega.

4.1-04 Heildarstofnkostnaður

Samtals verður stofnkostnaður starfhæfs varmadælukerfis því

S = 52,5 þús.kr. (án gjalda)

S = 87,5 þús.kr. (með gjöldum)

4.2 Einingarverð orku

4.2-01 Olíuhitun

Við olíuhitun er reiknað með 65% meðalnýtni miðstöðva í heimahúsum. Með brennslugildi olíu um 8500 kcal/l fást því um 6,4 kWh/l. Nú (í mars 1982) er verð gasolíu 3,65 kr/l og er þannig orkueiningarverðið 0,57 kr/kWh.

Til að meta hagkvæmnina frá sjónarhóli húseigandans verður að taka tillit til olíustyrkja. Tökum sem dæmi 400 m³ hús og notum hitaafþörf 23 W/m³ með 3800 h/a nýtingartíma, sem eru nokkuð algengar forsendur. Hitaorkunotkunin er þá um 35000 kWh/a og samsvarandi kostnaður um 20000 kr. Ef reiknað er með 4 olíustyrkjum fyrir þetta staðalhús er heildarolíustyrkur 4x4x350 = 5600 kr/a eða um 28% af olíukostnaði. Má því áætla að olíustyrkur nemi 25-35% olíukostnaðar að jafnaði.

4.2-02 Rafhitun

Samkvæmt rafhitunartaxta C.1 hjá RARIK er orkugjald 0,33 kr/kWh og aflgjald 1542 kr/a. Ef hitaorkunotkun á ári er táknuð með H, verður orkueiningarverðið á þessum taxta $E_a = 0,33 + 1542/H$ kr/kWh.

Rafhitun getur einnig verið á marktaxta. Langflestir marktaxtahafar RARIK eru með afl á bilinu 8-14 kW. Hér verður miðað við meðalgildið 11 kW og gert ráð fyrir að þar af séu 7 kW vegna hitunar. Einingarverð hitunarraforku er þá $E_a = 0,24 + 5537/H$ kr/kWh.

4.2-03 Raforkuverð til varmadælu

Verðtaxti fyrir raforku inn á varmadælu hefur ekki verið ákveðinn. Notkun varmadæla hefur þann kost að létta álagi af rafdreifikerfinu sem nemur u.þ.b. nýtingarstuðlinum e miðað við rafhitun. Þannig er réttlætanlegt að nota taxta C.1 fyrir raforku á varmadælu í samanburðinum við rafhitun á þeim taxta. Samanburður við rafhitun á marktaxta fer auðvitað fram á þeim taxta. Til samanburðar við olfukyndingu er notaður marktaxti fyrir varmadæluna með áætluðu 3 kW viðbótarafli og einnig gert ráð fyrir, að heimilið sé með a.m.k. 4 kW aflstillingu fyrir. Þannig verður orkueiningarverðið til varmadællunnar á marktaxta $E_a = 0,24+2373/(H/e)$ kr/kWh.

4.2-04 Samantekt

Til frekari glöggvunar er ofanskráð tekið saman:

Hitunarmáti	Einingarverð (kr/kWh)
Olfukynding án styrks	0,57
Olfukynding með 30% styrk	0,40
Rafhitun, taxti C.1	0,33+1542/H
Rafhitun, marktaxti	0,24+5537/H
Varmadæla, marktaxti	0,24+2373/(H/e)
Varmadæla, taxti C.1	0,33+1542/(H/e)

Athugið að ef hitaorkupörfin er H verður varmadælan að fá raforku sem nemur H/e.

4.3 Niðurstöður

Hér verða settar fram almennar niðurstöður um hagkvæmni varmadælna. Kennistærðir eru valdar þannig, að þær liggi sem næst gildum, er skynsamleg mega teljast í sem flestum tilfellum. Einnig er stuðst við gögn frá Þórgautsstaðatilauninni, sem telja má nokkuð dæmigerða. Þannig er árleg hitaorkunotkun talin liggja á bilinu 25000-45000 kWh með 35000 kWh meðalgildi. Nýtnistuðull varmadælu er settur $e=3$, olfustyrkur 30%, reiknivextir (r) 4%, og endingartími varmadælu (T) 15 ár. Stofnkostnaður er tekinn með og án opinberra gjalda. Útreikningarnir eru útskýrðir í viðauka B.

