



ÍSOR
ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR
ICELAND GEOSURVEY

Varmadælur

Hagkvæmni á Íslandi



Ragnar K. Ásmundsson

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2005/024

Mynd á forsíðu:

Myndin er tekin sumarið 2003 af um 23°C uppsprettu við landamörk Stokkahlaða og Botns í Eyjafirði. Horft til suðurs.

Ljós. Bjarni Gautason

Ragnar K. Ásmundsson

Varmadætur

Hagkvæmni á Íslandi

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2005/024

Nóvember 2005

ISBN 9979-780-24-X

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599
isor@isor.is – www.isor.is

| | | |
|---|----------------------------------|---|
| Skýrsla nr. ÍSOR-2005/024 | Dags. Nóvember 2005 | Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til |
| Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Varmadælur Hagkvæmni á Íslandi | Upplag 100 | Fjöldi síðna 71 |
| | Höfundar Ragnar K. Ásmundsson | Verkefnisstjóri Ragnar K. Ásmundsson |
| Gerð skýrslu / Verkstig Notkun varmadælna hér á landi – yfirlit og mat á hagkvæmni | Verknúmer 8-100068 | |
| Unnið fyrir Orkustofnun | | |
| Samvinnuaðilar | | |
| Útdráttur <p>Tekið er saman yfirlit um notkun varmadælna til húshitunar hérlendis og lýst niðurstöðum hagkvæmnismats miðað við núgildandi raforkuverð. Lýst er virkni varmadælna og helstu útfærslum þeirra. Varmadælur eru ýmist nýttar til upphitunar eða kælingar. Í skýrslunni er orðið <i>varmadæla</i> einungis notað um þær gerðir sem nýttar eru til upphitunar. Hár stofnkostnaður og lágt raforkuverð til húshitunar eru tvær meginástæður þess hversu lítið varmadælur eru notaðar hér á landi. Víða erlendis eru þær mikið notaðar, t.d. til kælingar í Bandaríkjunum og hitunar á Norðurlöndunum.</p> <p>Leitast er við að reikna hagkvæmni þess að nota varmadælur hér; safna sögulegum upplýsingum um notkun þeirra hérlendis; gefa yfirlit um notkun varmadælna erlendis; veita tæknilegar upplýsingar um virkni varmadælna; og veita ráðgjöf um í samræmi við niðurstöður hagkvæmnisúttektar.</p> <p>Hér á landi eru varmadælur öflugur kostur til upphitunar húsnæðis á stöðum þar sem engin hitaveita er. Helst kemur til greina að nýta jarðvarma þar sem hann er til staðar en einnig má nýta læki með stöðugu rennsli, sjávarhita og jafnvel lofthita. Hagkvæmast m.t.t. orku er að nýta jarðvarma þar sem aðgengi er að volgu rennandi vatni sem tryggir stöðugt varmaflæði. Slíkar aðstæður eru einmitt fyrir hendi á Íslandi. Aukin notkun varmadælna myndi leiða til betri orkunýtingar þjóðarinnar.</p> | | |
| Lykilorð Varmadælur, Ísland, gerðir varmadælna, vinnslumiðlar, hagkvæmnismat, markaður | ISBN-númer 9979-780-24-X | |
| | Undirskrift verkefnisstjóra | |
| | Yfirfarið af ÁR, HEgg | |

Efnisyfirlit

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inngangur | 3 |
| 2 | Lýsing virkni | 4 |
| 2.1 | Búnaður | 4 |
| 2.2 | Fræði | 5 |
| 2.3 | Vinnslumiðlar | 10 |
| 2.3.1 | Flokkun vinnslumiðla | 11 |
| 2.3.2 | Vinnslumiðlar framtíðar | 12 |
| 2.4 | Varmadætur í þróun | 12 |
| 3 | Gerðir varmadælna | 14 |
| 3.1 | Vatn/vatn varmadætur | 14 |
| 3.2 | Berg/vatn varmadætur | 16 |
| 3.3 | Bein lofthitun og nýting varma úr lofti | 16 |
| 3.4 | Ísogs- og ásogsvarmadætur | 17 |
| 4 | Uppsprettur varma og orkuþörf | 18 |
| 4.1 | Sjávarhiti | 18 |
| 4.2 | Jarðhiti/jarðvarmi | 19 |
| 4.3 | Útihiti | 21 |
| 4.4 | Orkuþörf og ársdreifing | 22 |
| 5 | Varmadætur á Íslandi | 29 |
| 5.1 | Búrfellsvirkjun | 29 |
| 5.2 | Bændaskólinn á Hvanneyri | 29 |
| 5.3 | Þorgautsstaðir | 30 |
| 5.4 | Bakki, Bjarnarfirði | 30 |
| 5.5 | Mývatnssveit | 30 |
| 5.5.1 | Hofsstaðir, Mývatnssveit | 31 |
| 5.5.2 | Stöng, Mývatnssveit | 31 |
| 5.5.3 | Grænavatn, Mývatnssveit | 32 |
| 5.6 | Tálknafjörður | 32 |
| 5.7 | Akureyri | 32 |
| 5.8 | Grýtubakkahreppur | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.8.1 | Sundlaug við Grenivík | 33 |
| 5.8.2 | Frystihús, Grenivík | 33 |
| 5.9 | Þrándarstaðir, Austur-Hérað | 34 |
| 5.10 | Klaustursel, Jökuldal | 34 |
| 6 | Varmadætur erlendis | 36 |
| 6.1 | Útbreiðsla | 36 |
| 6.2 | Umboðsaðilar og framleiðendur varmadælna | 37 |
| 6.3 | Eftirlit | 38 |
| 7 | Íslenskar aðstæður | 40 |
| 7.1 | Borun | 40 |
| 7.2 | Öflun varma | 41 |
| 7.3 | Nýtni | 42 |
| 7.4 | Sölu- og þjónustuaðilar varmadælna | 43 |
| 7.5 | Markaður fyrir varmadætur | 43 |
| 8 | Hagkvæmni | 44 |
| 8.1 | Aðferðir til hagkvæmnismats | 44 |
| 8.2 | Kostnaður við varmadælu | 46 |
| 8.2.1 | Forsendur vals á varmadælu | 46 |
| 8.2.2 | Öflun varma | 46 |
| 8.2.3 | Samantekt kostnaðar | 46 |
| 8.3 | Raforkusparnaður | 48 |
| 8.4 | Kostnaðargreining | 50 |
| 8.5 | Hagkvæmnisútreikningur | 54 |
| 8.5.1 | Meðalstór og stærri heimili sem njóta niðurgreiðslna á rafhitun | 54 |
| 8.5.2 | Atvinnuhúsnæði | 54 |
| 8.5.3 | Sumarhús | 56 |
| 8.6 | Opinberir styrkir tengdir niðurgreiðslum | 56 |
| 8.7 | Þjóðhagsleg hagkvæmni | 60 |
| 8.8 | Ákvörðunartaka | 61 |
| 9 | Niðurlag | 63 |
| | Heimildir | 68 |

Kafli 1

Inngangur

Í þessari skýrslu er tekið saman yfirlit um notkun varmadælna til húshitunar hérlendis og lýst niðurstöðum hagkvæmnismats miðað við nógildandi raforkuverð. Virkni varmadælna er lýst og helstu útfærslum þeirra. Almennt eru varmadælur nýttar til ýmist upphitunar eða kælingar. Dæmigerð kælivarmadæla er ísskápur eða frystikista. Í þessari skýrslu er orðið *varmadæla* einungis notað yfir varmadælur sem nýttar eru til upphitunar. Slíkar varmadælur eru ekki algengar hérlendis vegna lágs upphitunarkostnaðar. Á stöðum þar sem ekki er aðgangur að jarðvarma hafa niðurgreiðslur ríkisins til rafhitunar jafnað kostnað til upphitunar. Hár stofnkostnaður varmadælu og lágt rafmagnsverð til húshitunar eru því tvær meginástæður lítilla nota varmadælna hérlendis en víða erlendis eiga þær miklum vinsældum að fagna, sérstaklega í Svíþjóð, Sviss, Þýskalandi og Bandaríkjunum. Algengast er að varmadælur séu notaðar til kælingar í Bandaríkjunum en til hitunar á Norðurlöndum. Í Noregi hefur notkun þeirra aukist talsvert undanfarin ár og er fróðlegt að bera saman aðstæður þar og hér, m.a. með tilliti til loftslags, gerð varmadælna og aðgerða yfirvalda til sparnaðar og niðurgreiðslu. Hér verður leitast við að

- reikna hagkvæmni nota varmadælna hérlendis
- safna sögulegum upplýsingum um notkun varmadælna hér á landi
- birta yfirlit um notkun varmadælna erlendis
- veita tæknilegar upplýsingar um virkni varmadælna
- veita ráðgjöf í samræmi við niðurstöður hagkvæmnisúttektar

Kaflí 2

Lýsing virkni

Í þessum kafla verður leitast við að gefa stutt yfirlit yfir helstu atriði sem máli skipta í umræðu um varma-dælu. Einingum varma-dælu er lýst auk þess sem gefið er stutt fræðilegt yfirlit um virkni varma-dælu. Minnst er á nokkrar algengar gerðir vinnslumiðla í lok kaflans og eiginleikar þeirra ræddir.

2.1 Búnaður

Hefðbundin varma-dæla samanstendur af dælubúnaði og leiðslum sem mynda lokað gas/vökvakerfi. Í gas/vökvakerfinu er svokallaður vinnslumiðill sem er ýmist á gas- eða vökvaformi. Í vinnsluhringrás varma-dælu eru tveir varmaskiptar sem kallast eimir og eimsvali, eftir því hvort varmaskipti vinnslumiðilsins eiga sér stað við uppgufun (eimir) eða þéttingu gassins í vökva (eimsvali). Til að viðhalda hringrásinni þarf annars vegar þjöppu, sem er dæla sem þjappar saman gasi og eykur þannig hitastig þess og hins vegar þensluloka, þar sem þrýstingur og hitastig vinnslumiðilsins fellur. Hægt er að skipta ferlinu niður í fjóra meginþætti (sjá mynd 2.1):

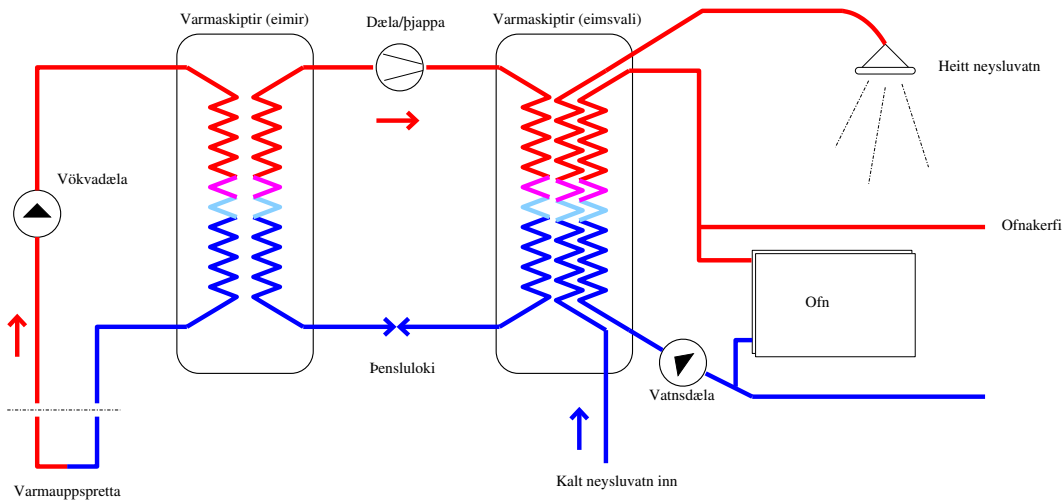
1) Vinnslumiðill á vökvaformi tekur í sig varma frá umhverfi (gufunarvarmi) til þess að uppgufun geti átt sér stað og það er þessi varmi sem nýttur er í seinni skrefum til upphitunar. Í varma-dælu kallast þessi varmaskiptir eimir. Við varmaupptökuna hefur miðillinn leitað í nýtt jafnvægisástand sem í þessu tilviki er gas.

2) Gasinu er safnað saman með aðstoð þjöppunnar og þrýstingur þess eykst og að sama skapi hitastig. Þannig er gasinu þjappað saman þar til hitastig þess er orðið nægilega hátt til þess að nýta til upphitunar. Yfirleitt er vatn hitað með varmaskiptum til nota í ofnakerfum íbúðarhúsa og er þá vatnsleiðsla úr ofnakerfi leidd í gegnum samanþjappaða gasið.

3) Þegar gasið fer um eimsvalann (varmaskiptir hægra megin á mynd 2.1), gefur vinnslumiðillinn frá sér varma til upphitunar og gasið verður að vökva.

4) Vökvinn er leiddur gegnum þensluloka að eiminum (varmaskiptir vinstra megin á mynd 2.1) þar sem varmaupptaka frá umhverfi getur að nýju átt sér stað og hringrásin lokast. Þenslulokinn hefur þann megin tilgang að fella þrýstinginn niður í vinnsluþrýsting eimis.

Varma-dælu er yfirleitt komið fyrir innanhúss eða í lokuðu rými þar sem aðgengi er að raforku. Í stöku tilfellum er hægt að leiða vinnslumiðil beint í gegnum varmauppsprettu en yfirleitt þarf að koma varmanum að varma-dælu. Hérlandis er varminn yfirleitt á vökvaformi eins og rætt verður í næsta kafla og því þarf að dæla vökvanum að varma-dælu þar sem varmaskipti við vinnslumiðilinn geta átt sér stað. Huga þarf



Mynd 2.1: Lagnakerfi varmadælu. Varmauppspretta er neðst til vinstri á myndinni. Með vökvadælu er varminn leiddur að varmaskipti (eimir eða uppgufari) sem hitar vinnslumiðilinn svo að hann gufar upp við lágan þrýsting. Þjappan efst á myndinni þjappar gasinu saman og það hitnar. Seinni varmaskiptirinn (eimsvalinn eða þéttirinn) losar varma úr háþrýstu vinnslugasinu í neyslu- og ofnavatn en við það þéttist gasið að nýju. Þaðan fer vinnslumiðillinn í gegnum þensluloka þar sem þrýstingurinn fellur og hringrásin lokast.

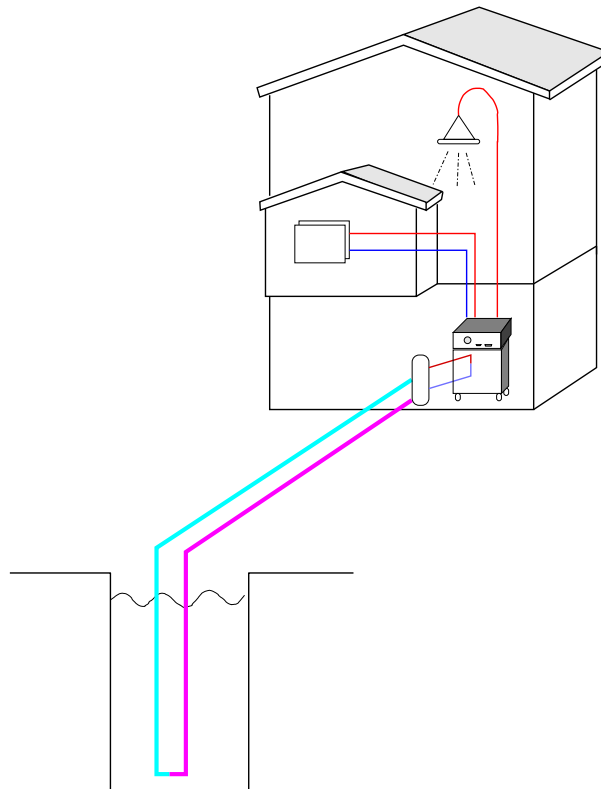
að því að vökvinn frjósi ekki á leiðinni og má blanda saman við hann salti eða lífrænum vökvum með lægra bræðslumarki, svo sem frostlegi eða alkóhólum, svipað og gert er víða í snjóbræðslukerfum landsmanna.

Orkuhagkvæmni varmadælu ræðst af grundvallarlögmálum varmafræðinnar og verkfræðilegum þáttum á borð við orkunotkun dælna, eiginleikum vinnslumiðils og vinnsluhitastigs. Raforku þarf til að knýja allan búnað hefðbundinnar varmadælu, t.d. þjöppu og stýringar. Til viðbótar kemur sú orkunotkun sem stundum þarf til að koma varmagefandi miðli (t.d. vatni, sjó eða lofti) að og í gegnum varmaskipti (eimi) varmadælu. Efnahagsleg hagkvæmni ræðst af innkaups- og rekstrarkostnaði. Það verður nánar rætt í kafla 8.

2.2 Fræði

Varmadæla skilar frá sér varmaorku til upphitunar en þarf til þess raforku sem knýr allt dælukerfið og stýribúnað þess. Samanborið við hefðbundna rafhitun þá þarf mun minni raforku til að knýja varmadælu til þess að ná sömu varmaorkunni. Í þessu felst orkusparnaður varmadælu. Orkuhagkvæmni varmadælu ræðst af hlutfalli þeirrar orku sem fæst frá henni og orkunnar sem fer til að knýja þjöppu og eimsvala og aðrar vatns- og vökvadælu sem hugsanlega þarf til að tryggja varmaflæði. Orkan er í báðum tilvikum reiknuð á ársgrundvelli. Ef við köllum varmaorkuna Q og orkuna sem felst í vinnunni W , þá verður hlutfall varmaorkunnar og vinnunar einingarlaus stuðull, svokallaður ársvarmastuðull, táknaður með ϕ (gríski bókstafurinn phi), þ.e.:

$$\phi = \frac{Q}{W} \quad (2.1)$$



Mynd 2.2: Hús tengt varmadælu. Leiðslur liggja niður í volga laug og frostlögsblandað vatn færir varmann að varmadælu sem nýtir hann í lokaðri hringrás vinnslumiðils. Neysluvatn og vatn á ofnakerfi er hitað með varmaskiptum við vinnslumiðilinn.

Í stuttu máli táknað ϕ orku út á móti orku inn. Ársvarmastuðullinn ϕ skal ævinlega gefinn upp fyrir hverja varmadælu, enda ræðst húshitunarsparnaður af þeirri tölu. Hefðbundnar varmadælar hafa ársvarmastuðul á bilinu 2-5, sem þýðir að spara má frá helming til 4/5 raforkureikningsins á hverju ári (50-80%). Ef ársvarmastuðullinn er t.d. 3 þá fást 3 kWh varmaorku fyrir hverja 1 kWh raforku sem varmadælan notar.

Þess ber að geta að hagkvæmnisstuðullinn er ákvarðaður á tvennan hátt. Annars vegar eins og gert var hér að ofan út frá heildarorkunotkun á ársgrundvelli og hins vegar út frá aflinu sem allur rafbúnaður varmadællunnar tekur (aðallega þjappa og eimsvali) annars vegar og varmaafninu sem dælan gefur frá sér hins vegar. Sá stuðull er ýmist nefndur aflstuðull, nýtingarstuðull eða ávinningsstuðull (*COP*, eða coefficient of performance).

$$COP = \frac{P_{varmaafn}}{P_{rafafl}}$$

þar sem afl P er mælt í W (watt). Ókostur þessa stuðuls er að hann tekur mið af tilteknum aðstæðum og er ekki ársmeðalgildi eins og ársvarmastuðullinn, sem endurspeglar hagkvæmni orkunotkunar varmadælu yfir heilt ár.

Varmadæla þarf að hafa aðgang að stöðugri varmauppsprettu (t.d. jarðvegi). Hiti varmauppsprettunnar skiptir ekki höfuðmáli en nýtni varmadællunnar eykst eftir því sem hitinn er hærri. Yfirfærsla varma frá varmauppsprettu næst með óreiðubreytingu vinnslumiðilsins, þ.e. varmi losnar þegar vinnslumiðillinn fer

úr vökvafasa í gasfasa. Óreiða er táknuð með S og óreiðubreyting með ΔS . Ef við nú hugum aðeins að vinnslumiðilsferlinu og sleppum vinnu sem framkvæmd er í þjöppu og eimsvala þá segir varmafræðin okkur að varminn Q sem fæst úr vinnslumiðlinum ræðst af:

$$Q = T\Delta S$$

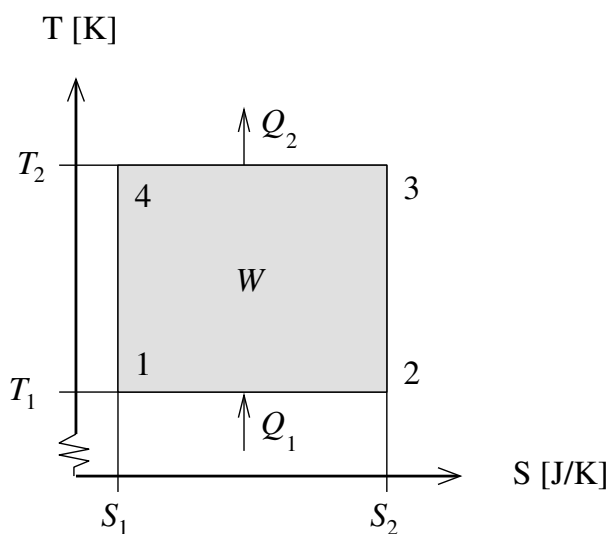
þar sem ΔS er óreiðubreyting vinnslumiðilsins eins og áður sagði og T er fast umhverfishitastig (mælt í Kelvin gráðum, þar sem $T_{Kelvin} = T_{Celsius} + 273,15$). Vinnslumiðillinn er í fyrsta skrefinu hér fyrir ofan á vökvaformi en gufar svo upp og verður að gasi. Við fasabreytinguna eykst óreiða miðilsins, þ.e. hver sameind hefur nú meira frelsi til hreyfingar. Óreiðan minnkar svo aftur í eimsvala þegar gasið þéttist og hringrásin lokast en þá hefur varminn sem myndaðist við óreiðuaukninguna fengist úr vinnslumiðlinum með varmaskiptum háþrýstingsmegin þjöppunnar.

Fræðilegt hámarksgildi Q fæst með því að skoða hringrás á $T - S$ línuriti og líta svo á að öll fasaskipti (óreiðubreyting) gerist við fast hitastig og að allar hitabreytingar gerist án óreiðubreytingar. Frakkinn Sadi Carnot beitti fyrstur slíkri hringrásaraðferð til að meta nýtni varmavéla, þ.e. ákvarða hver er hámarksvinnna vélar sem nýtir hitamuninn $T_2 - T_1$ þar sem T_2 er hitastig varmauppsprettu ($T_2 > T_1$). Hans þekktu niðurstaða hljóðar svo að nýtni varmavélar verður aldrei meiri en

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

þar sem η er nýtnin sem getur aldrei orðið hærri en 1 og þá aðeins ef við náum að fella hitann niður í alkul (þá er $T_1 = 0$). Í umræðu um varmadælu er nýtnisstuðlinum snúið við og ný stærð skilgreind $\varepsilon = 1/\eta$. Einnig viljum við hugsa um nýtnina eða ávinninginn útfrá varmanum Q frekar en hitastigi:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$



Mynd 2.3: $T - S$ línurit sem sýnir Carnot hringferli varmadælu. Skýringar í texta.

Mynd 2.3 sýnir Carnot hringferlið á $T - S$ línuriti. Við skiptum ferlinu í fjórar beinar línur frá punkti 1 til 4 þar sem hver lína táknar ákveðna varmafræðilega tilfærslu í varmadælu:

* 1-2: Vinnslumiðill á vökvaformi tekur í sig varmann Q_1 við fast hitastig T_1 og gufar upp. Við fasamuninn eykst óreiðan um $\Delta S = S_2 - S_1$.

* 2-3: Dæla þjappar gasinu saman og hiti þess eykst frá T_1 í T_2 .

* 3-4: Gasið þéttist við fast hitastig T_2 , óreiðan minnkar aftur um gildið ΔS á meðan varminn Q_2 sleppur út.

* 4-1: Hitastig vökvans fellur niður í T_1 . Hringrásin lokast.

Varmadælan þarf að taka inn orku og framkvæma vinnu W í tilfærslu 2-3 og 4-1. Fyrsta lögmál varmafræðinnar (orkuvarðveisla) segir okkur að sú vinna er í þessu tilviki jöfn $Q_2 - Q_1$, sem reynist vera flatarmál ferilleiðarinnar á mynd 2.3. Nú verður ávinningurinn:

$$\varepsilon = \frac{Q}{W} \quad (2.2)$$

sem er þá nákvæmlega sama skilgreining og á ársvarmastuðlinum (jafna 2.1), enda skýrðist hér hvers vegna ársvarmastuðullinn/ávinningsstuðullinn er skilgreindur svona.

Carnot ferlið er mikil einföldun og slíkt ferli fæst aldrei við raunverulegar aðstæður og er einungis til viðmiðunar. Venjulega helmingast nýtnin eða er á bilinu 1/3-1/2 eftir stærð og hönnunargæðum varmadælu. Sem dæmi má hugsa sér varmadælu sem hefur aðgang að 20 °C heitri laug og gefur frá sér 50 °C heitt vatn. Slík varmadæla hefur Carnot ávinningsstuðul $\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{323\text{K}}{30\text{K}} = 10,8$ og raunveruleg nýtni þá á bilinu ca. 3,6-5,4.

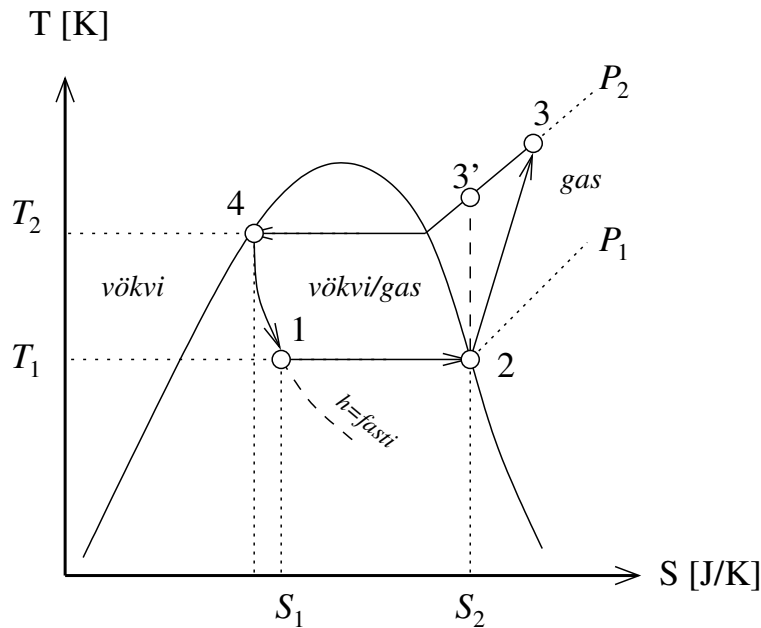
Hægt er að endurbæta ferlið á mynd 2.3 með því að teikna fasarit vinnslumiðils á $T - S$ línuritið, sjá mynd 2.4. Þá verður vinnsluferlið ekki ferhyrningslaga lengur, heldur verður að aðlagast raunverulegum eiginleikum tiltekins vinnslumiðils. Helstu breytingar eru að við varmaupptöku (leið 1-2) verður minni óreiðubreyting og útpensla á gasformi gerist ekki án óreiðubreytingar (leið 2-3). Skýringu má í báðum tilvikum rekja til taps í þjöppu og eimsvala.

$T - S$ línurit er ekki notað til nákvæmrar greiningar á varmadæluferlum og frekar notast við $\log P - h$ **$P - h$ línurit** línurit. Þrýstingur (P) er þá sýndur á lógaritmískum skala eða logri hans tekinn fyrir hvert gildi eðlisvermisins (h). Eðlisvermi er vermi á massaeiningu, þ.e. H/m með einingar kJ/kg. Við rifjum upp að hugtakið vermi svipar til mættis í klassískri affræði eða rafsegulfræði, þ.e. ef breyting vermis er neikvæð við ákveðna tilfærslu þá leitar ástandið þangað. Vermi er skilgreint sem:

$$H = U + PV$$

þar sem U er innri orka kerfis, P þrýstingur þess og V rúmmál. Hér þurfum við einungis að vita að breyting vermis er mælikvarði á þann varma sem varmadæla skilar auk vinnu sem lögð er til hennar. Mynd 2.5 sýnir varmadæluferlið á $\log P - h$ línuriti. Þrýstingsásinn er sýndur á log-skala svo að betra sé að lesa af honum lág þrýstingsgildi. Fasalínur eru dregnar þar sem vinnslumiðillinn fer úr einum fasa í annan. Einnig er sýndur ferill fyrir fast eðlisrúmmál vinnslumiðilsins (v_1 í einingum kg/m^3) með upphafspunkt við þrýsting og hitastig eins og hann er við bakhlið þjöppu (punktur 1 á mynd 2.5). Línur sem sýna fast óreiðugildi eru einnig teiknaðar á sama línuritið, en þær tákna taplausa þjöppun (þ.e. orkan sem fer til þjöppunnar nýtist eingöngu til að þjappa saman miðlinum og engin orka fer til spillis). Við skiptum eins og áður ferlinu upp í nokkra þætti:

1-2: Samþjöppun í gasfasa. Vinna þjöppu er notuð til þess að þrýsta vinnslumiðlinum á gasformi



Mynd 2.4: Endurbætt $T - S$ línurit sem tekur þetta mið af raunverulegu hringrásarferli vinnslumiðils í varmadælu.

saman. Vermid (h) eykst við þetta og þrýstingur einnig. Vinnan sem framkvæmd er verður $w = h_2 - h_1$. Ef þjappan er fullkomin og skilar allri sinni vinnu án varmataps til ferlisins þá verður engin óreiðubreyting á þessari leið. Slíkur fræðilegur ferill er leið 1-2'.

2-3: Varmalosun við þéttingu. Gasið tapar varma til umhverfis og vinnslumiðillinn fer úr gasfasa í vökvasa. Varmalosunin verður $q_k = h_2 - h_3$.

3-4: Gasið hefur þést við þensluloka og vökvinn streymir um lagnir varmadællunnar. Vökvinn kemur aftur að baki þjöppu og þar er þrýstingur lægri (P_0).

4-1: Varmi frá umhverfi víxlverkar við vökvann sem þá gufar upp við lágan þrýsting og óreiða kerfisins vex með tilheyrandi varmaaukningu $q_0 = h_1 - h_4$.

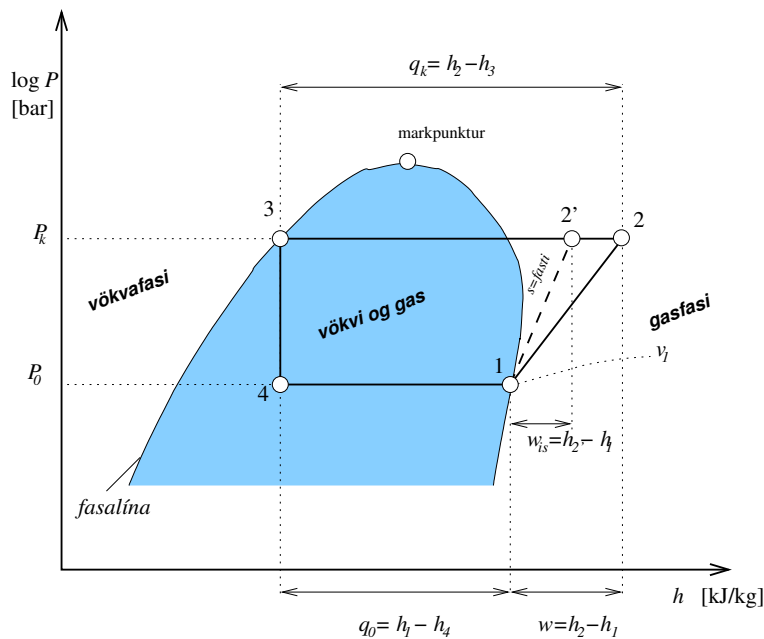
Ávinningsstuðull fyrir þetta ferli er $\varepsilon = \frac{q_k}{w}$ á sama hátt og í jöfnu 2.2 og hægt er að reikna hann út frá töflugildum á þrýstingi og vermi á hvert kg fyrir þann vinnslumiðil sem notaður er í varmadællunni. Einnig má reikna stærð varmadællunnar, þ.e. hversu mikið vinnslumiðilsflæði (\dot{m} í einingum kg/s) og slagrymi (\dot{V}_{slag} í einingum m^3/s) hún þarf til þess að ná ákveðnu afli, $W = \dot{Q}_k$:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_k}{q_k} \quad (2.3)$$

$$\dot{V}_{slag} = \dot{m} \cdot v_1 \quad (2.4)$$

Heildarnýtni raunverulegrar varmadælu ræðst af ýmsum þáttum, svo sem hversu mikið vinnslumiðill ofhitnar eða ofkælist í hringrásinni, hversu góð nýting slagrymis í þjöppum er, hver nýting raforku í þjöppum og dælum er, o.s.frv. Ekki verður farið í hvern einstakan nýtingarlið hér en lesendum bent á ítarefni (t.d. Stene (2001) og Rasmussen (2002)).

