

**Varmadælur
og hlutverk þeirra á Íslandi**

Oddur B. Björnsson

Erindi flutt eftir aðalfund Jarðhitafélagsins 23. apríl 2003

Efnisyfirlit

EFNISYFIRLIT	3
INNGANGUR	5
VARMADÆLUR – SKILVIRKASTA ORKUFERLIÐ TIL UPPHITUNAR	5
MEGINFORSENDUR FYRIR ARÐSEMI VARMADÆLU	6
<i>Stofnkostnaður pr. varmaafli</i>	6
<i>Nýtingartími hámarksafli</i>	6
<i>Ársvarmastuðull F</i>	7
<i>Þýðing hitamunar</i>	8
<i>Stjórnun og reglun varmadælukerfis</i>	9
<i>Samantekt - 7 hollráð varðandi varmadælu</i>	9
VARMALINDIR	10
HVAÐA EIGINLEIKA ÞARF GÓÐ VARMALIND AÐ HAFA?.....	10
JARÐVARMÍ	10
SJÓR	11
ÚTILOFT	12
VARMÍ ÚR JÖRÐU.....	12
<i>Grunnvatn</i>	12
<i>Bergvarmi</i>	13
<i>Jarðvegshiti</i>	13
FJÁRHAGSLEGAR FORSENDUR	15
STOFNKOSTNAÐUR VARMADÆLUKERFA	15
RAFORKUVERÐ TIL VARMADÆLNA	16
HAGKVÆMNI VARMADÆLU	17
AFLSTUÐULL VARMADÆLU	17
HVAÐ MÁ VARMÍ FRÁ VARMADÆLU KOSTA?	17
SAMANBURÐUR Á VARMADÆLU OG RAFHITUN	18
HVAÐ MÁ VARMADÆLUKERFI KOSTA?.....	18
HVE HÁUM VATNSHITA GETUR VARMADÆLA SKILAÐ INN Í HITAKERFI?	19
EINFALDUR ENDURGREIÐSLUTÍMI FJÁRFESTINGAR.....	21
SAMKEPPNISSTAÐA VARMADÆLU	22
VARMADÆLUR Á ÍSLANDI	23
VARMADÆLUR NORÐURORKU (HITAVEITU AKUREYRAR)	23
<i>Fyrri varmadælan 1984-1998</i>	23
<i>Síðari varmadælan 1998-</i>	23
TILRAUNAELDISSTÖÐ HAFRÓ Á STAÐ VIÐ GRINDAVÍK.....	24
ÞÓRGAUTSSTAÐIR Í HVÍTÁRSÍÐU	24
VARMADÆLUR Í EVRÓPU – NOKKUR DÆMI	27
REYNSLA AF VARMADÆLUM Í NOREGI - STYRKUR TIL VARMADÆLUKAUPA	27
DANMÖRK – NIÐURGREIÐSLA TIL VARMADÆLUKAUPA	27
SVÍÞJÓÐ – FLESTAR VARMADÆLUR Á NORÐURLÖNDUM	27
JARÐ - VARMADÆLUR Í EVRÓPUSAMBANDSLÖNDUM	28
VARMADÆLUR Í SVISS	28
VIÐAUKI A	29
HVERS VIRÐI ER ORKA Í VARMAFRÆÐILEGUM SKILNINGI?	29
VARMADÆLUR	30
CARNOT VIRKNI.....	31
RAUNVERULEGT VARMADÆLUFERLI	31
RAUNVERULEG VIRKNI VARMADÆLU.....	32
HEIMILDIR	34

Varmadælar og hlutverk þeirra á Íslandi

Oddur B. Björnsson

Inngangur



Maður að nafni William Thomson (1824-1907), betur þekktur sem Kelvin lávarður og síðar “Baron Kelvin of Largs”, ritað grein í vísindatímarit árið 1852 sem hann nefndi “*On the economy of the heating or cooling of buildings by means of currents of air*” og markaði þar með upphaf varmadælna og kælivéla eins og við þekkjum þær nú [1]. Áður hafði fransk vísindamaðurinn Sadi Carnot (1786-1832) skilgreint orkuferli varmadælu í tengslum við 2. lögmál varmafræðinnar með s.k. Carnot ferli. Kælivélar hafa verið notaðar frá því fyrir aldamótin 1900 en varmadælar náðu ekki útbreiðslu fyrr en seint á síðustu öld. Ástæða þess að varmadælar hlutu seint almenna útbreiðslu var m.a. lágt orkuverð lengst af síðustu aldar og að ekki svaraði kostnaði að sækja varma úr umhverfinu með dýrum búnaði. Með olúkreppunni svökölluðu á áttunda áratugnum jókst áhugi á notkun varmadælna. Ennfremur þegar tekið var að beina athygli að um-

hverfismálum og orkusparnaði var litið til varmadæluunnar sem áhugaverðan valkost í orkumálum.