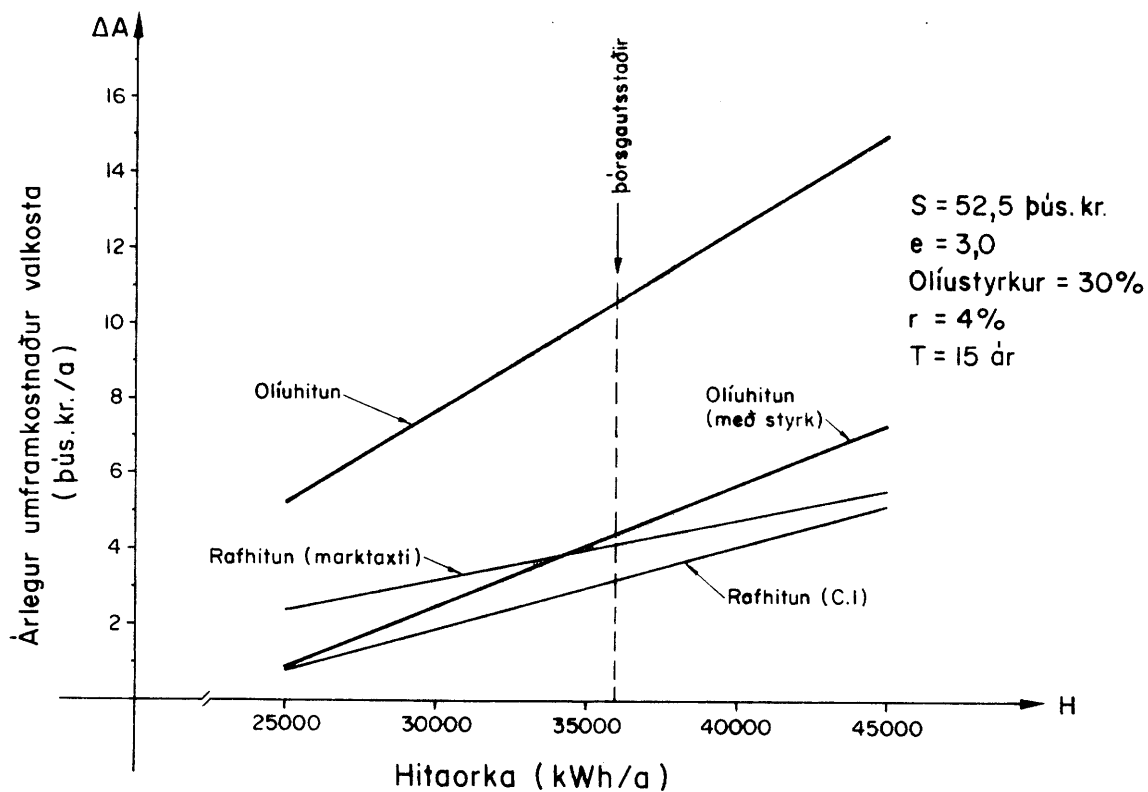
Línurit 4.1 sýnir árlegan umframkostnað hinna ýmsu valkosta (skv. jöfnu (B.5)) miðað við varmadælu (stofnkostnaður án opinberra gjalda), sem fall af hitaorkunotkun. Varmadælu-kerfið er hagkvæmara í öllum tilfellum. Þórgautsstaðatilraunin er merkt inn á línuritið við $H = 36000$ kWh. Sjá má, að fyrir Þórgautsstaði, er rafhitun á taxta C.1 næsthagstæðasti kosturinn með árlegan kostnað u.p.b. 3500 kr umfram varmadæluna. Hins vegar er óniðurgreidd olíuhitun um 11000 kr dýrari á ári en varmadælan. Mynd 4.2 sýnir samsvarandi niðurstöður, þegar opinberum gjöldum hefur verið bætt við stofnkostnaðinn. Hagkvæmni varmadælu er nú talsvert minni og hún borgar sig ekki t.d. miðað við rafhitun á taxta C.1 nema orkunotkun sé a.m.k. 36000 kWh.

Mynd 4.3 sýnir niðurstöður útreikninga á endurgreiðslutíma varmadælu skv. jöfnu (B.7). Fjárfestingin borgar sig auðvitað hraðast miðað við óniðurgreidda olíukyndingu (3-4 ár fyrir Þórgautsstaði) en hægar fyrir aðra kosti t.d. 8 ár fyrir rafhitun á taxta C.1. Mynd 4.4 gefur stöðuna, ef gjöld eru tekin með. Endurgreiðslutíminn lengist þá mikið. Lengstur er endurgreiðslutíminn auðvitað fyrir næsthagstæðasta valkostinn, sem er rafhitun á taxta C.1.

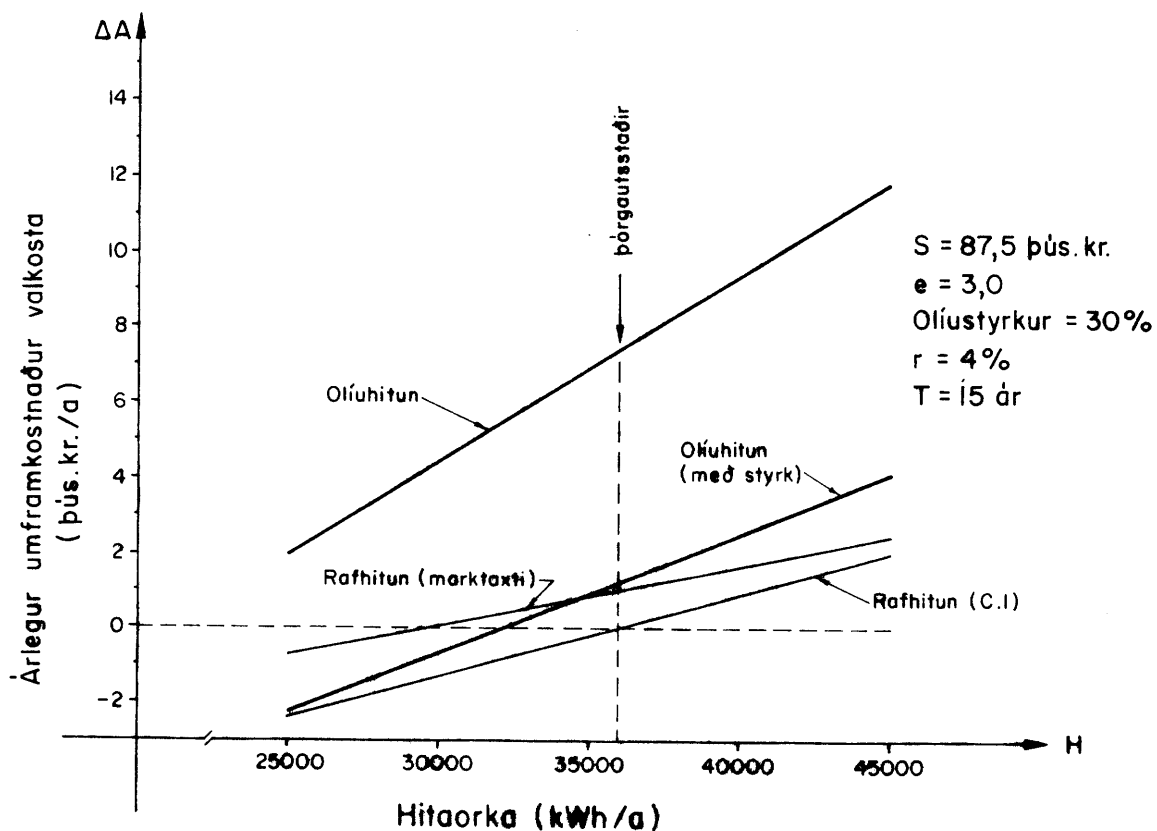
Á mynd 4.5 er sýndur umframkostnaður á orkueiningu fyrir hina ýmsu valkosti (skv. jöfnu (B.6)) miðað við varmadælu. Fyrir Þórgautsstaði til dæmis, kostar hver kWh u.p.b. 9-30 aurum meira en hver kWh frá varmadælu. Umframkostnaðurinn stígur með hitaorkunotkun H . Niðurstöður svipaðra útreikninga eru sýndar á mynd 4.6 nema hvað gjöld eru meðtalin.