Sem dæmi um notkun hluta fræðanna hér að ofan má skoða uppsetningu og notkun varmadælu á



Mynd 2.5: Þrýstingur teiknaður á móti vermi í varmadælu. Fasi vinnslumiðilsins er breytilegur eftir því hvar vinnsluferlið 1-4 er skoðað.

Grenivík (sjá umræðu í kafla 5.8 neðar). Hámarksafl varmadælu fyrir Grenivík og nágrenni hefur verið áætlað 1,8 MW. Þessi varmadæla myndi nýta að meðaltali 15 °C varmauppsprettu og skila 70 °C heitu vatni. Vermið sem losnar í 1 kg af vinnslumiðli (ammóníak, NH₃) í einni hringrás er í þessu tilviki 1120 kJ (samkvæmt vermismun ammóníaks við þjöppuþrýsting $P_k = 34$ bar og enga óreiðubreytingu vinnslumiðils við þjöppun, sem þó verður einhver við raunverulegar aðstæður). Massaflæðið (jafna 2.3) verður þá $\dot{m} = 1,6$ kg/s og slagrymið (jafna 2.4) reiknast 283 l/s. Raunverulegt slagrymi verður stærra, því að rúmmálsnýting þjöppu verður aldrei fullkomin (ventlar hafa rúmmál og aldrei hægt að tryggja fullkomna þjöppun).

2.3 Vinnslumiðlar

Hér verður gefið stutt yfirlit yfir vinnslumiðla sem notaðir eru í varmadælum. Með vinnslumiðli er átt við efnið sem notað er í hringrás varmadælu, stundum nefnt kælivökvi, en það orð á betur við um vinnslumiðil í kælivélum og þá þegar fasi þess miðils er vökvi. Yfirlit þetta verður á engan hátt tæmandi, enda vinnslumiðlar margir og fjölbreytilegir og reglulega bætast nýjar gerðir og blöndur við. Umræðan takmarkast við varmadælur sem nota einn vinnslumiðil (ekki samsettar varmadælur sem nota fleiri en eina gerð vinnslumiðils).

Vinnslumiðlar mynda hjarta varmadælna en þjöppur, dælur og annar búnaður eru umgjörð sem sér til þess að hringrás vinnslumiðilsins gangi. Vinnslumiðill er valinn þannig að hann gefi sem mesta nýtingu tiltekens varma. Helsti mælikvarði á orkunýtinguna er vermismbreyting vinnslumiðilsins í einni hringrás, þ.e. hversu mörg kJ hann skilar á hvert kílógram, sbr. umræðu í fræðakaflanum hér á undan og mynd 2.5.

Svo hanna megi varmadælu sem notar tiltekinn vinnslumiðil verður fasarit miðilsins að vera þekkt, þ.e. hver fasi hans er við tiltekinn hita og þrýsting.

2.3.1 Flokkun vinnslumiðla

Vinnslumiðlar eru flokkaðir eftir gerð og blöndun þeirra. Helstu frumefnin sem mynda vinnslumiðla eru kolefni (C), klór (Cl), flúor (F), bróm (Br), nitur (N), vetni (H) og súrefni (O) sem mynda ýmis sambönd sín á milli. Algengir vinnslumiðlar eru ýmis kolvetni en oft er einni eða fleiri vetnisfrumeindum skipt út fyrir ýmist klór og/eða flúor. Kolvetnisvinnslumiðlar eru númeraðir samkvæmt eftirfarandi lykli:

1. tölustafur: fjöldi C-frumeinda -1
2. tölustafur: fjöldi H-frumeinda +1
3. tölustafur: fjöldi F-frumeinda

Ef fyrsta talan verður núll er henni sleppt. Bróm er táknað með B og svo fjölda brómfrumeinda. Dæmi um þetta er:

R-12: CF_2Cl_2

R-114: $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$

R-22B1: CHF_2Br

Þeir vinnslumiðlar sem notið hafa mestrar útbreiðslu eru af Freon™ gerð (kol[vetnis]-klór-flúorsambönd, t.d. R-22: CHClF_2 eða R-12: CCl_2F_2 , oft skammstafað HCFC eða CFC) en vegna ætlaðra áhrifa þeirra á ósonlag jarðar er notkun þeirra á undanhaldi og verður bönnuð innan fárra ára í framleiðslulöndum varmadælna. Freon, eða vetnisklórflúorkolefni, er ekki skaðlegt í náttúrunni nema við niðurbrot þess ofarlega í loftþjúpnun þar sem óson er til staðar. Við niðurbrotið losnar klór (Cl) sem veldur niðurbroti ósons (O_3). Fleiri þættir auk hlutleysis í náttúrunni ráða vali á vinnslumiðli, svo sem vinnsluþrýstingur, stöðugleiki, hvarfgirni við olíu og málma, eitur- og ertingaráhrif, eldfimi og hversu auðvelt er að greina leka miðilsins. Vetnisflúorkolefni, skammstafað HFC veldur engum skjótum umhverfisskaða¹ og er arftaki R-22. Til þess flokks teljast t.d. R-134a, R-143a, R-152a, R-404A, R-407 A,B,C, R-410A og R-507. Þrýstingur HFC vinnslumiðlanna er þó hærri bæði í þjöppu og eimsvala og verður hönnun varmadælnnar að miðast við þann þrýsting með tilheyrandi öryggisráðstöfunum. Própan (R-290), isobútan (R-600a), ammóníak (R-717) og koldíoxíð (R-744) eru einnig vinnslumiðlar sem ráðast ekki á ósonlagið en hafa aðra ókosti². Própan og isobútan eru afar eldfimur miðlar og ammóníak í miklu magni er skaðlegt heilsu. Koldíoxíð er hvorki skaðlegt né eldfimt en er venjulega notað í varmadælum undir talsverðum þrýstingi með tilheyrandi sprengihættu.

Samkvæmt reglugerð um efni sem eyða ósonlaginu (nr. 586/2002) er óheimilit að flytja inn eða setja upp búnað sem notar ósoneyðandi efni, en þó má áfram þjónusta varmadælur sem settar voru upp fyrir 1. janúar 1996 með slíkum efnum. Sú heimild gildir til 1. janúar 2010. Ef þessar varmadælur krefjast meiri háttar breytingar eða viðgerðar skal hins vegar skipta um vinnslumiðil. Eftir 1. janúar 2010 skal öllum innflutningi efna sem skaðleg eru ósonlaginu hætt.

Þegar ekki er krafist herra hitastigs en um 55 °C til upphitunar húsnæðis hefur nær undantekningarlaust verið notaður R-22 vinnslumiðill og í seinni tíð hinar ýmsu gerðir HFC miðla. Þegar krafa er um hærri hita en 60 °C er nú mest notast við R-134a, en própan er einnig mikið notaður vinnslumiðill sem getur skilað vatnshitastigi allt að 65 °C sem er vel ásættanlegt í vatnsöfnakerfum.

¹HFC flokkast þó undir gróðurhúsagás og eru nokkrar gerðir þess mun skaðlegri en koltvísýringur, sjá EPA: United States Environmental Protection Agency (2002).

²Ólífrænar vinnslumiðlar fá töluna 7 fremst í lyklinum og næsta tala er frumeindamassi sameindarinnar (róteind eða nifteind). T.d. hefur ammóníak (NH_3) 17 massaeyningar frumeindar og fær þá nafnið R-717.

2.3.2 Vinnslumiðlar framtíðar

Mjög líklegt er að í framtíðinni muni enn meiri áhersla verða lögð á umhverfissvæna vinnslumiðla og þá getur svo farið að jafnvel HFC miðlar verði að víkja fyrir einhverjum hinna svokölluðu náttúrulegu vinnslumiðlum. Náttúrulegir vinnslumiðlar eru þær gas- eða vökvategundir sem til eru í teljanlegu magni í náttúrunni og ekki valda breytingum á því jafnvægi sem þar ríkir. Dæmi um slíka vinnslumiðla eru loft, koltvísýringur, ammóníak, brennisteinssýra, bútan, isobútan, própan, propylene, pentan og eter (Pearson (2004)). Ammóníak er notað í nýrri gerðum stórra varmadælna (t.d. hjá Norðurorku hf.) og nýlegar framfarir með blöndun ammóníaks og vatns bendir til hagkvæmnar notkunar við hærri uppsprettuhitastig (Horntvedt (2004)) sem er afar áhugavert fyrir íslenskar aðstæður. Einnig eru líkur á að hægt verði að útbúa minni ammóníak varmadælur (Kopp (2004)). Gallinn við ammóníak er sá að auk eituráhrifa tærir hann kopar, sem er algengt lagnaefni í varmadælum vegna hárrar varmaleiðni og lágs kostnaðar.

Endurbætur síðustu ára hafa orðið til þess að áhugi á koltvísýringi í yfirmarksástandi hefur endurnýjast og hann er nú talinn vera hugsanlegur vinnslumiðill framtíðarinnar (Kim o.fl. (2004) og Aarlien (2004)). Koltvísýringur er náttúrulegt efni og afar veikt gróðurhúsagas, jafnvel í samanburði við nýrri gerðir kælimiðla sem hafa á bilinu 120-12.000 sinnum meiri varmagleypni³. Búið er að leysa CO₂ vandamál sem tengdust of háum þrýstingi og þéttingu í varmaskiptum. Yfirmarkshiti koltvísýrings er hins vegar ekki nema 31,1 °C sem þýðir að við þann hita og hærri er ógerlegt að þetta koltvísýringsgasið, sama hver þrýstingur er (mynd 2.5 sýnir staðsetningu yfirmarksgildisins á $\log P - h$ línuriti (e. critical point)). Ef nota skal CO₂ til meiri hitunar þarf varmadælan að ráða við yfirmarksaðstæður. Miðill í yfirmarksfasa hefur eðlismassa vökvafasans en býr jafnframt yfir eiginleikum gasfasa. Þegar miðlinum er þrýst saman gefur miðillinn eftir og því verður þrýstingur óháður hitastigi. Samanburður á hefðbundinni vinnslumiðils-hringrás og yfirmarkshringrás er sýndur á mynd 2.6. Uppgufun koltvísýringsins á sér stað við fast hitastig eins og áður en varmalosunin verður við breytilegt hitastig. Gaskælir er þá notaður í stað eimsvala til að ná varma frá yfirmarksfasanum.

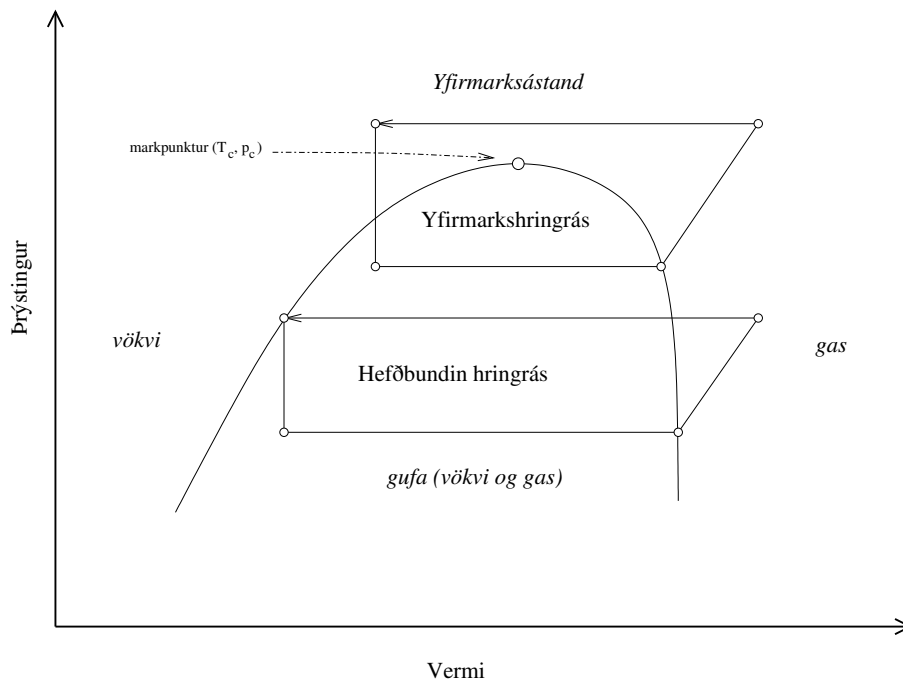
Vegna þess háa þrýstings sem nota þarf til að knýja hringrás koltvísýringsmiðilsins, verður orkuþéttleiki hans mikill og því þarf varmadælan ekki að vera eins stór að umfangi til að skila sambærilegri varmaorku. Reyndar er fræðileg nýtni koltvísýringsmiðils 30-50% lægri en hefðbundinna miðla (vegna lágs markgildis) en á móti kemur að lágt þrýstingshlutfall í pressu, lítið hitatap við þrýstingsbreytingu og síðast en ekki síst mikil varmaleiðni gerir orkunýtingu í koltvísýringsvarmadælum sambærilega hefðbundnum varmadælum. Enn sem komið er verður koltvísýringur fyrst og fremst notaður sem kælimiðill og þá við hefðbundin fasakipti miðilsins.

2.4 Varmadælur í þróun

Markaður fyrir varmadælur er mjög stór og hefðbundnar varmadælur seljast vel víða um heim á vaxandi markaði, sjá umræðu t.d. í kafla 6. Hefðbundin varmadæla skilar yfirleitt ekki heitara vatni en 60 °C. Þessi hiti er í lægri kantinum miðað við hitastig vatns frá flestum hérlendum hitaveitum (en heppilegt til góflhitunar eins og síðar verður rakið). Áhugi er fyrir að hita vatnið enn frekar og nota til þess heitar varmauppsprettur þar sem kostur er. Dæmi er um að þurft hafi að kæla varmauppsprettu til þess að auka nýtingu varmadælu, sem yfirleitt eru ekki hannaðar fyrir uppsprettuhitastig hærra en 18 °C⁴. Nú hefur farið

³T.d. þarf 4.300 sinnum meira af CO₂ en R-143a til að valda sömu gróðurhúsaáhrifum (EPA: United States Environmental Protection Agency (2002)).

⁴Varmadæluverkefni Langadas, Grikklandi, í umsjá CRES.



Mynd 2.6: Hringrás koltvísýringsvinnslumiðils borin saman við hringrás hefðbundins vinnslumiðils í varmadælu.

af stað verkefni styrkt af Evrópska rannsóknaráðinu þar sem skoðaðir verða möguleikar á að endurbæta varmatilfærslu frá borholum, hækka ávinningsstuðulinn, nýta um 40 °C varmauppsprettur og skila um 80 °C heitu vatni (GROUNDHIT verkefni í umsjá C. Karytsas hjá CRES í Grikklandi). Niðurstöðu þess verkefnis er að vænta árið 2008.

Í rúman áratug hafa staðið yfir rannsóknir hjá Institutt for energiteknikk (IFE, Kjeller) í Noregi með blandaðan vinnslumiðil (ammóníak-vatn) sem leyfir varmaupptöku frá varmauppsprettum á hitabilinu 35-50 °C. 300 kW frumgerð þessarar varmadælu hefur nú verið í gangi í yfir 12.000 tíma og starfrækt í norsku mjólkurbúí, auk þess sem 60 kW varmadæla hefur lengi verið starfrækt í tilraunastofu.

Með koltvísýring sem vinnslumiðil má hita vatn í nálægt 100 °C. Talsverðar rannsóknir hafa farið fram á eiginleikum CO₂ sem vinnslumiðli og smíðaðar hafa verið tilraunavarmadælar sem nýta þann vinnslumiðil með góðum árangri (sjá t.d. stór varmadæluverkefni IEA). Fyrir nokkrum árum leiddi samstarf orku-fyrirtækja og orkurannsóknarstofnunar í Japan af sér smíði fyrstu varmadælu fyrir almennan markað sem notar CO₂- vinnslumiðil til upphitunar á neysluvatni og ber hún nafnið Eco Cute⁵. Hugmyndasmíð, þróun og hönnun þeirrar varmadælu fór upprunalega fram hjá NTNU/SINTEF í Noregi (Prof. Gustav Lorentzen o. fl., U.S. Patent nr. 5.245.836 frá 1993) þar sem yfirgripsmiklar rannsóknir á eiginleikum koltvísýringismiðils hafa farið fram í nær 20 ár. Enn frekari endurbætur á vinnsluferli miðilsins áttu sér stað á árinu 2003 hjá framleiðandanum DENSO, þegar þensluloka var skipt út fyrir sk. sogara (e. ejector) sem samsettur er úr örmjóum rörum og hefur það hlutverk að draga gas frá þjöppuhlið varmadælu og skila því til gas/vökvaskilju undir lægri þrýstingi. Þjappan þarf ekki eins mikið afl þegar sogarinn hjálpar til við vinnslumiðilsflutninginn og um 20% af heildaraflþörf varmadælu sparast. Reiknað er með að um 100.000 varmadælar af þessari gerð seljist á í Japan á árinu 2005 í samkeppni við stóran gashitunarmarkað.

⁵TEPCO, DENSO Corp. og CREPI, Japan framleiða Eco Cute varmadælar.

Kaflí 3

Gerðir varmadælna

Allar varmadælnur nota vinnslumiðil í lokuðu kerfi og nýta þar óreiðubreytingu hans sem næst við varmaskipti við ytri varmauppsprettu, þ.e. þegar vinnslumiðillinn fer úr t.d. vökvafasa í gasfasa. Hefðbundnar varmadælnur eru flokkaðar í nokkra grunnflokka eftir fasa varmauppsprettu og fasa varmafrástreymis, t.d. hefur vatn/loft varmadæla varmauppsprettu í vökvafasa (vatn) og skilar frá sér heitum gasfasa (loft). Hér- lendl notkun varmadælna miðast við að varminn sé fenginn af svæðum þar sem einhver hiti er í jörðu. Minnstur kostnaður við nýtingu slíks hita er frá náttúrulegum varmauppsprettum á borð við volgrur eða laugar en þá má leggja varmaleiðnileiðslur beint í þær án verulegs jarðrask (sjá mynd 2.2). Algengast er að hús séu hituð með vatnsöfnakerfum og því er mestur vilji fyrir því að varmadælan skili frá sér heitu vatni sem fer í öfnakerfi sem yfirleitt er til staðar þar sem varmadælnunni skal komið fyrir. Hafa skal í huga við nýbyggingar að hiti vatns frá hefðbundnum varmadælum er yfirleitt ekki hærri en 50-60 °C og þá er mælt með gölfhita til upphitunar eða hitablásurum (sjá þó umræðu um vinnslumiðla í kafla 2.3). Einnig eru svokallaðir lágghitaöfnar eða tromluöfnar nefndir í þessu samhengi en þeir eru útbúnir víftum sem auka gegnumstreymi og örva varmaskipti við loft. Hér einskorðast umræðan að mestu við einn flokk varmadælna, þ.e. vatn/vatn varmadælnur. Loft/loft varmadælnur eru algengastar allra varmadælna á heimsmarkaði og eru yfirleitt útfærðar á þann hátt að hægt er að snúa við flæði vinnslumiðilsins, þannig að varmadælan getur ýmist kælt eða hitað húsnæði. Þessi útfærsla er ódýrust varmadælna og selst vel í löndunum nálægt miðbaug en ekki eins vel þar sem krafan um upphitun er kælingarþörfinni yfirsterkari. Hitt þekkist þó að þær séu einnig notaðar til hitunar í kaldari löndum líkt og gerðist nýlega í stórum stíl í Noregi vegna raforkusparnaðarátaks þarlendrar yfirvalda. Flestar hendlendar varmadælnur sem notaðar hafa verið til upphitunar íbúðarhúsnæðis eru vatn/vatn varmadælnur og er nýtni þeirra almennt meiri en í hinum gerðum varmadælna. Eftir meginumræðu um vatn/vatn varmadælnur og skyldar dælnur er minnst stuttlega á ísögs- og ásögsvarmadælnur.

3.1 Vatn/vatn varmadælnur

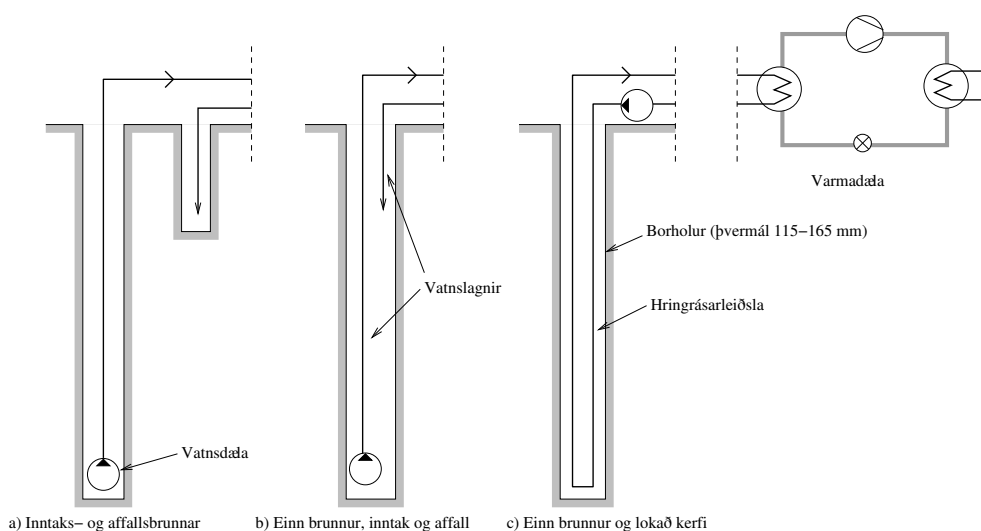
Vatn/vatn varmadælnur draga varma úr vatnsuppsprettu utanhúss við varmaskipti við vinnslumiðilinn lág- þrýstimegin og skila frá sér heitara vatni eftir varmaskipti við vinnslumiðilinn á heitu hlið varmadælnunnar, þ.e. eimsvalamegin. Vatnsuppsprettu þessi getur verið af ýmsum toga, t.d. sjór, lækur eða þegar best lætur volgra, ýmist náttúruleg eða úr brunni eða borholu. Ársvarmastuðullinn (þ.e. nýtnin) verður hærri eftir því sem hitamunur varmauppsprettu og heita vatnsins í öfnakerfi er minni og því hafa prufuverkefni hendlendis

að mestu miðast við að nýttar séu volgurur, yfirleitt á bilinu 10-35 °C. Þessi gerð varmadælna notar minnstu raforku miðað við framleidda varmaorku, þ.e. hefur hæsta ávinnings/ársvarmastuðul allra varmadælna. Þau helstu atriði sem íhuga þarf við uppsetningu þessara dælna eru eftirfarandi:

- Staðsetning varmalindar: þarf vatnsdælu til þess að koma varmagjafanum að leiðslum vinnslumiðils?
- Stærð varmalindar: mun varminn sem varmadælan dregur úr vatnsuppsprettunni verða til þess að kæla vatnið?
- Er líklegt að vatn varmauppsprettunar muni frjósa?
- Eru líkur á rafmagnstruflunum sem t.d. stöðva rennsli varmagjafa og auka líkur á að hann frjósi í leiðslum?

Þessi atriði gilda almennt um alla vatnstengda varmaöflun utanhúss og í jarðvegi, óháð því hvernig farið er með varmann í varmadælu.

Þegar borholur eða brunnar eru nýttir sem varmalind eru yfirleitt þrjár leiðir sem koma helst til greina ef ekki er sjálfrennsli frá uppsprettunum, sjá mynd 3.1.



Mynd 3.1: Þrjár leiðir til koma varma frá vatni í borholum eða brunnum að varmadælu. Endurgerð mynd eftir J. Stene (Stene (2001)).

Þegar vatni er dælt að varmadælunni þarf að koma fyrir vatnsdælu ofan í borholunni eða brunnum. Framrásarvatnið frá varmalindinni er leitt að varmadælunni og eftir varmaskipti við vinnslumiðil varmadælnnar er bakrásarvatninu komið aftur niður í jarðveg, ýmist í minni brunn eða borholu eða jafnvel í sömu borholuna ef ekki er talið að slík aðgerð muni lækka hitastig varmalindarinnar. Þegar borað er eftir heitu vatni er ævinlega reynt að bora í vatnsæðar eða bergganga sem leiða heitt vatn inn í holuna. Inntak framrásarvatnsins er þá staðsett nálægt slíkum innstreymisstað í vel heppnuðum borholum. Að lokum þarf að leiða varmaskiptavökvann á eða nálægt yfirborði að varmadælu og það er best gert í einangrandi rörum. Ef um t.d. rannsóknarborholu er að ræða er yfirleitt nokkur fjarlægð til hennar¹. Rafmagnsnotkun vatnsdælu í borholu eða brunni verður að bæta við rafmagnsnotkun varmadælu þegar nýtnistuðull er metinn.

¹Hér er átt við að borholu sem búið er að bora í tengslum við t.d. hitastigulsathuganir. Ef borað er sérstaklega fyrir varmadælu er holan höfð nálægt varmadælunni.

Huga þarf að vatnsgæðum varmalindar svo að líkur á stíflum eða tæringu í leiðslum og dælum séu hverfandi. Helst er saltvökvi (sjór) varasamur í þessum efnum og þá mælt til þess að varmaskiptar séu úr títan málni eða ryðfríu stáli af gerðunum AISI 316L og SMO 254.

3.2 Berg/vatn varmadælur

Almennt er aðgengi að stórum vatnsæðum eða innstreymisvatni í borholum ekki nauðsynlegt skilyrði fyrir varmadælur, heldur er hægt að hafa varmaskipti við allt borholuvatnið. Þetta er víðast hvar gert erlendis á stórum markaðssvæðum varmadælna, og eru varmaskiptin þá í raun við bergið sem holan nær í gegnum og vatnið miðlar varma bergsins yfir í varmaskiptavökva (t.d. frostlögur (etýlenglýkól/vatn), etanól eða saltvatn). Varmaskiptavökvinn er þá leiddur í allöngum leiðslum í gegnum varmauppsprettu sem miðast að því að auka snertiflöt vinnslumiðilsins við varmauppsprettu (gildir almennt um varmaskipti), sjá mynd 3.1c. Þegar grunnvatnsstaða er lág í borholum má auka varmaleiðni frá bergi að varmaskiptavökva með varmaleiðandi flotmassa sem þrýst er að leiðslum og fylla efri hluta holunnar. Þessi efni eru oftast bentónít og kvarssandsblöndur og hægt er ná aukinni aflupptöku með fleiri varmaskiptaleiðslum og hagkvæmri uppröðun þeirra (Pahud og Matthey (2001)). Lengd varmaskiptaleiðslanna fer eftir dýpt holunnar og þeim kröfum sem gerðar eru um það varmafl eða varmaorku sem notast skal við. Hérlandis má sennilega reikna með um 50 W/m og árlegri varmaorku um 200 kWh/m, en það hefur ekki mælt nákvæmlega². Þetta þýðir að virkur hluti varmaskiptaleiðslanna skal vera um 200 m fyrir meðalhúsnæði.

Vegna hás hitastiguls hérlendis er líklegt að bergvarmadælur sýni talsverða rekstrarhagkvæmni og ekki ósvipaða vatn/vatn varmadælum. Ef um íbúðarhúsnæði er að ræða er þörf á upphitun nánast allt árið og rafmagnssparnaður hérlendis því hlutfallslega hærri en í heitari nágrannalöndum. Varmaleiðni íslenska basaltsins er hins vegar lág ($1,6-2,0 \frac{W}{mK}$ (Flóvenz og Sæmundsson (1993)) en stundum tvöfalt hærri í graníti ($2,3-3,9 \frac{W}{mK}$ (Surma og Geraud (2003))). Hér sannast þá aftur mikilvægi vatnstreymis. Nýleg reynsla hérlendis staðfestir hversu erfitt getur verið að ná góðri varmaupptöku í þurri holu en ef næst í grunnvatn á botni holunnar sem hefur hitastig í kringum 15-20 °C þá eru engin slík vandkvæði (Friðfinnur K. Daníelsson (2004)). Varmaleiðni vatns kann að vera lág ($0,6 \frac{W}{mK}$) en ef grunnvatnsflæðið er nægilegt þá vinnur það strax upp varmatapið til vinnslumiðils dælnunnar þegar hann þéttist. Nýlegar aðferðir við ákvörðun varmaviðtaks holu sem boruð er fyrir varmadælu auka samt sem áður líkur á hagvæmni framkvæmdarinnar og varmaleiðandi fyllingarefni sem minnst var á hér ofar bætir varmaupptöku úr holunum talsvert (Sanner o.fl. (2003)).

3.3 Bein lofthitun og nýting varma úr lofti

Markmið lagningar upphitunarkerfa í húsnæði er að hækka lofthita. Algengustu gerðir varmadælna á heimsmarkaði nýta lofthita utanhúss og blása heitu eða köldu lofti innanhúss (til upphitunar eða kælingar). Þannig verður varmadælan einnig miðstöð í loftræstikerfi húsnæðisins og getur bætt loftgæði innanhúss, oft nauðsynlegt á heilbrigðisstofnunum, skólum og almennt þar sem fólk kemur saman. Til eflingar varmaskipta utandyra sem innan eru notaðir víftur eða blásarar sem auka loftstreymi að vinnslumiðli varmadælu. Hagkvæmni þessarar gerðar varmadælna er yfirleitt minni en vatn/vatn varmadælnanna, eða með COP stuðul um 2, en þennan stuðul má hækka t.d. með einhverri endurnýtingu varmans sem hverfur frá hús-

²Í Noregi er talað um 45 W/m meðalgildi og 100-250 kWh/m árlega.

næðinu. Einnig má nýta vatns- eða bergvarma öðrum megin dællunnar og loft innandyra, en þá tölum við um vatn/loft varmadælur eða berg/loft varmadælur. Sumar varmadælur nýta einnig lofthita úti og hita upp vatn inni, t.d. hin nýstárlega Eco Cute varmadæla sem talað er um í kafla 2.4.

3.4 Ísogs- og ásogsvarmadælur

Við hæfi er að nefna tvær gerðir varmadælna til viðbótar sem venjulega eru flokkaðar sérstaklega vegna þess að nánast eingöngu varmaorka er notuð til að knýja þær, ekki raforka. Efni og eiginleikar efna stýra upp- og niðurgufun og upplausn vinnslumiðils í þessum dælum og því eru þær stundum nefndar efnarvarmadælur. Þessar tvær gerðir eru ísogs- og ásogsvarmadælur. Vinnsluferli þessara tegunda dælna er frábrugðið hefðbundnu varmadæluferli á þann hátt að í stað þjöppu er ýmist vökvalausn eða fast efni sem gleypir gufu við lágan þrýsting og sleppir henni frá sér við háan þrýsting. Varmi, venjulega frá gasloga, er notaður til þess að losa gufuna úr lausninni eða fasta efninu³. Ísogs- og ásogsvarmadælur nota afar litla raforku, en raforka fer til vökvadælu sem þrýstir lausninni í gegnum varmaskipti við gaslogann. Ásogsvarmadælur eru lítið notaðar en talsvert rannsakaðar. Þessar gerðir varmadælna eru hagkvæmar þar sem aðgangur að gasi eða miklum staðbundnum varma er auðveldari eða ódýrari en raforku en megin ókostur þeirra er að ávinningsstuðullinn er lágur eða vart yfir $COP = 2$. Ísogsvarmadæla getur skilað miklu afli, þ.e. losar og tekur til sín varma hratt úr eða í vökva en ásogsvarmadæla er hagkvæmari þar sem geyma skal varmaorku, því að varminn losnar ekki eins hratt frá fasta efninu (föst efni með litla varmaleiðni en háa varmarýmd).

