

**ÚTLÁN**

Bókasafn Orkustofnunar

ORKUSTOFNUN

Jarðhitadeild

VARMADÆLUR

eftir

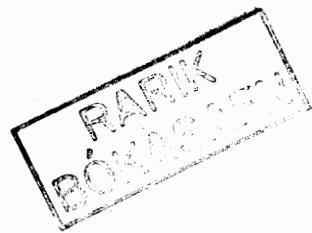
Gunnar V. Johnsen

OS JHD 7609

Mars 1976

ORKUSTOFNUN

Jarðhitadeild



VARMADÆLUR

eftir

Gunnar V. Johnsen

## EFNISYFIRLIT

	bls
Inngangur	1
Tegundir varmadæla	6
Hin venjulega rafknúna varmadæla	9
Aðfærslukerfi varmadælu	12
Dreifikerfi varmadælu	19
Varmadælukerfi	23
Akvörðun á stærð varmadælu	26
Orkunýting varmadælu	31
Samantekt	33

## INNGANGUR

Varmadæla er tæki, sem með aðstoð raforku tekur við varma við eitt hitastig og skilar tilsvarandi orkumagni við herra hitastig.

Varmadælur hafa verið í notkun, aðallega í U.S.A. frá því um 1930. Þessar vélar hafa flestar verið hannaðar með kælingu sem aðalmarkmið, en upphitun komið með sem veigaminna atriði yfir kuldatímann.

Hin gífurlega hækkan oliunnar hratt af stað miklum rannsóknunum til að finna nýjar orkulindir og að nýta betur þær orkulindir, sem fyrir eru. Viðast hvar er nú leitast við, á einn eða annan hátt, að spara orku.

Ein af þeim leiðum, sem hugsanlegt er að velja til orkusparnaðar, er að taka upp varmadælur til húshitunar. Mundu þær þá hér á landi geta sparað verulega þá oliu, sem fer í olíukyndingar, en auka raforkubörfina. Einn aðalkostur við notkun varmadælu á Íslandi er sá, að orkunotkun kerfisins byggist eingöngu á innlendri orku.

## VARMADÆLUR

Varmadælur má nota í tvemnum tilgangi: til kælingar og til hitunar.

Munur á varmadælu til upphitunar og kælingar er aðallega fólginn í því, að varmadæla til upphitunar nýtir það, sem varmadæla til kælingar losar sig við. Miðað við íslenskar aðstæður yrði varmadæla nær eingöngu notuð til upphitunar húsa.

Segja má, að varmadæla sé byggð upp úr 3 aðskildum kerfum:

1. Sjálf varmadælan, þ.e.a.s. það tæki eða kerfi, sem notað yrði við varmaflutninginn.
2. Aðfærslukerfi (flytur varma að varmadælu).
3. Dreifikerfi (kemur varma til upphitunarstaðarins).

Skal hér stuttlegra rakin uppbygging þessara kerfa, hvers fyrir sig:

1. Varmadælur í sinni einföldustu og jafnframt algengustu mynd er gerð úr 4 meginþáttum.

Þjappa (kompressor), péttir (kondenser), þrýstijöfnunarloka (expansionsventil) og uppgufara (evaporator).

Mynd 1 sýnir þessa uppbyggingu ásamt rennslisstefnu og þrýstingi.

Um þessa rás streymir kælivökvi, sem er annaðhvort á vökva eða gufuformi, allt eftir staðsetningu í rásinni.

Þessi rás vinnur í grundvallaratriðum á eftirfarandi hátt:

Frá þrýstijöfnunarloka streymir kælivökvi við svo lágan þrýsting og tilsvarandi lágt hitastig til uppgufara, að hann gufar upp og tekur við það til sín varma úr umhverfi uppgufarans (frá aðfærslukerfinu).

Þaðan sogast kæligufa við lágan þrýsting og hita til þjöppu, sem þjappar kæligufunni saman í háan þrýsting og hátt hitastig.

Frá þjöppu fer kæligufan við háan þrýsting og hátt hitastig til péttis, þar sem kæligufan þéttist og verður að vökva á ný og gefur frá sér varma, uppgufunarvarma og varmaaukann frá þjöppunni (til dreifikerfisins).

Frá pétti fer kælivökinn við háan þrýsting til þrýstijöfnunarloka, en þar fellur þrýstingur kælivökvans svo, að uppgufun getur átt sér stað að nýju.

Upphitun með þessu tæki er þannig fólgin í því, að taka upp varma frá umhverfi uppgufara og gefa hann af sér við umhverfi péttis.

Við þéttinn fæst þannig uppgufunarvarminn + varmaauki frá þjöppuninni.

Til að knýja fram rásina þarf auk þess að leggja til orku til að knýja þjöppuna áfram.

Í flestum gerðum varmadæla er notast við raforku.

Til útreikninga á þessari rás er oft gengið út frá hinni fullkomnu eða ideal rás, svokallaðri Carnot hringrás. Segja má, að hún ein-kennist af því, að ekki tap verður í rásinni. Mynd 2 sýnir hvernig Carnot hringrásin lítur út á T-S diagrammi, það er temperature-entropi diagrammi. Sýna má fram á að nýtni (effektfaktor, COP (coefficient of performance)) Carnot hringrásarinnar, en effektfaktor er skilgreindur sem hlutfallið milli þess varma, sem péttirinn gefur frá sér,  $Q_K$ , og þeirrar orku, sem leggja þarf í þjöppuna, W, megi skrifa á forminu:

$$\epsilon = \frac{T_H}{T_H - T_K}$$

þar sem  $T_K$  er hitastig uppgufara og  $T_H$  er hitastig þéttis.

Mynd 3 sýnir raunverulegri mynd af hringrásinni í T-S diagrammi.

Hér er þó ekki tekið með þrýstingsfall í leiðslum og annað tap í sjálfri rásinni. Öllu flóknara er að reikna út effektfaktor þessarar rásar, en nota má sem grófa nálgun sambandið:

$$\epsilon_{raun} = 0.5 \times \epsilon_{Carnot}$$

p.e.a.s. helmingarminnkun frá hinni fullkomnu rás.

Sem dæmi má nefna varmadælu, sem tekur við  $30^{\circ}\text{C}$  heitu vatni og skilar því frá sér  $60^{\circ}\text{C}$  heitu.

$$\epsilon = \frac{60+273}{60-30} = \frac{333}{30} = 11.1, \epsilon_{raun} = 5.55$$

tilsvarandi ef varmadælan vinnur milli  $10^{\circ}$  og  $60^{\circ}\text{C}$

þá fæst  $\epsilon_C = 6.66$  og  $\epsilon_{raun} = 3.33$

og milli  $-10^{\circ}$  og  $60^{\circ}\text{C}$

fæst  $\epsilon_C = 4.75$  og  $\epsilon_{raun} = 2.38$

sem sýnir, að effektfaktor stórminnkar eftir því sem hitastigið lækkar á vatninu, sem uppgufari tekur við. Hér sést einnig, að æskilegast er að hafa hitastigmismuninn sem minnstan.

í sjálfri rásinni streymir kælivökvi (skammstafað R).

Algengasta kæliefnið í notkun í dag er FREON. Til eru margar gerðir af því og eru R 12, R 22 og R 502 algengastar fyrir minni tegundir varmadæla.

2. Aðfærslukerfið má byggja upp á margan hátt. Helstu tegundir kerfa byggjast á því, að skila af sér varma úr lofti eða vatni, einnig er vel hugsanlegt að nýta jarðvarma og sólarorku.

Loft er allsstaðar til í sem næst ótakmörkuðu magni.

Nýta má bæði útiloft og úrgangloft frá verksmiðjum og íbúðarhúsum, sé það ekki um of mengað.

Vatn er víða til, en í mjög mismiklu magni eftir hitastigi og gæðum svo og hvaðan það kemur.

Nota má vatn úr sjó, úr stöðuvötnum, grunnvatn, vatn úr lækjum og ám og endurnýta frárennslisvatn, svo dæmi séu nefnd. Einnig mætti nýta brunnvatn og vatn úr borholum.

Jarðvarmi er víða mikill á Íslandi. Þar sem hann er hvað mestur er hann víða notaður beint til húshitunar eða sem ýmiss konar orkugjafi.

Víða erlendis eru rör grafin í jörðu og vatn þannig hitað með jarðvarma.

Segja má, að nýting sólarorku sé enn á byrjunarstigi, einkum vegna mikils kostnaðar og lítillar nýtni.

Verulegur galli á nýtingu sólarorku er náttúrulega sá, að orkuvinnslan er háð veðráttu, þ.e. sól eða sólarleysi.

3. Dreifikerfið má byggja upp sem vatnshitunarkerfi eða loftshitunarkerfi.

Í vatnshitunarkerfi eru notaðir ofnar, sem vatn er látið renna um. Ofnarnir taka við varma úr vatninu og geisla honum frá sér í herbergið. Vatnið rennur síðan burtu nokkrum gráðum kaldara.

Slik kerfi eru algengust á Íslandi í dag.

Í annarri gerð vatnshitunarkerfis eru rör lögð í gólf (eða loft) og vatn látið renna um þau. Gólfis (eða loftið) tekur til sín varma úr vatninu og geislar honum frá sér um húsið. Kostur þessa kerfis er sá, að hitastig vatnsins er tiltölulega lágt ( $35-40^{\circ}\text{C}$ ).

Í loftshitunarkerfi er heitt loft látið streyma um loftstokka gegnum húsið. Loftinu er hleypt inn í herbergi með sérstökum loftopum. Loftstreymið er knúið með viftum.

Auk þessara kerfa má hugsa sér ýmiss konar samblund kerfa og oft eru þau tengd geymslubúnaði, sem hlaða í sig varma þegar minnst álag er á, t.d. má nota varmadælu til að hita vatn í vatnsgeymi að næturlagi.

Tegundir varmadæla.

Til eru margar gerðir af varmadælum. Skipta má þeim í hópa eftir þeirri tegund orku, sem þær eru knúnar með. Helztar eru varmadælur knúnar raforku eða varma, og má skipta þeim niður á eftirfarandi hátt.

1. Rafmagnsvarmadælur

- a) venjuleg „öfug” kælirás
- b) v.d. sem byggjast á þenslu (expansions processer)
- c) hálfleiðara rásir (Peltier rás)

2. Varma-varmadælur

- a) venjuleg „öfug” kælirás knúin varma
- b) v.d. sem byggjast á ígleypni (absorptions processer)

3. Aðrar gerðir

Sem dæmi um aðrar gerðir má hugsa sér varmadælu knúna óliu, gasi eða jafnvel sólarorku, en það verður ekki rakið nánar hér.

Auk þessa má hugsa sér samblond af ólíkum tegundum.

Skal nú stuttlega rakið hvernig þessar varmadælur eru byggðar upp, kosti þeirra og galla.

- 1a. er algengasta tegund varmadælu og verður fjallað um hana itarlega síðar.
- 1b. Margar gerðir expansionsprosessa eru til. Sameiginlegt með þeim er, að engin fasabreyting á sér stað i rásinni. Við þessa notkun koma margar lofttegundir til greina, en venjulegt loft hefur að því leyti sérstöðu, að það er til í nægu magni og er ódýrt (ókeypis).

Svona vél ynni á þann hátt að þjappan tæki inn loft, þjappaði því saman og skilaði því þannig upphituðu til varmaskiptis (värmeväxlari), þar sem loftið nýttist. Frá varmaskipti féri loftið til þrýstijöfnunarvélar, þar sem það þenst út að nýju og skilar við það orku, sem nýta má til að knýja þjöppuna.

Kostur við kerfið er einföldun frá hinni venjulegu v.d. (engin uppgufari) en ókostur er að nýtnistuðull verður litill sökum taps í rásinni.

- 1c. Möguleikar eru á nokkrum gerðum tækja, sem byggjast á því að nýta þann varma, sem myndast í hálfleiðurum, p.e. í eða við P-N samskeyti. Sem dæmi má nefna Seebeck effect, Peltier effect eða önnur, sem öll ganga undir nafninu Termoelektrisk effekt.

Notkunin byggist á því, að þegar rafstraumur er látin fara gegnum hálfleiðarastafi úr P og N efni, myndast hiti í öðrum enda en kaldara verður í hinum (mynd 4).

Kostur er að tækið er algerlega án hreyfanlegra hluta og því engir beinir slitfletir, skipta má um notkun, p.e. kæla eða hita, með því einu að umpóla.

Til ókosta verður að telja að mikill straumur verður að fara gegnum rásina og að nýtnisstuðull er tiltölulega lágur. Auk þess eru slík tæki enn sem komið er mjög dýr, og því vart notuð annars staðar enn þar sem fjármál skipta engu máli eða óþoru verður ekki við komið (geimför, kafbátar, lestir).