Varmadælar spara um 60-80% af frumorku við húshitun í samanburði við hitun með jarðeldsneyti og beina rafhitun. Ef varmadæla kemur í stað eldsneytisbruna stuðlar hún að minnkun gróðurhúsalofttegunda. Á Íslandi þar sem rafmagn er framleitt með vatns- og jarðvarmaorku ganga rafknúnar varmadælar fyrir umhverfisvænni orku. Allt er þetta í anda Bruntland nefndarinnar (1987) um umhverfisvæna orkuframleiðslu með lágmarksnotkun frumorku, sem hafði mikil áhrif á fjölgun varmadælna á Norðurlöndum og víðar á níunda og tíunda áratugnum. Ennfremur er notkun nýjustu gerða varmadælna í anda Kyoto sáttmálans (1997) um minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda. Varmadælan er því nútímalegt tæki til framleiðslu á varmaorku til margs konar nota, s.s. húshitunar, sundlauga, sjávardýraeldis og í iðnaði. Þetta skýrist betur hér á eftir.

Varmadælar – skilvirkasta orkuferlið til upphitunar

Þegar tekið er mið af nýtingu aðgengilegrar frumorku (exergy), er varmadælutæknin skilvirkasta tæknin sem völ er á til upphitunar við meðal og lág hita, en varmadæla notar um 60 til 80% minna af aðgengilegri orku en bein upphitun með olú, gasi eða rafmagni (sjá umfjöllun um aðgengilega og óaðgengilega orku í *Viðauka A*). Við þennan samanburð er gert ráð fyrir að rafmagnið sem notað er til að knýja varmadæluna sé framleitt með endurnýjanlegri orku, vatnsafla eða jarðvarma. Ástæðan fyrir þessum mun er að *varmadælan nýtir varma úr umhverfinu* við lágan hita, svo sem úr andrúmslofti, grunnvatni, jarðvarma og sjó, og með raforku er hiti varmalindarinnar hækkaður þannig að umhverfisvarminn nýtist m.a. til húshitunar eða hitunar neysluvatns. Með varmadælu, sem í raun er einnig kælivél, má nýta sama tækjabúnað til upphitunar á vetrum og kælingar á sumrin. Ennfremur nýtast varmadælar í ýmis konar iðnfyrirtækjum.

Auk áður nefndrar skilvirkni varmadælna gagnvart orkunotkun í samanburði við hefðbundnar upphitunaraðferðir nýtir varmadælan *hreina* orku (rafmagn frá vatnsorkuverum og jarðvarma). Upphitun með jarðefnaeldsneyti hefur í för með sér mengun andrúmsloftsins, svo sem losun á SO₂, NO_x og CO₂.

Á Íslandi eru aðstæður til notkunar varmadælna að mörgu leyti hagstæðar, þar sem við höfum

- hreina raforku frá endurnýjanlegum orkugjöfum (vatnsorku, jarðvarma)
- fremur milt loftslag og þörf á upphitun nær allt árið
- aðgengilegar varmalindir við hæfilegan hita, s.s. jarðvarma (lágheit), útiloft (milt loftslag), sjó, grunnvatn.

Erlendis keppa varmadælur við hefðbundnar upphitunaraðferðir, svo sem gas-, olíu- eða rafmagnshitun, en hér á landi einkum við rafmagnshitun. Varmadælur hafa hingað til verið dýrar í innkaupum, uppsetningu og viðhaldi, en nota aftur á móti mun minni frumorku (60-80%) eins og áður segir við að uppfylla sömu varmaþörf. Til þess að fjárfesting í varmadælu teljist arðbær, verður stofnkostnaður að greiðast niður með minni orkukaupum á tiltölulega fáum árum.

Nokkur atriði er mikilvægt að hafa í huga við val, undirbúning og uppsetningu á varmadælu svo vel takist til og verður þeirra getið hér á eftir.

Meginforsendur fyrir arðsemi varmadælu

Margt getur haft áhrif á orkunýtingu og arðsemi varmadælukerfis. Arðsemin ræðst m.a. af því hvernig kerfið er útfært, en eftirfarandi fjögur atriði skipta einna mestu máli [2]:

1. stofnkostnaður kerfisins sem hlutfall af uppsettu varmaafli, þ.e. kr/kW varma
2. rekstrartími, oftast er miðað við s.k. nýtingartíma hámarksafls, τ
3. ársvarmastuðull F varmadælukerfisins
4. orkuverð (kr/kWst) rafmagns og annarra orkugjafa í samkeppni við varmadæluna