Ísogsvarmad.

Ásogsvarmad.

Til er athyglisverð varmadæla sem sameinar kosti ísogs- og ásogsvarmadælu og hefur hún verið nefnd í tengslum við útflutning á heitu vatni (Gísli Júlíusson (2004)). Þar er enginn ytri varmi sem knýr hringrásina, heldur nægir að staðsetja varmagjafann, sem er vatn, við hliðina á saltblöndu ($\text{Na}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$) í lokuðu kerfi. Vatn sem gufar upp binst saltinu sem þá er á vökvaformi. Ef þrýstingur er lágur í lokaða kerfinu, eykst uppgufunarhraðinn og vatnið tekur að sjóða. Á nákvæmlega sama hátt og hver annar vinnslumiðill dregur vatnið til sín varma frá umhverfinu til að hitastig miðilsins (vatnsins) haldist jafnt. Orkan sem losnar við óreiðubreytinguna (gufunarvarminn) skilar sér í saltblönduna sem bindur vatnssameindirnar og saltblandan verður heitari. Að lokum verður hitamunur vatnsins og saltblöndunnar orðinn það mikill að ferlið stöðvast, en þá er saltblandan á föstu formi, sem eykur mjög orkugeymslu blöndunnar og gæti þannig nýst vel til flutnings, t.d. milli landa. Þessi útfærsla á varmadælu hefur verið nefnd þrífasa varmadæla, því að hún notar þrjá fasa efnis. Þetta er ekki gott nafn og veldur ruglingi við þrjá fasa rafmagns, sem margar varmadælur nota.

³Algengustu gerðir ísogsvarmadælna nota vatnsgufu og því þarf hitastig ytri varmagjafans að vera yfir $100\text{ }^\circ\text{C}$ (við loftþrýsting), sem hentar ekki við þær íslensku aðstæður sem við skoðum hér, þar sem varminn er jarðvarmi lágheatavæða.

Kafli 4

Uppsprettur varma og orkuþörf

Varmadæla þarf að hafa aðgang að varmaupsprettu til þess að geta fært varmann þaðan til þess staðar sem nýta á varmann. Varmaupsprettan þarf að vera stöðug og þola álag varmadællunnar. Öruggt verður að vera að varmaupsprettan kólni ekki svo mikið að vatn frjósi þegar varmadælan er í gangi. Nóg er til af slíkum varanlegum varmaupsprettum, t.d. útiloft, jarðvegur, sjór og svo vitanlega heitari jarðhitaupsprettur á borð við laugar, lindir og hverir.

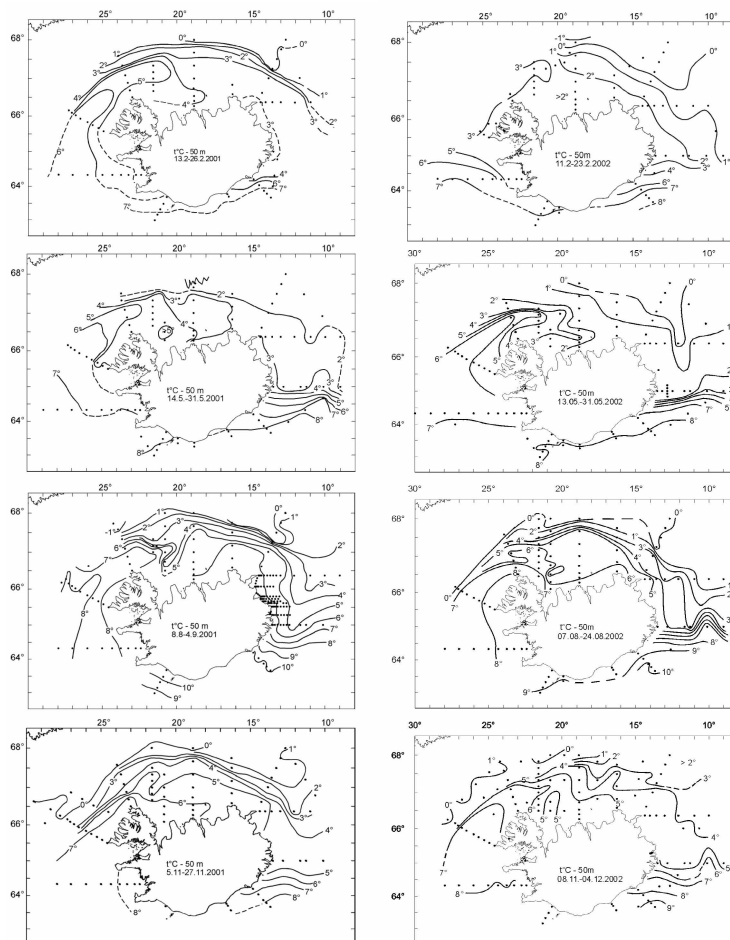
4.1 Sjávarhiti

Sjaldgæft er að sjór frjósi við héraendar strendur og gerist það einungis við ósa ár eða mikið grunnsævi við lága seltu. Sjávarhitamælingar Hafrannsóknastofnunar (mynd 4.1) sýna að hitinn er 7-8 °C við sunnanverðar strendur landsins en kaldari norðan megin, þó þannig að frostmarkslínan er aldrei nálægt strandlengjunni (Ástþór Gíslason o.fl. (2003)). Sjávarhiti hefur verið á uppleið undanfarnin ár og frýsting sjávar er sjaldgæft fyrirbæri í Íslandssögunni - helst að rekis sé færður til frásagnar. Sjávarhiti fer aldrei undir -1,8 °C (Steingrímur Jónsson (2004)). Ljóst má vera af þessu að sjór við héraendar strendur hefur heppilega varmafræðilega eiginleika. Engar líkur eru á að hefðbundnar varmadælur, jafnvel stórar, geti valdið staðbundinni lækun sjávarhita, enda er ætíð um eitthvert sjávarstreymi að ræða sem heldur því tiltölulega stöðuga sjávarhitastigi sem um ræðir.

Þegar leiða skal sjávarvarma að varmadælu er um tvennt að velja. Annars vegar er sjávarvökva dælt beint að varmadælu til varmaskipta við vinnslumiðil. Þá þarf að velja réttar lagnir og huga að óhreinindum í sjávarvökva, sjá umræðu í kafla 3.1. Hægt er að síá sjóinn (hreinsa hann) með því að bora holu nálægt sjávarströnd og dæla upp úr borholunni því sjávarvatni sem seitlað hefur í gegnum jarðlög og hreinsast á leið sinni að borholu. Slíkur sjávarvökvi kallast jarðsjór og er víða héraendis notaður þar sem krafa er um hreinsaðan sjó, ýmist til eldis eða sem kælivökvi. Hitaveita Suðurnesja stendur nú í miklum framkvæmdum á Reykjanesi þar sem áætlað er að dæla 4 m³/s af jarðsjó úr 10 borholum við ströndina að nærliggjandi raforkuveri til þéttingar jarðgufu á köldu hlið rafals í um 100 MW raforkuveri þeirra. Fyrir minni framkvæmdir nægir að bora grunnar holur, þá yfirleitt í klöpp nálægt strönd til að spara fóðringarkostnað við borun, en hann er óumflýjanlegur ef jarðlög eru laus.

Hin leiðin til að leiða sjávarvarma að varmadælu er að leggja varmaskiptavökva í lokuðu kerfi í sjó, þá ýmist í borholu við sjávarstönd eða beint í sjó og leiðslum sökkt á botn eða tengd flotholtum. Þessi seinni leið hlýtur að teljast einfaldari því þá þarf ekki að hugsa um óhreinindi í sjávarvökvanum.

Hægt er að mæla með varmadæluframkvæmdum sem nýta sjávarhita þegar stutt er til sjávar, en nýtni slíkra varmadælna takmarkast af sjávarhitanum og verður því ekki eins mikil eins og í varmadælu sem nýtir hærri jarðhita.



Mynd 4.1: Sjávarhiti við Ísland árin 2001 (vinstri dálkur) og 2002 (hægri dálkur). Mælingarnar eru frá mismunandi tímum ársins, febrúar, maí, ágúst og nóvember bæði árin, þær elstu efst og yngjast niður (Ástþór Gíslason o.fl. (2003)).

4.2 Jarðhiti/jarðvarmi

Jarðhiti er mikill hérlendis og telst allur til eldvirknihita á flekamótum. Til aðskilnaðar á breiða hugtakinu jarðhiti notum við hugtakið jarðvarmi yfir þá orku sem nýtanleg er vegna jarðhitans og berst til yfirborðs á formi vatns eða gufu (Guðmundur Pálmason (2005)). Vatn hefur háan eðlisvarma; varmaorkuinnihald hvers lítra af vatni er 4186 J á hverja gráðu (við 20 °C) og aflíð því um 4 kW_t fyrir hvern sekúndulíttra (l/s) og einnar gráðu hitamun. Við nýtingu á 60 °C hitamun frá vatnsuppsprettu þarf t.d. um 2,7 m³/s rennsli til sömu aflframleiðslu og Kárahnjúkavirkjun (annars vegar varmafl og hins vegar rafafli). Til samanburðar er meðalrennsli Elliðaárinnar um 5 m³/s. Það er því ljóst að jarðvarminn er mikil orkuauðlind, enda frum-

varmanotkun Íslendinga nú um 25.000 GWh á hverju ári (nálgast 100.000 TJ árlega)¹. Af frumorkunni er nýtt um 8.000 GWh í til varma- og raforkuframleiðslu (notorka) sem er um 70% af allri raforkuframleiðslu Landsvirkjunar á einu ári (Kárahnjúkavirkjun meðtalin). Vinnsla jarðvarma er umhverfisvæn og orkan endurnýjanleg. Í allri alvarlegri heimsúmræðu um umhverfisvæna orkuöflun til framtíðar er jarðvarmi talinn vera stærsta og því mikilvægasta endurnýjanlega orkuuppspretta sem völ er á, sjá töflu 4.1. Líklegt er að orkurannsóknir heimsins næstu ára muni beinast að betri leiðum til að nýta varmaorku og yfirfæra þá orku í raforku.

| Tegund frumorku | EJ á ári |
|-----------------------|-------------|
| Fallvatnsraforka | 50 |
| Lífrænn brennsluvarmi | 276 |
| Sólarorka | 1575 |
| Vindorka | 640 |
| Jarðvarmi | 5000 |
| Samtals | 7541 |

Tafla 4.1: Tæknilega vinnanleg endurnýjanleg orka heimsins (sjá t.d. Fridleifsson (2003) og gögn frá World Energy Assessment). Tölur eru í ExaJoule á ári, þar sem Exa=10¹⁸. Til samanburðar er heildarorkunotkun heimsins í dag um 450 EJ á ári.

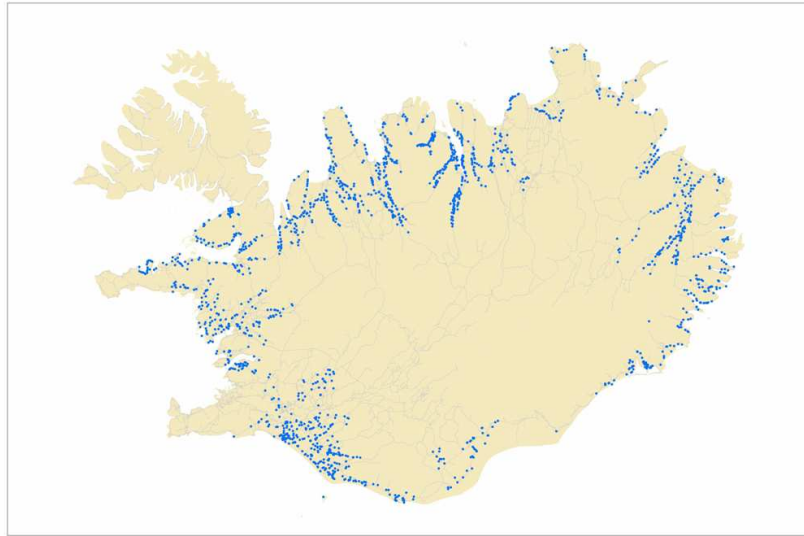
Jarðrasks gætir meðan á borun öflunarholna stendur en það er yfirleitt algerlega afturkræft. Hægt er fela virkjanir, dælustöðvar og lagnakerfi neðanjarðar ef þörf þykir og sjónmengandi gufu frá háhitaholum má þetta eftir notkun til raforkuframleiðslu. Mengun frá borholum á lág hitasvæðum er hverfandi og sú viðbót mengandi lofttegunda sem berast úr borholum á há hitasvæðum er vart mælanleg í samanburði við náttúrulega losun svæðanna. Þegar um litlar varmadæluframkvæmdir er að ræða gætir einhvers jarðrasks, sérstaklega þegar varmi er tekinn beint úr jarðvegi. Með vönduðum frágangi þurfa þó ekki að sjást nein merki lagnakerfis utandyra.

Hérlendis er víða gott aðgengi að volgrum (10-25 °C), laugum (25-70 °C) og hverum (>90 °C). Talið er að 100 - 150 staðir á landinu þar sem ekki er jarðvarmaveita geti með auðveldum hætti nýtt sér volgrur eða laugar á bilinu 10-40 °C (María J. Gunnarsdóttir (1987)). Þetta heita vatn er afar dýrmætt fyrir varmadælu og getur aukið hagkvæmni þeirra verulega. Á svæðum þar sem ekki er kostur á hitaveitu eru hús yfirleitt hituð með rafmagni og stundum olfu. Eigendur slíks húsnæðis hafa notið niðurgreiðslna á rafhitunarkostnaði og þá miðað við að þeir greiði ekki meira fyrir hitun húsnæðis en aðili í sambærilegu húsnæði á hitaveitusvæði. Orkan sem fæst frá hitaveituvatni er ódýr og því geta niðurgreiðslur verið verulegar upphæðir. Mynd 4.2 sýnir staðsetningu lögbýla með rafhitun, samkvæmt gögnum Orkustofnunar², sem hefur eftirlit með niðurgreiðslum til húshitunar. Myndin sýnir ekki nákvæmlega öll rafhituð lögbýli á landinu, því að einhver þeirra gætu verið rafhituð án þess að sótt hafi verið um niðurgreiðslustyrk til þeirra.

Ef borað er eftir varma úr jörðu er hérlendis nánast skilyrði að djúpt borholu nái vatnsborði grunnvatns til þess að varmaskipti verði nægilega góð við vinnslumiðil. Ef djúpt er niður að grunnvatni eða flæði þess lítið er möguleiki að afla varmans frá bergi í jörðu, sjá umræðu um þessi atriði í köflum 3.1 og 3.2. Þá er borað nægilega djúpt, stundum 100-200 m, og saltvatn eða annað varmaleiðandi efni látið liggja að plaströrum vinnslumiðilsins til að efla varmaskipti. Stundum er skáborað til að auka varmaskiptayfirborð holu. Kostnaður við borun í berg er mikill og því óvarlegt fyrir einstök heimili að ráðast í slíka framkvæmd.

¹Frumvarmanotkun miðast við ekkert tap við vinnslu jarðvarmans og nýtingu niður í 15 °C.

²Skjal fékkst hjá Benedikt Guðmundssyni, Orkustofnun



Mynd 4.2: Lögbýli á landinu sem hituð eru með rafhitun og njóta niðurgreiðslna. Ekki tókst fyrir þessa skýrslu að fá nákvæmar staðsetningar fyrir rafhituð lögbýli á Vestfjörðum.

Almennt má álykta að skynsamlegt er að nýta jarðvarma við notkun varmadælna hér á landi.

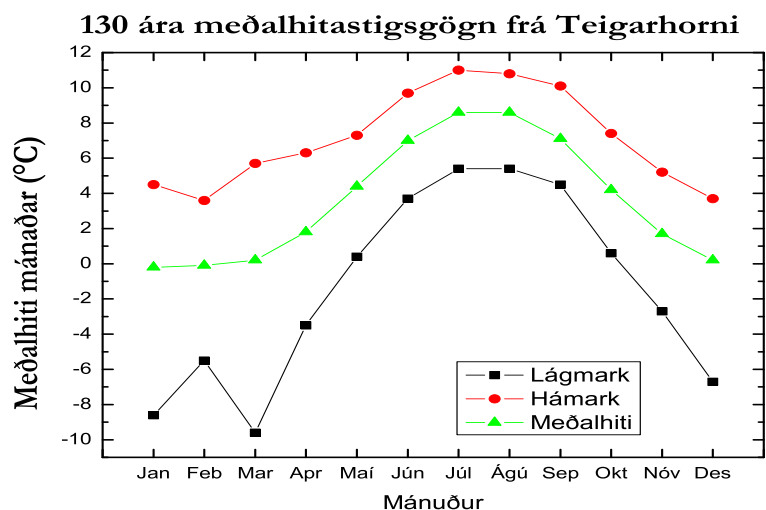
4.3 Útihiti

Á Íslandi telst hitamunur á vetrum og sumrum lítill. Hitastigsgögnum hefur verið safnað víða á landinu í yfir 100 ár og gefa þær niðurstöður gott yfirlit yfir hvers má vænta af útihitastigi á landinu öllu. Þrátt fyrir að árshitasveifla sé yfirleitt um 10 °C leiða langtímagögn í ljós að hitamunur getur orðið talsvert meiri, eins og mynd 4.3 frá Teigarhorni (austast á landinu) sýnir (127 ára meðaltal). Þessar miklu sveiflur eru samt sem áður afar ólíklegar. Því til staðfestingar er mynd 4.4 sem endurspeglar líkur mældu hitastiganna. Ljóst er að gera verður ráð fyrir miklum hitasveiflum þó að almennt megi ætla að hitafrávikin fari sjaldan yfir þrjár gráður frá meðaltalinu. Heppilegast er að tákna hitastigsgögnin með staðalfrávikum, eins og mynd 4.5 sýnir, en þá sjást ekki hinar miklu sveiflur sem þó verður að gera ráð fyrir.

Meðalhitastigskúrfan á mynd 4.3 er nokkuð dæmigerð fyrir allt landið, þ.e. mesti munur hæsta og lægsta gildis er um 10 °C (14 °C á Grímsstöðum þar sem munurinn telst mikill og við sjávarsíðuna sunnanlands um 8 °C). Til samanburðar er munur hæsta og lægsta mánaðarmeðalhita um 18 °C í Þrándheimi, lægsti hiti mældist þar -26,1 °C (árið 1899) og sá hæsti 35,0 °C (árið 1901)³.

Loft/loft varmadælur hafa minni orkunýtni en vatn/vatn og berg/vatn varmadælur (*COP* stuðull yfirleitt ekki hærrí en 2). Hérland þörf fyrir varmadælur miðast að lang mestu leyti við upphitun, þó svo að þörf á kælingu geti einnig orðið. Það er því almennt talið að markaður fyrir þessa gerð varmadælna verði ekki stór hérlandis. Á móti kemur að loft/loft varmadælur eru ódýrar og henta vel í litlu húsnæði þar sem orkuþörf er ekki mikil. Þess ber einnig að geta að hin nýstárlega Eco Cute varmadæla sem notar koltvísýring sem vinnslumiðil nýtir varma úr lofti og er loft/vatn varmadæla. Þessi gerð varmadælna gæti vel náð fótfestu

³<http://www.trondheim.com>



Mynd 4.3: Mánaðarlegur meðalhiti á Teigarhorni á tímabilinu 1873-1999. Mestu frávik meðalgildisins eru einnig sýnd.

hérlandis.

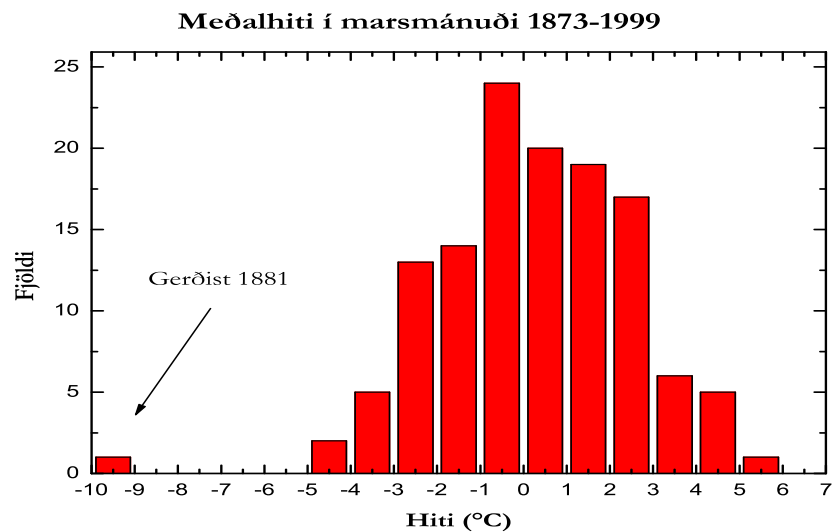
4.4 Orkuþörf og ársdreifing

Árleg meðalorkuþörf til húshitunar á Íslandi er um 35.000 kWh (Árni Ragnarsson og Þorkell Helgason (2003)) og dreifist yfir árið að mestu eftir útihita en einnig vindkælingu⁴. Mat á þeirri orkudreifingu má fá útfrá útihitagröfum, sjá t.d. mynd 4.5. Einnig má átta sig á orkudreifingunni yfir árið með því að skoða raunveruleg vinnslugögn varmaveitu og bera saman við útihitann, eins og gert er á mynd 4.6. Mjög gott samræmi er milli og útihita og þess varmaafis sem varmaveitan framleiðir hverju sinni og því er sýnt að orkunotkun til hitunar er í góðu samræmi við úthitann.

Raunverulegar tölur um orkunotkun við rafhitun eða við hitun frá hitaveitu endurspeglar nýtingu orkunnar til varmaframleiðslu en hafa verður í huga að þessi nýting er ekki endilega eins og best verður á kosið og ræðst m.a. af einangrun húsa sem og frágangi hitunarbúnaðar. Þegar skoðuð er orkuþörf þykir eðlilegt að miða við útihita og mismun hans á innihita (20-25 °C), því að það er sá hitamunur sem þarf að yfirstíga. Þessu til frekari staðfestingar sýnir grafið á mynd 4.6 mjög gott samræmi milli úthitans og raunverulegrar varmaorkunotkunar. Með þessi gögn má reikna mánaðarlega orkuþörf sem hlutfall heildar orkunotkunar og er það gert í töflu 4.2.

Yfirleitt er ekki fjárhagslega hagkvæmt að láta varmadælu anna 100% orkuþörf og á það sérstaklega við þar sem hitasveiflur eru miklar yfir árið, því þá verður of stór varmadæla fyrir valinu. Almenn regla er að velja skuli varmadælu sem gefur frá sér varmaorku sem annar 90% af orkuþörfinni yfir árið. Í Skandinavíu þar sem hitasveiflur eru meiri en hérlandis þýðir þetta að velja skal varmadælu sem gefur um 60% af hámarks aflþörf ársins (toppálags). Ágætt er að átta sig á hver hámarks- og heildarorkuþörfin er með því að

⁴Í útreikningum um hagkvæmni er miðað við 32.000 kWh sem er reynslutala við rafhitun hérlandis.



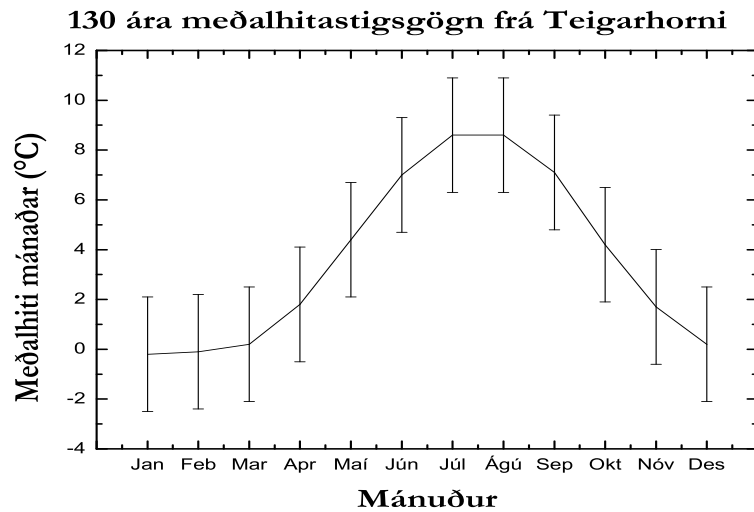
Mynd 4.4: Tíðni meðalhita á Teigarhorni í marsmánuði í 127 ár. Staðalfrávik meðalgildisins er 2,3 °C. Á myndinni sést að hitastigið árið 1881 er 5 staðalfrávikum frá meðalgildinu.

| Mánuður | Hlutfall | Mánuður | Hlutfall |
|---------|----------|-----------|----------|
| Janúar | 11,0% | Júlí | 5,1% |
| Febrúar | 11,0% | Ágúst | 5,1% |
| Mars | 10,3% | September | 6,5% |
| Apríl | 8,7% | Október | 8,6% |
| Maí | 7,0% | Nóvember | 10,1% |
| Júní | 5,9% | Desember | 10,7% |

Tafla 4.2: Mánaðarleg varmanotkun sem hlutfall af árlegri heildar orkunotkun til hitunar. Miðað er við raunveruleg gögn frá varmaveitu (Norðurorku hf.) yfir 13 ára tímabil.

skoða hversu marga daga á ári hitinn fer undir tiltekið hitastig. Á mynd 4.7 má sjá meðaltalshitatölur hvers sólarhrings á árinu 2003 á Akureyri, annars vegar á hefðbundinn hátt, mynd 4.7a og einnig á svokölluðum langæisferli sem sýnir á lárétta ásnum hversu marga daga hitinn er undir tilteknu hitagildi á lóðrétta ásnum (mynd 4.7b). Með hjálp grafsins má sjá að hitinn fór einungis 2 sólarhringa undir -10 °C og 20 daga undir -5 °C.

Vegna nokkuð jafns hitastigs yfir árið hérlendis er er stærð varmadælu (afl) hátt hlutfall af hámarksafl, því að þá er tryggt að varmadælan skilar örugglega 90% af orkuþörfinni, sem er viðmiðið sem nefnt var hér ofar. Þetta má sjá á mynd 4.9, þar sem 90% orkuþörf er fullnægt ef afl varmadælu er 75% af hámarksafþörf ársins. Reyndar má mæla með að þetta hlutfall sé enn hærra við hérlendar aðstæður (lítil árshitasveifla) og valið þannig að ekki þurfi á aukakyndingu að halda meira en þrjú mánuði á ári, eins og teiknað er á myndina. Hlutfall af toppálagi verður þá um 98% og viðbótarkynding yfir köldustu mánuðina þarf þá ekki að vera öflug. Viðbótarkynding er t.d. rafhitun, og eru varmadælar yfirleitt framleiddar með búnaði sem gerir ráð fyrir þeirri gerð af aukakyndingu. Vegna þess hve álagið er jafnt yfir árið þá er það hugsanlega álitamál við hvaða hlutfall toppálagsins skal miða. Ekki er skynsamlegt að hafa varmadælu of stóra vegna kostnaðar



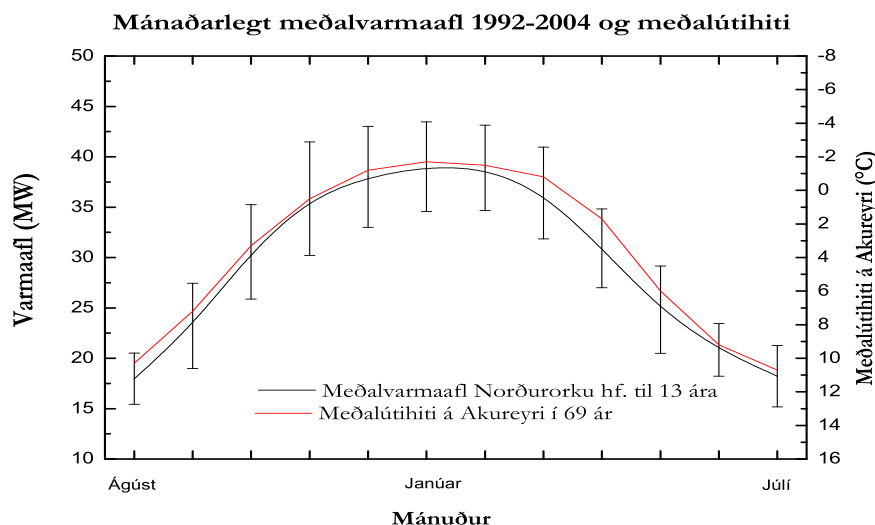
Mynd 4.5: Meðalhiti hvers mánaðar á Teigarhorni með staðalfrávik, sem í þessu tilviki er 2,3 °C.

og því eru varmadælar yfirleitt seldar með viðbótarkyndibúnaði og vissulega geta hitafrávikin verið vel umfram meðaltal eins og áður var bent á. Þegar ákvarða skal stærð varmadælu fyrir tiltekið húsnæði þarf fjárhagsleg hagkvæmni að ráða ferðinni og því verður að bera saman þann kostnað sem hlýst af beinni rafhitun með lítilli varmadælu annars vegar og stórra varmadælu með litlum sem engum rafhitunarkostnaði hins vegar. Þess ber þó að geta að varmadælar af þeim stærðum sem helst koma til greina til húshitunar eru á mjög breytilegu verðlagi og óvarlegt er að áætla stofnkostnað á hvert kW eins og þó er gert á mynd 4.8, samkvæmt sænskum verðum á berg/vatn varmadælum sem gefa 20-35.000 kWh árlega varmaorku (Statens Energimyndighet (2004)). Mestu máli skiptir hver árlegur sparnaður í raforkukaupum verður, en sú upphæð ákvarðar greiðslugetu framkvæmdarinnar (arðsemi eða núvirði, sjá umræðu í kafla 8). Við skoðum nú dæmi um þetta.

Þegar gerður er samanburður milli tveggja varmadælna af mismunandi stærð og þá yfirleitt á mismunandi verðlagi er sennilega heppilegast að skoða breytingar á arðsemistímanum, þ.e. þeim tíma sem tekur varmadæluna að borga sig upp, sjá jöfnu 8.2 sem lýst er í kafla 8. Hugsum okkur að valið stæði milli 4 kW varmadælu annars vegar og 8 kW varmadælu hinsvegar og reiknum með að 8 kW fullnýtist á ársgrundvelli til húshitunar, og að minni varmadælan anni helmingi upphitunarþarfar (gæti verið um 35.000 kWh varmaþörf á ári). Látum einnig hið lélega samband verðs og varmaafis sem sýnt er á mynd 4.8 gilda og áætluð því að stærri varmadælan sé um 100.000 kr dýrari (með öllum sköttum og álagningu). Látum T_1 og T_2 vera tvo arðsemistíma þar sem $T_2 > T_1$. Samband þeirra verður:

$$T_1 \ln\left(\left(1 - \frac{I_2}{B_2} r\right)^{-1}\right) = T_2 \ln\left(\left(1 - \frac{I_1}{B_1} r\right)^{-1}\right)$$

Ef við setjum inn líklegan stofnkostnað þessara tveggja varmadælna með öllum tengdum gjöldum (sjá umræðu í kafla 8), verður $I_1 = 800.000$ kr og $I_2 = 700.000$ kr. Sparnaður, miðað við $COP = 3$ í báðum tilvikum, er helmingi minni í seinna tilvikinu, eða $B_2 = B_1/2$. Við miðum við 35.000 kWh og raforkuverð



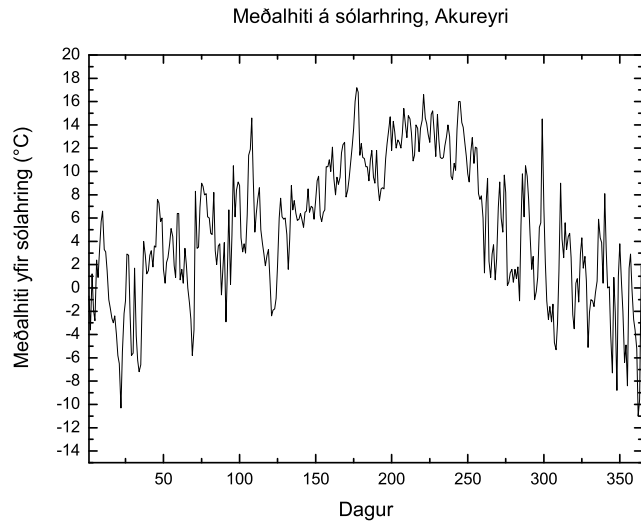
Mynd 4.6: Meðalvarmaafli hvers mánaðar á 13 ára tímabili (Norðurorka hf.) borið saman við meðalhita hvers mánaðar til 69 ára (Akureyri). Gögn af heimasíðu Veðurstofu Íslands og frá vinnslueftirliti Norðurorku hf. (Steinunn Hauksdóttir o.fl. (2004)).