Á mynd 4.7 er umframkostnaður á orkueiningu valkosta sýndur sem fall af stofnkostnaði fyrir ákveðna orkunotkun $H=35000$ kWh/a. Orkueiningarverð úr varmadælu verður jafnt orkueiningarverði niðurgreiddrar olíuhitunar og rafhitunar á marktaxta við $S = 98$ þús.kr. Fyrir rafhitun á taxta C.1 er vendipunkturinn við $S = 85$ þús.kr.

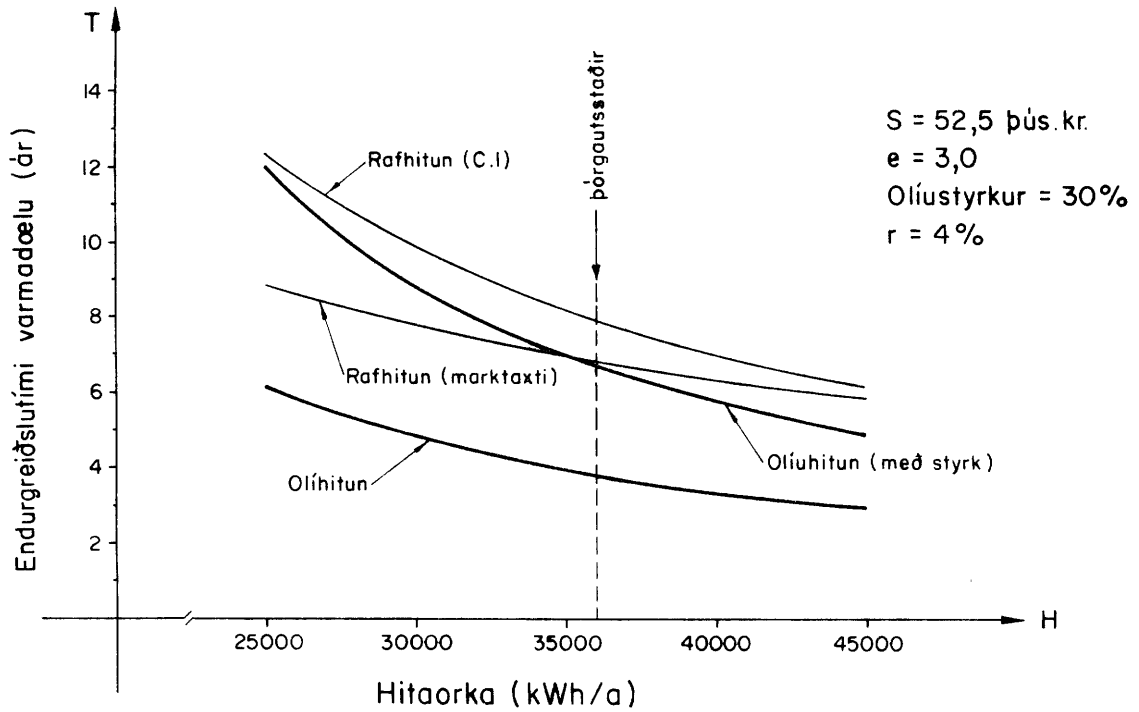
Á mynd 4.8 eru að lokum gefin orkueingarverð, eins og þau áætlast fyrir Þórgautsstaði sérstaklega, sem fall af stofnkostnaði. Orkueingarverðið frá varmadælu miðast við, að raforkuverð inn á hana sé skv. marktaxta. Láréttu línurnar sýna orkueingarverð olíu- og rafhitunar miðað við að stofnkostnaður vegna olíukynditækja eða raftúbu sé ekki talinn með (p.e. $S=0$). Brotnu lóðréttu línurnar tákna stofnkostnað á Þórgautsstöðum (án mælitækja) með og án gjalda. Sjá má, að orkueingarverð frá varmadælu er lægra en orkueingarverð annarra kosta (jafnvel þó $S=0$ fyrir þá) í þessum punktum. Athugið að aðeins á mynd 4.8 eru talin með áhrif stofnkostnaðar annarra kosta en varmadælu. Slíkt verður að gera, ef velja skal hagstæðasta hitunarkost fyrir nýbyggingar.