- 2a. Í varmaknúnum v.d. er nýtnisstuðull skilgreindur sem hlutfallið milli þess varma sem kerfið gefur frá sér,  $Q_1$ , og þess varma, sem fer í að knýja rásina,  $Q_2$  ( $\epsilon = Q_1/Q_2$ ). Nýtnisstuðull varma-knúinnar v.d. er alltaf lægri en nýtnisstuðull sambærilegrar rafknúinnar varmadælu.

Mynd 5 sýnir nýtnisstuðul fullkominnar rásar, Carnot hringrásar, við tvö hitastig á þeim varma sem knýr rásina. Varmaupptaka á sér stað við  $T_1$ , og kerfið skilar af sér varma við  $T_2$ .

Ókostur er, að þörf er á varma við hátt hitastig.

2b. Varmadælur sem byggjast á ígleypni (absorbtionsprocessa) vinna i grundvallaratriðum eins og venjuleg v.d. (þ.e. hin "ðfuga" kælirás), munurinn á uppbyggingu er fólginn í því að í stað þjöppu er notaður annar búnaður við þjöppuna. Sá búnaður notfærir sér varma eða aðra varmaorku við þjöppun kæliefnisins.

Mynd 6. sýnir hugsanlega uppbyggingu slikrar rásar ásamt nýtnistuðli.

Þetta eru helztu gerðir varmadæla, sem eru í notkun í dag. Í greinum og bókum um varmadælur er yfirleitt alltaf lögð aðaláhersla á hina venjulegu rafknúnu varmadælu og jafnvel ekki minnst á hinum.

Reikna má með því að hún henti einna best íslenzkum aðstæðum. Þó má vel hugsa sér að nota megi ígleypnis aðferðina (absorbtionsprocessinn) þar sem til er vatn við hátt hitastig, þó í litlu magni sé.

Hin venjulega rafknúna varmadæla eða "Öfuga" kælirás.

Þessi gerð mun vera algengust í heiminum í dag. Hún er byggð upp úr 4 grunneiningum: Uppgufara, þjöppu, pétti og þrýstijöfnunarloka. Varmadælan tekur við varma við uppgufara og skilar varma við herra hitastig við pétti. Þjappan knýr rásina áfram. Hringrás þessa tækis hefur þegar verið lýst.

Nýtnisstuðull rásarinnar.

Nýtnisstuðull taplausrar hringrásar (Carnot hringrásar) er skilgreindur

sem:  $\epsilon = \frac{T_I}{T_U - T_I}$ , þar sem  $T_I$  er hitastig uppgufara í 'Kelvin,  
og  $T_U$  er hitastig þéttis.

Í reynd er engin rás fullkomin og er oft tekið tillit til allra  
affalla með því að nota sambandið  $\epsilon = 0.5 \epsilon_{\text{Carnot}}$ .

Einnig má reikna nýtnisstuðul sem  $\epsilon = \frac{E_U}{E_p}$ , þar sem  $E_U$  er sá varmi,  
sem kerfið gefur af sér og  $E_p$  sú orka, sem fer í að knýja rásina.

Þetta samband gefur beint hlutfallið milli þeirrar hitaorku sem fæst  
úr kerfinu og þeirrar orku sem fer í að knýja rásina. Nýtnisstuðlar þeirra  
tækja, sem eru í notkun í dag, eru yfirleitt á bilinu 2-6. Ekki  
má fara mikið undir 3, til þess að kerfið teljist lélegt.

Af jöfnunum að ofan er ljóst að aðallega fernt hefur áhrif á nýtnis-  
stuðulinn (að öllu öðru óbreyttu).

- a. Hitastig uppgufara
- b. hitastig þéttis
- c. hitastigsmismunurinn
- d. orkuþörf kerfisins

Mynd 7 sýnir innbyrðis áhrif a,b,c. Myndin er nokkuð táknað fyrir litteraturen, varla nokkur bókarhöfundur gerir ráð fyrir hærra inn - hitastigi en  $20^{\circ}\text{C}$ .

(Útreikningar í myndinni eru byggðir á meðaltölum frá ýmsum þjóppuframleiðendum, og á við semihermitista þjóppu).

Sem dæmi má taka kerfi, sem tekur við  $10^{\circ}\text{C}$  heitu vatni og skilar því frá sér við  $60^{\circ}\text{C}$ , p.e.a.s. hitun um 50 gráður. Nýtnisstuðull verður um  $\epsilon \approx 3.8$ . Annað kerfi, sem tekur við  $20^{\circ}\text{C}$  heitu vatni og skilar því við  $60^{\circ}$ , hefur nýtnisstuðul  $\epsilon \approx 4.4$ . Til samanburðar skal getið að  $\epsilon_{\text{Carnot}}$  fyrir viðkomandi rásir er um 5.7 og 7.3. Sem sjá má af mynd 7 fellur nýtnisstuðull mjög við lækkandi inn - hitastig.

Orkupörf kerfisins hefur og einnig mikil áhrif á nýtnisstuðulinn. Má sem dæmi nefna, að orka, sem fer í að knýja dælur, viftur og affrostunarbúnað, þá einnig loka og öryggisbúnað, getur orðið svo mikil, að nýtnisstuðull verði mjög litill. Athuga ber því við hvað framleiðandi varmadælu miðar, þegar hann gefur upp nýtnisstuðul.

#### Önnur atriði, sem áhrif hafa á nýtnisstuðul.

Sem dæmi um aðra hluti, sem áhrif hafa á nýtnisstuðul, má nefna: undirkæling kælivökva, yfirhitun gufu, val kælivökva í rásinni, þjöppugerð og tegund, tegund rafmótors, þrýstingstap í leiðslum, stærð og gerð uppgufara og péttis, svo og dimensionering á kerfinu í heild miðað við þær aðstæður, sem fyrir eru.

Segja má að undirkæling kælivökva og yfirhitun gufu hækki nýtnisstuðul að vissu marki, en hafa ber í huga, að þegar gufan hitnar, þá þenst hún út. Það, að gufan þenst út, hefur í főr með sér að sama þjappa (sama rúmmál) tekur við minna magni kælivökva (flæðið minnkar) og smyr þar af leiðandi þjöppuna ver en áður. Þetta getur bvi valdið óeðlilegu sliti á þjöppunni.

Til eru margar gerðir kælivökva og er Freon og ammoniak þeirra helztar. Við val á kælivökva verður að ganga út frá fjölmögum termodynamiskum eiginleikum, auk þess sem efnið verður að passa við hinan raunverulegu aðstæður, t.d. inn- og út - hitastig. Kæliefni verður auk þess að uppfylla vissar sérkröfur í samræmi við notkun í íbúðarhúsum, t.d. má það ekki vera eitrað, eldfimt og ekki má af því stafa sprengihætta. Kæliefnið má ekki hafa eyðandi áhrif á kerfið og verður að geta blandast smuroliu fyrir þjöppu á viðunandi hátt. Þannig hefur val kæliefnis áhrif, beint og óbeint, á nýtnisstuðul alls kerfisins og hæfileika þess, að gegna hlutverki sínu.

Til eru margar gerðir af þjöppum, og eru stimpil-, skrúfu-, miðflóttu- og ejektorþjöppur algengastar. Í varmadælukerfum er venjulega notuð stimpilþjappa. Stimpilþjappa hefur þann kost að geta unnið við hátt hitastig og lítið flæði. Skipta má þessari þjöpputegund í 3 gerðir: opna, semihermitiska og hermitiska. Val á réttri stærð og tegund þjöppu er háð þeim aðstæðum, sem fyrir eru, t.d. afköst og hitastig.

Þrýstingstap á leiðslum hefur að öllu öðru óbreyttu lækkandi áhrif á nýtnisstuðul.

Gerð uppgufara og þéttis skiptir einnig máli, því í t.d. vatns-hitakerfi er ekki víst, að vatnið nái fullkomlega sama hitastigi og þéttir hefur, en nýtnisstuðull er einmitt miðaður við sjálfan uppgufunar- og þéttishitastigið.

Af ofanrituðu er ljóst, að mjög margt kemur við sögu í ákvörðun á raunverulegum nýtnisstuðli varmadælukerfisins. Til þess að kerfið í heild nýtist sem bezt verður gott samspil að vera á milli einstakra þátta í kerfinu og er því ljóst að þetta verður flókið dæmi, ef vel á að vera.

Nokkur fyrirtæki hafa hafið framleiðslu og sölu á tilbúnum, þrýstiprófuðum varmadælukerfum. Þessi kerfi, ef þau standa við það sem framleiðandi gefur upp, hafa þann kost með sér, að einungis þarf að setja þau í samband, þ.e. tengja þau við að- og dreifi-streymiskerfi og rafkerfi. Nánar um þetta síðar.

#### ADFÆRSLUKERFI VARMADÆLU

Til eru margvislegar gerðir af aðfærslukerfum, en helstar eru þær sem taka varma úr lofti, vatni eða jörðu. Auk þessa mætti nefna kerfi, sem áður hefur litillega verið minnst á, sem nýta sólarorku eða þá orku efnabreytinga. Ofan á þetta bætist svo möguleikar á nýtingu, á alls kyns blönduðum kerfum svo og nýtingu á úrgangsvarma. Segja má um flestar tegundir varma, við lágt hitastig að þær séu ókeypis, nema sem nemur þeim kostnaði að ná honum. Sá kostnaður getur þó örðið býsna mikill t.d. við sólarorku eða ef bora þarf fyrir vatni.

Skal nú nánar gerð grein fyrir helstu tegundum aðfærslukerfa, þ.e. loft-, vatns- og jarðvarmakerfum.

#### LOFTSADFÆRSLUKERFI

Varmadælur sem byggjast á loftvarma eru sennilegast algengasta tegundin í notkun í dag. Venjulegt útiloft er alls staðar til í ríkulegum mæli og þar sem eiginleikar þess eru allvel þekktir, er auðvelt að koma við fjöldaframleiðslu á þeirri einingu sem notar það. Notkunin byggist á því að loft er látið streyma um uppgufara og skilar þannig til hans þeim varma sem með þarf til að kæliefnið gufi upp. Nokkur vandamál koma þó upp við notkun á lofti og er fyrst að geta, að i venjulegu lofti er alltaf bundinn viss raki, þannig að þegar loftið kólnar niður fyrir frostmark frýs þessi raki og myndar einskonar klakahúð utan á uppgufara, sem virkar sem einangrun. Þetta leiðir til þess að varmaflutningur milli lofts og uppgufara torveldast og ef ekkert er að gert hættir kæliefnið að gufa upp. Koma má í veg fyrir þetta með því að þíða isinn, t.d. leiða heita gufu til baka frá þjóppu stutta stund eða með svokallaðri varmagasaffrostun þ.e.a.s.að snúa rásinni við stutta stund í einu. Ljóst má þó vera að hvaða aðferð sem valin er, þá hefur hún í för með sér notkun aukaorku og/eða varmamissi eða beint tap.

I öðru lagi verður að athuga, að þegar loftið kólnar eykst specifika

rúmmál kæligufunnar pannig að þjappan sem tekur alltaf á móti stöðugu kæligufurúmmáli yrði að vinna hraðar til að anna sömu hita- afköstum og áður. Venjulegar þjóppur hafa stöðugan (konst) snúnings- hraða, pannig að í reynd hefur þetta í för með sér að geta þjóppunar og nýtnisstuðull minnkar. Mögulegt væri jú að byggja inn í kerfið nægilega stóra þjóppu til að annast kaldari aðstæður eða hitastýringu en slikt hefði í för með sér verulegan stofnkostnaðarauka.

Í þrója lagi skyldi athugað að til þess að tryggja nægileg varmaskipti milli uppgufara og lofts verður oftast að láta viftur blása loftinu um uppgufara. Þeigar svo kólnar þyngist loftið pannig að auðvelt er að ofbjóða viftum, eða þá að viftan annar ekki sama loftmagni sem áður.

Öll þessi áhrif leggjast á eitt þegar kólna fer, pannig að þegar mest þarf á hita að halda er erfiðast til hans að ná. Oft er þetta leyst á þann hátt að varmadælan er byggð til að þekja varmapörf húss niður til t.d. + 5°C en síðan er notað eitthvað annað kerfi til að fylla upp ef kaldara verður. Þetta er engan veginn góð lausn, það sem vinnst í rekstrarkostnaði, við venjulegar aðstæður er sóað með dýrari uppfyllingshitun, er kaldast er, t.d. með rafhitun, oliu eða gasi. Pannig þarf heldur ekki toppeffekt útlát raforkusala að minnka við svona notkun. Erlendis t.d. U.S.A. eru loftkerfin sniðin með kælingu sem aðalmarkmið en hitun tekin með, meira eða minna, sem veigaminna atriði.

Viða er reynt að notast við loftkerfi þar sem t.d. ekki fæst nægilega mikið vatn. Sviar virðast ætla að byggja upp loft-kerfi í sinni varma- dælu. Á Íslandi er meðalloftshiti það lágur og búast má við löngum kuldaköflum á vetrum, að fullvist má telja að það getur varla borgað sig að nýta loft-aðflutningskerfi, að minnsta kosti ef það ætti að byggjast á útilofti. Mögulegt ætti þó að vera að nýta úrgang loft frá t.d. frystihúsum, verksmiðjum eða öðrum stærri byggingum.