Stofnkostnaður pr. varmaafli

Kostnaður við varmadælukerfi er mjög breytilegur. Skiptir þar miklu hvaða varmagjafa varmadælan nýtir og hve mikinn kostnað þarf að leggja í til að sækja varmann og flytja hann að varmadælunni. Varmaaflið, kr/kW, er langdýrast frá minnstu varmadælunum (<5 kW) en lækkar hratt með stærð upp í 50 kW og leitar síðan hægt niður á við eftir því sem varmadælan stækkar upp að 10 MW. Varmadæla fyrir venjulegt íbúðarhús er 5 til 10 kW að varmaafli. Miðað við tölur frá Svíþjóð fyrir árið 2002 [3] kostar loft/vatn varmadæla um 70.000 kr/kW uppsett, en varmadælur sem nýta varma úr jörðu allt að 120.000 kr/kW, þegar borholur, dæla og lagnir eru meðtaldar. Varmaaflið er mun ódýrara í stórum varmadælum, t.d. kostaði varmadæla Norðurorku, sem er 2 x 2 MW að varmaafli, um 9.000 kr/kW uppsett.

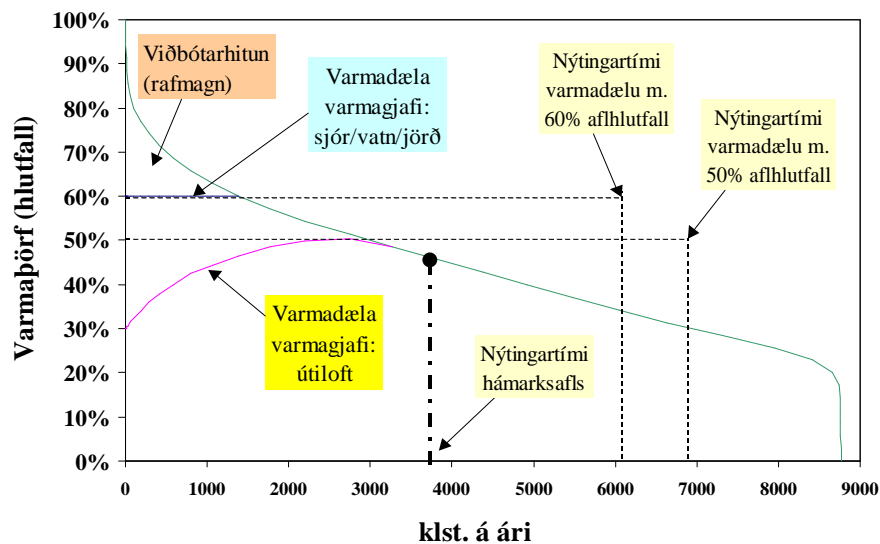
Venjulegir rafhitarar fyrir hitun einbýlishúss kosta um 10 til 15% samanborið við varmadælukerfi [20]. Varmadælan notar um 25 til 30% af raforku miðað við hefðbundna rafhitun. Einingarverð varmaafilsins og raforkuverð skipta því höfuðmáli varðandi hagvæmni varmadælukerfis, auk nýtingartíma ofl. sem getið er hér á eftir.

Nýtingartími hámarksafls

Til að nýta fjárfestingu í varmadælukerfi sem allra best, er mikilvægt að árlegur gangtími sé sem lengstur og uppsett varmaafköst varmadælnnar séu sem best nýtt. Nýtingartími hámarksafls varmadælu, τ , er sá tími á ári (klst) sem margfaldaður með hámarksafköstum

varmadællunnar svarar til heildarvarmaorku sem varmadælan skilar yfir árið. *Mynd 1* skýrir þetta nánar.

Þegar afköst varmadælu sem notuð er til upphitunar eru ákveðin með það að markmiði að ná sem lengstum nýtingartíma hámarksafls þarf að taka mið af því hvernig varmaþörf hjá notanda breytist yfir árið. *Mynd 1* sýnir dæmigerðan langæisferil varmaþarfar á SV-horni Íslands, en ferillinn sýnir hámarksvarmaþörf og síðan hve marga daga á ári varmaþörfin er meiri en eitthvert tiltekið hlutfall af hámarki. Þannig er t.d. aflþörfin meiri en 60% af hámarksafla í 58 daga (um 1400 klst.) á ári. Ef varmadæla er hins vegar notuð í iðnaði er nýtingartíminn óháður árlegri sveiflu í útihita og er þá varmadælan jafnan valin með hliðsjón af hámarksálagi. Nýtingartími er þá 6000 til 8000 klst. á ári.



Mynd 1 Langæisferill varmaþarfar á SV-horni landsins. Hluttur varmadælu a) með útiloft og b) með sjó/vatn/jarðhita sem varmagjafa. Toppafl með öðrum orkugjafa t.d. rafmagni.