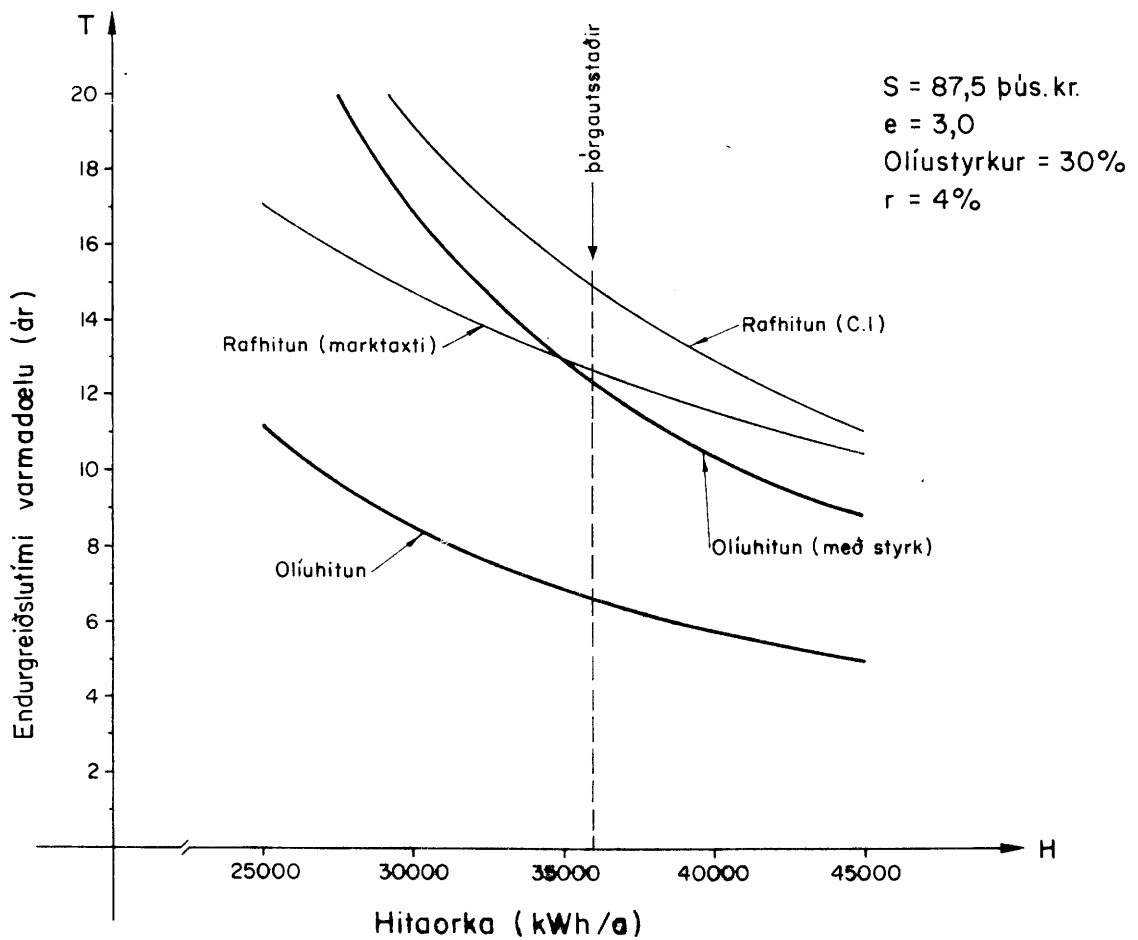
MYND 4.1 Árlegur umframkostnaður valkosta í samanburði við varmadælu.



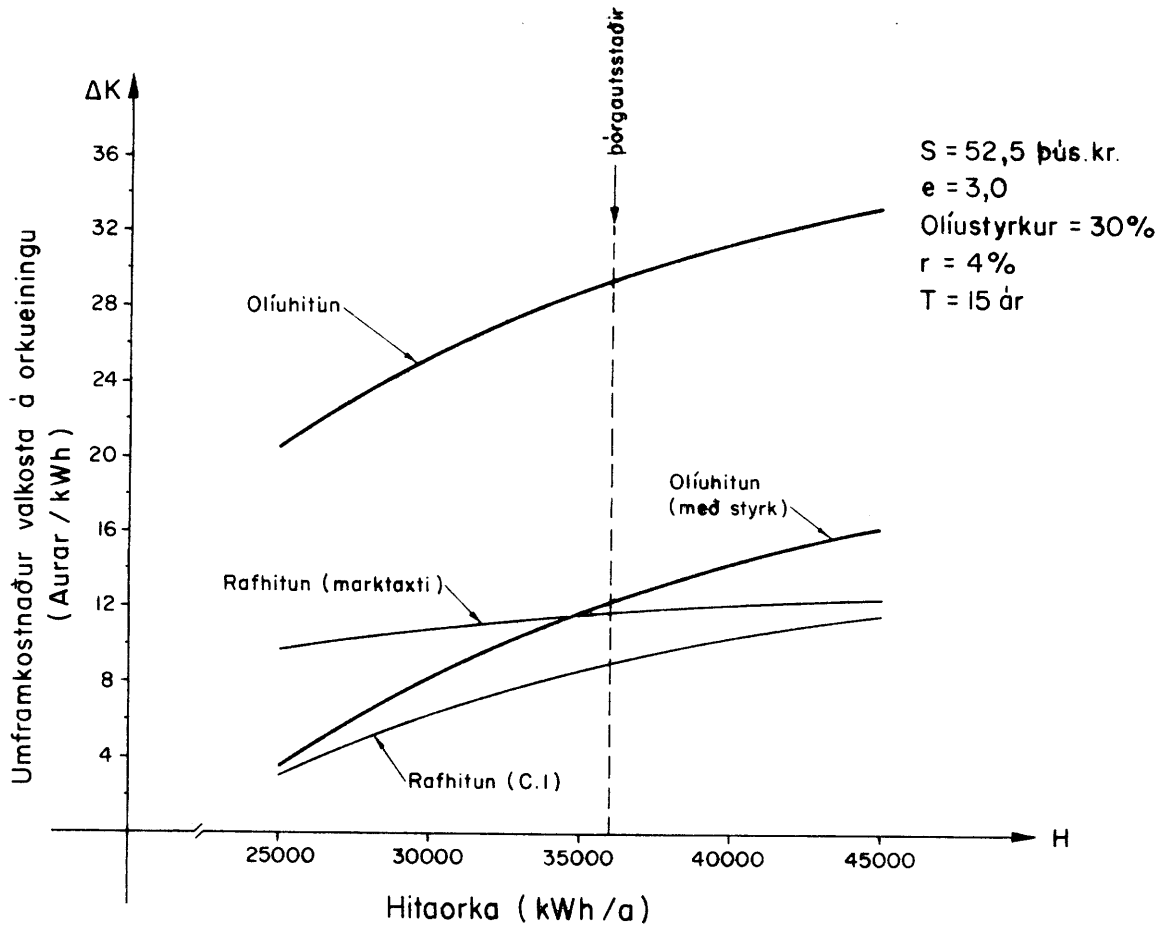
MYND 4.2 Árlegur umframkostnaður valkosta í samanburði við varmadælu.