#### VATNSADFÆRSLUKERFI

Vatn, ef færst í nægilegu magni, hentar mun betur til varmadælunotkunar

en loft, vegna mun betri varmaskiptaeiginleika. Skilyrði til notkunar eru aðallega þau, að vatnið má ekki frjósa og ekki má það vera um of mengað. Notast má við vatn úr lækjum og ám, stöðuvótnum, grunnvatn, brunnum og vatn fengið úr borholum. Til greina kemur að nota sjávarvatn, en gera verður þá sérráðstafanir til að verja leiðslur og uppgufara fyrir tæringu. Viða erlendis er, staðbundið, erfitt að fá vatn og jafnvel erfitt að losa sig við frárennslið; er þar þá oft notast við loftskerfi. Vatn hefur yfirleitt stöðugra hitastig en loft. Hitastig grunnvatns, vatns í brunnum og úr borholum helst þannig tiltölulega stöðugt allt árið í kring. Hitastig vatns úr ám og lækjum breytist með árstíðum um fáeinan gráður á ári. Vegna hættu á að vatn frjósi má taka vatnið af miklu dýpi, þar helst það stöðugt allt árið. Vatn fengið á þennan hátt (ekki borholur) hefur venjulega lágt hitastig,  $4^{\circ}$ - $15^{\circ}$ C. Erlendis telst það viðast gott að ná í um  $10^{\circ}$ C heitt vatn, sé það í nægu magni.

Kostur er, miðað við loft, að sökum góðra varmaskiptaeiginleika getur uppgufari orðið mun minni. Oft þarf að innleiða pumpu til að halda uppi nægu rennsli, og vegna kostnaðar við rörlagnir takmarkast vatnskerfanotkun oft við næsta nágrenni vatnsgjafa. Viða hérlendis fæst heitt vatn úr borholum. Þar sem það er nægilega heitt er það viðast notað beint til húshitunar. Flestar borholur skila þó ekki nægilega heitu vatni til beinnar notkunar. Hiti þeirra er oftast á bilinu  $10^{\circ}$ - $40^{\circ}$ C. Þennan varmaauka í vatninu, miðað við það sem yfirleitt er notast við erlendis, ætti að vera hægt að notfara sér í varmadælur hérlendis. Þannig ætti í mörgum tilvikum ekki að purfa að vinna með eins stóran hitamismun á inn- og út hitastigi kerfisins. Mögulegt ætti þá einnig að vera að nýta betur vatnið p.e.a.s. að leyfa stærra hitastigsfall yfir uppgufara, en tíðkast viðar erlendis. Slikt aukið hitastigsfall ætti að geta gefið af sér mun meiri orku, þar sem það þarf 1 kcal til að hita 1 liter af vatni um 1 gráðu. Viða erlendis láta menn sér nægja kólunn frá ca  $10^{\circ}$ C til  $4^{\circ}$ C p.e.a.s.  $6^{\circ}$  kólunn eða sem samsvarar 6 kcal pr. liter. Ekki óalgengur vatnshiti hérlendis í borholum er  $20^{\circ}$ C, sem ætti við kælingu niður í  $4^{\circ}$  í uppgufara p.e.a.s.  $16^{\circ}$  kólunn eða sem samsvarar 16 kcal pr. liter. Þetta þýðir almennt að fyrir hverja auka gráðu í hitamismun

fæst í kcal pr. liter. Þetta eitt sér ætti að lofa góðu með varmaðalu með okkar heitara vatni. Annar kostur við hærri hitamismun er sá að þegar orka pr. liter vex, minnkar vatnsþörfin. Sá galli fylgir þó gjöf Njarðar að rúmmál kælivökvans (á gufuformi) er verulega háður hitastiginu. Þetta þýðir í reynd að uppgufun kælivökva minnkar með lækkandi hitastigi, þar sem þjappan vinnur alltaf með stöðugt rúmmál. Miðað við íslenskar aðstaður þýðir þetta að velja þyrfti kæliefni sérstaklega með hliðsjón af þessum séraðstæðum, þ.e. herra inn-hitastig en sama út-hitastig úr uppgufara. Þetta gæti orðið erfitt, því eins og fyrr segir minnkar uppgufun kælivökva eftir því sem hitastigsmunurinn vex. Þennan vanda má leysa með því að innfæra fleiri varmaskipta og/eða hafa samtímis fleiri gerðir kælivökva, allt auðvitað með viðeigandi kostnaðarauka. Auk þess mætti hugsa sér að blanda saman heitu og köldu vatni, þ.e.a.s. kæla heita vatnið og hita kalda vatnið og fá þannig meira vatnsmagn þó við lægra hitastig væri. Þetta gæti orðið heppileg lausn, þar sem fyrir væri heitt vatn en í litlu magni. Sem dæmi mætti taka borholu, sem skilaði af sér 40°C heitt vatn við 0.5 l/sek. Við beina kælingu niður í 5°C ætti borhola að geta skilað af sér 17,5 kcal/sek. Ef vatnið væri hins vegar kælt fyrst niður í 20°C, með því að blanda saman við það 2/3 l/sek af 5°C heitu grunnvatni, þá fæst út 7/6 l/sek við 20°C. Þetta vatn mætti síðan fara inn um varmaskipti uppgufara og koma út 5°C þ.e.  $\Delta T = 15^\circ$  sem jafngildir  $15 \times \frac{7}{6} = 17.5$  kcal/sek sem er sama og áður. Munurinn er hins vegar sá að í fyrra tilfelli þarf flóknara kerfi t.d. tvískiptan varmaskipti og þar af leiðandi hærri stofnkostnað en í síðara þarf að leggja til blöndun og lyfta inn varmanum herra, en auk þess verður til meira vatn til ráðstöfunar, sem verður að teljast höfuðkosturinn í þessu tilfelli.

Þar sem vatnsþrýstingur er ekki nægur verður að setja pumpu í rásina. Allur slikur aukabúnaður, pumpur í aðfærslurás og dreifikerfi, allur rafknúinn aukabúnaður, svo sem ventlar og öryggisbúnaður, hefur lækandi áhrif á heildarnýtnissstuðul kerfisins. Talið er gott ef halda má þessari aukaorkupörf niður fyrir 10-15% af orkuþörf þjóppu.

Kostir vatnskerfisins eru margir:

- a) Vatnshiti er yfirleitt tiltölulega hár.
- b) Vatnshiti helzt stöðugur allt árið.
- c) Enginn hætta er á að ofbjóða þjöppu vegna veðurbreytinga.
- d) Vatn má nota jafnvel við verstu veðurskilyrði.
- e) Vatn hefur góða varmaskiptaeiginleika,

en ókostir:

- a) Gera verður ráð fyrir vissri tæringu.
- b) Pumpuorka getur orðið mikil.

#### JARDVARMAKERFI

Skipta má jarðvarmakerfi í two meginflokkum. Annar flokkurinn byggir á eiginlegum jarðvarma þ.e. fær varma sinn úr iðrum jarðar en hinn byggir á notkun varma sem safnast í jörðu, eiginlega óbein notkun á sólvarma.

Ekki hefur heyrst um neina varmadælu í notkun sem byggir á eiginlegum jarðvarma. Þó er vel hugsanlegt að nýta megi volgrur hérlendis, sbr. kaflann um vatnskerfi. Í Vestmannaeyjum er verið að gera tilraunir með nýtingu á jarðvarma til húshitunar. Vatn er dælt í jörð og tekið upp aftur við heitara hitastig.

Ymsir, t.d. danir og bandaríkjumenn, hafa framleitt varmadælu sem byggir á notkun varma, sem safnast í jörðu. Kerfið byggist á því að rör eða spiralar eru grafin í jörðu. Kerfið myndar lokaða hringrás, sem er tengd uppgufara. Vökvi, oft vatn með frostlegi, er látinna fara um hringrásina, þannig að vökvinn tekur til sín varma úr jörðu og gefur hann frá sér í uppgufara og kólnar þar, fer niður í jörðu aftur og hitnar o.s.frv. Verulegur ókostur við svona kerfi er allur sá gróftur sem nauðsynlegur er til að koma rörum niður, og þar af mikill kostnadr í greftri og rörum. Lágmarksdýpt röra miðast við að þau séu sett undir jarðklaka. Engar ákveðnar reglur eru til um stærð, lengd eða fjarlægð milli röra, heldur er það mjög breytilegt eftir efnasamsetningu jarðvegsins. Danir hafa yfirleitt rörin á 1.5-2.0 m dýpi með 1.5 m milli röra. Við þessi skilyrði hafa þeir náð 25-30 kcal/h pr.

m rör. Athyglisvert er að reynsla þeirra bendir til, að þetta hafi ekki nein áhrif á gróðursprettu.

Mynd 8 sýnir hitasveiflur sem fall af dýpi, og má af henni sjá að hitastigið verður stöðugra við vaxandi dýpi. Auk hitastigs jarðvegsins hefur varmaleiðni þess mikil áhrif. Sem búast má við er rakur jarðvegur betri en þurr en gæta verður varúðar því ekki má frjósa, hvorki í eða utan á rörunum. Ef frýs utan á rörunum myndast eins konar húð eða einangrun (sbr. frost í loftkerfi), sem mjög erfitt getur orðið að losna við, þar sem rörin eru jú grafin niður. Til að spara sér allan þann gröft, sem þarf til að koma rörunum niður, má hugsa sér að bora og setja rör löðrétt niður. Reynsla dana í þessum efnum er þó sú að nýtni virðist heldur minnka við þetta, og stafar það sennilega af því, <sup>að</sup>hér er um óeiginlegan jarðvarma að ræða, þ.e. varma frá sólu sem safnast í jörðu, en fara verður mjög djúpt til að koma niður á eiginlegan jarðvarma, eins og hann þekkist t.d. hér á Íslandi. Þetta þýsir í reynd að við vaxandi dýpi (tiltölulega lítið dýpi) hitnar fyrst en gæti svo kólnað aftur, þar sem sólin nær ekki að hita. Þessu er öðruvísi háttar hér. Til dæmis er vel hugsanlegt að taka megi upp varmadælur í Vestmannaeyjum, er hraunið er hatt að gefa frá sér nægjanlegan varma til beinnar hitunar.

Aðalkosturinn við jarðvarmakerfið er sá, að vatnshitinn til uppgufara helst stöðugur að heita má allt árið. Að visu fellur hann litillega er líður á veturn, en það staðfestir ennfrekar, að hér sé um samansafnaða sólarorku að ræða. Annar kostur þessa kerfis er sá, að jarðvegur til þessara nota er viðast hvar til.

Til ókosta verður að telja hinn mikla kostnað við gröft og lagningu röra, svo og hættu á frosti utan á rörunum og skort á upplýsingum um stærð á rörum og röralengd í mismunandi jarðvegi.

#### ADRAR TEGUNDIR ORKUGJAFNA

Margar aðrar tegundir varmagjafa koma til greina í tengslum við varmadælur og skal nú nokkurra getið.

Úrgangarloft úr verksmiðjum, frystihúsum og almennt öðrum stöðum með nægilegu loftmagni, koma mjög til greina. Aðalkosturinn við kerfi byggð með slikum varma er sá að varminn er við tiltölulega hátt hitastig, og oft tiltölulega stöðugt hitastig. Þetta hefur í főr með sér að maður er laus við frostmyndun á uppgufara og allan aukabúnað þar af leiðandi. Loftskerfi byggt á pennan hátt er heldur ekki háð útiloftshitistigi á sama hátt sem áður.

Úrgangsvatn má á sama hátt sem loft nýta til varmadælu. Til dæmis mætti hugsa sér að nýta vatn úr húsum hituðum með hitaveituvatni, sem flutt er að langa leið. Þetta gæti hugsanlega orðið hagkvæmt ef flytja þyrfti hitaveituvatnið langa leið og/eða að það væri ekki nægjanlegt fyrir allan staðinn.

Varma mætti einnig taka frá efnafraðilegum prósessum og nýta í varmadælum. T.d. er vel hugsanlegt að nýta megi þann varma sem myndast í úrgangi úr kúm í fjósum. Úrgangur úr kú gefur teoretískt af sér  $6.6 \times 10^6$  kcal á ársgrundvelli. Þetta samsvarar ca 7500 kWh. 20 kúa fjós ætti þannig að geta gefið af sér  $7500 \times 20 = 150.000$  kWh á ári og þó einungis 40% nýttist mætti þá fá út sem samsvarar 60.000 kWh á ári. Þess má geta að þetta samsvarar um 6000 kg olíu miðað við eðlisþyngd  $0.88 \text{ g/cm}^3$  og að hitaorka olíu sé 9900 kcal/kg. Þessi orka ein sér ætti því að geta nægt þil upphitunar sveitabýlis. Sú efnabreyting sem hér á sér stað gengur best við  $30^\circ - 60^\circ\text{C}$ .