2,5 kr/kWh, en raforkuverðið gæti orðið svo lágt með niðurgreiðslum og jafnvel lægra á árstíðarháðum töxtum veitna. Innsetning gefur $T_1 = 24$ ár en T_2 reiknast sem tvíntala og fjárfestingin verður einfaldlega ekki arðbær. Sparnaðurinn er ekki nægilegur til að greiða niður fjárfestinguna. Ef raforkuverðið er eitthvað hærra, t.d. 3,3 kr/kWh, eins og það er hjá RARIK í þéttbýli, sjá töflu 8.2, þá verður hagkvæmni mun meiri. Arðsemistími dýrari varmadælnunar verður $T_1 = 15$ ár og þeirrar ódýrari $T_2 = 49$ ár. Hér má tvímælalaust mæla með að varmadælan anni allri varmaorkuþörfinni og stærri dælan verði fyrir valinu. Þessi niðurstaða er þó háð því að um jafna orkunotkun sé að ræða allt árið, en hún er árstíðarbundin eins og hér hefur verið rætt. Ef við leiðréttum fyrir þessu með hliðsjón af t.d. mynd 4.7 og gefum okkur að rafhitunarbúnaður varmadælnunar fari í gang þegar hitastig er undir -5 °C, þá má áætla að rafhitunin þurfi að afkasta um 8% húshitunarvarma árlega (hlutfall þess flatarmáls sem ferillinn á mynd 4.7b afmarkar á úthitabilinu $[-5, -10]$ °C af heildarflatarmáli ferilsins, þá miðað við upphitun í 23 °C að jafnaði). Ef við veljum nú aðeins minni dælu, þá kannski 50.000 þúsund krónum ódýrari og reiknum arðsemistíma að nýju miðað við 92% heildarvarmaöflun, fæst aftur $T_1 = 15$ ár. Þessi umræða öll bendir til að hérlendis sé eðlilegast að miða við að varmadælan sjái um alla þá varmaöflun sem húsnæðið þarfnast.

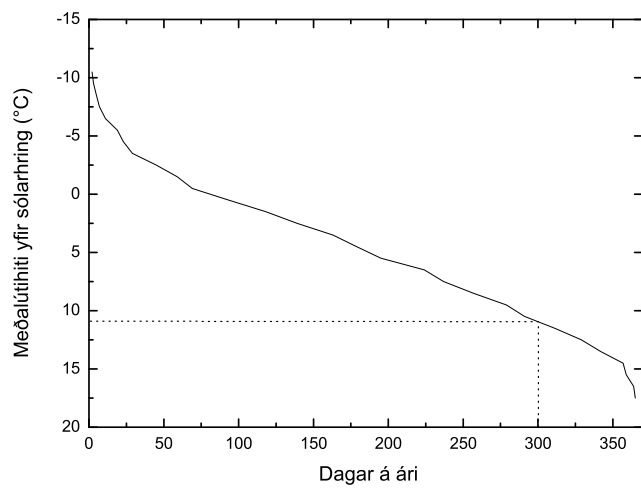
Tekið skal fram að þó svo að miða eigi hérlendis við um 90%-100% hámarksvarmans þegar varmadæla er valin þýðir það ekki nauðsynlega stærri varmadælu en notuð er t.d. í Svíþjóð í hús með sömu ársorkunotkun. Vetrarhitinn er oft meiri en í nágrannalöndunum og við miðum yfirleitt við að hafa aðgang að varmauppsprettu sem er heitari en 0 °C, eins og viðmiðið er stundum erlendis. Nýtni varmadælnanna við hærri varmauppsprettu er einnig meiri og sýnt hefur verið fram á nálega tvöföldun ávinningsstuðuls við hækkan varmauppsprettu frá 8,6 °C í 39,5 °C (María J. Gunnarsdóttir (1987b)).

Stærð varmadælu er gefin upp í kW og þá er átt við varmaafli hennar, venjulega táknað kW_t . Vegna þessa er oft gott að gera sér grein fyrir aflnotkun þess húsnæðis sem varmadælan á að hita. Hámarks aflnotkun á hvern rúmmetra húsnæðis hérlendis er um 18 W/m^3 og reynsla sýnir að meðalafli er um 55% af hámarksafli

(Árni Ragnarsson (2004)). Þegar talað er um meðalhúsnæði og upphitunarþörf þess er venjulega átt við um 500 m³ húsnæði (gólflötur um 200 m²) og aflþörf slíks húsnæðis því mest 9 kW_t. Ef einangrun er ekki góð eða hitasveiflur meiri en í meðallagi þarf varmadælan að vera stærri.

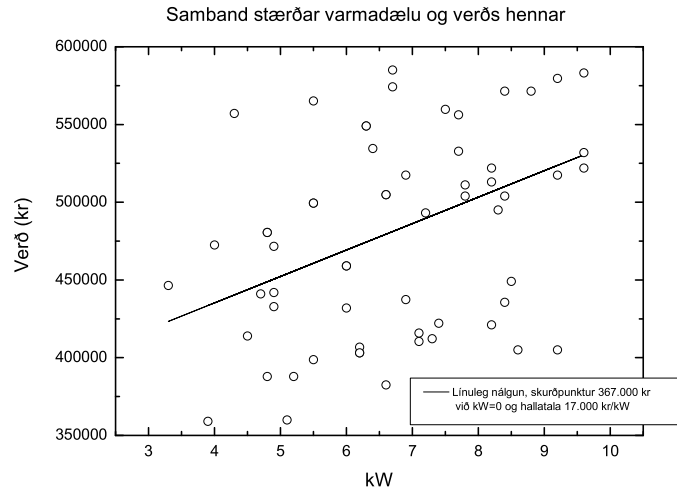


(a)

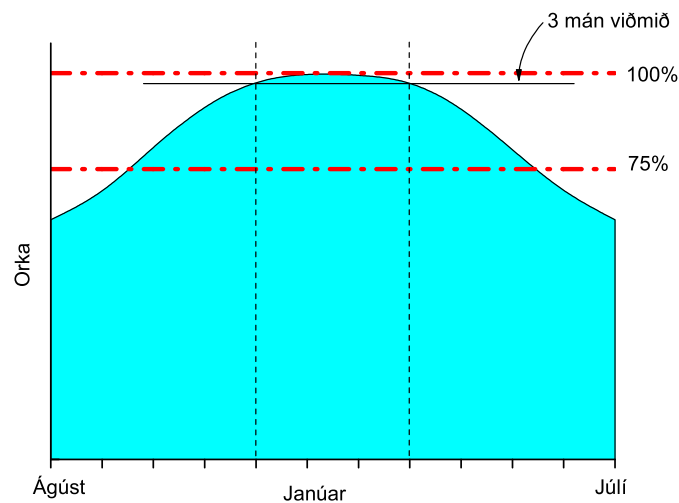


(b)

Mynd 4.7: a) Meðalhiti á sólarhring á Akureyri árið 2003. Ársmeðalhiti er 5,1 °C. b) Sömu gildi á grafi sem sýnir hversu marga daga hitinn er undir tilteknu hitagildi sem valið er á lóðréttu ásnum. Beinu strikin tákna dæmi um aflestur: meðalhiti á sólarhring var 300 daga undir 11 °C. Gögn eru frá Veðurstofu Íslands.



Mynd 4.8: Ekki er um gott samband mill verðs varmadælna og stærð þeirra, mæld í kW (varmaaf). Ferillinn á myndinni er einungis gróf viðmiðun en ljóst má vera að stærð varmadælu er ekki sá þáttur sem mest hefur áhrif á ákvarðanatöku. Verðið er á sænskum berg/vatn varmadælum með rafhitunartanki, án hérlendra tolla og álagningu.



Mynd 4.9: Flatarmál undir 75% línunni er 90% litaða flatarmálsins undir ferlinum.

Kaflí 5

Varmadælar á Íslandi

Fáar varmadælar hafa verið settar upp hér á landi en fylgst hefur verið með notkun og nýtni flestra þeirra, enda oftast um tilraunaverkefni að ræða og áhugi mikill að fylgjast með reynslunni af rekstri þeirra. Orkustofnun framkvæmdi fyrir allnokkrum árum hagkvæmnisúttektir á uppsetningu varmadælna á ýmsum stöðum á landinu (sjá t.d. María J. Gunnarsdóttir (1980), María J. Gunnarsdóttir (1984b), María J. Gunnarsdóttir (1985), Gísli Júlíusson o.fl. (1982), María J. Gunnarsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir (1983) og annað útgefið efni Maríu J. Gunnarsdóttur sem vitnað er til hér í þessari skýrslu). Af nýrri athugunum má nefna könnun á varmadæluframkvæmd í Grímsey, þar sem nú er olíukynding (Ásgeir Ólafsson og Sigurður Óli Guðmundsson (2001)). Í töflu 5.1 er yfirlit yfir þær hólendar varmadælar sem upplýsingar fengust um fyrir þessa skýrslu. Listinn er sennilega ekki tæmandi, enda ekkert opinbert eftirlit með varmadæluveign landsmanna. Vinnslumiðill er skráður þegar hann er þekktur, en oft ekki með mikilli nákvæmni, t.d. er oft sagt bara freon, sem þá er einhver ótiltekinn vetnisklórfúorkolefnis vinnslumiðill (CFC). Fyrsta varmadælan hér á landi var að öllum líkindum sett upp í Búrfellsvirkjun árið 1969¹. Nær tíu árum síðar er varmadæla sett upp við Bændaskólann á Hvanneyri, ætluð til þurrkunar á heyi (María J. Gunnarsdóttir (1984c)).

5.1 Búrfellsvirkjun

Rafall í Búrfellsvirkjun var hitaður með varmadælu árið 1969. Stöðvarstjóri Búrfellsvirkjunar var á þeim tíma verkfræðingurinn Gísli Júlíusson sem hafði aðkomu að seinni varmadæluverkefnum, t.d. á Þorgautsstöðum og Akureyri (Gísli Júlíusson (2004)).

5.2 Bændaskólinn á Hvanneyri

Loft/loft varmadæla var sett upp við Bændaskólann á Hvanneyri og prófuð sumrin 1977 og 1978 til súgþurrkunar á heyi. Ekki þarf mikla lofthitaaukningu til þess að bæta heypurrkun verulega og því var ákveðið að prófa að nota varmadælu til þeirrar upphitunar og blásturs. Í ljós kom að blástur í gegnum hitaveituofn reyndist hagkvæmari; þurrkunin krafðist 5-10 m³/s loftflæðis sem var heldur mikið fyrir varmadæluna (Gísli Sverrisson (2004)). Niðurstaða tilraunar Bændaskólans var að óhagkvæmt væri að fara í fram-

¹Óstaðfest er að fyrsta varmadælan hafi verið þurrkari í vararafstöð í Elliðaárdalnum, uppsett 1948.

kvæmdina. Forsendur niðurstöðunnar eru að heitt vatn er til staðar á Hvanneyri, rafmagnsverðið of hátt, sáralítil þurrheysverkun er stunduð og verð á heyi ekki nægilega hátt (Gísli Sverrisson (1979)). Á Rannsóknarstofnun landbúnaðarins hafa verið gerðar athuganir á notagildi varmadælna til að ná varmajafnvægi og aukinni orkunýtingu í gripahúsum. Þar var tekið tillit til loftræstisjónarmiða og einangrunar (Grétar Einarsson (1983)) en slík sjónarmið eiga einnig við í ríkari mæli í mannabústöðum, skólum, vinnustöðum og stofnunum. Einnig hefur verið skrifuð greinargerð um hagkvæmni varmadælu sem nýtir varma úr gripahúsi til upphitunar íbúðarhúsnæðis (María J. Gunnarsdóttir (1987a)). Húsdýr (gripir) gefa frá sér varma og upplýsingum um varmagjöf gripa eftir tegundum hefur verið safnað (sjá t.d. Magnús Sigsteinnsson (1999)). Samkvæmt þeim má áætla stærð varmadælu miðað við fjölda og tegund gripa. Sem dæmi má nefna að 400 kg kýr telst gefa frá sér um 1 kW varmaafli.

5.3 Þorgautsstaðir

Á Þorgautsstöðum í Borgarfirði er kúabú og gróðrarstöð. Bóndi þar var Ketill Jónmundsson, fæddur 1927. Orkustofnun og RARIK stóðu að kaupum varmadælu til Þorgautsstaða árið 1981 fyrir styrkfé frá Orkusparnaðarnefnd iðnaðarráðuneytis. Fylgst var með notkun, nýtni og hagkvæmni varmadællunnar (María J. Gunnarsdóttir (1984a)). Ketill ber varmadællunni góða sögu og hitaði hún 150 m² húsnæði með miklum sóma. Þó voru vandkvæði fyrstu árin þegar dælan gaf sig reglulega, sennilega vegna óstöðugs rafmagns. Þetta lagaðist að mestu eftir að tenging fékkst við þrjá rafmagnsfasa og meiri stöðugleika. Notkun varmadællunnar var hætt eftir um 10 ár þegar hitaveita fékkst í Hvítársíðu, eða árið 1991 (Ketill Jónmundsson (2004)). Þjappa varmadællunnar bilaði og vandræði voru með þá þjöppu sem fékkst í stað þeirrar upprunalegu. Upphaflega var reiknað með að fjárhagsleg hagkvæmni næðist á rúmum 5 árum en viðhaldskostnaðurinn varð til þess að sú tala breyttist í 15 ár. 17 °C heit volgra er við Þorgautsstaði og því var kostnaður við framkvæmdina fólgin í dællunni sjálfri og uppsetningu en sáralítil kostnaður við að ná hita úr jarðvegi (3 m djúpur brunnur grafinn á landareigninni).

5.4 Bakki, Bjarnarfirði

Bakki í Bjarnarfirði er um 1000 m³ húsnæði, hitað með samskonar varmadælu og á Þorgautsstöðum, enda upprunalega ætluð þangað en týndist um tíma í flutningum og var talin af. Annað eintak varmadællunnar fékkst þá til Þorgautsstaða en þegar upprunalega dælan komst í leitirnar var hún seld til Bakka. Á Bakka hefur dælan verið starfrækt síðan 1983 og einu sinni hefur verið skipt um þjöppu, árið 1996. Við þjöppuskiptin var einnig skipt um vinnslumiðil og settur á MP-39 í stað R-12. Fyrstu árin var varmadælan tengd 32 °C heitri volgru með 0,5 l/s rennsli en síðar var dælan færð ofar í landslaginu að 18 °C heitri uppsprettu með meira rennsli. Sama virkni dællunnar mælist hjá eigendum (Arnín Óladóttir (2004)). Líkt og á Þorgautsstöðum er kostnaður við framkvæmdina að mestu leyti bundinn við dæluna sjálfa og vegna þess að viðhald er með eðlilegum hætti þá er um mikla hagkvæmni að ræða.

5.5 Mývatnssveit

Pétur Valdimarsson, tækniþræðingur á Akureyri seldi á nýnda áratugi síðustu aldar þrjár varmadælu til Mývatnssveitar. Þær voru framleiddar í Svíþjóð (AGA-Thermia) fyrir kanadískan markað, einn fasa og

60 Hz, markaðsettar undir nafninu Cantherm. Sú fyrsta var seld á Hofsstaði, önnur á Vindbelg en var þaðan flutt á Stöng og sú þriðja til Grænavatns. Varmadælan á Vindbelg átti að starfa við um 5 °C heita volgru en þegar á reyndi var vatnið við frostmark. Talið var að umbrotin í Kröflu (1984) hefðu getað valdið jarðhræringum sem virkuðu til lækkunar. Nú eru allar þrjár varmadælnar komnar til Hofsstaða og tvær þeirra nýttar í varahluti.

5.5.1 Hofsstaðir, Mývatnssveit

Á Hofsstöðum gekk upprunalega varmadælan í tíu ár, eða frá 1983 til 1993 þegar henni var skipt út fyrir varmadæluna frá Grænavatni og gengur sú síðarnefnda ennþá. Varmauppspretta fyrir þessar dælur hefur allan tímann verið 13 °C heit volgra á landareigninni. Í upphafi var dælan tengd miðstöðvarkerfi fyrir um 400 m³ íbúðarhús og um vorið sama ár einnig tengd hitablásara fyrir 400 - 500 m³ vélageymslu sem haldið var að jafnaði 15 °C heitri. Reynsla af þessari varmadælu er að mati eigandans (Ásmundur Jónsson (2004)) afar góð og einungis smávægileg vandræði voru í upphafi með ofhitnun þetta í rafbúnaði tengdum þjöppu en það var leyst með því að byggja yfir rafbúnaðinn utandyra þar sem kalt loft gat leikið um hann. Vinnslumiðill lekur smávegis og þarf að bæta við hann reglulega og nýlega var skipt um aðalspólurofa.

Ásmundur hefur fylgst ítarlega með notkun dælnanna og samkvæmt hans gögnum var raforkunotkun dælnanna 57 kWh á dag að meðaltali á árunum 1983 - 2001. Hægur stígandi er í orkuþörf dælnanna með hverju árinu sem líður og þegar Ásmundur skipti um dælu eftir tíu ár var notkunin komin í 67 kWh daglega, en ný dæla tekur um 50 kWh daglega. Meðalnotkunin samsvarar því um 20.000 kWh árlega. Ekki er vitað hver raunveruleg orkunotkun Hofsstaða væri ef þar væri einungis notast við rafhitun, en slíkt má áætla útfrá meðalgögnum, t.d. orkunotkun á hvern rúmmetra húsnaðis sem talin er vera um 70 kWh árlega, samkvæmt forsendum Orkusparnefndar². Orkuþörf í vélageymslu Hofsstaða er sennilega helmingi lægri (helmingi lægri hitamunur sem þarf að yfirstíga, ef miðað er við 5 °C meðalhita yfir árið). Heildarorkunotkun með rafhitun ætti þá að vera um 45.000 kWh. Þetta þýðir að ársvarmastuðull dælnnar er 2,3. Framleiðandi gefur upp aflstuðulinn sem fall af hitastigi varmauppsprettu og hversu mikið skal hita vatnið. Á Hofsstöðum er varmauppsprettan 13 °C eins og áður sagði og hitað í 58 °C. Framleiðandi gefur þá aflstuðul $COP = 3,1 \pm 0,1$ miðað við ákveðnar forsendur um varmastreymi að varmadælu og frá henni. Ársvarmastuðulgildin í töflu 5.1 yfir Cantherm varmadælnar eru fengnar úr skýrslum Orkustofnunar frá þeim tíma sem þær voru settar upp.

5.5.2 Stöng, Mývatnssveit

Ásmundur Kristjánsson keypti árið 1987 Thermia/Cantherm varmadæluna frá Vindbelg til upphitunar íbúðarhúsnaðis jarðarinnar Stöng í Mývatnssveit, á heiðinni vestan Mývatns. Jarðhitadeild Orkustofnunar hafði áður framkvæmt athugun á kostum varmadælu til bæjarins (María J. Gunnarsdóttir (1982)). Hóla var boruð á svæðinu, 124 m djúp, árið 1975 í leit að heitu vatni en einungis fékkst 25 °C heitt vatn og rafveituspennan til bæjarins var óstöðug enda mikið álag á kerfinu sem m.a. knúði súgþurrkunarbúnað. Óstöðugleikinn og sífellt aukið hitunarálag vegna stækkunar íbúðarhúsnaðis sem nú er gistiheimili varð til þess að endurnýja þurfti þjöppuna tvisvar sinnum. Varmaafli dælnnar var 17 kW_t og notkunin 5 kW_e (Ásmundur Kristjánsson (2004)). Nú er hitaveita á Stöng og varmadælan komin til Hofsstaða sem varahlutur eins og áður sagði.

²Samstarfsvettvangur nokkurra helstu fyrirtækja, stofnana og samtaka í orkuíðnaðinum hér á landi auk Hagstofu Íslands, Fasteignamatsskrifstofnunar og Fjármálaráðuneytisins.

5.5.3 Grænavatn, Mývatnssveit

Þriðja dælan í Mývatnssveit fékkst til Grænavatns og var notuð þar við 5-6 °C volgru. Með varmaskiptum var ofnavatn í lokuðu kerfi hitað í allt að 60 °C og jafnvel meira í neysluvatni (Sveinn Helgason (2004)). Hætt var að nota dæluna þegar hitaveita fékkst 1993 og var hún þá færð til Hofstaða, sjá kafla 5.5.1.

5.6 Tálknafjörður

Varmadæla hefur hitað upp grunnskóla á Tálknafirði síðan 1987, en hagkvæmnisúttekt hafði áður leitt í ljós að slík hitun væri hagkvæm (María J. Gunnarsdóttir (1986)). Aðgengi er að um 45 °C heitu vatni utar úr firðinum í 3 km fjarlægð sem fellur við flutning um 5 - 7 °C. Afgangsvatn er svo notað til snjóbræðslu í kringum sundlaug (Jón Þorgilsson (2003)).

5.7 Akureyri

Varmadæla Norðurorku hf. á Akureyri er samsett úr tveimur Graham ammóníak varmadælum (Graham er nú hluti samsteypunnar York International). Hvor um sig geta varmadælnar afkastað 2 MW_t og hámarksafl stæðunnar því 4 MW_t. Yfirleitt hafa varmadælnar ekki verið láttnar afkasta meiru en um 1500 MW_t hvor um sig, þá helst ef önnur dælan þarfnast viðhalds yfir vetrarmánuð. Varmadælnar eru raðtengdar og samkvæmt gögnum um hana frá árinu 2003 hitar fyrri varmadælueningin hluta af 28 °C heitu bakrásarvatni hitaveitunnar um 12-14 °C og sú seinni bætir við um 7-9 °C (seinni varmadælan var keyrð með lægra affi það árið og var síðustu mánuðina tekin til viðgerðar vegna vatnsmengunar í ammóníakinu). Heildarhitun verður að öllu jöfnu um 20 °C og vatnið frá varmadælunum nær rétt rúmum 50 °C þegar best lætur (Árni Árnason (2004)).

Varminn til hitunar er fenginn frá öðrum hluta bakrásarvatnsins sem kælist niður í um 10 °C en er nýtt áfram til niðurdælingar í jarðhitakerfið á Laugarlandi þar sem það er endurhitað í 95 °C heitu jarðhitakerfinu. Ársvarmastuðull varmadælnanna er á bilinu 4-5 og fékks ótryggt rafmagn til reksturs hennar á 0,95 kr/kWh samkvæmt gjaldskrá Landsvirkjunar 1. ágúst 2003 (án vsk.).

Norðurorka hf. hefur reynt af notkun varmadælna í veitukerfi sínu frá 1984 þegar Sabroe varmadælur með freon vinnslumiðli fengust til Hitaveitu Akureyrar (Hitaveita Akureyrar sameinaðist Vatnsveitu Akureyrar 1. janúar 1993 og með stofnun Norðurorku hf. 1. ágúst 2000 bætist Rafveita Akureyrar í hópinn). Í heild reyndust eldri dælnar ágætlega en voru þó keyrðar nærri þolmörkum sínum. Þéttingar þoldu illa þann þrýsting vinnslumiðilsins sem þurfti til að viðhalda um 70 °C heitu vatni.

Nú þegar heitt vatn hefur fundist í miklu magni skammt frá Hjalteyri er þörfin á varmadælunum ekki eins mikil og áður en þær eru þó eitthvað nýttar áfram í samvinnuðu orkukerfi Norðurorku hf.

5.8 Grýtubakkahreppur

Grýtubakkahreppur er tæplega 400 manna samfélag nyrst við austanverðan Eyjafjörð og þar er kaupúnið Grenivík með um 300 manna búsetu. Lengi hefur verið áhugi á hitaveitu til svæðisins og nokkrar athuganir farið fram á möguleikum þess (Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson (1987), Magnús Ólafsson (1988), Guðrún Sverrisdóttir (1989), Kristján Sæmundsson og Ólafur G. Flóvenz (1997), Grímur Björnsson (1997), Kristján Sæmundsson (1998), Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. og Rafmagnsveitur rík-

isins (1998), Kristján Sæmundsson (2001)). Nægilega heitt vatn hefur enn ekki fundist en hins vegar volgt vatn í talsverðu magni sem myndar kjörskilyrði fyrir varmadæluframkvæmd. Verkfræðistofa Norðurlands ehf. framkvæmdi fyrir Norðurorku hf. og Grýtubakkahrepp hagkvæmnisathugun á uppsetningu varmadælu fyrir Grýtubakkahrepp (að meðtaldri Grenivík). Hóla við Gljúfurá, rúma 4 km frá Grenivík, gefur 27 °C heitt vatn og 25 l/s. Þrír meginvalkostir varmadæluuppsetningar við Grenivík voru athugaðir og er stofn- kostnaður þeirra á bilinu 107-133 Mkr (Verkfræðistofa Norðurlands ehf (2004)). Þessi kostnaður þótti of hár og skoðaður var sá möguleiki að leggja heitt vatn yfir Eyjafjörð vestan frá Hjalteyri, eða um 7 km leið (um 4 km eru yfir fjörðinn þar sem styst er í nágrenni Grenivíkur og Hjalteyrar). Fyrstu niðurstöður frá því verkefni bentu til hás kostnaðar, eða um 50 Mkr fyrir lagnaefnið sjálft áður en innflutningsgjöld bætast við auk vinnu við lagningu (Magnús E. Finnsson (2004)). Nýlega var undirrituð viljayfirlýsing milli Grýtu- bakkahrepps, Þingeyjarsveitar og Norðurorku hf. um hitaveitu til Grenivíkur frá Reykjum í Fnjóskadal, um 52 km leið, og tengja þannig einnig sveitina þar á milli auk stækkandi sumarhúsa- og orlofsbyggð. Kostnaður er metinn vera 570 milljónir (Margrét Þóra Þórsdóttir (2005)).

5.8.1 Sundlaug við Grenivík

Varmadæla til upphitunar sundlaugar við Grenivík hefur verið í notkun frá kaupum hennar 1990 og var hún vígð 25. ágúst það ár af Jóhanni Stefánssyni, sama manni og vígði gömlu sundlauginu í Glúfrárgili skammt frá Grenivík þann merka dag í Íslandssögunni 17. júní 1944 (Árbók Þingeyinga (1990)). Þessi laug er eingöngu notuð yfir sumartímann. Þrátt fyrir að notkun varmadælna til hitunar sundlaugarvatns sé algeng erlendis þá er þetta eina laugin hérlendis sem hituð er með þessum hætti. Sundlaugin stendur við sunnanverðan jaðar bæjarins í 1,5 km fjarlægð frá 17-19 °C heitri holu á austanverðum Þórðarhöfða við Bárðartjörn, 532 m djúp. Hitafall í lögninni er 0,2 °C og 5,2 l/s vatnsstreymi nægir til þess að hita laugarvatnið með aðstoð varmadælnnar í 30 °C að jafnaði. Dælan er af Sabroe gerð og vinnslumiðillinn ammóníak. Útreiknaður ávinningsstuðull dælnnar er afar hár ($COP = 8$) og skýrist af lágum hitamismun sem dælan þarf að anna, eða um 16 °C ef reiknað er með 16 °C varmauppsprettu (hitafall í varmadælnni á þjöppuhliðinni er um 2-3 °C, þ.e. fellur úr um 18 °C í um 15 °C). Reyndar er hitafall varmauppsprettunar hærra nú eftir að slökkt var á vatnsdælu við borholuna, þá minnkaði rennslið að varmadælnni í 2 l/s og getur kólnað undir miklu álagi í 4 °C. Við fyrstu not dælnnar var hún keyrð á fullum afköstum til að anna miklum vatnsumskiptum í lauginni. Þetta fyrirkomulag reyndi mikið á dæluna. Athuganir leiddu í ljós að nægjanlegt er að endurnýja þriðjung vatnsins á mánuði og að um 100 lítrar á sólarhring dugi til þess. Einnig er affallsvatnið endurnýtt í hringrásinni. Nú er dælan keyrð 11 tíma á sólarhring og nýtur eðlilegs viðhalds, eða á 30 þúsund klst. fresti (þriggja og hálfis árs fresti m.v. stanslausa keyrslu (Friðbjörn Möller (2004))).

5.8.2 Frystihús, Grenivík

Afar hagkvæm nýting varmadælna er í frystihúsum. Þá er varmi færður frá köldu svæði (kæliklefum og kæliými) til svæða sem þarfnast upphitunar (skrifstofur, athafnasvæði, geymslur o.fl.) innan sömu bygg- ingar. Þá nýtist bæði kæling og hitun í sama húsnæði. Notkun varmadæla með þessum hætti í frystihúsum er til staðar á nokkrum stöðum á landinu, m.a. hjá Skinney-Þinganesi í Hornafirði, Hraðfrystihúsinu-Gunnvör hf. í Hnífsdal og Brimi hf. á Akureyri. Einnig hafa varmadælur verið notaðar til fiskþurrkunar, t.d. hausþurrkun á Siglufirði (nú þökkunarhús Þormóðs ramma-Sæbergs) og fiskeldis, t.d. lax- og bleikjueldi á Nauteyri. Hér verður fyrirkomulagi varmadælu í frystihúsi Grenivíkur lýst.

Varmadælar til kælingar og hitunar hafa verið í notkun í frystihúsi Grenivíkur frá því um 1981. Útgerðarfélag Akureyringa rekur nú frystihúsið en það var í eigu Kaldbaks þegar varmadælnar voru settar upp. Kælivarmadælan (kælivélin) notar ammóníak sem vinnslumiðil og er eimsvalinn kældur með olíu. Vinnusvæði frystihússins eru hituð með lofthitun með varmaskiptum við heitu olíuna og dugar sú hitun að mestu leyti en varmadæla af Kværner gerð er nýtt þegar upphitunarþörfin vex. Olían, sem þá er á bilinu 4-10 °C er leidd inn á þjöppuhlið varmadælnnar sem notar freon vinnslumiðil. Varminn er svo leiddur áfram til að styrkja lofthitunarkerfið og séð til þess að yfir daginn sé um 20 °C heitt inni en um nætur er ekki gerð krafa um meira en 16 °C. Viðhald dælnanna er lítið. Skipta þurfti um rör sem á tímabili láku freon miðlinum en endanlegri frágangur hefur nú fengist. Neysluvatn er hitað með raforku á hefðbundinn hátt (Arnar Daníelsson (2004)).

5.9 Þrándarstaðir, Austur-Hérað

Á Þrándarstöðum er nýleg varmadæluframkvæmd sem bóndinn og húsasmiðurinn Stefán Hlíðar Jóhannsson hefur staðið fyrir. Árið 2003 var boruð 300 m djúp hola í um 50 m fjarlægð frá 150 m² íbúðarhúsi og 10 kW_t bergvarmadælu af Qvantum Q12Rs gerð komið fyrir í desember það ár, sænsk framleiðsla. Varmadælan hitar vatn í um 50 °C en hægt er að nýta 3 kW af afli varmadælnnar til beinnar rafhitunar ef þarf að skerpa hitann frekar. Vatnsrennsli er inn í borholuna við botn hennar (í 280 m) og er það 21 °C. Varmaskiptavökvi (frostlögur) er lagður í um 700 m lokaðri hringrás³ ofan í borholuna og nær hann að verða 12,5 °C þegar varmadælan er ekki í gangi. Við gangsetningu getur hitinn í varmaskiptavökvanum farið niður í 9 °C þegar kalt er en vinnur yfirleitt við 10 °C. Svokallaðir tromluofnar eða lághitaofnar sjá til þess að nýta varma vel frá ofnum innanhúss (ofnar frá ítalska framleiðandanum IRSAP). Eigandi varmadælnnar ber henni vel söguna og að hans sögn hefur rafmagnsreikningur heimilisins helmingast síðan hún var tekin í notkun. Smávægilegt suð berst frá dælunni og er það örlítið hærra en frá hefðbundinni frystikistu. Varmadælan og tengdur búnaður kostaði um 700 þúsund krónur en með borun og hönnun sem fékkst í þessu tilviki með 50% afslætti var heildarverð 3,2 milljónir króna. Verkefnið var stutt af Orkusjóði (Friðfinnur K. Daníelsson (2004) og Stefán Hlíðar Jóhannsson (2005)).