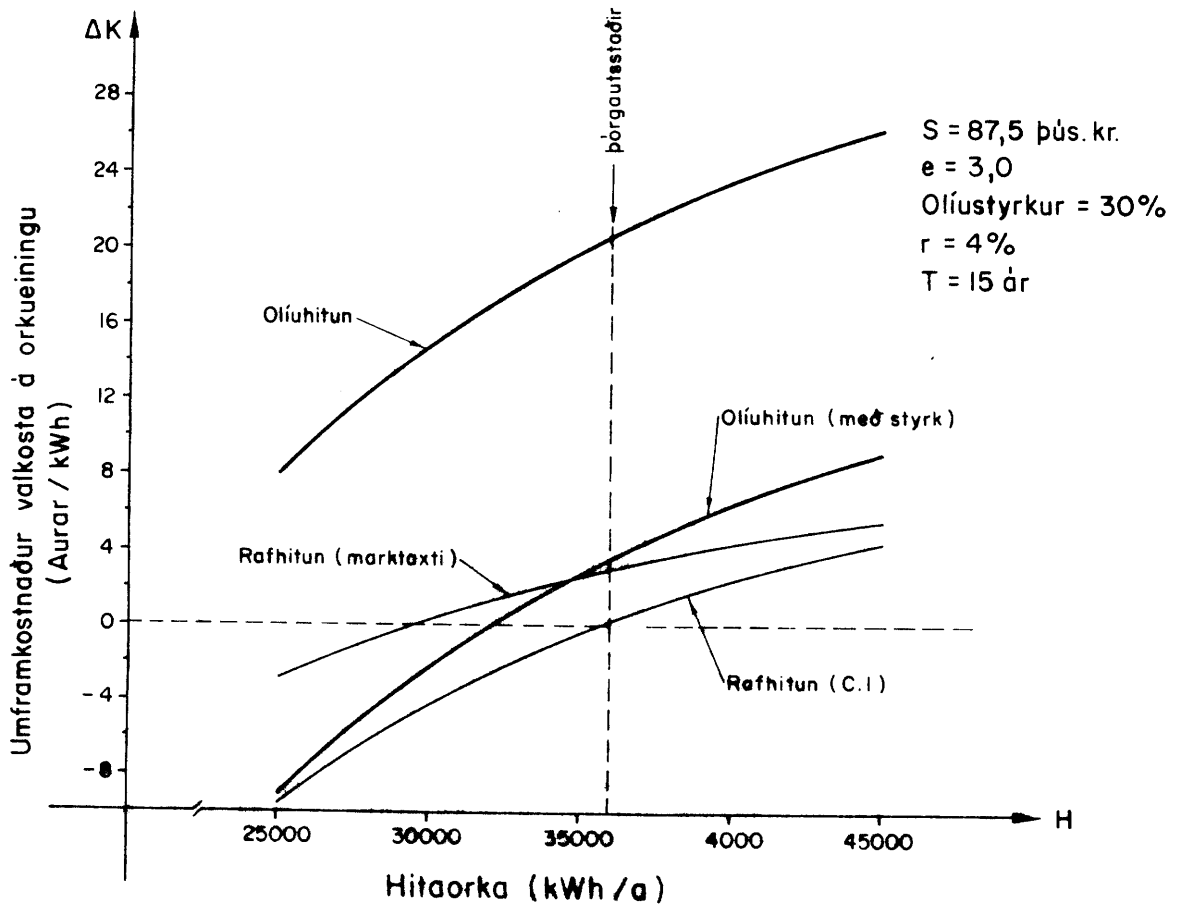
MYND 4.3 Endurgreiðslutími varmadælu.