### DREIFIKERFI VARMADÆLU

Dreifikerfi varmadælu er aðallega byggt upp á tvennan hátt: sem loftsdreifikerfi eða sem vatnsdreifikerfi. Jafnvel samblund af báðum þessum kerfum kemur til greina.

#### Loftsdreifikerfi.

Loftsdreifikerfi byggir á því að loft er látið leika um pétti.

Loftið kælir péttinn þannig að kæliefnið péttist og gefur við það frá sér varma, uppgufunarvarmann + varmaauka frá þjöppuninni, til loftsins. Loftið er leitt frá pétti um allt hús í loftstokkum.

Loftinu má hleypa inn í herbergi á margvíslegan hátt eftir hentug-leikum hverju sinni, t.d. gegnum gólf, veggi eða loft.

Til að tryggja nægilegt loftstreymi eru viftur settar í rásina til að knýja loftið áfram. Loftskerfi hafa þann eiginleika fram yfir vatnsofnakerfi, ef vel eru sniðin, að þau hafa að miklu leyti allt loftið í húsinu til umráða, það er geta t.d. flutt loft frá heitu herbergi í kaldara. Þetta hefur í főr með sér að veita má heitu lofti frá herbergi þar sem margt fólk hefst við til kaldari hluta annarsstaðar í húsinu, og auk þess er hægt að dreifa varma, sem safnast sólarmegin í húsum um allt hús. Staðsetja má filtera í loftrásum, til að hreinsa loft og taka úr því raka. Skipta verður reglulega um filtera. Til eru í dag filterar, sem hægt er að þvo og síðan endurnota.

Annar megin kostur við að nota loft í dreifikerfi er sá, að loftið þarf ekki að hita í mjög hátt hitastig. Loft, sem hleypt er inn í herbergi, mætti þannig tæplega vera við hærra hitastig en  $25^{\circ}\text{C}$ , en er oft á bilinu  $21^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}$ . Þetta þýðir, að hitastig péttis má vera mun lægra en í t.d. vatnsofnakerfi (yfir  $50^{\circ}\text{C}$ ).

Viss loftsendurnýjun verður alltaf að eiga sér stað í svona kerfi, en forðast ber að hafa hana of mikla, sérstaklega á kuldatínum. Endurnýta má loftið, ef við verður komið, með því að hreinsa það með filterum eða óbeint með því að láta útstreymandi loft fara í móttreyimi við innstreymandi loft í varmaskipti.

Hönnun loftrása eða loftstokka er mikilvægt og vandasamt verk. Til þess að kerfið fái sem best notið sín er ljóst að vanda verður mjög til loftræstikerfisins.

Loftstokkar kerfisins eru aðallega hannaðir á tvennan hátt.

Önnur aðferðin byggist á því að ákvarða stærð meginloftrásar og aukaloftrása þannig að lofthraðarnir verða sem jafnastir. Hin aðferðin byggist á því að velja hæfilegan lofthraða og ákvarða síðan stærðir loftstokka með hliðsjón af núningsmótstöðu.

Til eru margar gerðir af viftum. Mikilvægt er að hafa réttu stærð og gerð á réttum stað. Þegar velja á viftu verður að gæta að mörku, t.d. hávaða, sem af henni stafar, fyrirferð hennar, nýtni, kostnaðar og gerð.

Loftrætidreifikerfi eru einkum notuð í mildu loftslagi, t.d. nota bandaríkjumenn nær eingöngu slik kerfi í sinum varmadælum. Ræður hér mestu, að mikil nauðsyn er á kælingu yfir sumarmánuði.

Kostir loftrásakerfis eru aðallega fólgir í því:

- að tiltölulega fljótt er hægt að bregðast við breytingum í hitastigi,
- að mestallt loftið í húsinu er til umráða,
- að auðvelt er að nota loft til kælingar yfir sumarmánuði (ef á þarf að halda).
- að ekki þarf að hita loftið mjög mikil (um 25°C),

en ókostir:

- að oft stafar hávaði af kerfinu ef ekki er nægilega að gætt við val viftu og hönnun loftrása,
- að oft vill verða dragsúgur í herbergjum,
- að kostnaður við lagningu loftrásakerfa er oft mikill.

Vatnsdreifikerfi.

Í vatnsdreifikerfi er vatn látið leika um pétti. Vatnið kálið péttinn og tekur við það til sin varma frá honum, uppgufunarvarma + varmaaukann frá þjöppuninni. Vatnið er síðan leitt í vatnspípum um húsið og gefur frá sér varma í ofnum í húsinu.

Sökum þess hversu litlar vatnspíurnar eru, er yfirleitt alltaf auðvelt að koma þeim fyrir í húsum við byggingu þess.

Miðað við þær varmadælur, sem eru í framleiðslu í dag mundu ofnar, sem skila eiga varma til hússins, þurfa að vera stærri en í flestum öðrum vatnsofnakerfum hérlendis. Þetta stafar af því að hitastig vatnsins, sem varmadælan hitar, fer upp í um  $50-55^{\circ}\text{C}$ , en er um  $75-85^{\circ}\text{C}$  með oliukyndingu eða hitaveituvatni. Oft er talað um að ofnar í varmadælum þurfi að vera  $2-2 \frac{1}{2}$  sinnum stærri en í venjulegum kerfum og að vatnsflæði þurfi einnig að aukast, til þess að kerfið skili af sér sama varma og áður. Í reynd hefur þetta í för með sér, að ef varmadæla er sett í eldra hús, að reikna má með því að skipta þurfi um að minnsta kosti minnstu ofnana.

Til að halda uppi eðlilegu rennsli er pumpa sett í rásina. Vanda ber val hennar, þar sem t.d. öll auka orkunotkun hefur lækkandi áhrif á nýtnisstuðulinn.

Vatnsdreifikerfi má hanna á fleiri vegu en með venjulegum ofnum. T.d. sem geislakerfi þar sem sérstök rör eru sett í gólf, veggi eða loft. Kostur við svona lagnir er sá, að hitastig vatnsins þarf ekki að vera eins hátt. Margir framleiðendur tala t.d. um að  $35^{\circ}-40^{\circ}\text{C}$  sé hámarkshiti í gólfhitun. Þetta hefur því augljósa kosti í tengslum við þær varmadælur, sem hingað til hafa verið framleiddar. Ókostir við svona kerfi eru helstir þeir að upphitunarhitinn virðist ekki koma neinsstaðar frá, það er því erfitt að „hlýja sér“ á sama hátt og þegar staðið er við ofn eða loftop, og sökum mikillar tregðu í slikum kerfum getur tekið langan tíma að ná upp hita aftur eftir veðrun.

Hið lága hitastig gerir það að verkum, að geislahitun verður mjög hentug fyrir varmadælur. Flestar varmadælur þjóðverja til íbúðahúsahitunar eru þannig í tengslum við geislahitun.

Vatnsdreifikerfi eru yfirleitt höfð lokuð, þ.e.a.s. vatnið fer hrингrás um dreifikerfið; tekur við varma við þétti varmadælu, streymir um lögn í húsi og kólnar við það og fer síðan aftur til þéttis. Ef heitavatnshitun á sér stað með varmadælu þá er einungis bætt við sem þeirri vatnsnotkun nemur. Svona lokuð kerfi spara verulega orku, því vatnið er, þrátt fyrir kólnun í húsi, yfirleitt alltaf heitara en vatnið í aðfærslukerfi.

Til vatnsdreifikerfis verður og einnig að telja vatnshitun til sundlauga og iðnaðar, t.d. fyrir ölgerð. Varmadælur purfa yfirleitt ekki að hita vatn nema upp í um  $25^{\circ}\text{C}$  fyrir slika notkun. Erlendis t.d. í Þýzkalandi, né varmadælukerfi af þessu tagi mjög miklum afkóstum, allt að 2-3 M kcal/h.

Fremur erfitt reynist að nota vatnsdreifikerfi til kælingar, stafar það t.d. af því hversu lítill kæliflöturinn er.

VARMADÆLUKERFI.

Fram til þessa hefur aðfærslu- og dreifikerfi varmadælu verið stuttlega lýst. Þá hefur og einnig sjálfrí varmadælunni verið lýst í stórum dráttum. Af ofanrituðu er ljóst að hugsa má sér ýmsar gerðir varmadælukerfa, eftir gerð sjálfrar varmadælu svo og aðfærslu- og dreifikerfi. Sé miðað við venjulega rafknúna varmadælu ("öfug kælirás") eru eftirtalin kerfi algengust:

lofts - lofts  
lofts - vatns  
vatns - vatns  
vatns - lofts  
jarðvegs - vatns  
jarðvegs - lofts

Hér á fyrri dálkurinn við tegund aðfærslukerfis en sá síðari á við dreifikerfi.

Skal nú stuttlega gerð grein fyrir kostum og göllum þessara kerfa.

Lofts - lofts kerfi byggir á því að nýta varma úr venjulegu lofti og skila því frá sér í loftræstingakerfi. Helsti kostur kerfisins er sá hversu almennur varmagjafinn er. Mjög auðvelt og fljótlegt er að bregðast við kröfu um breytingu á hitastigi og auðvelt er að koma við kælingu, gerist þess þörf.

Aðal ókostur kerfisins er sá, að nýtni fellur mjög við lækkandi hitastig þ.e.a.s. afkastageta kerfisins er minnst þegar mest þarf á varmanum að halda. Þetta hefur í főr með sér að yfirleitt alltaf þarf á einhvers konar varakerfi að halda, til að styðja við í kulda-köstum. Annar ókostur við notkun kerfisins á kuldatímum er, að reglugægilega þarf að afhríma útivarmaskiptinn (uppgufarann). Þriðji ókostur kerfisins er sá, að loftrásir dreifikerfisins eru fremur dýrar, en á móti mun koma að auðvelt er að koma við fjöldaframleiðslu á sjálfrí varmadælueiningunni þannig að sjálf lofts varmadælan er sennilega ódýrust.

Lofts - vatns kerfið er svipað loft - loft kerfinu um flest nema það, að varmanum er skilað til vatnsdreifikerfis, p.e.a.s. vatnsofna- eða geislahitun. Það verður að teljast kostur við þessa notkun, að með henni má einnig fá vatn til heitavatnsnotkunar. Yfirleitt er talið, að nýtni loft - vatns kerfisins sé meiri en nýtni loft - loft kerfisins.

Yfirleitt eru loft-varmadælukerfi byggð til að anna hitun að vissu hitastigi (t.d.  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ), en eftir það þarf uppfyllingshitun með varmaðelunni. MÖrg svona kerfi þola ekki lægra en  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Vatns - vatns varmadælan vinnur varma úr vatni og skilar af sér varma til vatnsdreifikerfis, p.e. í vatnsofna- eða geislahitun. Heitavatnsnotkun fæst einnig með þessari gerð varmadælu.

Einn megin kostur svona kerfis er, að afkastageta þess helzt stöðug þrátt fyrir verulega hitastigsbreytingu úti. Dannig þarf ekki neina aukaorkuuppfyllingu til stuðnings varmadælu í kuldaköstum.

Megin ókostir kerfisins eru þeir, að vatn í ofna þarf að vera tiltölulega heitt, en hækandi vatnshitastig ofna hefur lækandi áhrif á nýtnisstuðulinn, en geislahitun, hagstæð frá varmadælusjónarmiði (vegna lágs hitastigs), mun flestum þykja óþægileg tegund hitunar. Nýtnisstuðull vatns - vatns varmadælu er talinn hærri en í kerfum, sem vinna varma úr lofti.

Vatns - loft varmadælan er að því leyti frábrugðin vatns - vatns kerfinu, að varma er skilað til lofræstingakerfis. Viða telst það kostur, að mjög auðvelt er að koma við kælingu í loftsdreifikerfum. Heldur mun nýtnisstuðull lægri hér en þar.

Jarðvegs- loft og vatns varmadælukerfin eru í grundvallaratriðum eins og tilsvarandi kerfi, sem vinna varma úr vatni. Munurinn liggur í því að varmi er unninn úr vökv, sem er látinna streyma um röraspírala, sem eru grafnir í jörðu. Uppgufunarhitastig er yfirleitt fremur lágt (oftast undir  $6^{\circ}\text{C}$ ) og oft er t.d. frostlögur settur í vökvann til að geta unnið undir frostmarki.

Kostur er hér, eins og í vatnskerfunum, að afkastageta helzt stöðug, þrátt fyrir breytt útihitastig, en verulegur ókostur er, að mjög dýrt getur verið að grafa röraspíralana í jörðu og auk þess þarf yfirleitt að hita upp um fleiri gráður vegna kaldari uppgufunarhitastigs.

Auk þessa má hugsa sér kerfi, sem nýta fleiri en einn varmagjafa, t.d. útiloft að sumarlagi en vatn að vetrarlagi.