Þó svo að varmadælan sé uppsett sem berg/vatn varmadæla, þá er ljóst að stóran hluta varmans er að fá úr vatninu sem kemur inn við botn holunnar. Ef ekkert streymi væri í borholunni myndi varmaskiptavökvinn (frostlögurinn) kólna enn frekar.

5.10 Klaustursel, Jökuldal

Á Klausturseli er eina uppsetta loft/loft varmadælan sem höfundur hefur vitneskju um héraendis. Hún hitar (og kælr) um 50 m² vinnustofu Ólafíu Sigmarsdóttur. Vinnustofan er viðbygging við heimili hennar og er þar einn hefðbundinn vatnsöfn sem tryggir ákveðna grunnhitun. Ólafía er ánægð með varmadæluna, enda næst góður hiti í vinnustofunni og kæling þegar hin alþekktu veðursæld Austurlands verður óbærileg (Ólafía Sigmarsdóttir (2005)).

³Plaströr frá rөрaverksmiðjunni SET ehf

| Staður | Notkunar- tími | Gerð | Vinnslu- miðill | Varma- afköst [kW] | Hiti varma- lindar [°C] | Hiti fram- rásar [°C] | Árs- varma- stuðull |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Búrfellsvirkjun | 1969-? | | | | | | |
| Bændaskólinn á Hvanneyri | | Loft/loft | | | | | |
| Þorgautsstaðir, Hvítársíða | 1981-1991 | Aquastar, vatn/vatn | R12 | 9 | 17 | 55 | 2,9 |
| Bakki, Bjarnarfirði | 1983- | Aquastar, vatn/vatn | R12, síðar MP39 | 9 | 16-18 | 42-50 | |
| Hofsstaðir, Mývatnssveit | 1983- | Cantherm, vatn/vatn | R502/R22 | 14 | 13 | 58 | 2,6 |
| Stöng, Mývatnssveit | 1987-1995 | Cantherm, vatn/vatn | R502/R22 | 17 | 25 | | 3,2 |
| Grænavatn, Mývatnssveit | -1993 | Cantherm, vatn/vatn | R502/R22 | 11 | 6 | | 2,2 |
| Nauteyri | | | | 17 | 36 | | 2,9 |
| Tálknafjörður | 1987- | Copeland, vatn/vatn | R12, síðar MP66 | 50 | 36 | | 3,6 |
| Staður Grindavík | | | | (75) | 7 (jarðsjór) | | Ekki þekkt |
| Akureyri | 1984-1998 | Sabroe, vatn/vatn | R12 | 2600 | bakrásar- vatn | 50-62 | 3-4 |
| Grenivík, sundlaug | 1991- | Sabroe, vatn/vatn | NH ₃ | | 16 | 30 | 8 |
| Akureyri | 1998- | Gram, vatn/vatn | NH ₃ | 4000 | 27 (bak- rásarvatn) | 50 | 4,5 |
| Þrándarstaðir, Austur-Hérað | 2003- | Qvantum, berg/vatn | R407C | 10 | 10, borho- la | 50 | 3-3,3 |
| Klaustursel, Jökuldal | 2003- | Loft/loft | | | | | 1,3 |
| Grenivík, frystihús | 1980- | Kvæerner, vatn/vatn | Freon | | 4-10 | 16-20 | |
| Síglufjörður, frystihús | | vatn/vatn | | | | | |
| Hornafjörður, frystihús | 1980- | Ciat, vatn/vatn | | | | | |
| Hnífsdalur, frystihús | | Grasse | Freon | | | | |

Tafla 5.1: Yfirlit yfir varmadætur á Íslandi.

Kaflí 6

Varmadætur erlendis

Notkun jarðvarmadælna hefur aukist gríðarlega undanfarin ár um heim allan, eða um 10% árlega í um 30 löndum á undanförmum 10 árum (Lund o.fl. (2003)). Hér verður lauslega skoðuð útbreiðsla þeirra, umsvif söluaðila og eftirlit með varmadælum.

6.1 Útbreiðsla

Tölur um fjölda varmadælna og afköst ber ekki alltaf saman í útgefnu efni og ber að líta á gildin í töflu 6.1 og töflu 6.2 sem viðmiðun frekar en nákvæmar tölur. Misræmi skapast stundum þegar ekki er getið hvaða gerðir varmadælna eru meðtaldar.

| Land | Fjöldi varmadælna | Afl [MW _t] | Orka [GWh/ári] |
|------------|-------------------|------------------------|----------------|
| Austurríki | 27.000 | 320 | 427 |
| Finnland | 7.800 | 63 | 105 |
| Frakkland | 4.500 | 54 | 80 |
| Svíþjóð | 98.000 | 667 | 2.028 |
| Þýskaland | 22.140 | 423 | 393 |

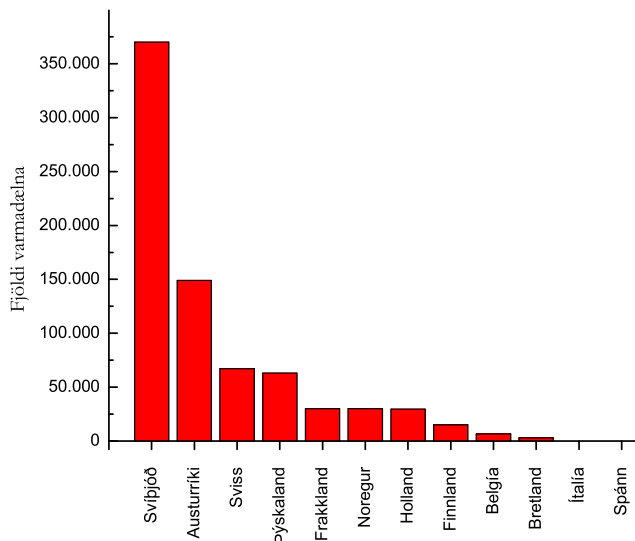
Tafla 6.1: Varmadætur í ESB löndum sem nýta varma í jörðu sem varmagjafa. Tölur frá árinu 2000 (úr skýrslu Odds B. Björnssonar (2003), tölur frá EurObservEr).

| Land | Fjöldi varmadælna | Afl [MW _t] | Orka [GWst/ári] |
|------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Austurríki | 23.000 | 275 | 370 |
| Kanada | 36.000 | 435 | 300 |
| Svíþjóð | 200.000 | 2.000 | 8.000 |
| Sviss | 25.000 | 440 | 660 |
| BNA | 500.000 | 3.730 | 3.720 |
| Þýskaland | 40.000 | 560 | 840 |

Tafla 6.2: Stærstu notendur jarðvarmadælna (Lund o.fl. (2003)). Tölur uppfærðar á árinu 2004.

Frekari greining á fjölda varmadælna í Evrópu og flokkun eftir gerðum hefur farið fram (Rivoalen (2002)). Tölur þess efnis eru birtar á mynd 6.1. Í Þýskalandi, Austurríki, Finnlandi og Svíþjóð er varminn

Varmadælar í Evrópu



Mynd 6.1: Fjöldi varmadælna í ýmsum Evrópulöndum. Hér er um heildarfjölda að ræða og loft/loft varmadælar taldar með, sem skýrir misræmið í töflu 6.1 og 6.2.

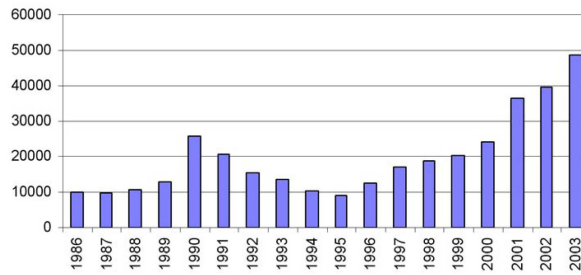
til varmadælnanna fenginn ýmist frá jarðvegi eða vatni. Í Belgíu, Noregi og Frakklandi eru hins vegar langflestar varmadælnar loft/loft varmadælar. Nokkurt jafnvægi er í Sviss þar sem rúmur helmingur er loft/loft varmadælar. Í flestum löndum er lítið svo á að notkun varmadælna stuðli að minni orkunotkun og þar af leiðandi minni mengun. Þetta á við þar sem notkunin er áberandi mest, þ.e. í Bandaríkjunum og Svíþjóð. Notkunin í þessum löndum er þó mjög mismunandi og eru varmadælnar mest notaðar til kælingar í Bandaríkjunum en hitunar í Svíþjóð. Í Svíþjóð er svo komið að 95% nýbyggðra húsa eru útbúin varmadælum¹. Talið er að sænski markaðurinn sé að ná mettun eftir talsverða aukningu undanfarinna ára; ársaukningin var um 15% á árinu 2003. Fróðlegt er að skoða nýjar tölur frá *IEA Heat Pump Centre (HPC)*² í Svíþjóð sem sýna sölu jarðvarmadælna (ekki loft/loft), sjá mynd 6.2.

6.2 Umboðsaðilar og framleiðendur varmadælna

Talsverð samþjöppun framleiðenda og söluaðila kælivéla og varmadælna hefur átt sér stað á undanförunum árum. Þekktir framleiðendur á borð við Gram, Sabroe, Frick og Stal hafa sameinast York International, sem er stærsti framleiðslu-, sölu- og dreifingaraðili varmadælubúnaðar til kælingar og hitunar í Bandaríkjunum auk þess að vera leiðandi á alþjóðlegum vettvangi. Stærsta varmadæla hér á landi er framleidd hjá Gram og tilheyrir því York International. Markaður fyrir minni varmadælar er mjög líflægur og margir framleiðendur og dreifingaraðilar eru á evrópska markaðinum. Af sterkum aðilum á þeim markaði má nefna Bentone, IVT, NIBE og Thermia í Svíþjóð, BBT Thermotechnik (Bosch) og Viessmann í Þýskalandi. Í Norður-Ameríku

¹Heimasíða IVT í Danmörku (<http://www.ivt.dk>).

²HPC er upplýsingamiðstöð, starfrækt á vefsíðunni <http://www.heatpumpcentre.org>, sem miðlar upplýsingum frá Heat Pump Programme (HPP) auk annarra varmadæluupplýsinga frá aðildarríkjum IEA (International Energy Agency).



Mynd 6.2: Sala jarðvarmadælna í Svíþjóð á árunum 1986-2003 (IEA (2004)).

er helst að nefna auk York International fyrirtæki á borð við Emerson Climate Technologies (Copeland) og Carrier Corporation.

Samantekt yfir verð á sænska varmadælumarkaðinum, sem er sá stærsti í Evrópu, má finna hjá Energi-myndigheten (Statens Energimyndighet (2004)). Þar kemur fram að verð á samsettri varmadælu með uppsetningu er á bilinu 600-900 þúsund ísl. kr., með hérlandum virðisaukaskatti. Með flutningi og öðrum tilkostnaði á smærri og fjarlægari markaði er óvarlegt að reikna með minni upphæð en um 800 þúsund kr. fyrir uppsetta varmadælu (þá með rafhitunarbúnaði og öllu sem til þarf til gangsetningar dælnnar). Hér er miðað við varmadælu sem getur gefið 35.000 kWh yfir árið og hefur ávinningsstuðul á bilinu 2,7-3,4. Ársvarmastuðull er í flestum tilfellum eitthvað hærri og raforkusparnaður getur verið allt að 75%, ef miðað er við kostnað við beina rafhitun. Þessar dætur þurfa yfirleitt um 3 kW en gefa frá sér um 9 kW varmaafi ($3\text{ kW} \times 3 = 9\text{ kW}$ ef ávinningsstuðull er 3).

Án þess að hygla nokkrum einum framleiðenda er þó gott að taka dæmi um varmadælu sem virðist fullnægja flestum þeim kröfum sem vandfýsinn neytandi setur. Við skoðum Thermia Diplomat varmadælu sem margir telja afar fullkomna. Um er að ræða varmadælu með rafhitunarbúnaði, tekur 2,3 kW og ef rafhitun er í fullum gangi tekur hún mest 11,3 kW, þarf þrjú fasa og 400 V. Vinnslumiðillinn er R407C og uppgefinn ársvarmastuðull er svo mikið sem 4,7 sem þýðir að hægt er að spara yfir þrjú fjórðu hluta raforkureikningsins. Viðmótsbúnaður er allur hinn einfaldasti og hægt að lesa af dælnni ýmsar upplýsingar, bæði beint og með aðstoð tölvu eða GSM símaviðmóti. Umfang varmadælnnar er viðráðanlegt og á mynd 6.3 sést hvernig henni hefur verið komið fyrir í þvottahúsi.

6.3 Eftirlit

Vegna fjölda varmadælugerða á markaði hefur þótt nauðsynlegt að koma upp stöðlum og viðmiðum fyrir neytendur. Neytendasamtök á Norðurlöndum, Konsumentverket í Svíþjóð og Forbrukerrådet í Noregi standa fyrir prófunum á varmadælum sem framkvæmdar eru í SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut) í Borås, Svíþjóð, en sú stofnun hýsir nú IEA Heat Pump Centre, sem er miðstöð varmadælumræðu og þróunar fjölmargra Vesturlanda. Stór eftirlitsstöð, WPZ, er einnig starfrækt í Buchs í Sviss og önnur, TNO-MEP, í Apeldoorn, Hollandi. Framleiðendur láta slíka aðila prófa og votta gæði varmadælnanna og niðurstöður þeirra athugana eru afar gagnlegar fyrir neytendur.



Mynd 6.3: Uppsett varmadæla í þvottahúsi.

Kafli 7

Íslenskar aðstæður

Hérlendar aðstæður til öflunar varma með varmadælum eru oft á tíðum góðar. Fjárhagsleg hagkvæmni slíkrar varmaöflunar er þó ekki alltaf fyrir hendi (þessi hagkvæmni er rædd ýtarlegar í kafla 8). Talið er að raforkuverð hérlendis og í nágrannalöndunum sé á uppleið, þá sérstaklega vegna þess aukna kostnaðar sem nýting endurvinnanlegra orkuauðlinda felur í sér. Með hækkandi raforkuverði verður aukin fjárhagsleg hagkvæmni í varmadælurekstri. Hér þarf að liggja fyrir eitthvert mat á þeim kostnaði sem líklegt er að hérlendir aðilar þurfi að mæta við varmadæluframkvæmd. Mismiklu þarf að huga að, allt eftir aðstæðum á hverjum stað. Einnig er gott að gera sér grein fyrir því hvar nálgast má þá þjónustu sem óskað er.

7.1 Borun

Í sumum tilfellum þarf að bora eftir varma þar sem engar eru volgrur eða laugar í nágrenni þess húsnæðis sem hita skal. Jarðboranir hf., Ræktunarsamband Flóa og Skeiða ehf. og Alvarr ehf. eru sérhæfð borunarfyrirtæki. Jarðboranir og Ræktunarsambandið hafa borað flestar hérlendar holur en Alvarr er nýrra fyrirtæki sem beitir athyglisverðri vatnsborunartækni kennd við Wassara. Yfirleitt eru borholur fóðraðar með einhverjum hætti, þ.e. í þær eru sett rör sem varna hruni, loka fyrir óæskilegt innstreymi vatns og auðvelda niðursetningu búnaðar í holurnar. Fóðring er látin ná einhverja metra niður í fast berg og steipt föst. Borun í berg heldur svo áfram niður á æskilegt dýpi, eða þar til hitinn og innstreymi vatns er orðið nægilegt fyrir framkvæmdina.

Ef sjálfrennsli er úr borholu er vatnið leitt að varmadælu þar sem varmaskipti geta farið fram við vinnslumiðil, helst í einangrandi rörum. Ef ekkert sjálfrennsli vatns verður úr holunum koma tvær leiðir til greina: 1) Vatni úr borholunni er dælt til varmadælu og varmaskipti fara fram við vinnslumiðil líkt og þegar um sjálfrennsli er að ræða. 2) Einnig má leggja rör sem leiða frostlög eða annan varmaskiptavökva í lokuðu kerfi niður í holurnar og steypa að þeim með varmaleiðandi floti. Sá vökvi hefur svo varmaskipti við vinnslumiðil varmadælu. Fram kemur í hagkvæmnismati síðast í þessari skýrslu að borunarkostnaður er talsvert mikill og leiðir fljótt til óhagkvæmni eftir því sem dýpra er borað, sjá verð frá Jarðborunum og Ræktunarsambandinu í töflu 7.1. Best er að komast í varmauppsprettu á yfirborði þar sem ekki þarf að leggja í mikinn kostnað við varmaskipti við vinnslumiðil.

Verð frá Alvarr ehf. hafa reynst sambærileg þeim sem birt eru í töflu 7.1 (Friðfinnur K. Daníelsson (2004)), en taka verður þó fram að hér er um viðmiðunarverð að ræða og borkostnaður getur breyst mikið vegna ýmissa aðstæðna á borstað. Leita verður tilboða í hverju tilviki fyrir sig.

| | Jarðboranir, verð (kr) | Ræktunarsamband F&S, verð(kr) |
|------------|------------------------|-------------------------------|
| 50 m hola | 350.000 | 355.000 |
| 100 m hola | 600.000 | 680.000 |
| 150 m hola | 875.000 | 1.005.000 |
| 200 m hola | 1.300.000 | 1.330.000 |
| 300 m hola | 2.500.000 | 1.980.000 |
| 400 m hola | 3.500.000 | 2.630.000 |
| 500 m hola | 4.500.000 | 3.280.000 |

Tafla 7.1: Viðmiðunarverð á borun frá tveimur stærstu borfyrirtækjum landsins. Miðað er við 6 m steypa fódningu í öllum tilvikum og holu með um 5" þvermál. Verð eru án flutnings til borstaðar og án fæðis- og húsnæðiskostnaðar starfsmanna. Öll verð eru án virðisaukaskatts (Garðar Sigurjónsson (2005) og Guðmundur Karl Guðjónsson (2004)).

7.2 Öflun varma

Hægt er að leggja mat á þann kostnað sem dæling varma að varmadælu hefur í för með sér. Tvær megin aðferðir eru við að koma varma að varmadælu:

1) Leiða varmaskiptavökva (frostlög eða t.d. etanól) ofan í borholu, laug eða hver og til varmadælu í lokaðri hringrás.

2) Dæla varmagjafa (vatni) að varmadælu (opin hringrás).

Framkvæmdarkostnaður verður mismunandi eftir því hvaða leið er farin. Algengasta lausnin við hendlendar aðstæður telst vera leið 2, þ.e. að koma vatni frá uppsprettunni að varmadælu. Þá mætti hugsa sér að kæla helming vatnsins með varmadælunni til þess að hita upp hinn helminginn. Eftir nýtingu er vatninu svo skilað aftur í jarðveg eða affallsrör, nema það sé nýtt frekar áður. Ef varmadæla er 9 kW að varmaafli og notar 10 °C hitamun þá þarf aðstreymið frá varmauppsprettu að vera um 13 l/mín, eða 0,22 l/s (aflið deilt með orkunni í hverjum lítra vatns og einnar gráðu hitamun, sem er 4186 J/°C). Lítrafjöldinn sem notandi þarf af heitu vatni er einnig reiknaður út frá hitunarþörfinni og ef t.d. 50 °C heitt vatn er fellt í 30 °C í ofnakerfi, þá er lítrafjöldinn sem þarf til að viðhalda hita í 400 m³ húsi sem hefur aflþörfina 20 W á rúmmetra í þessu tilviki um 6 l/mín. Til viðbótar kemur neysluvatnsnotkun sem getur vel farið tímabundið í sambærilegt magn á mínútu. Ef allt vatn kemur frá sama stað og þarf að dæla því öllu, þ.e. án miðlunartanks og endurnýtingu bakrásarvatns, þá þarf vatnsdælan að geta annað um 25 l/mín¹. Ekki er hér um stóra dælu að ræða og má áætla að orkunotkun hennar sé t.d. um 1.000 kWh árlega, þegar miðað er við 50 m hæðarmun sem dælan þarf að dæla gegn². Orkunotkun vatnsdælnnar verður að bæta við þá orkunotkun sem varmadæla notar þegar nýtni varmadælu er metin. Meginkostnaður varmaöflunar myndast þá við innkaup vatnsdælu og lagnir að og í varmauppsprettu. Vatnsdælan er metin á um 140.000 kr með virðisaukaskatti, þá einnig með rörum og rafmagnsköplum niður í 50 m borholu og aukabúnaði á borð við þrýstímæla (Grétar Leifsson (2005)). Lögnin frá vatnsuppsprettu að varmadælu, oft plaströr með um 20 mm að innanmáli, er metin á 1.000-2.000 kr/m (fer eftir gerð og einangrun) og vinna við að koma henni fyrir í skurðum annað eins, en getur verið ódýrari ef t.d. plógar eða jarðvegssagir eru notaðar. Heildarkostnaður með virðisaukaskatti gæti verið um 2.000-3.000 kr/m, en verð þetta er mjög háð landslagi og samsetningu jarðvegs (Stefán H. Steindórsson (2005)).

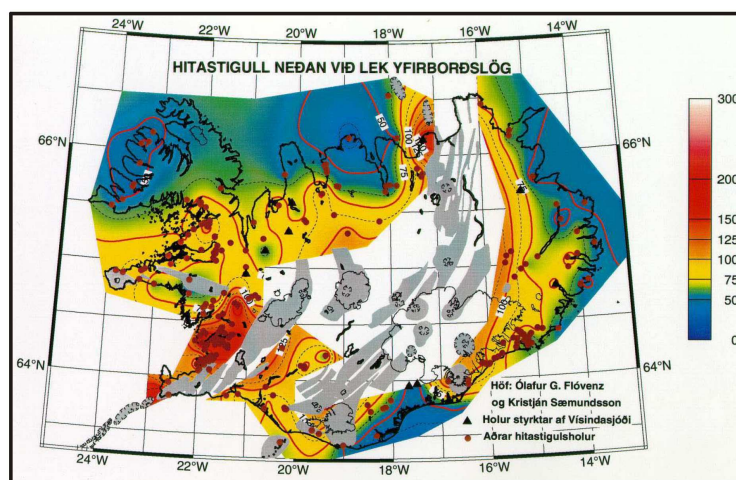
¹Vatnstankur minnkar álag dælu.

²Ef við reiknum með 10 l/mín jafnaðardælingu, þá er meðalaflið í þessu dæmi 82 W miðað við 100% nýtingu, en nýting dælnanna er um 50-70%, og því fást um 1.000 kWh árlega.

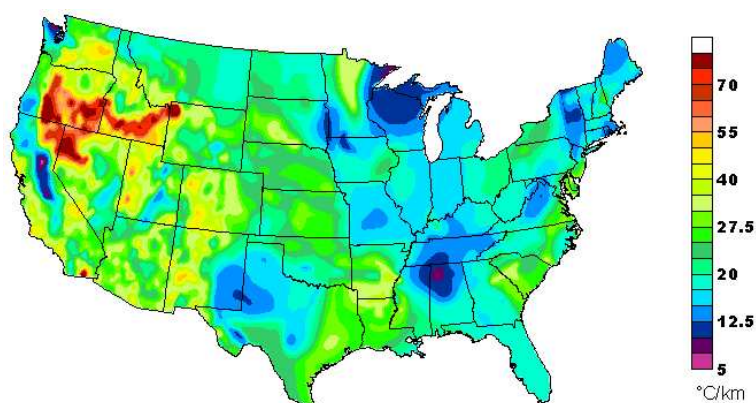
Þegar varma er aflað úr sjó, gilda sömu reglur og um öflun varma úr borholum. Vatnsdælur (sjávardælur) og leiðslur þurfa vitanlega að þola sjávarseltuna og huga þarf að hreinleika þess sjávar sem dælt er að varmadælu.

7.3 Nýtni

Nýtni varmadælna ræðst af hönnun þeirra í því umhverfi sem þær eru starfræktar. Velja þarf vinnslumiðil með tilliti til hitastigs varmauppsprettunnar, þ.e. þess hitastigs sem vinnslumiðillinn fær varma sinn frá. Hérlandis er hitastigull hærri en í flestum nágrannalandanna og því breytast forsendur eitthvað. Nánar tiltekið er hitastigull sjaldan undir 50 °C/km hérlandis (sjá mynd 7.1) og þarf að teygja sig suður til Ítalíu og afmarkaðra svæða í sunnanverðri mið-Evrópu til að fá sambærilegar tölur. Í vesturhluta Bandaríkjanna má finna ágætari forsendur fyrir varmadælur en þar er hitastigullinn um og yfir 40 °C/km, sjá mynd 7.2.



Mynd 7.1: Hitastigulskort af Íslandi. Áætlað út frá mælingum í borholum (Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson (1999)).



Mynd 7.2: Hitastigulskort af Bandaríkjunum (SMU Geothermal Laboratory (2004)).

Eins og fram hefur komið er varmadælumarkaðurinn lítill hérlendis og því lítið úrval varmadælna sem miða við íslenskar aðstæður, eða aðstæður þar sem varmauppspretta er allt að 40 °C. Uppgefið varmaafi varmadælna á stærstu mörkuðum þeirra miðast yfirleitt við 0 °C varmauppsprettu og upphitun þess vatns í 45 °C. Fram hefur komið hér að nýtni varmadælnanna vex með auknum hita uppsprettu, en hámarkshiti vatns frá hefðbuninni varmadælu er rétt um og yfir 50 °C. Binda verður væntingar við þróun varmadælna sem henta betur íslenskum aðstæðum, svipaðar þeim sem rætt er um í kafla 2.4. Þá er mest horft til koltvísýringsvarmadælna, þar sem hitastig uppsprettu má vera hærra auk þess sem slíkar dælur geta gefið frá sér heitara vatn. Ekkert er þó því til fyrirstöðu að nota varmadælur sem fást nú þegar á erlendum markaði, því 50 °C heitt vatn nýtist vel til hitunar, sérstaklega sem gólfhiti. Hér verður sem og í öðru kostnaður að ráða.

7.4 Sölu- og þjónustuaðilar varmadælna

Hérlendis hefur varmadælutæknin mest verið nýtt til kælingar í matvælaíðnaði. Nokkur fyrirtæki sérhæfa sig í sölu og þjónustu þess háttar kælibúnaðar, t.d. Frostmark ehf., Kælismiðjan Frost ehf., Kælivélaverkstæðið Celsíus ehf. og Kælitækni ehf. Þessir aðilar eru líklegir til þess að þjónusta einnig varmadælur til upphitunar og hafa nokkrir þeirra nú þegar reynslu á því sviði, enda hafa áhugasamir lítillaga leitað til þeirra til að leggja mat á hugsanlegar varmadæluframkvæmdir. Nokkrar verkfræðistofur hafa einnig aflað sér þekkingar á varmadælutækninni og selja eða hafa milligöngu um sölu slíks búnaðar, t.d. Verkfræðistofa Norðurlands ehf., Fjarhitun hf. og Vélaverk ehf. Síðast í þessari upptalningu en ekki síst er fyrirtækið Alvarr ehf. sem getur séð um borun til öflunar varma úr jarðvegi ásamt sölu og uppsetningu varmadælna.

7.5 Markaður fyrir varmadælur

Stærð íslenska markaðsins má áætla út frá nokkrum hugsanlegum notendahópum. Þessir hópar eru helstir 1) núverandi rafhitunarnotendur, 2) sumarhúsaeygendur sem ekki hafa hitaveitu og 3) ýmis fyrirtæki, þá helst tengdum matvælaíðnaði.

Á niðurgreiðslusvæðum, þ.e. á svæðum þar sem ekki er kostur á hitaveitu, eru um 10 þúsund heimili sem nota rafhitun. Hlutfall rafhitunar er um 10% og talið er að þetta hlutfall muni breytast hægt, enda hefur sú hitaveituvæðing sem átt hefur sér stað unanfarna áratugi náð hámarki. Fjárhagsleg hagkvæmni ræður hér för sem endranær og hana má auka með stærri varmadælum sem þjóna mörgum notendum.

Heildarmarkaður fyrir varmadælur nær einnig yfir þá sem ekki njóta niðurgreiðslna, t.d. rafhitunarnotendur á hitaveitusvæðum og sumarhúsa- eða orlofshúsaeygendur (hér eftir nefnd sumarhús). Fjöldi hérlendra sumarhúsa telst vera 8.814 á árinu 2005³ með þeim fyrirvara að ekki eru öll sumarhús með í þessari talningu, enda sum byggð utan sumarhúsalóða. Ekki liggja fyrir upplýsingar um fjölda sumarhúsa sem einungis hafa rafhitun. Upphitunarkröfur í sumarhúsum hafa aukist undanfarin ár, enda dvelja margir í slíkum húsum einnig á vetrum og heitir pottar algengir. Raforka til upphitunar sumarhúsa er ekki niðurgreidd og því getur verið umtalsverð hagkvæmni af varmadælu í slíku húsnæði, sérstaklega ef þörf er á upphitun að vetrum einnig, því að hagkvæmnin vex með þörfinni (sjá hagkvæmnissumræðu í kafla 8)

Gróðurhúsaeygendur og fyrirtæki sem þurrka t.d. matvæli gætu einnig haft áhuga á varmadælutækninni. Nú þegar eru kælivélar notaðar víða í frystihúsum og stórmörkuðum, eins og hér hefur verið rakið.

³Heimasíða Fasteignamats ríkisins, www.fmr.is og munnlegar upplýsingar frá skrifstofu FMR. Óbyggðar sumarhúsalóðir samkvæmt sömu heimild eru 5.630.

Kafli 8

Hagkvæmni

Hér verður metið hversu hagkvæmt það er fyrir orkunotanda að fjárfesta í varamdælu. Einnig er skoðuð hagkvæmni ríkisvalds og raforkuframleiðanda. Fylgt er framsetningu í samantekt Jørn Stene (Stene (2001)) um hagkvæmni varmadælna, uppsetningu þeirra og rekstur. Almenn segjum við að fjárfesting sé hagkvæm ef uppsetningar- og rekstrarkostnaður er ekki hærri en sá hagnaður sem hafa má af fjárfestingunni. Mælikvarði á hagkvæmni er yfirleitt ákveðin hagnaðarupphæð (núvirði) eða afstæð prósentutala (innri vextir). Til viðbótar við þessa tvo mælikvarða er oft lagt mat á hagnaðar- eða endurgreiðslutíma. Allir kostnaðarþættir þurfa svo að liggja fyrir áður en hagkvæmni mismunandi kosta er borin saman.

Hagkvæmni

8.1 Aðferðir til hagkvæmnismats

Nokkur hugtök þarf að skilgreina til þess að mat á hagkvæmni megi fara fram, t.d. næmnigreiningu, kostnaðargreiningu, núvirði, arðsemistíma og innri vexti.

Næmnigreining er aðferð til þess að leggja mat á hversu mikið hagkvæmni eða arðsemi varmadælu breytist þegar ákveðnir þekktir kostnaðarþættir breytast. Þannig má ákvarða efri og neðri mörk arðseminnar ásamt því að við greinum betur þá þætti sem mest áhrif hafa. Hér er t.d. átt við stofnkostnað, ársvarmastuðul varmadælu og líftíma hennar.

**Næmni-
greining**

Áður en farið er að reikna út hagkvæmni þarf að afla gagna um stofnkostnað, árlegar tekjur (hagnað eða sparnað) og kostnað auk líftíma framkvæmdarinnar. Leggja þarf mat á hver arðsemiskrafa framkvæmdarinnar er, en með henni reynir framkvæmdaraðilinn að sjá hversu skynsamlegt það er að binda fé sitt í framkvæmdinni og mótast afstaðan af þeim vaxtatekjum sem fá má af framkvæmdafénu ef það lægi óhreyft á banka- eða verðbréfavöxtum. Vextir eru breytilegir milli ára og verðbólga einnig og því er reynt að meta allan framtíðarkostnað og hagnað á föstu verðlagi. Þannig má reikna núvirði framkvæmdarinnar sem verður einn mælikvarði á hagkvæmni hennar. Núvirðið fæst með því að leggja saman allar hagnaðar- eða sparnaðartölur á líftíma framkvæmdar og draga stofnkostnað frá þeirri tölu. Ef niðurstaðan verður stærri en 0 telst framkvæmdin hagkvæm.