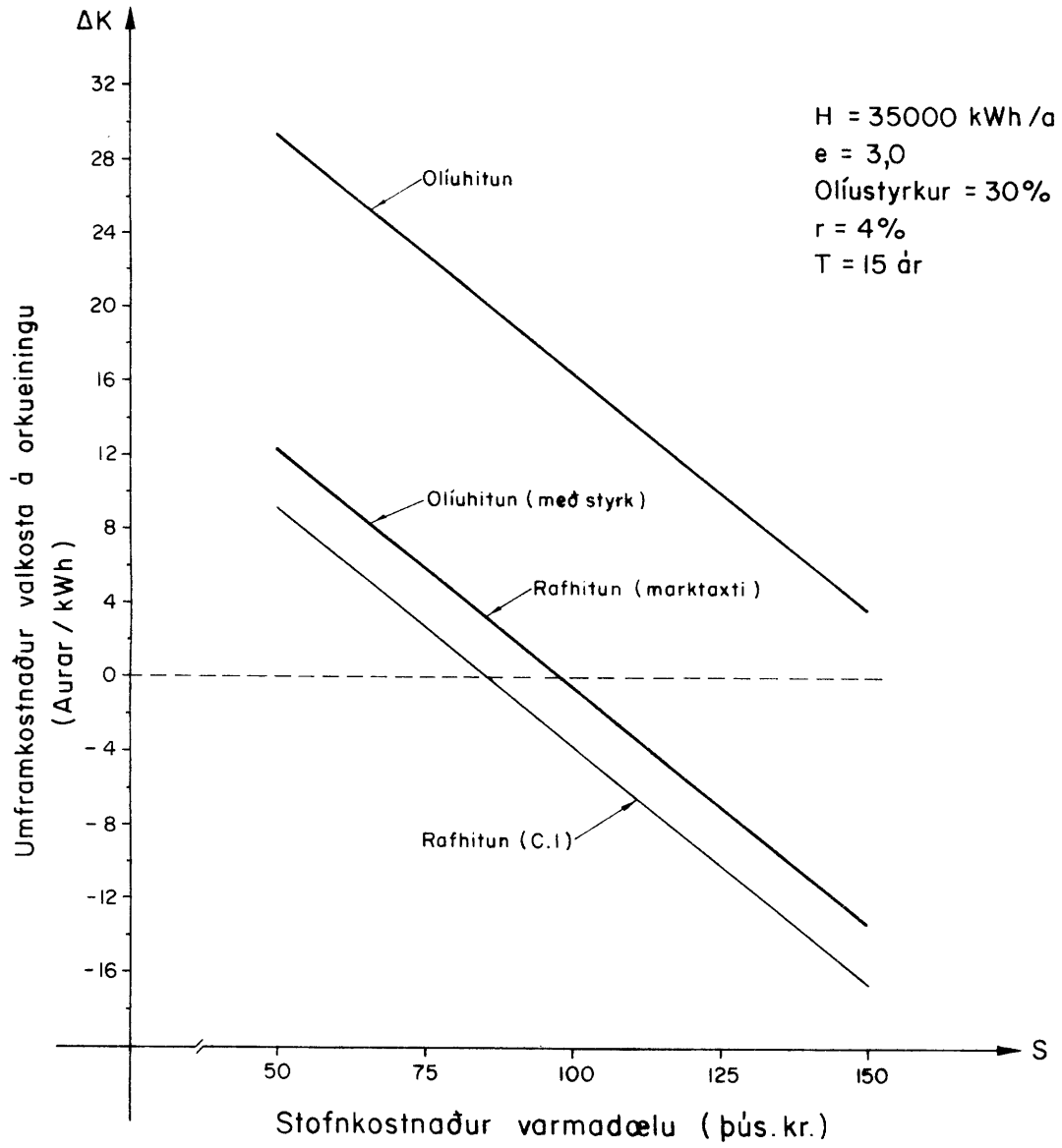
MYND 4.4 Endurgreiðslutími varmadælu.



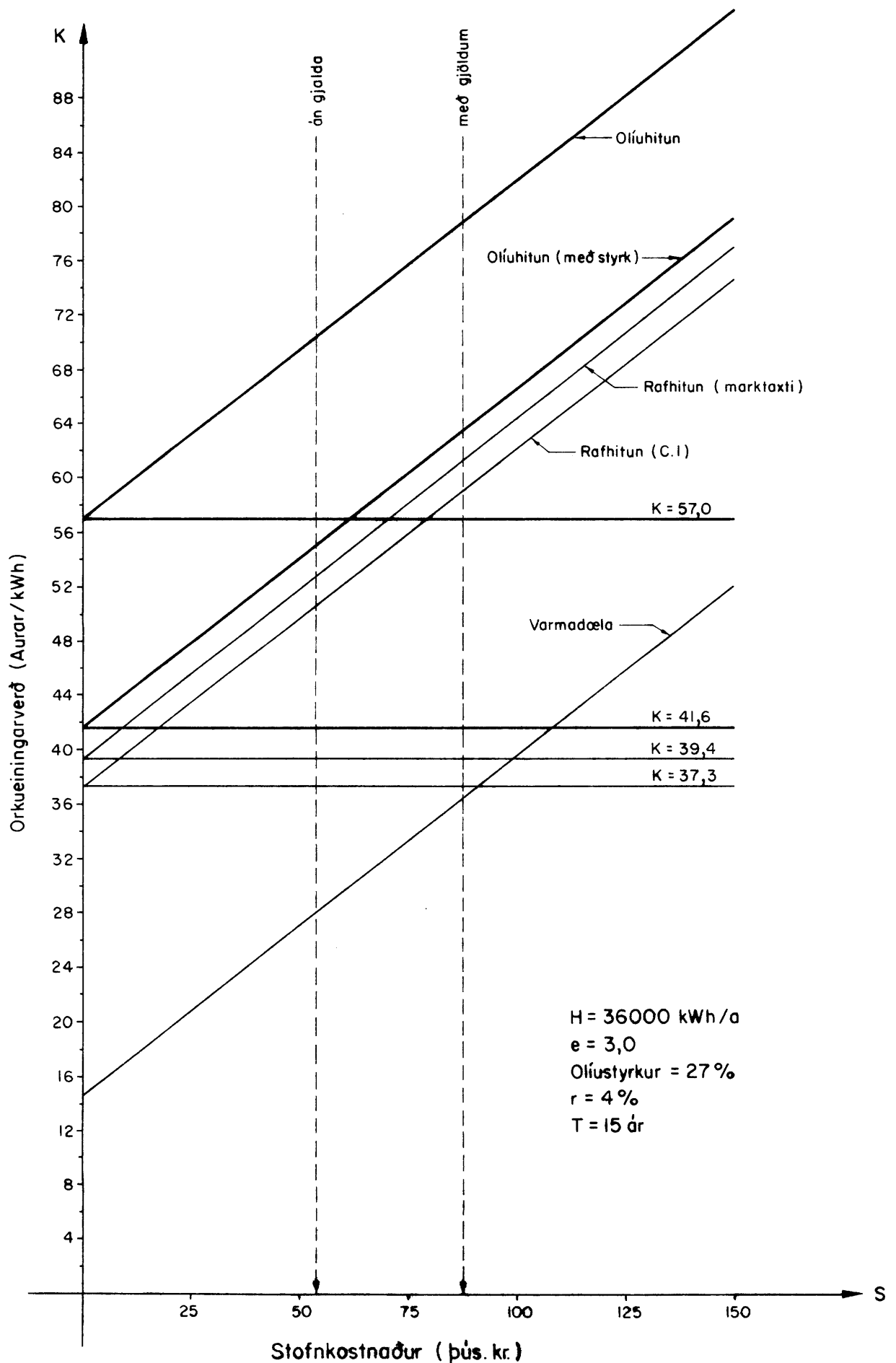
MYND 4.5 Umframkostnaður orkueiningar valkosta í samanburði við varmadælu.