Yfirleitt er nýtnisstuðull varmadælukerfa, sem vinna varma úr vatni harri en nýtnisstuðull þeirra kerfa, sem vinna varma úr lofti.

Nýtnisstuðull loft - loft kerfa er yfirleitt milli 2-3 mestan hluta ársins, en fer undir 2 í kuldaköstum. Nýtnisstuðull vatns - vatns kerfa er yfirleitt milli 3-4, en fer þó mjög eftir því hversu mikil vatnið er hitað og í hvaða hitastig. Talan  $\epsilon = 3-4$  miðast við hitastigshækun frá ca.  $10^{\circ}\text{C}$  til  $50^{\circ}\text{C}$  með kæliefninu  $R = 22$ .

Engin varmadælukerfi virðast vera í fjöldaframleiðslu fyrir vatnshita milli  $70-80^{\circ}\text{C}$ .

### ÁKVÖRDUN Á STÆRD VARMADÄLU

Ákveða þarf stærð varmadælu fyrir einstök notkunartilfelli mun nákvæmar en t.d. oliukyndingu. Þetta stafar af því, að umfram-kostnaður fyrir stærri varmadælu (of stór fyrir húsið) er mun meiri en tilsvarandi aukakostnaður fyrir t.d. oliukyndingu, auk þess minnkar heildar nýtnisstuðull kerfisins.

Við ákvörðun á stærð varmadælu er þannig nauðsynlegt að bera varmapörf hússins saman við afkastagetu varmadælu, og sníða varmadæluna sem næst þessari orkupörf.

Erlendis, þar sem varmadælur eru einnig notaðar til kælingar, er stærð varmadælu ákveðin með tilliti til kæliafkasta. Þetta er gert aðallega af tveim ástæðum: í fyrsta lagi vegna þess, að ef kæliafköstin eru ekki nóg, þá er ekkert hægt að aðhafast, nema þá helzt að skipta um varmadælu og fá stærri. Í öðru lagi vegna þess, að ef varmadælan er of stór þá vinnur hún mjög stuttan tíma í einu, en þá hefur í för með sér, að innihitastigið getur sveiflast, og auk þess verður oft vart við rakamýndun inni. Þessar aðstæður eiga að sjálfsögðu ekki eða mjög óverulega við hérlandis.

þannig verður við íslenzkar aðstæður að sníða varmadælu með hitun sem aðalmarkmið.

### VARMADÖRF HÚSS

Varmapörf húss fer fyrst og fremst eftir varmatapi hússins. Varmatapinu má eiginlega skipta í two flokka, leiðnistap gegnum útveggi og beint tap af völdum loftræstingar. Báðir þessir flokkar eru nokkurn veginn linulega háðir mismuninum á úti- og innihitastigi, þannig að varmapörf húss er í reynd linulegt fall af þessum hitastigsmismun.

Leiðnistap húsa ræðst mjög af gerð og gæðum einangrunar, þykkt veggja o.fl. svo dæmi sé nefnt. Loftræstingstöp eru hins vegar meira háð einstaklingum og erfitt er, að bæta þar um.

Varmadælan þarf ekki að bæta fyrir öll varmatöp, því viss varmi, frír varmi (grunnvarmi), fæst með venjulegri umgengni. T.d. má nefna, að viss varmi fæst frá íbúum húsa, ljósum, vélum (t.d. í eldhúsi), innfallandi sólarvarma o.s.frv.

Það fer mjög eftir gerð þess húshitunarkerfis hversu vel tekst til við að nýta pennan fría varma. Telja má fullvist að loftræstingarkerfi, sem hefur allt loft innanhúss meira eða minna til umráða, geti nýtt pennan varma verulega, en kerfi, sem byggist á upphitun með vatnsofnnum, getur það síður.

Mynd 9 sýnir skematiskt hvernig varmapörf húss breytist með útihitastiginu, fyrir tvær gerðir af einangrun (Einangrun A er betri en B). Skurðlinan milli grunnvarmans og orkuparfarinna er eins konar jafnvægispunktur, þ.e. fyrir orkupörf undir grunnvarmalínunni, þá þarf ekki á neinni upphitun að halda.

Varmadælan þarf þannig einungis að sjá fyrir þeirri varmapörf sem liggur fyrir ofan grunnvarmalínuna.

Sem og áður hefur verið getið um þá er afkastageta varmadælu mjög háð gerð þess kerfis sem sett er upp, auk þess (sbr. mynd 9) er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir lágmarkshítastigi sem varmadæla á að starfa við, þ.e.a.s. niður í hversu mikinn kulda varmadælan á að geta séð fyrir varmapörf húss. Til dæmis skal nefnt að mestu kuldaköst standa yfirleitt yfir í mjög skamman tíma og því fjárhagslega óhagkvæmt að ætlast til að varmadæla geti annað slikum aðstæðum að öllu leiti.

Skal hér nú í stuttu máli greint frá meginmismun við ákvörðun á stærð varmadælu fyrir mismunandi gerðir kerfa.

LOFTS-KERFI.

Sem áður hefur verið greint frá eru afköst varmadælna, sem vinna varma úr útilofti, allverulega háð útihitastiginu. Þannig minnka afköstin mjög við lækandi hitastig og nýtnisstuðull nálgast mjög 1, þ.e. jafnmikil orka fer í að knýja rásina, eins og fæst úr kerfinu og varmadælan því í rauninni óþörf. Við ákveðið lágmarkshitastig hættir svo varmadælan að geta starfað.

Mynd 10 sýnir afköst varmadælu og varmapörf húss sem fall af útihitastiginu. Sem sjá má af myndinni er jafnvægi milli afkastagetu varmadælu og orkuþarf húss við ákveðið hitastig. Þetta þýdir að þessi varmadæla getur séð húsinu fyrir allri nauðsynlegri varmaorku niður að vissu hitastigi, en eftir það verður að leggja til aukaorku. Þessi aukaorkunotkun vex síðan með minnkandi útihitastigi.

Ákveða má staðsetningu jafnvægispunktsins með ýmsum leiðum. Segja má að helstu aðferðirnar séu.

- að gefa sér fyrirfram eitthvert lágmarksgildi á nýtnisstuðlunum, sem varmadælan á að vinna við, og ákvarða síðan stærð varmadælnar út frá því.
  - að ákvarða hvenær álag á þjóppu er orðið svo mikil, vegna lágs uppgufunarhitastigs, að hitastig olíu verður of hátt.
  - að finna hámarksafkost þjóppu miðað við hámarks kæliafkost.
- Þessi aðferð er einungis notuð í kælikerfum.

Reynsla margra varmadæluframleiðenda bendir til þess að hagkvæmast sé að gera ráð fyrir því að varmadæla þekji að fullu varmapörf húss niður til um það bil - 5°C. Gera má ráð fyrir að varmadælan geti séð fyrir um 90% af heildarvarmapörf hússins, sé hún hönnuð á pennan hátt. Þessi tala miðast við reynslu dana og má því búast við að hún lækki eitthvað hérlendis, þ.e. að hérlendis þurfi á meiri aukaorku eða stærri varmadælu að halda.

Til viðbótar minnkandi afkastagetu kemur einnig nauðsyn á affrostun við minnkandi útihitastig (undir 0°C).

Þar sem rakastig lofts er fremur hátt er því tiltölulega óhagkvæmt að taka upp varmadælu, sem byggir á nýtingu útilofts hérlandis, nema þá að til komi einhverskonar forhitun útiloftsins í varmaskipti. Slik forhitun eykur að sjálfsögðu nýtnisstuðul varmadælunar, en um leið stofnkostnað kerfisins.

#### VATNS-KERFI

Afkost varmadælukerfa, sem vinna varma úr vatni (vökva) eru aðeins óverulega háð útihitastigi. Nýtnisstuðull slíkra kerfa helst næstum óbreyttur allt árið. Gera verður ráð fyrir að setja þurfi varmadælu, sem ráði við einhver fyrirfram ákveðin varmaafkost, svarandi til ákveðins lágmarks hitastigs eða hámarks varmaafkasta. Í reynd ætti því að vera auðveldar að finna réttu stærð á vatnsvaimadælu en loftsvarmadælu, þar sem rekstrarskilyrði eru jú að heita má óbreitt.

Hitt er svo annað mál hvort fjárhagslega sé hagstætt að láta varmadæluna anna allri varmapörf hússins. Mynd 11 sýnir þessar aðstæður. Myndin sýnir afkost tveggja varmadæla, annarsvegar varmadæla, sem sér húsinu fyrir allri varmaorku og hinsvegar varmadæla sem sér húsinu fyrir mestum hluta nauðsynlegrar varmaorku, en ekki allri. Sem ljóst má vera fæst betri nýting í seinna tilfellinu, en þar þyrfти hinsvegar að leggja til aukavarma annarsstaðar frá eða þola hugsanlega lægra útihitastig í mestu kuldakostum. Athuga ber að afkostin eru því sem næst óbreitt þó svo útihihi falli mjög.

Mynd 12 sýnir afkost bæði lofts- og vatnskerfa sem fall af notkunartíma á ári. Bæði kerfin eru gerð fyrir sömu afkost við ákveðinn tímafjölda á ári. Vissan tíma árs þurfa þannig bæði kerfin á aukaorku

að halda, en þar sem nýtni vatnsvarmadælukerfisins er óbreytt með hitastiginu, þarf vatnskerfið á minni aukaorku að halda en loftskerfið.

Víða erlendis eru svonefndir gráðudagar lagóir til grundvallar við ákvörðun á stærð varmadælu (sjá nánar um þetta í næsta kafla).

Það sem hingað til hefur verið sagt um ákvörðun á stærð varmadælu á eiginlega að mestu við um nýbyggingar. Ef setja ætti upp varmadælu í eldra hús gæti reynst erfitt að reikna út varmajafnvægi. Auðveldara væri þó að miða við orkunotkun undanfarinna ára, t.d. fjölda lítra af oliu eða raforkunotkun. Slikar tölur mætti tiltölulega auðveldlega nota í þessu skyni.

### ORKUNÝTING VARMADÆLU

Sem áður segir er stærð varmadælu miðuð við að varmadælan anni ákveðnum hitunarafkostum við ákveðin skilyrði, venjulegast tengd útihitastigi.

Þar sem hitastig breytist mjög með árstíðum má vera ljóst að uppsett afl varmadælu er mun meira en sem samsvarar meðalnotkun yfir árið. Til að mæta þessum breytileika í varmaþörf er æskilegt að hægt sé að stjórna varmadælunni á annan hátt en bara með "á eða af" stillingu.

Til að átta sig á hvernig orkunotkun varmadælu skiptist yfir árið er oft stuðst við svokallaða gráðudaga. Gráðudagafjöldi er miðaður við  $20^{\circ}\text{C}$  innihita og fæst úr jöfnunni  $G_m = 17\text{-}T_m$ . Hér er  $G_m$  gráðudagafjöldi en  $T_m$  meðalhitastig dagsins. Talan 17 er fengin með því að lækka  $20^{\circ}\text{C}$  niður um  $3^{\circ}\text{C}$ , þ.e. að "frír" varmi, grunnvarmi, er metinn á  $3^{\circ}\text{C}$  að meðaltali. Á hliðstæðan hátt fæst þá gráðudagafjöldi í hverjum mánuði úr jöfnunni  $G_m = D_m$  ( $17\text{-}T_m$ ), þar sem  $D_m$  er dagafjöldi í hverjum mánuði fyrir sig.

Tafla 1 sýnir meðalhitastig, gráðudagafjölda í hverjum mánuði, ásamt hlutfallslegri dreifingu gráðudagananna, miðað við heilt ár, en ætla má að orkunotkun varmadælu sé nokkurn veginn í réttu hlutfalli við þessa skiptingu. Taflan byggist á ársyfirliti VEDRÁTTUNNAR 1962 um meðalhitastig 1931-1960 og sýnir Reykjavík, Kviindisdal, Akureyri, Skoruvík og Hóla í Hornafirði.

Eins og sést á töflunni er hlutfallið milli orkunotkunar í kaldasta og heitasta mánuði 2,5-3 á flestum stöðum. Þetta þýðir að rafmagnsnotkun er um 2 sinnum minni að sumarlagi en á vetrum. Uppsett afl varmadælu nýtist þannig ekki sem skyldi.

Auk þessarar árstíðabundnu notkunar varmadælu verður ákveðin dags sveifla. Þessa sveiflu er þó hugsanlega hægt að hagræða á þann hátt að hámarksálag komi ekki á hámarksannatíma rafkerfisins. T.d. er hægt að tengja varmadæluna við geymslubúnað, heitavatnstanck, sem

hitar vatn að nátturlagi, þegar álag á rafkerfi er yfirleitt minnst.