Núvirði

Við reiknum núvirði með eftirfarandi hætti:

$$N_v = \frac{B_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+r)^n} - I_0$$

þar sem N_v er núvirðið, B er sparnaður/hagnaður á hverju ári, r er ætluð árleg vaxtaþrósent, n er líftími

framkvæmdar, mældur í árum og I_0 stofnkostnaður framkvæmdar. Ef árlegur sparnaður er hinn sami á hverju ári einfaldast jafnan á eftirfarandi hátt:

$$N_v = B * \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 \quad (8.1)$$

Sem dæmi má taka 750.000 kr. framkvæmd með tíu ára líftíma sem skilar árlegum hagnaði upp á 100.000 kr. við 5% vaxtastig:

$$N_v = 100.000 * \frac{1 - (1 + 0,05)^{-10}}{0,05} - 750.000 = 22.173 (> 0)$$

niðurstaðan er jákvæð og því er fjárfestingin hagkvæm (naumlega þó).

Hinn arðsemismælikvarðinn er innri vextir. Hægt er að breyta vaxtatölunni í jöfnu 8.1 á þann hátt að núvirðið (N_v) verði jafnt núlli. Sú vaxtatala sem þá fæst er nefnd innri vextir. Innri vexti skal ekki nota sem arðsemismælikvarða á mismunandi framkvæmdir nema stofnkostnaður framkvæmdanna sé hinn sami og líftíminn sömuleiðis hinn sami.

Innri vextir

Arðsemistími er sá tími sem það tekur framkvæmdina að skila núvirðiskrónutölu sem nemur stofnkostnaði. Jafna 8.1 með $N_v = 0$ er þá leyst m.t.t. n :

Arðsemistími

$$T_a = \frac{\ln \left(\left(1 - \frac{I_0}{B} r \right)^{-1} \right)}{\ln(1 + r)} \quad (8.2)$$

þar sem arðsemistíminn er $T_a = n$ í jöfnu 8.1 þegar $N_v = 0$, mældur í árum.

Stundum er talað um endurgreiðslutíma en sá tími tekur ekkert tillit til vaxtastigs hverju sinni heldur er einungis einfalt hlutfall stofnkostnaðar og árlegs sparnaðar, þ.e. $T_e = \frac{I_0}{B}$. Ef stofnkostnaður er mikill eða vextir háir getur mikið borið á milli T_a og T_e .

Niðurstaða kostnaðargreiningar segir til um hver árlegur kostnaður er við varmadælu og hann má svo bera saman við aðra möguleika. Yfirleitt er þessi kostnaður mældur í kr/kWh sem auðveldar samanburð við aðra upphitunarkosti vegna þess að þar er mælikvarði á hversu háa upphæð neytandinn er að greiða fyrir þá orku sem hann fær, í þessu tilviki varmaorku. Taka verður saman alla hugsanlega kostnaðarliði (K), leggja saman og deila með varmaorkunotkun ársins (Q).

Kostnaðargreining

$$V_v = \frac{K}{Q} \quad (8.3)$$

þar sem V_v er varmaverðið, mælt í kr/kWh og Q er varmaorkan, um 32.000 kWh hjá meðalnotanda. Kostnaðarliðurinn K samanstendur af árlegum fjármagnskostnaði (A), öllum árlegum þjónustu- og viðhaldskostnaði (einnig nefndur rekstrarkostnaður) (J) auk árlegs raforkukostnaðar (R). Árlegur fjármagnskostnaður er reiknaður á eftirfarandi hátt:

$$A = I_0 \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (8.4)$$

þar sem allar stærðir eru skilgreindar eins og áður. Árlegi fjármagnskostnaðurinn (A) er jafn sparnaði/hagnaði (B) í núvirðisjöfnunni (jafna 8.1) þegar $N_v = 0$. Heildarkostnaðurinn, $K = A + J + R$ er nú reiknaður til að finna varmaverðið V_v í kr/kWh samkvæmt jöfnu 8.3.

8.2 Kostnaður við varmadælu

Talsverður stofnkostnaður er við varmadælu. Óhjákvæmilegur efniskostnaður er við dælu sjálfar ásamt stýribúnaði, lagnakerfi, þrýstikerfi, vatnskútum og varmaskiptum. Kostnaður er einnig við uppsetningu, þ.e. þá vinnu sem fer í að koma varmadælunni fyrir og tengja við hana bæði varmagjafa og húshitunarbúnað. Hér miðast umræða að mestu við uppsetningu varmadælu til nota við íbúðarhúsnæði þó svo að svipuð lög málgildi einnig um atvinnuhúsnæði, sjá kafla 8.5.

8.2.1 Forsendur vals á varmadælu

Við íslenskar aðstæður verður að miða við varmadælu sem ræður að meðaltali við að hita húsnæði sem krefst árlega 30.000-32.000 kWh, sem er meðalraforkunotkun þeirra heimila sem nú nýta sér raforku til upphitunar (Árni Ragnarsson (2004)). Varmadælan skal hafa rafhitunarbúnað sem hitar vatnið þegar álagið er mest (sjá álagskúrfu á mynd 4.9). Þá næst best nýting orkunnar og varmadælan er látin ganga undir jöfnu álagi allt árið, sem lengir líftíma hennar. Fáar varmadælu eru hérlendis sem nýttar eru til upphitunar en margar til kælingar, enda kælivarmadælu notaðar víða í matvælaíðnaði, frystihúsum og kælírymi matvöruverslana. Leita þarf erlendis til að fá góðan samanburð milli framleiðenda og verðlagningu þeirra auk uppsetningarkostnaðar. Í Svíþjóð er stærsti markaður varmadælna (berg/vatn) og Energimyndigheten sænska hefur framkvæmt samanburð á kostnaði varmadælna og uppsetningu þeirra á mismunandi svæðum í Svíþjóð (Statens Energimyndighet (2004)). Niðurstaða þeirra er sú að verð dælu af þeirri stærð sem við gerum kröfu um hér og alls búnaðar auk uppsetningar, tolla og virðisaukaskatts¹, sé á bilinu 670-960 þúsund krónur og meðalverð því um 800.000 kr.

Við áætlum líftíma varmadælu 15-20 ár og með jafnri notkun ætti að vera hægt að miða við 20 ára líftíma. Algengustu bilanir í varmadælum verða í þjöppunni sjálfri, viftum og pumpu en einnig getur vinnslumiðill stundum lekið (D. Cane o.fl. (1998)).

8.2.2 Öflun varma

Ef ekki er um nálæga varmauppsprettu að ræða verður að bora eftir varma. Borunarkostnaður fer talsvert eftir því hvar holan er því að mislangt er niður í berg eftir stöðum á landinu, eða frá 0-200 m. Fóðra þarf niður að bergi og að lágmarki 2 m inn í berg. Uppgefna verðið hér miðast við 6 m fóðringu. Í Svíþjóð þarf yfirleitt að bora um 100 m niður í jörðu til að fá viðundandi og stöðugan berghita (lágmark 0 °C). Kostnaður við borun er eitthvað hærri hérlendis, eða um 9.000 kr. á hvern fóðraðan metra í grunnri holu miðað við um 5.000 kr. á hvern sænskan metra, verð með virðisaukaskatti (þó mismunandi eftir landshlutum í Svíþjóð). Kostnaður á metra lækkar eitthvað með auknu dýpi, en þá er heildarkostnaður vitanlega meiri. Vegna þessa verður varmadæluframkvæmd fljótt óhagkvæm ef bora þarf djúpan brunn til að afla varmans. Volgra, laug, hver, sjávarrennsli eða vannýtt sémilega heit borhola verður helst að vera til staðar og nálæg því húsnæði sem hita skal.

8.2.3 Samantekt kostnaðar

Samantekt hugsanlegs stofnkostnaðar er sýnd í töflu 8.1 og er þá stuðst við sænsk verð fengin eftir fyrirspurnir til söluaðila auk þess sem hérlendur kostnaður við borun og uppsetningu er metinn. Hér er í fyrstu

¹Hérlendir tollar og virðisaukaskattur.

gert ráð fyrir að bora þurfi eina 50 m holu, þrátt fyrir að nefnt hafi verið hér að framan að óhagkvæmni vex með borun, þá sérstaklega eftir því sem dýpt borholu eykst. Kostnaður við tilfærslu varma að varma-dælu (vatnsdælu og leiðslur) er ekki meðtalinn. Sjálf varmadælan, hitakútur og tengdur búnaður auk uppsetningar mynda stærstan hluta kostnaðar. Tollflokkur varmadælu er 8418.6101 og samkvæmt honum þarf að greiða 7,5% innflutningsgjald af varmadælu ef hún er ætluð sem heimilistæki og 5% annars.

| Kostnaður | Verð, ISK |
|------------------------------|------------------|
| Varmadæla 12 kW _t | 260.000 |
| Hitakútur | 130.000 |
| Þrýstijafnari v. stýringar | 35.000 |
| Dælukerfi | 38.000 |
| Borun, 50 m | 500.000 |
| Uppsetning og þjónusta | 150.000 |
| Samtals | 1.113.000 |
| Tollur | 33.390 |
| Samtals með vsk. og tolli | 1.427.300 |
| Áætlað verð | 1.500.000 |

Tafla 8.1: Dæmi um kostnað við varmadælu. Verðmatið er fengið eftir fyrirspurnir, aðallega frá Svíþjóð. Einnig er stuðst við yfirlit frá Energimyndigheten (Svíþjóð) með verðum frá árinu 2004 (Statens Energimyndighet (2004)) og upplýsingar um héraðan borunarkostnað (Guðmundur Karl Guðjónsson (2004) og Garðar Sigurjónsson (2005)).

Fram kemur að stofnkostnaður verður um 1,5 milljónir og því er ljóst að mikill árlegur sparnaður þarf að vera af framkvæmdinni ef hún á að reynast hagkvæm. Reiknað er með að framkvæmdin eigi sér stað á svæði þar sem ekki er kostur á hitaveitu. Kostnaður við rafhitun er niðurgreiddur á þessum svæðum og verða þær til þess að minnka hagkvæmni, því að þá er sparnaður notanda við varmadæluframkvæmdina ekki eins mikill. Samkvæmt lögum nr. 78 frá 2002 nýtur raforka til varmadælna sömu niðurgreiðslu á kWh og rafhitun (hámarksniðurgreiðsla miðast þó við 1/3 hluta hámarks hefðbundinnar rafhitunar enda er ársvarmastuðull varmadælna yfirleitt 3 eða hærri).

Árlegur raforkukostnaður, auk stofn- og viðhaldskostnaðar, ræður hver heildarkostnaður varmadæluvarma verður, mælt í krónum á hverja kWh (kr/kWh). Gjaldskrár orkuveitna eru samsettar af fastagjaldi og orku- og dreifingarverði, háð þeim taxa sem notandinn greiðir fyrir. Orku- og dreifingarverðið er gefið í kr/kWh í gjaldskrá, en endurspeglar ekki alltaf þann kostnað sem raunverulega hlýst af raforkunotkuninni. Þegar rætt er um raunverulegan orkukostnað við húshitun, er heppilegast að nota hugtakið varmaverð, V_v , sem skilgreint var með jöfnu 8.3. Varmaverðið er m.a. háð heildar raforkuverðinu, táknað með R , sem samsett er úr fastagjaldi (tenging og raforkumælar) annars vegar og orku- og dreifingargjaldi hins vegar.

$$R = F + V_O * notkun \quad (8.5)$$

Hér er F fastagjald, V_O er raforku- og dreifingarverðið, í kr/kWh, og $notkun$ er árleg raforkunotkun, mæld í kWh. Stærðin R er þá sá heildarkostnaður sem hlýst af raforkunotkun árlega. Þegar hvoru tveggja rafhitun og almenn notkun er á sama taxa er litið svo á að fastagjaldið sé tengt almennri raforkunotkun og óháð kostnaði við rafhitun ($F = 0$ í þeim tilvikum). Skýr greinarmunur er á hugtökunum orkuverð eða dreifingarverð annars vegar og varmaverð hins vegar, sem varast skal að rugla saman. Varmaverðið inniheldur eins og áður sagði auk heildar raforkuverðsins árlegan fjármagnskostnað auk allra viðhalds-

og þjónustugjalda, sjá skilgreiningar í kafla 8.1. Mikilvægt er að þekkja varmaverð tveggja eða fleiri upphitunarkosta ef velja þarf á milli þeirra, því að ákvörðunartaka byggist að mestu leyti á varmaverðinu.

8.3 Raforkusparnaður

Sparnaður hefur hér verið skilgreindur sem sú upphæð sem sparast árlega við varmadæluframkvæmd þegar miðað er við rafhitun. Sparnaðurinn er því alfarið tilkominn vegna minni raforkunotkunar og nefnist því raforkusparnaður. Einnig má líta svo á að sparnaðurinn sé eins konar hagnaður og er hann t.d. túlkaður sem slíkur þegar arðsemi varmadælu er metin. Árlegur sparnaður fer eftir raforkunotkun og hver rafveitan er því að sölutaxti þeirra er mismunandi. Við upphaf árs 2005 komu til framkvæmdar ný raforkulög sem aðskilja framleiðslu, dreifingu og sölu raforku, í samræmi við samsvarandi lög á Evrópska efnahagssvæðinu. Samkvæmt þessum nýju lögum er veitum óheimilt að miða verð raforku við notkun hennar, t.d. má ekki lengur hafa sérstakan gjaldflokk fyrir rafhitun. Á árinu 2004 mátti reikna með að verð á raforku til hitunar íbúðarhúsnæðis væri um 2,8 kr/kWh, þá með virðisaukaskatti, fastagjaldi, niðurgreiðslum, afsláttum Landsvirkjunar, ríkissjóðs og veitna.

Ríkissjóður veitir áfram framlög til niðurgreiðslu rafhitunar og/eða með öðrum hætti leitast við að tryggja tiltekið verð til rafhitunar sem miðast við verðlag frá jarðvarmaveitum. Þessar niðurgreiðslur hafa hækkað síðustu ár. Endurgreiðsla 63% virðisaukaskatts af raforkuverði til húshitunar er enn í gildi (ber 14% virðisaukaskatt en verður þá 5,18% þegar tillit er tekið til endurgreiðslu). Einnig eru í gildi endurgreiðslur virðisaukaskatts vegna sölu á heitu vatni í mismunandi hlutföllum eftir veitum (háð frávikum frá vegnu meðalverði veitna, sjá reglugerð nr. 484/1992 með síðari breytingum). Afslættir Landsvirkjunar á raforku til húshitunar féllu niður með gildistöku nýju raforkulaganna og með þeim einnig afsláttur veitna. Á móti kemur niðurgreiðsla ríkissjóðs á dreifingarkostnaði í dreifbýli sem ákveðin var 230 milljónir á árinu 2005 auk þess sem hefðbundnar niðurgreiðslur jukust og skiptust mismunandi eftir veitusvæðum. Frekari umræður um niðurgreiðslur eru í kafla 8.6.

Gjaldskrá veitna er nú tvískipt, annars vegar er gjaldskrá fyrir dreifingu og hins vegar sölu. Tiltekinn raforkunotandi tilheyrir ákveðnu veitusvæði, sem einungis ein rafveita þjónustar og þiggur gjöld fyrir dreifingu. Hvaða veita sem er mun nú hins vegar geta selt hvaða notanda sem er raforku, óháð veitusvæði (gildir frá og með 1. janúar 2006). Notandi getur þá valið að hefja viðskipti við orkuveitu sem hefur lægsta söluverð raforku en verður að greiða dreifingarkostnaðinn hjá þeirri veitu sem hann er tengdur. Raforkuverð veitna sem fer til húshitunar hækkaði að jafnaði² með tilkomu nýju gjaldskrána en auknar niðurgreiðslur og aðlöguð orkunotkun neytenda getur valdið svipuðu eða jafnvel lægra raforkuverði en áður var. Lækkun raforkureiknings við óbreytta orkuþörf krefst þó þess að raforkunotendur breyti orkuvenjum sínum, þ.e. noti meira af orku þegar hún fæst á lægra verði (t.d. um nætur frekar en um miðjan dag). Til að skýra þetta þá greiddi meðalnotandi (32.000 kWh upphitunarþörf og 5.000 kWh almenn notkun) á orkutaxta RARIK³ um 4,11 kr/kWh orkuverð með fastagjaldi á árinu 2004 (deilt er niður á alla notkun, þ.e. almenn notkun innifalin og heildar orkunotkun 37.000 kWh). Ef sá notandi myndi áfram nota orkuna á sama hátt og hann gerði áður myndi hann greiða raforkuverð með fastagjaldi um 4,45 kr/kWh (tímaóháður orkutaxti, fastagjöld virðisaukaskattur og afslættir innifaldir í verðinu og almenn notkun meðtaln, taxtar SO100 og VO110/VO130). Ef sá hinn sami notandi nýtir sér einungis orkuna þegar hún er ódýrust, myndi

²Orkuverð til almennra nota lækkaði hins vegar í sumum tilfellum.

³Til einföldunar er einungis gjaldskrá Rafmagnsveitna ríkisins (RARIK) skoðuð af einhverri nákvæmni. RARIK þjónar stærsta hluta rafhitunarmarkaðarinnar og skapar viðmið fyrir hinar veiturnar; Orkubú Vestfjarða, Hitaveitu Suðurnesja í Vestmannaeyjum og Rafveitu Reyðarfjarða.

hann greiða um 3,1 kr/kWh (taxtar SO200 og VO150/VO170 og almenn notkun eftir sem áður á SO100 og VO110/130). Taka verður fram að RARIK er eina veitan sem nú býður upp á slíka tímaháða taxa. Hér eftir verður litið svo á að almenn notkun beri allt fastagjald þegar um einn raforkutaxta er að ræða, í samræmi við skilgreiningar Orkustofnunar, enda er almenn raforkunotkun óháð hitun.

Ef einungis raforkuverðið er skoðað (án fastagjalds, en með niðurgreiðslum, virðisauka, endurgreiðslum og afsláttum þar sem við á), þá var það hjá RARIK 2,224 kr/kWh á árinu 2004 en er nú lægst 3,303 kr/kWh (misháar niðurgreiðslur valda sama raforkuverði hvar sem er á landinu). Á tímaháðum töxtum má með rafhitun einungis um nætur að vetrarlagi lækka raforkuverðið verulega, eða niður í 0,992 kr/kWh í þéttbýli og 0,748 kr/kWh í dreifbýli (t.d. SO200 og VO150/VO170). Til að raforkuverð geti orðið þetta lágt er þess krafist að notandinn geti geymt næturhitað vatn í nægilega stórum tönkum sem heitt vatn endist í yfir daginn. Óvarlegt er þó að ætla að notandi geti ávallt notað einvörðungu upphitun um nætur og því verður raforkuverðið á bilinu 0,75-3,3 kr/kWh. Ítrekað skal að þessi verð eru án fastagjalds (hér nefnd einfaldlega raforkuverð en einnig er talað um jaðar raforkuverð). Til samanburðar verður raforkuverð með fastagjaldi á bilinu 2,4-4,5 kr/kWh fyrir notanda með 32.000 kWh raforkunotkun til hitunar sem er á tímaháðum sölu- og dreifingartaxta hjá RARIK. Við útreikninga á raforkuverði hefur tillit verið tekið til mismunandi orkuþarfar yfir árið í samræmi við töflu 4.2.

Í töflu 8.2 má sjá samanburð nokkurra algengra nügildandi gjaldflokka hjá stærstu rafhitunarveitum landsins. Taka verður fram að þennan samanburð má ekki taka of hátíðlega; Orkubú Vestfjarða selur stóran hluta húshitunarorkunnar samkvæmt gjaldskrá sem samsett er af fastagjaldi, orkugjaldi og rúm-metragjaldi vatns, sjá t.d. hitaveitutaxta H90 (fastagjald svipað en aðeins eitt grunnorkugjald uppgefið, eða 3,92 kr/kWh, sem verður samkvæmt gjaldskrá þeirra 1,98 kr/kWh með vsk., endurgreiðslum og niðurgreiðslum).

| Rafveita og taxtar | Fastagjald (kr á ári) | Sala (kr/kWh) | Dreifing (kr/kWh) | Raforkuverð með niðurgreiðslum og vsk. án fastagjalds (kr/kWh) |
|---|-----------------------|---------------|-------------------|--|
| RARIK, orkutaxtar SO100 og VO110 | 10.114 | 3,35 | 2,51 | 3,30 |
| Orkubú Vestfjarða, orkutaxtar SO10 og RO11 | 7.400 | 2,90 | 2,30 | 2,83 |
| Hitaveita Suðurnesja, orkutaxtar AD1, F og AS1. Niðurgreiðslur fyrir Vestmannaeyjar | 6.500 | 2,92 | 3,45 | 3,41 |
| Rafveita Reyðarfjarðar, orkutaxtar OO1 og DO1 | 10.200 | 3,46 | 2,36 | 3,42 |

Tafla 8.2: Fastagjald, dreifingar- og söluverð raforku nokkurra veitna árið 2005. Síðasti dálkurinn sýnir raforkuverð með niðurgreiðslum og virðisaukaskatti en án fastagjalds.

Raforkusparnaður varmadælu miðast við orkunotkun hennar og raforkuverðið. Eðlilegt er að miða sparnaðarútreikninga við tiltekið verðbil því verðtaxtar veitna eru breytilegir eins og hér hefur komið fram og verðið stundum háð árstíðar- og dægurnotkun. Tafla 8.3 sýnir þær forsendur sem gefnar eru í útreikningum. Þrjú raforkuverð eru notuð á bilinu 2,5-3,5 kr/kWh og fyrir hvert verð er sparnaður reiknaður miðað við rúma meðalnotkun annars vegar (35.000 kWh) og áætlaða hámarksnotkun hins vegar

(50.000 kWh). Í öllum tilvikum er ársvarmastuðull varmadælu áætlaður $\phi = 3$. Raforkuverðin eru valin á þessu bili því að með niðurgreiðslum verða þau oft þetta lág (sjá töflu 8.2) og ljóst er að ef raforkuverðin hækka eykst hagkvæmni varmadæluframkvæmdar. Með þessu er leitast við að skoða hagkvæmni uppsetningar varmadælu við sem lægst raforkuverð. Þannig er tryggt að ef hagkvæmni næst við slík skilyrði, verður hagkvæmnin enn meiri við hærri raforkuverð.

| Raforkuverð, kr á kWh | 2,5 | | 3,0 | | 3,5 | |
|------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| Notkun á ári, kWh | 35.000 | 50.000 | 35.000 | 50.000 | 35.000 | 50.000 |
| Ársvarmastuðull | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Árlegur raforkusparnaður, kr | 58.333 | 83.333 | 70.000 | 100.000 | 81.667 | 116.667 |

Tafla 8.3: Þrjú mismunandi raforkuverð og áætlaður árlegur sparnaður miðað við 35.000 kWh og 50.000 kWh árlega raforkunotkun til húshitunar.

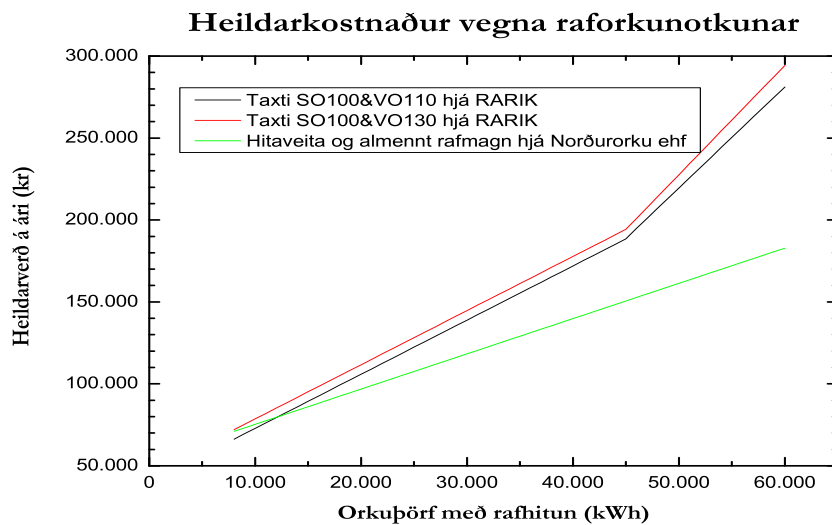
Raforkusparnaður eins og hann er skilgreindur hér fremst í kaflanum verður þá á bilinu ca. 58-117 þúsund krónur árlega, háður notkun og raforkuverði. Fastagjald vegna raforkunotkunar greiðist óháð því hvort notandinn hefur varmadælu eða ekki⁴ og hefur af þeim sökum ekki áhrif á sparnað.

8.4 Kostnaðargreining

Samkvæmt skilgreiningu í kafla 8.1 má bera saman verð á kWh fyrir og eftir breytingu á orkutilhögun og reikna með ákveðnum afskriftartíma framkvæmdar. Útreiknað verð á kWh felur í sér allan kostnað við orkuöflun til heimilis (fjármögnun, viðhald, orkuverð frá virkjunum o.s.frv.) á afskriftartímanum, en að honum liðnum er litið svo á að endurnýja þurfi allan hitunarbúnaðinn. Stærsti hluti þessa kostnaðar fæst beint af gjaldskrár veitna. Eftir sem áður verður hér talað um raforkuverð með fastagjaldi þegar átt er við útjafnað heildar orkuverð á hverja notaða kWh. eru þá meðtalin öll tengd gjöld (fastagjald, virðisauki, endurgreiðslur og niðurgreiðslur). Bent skal á að í þessu raforkuverði með fastagjaldi er enginn rekstrar- eða fjármagnskostnaður. Samkvæmt gjaldskrá RARIK frá 1. janúar 2005 er slíkt raforkuverð meðalnotanda í dreifbýli eða þéttbýli, sala og dreifing, samtals 2,4-4,5 kr/kWh, þegar tekið hefur verið tillit til niðurgreiðslna, 14% virðisaukaskatts og endurgreiðslu hans, auk fastagjalds og miðað við meðal raforkunotkun (32.000 kWh til upphitunar). Stærri notandi, eða tvö heimili sem samtals nota 50.000 kWh, greiðir raforkuverð með fastagjaldi á bilinu 1,9-4,0 kr/kWh (með niðurgreiðslum á allri rafhitun). Verðbil raforkuverðsins með fastagjaldi er tilkomið vegna mismunandi gjaldflokka RARIK en algengast er að miða við orkutaxta SO100 og VO110/130, en sá taxti gefur þá 4,0-4,5 kr/kWh orkuverð með fastagjaldi. Heildar árlegur raforkukostnaður er sýndur á mynd 8.1 fyrir tvo algenga taxta hjá RARIK og reiknað með að um rafhitun sé að ræða. Notandi með hitaveitu er sýndur til samanburðar (gjaldskrá Norðurorku hf., verð varmaorkunnar er um 2,15 kr/kWh en raforkunnar 8,07 kr/kWh). Ljóst er að notandi með um 50.000 kWh ársnotkun raforku á þessum gjaldskrár RARIK greiðir um 60.000 kr hærri upphæð vegna almenns rafmagns og hitunar en sambærilegur notandi á gjaldsvæði Norðurorku hf. Sparnaðaraðgerðir hljóta að miðast við að minnka þennan mun og jafnvel komast niður fyrir verðlagningu dýrra hitaveitna.

Hér verður nú miðað við 3,0 kr/kWh óháð stærð notanda (án fastagjalds, oft nefnt jaðar raforkuverð) og kostnaðargreining framkvæmd fyrir tvo misstóra rafhitunarnotendur, eða annars vegar 35.000 kWh orku-

⁴Kannski er óþarft að taka fram að fastagjald á hverja kWh er hærri eftir því sem orkunotkun minnkar. Fastagjald hefur áhrif á varmaverð ef það er órjúfanlegur hluti upphitunarkostnaðar.



Mynd 8.1: Árlegur heildar kostnaður vegna raforkukaupa eftir notkun. Algengir taxtar hjá RARIK í þétt- og dreifbýli. Fastagjöld meðtalin og allur kostnaður með virðisaukaskatti og endurgreiðslu ríkis vegna húshitunar. Almenn notkun er metin á 5.000 kWh árlega. Brot er í línunum við 45.000 kWh vegna þaks niðurgreiðslna við 40.000 kWh.

notanda á ársgrundvelli og 50.000 kWh orkunotanda á ársgrundvelli hins vegar. Reiknað er með að báðir notendurnir njóti niðurgreiðslna á allri orkunotkuninni⁵. Niðurgreiðslur eru að hámarki til 40.000 kr/kWh ársnotkunar á hvert heimili⁶. Ef um einn stóran orkunotanda er að ræða verður raforkukostnaður hans meiri og varmadælufrákvæmd ávallt hagkvæmari. Hér er, af fyrrnefndum ástæðum, leitast við að miða við núverandi orkukostnað nálægt því sem hann getur lægstur orðið, innan raunhæfra marka.

Líklegt er að margir notendur sem áður voru á afltaxta hafi með þeim breytingum sem urðu á árinu 2005 skipt yfir í orkutaxta, því að lágmarksafli sem nú býðst hjá RARIK er 20 kW, en var áður 6 kW. Þannig gat t.d. notandi með 50.000 kWh ársnotkun á 14 kW afltaxta hjá RARIK greitt um 5,1 kr/kWh, með öllum skatti, fasta- og aflgjaldi og öllum afsláttum, en þá er ekki mæld raforkunotkun til húshitunar sérstaklega og venjuleg heimilis- og atvinnunotkun einnig á sama taxta⁷. Orkuverð samkvæmt nýju verðskrá RARIK hjá sama notanda á 20 kW afltaxta er um 7,9 kr/kWh, með öllum gjöldum og afsláttum sem fyrr (taxtar SA100 og VA130) og notað er vegið meðaltal orkugjaldsins, sem er háð árstíma. Ljóst er að notandi sem áður var á slíkum taxta sér hag sinn í því að færa sig frá afltaxta og greiða samkvæmt orkutaxta, með tilheyrandi breytingum (mælur í rafmagnstöflu). Þegar hugað er hér að sparnaði við uppsetningu varmadælu, þá er einungis litið til orkuverðsins, þ.e. orkugjalds í kr/kWh samkvæmt gjaldskrá, en áhrif fastagjalds ekki skoðað sérstaklega. Það er hins vegar ljóst að fastagjaldið þarf að taka með í reikninginn þegar farið er frá afltaxta í orkutaxta (og öfugt, ef slíkt skyldi gerast).

Næst er að huga að öðrum kostnaði en raforkunotkun. Ævinlega er höfð til viðmiðunar sama framkvæmd, þ.e. 1,5 milljóna króna framkvæmd og reiknað með 20 ára afskriftartíma og 6% vöxtum. Stærsti

⁵Gerist t.d. þegar fleiri en eitt íbúðarhús er á sama bænum.

⁶Niðurgreiðsluþakið var 50.000 kWh árið 2004, þá 35.000 kWh árið 2005 og frá 1. janúar 2006 40.000 kWh.

⁷Athugið að hér er heildarverð tekið á ákveðnu tímabili, með öllum hugsanlegum raforkutengdum gjöldum og deilt með raforkunotkuninni yfir tímabilið (hér nefnt orkuverð með fastagjaldi).

Afltaxti

viðhaldskostnaður varmadælu er fólgin í endurnýjun þjöppu og eftirliti með vinnsluferlinu (metið samtals á 6 þúsund krónur árlega). Eins og áður sagði er borið saman við óbreytta orkutilhögun en ljóst er að einhver árlegur viðhaldskostnaður myndast þar einnig, enda hækkaður kostnaður eða skammur tími til endurnýjunar oft hvati til breytingar á orkutilhögun⁸. Áætlaður árlegur kostnaður við endurnýjun rafhitunarkerfis er á tímabilinu metinn á 3 þúsund krónur. Rafhitunarbúnaður fyrir 150 m² húsnæði hefur hámarks aflþörf um 12 kW og kostar nýr um 100 þúsund krónur. Ending er um 25-30 ár (Snorri Hafsteinsson (2005)).