MYND 4.6 Umframkostnaður orkueiningar valkosta í samanburði við varmadælu.



MYND 4.7 Umframkostnaður orkueiningar valkosta í samanburði við varmadælu.



MYND 4.8 Orkueiningarverð á þörgautsstöðum.

5. KAFLI

ÁLYKTANIR

Eins og fram hefur komið er hagkvæmni varmadælna háð mörgum breytilegum þáttum. Af þeim þáttum virðast stofnkostnaður og hitaorkunotkun ná yfir hvað víðust svið enda hafa niðurstöður verið settar fram sem fall af þeim. Almennt má þó segja:

- a) Ef kostnaður við aðföng jarðvatns úr volgru er tiltölulega lágur og opinber gjöld ekki lögð á tækið, er notkun varmadælu hagkvæm fyrir flesta notendur, sem nú nota olíu eða rafmagn til hitunar.
- b) Ef gjöld leggjast á stofnkostnaðinn (eða hann er hár af öðrum sökum), er aðeins hagkvæmt að hita með varmadælu ef orkunotkun er í meðallagi eða meiri (þ.e. $H > 35000$ kWh).

Rafhitun á taxta C.1 er skæðasti keppinautur varmadælunnar. Orkueiningarverð þessara tveggja kosta verða jafnhá þegar $S = 2,5H$ (þ.e. "breakeven" lína). Ef stofnkostnaður varmadælukerfis verður hærri en $2,5H$, er beint tap fyrirsjáanlegt. Þetta miðast við $e = 3$, $T = 15$ ár, og $r = 4\%$. Nákvæmari upplýsingar um hagkvæmnina má lesa af myndum 4.1 - 4.8.

Af þessu má síðan álykta, að mikilvægast er að halda stofnkostnaði hóflegum, ef varmadælunotkun á að verða samkeppnisfær. Vel kemur til greina að framleiða þessi tiltölulega einföldu tæki innanlands úr stöðluðum grunneiningum og halda þannig kostnaði í skefjum. Ella virðist nauðsynlegt, í flestum tilfellum, að aðflutningsgjöld af fjöldaframleiddum erlendum varmadælum verði fellð niður, a.m.k. að hluta til.

Helstu niðurstöður fyrstu mælinga eru þær, að nýtnistuðull þessarar varmadælu er um 3, þ.e.a.s. fyrir hvert kW af rafafli sem varmadælan tekur fást um þrjú kW hitaafis. Varmadælan léttir þannig verulegu álagi af rafdreifikerfinu, ef miðað er við beina rafhitun. Þetta er ekki fjarri því sem búist hafði verið við. Sem fyrr kom fram, hafa ýmis óhöpp átt sér stað er flest má skilgreina sem byrjunarörðugleika. Það er því ráðlegt að láta olíuketil, eða það hitunartæki, sem fyrir er, standa áfram og nota, ef varmadæla bilar.

Sérstaklega á þetta við til sveita, þar sem langt getur verið í viðgerðar- og varahlutapjónustu.

Við lauslega athugun má áætla, að á a.m.k. 50 sveitabýlum, þar sem volgrur eru í nágrenni, komi til greina að nota varmadælu til hitunar. Þar ræður þó mjög kostnaður við vatnsöflun, þ.e. fjarlægð háss frá lind og dælingarkostnaður. Einnig eru volgrur í nánd við nokkra þéttbýlisstaði þar sem mögulegt er að nota stórar varmadælur í fjarvarma-veitur eða til að hækka hitastig á hitaveituvatni þar sem það er of lágt. Nýting afgangsvarma með varmadælum getur einnig verið hagstæður kostur. Varmi frá frystitækjum hraðfrystihússins Kaldbaks í Grenivík er nú nýttur á þann hátt, og mætti gera slíkt víðar á landinu. Verið er að gera skrá yfir þá staði, sem hugsanlega gætu notað varmadælur til hitunar.