Þó ljóst sé að hlutfallið milli vetrar- og sumarorkunotkunar varmaðælu sé um 2, þá er veruleg raforkuleg hagkvæmni fólgin í kerfinu. Þetta byggist á því að nýtnisstuðull varmadælu er stærri en 1. Oft er hann á bilinu 3-4 og mjög stór kerfi haf gjarnan hærri nýtnisstuðul. Þetta þýðir að uppsett afl varmadælu er 3-4 sinnum minna en uppsett afl beinnar rafkyndingar og tilsvarandi orkunotkun varmadælu því minni. Varmadælunotkun minnkar þannig stórtlega uppsett afl til húshitunar sé miðað við rafkyndingu en eykur uppsett afl sé miðað við oliukyndingu.

Því stærri sem varmadælukerfin eru því meira verður magn ónotaðrar raforku. Því væri æskilegt að nýta þessa umfram raforku á annan hátt að summarlagi og jafna þannig rafnotkunina.

SAMANTEKT

Í þessari greinargerð hefur verið leyktast við að skýra megin uppistöðu varmadælukerfa, án þess að fara á einn eða neinn hátt út í smáatriði. Þannig eru t.d. mjög fáar jöfnur settar fram til stuðnings eða skýringar á starfsháttum einstakra þátta varmadælukerfisins.

Í greinargerðinni er fjallað um helstu gerðir varmadæla, uppbygging helstu gerða aðfærslu- og dreifikerfa rakið svo og varmajafnvægi varmadælu.

Flestir gerðir varmadæla, sem eru í fjöldaframleiðslu í dag eru af gerðinni loft-loft, auk þess eru fáeinir varmadælur til af gerðinni vatn-loft. Varmadælur af gerðinni vatn-vatn eða jarðveg-vatn eru yfirleitt allar með í mesta lagi 55-60°C vatnshita út úr kerfinu eða lægra hitastig.

Engar varmadælur virðast enn sem komið er vera í framleiðslu, sem gefa af sér vatn með hitastiginu 75-85°C. Slikar varmadælur er þó hægt að láta sérsmíða.

Varmadælukerfi sem slikt er fyrst og fremst orkusparandi kerfi. Nýtnissstuðull varmadælu er stærri en 1, sem þýðir að meiri orka fæst úr kerfinu, en fer í að knýja það. Stofnkostnaður varmadælukerfis er tölувert meiri en tilsvarandi stofnkostnaður annarra gerða upphitunarkerfa, en möguleikar á fjölbreytileika í notkun er mun meiri.

Telja má fullvist að varmadælan eigi eftir að þróast mikil á næstu árum, einkum með tilkomu betri þjappa og kæliefna.

mán	Jan.	Feb.	Mars.	Apr.	Mai.	Júní.	Júli.	Águst.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
Tm	-0.4	-0.1	1.5	3.1	6.9	9.5	11.2	10.8	8.6	4.9	2.6	0.9
Gm	539	479	481	417	313	225	180	192	252	375	432	499
ø	12.3	10.9	11.0	9.5	7.1	5.1	4.1	4.4	5.7	8.6	9.9	11.4

KVÍINDISDALUR

Tm	-0.7	-0.8	0.2	1.3	5.4	8.2	9.8	9.4	7.7	4.3	2.1	0.4
Gm	549	498	521	471	360	264	223	236	279	518	447	515
ø	11.2	10.2	10.7	9.7	7.4	5.4	4.6	4.8	5.7	10.6	9.2	10.5

Akureyri

Tm	-1.5	-1.6	-0.3	1.7	6.3	9.3	10.9	10.3	7.8	3.6	1.3	-0.5
Gm	574	521	536	459	332	231	189	208	276	415	471	543
ø	12.1	11.0	11.3	9.7	7.0	4.9	4.0	4.4	5.8	8.7	9.9	11.4

SKORUVÍK

Tm	-0.8	-1.5	-0.5	0.4	3.6	6.0	8.3	8.5	6.8	3.4	1.6	-0.1
Gm	552	518	543	498	415	330	270	264	306	422	462	530
ø	10.8	10.1	10.6	9.7	8.1	6.5	5.3	5.2	6.0	8.3	9.0	10.4

HÓLAR 1 HORNAFIRDI

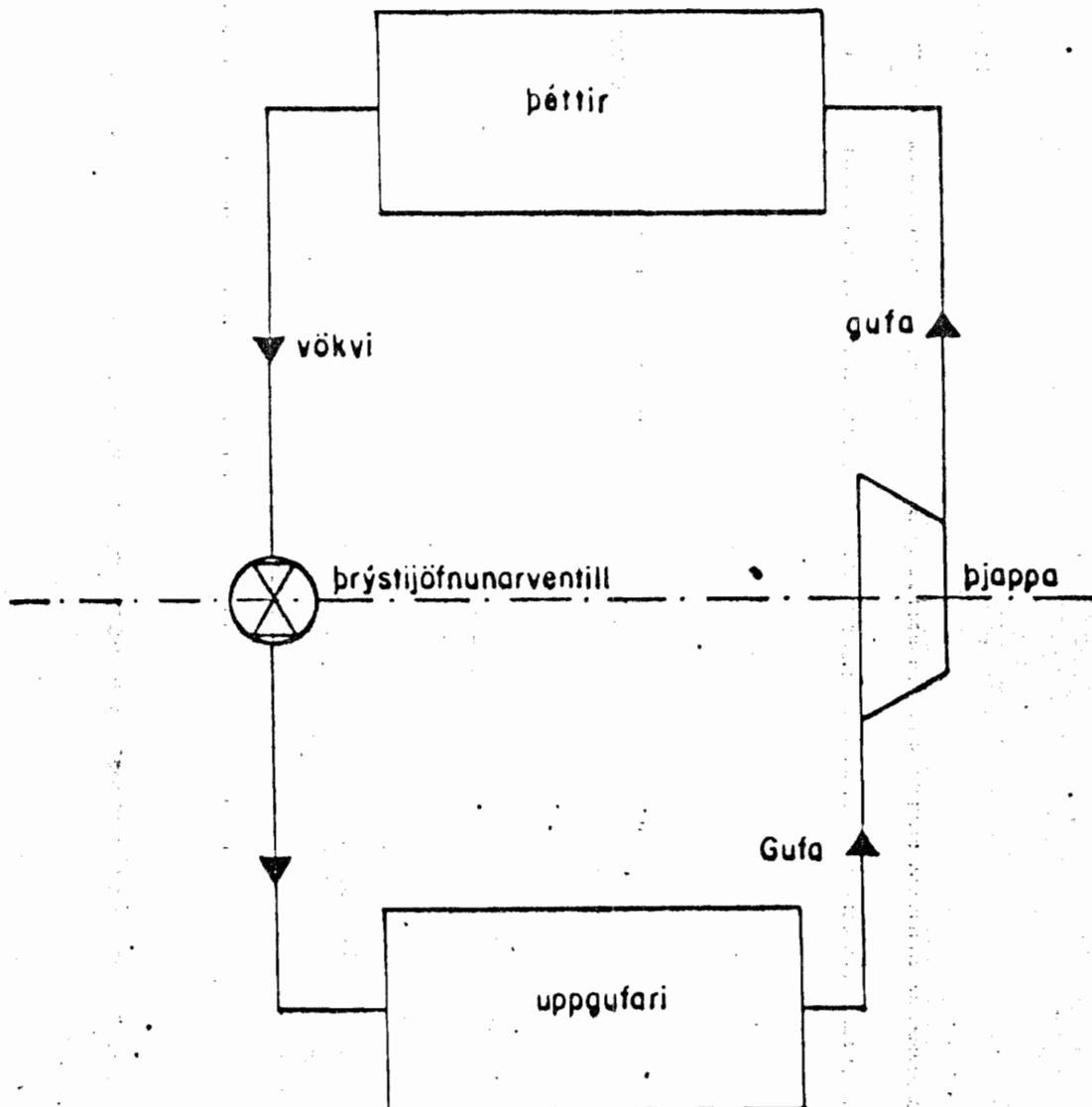
Tm	0.3	0.0	1.5	3.0	6.5	9.3	10.9	10.4	8.2	4.9	2.7	1.2
Gm	518	476	481	420	326	231	189	205	264	375	429	490
ø	11.8	10.8	10.9	9.5	7.4	5.2	4.3	4.6	6.0	8.5	9.7	11.1

TAFLA 1.



Mynd 1

Hár þrýstingur og hitastig



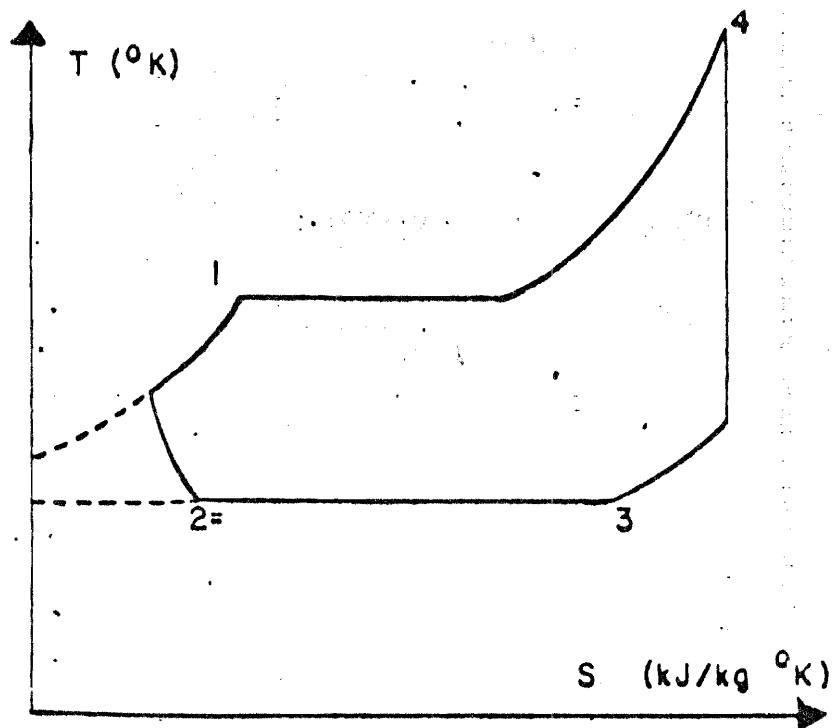
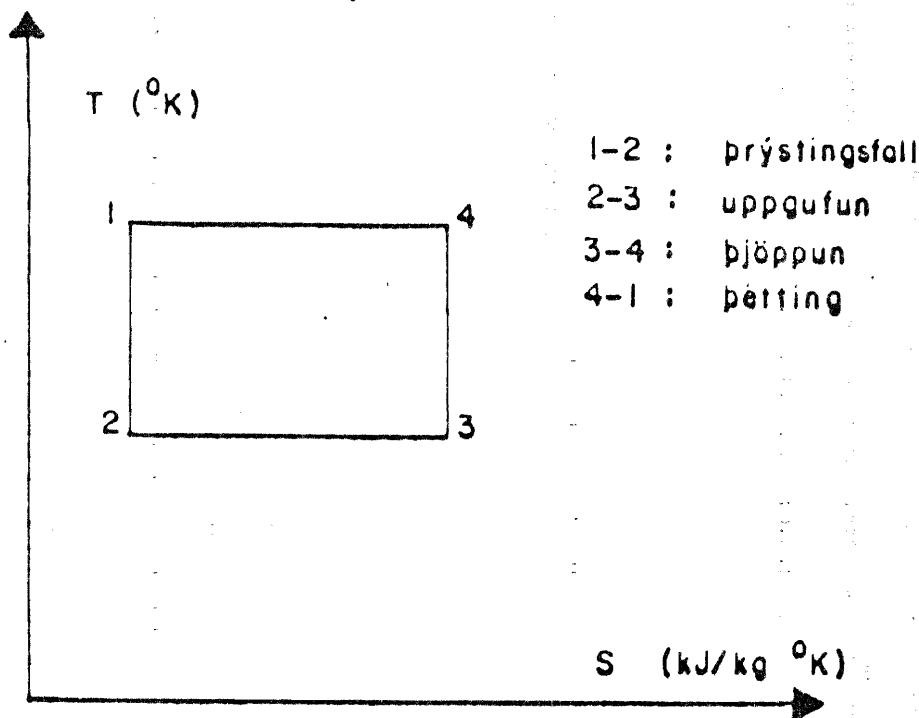
Lágur þrýstingur og hitastig