Þegar aðgengi orkukaupanda er að volgru og kostnaður við borholuframkvæmdina fellur niður verður varmadæluframkvæmdin mun ódýrari, eða um 1 milljón krónur eins og áður var reiknað með. Kostnaðarmatið miðað við þessi tvö verð er sýnt í töflu 8.4. Loka samanburður verður milli heildar varmaverðs við rafhitun annars vegar og varmadæluhitunar hins vegar og er þá búið að taka með í þá tölu árlegan fjármagnskostnað, viðhald og raforkukostnað.

| | Með borunarkostnaði (kr) | | Án borunarkostnaðar (kr) | |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Stofnkostnaður | 1.500.000 | | 1.000.000 | |
| Árlegur fjármagnskostnaður, varmadæla | 130.777 | | 87.185 | |
| Árlegur fjármagnskostnaður, rafhitun | 8.719 | | 8.719 | |
| Viðhald, varmadæla | 6.000 | | 6.000 | |
| Viðhald, rafhitun | 3.000 | | 3.000 | |
| Orkuþörf, kWh/ári | 35.000 | 50.000 | 35.000 | 50.000 |
| Raforkuverð (kr/kWh) | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Ársvarmastuðull | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Afskriftartími, ár | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | | | | |
| Varmaverð, rafhitun (kr/kWh) | 3,33 | 3,23 | 3,33 | 3,23 |
| Varmaverð, varmadæla (kr/kWh) | 4,91 | 3,74 | 3,66 | 2,86 |

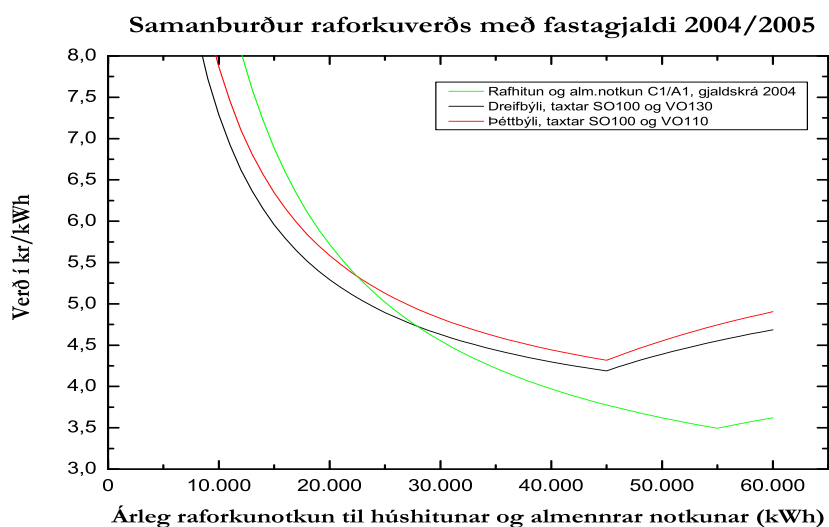
Tafla 8.4: Tvær varmadæluframkvæmdir, stofnkostnaður annars vegar 1,5 milljón króna og hins vegar 1,0 milljón krónur. Lokakostnaður á kWh er birtur í neðstu tveimur línunum (varmaverð). Öll verð eru með virðisaukaskatti, niðurgreiðslum og endurgreiðslum þar sem við á. Vextir eru hafðir 6%.

Kostnaðarmat þetta sýnir að við varmadæluframkvæmd verður varmaverð lægra en við rafhitun í einungis einu tilfalli; þegar varmadæla kostar 1 milljón og orkuþörfin er 50.000 kWh, þá reynist varmaverðið um 11% lægra. Kostnaður við borun veldur herra varmaverði og framkvæmdin er óhagkvæm. Ef um einn stóran notanda í dreifbýli er að ræða (50.000 kWh árlega), sem ekki nýtur niðurgreiðslna á rafhitunarkerku umfram 40.000 kWh árlega samkvæmt núgildandi raforkulögum, greiðir hann raforkuverð með fastagjaldi á bilinu 2,7-4,6 kr/kWh (bilið var 2,7-4,9 kr/kWh á árinu 2005 en breytist við hækkað niðurgreiðsluhámark). Ef miðað er við 4,6 kr/kWh í stað 3,0 kr/kWh í kostnaðargreiningunni hér að ofan er svigrúm fyrir um 1,7 milljóna króna varmadæluframkvæmd með árlegum fjármagnskostnaði um 148 þúsund krónur, miðað við óbreyttar forsendur (vextir 6%). Sjá einnig mynd 8.3 fyrir mismunandi raforkuverð.

Nýlega hafa talsverðar umræður orðið vegna hugsanlegrar hækkunar rafhitunarkostnaðar við þá breytingu raforkulaga sem varð 1. janúar 2005 og minnst er á í kafla 8.3. Viðbrögð ríkisstjórnar við þessu var meðal annars að hækka niðurgreiðslupakið úr 35.000 kWh í 40.000 kWh, sem þá er nær þeim 50.000 kWh sem fengust niðurgreiddar á árinu 2004. Þessi umræða tengist sterklega hugsanlegum sparnaðaraðgerðum rafhitunarnotenda, þá hugsanlega varmadæluframkvæmdum. Fróðlegt er að skoða algengar gjaldskrár og

⁸Til að nýta rafhitun um nætur á lægra orkuverði, þarf að koma fyrir tímarofum sem stýra raforkunotkuninni og venjulega þarf einnig að stækka hitakútinn.

líklegar hækkanir, ef miðað er við að rafhitunarnotendur séu settir í þá gjaldflokka sem beinast liggur við að veiturnar hafi flutt þá í eftir lagabreytingar. Eftir sem áður skoðum við gjaldskrá RARIK vegna stærðar þeirra á rafhitunarmarkaði. Heppilegur samanburður fæst með því að skoða raforkuverð með fastagjaldi, þ.e. deila heildar orkunotkun upp í heildar árlegan raforkukostnað. Vegna breytinga á fastagjöldum í kjölfar lagabreytinga sem heimila ekki mismunandi verðflokka eftir notkun raforku er sennilega eðlilegast að taka með almenna notkun (ljós og raftæki á heimilum) bæði fyrir og eftir. Við reiknum með 5.000 kWh árlegri raforkunotkun til almennrar notkunar. Mynd 8.2 sýnir samanburð núgildra algengra taxa (SO100 og VO110/130) og fyrri C1 taxa frá árinu 2004 í kr/kWh sem fall af notkun.



Mynd 8.2: Verð í kr/kWh sem fall af notkun. Tveir algengir taxtar hjá RARIK frá árinu 2005 bornir saman við rafhitunartaxta C1 hjá RARIK frá árinu 2004.

Snögglegar verðbreytingar verða við 45.000 kWh annars vegar og 55.000 kWh hins vegar, en þar hætta niðurgreiðslur (við 40.000 kWh nú en 50.000 kWh áður - vegna samanburðar sem inniheldur almenna notkun bætast við 5.000 kWh).

Ljóst er að lækkun hefur orðið á heildar raforkuverði hjá minnstu raforkunotendendum milli ára 2004-2005⁹ en meðal rafhitunarnotandi greiðir um 6-10% hærra verð fyrir sína raforkunotkun árlega (viðmið tekið við 37.000 kWh, enda summa meðal rafhitunarþarfar og áætlaðrar almennrar notkunar árlega). Hækkunar fer að gæta þegar raforkunotkun fer yfir um 23.000-28.000 kWh og fyrir slíka notendur er áhugavert að kanna hagkvæmni varmadæluframkvæmdar eða skoða hvort tímaháðir orkusölutaxtar veitunnar komi betur út, enda er þá raforkuverð með fastagjaldi komið upp fyrir 4,5 kr/kWh. Hér verður að taka fram að hægt er að bera verðbreytingarnar saman með ýmsum öðrum hætti, t.d. bera fyrri afltaxta saman við núgilda algenga orkutaxta. Einnig má bera saman verðbreytingar þegar miðað er við mesta mögulega raforkusparnað samkvæmt núverandi gjaldskrá, en slíkur sparnaður krefst þess að notendur hiti hús sín ekki á daginn yfir vetrarmánuðina (sjá tímaháða orkusölutaxta og þrígjaldsdreifingartaxta RARIK).

⁹ Þess ber að geta að ef einungis taxti C1 er notaður til samanburðar við nýju taxtana verður niðurstaðan hækkun milli ára fyrir flesta rafhitunarnotendur.

8.5 Hagkvæmnisútreikningur

8.5.1 Meðalstór og stærri heimili sem njóta niðurgreiðslna á rafhitun

Hagkvæmnisútreikningur á varmadæluframkvæmd getur nú farið fram. Kostnaður og sparnaður hefur verið metinn og því getum við beitt jöfnu 8.1 til að ákvarða núvirði framkvæmdarinnar, t.d. fyrir minnsta mögulega sparnað í töflu 8.3, stóra varmadælu með borholu, vaxtastig 6% og afskriftartíma 20 ár:

$$\begin{aligned} N_v &= (58.333 - 3.000) * \frac{1 - (1 + 0,06)^{-20}}{0,06} - 1.500.000 \\ &= -865.335 \text{ kr} \end{aligned}$$

Niðurstaðan verður næstum neikvæð milljón (athugið að mismunur viðhaldskostnaðar varmadælu og rafhitunar er dreginn frá raforkusparnaði) og framkvæmdin því alls ekki hagkvæm. Jafnvel að öllum borunarkostnaði slepptum næst ekki hagkvæmni, því að miðað við þennan litla árlega sparnað og aðrar forsendur er einungis svigrúm til framkvæmdar upp á um 635.000 kr ef hún á að vera hagkvæm á 20 árum. Í Svíþjóð, þar sem raforkuverð er 6-8 kr/kWh næst hagkvæmni og á skemmri tíma en líftími framkvæmdar, eða á 11 árum þrátt fyrir framkvæmdarkostnað upp á 1,5 milljónir (miðað er við 8 kr/kWh og 6% vexti). Skýrir þetta vinsældir varmadælna í Svíþjóð og fleiri löndum þar sem orkuverð er hærra en hér. Því má bæta við að vitanlega fengist hagkvæmni framkvæmdarinnar fyrr hérlendis ef öllum niðurgreiðslum væri sleppt. Niðurgreiðslur á hverja kWh eru nú 2,51-3,42 kr/kWh. Ef niðurgreiðslum er sleppt nálega tvöfaldast sparnaðurinn (fer t.d. úr 3 kr/kWh í 6 kr/kWh) og hagkvæmni næst í dæminu hér að ofan (miðað er við 35.000 kWh orkuþörf til upphitunar - hér verður þó um nauma hagkvæmni að ræða þegar borunarkostnaður er meðtalin og ekki hagkvæmt ef orkuþörf til upphitunar fer niður fyrir 33.000 kWh). Sjá nánar umræður um niðurgreiðslur hér fyrir neðan, kafla 8.6.

Í töflu 8.5 eru nokkur dæmi um núvirði framkvæmdar miðað við þær mismunandi forsendur sem eru í töflu 8.3. Athugið að í dálkinum heildar sparnaður hefur fastur árlegur viðhaldskostnaður verið dreginn frá í öllum tilvikum (3.000 kr, sem er mismunur áætlaðs viðhaldskostnaðar varmadælu og rafhitunar).

Hér kemur fram að núvirði verður neikvæð tala í öllum tilvikum ef stofnkostnaður er 1,5 milljónir króna. Ef stofnkostnaður er 1,0 milljónir króna verður núvirðið neikvæð tala nema þegar heildar sparnaður er 97.000 krónur (mörkin liggja nálægt 88.000 krónum). Ef stofnkostnaður er 500.000 krónur er núvirðið í öllum tilvikum jákvæð tala og varmadæla með uppsetningu á því verði afar hagstæð framkvæmd. Ágætt er að nota mynd 8.3 til að átta sig á hvað varmadæla og uppsetning hennar má kosta út frá rafhitunarnotkun við mismunandi raforkuverð.

8.5.2 Atvinnuhúsnæði

Atvinnuhúsnæði nýtur ekki niðurgreiðslna raforkukostnaðar vegna húshitunar en sá kostnaður ber þó 14% virðisaukaskatt með 63% afslætti ríkissjóðs eftir sem áður. Þetta gildir einnig um opinberar stofnanir og tólmstundahús, t.d. skóla, íþróttahús og sundlaugar en niðurgreiðslur eru þó til staðar í félagsheimilum og kirkjum. Í þessari umræðu um raforkukostnað við húshitun í atvinnuhúsnæði eru öll verð reiknuð án virðisaukaskatts. Ef um mikla upphitunarþörf er að ræða er líklegt að tímaháðir rafhitunartaxtar verði fyrir

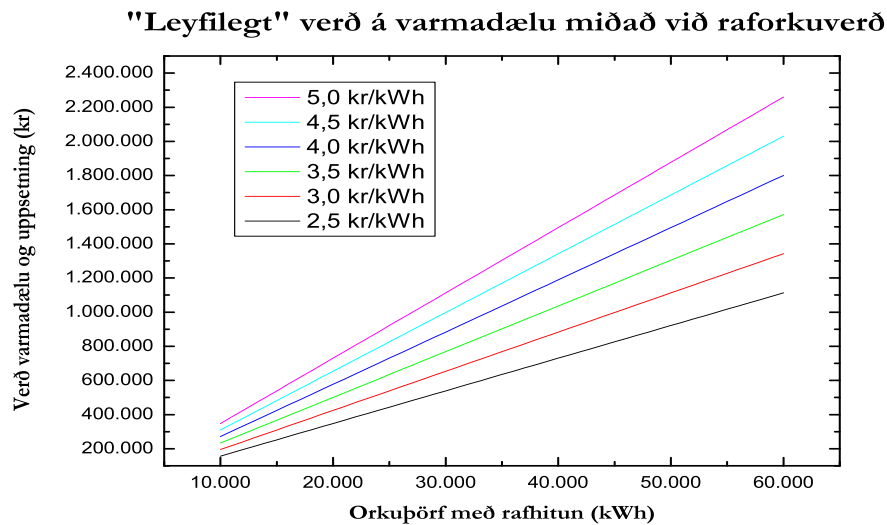
| Heildar sparnaður (kr) | Stofnkostnaður (kr) | Núvirði (kr) |
|------------------------|---------------------|--------------|
| 55.333 | 1.500.000 | -865.334 |
| | 1.000.000 | -365.334 |
| | 500.000 | 134.665 |
| 67.000 | 1.500.000 | -731.515 |
| | 1.000.000 | -231.515 |
| | 500.000 | 268.485 |
| 78.667 | 1.500.000 | -597.696 |
| | 1.000.000 | -97.696 |
| | 500.000 | 402.304 |
| 80.333 | 1.500.000 | -578.587 |
| | 1.000.000 | -78.587 |
| | 500.000 | 421.413 |
| 97.000 | 1.500.000 | -387.418 |
| | 1.000.000 | 112.582 |
| | 500.000 | 612.582 |
| 113.667 | 1.500.000 | -196.248 |
| | 1.000.000 | 303.752 |
| | 500.000 | 803.752 |

Tafla 8.5: Núvirði reiknað útfrá heildar sparnaði og mismunandi stofnkostnaði. Vextir eru 6% og líftími framkvæmdar 20 ár.

valinu og er eðlilegt að miða hagkvæmnisútreikninga við að notandinn sé á slíkum taxa. Þess ber þó að geta að verulegur verðmunur er á raforkuverði á mismunandi tímum og því nánast skilyrði að orkunotandinn noti raforkuna ævinlega meðan hún er ódýrust en ekki á öðrum tímum. Þetta sést vel á mynd 8.4, þar sem jafnaðarverð (með fastagjaldi) er sýnt annars vegar miðað við jafna notkun allt árið og hins vegar þegar notkun er einungis þegar raforkuverð er lægst (yfir vetrarnætur og á sumrin). Athyglisvert verður að sjá að ef notkun er ekki í samræmi við taxtann getur raforkuverð orðið herra en það er á almennum taxa og þá enginn sparnaður fólgin í því að vera á tímaháðum taxa, heldur þvert á móti aukinn kostnaður.

Með sama hætti og gert er á mynd 8.3 má finna leyfilegan kostnað sem fall af notkun í atvinnuhúsnæði, sjá mynd 8.5. Miðað er við raforkuverð á bilinu 4-5 kr/kWh og orkunotkun á bilinu 100.000-500.000 kWh árlega.

Umtalsvert svigrúm er fyrir stóran rafhitunarnotanda að fjárfesta í sparnaðaraðgerðum sem miða að lækkun rafhitunarkostnaðar. Rafhitunarnotandi með 300.000 kWh ársnotkun hefur 1,2 milljóna króna árlegan rafhitunarkostnað ef miðað er við 4,0 kr/kWh raforkuverð. Stórar varmadælu hafa oft hærri ársvarmastuðul en 3, sem hér er miðað við og oft er þessi stuðull 4 og eykst við herra hitastig varmauppsprettu eins og áður hefur verið rakið. Við miðum hér áfram við ársvarmastuðul 3 og því ljóst að árlegur raforkusparnaður verður um 800.000 kr árlega. Kaup og uppsetning varmadælu má þannig kosta um 8 milljónir króna þegar miðað er við 60 þúsund króna árlegan viðhaldskostnað og 6% vexti. Í þessu tilviki þarf varmadælan að vera um 100 kW. Ef það markmið er sett að fjárfestingin borgi sig á 10 árum má verð varmadælu með uppsetningu ekki fara yfir 6 milljónir. Ekki er ólíklegt að stofnkostnaður varmadælu af þessari stærð geti verið nálægt þessari síðstnefndu upphæð. Stofnkostnaðurinn fer hins vegar mikið eftir því hversu kostnaðarsamt er að afla uppsprettuvarmans á þeim stað sem varmadælu er komið fyrir (t.d. borunarkostnaður) þannig að leita verður tilboða fyrir hvert tilfelli með lýsingu á staðháttum.



Mynd 8.3: Myndin sýnir hversu mikið uppsetning varmadælu og tengdar framkvæmdir mega kosta miðað við tiltekna varmanotkun og tiltekið raforkuverð (fast verð og óháð fastagjaldi), þá gert ráð fyrir að fyrir uppsetningu sé notast við rafhitun og að þar myndist sparnaður sem nýtist til að greiða niður stofn-kostnaðinn.

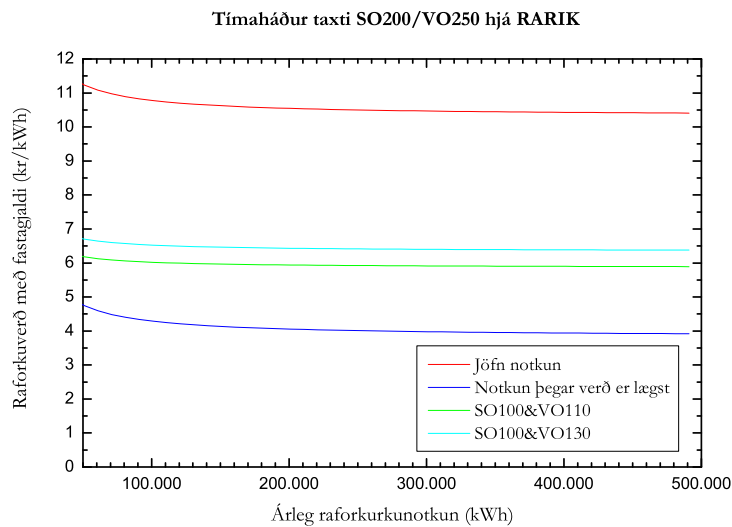
8.5.3 Sumarhús

Rafhitunarnotendur sem ekki eru á niðurgreiðslum greiða um 5.2-6.4 kr/kWh raforkugjald samkvæmt núgildandi gjaldskrá (sjá töflu 8.2, summa sölu og dreifingar). Þessir notendur (t.d. sumarhúsanotendur) geta sparað umtalsvert með varmadæluframkvæmd og þeim mun meira sem notkun þeirra eykst og í þeim tilvikum gilda sömu lögmál og víða erlendis þar sem hagkvæmni slíkrar framkvæmdar skilar sér á fyrstu 5-10 árunum. Ef við miðum t.d. við 35.000 kWh ársnotkun (nálægt meðalnotkun í heilsárhúsi en talsvert mikið fyrir sumarhús) þá sparast árlega 120-150 þúsund krónur á gjaldsvæði RARIK og 800 þúsund króna varmadæla borgar sig upp á 7-9 árum (6% vextir). Ekki verður sérstök umræða hér að öðru leyti um svo augljósa hagkvæmni.

8.6 Opnberir styrkir tengdir niðurgreiðslum

Heildar niðurgreiðslur ríkisins á raforku til húshitunar eru 898 milljónir króna samkvæmt fjárlögum 2005 og greiðslur til jöfnunar dreifingarkostnaðar í dreifibýli eru 230 milljónir króna. Að tillögu iðnaðarráðherra var niðurgreiðsluupphæðin hækkuð um 100 milljónir króna á árinu 2005. Seint á árinu 2005 samþykkti ríkisstjórn að bæta 25 milljónum við í auknar niðurgreiðslur og hækka niðurgreiðslupakið úr 35.000 kWh í 40.000 kWh. Niðurgreiðslur samtals á hverja kWh eru sýndar í töflu 8.6.

Eitt af markmiðum ríkisstjórnar er að tryggja öllum landsmönnum aðgang að orku á viðráðanlegu verði. Mögulegt er fyrir ríkissvald og þar með þegna landsins að spara á varmadæluframkvæmd í vissum tilvikum. Hægt er að hugsa sér að láta ríkissjóð létta undir með þeim sem huga á varmadæluframkvæmd með því að veita stofnstyrk til kaupa og uppsetningu varmadælu. Fordæmi eru fyrir sambærilegum aðgerðum þegar



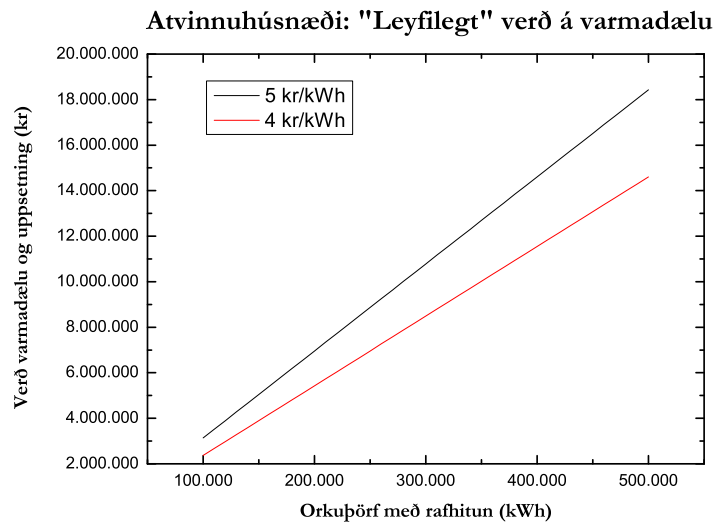
Mynd 8.4: Verð á kWh með fastagjaldi á taxa SO200 og VO250 hjá RARIK hjá stærri raforkunotendum í atvinnuhúsnæði. Ef raforkunotkun er jöfn allt árið er raforkuverð um 2,5 sinnum hærra en þegar þess er gætt að nota raforku einungis þegar hún er á lægsta verði. Gert er ráð fyrir sömu orkudreifingu yfir árið og sýnd er í töflu 4.2. Öll verð eru án virðisauka og engar niðurgreiðslur. Hefðbundið raforkuverð á töxtum SO100 og VO110/130 er einnig sýnt til samanburðar.

| Veituvæði | kr/kWh |
|-----------------|--------|
| Vestmannaeyjar | 3,13 |
| OV þéttbýli | 2,51 |
| OV dreifbýli | 3,42 |
| Reyðarfjörður | 2,57 |
| RARIK þéttbýli | 2,72 |
| RARIK dreifbýli | 3,20 |

Tafla 8.6: Niðurgreiðslur raforku á árinu 2005.

hitaveitur eru lagðar til nýrra svæða. Við lagningu hitaveitu fær orkuveitandinn í sinn hlut styrk að upphæð sem nemur allt að 8 ára niðurgreiðslum til húshitunar á því svæði sem hitaveitan nær til (lög 78/2002 með breytingum 28. maí 2004). Ef öll niðurgreiðsluupphæðin verður greidd út þá dugar hún til niðurgreiðslna á raforkunotkun um 11 þúsund meðalstórra heimila¹⁰. Öll niðurgreiðsluupphæðin fer ekki til niðurgreiðslu, heldur kemur til frádráttar umsýslukostnaður og frátekinn kostnaður við styrki til jarðhitaleitar auk annars kostnaðar við ýmis verkefni tengd varmaorku til upphitunar. Áætlun fyrir árið 2005 gerir ráð fyrir 906,4 Mkr sem nýtast beint til niðurgreiðslna og með þeim 25 Mkr sem nýlega bættust við verður heildar upphæð til niðurgreiðslna um 931 Mkr. Ef við gerum nú ráð fyrir að þessari upphæð sé dreift jafnt niður á meðal stóra rafhitunarnotendur þá má finna viðmiðunar niðurgreiðsluupphæð, óháð veitu eða búsetu notanda. Flestir rafhitunarnotendur í íbúðarhúsnæði sem njóta niðurgreiðslna eru að nota um

¹⁰Niðurgreiðsla er á rafhitun allt að 40.000 kWh. Við árslok 2004 nutu 10.971 notenda niðurgreiðslna í 14.084 íbúðum. Fjöldi íbúa í þessu húsnæði öllu var 38.322 manns, samkvæmt gögnum af heimasíðu Orkustofnunar.



Mynd 8.5: Umtalsverður raforkusparnaður verður við stærri varmadæluframkvæmdir og því má kostnaður við slíkar framkvæmdir vera verulegur. Miðað er við 6% vexti og 60 þúsund króna árlegan viðhaldskostnað varmadælu.

15.000-32.000 kWh og hér er ekki óeðlilegt að miða við 3,2 kr/kWh þegar eingreiðsluupphæð er ákveðin en það er sama upphæð og niðurgreiðslur rafhitunar í dreifbýli á gjaldsvæði RARIK. Ef orkunotkun þessara heimila minnkaði um 2/3, eins og gerist við hefðbundna varmadæluframkvæmd, þá þarf ríkisvaldið ekki að kosta nema sem nemur 1/3 niðurgreiðsluupphæðarinnar. Ekki er raunhæft að reikna með svo miklum sparnaði á heildarniðurgreiðslum á fjárlögum hverju sinni, enda varmadæluframkvæmd kostnaðarsöm fyrir venjulega notendur og óbreytt raforkuverð, eins og hér hefur komið fram. Ef ríkið hins vegar veitir styrk til varmadæluframkvæmdar upphæð sem nemur niðurgreiðslum til viðkomandi orkunotanda í nokkur ár þá hagnast báðir aðilar á framkvæmdinni. Tökum sem dæmi 1,5 milljóna framkvæmdina hér að ofan og orkunotkun 32.000 kWh. Ef ríkið leggur til framkvæmdarinnar eingreiðslu sem nemur 8 ára niðurgreiðslum, þá væri sú upphæð $8 \cdot 3,20 \text{ kr/kWh} \cdot 32.000 \text{ kWh} = 819.200 \text{ kr}$. Engin áform eru um að leggja niðurgreiðslur alfarið niður, þ.a. ef þær ættu að halda áfram verður að miða við um 2/3 þessarar upphæðar vegna þess að það er sá hluti orkunnar sem ríkisvaldið sleppur við að niðurgreiða. Við endum þá með $2/3 \cdot 819.200 = 546.133 \text{ kr}$. Ef til eingreiðslna frá ríkissjóði kæmi er líklegt að sú upphæð verði bara greidd út einu sinni og ríkissjóður greiði ekki slíka upphæð aftur þó svo að varmadæla verði fjarlægð og rafhitun tekin upp að nýju. Þá verður að líta svo á að einungis fjármagnstekjur af eingreiðslunni verði nýttar til að greiða niður stofnkostnað varmadælu og með þessu móti er eingreiðslustyrknum aldrei eytt. Það er þó almennt hagstæðara að greiða strax niður stofnkostnað. Aðgerð af þessu tagi dugar til þess að milljón króna varmadæluframkvæmd nær hagkvæmni þegar miðað er við orkuverðið 3,0 kr/kWh eins og sýnt er í töflu 8.7. Þar er einnig sýnt hvernig dæmið reiknast ef 5 ára eingreiðsla er notuð í stað 8 ára. Í því tilviki verður ekki um hagkvæmni að ræða miðað við þessar forsendur.

Þá niðurstöðu má draga af þessu að miðað við núverandi raforkuverð er ekki hægt að ráðleggja notanda á niðurgreiðslusvæði með 35.000 kWh árlega rafhitunarpörf (eða lægri þörf) kaup á uppsettum varmadælubúnaði nema hann fengist fyrir innan við 750.000 kr (allur kostnaður meðtaldur, t.d. borun) miðað

| | Núvirði [kr] | Arðsemistími [ár] |
|--|--------------|-------------------|
| Með borun (stofnkostnaður 1,5 milljón) | -731.515 | Á ekki við |
| Án borunar (stofnkostnaður 1,0 milljón) | -231.515 | Á ekki við |
| Með borun og 5 ára eingreiðslu | -474.589 | Á ekki við |
| Án borunar, með 5 ára eingreiðslu | 25.410 | 19,1 |
| Með borun og 8 ára eingreiðslu | -320.433 | Á ekki við |
| Án borunar, með 8 ára eingreiðslu | 179.566 | 15,0 |

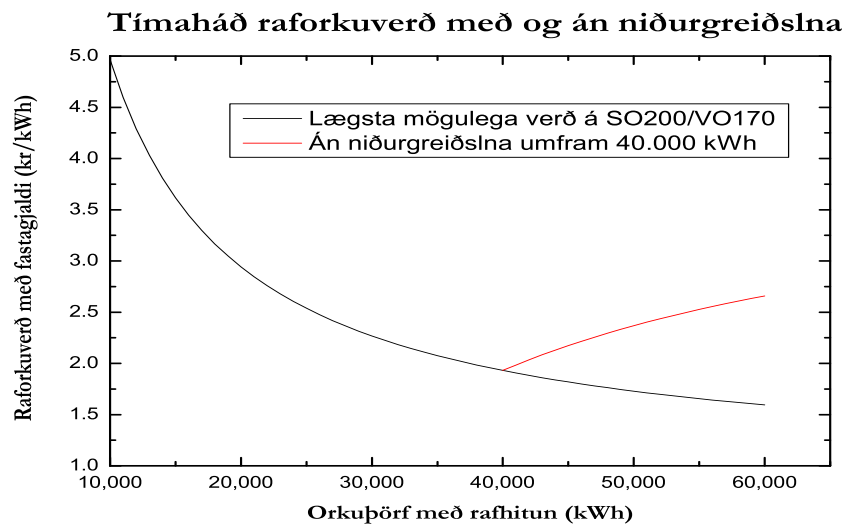
Tafla 8.7: Áhrif hugsanlegra eingreiðslna á varmadæluframkvæmd. Miðað er við 35.000 kWh raforku-notanda á ári og raforkuverð 3,0 kr/kWh. Eingreiðslur miðast við þessa sömu orkunotkun og 3,20 kr/kWh niðurgreiðslu. Líftími framkvæmdar er 20 ár, ársvarmastuðull jafn 3 og árlegur viðhaldskostnaður varmadælu metinn á 6.000 kr eins og áður og 6% vextir. Tap verður af framkvæmdinni nema hún sé undir milljón og til komi eingreiðslur.

við 3,0 kr/kWh raforkuverð. Ef notandinn er með meiri varmaþörf og greiðir hluta af raforkuverðinu án niðurgreiðslna fer hagkvæmni að gæta tiltölulega hratt með aukinni notkun, sjá graf á mynd 8.6. Á grafinu er miðað við lágsta mögulega raforkuverð með fastagjaldi sem þá krefst næturhitunar á veturnum undan-tekningarlaust.

Með eingreiðslum, ýmist til 5 eða helst 8 ára, verður verkefnið ekki eins íþyngjandi. Heildar framkvæmdarkostnaður má aukast um 200-300 þúsund kr., þ.e. má vera á bilinu 800.000-900.000 kr. án þess að um óhagkvæmni verði að ræða.