Mældar stærðir

Febrúar 1982 MJG/gb

Dags	Tími milli mæl. h	Gangtími h	Raforku-notkun kWh	Aflbörf varmad. kW	Orku-notkun húss kWh	Aflbörf húss kW	Járóhitavatn kWh	Afl jaróhitavatn kW	Nýtnistuðull e	Húskerfi			Járóhitavatn			Meðal útihiiti °C
										Δt °C	l/s	kW	Δt °C	l/s	kW	
1																
2	24	14.8	43.5	3	132	8.6	80	5.5	2.9	12.2	0.18	9.2	3.8	0.51	8.1	1.7
3	24	17.2	50.8	3	148	8.8	100	5.9	2.9	14.2			3.1	0.51	6.6	-0.5
4	24	11.6	34.1	2.9	104	8.9	75	6.5	3.1	12.4						4.0
5	24	11.6	34.1	2.9	104	8.9	75	6.5	3.1							9.2
6	23.3	11.3	32	2.8	100	8.8	70	6.2	3.1							4.4
7	24.4	15.9	45.7	2.9	140	8.8	90	5.7	3.0	13.1	0.18	9.9				1.2
8	24.0	17	50.9	3.0	148	8.7	100	5.9	2.9	10.9						-4.2
9	23.5	13.2	38	2.9	116	8.8	80	6.1	3.0	11.5			2.7			1.0
10	24.0	16.1	47.5	3.0	140	8.7	97	6.0	2.9	12.8			3.3	0.48	6.6	0.3
11	24.0	16.1	47.5	3.0	140	8.7	97	6.0	2.9							-2.3
12	23.5	16.1	47.5	3.0	140	8.7	97	6.0	2.9							-2.7
13	23	18.3	53.7	2.9	160	8.7	90	4.9	3.0	11.5	0.18	8.7	3.5	0.51	7.5	-5.0
14	23.5	17	50.2	3.0	144	8.5	100	5.9	2.8	13.8			3.1			-1.6
15	24	13.3	38.5	2.9	118	8.9	80	6.0	3.1	13.1	0.18	9.9	3.3	0.50	6.9	-3.8
16	24	13.3	38.5	2.9	118	8.9	80	6.0	3.1							-1.2
17	24.6	14.2	42	3.0	124	8.7	90	6.3	2.9							3.8
18	23.7	12	34.7	2.9	108	9.0	70	5.8	3.1	12			3.3	0.49	6.8	6.8
19	24	9.6	27.7	2.9	86	9.0	55	5.7	3.1	12.1			3.3	0.49	6.8	5.9
20	23.5	9.6	27.7	2.9	86	9.0	55	5.7	3.1							7.6
21	25.3	7.1	20.7	2.9	65	9.0	50	7.0	3.1	12			3.5	0.48	7.0	3.8
22	23.5	12.3	35.4	2.9	109	8.9	73	6.0	3.1	13			3.4			5.1
23	24	12.3	35.4	2.9	109	8.9	73	6.0	3.1							1.5
24	23	12.3	35.4	2.9	109	8.9	73	6.0	3.1							-0.4
25	24	12.5	36.5	2.9	110	8.8	80	6.4	3.0	12				0.51		4.3
26	23.5	12.5	36.5	2.9	110	8.8	80	6.4	3.0							2.5
27	24	15	43.5	2.9	132	8.8	85	5.7	3.0	12.3						-0.2
28	25.5	15	43.5	2.9	132	8.8	85	5.7	3.0							-0.6
	24	11.7	34.1	2.9	102	8.7	70	5.6	3.0	12.9	0.18	9.5	3.1	0.51	6.6	-1.3
Samt.	672	378.9	1105.6		3334		2250									
Meðalt.				2.9		8.8		5.9	3.0	12.5	0.18	9.4	3.3	0.50	6.9	1.4
Nýtingartími	54%															

SÍÐUMÚLI, HVÍTÁRSÍÐUHREPPI

Meðalhiti mánaða 1971 - 80

janúar	-2.4 °C
febrúar	-1.0 -
mars	-0.1 -
apríl	2.2 -
maí	5.4 -
júní	7.8 -
júlí	10.1 -
ágúst	9.6 -
september	6.3 -
október	3.3 -
nóvember	-0.6 -
desember	-2.1 -
<hr/>	
Meðalárshiti	3.2 °C

7. KAFLI

VIÐAUKI B: HAGKVÆMNIÚTREIKNINGAR

Núvirði mannvirkis með stofnkostnað S og árlegan rekstrarkostnað R er ritað

$$S_0 = S + \sum_{i=1}^T R (1+r)^{-i} \quad (\text{B.1})$$

þar sem r táknar reiknivexti og T er endingartíminn í árum. Hér er gert ráð fyrir að brotvirði (verðgildi í lok endingartíma) sé núll. Árlegur kostnaður mannvirkisins, A , er skilgreindur að venju

$$\sum_{i=1}^T A (1+r)^{-i} = S_0 \quad (\text{B.2})$$

þ.e. núvirði A reiknað yfir T er jafnt núvirðinu S_0 . Út frá jöfnum (B.1) og (B.2) fæst

$$A = \frac{rS}{1 - (1+r)^{-T}} + R \quad (\text{B.3})$$

þar sem

$$\sum_{i=1}^T (1+r)^{-i} = \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r} \quad (\text{B.4})$$

hefur verið notað. Jafna (B.3) er nytsöm til þess að bera saman árlegan kostnað varmadælu og annarra hitunarkosta.

Ef einingarverð orku (t.d. olfuhitunar) er E_a , og árleg hitaorkunotkun er H , er árlegur rekstrarkostnaður $R_a = HE_a$. Miðað við að einingarverð raforku inn á varmadælu sé E , er rekstrarkostnaður varmadælu $R = HE/e$, þar sem e er nýtnistuðull varmadælu. Stofnkostnaður varmadælukerfis er táknður með S en stofnkostnaður annarra kosta er ekki tekinn með hér, þar sem gert er ráð fyrir að samanburðarkerfið sé þegar til staðar. Ennfremur er mismunur á viðhaldskostnaði kostanna talinn hverfandi.

Til að meta hagkvæmni varmadælu er áhugavert að reikna út mismun árlegs kostnaðar hinna ýmsu kosta (A_a) og árlegs kostnaðar varmadælukerfis (A). Þannig er

$$\Delta A \equiv A_a - A = H(E_a - E/e) - \frac{rS}{1 - (1+r)^{-T}} \quad (\text{B.5})$$

Á sama hátt fæst mismunur orkueiningarverða (kr/kWh) kostanna, sem er

$$\Delta K \equiv \frac{A}{H} = E_a - \left[\frac{E}{e} + \frac{rS}{H(1 - (1+r)^{-T})} \right] \quad (\text{B.6})$$

Auk þessa er gagnlegt að reikna út endingartímann T þannig að $A_a - A = 0$, er gefur tímann, sem það tekur hinn lægri rekstrarkostnað varmadælunnar að borga upp stofnkostnað hennar. Ef jafna (B.5) er leyst fyrir T með þetta skilyrði uppfyllt fæst

$$T = - \ln \left[1 - \frac{rS}{H(E_a - E/e)} \right] / \ln(1+r) \quad (\text{B.7})$$

Ef r er látið stefna á núll í jöfnu (B.7) og reiknivöxtum þannig sleppt fæst einfaldari jafna

$$T = S / H(E_a - E/e) \quad (\text{B.8})$$

sem oft er góð nálgun.