Hitastig sem fall af entropi

'76-03-12 /0D  
Tnr. 9  
J- Vinnslut.  
Fnr. 14068

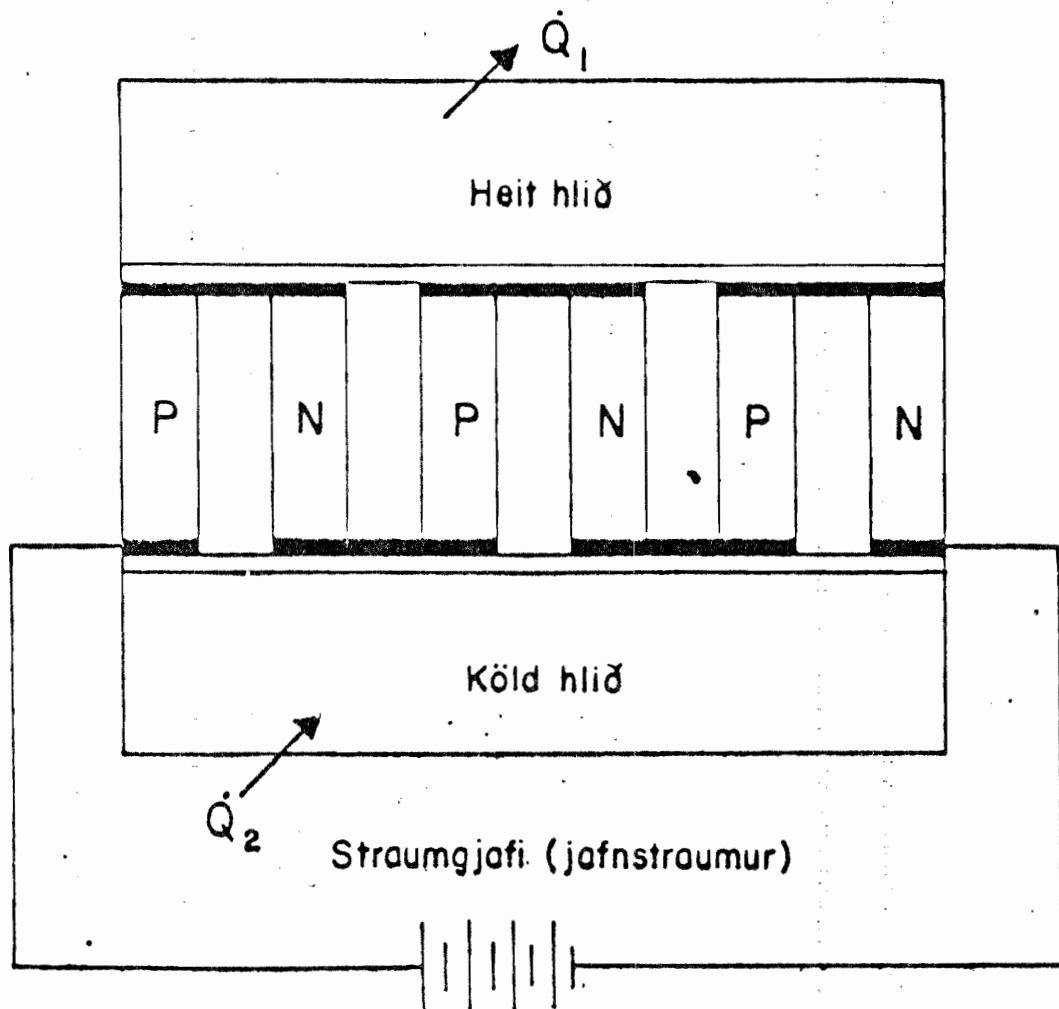
Mynd 2 og 3



Peltier varmodæla með 3 termopörum

'76-03-12 /00  
Tnr. 10  
J-Vinnslut  
Fnr. 14069

Mynd 4

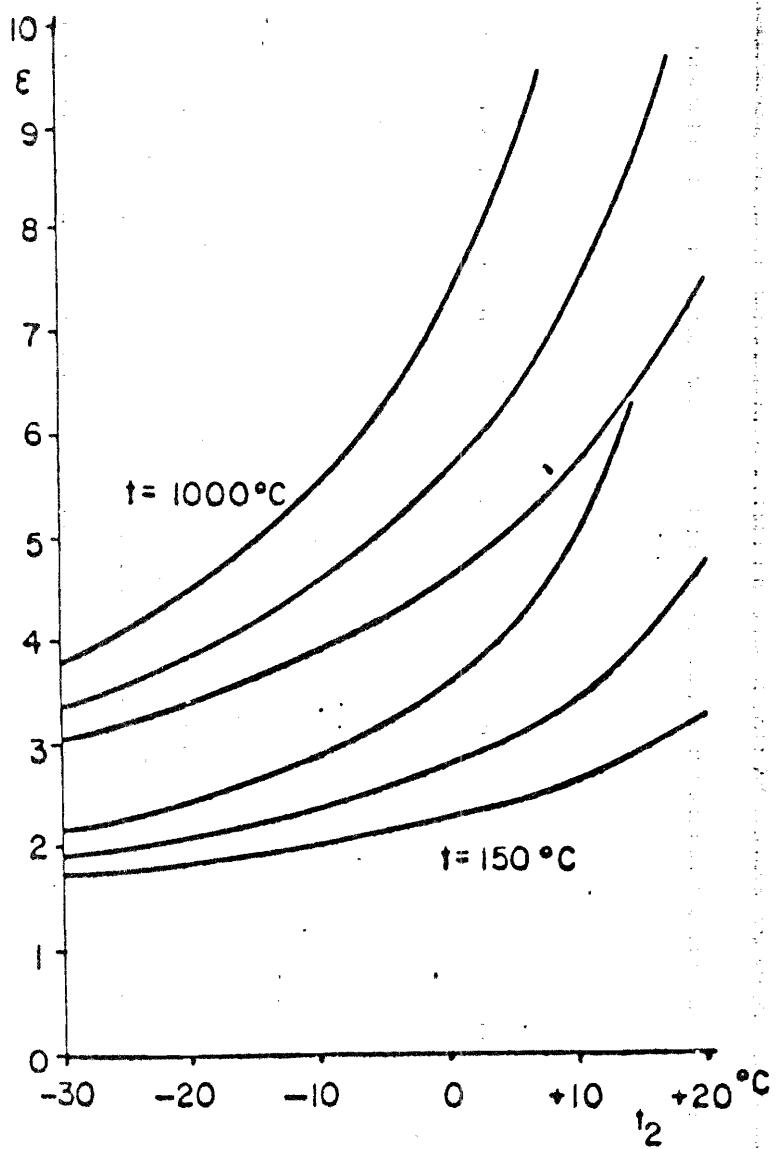




Nýtissstuðull fyrir varmakanúna varmadælu

'76-03-12 /ÓD  
Tnr. II  
J-Vinnslut  
Fnrc 140 70

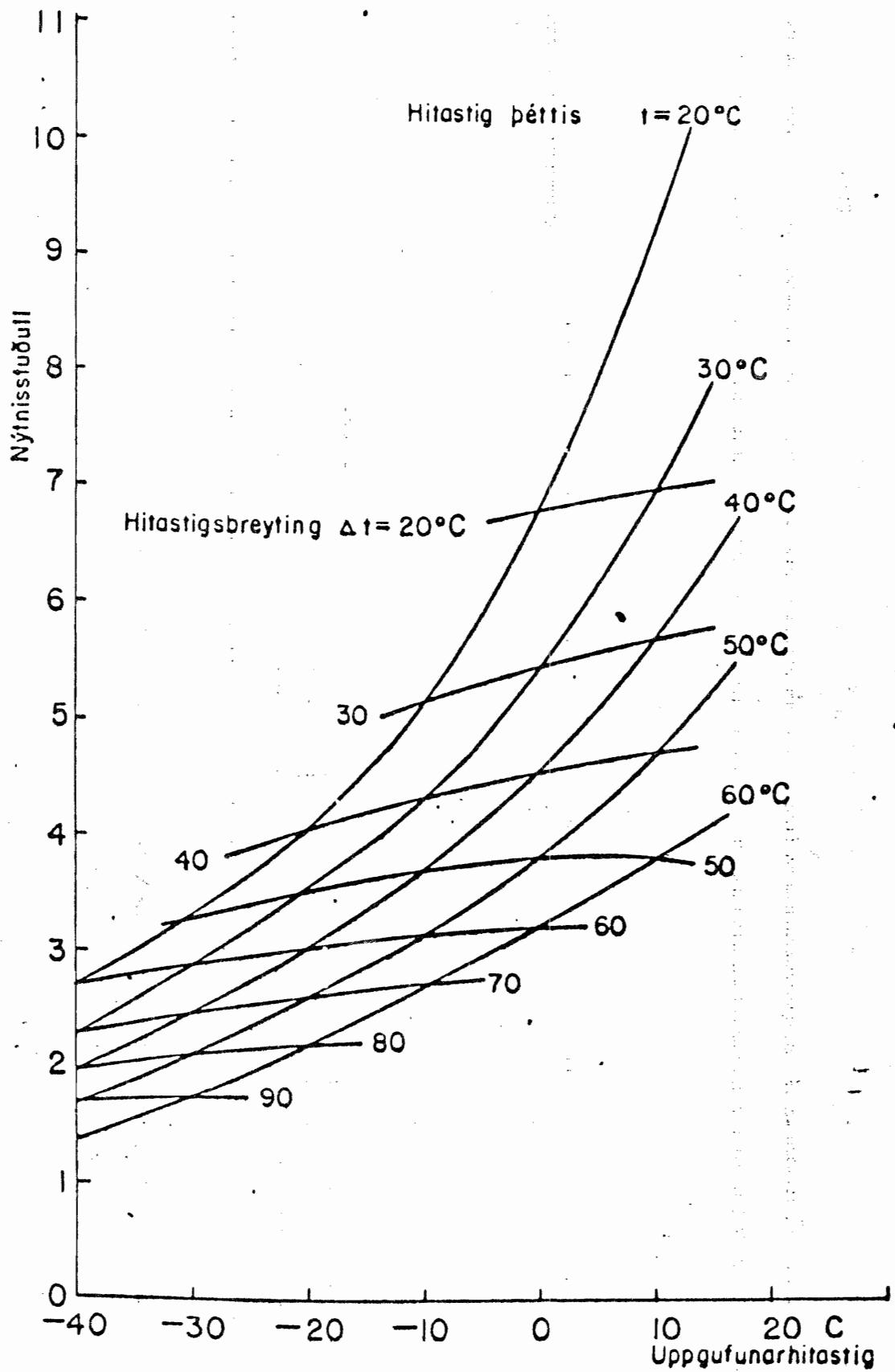
Mynd 5