Kostnaðargreining er nú aftur framkvæmd miðað við þessar breytingar (tafla 8.8) og miðað eingöngu við 35.000 kWh orkunotanda enda er fjárhagslega erfiðara að koma upp varmadælu þegar orkunotkun er ekki meiri.

Niðurstaðan verður sú að varmaverðið sem fæst við uppsetningu varmadælu er ávallt hærra ef borunarkostnaður er tekinn með en ávallt lægra ef honum er sleppt. Hagkvæmni næst við fimm ára eingreiðslu en



Mynd 8.6: Raforkuverð með fastagjaldi í dreifbýli, eins og það getur lægst verið, sýnt sem fall af ársnotkun á bilinu 10.000 - 60.000 kWh. Við 40.000 kWh ársnotkun skiptist línan og neðri ferillinn sýnir þróun niðurgreiðs raforkuverðs umfram 40.000 kWh. Ef um einn notanda er að ræða og notkun fer umfram 40.000 kWh, eykst raforkuverðið eins og efri ferillinn sýnir (niðurgreiðsluþaki náð). RARIK gjaldskrá, SO200 og VO170.

litlu munar í varmaverði. Við 8 ára eingreiðslu er hægt að tala um raunverulega hagkvæmni, enda er þá varmaverð komið í 2,64 kr/kWh og um 21% lækkun á heildar raforkukostnaði. Viðhaldskostnaður hefur hér verið metinn lágur og um leið og skipta þarf um ofna, gera við ketil, skipta um þjöppu í varmadælu eða annað slíkt hækkar varmaverðið.

8.7 Þjóðhagsleg hagkvæmni

Ríkisvaldið hefur augljósan hag af raforkusparnaði til húshitunar vegna þeirra niðurgreiðslna sem það leggur til. Ef miðað er við 20 ára líftíma varmadælu og 8 ára eingreiðslur hlýst niðurgreiðslusparnaður ríkisins að 2/3 eftir þessi 8 ár við hverja varmadæluframkvæmd og að arðsemistíma loknum nýtur varmadælunotandi beins hagnaðar, stundum í nokkur ár. Ef við gefum okkur að um helmingur rafhitunarnotenda setji upp varmadælur er um að ræða árlegan raforkusparnað sem nemur $2/3 * 11.000 * 32.000 \text{ kWh} / 2 = 117 \text{ GWh}$, sem samsvarar um 19 MW rafafli framleiðslu. Raforkumarkaður er vaxandi og ef þessi breyting verður mun hún gerast hægt og ekki hafa teljandi áhrif á afkomu veitna. Ríkissjóður og einstaklingar sem fara í hagkvæmar varmadæluframkvæmdir hagnast en á móti kemur að innflutningur varmadælna þýðir aukin þjóðarútgjöld. Velta skapast þó kringum viðskipti og þjónustu og með stærri markaði má vel vera að framleiðsla eða hönnun geti farið fram hér á landi.

| | Með borholu, 5 ára eingreiðsla (kr) | Án borholu, 5 ára eingreiðsla (kr) | Með borholu, 8 ára eingreiðsla (kr) | Án borholu, 8 ára eingreiðsla (kr) |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Stofnkostnaður | 1.500.000 | 1.000.000 | 1.500.000 | 1.000.000 |
| Árlegur fjármagnskostnaður, varmadæla | 130.777 | 87.185 | 130.777 | 87.185 |
| Árlegur fjármagnskostnaður, rafhitun | 8.719 | 8.719 | 8.719 | 8.719 |
| Árlegar fjármagnstekjur af eingreiðslu | 22.400 | 22.400 | 35.840 | 35.840 |
| Viðhald, varmadæla | 6.000 | 6.000 | 6.000 | 6.000 |
| Viðhald, rafhitun | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 |
| Orkuþörf (kWh/ári) | 35.000 | 35.000 | 35.000 | 35.000 |
| Raforkuverð (kr/kWh) | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Ársvarmastuðull | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Afskriftartími, ár | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | | | | |
| Varmaverð, rafhitun (kr/kWh) | 3,33 | 3,33 | 3,33 | 3,33 |
| Varmaverð, varmadæla (kr/kWh) | 4,27 | 3,02 | 3,88 | 2,64 |

Tafla 8.8: Sami samanburður og tafla 8.4 sýnir, nema hér er reiknað með eingreiðslu sem svarar til fimm eða átta ára niðurgreiðslum til orkunotanda sem mynda árlegar fjármagnstekjur sem lækkar árlegan kostnað framkvæmdarinnar. Verð eru með virðisaukaskatti og gert ráð fyrir að allt rafmagn njóti niðurgreiðslu og rafhitunarafsláttu. Vextir eru 6% og allar forsendur að öðru leiti þær sömu og áður.

8.8 Ákvörðunartaka

Til að aðstoða við ákvörðun varmadæluframkvæmdar á niðurgreiðslusvæði er einfaldast að vísa í mynd 8.3 þegar um íbúðarhús er að ræða og í mynd 8.5 þegar um atvinnuhúsnæði er að ræða. Notuð er núvirðisjafnan með $N_v = 0$ og vextir hafðir 6%. Myndirnar sýna hvað allur kostnaður tengdur uppsetningu varmadælu má vera þannig að á 20 árum verði enginn hagnaður og ekkert tap. Ef eingreiðslur ríkissjóðs verða að veruleika má bæta við stofnkostnaðinn 100-200 þúsund krónur hjá meðalnotanda. Þegar um mikla rafhitunarþörf er að ræða í íbúðarhúsnæði má varmadæluframkvæmdin vera talsverð dýr án þess að hagkvæmni tapist, t.d. má 60.000 kWh/ári orkunotandi verja um 1,3 milljónum til framkvæmdarinnar án taps á 20 árum. Eingreiðsla til slíks notanda til 8 ára gæti numið 816.000 kr ef niðurgreiðsluréttur er á allri notkuninni og vextir af þeirri upphæð myndu duga til þess að greiða niður nær 1,9 milljóna króna framkvæmd. Áhrif eingreiðslna eru sýnd í töflu 8.9 með sömu tölum og á mynd 8.3 til samanburðar og miðað við 3,0 kr/kWh raforkuverð. Það er þó vert að endurtaka hér það sem áður hefur komið fram að um leið og niðurgreiðslum sleppir myndast enn meira svigrúm til varmadæluframkvæmdar, enda raforkuverð þá hærra.

Ævinlega hefur hér verið reiknað með ársvarmastuðli 3 sem gefur sparnað raforku að 2/3. Stærri varmadælu sem nýta heitar uppsprettur geta náð hærri ársvarmastuðli sem eykur enn hagkvæmni uppsetningu varmadælu. Útreikningar þessir eru hugsadur sem viðmið en við uppsetningu varmadælu skal leitast við að tryggja aðgang að eins heitum uppsprettum og kostur er á en reyna jafnframt að halda kostnaði í lágmarki til að tryggja að hagkvæmni náist og því lægri sem stofnkostnaður er því hraðar nær framkvæmdin að greiða sig upp.

| Orkunotkun [kWh] | Leyfilegt verð [kr] | Verð með 5 ára eingreiðslu [kr] | Verð með 8 ára eingreiðslu [kr] |
|------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 10.000 | 195.000 | 268.000 | 312.000 |
| 15.000 | 310.000 | 420.000 | 486.000 |
| 20.000 | 424.000 | 571.000 | 659.000 |
| 25.000 | 539.000 | 722.000 | 833.000 |
| 30.000 | 654.000 | 874.000 | 1.006.000 |
| 35.000 | 768.000 | 1.025.000 | 1.180.000 |
| 40.000 | 883.000 | 1.177.000 | 1.353.000 |
| 45.000 | 998.000 | 1.328.000 | 1.526.000 |
| 50.000 | 1.113.000 | 1.480.000 | 1.700.000 |
| 60.000 | 1.342.000 | 1.782.000 | 2.047.000 |
| 70.000 | 1.571.000 | 2.085.000 | 2.394.000 |
| 80.000 | 1.801.000 | 2.388.000 | 2.740.000 |

Tafla 8.9: Leyfilegur kostnaður varmadæluframkvæmdar miðað við stærð orkunotanda. Forsendur eru að raforkuverð sé 3,0 kr/kWh og að niðurgreiðslur séu á allri notkuninni. Eingreiðsla er reiknuð útfrá orkunotkuninni og niðurgreiðslum 3,2 kr/kWh. Vextir eru sem fyrr hafðir 6%.

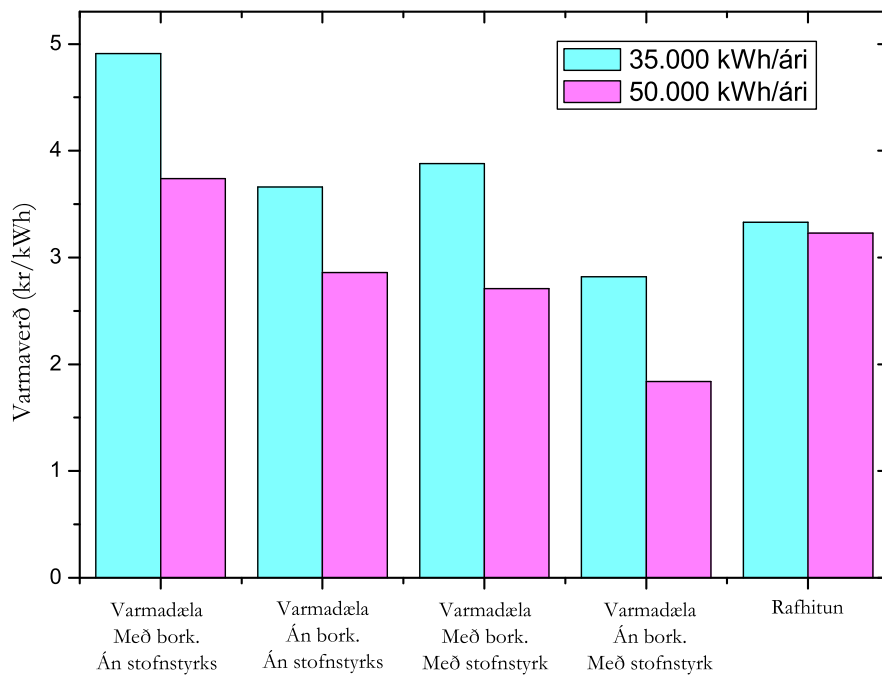
Kaflí 9

Niðurlag

Varmadælar eru öflugur kostur til upphitunar húsnæðis á Íslandi á þeim stöðum þar sem engin hitaveita er. Helst kemur til greina að nýta jarðvarma þar sem hann er til staðar en einnig má nýta læki með stöðugu rennsli, sjávarhita og jafnvel lofthita. Hagkvæmast m.t.t. orku er að nýta jarðvarma þar sem aðgengi er að volgu rennandi vatni sem tryggir stöðugt varmaflæði og eru það hinar sértæku aðstæður sem eru á Íslandi og í þeim löndum þar sem jarðvarmi er nægur. Fjárhagsleg hagkvæmni varmadæluframkvæmdar ræðst af því hversu mikil raforkunotkun er til húshitunar og verðlagningu hennar auk stofnkostnaðar varmadælu. Ekki er hægt að mæla með borun eftir jarðvarma til einstakra varmadæluframkvæmda á því verðlagi sem nú ríkir, en sjálfsagt að nýta borholur sem til eru og náttúrulegar laugar, hverir eða aðrar varmauppsprettur. Hagkvæmnin eykst með varmaorkuþörfinni og helst þarf sú orkuþörf að vera yfir meðalagi til þess að hægt sé að mæla með uppsetningu varmadælu. Stærri raforkunotendur hafa ávinning af notkun varmadælna og sérstaklega ef leiðir finnast til að halda stofnkostnaði niðri. Þegar niðurgreiðsla nýtur ekki, t.d. í atvinnuhúsnæði eða sumarhúsum, er oft hægt að mæla með uppsetningu varmadælna og sérstaklega þegar orkunotkun er mikil og getur þá verið um verulegar fjárhæðir að ræða. Samantekt varmaverðs fyrir mismunandi stofnkostnað og notkun er sýnd á mynd 9.1.

Varmadælar leiða til betri orkunýtingar þjóðarinnar og ríkissjóður hefur fjárhagslegan ávinning af stuðningi við varmadæluframkvæmdir sem létta á niðurgreiðsluþörfinni.

Samantekt varmaverðs



Mynd 9.1: Samantekt varmaverðs. Varmaverðið endurspeglar heildarkostnað vegna upphitunar á hverja kWh. Upphitunarpörf tveggja misstóra íbúðarhúsa er skoðuð. Myndin sýnir hver áhrif stofnkostnaðar, stofnstyrks (8 ára eingreiðsla) og notkunar er á varmaverðið. Forsendur útreikninga eru þær sömu og í skýrslunni, t.d. fast raforkuverð 3,0 kr/kWh, niðurgreiðslur 3,2 kr/kWh og vextir 6%.

Viðauki

Dæmi um útreikning varmaverðs og samanburður tveggja kosta. Til einföldunar eru verð skálduð en fara ekki langt frá raunverulegum upphæðum árið 2005. Vísað er í texta þessarar skýrslu um nákvæmari verð og gjaldskrár veitna hverju sinni.

Varmadæla með nýtnistuðul $COP = 3$ kostar 800.000 kr með uppsetningu og öllum hugsanlegum gjöldum. Stofnkostnaður framkvæmdar er þá $I_0 = 800.000$ kr. Samanlagt fastagjald raforkudreifingar og raforkusölu er 15.000 kr (mælagjald innifalið í fastagjaldi). Samanlagt raforkuverð í dreifingu og sölu er 6,0 kr/kWh. Niðurgreiðsla er 3,0 kr/kWh. Árlegur rekstrarkostnaður er áætlaður 10.000 kr og heildarvextir hafðir 5%. Upphitunarþörf húsnæðis er 35.000 kWh árlega og almenn notkun 5.000 kWh. Raforkuverð eru án virðisaukaskatts. Virðisaukaskattur er 24,5% á fastagjald og 14% á orkuverðið, en af þessum 14% endurgreiðir ríki 63%, þ.a. skattur á þennan hluta verður 5,18% ($0,14 \cdot (1 - 0,63) = 0,0518$).

Árlegt heildar raforkuverð verður $R = F + V_0 \cdot \text{notkun}$, samkvæmt jöfnu 8.5. Í þeirri jöfnu verður $F = 15.000 \text{ kr} \cdot 1,245 = 18.675$ kr og raforkuverð með niðurgreiðslu, virðisauka og afsláttum verður $V_0 = (6,0 \text{ kr} - 3,0 \text{ kr}) \cdot 1,0518 = 3,1554$ kr/kWh. Almenn notkun rafmagns er óniðurgreidd og myndi hér kosta $5.000 \text{ kWh} \cdot 6,0 \text{ kr/kWh} \cdot 1,245 = 37.350$ kr. Heildar raforkuverð verður í þessu tilviki $R = 18.675 \text{ kr} + 3,1554 \text{ kr/kWh} \cdot 35.000 \text{ kWh} + 37.350 \text{ kr} = 147.089$ kr/kWh ef um beina rafhitun er að ræða án varmadælu. Varmadælan sparar 2/3 raforkunnar til upphitunar og raforkusparnaður reiknast því $B = 2/3 \cdot 3,1554 \cdot 35.000 = 73.626$ kr. Frá raforkusparnaðinum verður að draga þann viðbótar viðhaldskostnað sem hlýst af varmadælunotkun og þá stendur eftir raunverulegur árlegur sparnaður sem verður við framkvæmdina. Hér er viðbótar viðhaldskostnaður metinn á 3.000 kr árlega.

Hagkvæmnisprófun getur nú farið fram. Reiknum með að varmadælan endist í 20 ár og að fjármögnun framkvæmdar standi yfir í þann tíma líka. Núvirðið reiknast samkvæmt jöfnu 8.1:

$$N_v = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 = 70.626 \text{ kr} \cdot \frac{(1 - (1 + 0,05)^{-20})}{0,05} - 800.000 \text{ kr} = 80.156 \text{ kr}$$

Hér er þá um hagkvæma rástöfun að ræða. Arðsemistíminn reiknast

$$T_a = \frac{\ln \left(\left(1 - \frac{I_0}{B} r \right)^{-1} \right)}{\ln(1 + r)} = \frac{\ln \left(\left(1 - \frac{800.000}{73.626} \cdot 0,05 \right)^{-1} \right)}{\ln(1 + 0,05)} = 17,1$$

Eftir um 17 ár hefur arðsemi verið náð, en þá hefur stofnkostnaður verið endurgreiddur einungis með þeim heildar sparnaði sem myndast árlega. Áhugavert er að bera saman varmaverð þegar notuð er rafhitun annars vegar og varmadæla hins vegar. Til þess þarf fyrst að reikna fjármagnskostnað og viðhaldskostnað ásamt raforkuverði.

Fjármagnskostnaður vegna stofnkostnaðar varmadællunnar er:

$$A_V = I_0 \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} = 800.000 * \frac{0,05}{1 - (1+0,05)^{-20}} = 64.194 \text{ kr}$$

Stofnkostnaður rafhitunar er mun minni og við notum hér 100.000 kr til að reikna fjármagnskostnað vegna stofnkostnaðar rafhitunarbúnaðar (í samræmi við uppgæfið verð í kafla 8.4):

$$A_R = 100.000 * \frac{0,05}{1 - (1+0,05)^{-20}} = 8.024 \text{ kr}$$

Ef við reiknum með 3.000 kr árlegum viðhaldskostnaði á rafhitun (J_R) og 6.000 kr árlegum viðhaldskostnaði á varmadælu (J_V), eins og gert er í þessari skýrslu, verður varmaverð vegna rafhitunar:

$$V_{VR} = \frac{A_R + J_R + R}{\text{notkun}} = \frac{8.024 \text{ kr} + 3.000 \text{ kr} + 147.089 \text{ kr}}{35.000 \text{ kWh}} = 4,52 \text{ kr/kWh}$$

Varmaverð vegna hitunar með varmadælu verður:

$$V_{VV} = \frac{A_V + J_V + R - B}{\text{notkun}} = \frac{64.194 \text{ kr} + 6.000 \text{ kr} + 147.089 \text{ kr} - 73.626 \text{ kr}}{35.000 \text{ kWh}} = 4,11 \text{ kr/kWh}$$

Í þessu dæmi verður varmaverðið 9% lægra þegar varmadæla er notuð í stað rafhitunarbúnaðar.

Ef við lítum svo á að fastagjald sé kostnaður óháður raforkunotkun verður dæmið aðeins öðruvísi. Þá lítum við einungis á raforkuverð í kr/kWh og til einföldunar hugsum við okkur að það sé óbreytt (engin breyting í taxtavali hjá þessum notanda).

Heildarkostnaður vegna rafhitunar verður 3 kr/kWh*35.000 kWh=105.000 kr. Varmaverð með rafhitun verður þá:

$$V_{VR} = \frac{8.024 \text{ kr} + 3.000 \text{ kr} + 105.000 \text{ kr}}{35.000 \text{ kWh}} = 3.31 \text{ kr/kWh}$$

Varmaverð vegna hitunar með varmadælu af sömu stærð verður:

$$V_{VV} = \frac{64.194 \text{ kr} + 6.000 \text{ kr} + 35.000 \text{ kr}}{35.000 \text{ kWh}} = 3.01 \text{ kr/kWh}$$

Að lokum hugsum við okkur að notandi með tiltölulega litla rafhitunarþörf búi við hátt raforkuverð og vilji kanna hagkvæmni við uppsetningu varmadælu. Þetta gæti verið notandi með rafhitun á svæði sem hefur hitaveitu og því hefur þessi notandi ekki rétt á niðurgreiðslu. Miðum við einn taxa sem nýttur er til almennrar notkunar og til rafhitunar, enda ekki hægt að hafa breytilega verðlagningu eftir notkun samkvæmt núgildandi raforkulögum. Fastagjald skiptir þá ekki máli í útreikningum. Látum raforkuverð vera 6,81 kr/kWh með virðisaukaskatti og orkuþörf vera 28.000 kWh til hitunar. Varmadæla með COP = 3 gæti fengist á um 700.000 kr með uppsetningu ef kostnaði er stillt í hóf. Helst þyrfti helst að vera hægt að komast í um 20 °C heitt og stöðugt vatnsrennsli í næsta nágrenni en annars mætti sækja varma úr jarðvegi og helst borholu. Árlegur raforkusparnaður verður 2/3*28.000*6,81=127.120 kr. Ef viðhaldskostnaður er 6.000 kr árlega þá verður árlegur fjármagnskostnaður miðað við 6% vexti:

$$A = 700000 * \frac{0,06}{1 - (1+0,06)^{-20}} = 61.029 \text{ kr}$$

Núvirðið verður 689 þúsund krónur og framkvæmdin borgar sig upp á rúmlega sjö árum. Varmaverðið fyrir framkvæmd verður 7,23 kr/kWh þegar fjármagns- og viðhaldskostnaður vegna rafhitunar er meðtalinn. Varmaverð eftir framkvæmd verður 4.66 kr/kWh. Varmaverðið er því 36% lægra og þá sparast sama hlutfall heildar kostnaðar vegna rafhitunar. Hér er um mikla hagkvæmni að ræða en til samanburðar er varma-verðið hjá dýrri hitaveitu um 4 kr/kWh fyrir þessa notkun, þá með fastagjaldi vegna hitaveitu og reiknað með að endurnýjun ofna auk lagnavinnu og tengingu við hitaveitu beri um 500 þúsund króna stofnkostnað með 40 ára líftíma. Öll verð með virðisauka og endurgreiðslum þar sem við á.

Heimildir

Aarlién, R.: CO₂ as a Working Fluid in Compression Systems, IEA Heat Pump Centre Newsletter, 22, 19–21, 2004.

Árbók Þingeyinga: 33. árgangur, samantekt Sverris Guðmundssonar, bls. 183, 1990.

Arnar Daníelsson: Umsjónarmaður hjá ÚA (nú Brim), persónulegar upplýsingar, 2004.

Árni Árnason: Norðurorku hf, gögn og upplýsingar frá varmadælurekstri, persónulegar upplýsingar, 2004.

Árni Ragnarsson: Orkustofnun, persónulegar upplýsingar, 2004.

Árni Ragnarsson og Þorkell Helgason: Orka Íslands: Kynningarrit um orkumál, Orkustofnun, 2003.

Arnín Óladóttir: Persónulegar upplýsingar, 2004.

Ásgeir Ólafsson og Sigurður Óli Guðmundsson: Varmadælur til húshitunar í Grímsey, frumathugun, B.Sc. verkefni við Tækniskóla Íslands, 2001.

Ásmundur Jónsson: Persónulegar upplýsingar, 2004.

Ásmundur Kristjánsson: Gistihússeigandi á Stöng í Mývatnssveit, persónulegar upplýsingar, 2004.

Ástþór Gíslason, Héðinn Valdimarsson, Sveinn Sveinbjörnsson, Sólveig Ólafsdóttir, og Kristinn Guðmundsson: Þættir úr vistfræði sjávar 2001 og 2002, skýrsla, Hafrannsóknarstofnunin, 2003.

D. Cane, A. Morrison, C. Ireland, og J. Garnet: Survey and analysis of maintenance and service costs in commercial building geothermal system, skýrsla, Caneta Research Inc., birt á heimasíðu Geoexchange.org, 1998.

EPA: United States Environmental Protection Agency: In Brief: The U.S. Greenhouse Gas Inventory, 2002.

Flóvenz, O. og Sæmundsson, K.: Heat-Flow and geothermal processes in Iceland, Tectonophysics, 225, 123 – 138, 1993.

Friðbjörn Möller: þáverandi umsjónarmaður á Grenivík, persónulegar upplýsingar, 2004.

Friðfinnur K. Daníelsson: Varmadælan á Þrándarstöðum, skýrsla til Orkusjóðs, 2004.

Fridleifsson, I.: Status of geothermal energy amongst the world's energy sources, Geothermics, 32, 379 – 388, 2003.

Friðfinnur K. Daníelsson: Alvarr ehf., persónulegar upplýsingar, 2004.

- Garðar Sigurjónsson: Jarðboranir hf., 2005.
- Gísli Júlíusson: Efnafraeðileg varmadæla, Morgunblaðið 18. desember, 2004.
- Gísli Sverrisson: Súgþurrkun með jarðvarma, fjölrit Bændaskólans á Hvanneyri, nr.30, 1979.
- Grétar Einarsson: Varmajafnvægi í gripahúsum og orkunýting, í Orkunotkun og orkusparnaður í landbúnaði, Orkusparnaðarnefnd Iðnaðarráðuneytisins, Landbúnaðarráðuneyti, Búnaðarfélag Íslands, 1983.
- Grétar Leifsson: Ísleifur Jónsson ehf., persónulegar upplýsingar, 2005.
- Grímur Björnsson: Hola 1 við Grýtubakka í Grýtubakkahreppi. Afkastaspá og hugmyndalíkan að vatnskerfi, skýrsla, Orkustofnun, OS-97029 16, 1997.
- Gísli Júlíusson: Persónulegar upplýsingar, 2004.
- Gísli Júlíusson, María J. Gunnarsdóttir, og Róbert Magnússon: Varmadæla til húshitunar; Tilraun gerð á Þörgautsstöum í Hvítársíðu, skýrsla, Landsvirkjun, Orkustofnun og Rafmagnsveitur ríkisins, unnið fyrir Orkusparnaðarnefnd Iðnaðarráðuneytisins, 1982.
- Gísli Sverrisson: Persónulegar upplýsingar, 2004.
- Guðmundur Pálmason: Jarðhitabók - eðli og nýting auðlindar, Hið íslenska bókmenntafélag, 2005.
- Guðmundur Karl Guðjónsson: Ræktunarsamband Flóa og Skeiða, tölvupóstur, 2004.
- Guðrún Sverrisdóttir: Grenivík. Efnasamsetning jarðhitavatns, Orkustofnun, greinargerð, GSV-89/05 1, 1989.
- Horntvedt, B.: Ny norsk hybrid varmpumpe, Kulde Skandinavia, bls. 6–8, 2004.
- IEA: IEA heat pump centre newsletter, IEA HPC Borås, Svíþjóð, Árg.22, nr.2, bls.11, 2004.
- Jón Þorgilsson: Persónulegar upplýsingar, 2003.
- Ketill Jónmundsson: Persónulegar upplýsingar, 2004.
- Kim, M., Pettersen, J., og Bullard, C.: Fundamental process and system design issues in CO2 vapor compression systems, Progress in Energy and Combustion Science, 30, 119 – 174, 2004.
- Kopp, T.: A Small Heat Pump with Ammonia as Working Fluid, IEA Heat Pump Centre Newsletter, 22, 22–24, 2004.
- Kristján Sæmundsson: Staða jarðhitaleitar í Grýtubakkahreppi um áramót 1998-1999, Orkustofnun, greinargerð, GRG-KS-98/20 22, 1998.
- Kristján Sæmundsson: Heitavatnsleit í Laufási fyrir Grýtubakkahrepp, Orkustofnun, greinargerð, KS-2001/21, 2001.
- Kristján Sæmundsson og Ólafur G. Flóvenz: Staðsetning hitastigulsholna kringum Grenivík, Orkustofnun, greinargerð, KS-ÓGF-97/12 4, 1997.
- Lund, J. W., Sanner, B., Rybach, L., Curtis, R., og Hellström, G.: Ground-source heat pumps: A world overview, Renewable Energy World, July-August, 218–227, 2003.

- Magnús Sigsteinsson: Handbók bænda, 1999.
- Magnús E. Finnsson: Persónulegar upplýsingar, 2004.
- Magnús Ólafsson: Jarðhiti við Grenivík. Efnasamsetning vatns, Orkustofnun, greinargerð, MÓ-88/03 3, 1988.
- María J. Gunnarsdóttir: Hagkvæmniathugun á hitaveitu með varmadælu fyrir Skútustaði og Álftagerði, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, MJG 80/07 (greinargerð), 1980.
- María J. Gunnarsdóttir: Upphitun með varmadælu á Stöng í Mývatnssveit, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-82082/JHD21 B, 1982.
- María J. Gunnarsdóttir: Varmadæla á Þórgautsstöðum; Reynsla og hagkvæmni í rekstri, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-84100/JHD-19, 1984a.
- María J. Gunnarsdóttir: Áætlun um hagkvæmni varmadælu fyrir Klúkuskóla, Bjarnarfirði, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-84078/JHD-32 B, 1984b.
- María J. Gunnarsdóttir: Varmadælu til húshitunar, skýrsla, Orkustofnun, 1984c.
- María J. Gunnarsdóttir: Varmadæla fyrir Húsabakkaskóla í Svarfaðardal; frumathugun á hagkvæmni, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-85054/JHD-19B, 1985.
- María J. Gunnarsdóttir: Arðsemi varmadælu í skólahúsnaði á Tálknafirði, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, MJG 86/04, 1986.
- María J. Gunnarsdóttir: Hagkvæmni varmadælu sem nýtir varma úr gripahúsi, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, MJG-87/03, 1987a.
- María J. Gunnarsdóttir: Värmepumpa och höge värmekällatemperatur, skýrsla, Orkustofnun/Kungliga Tekniska Högskolan, 1987b.
- María J. Gunnarsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir: Upphitun með varmadælu á Egilsá, Akrahreppi, Skagafirði, skýrsla, Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-83101/JHD-38 B, 1983.
- Margrét Þóra Þórsdóttir: Morgunblaðið, 2005.
- María J. Gunnarsdóttir: Värmepumper i Island, í Nye områder for varmpumper, 3:e Nordiske Värmepumpedage, Orkustofnun, Reykjavík, 1987.
- Ólafía Sigmarsdóttir: Persónulegar upplýsingar, 2005.
- Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson: Jarðhitarannsókn við Grenivík í september 1987, Orkustofnun, greinargerð ÓGF-KS-87/13 1, 1987.
- Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson: Hitastigulskort af Íslandi, 1999.
- Pahud, D. og Matthey, B.: Comparison of the thermal performance of double U-pipe borehole heat exchangers measured in situ, Energy and Buildings, 33, 503 – 507, 2001.
- Pearson, S. F.: Natural Refrigerants for Heat Pumps, IEA Heat Pump Centre Newsletter, 22, 13–16, 2004.

- Rasmussen, R.: Prosjektering av kuldeanlegg og varmepumper, Gyldendal Undervisning, 2002.
- Rivoalen, H.: Heat pump market overview, Europe, skýrsla, 2002.
- Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinis, D., og Rybach, L.: Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe, Geothermics, 32, 579 – 588, 2003.
- SMU Geothermal Laboratory: <http://www.smu.edu/geothermal/heatflow/heatflow.htm>, 2004.
- Snorri Hafsteinsson: Rafhitun ehf., persónulegar upplýsingar, 2005.
- Statens Energimyndighet: Villavärmepumpar: Energimyndighetens sammanställning över varmepumpar för småhus, skýrsla, Energimyndigheten, Svíþjóð, 2004.
- Stefán H. Steindórsson: Norðurorka hf., persónulegar upplýsingar, 2005.
- Stefán Hlíðar Jóhannsson: Persónulegar upplýsingar, 2005.
- Steingrímur Jónsson: Sérfræðingur á Hafrannsóknarstofnun, persónulegar upplýsingar, 2004.
- Steinunn Hauksdóttir, Þorsteinn Egilson, Bjarni Gautason, og Ólafur G. Flóvenz: Norðurorka 2003 : eftirlit með jarðhitasvæðum og orkubúskap veitunnar, skýrsla, Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/039, 2004.
- Stene, J.: Varmepumper; Grunnleggende varmepumpeteknikk, skýrsla, SINTEF Energiforskning AS, Klima- og kuldeteknikk, 2001.
- Surma, F. og Geraud, Y.: Porosity and thermal conductivity of the Soultz-sous-Forets granite, Pure and Applied Geophysics, 160, 1125 – 1136, 2003.
- Sveinn Helgason: Persónulegar upplýsingar, 2004.
- Verkfræðistofa Norðurlands ehf: Hitaveita í Grýtubakkahreppi, skýrsla, Grýtubakkahreppur, Norðurorka, 2004.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. og Rafmagnsveitur ríkisins: Grenivík. Forathugun um jarðhita-veitu, Rafmagnsveitur ríkisins, Orkuráð, 1998.