Nýtnisstuðull sem fall hitastigs

Mynd 7





ORKUSTOÐNUN  
Járhítadeild

Hitastig sem fall dýpis

'76-03-15

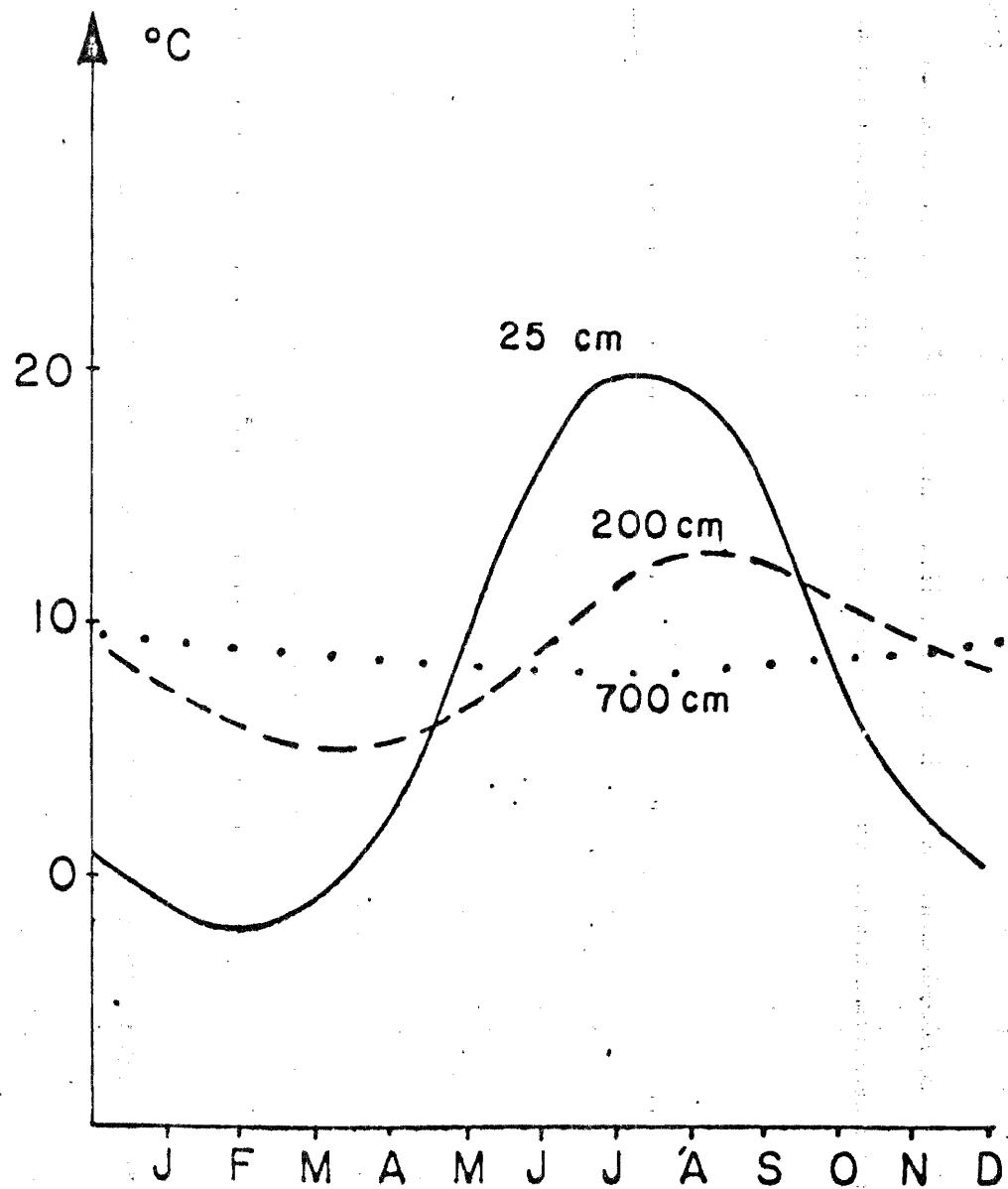
100

Tnr. 14

J-Vinnslut

Fnr. 14073

Mynd 8

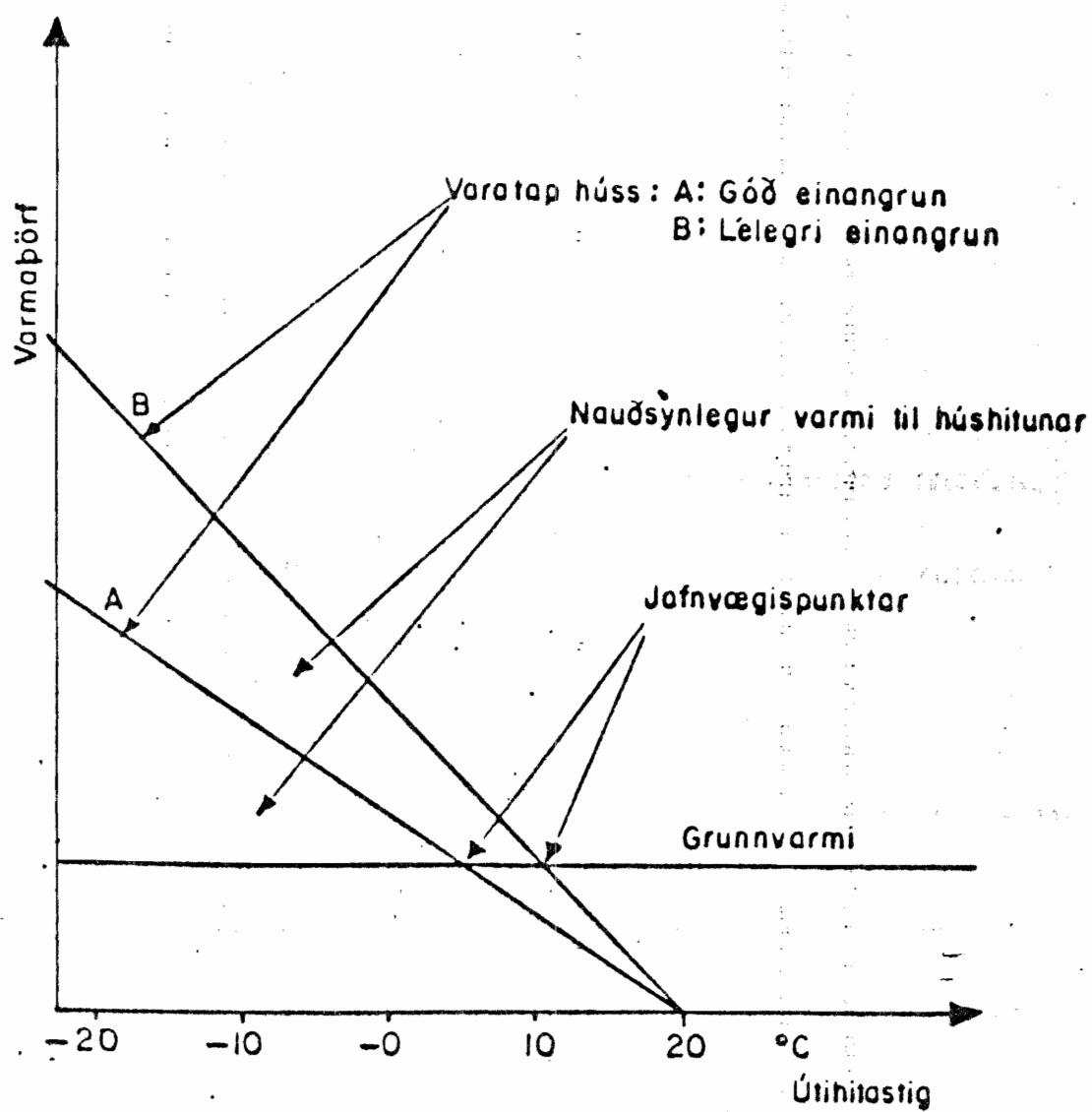




Varmabörf sem fall útihitostigs

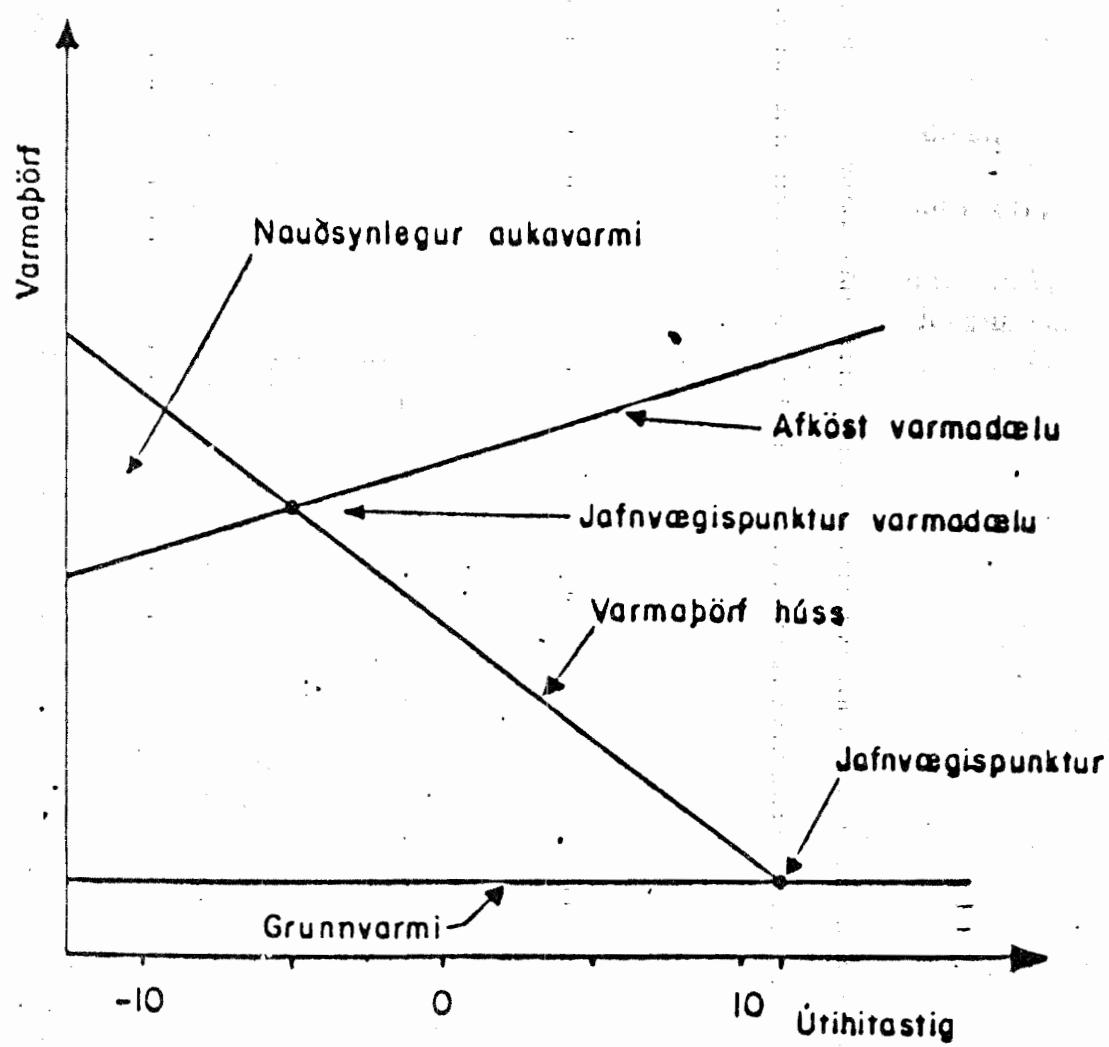
'76-03-15 /ÓD  
Tnr. 15  
J-Vinnslut.  
Fnr. 14074

Mynd 9

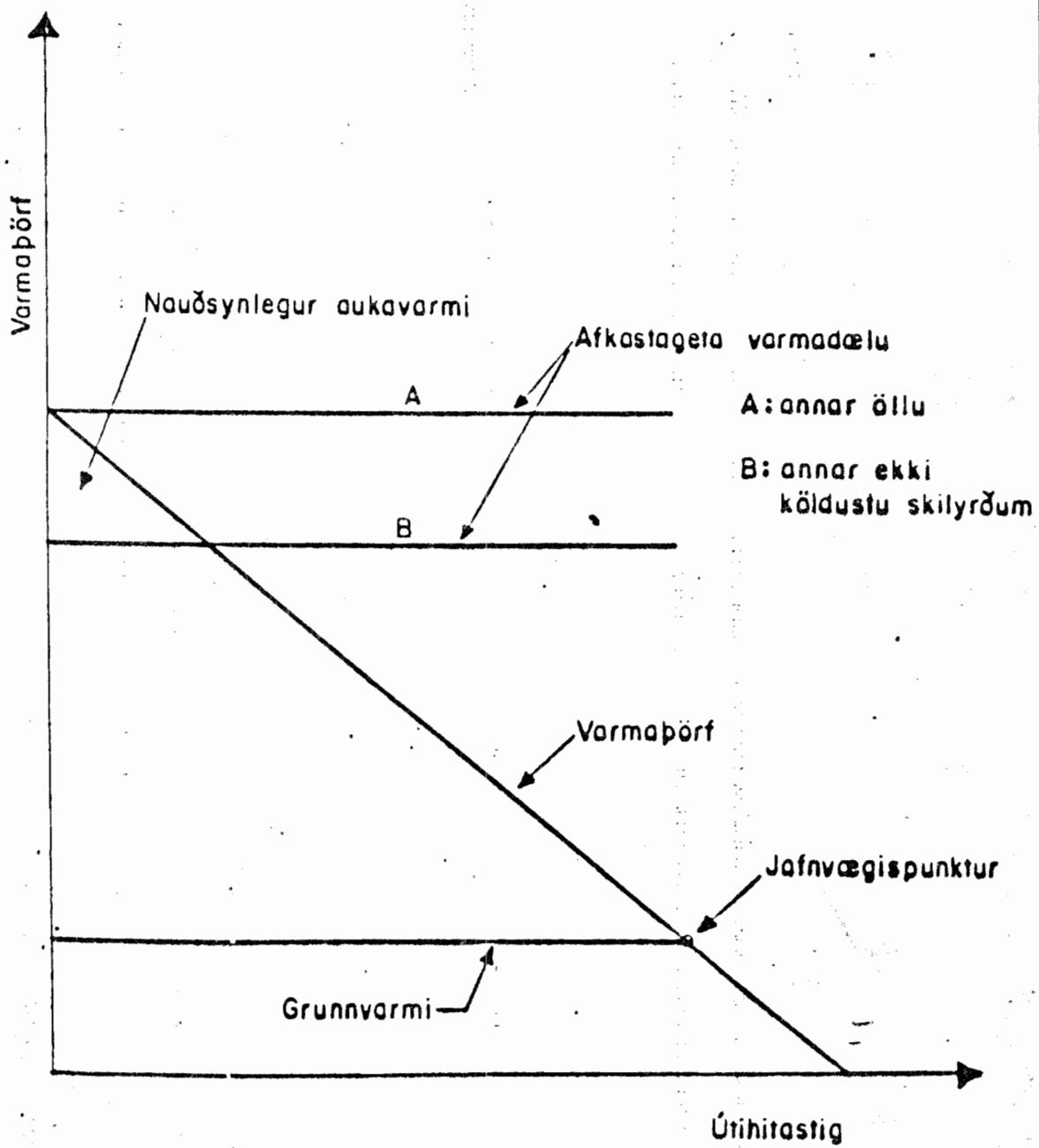




Mynd 10



Mynd II





Mynd 12