Afköst varmadælu sem notuð er til upphitunar eru gjarnan miðuð við 50 til 60%¹ af hámarks-aflþörf, sem vegna lögunar langæisferilsins svarar til 92 til 97% af varmaorkuþörf yfir árið. Nýtingartími varmadælu við upphitun bygginga sem valin er með þetta að leiðarljósi er að jafnaði milli 6000 og 7000 klst. á ári miðað við aðstæður á Íslandi. Það sem á vantar kemur frá öðrum varmagjöfum, s.s. rafmagni eða olfukötum, sem eru ódýrir varmagjafar í innkaupum en dýrir í rekstri, öfugt við varmadælu. Stofnkostnaður slíkrar samsetningar er mun lægri en ef varmadælan annað allri varmaþörfinni. Annað sem mælir með því að velja varmadælu með 50 til 60% aflhlutfall, er að tíminn sem varmadælan er rekin á hlutálagi styttest. Ársvarmastuðull varmadællunnar verður því hærri vegna hærri meðalnýtni þjöppu og rafmótors.

Ársvarmastuðull F

Á einfaldan hátt má segja að varmadæla framleiði varma Q_k [kW] sem er jafn summu varmans sem hún nýtir úr umhverfinu Q_o [kW] og rafaflsins sem mótórin notar P_r [kW]. Hlutfallið á milli framleidds varma Q_k og rafaflsins P_r er s.k. aflstuðull varmadællunnar e (e. COP: Coefficient of Performance, sjá *Viðauka A*):

¹ Þegar loft er notað sem varmagjafi fer hlutfallið allt niður í 30% þar sem lofthiti er lægstur þegar varmaálag er mest.

$$e = Q_k/P_r \quad \text{Aflstuðull varmadælu}$$

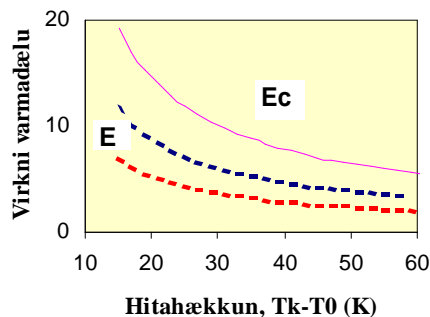
Ársvarmastuðull varmadælu F (e. SPF: Seasonal Performance Factor) er hlutfallið á milli heildarvarmaorku E_k [kWst] sem varmadælan framleiðir yfir árið og heildaraforku sem þarf til að knýja hana yfir árið W_r [kWst]. Þessi stuðull er notaður þegar arðsemi varmadælukerfis er metin:

$$F = E_k/W_r \quad \text{Ársvarmastuðull varmadælu}$$

Ársvarmastuðullinn er háður tæknilegri útfærslu varmadælu, reglun hennar og nýtingartíma hámarksafis, en ekki síst þeim hitamun sem varmadælan vinnur við. Orkunotkunin og þar með raforkukostnaður yfir árið eru nátengd ársvarmastuðlinum. Það er því mikilvægt að varmadælan vinni við sem hagstæðust hitaskilyrði.

Þýðing hitamunar

Aflstuðull varmadælu lækkar hratt þegar munur á hita varmagjafa (varmalindar) og viðtaka varmadælu eykst. **Mynd 2** sýnir hvernig aflstuðullinn breytist með hitamun í varmadæluferli, annars vegar í s.k. Carnot ferli sem sýnir fræðilegan (hámarks)aflstuðul og hins vegar í raunverulegu varmadæluferli þar sem tekið er tillit til ýmissa tapa í ferlinu (sjá *Viðauka A*).



Mynd 2 Aflstuðull Carnot ferlis annars vegar, ϵ_c , og raunverulegs varmadæluferlis, ϵ , hins vegar

Oft takmarka ytri aðstæður val á varmagjafa fyrir varmadælu. Ef val stendur á milli mismunandi varmalinda, er að jafnaði valin sú sem hefur hæstan ársmeðalhita. Stofn- og rekstrarkostnaður við virkjun og nýtingu varmalindarinnar getur þó haft afgerandi áhrif á valið.

Eins og áður segir er aflstuðull varmadælu hæstur þegar hitamunur á milli varmagjafa og varmaviðtaka er sem minnstur. Á sama hátt minnka nýtingarmöguleikar varmans eftir því sem hiti frá varmadælu er lægri. Því verður að finna hagkvæmstu lausn sem sameinar hæstu nýtni og notagildi varma frá varmadælu.

Þegar varmadæla er notuð til upphitunar ætti að velja gólfhitakerfi eða ofnakerfi með stórum ofnum og lágum meðalhita í stað hefðbundinna ofnakerfa. Ef hitasvið varmadælu er bundið af kröfum notanda, t.d. í iðnaðarferli, er leitast við að hafa varmaskiptafleti í varmadælurásinni, þ.e. eimi eða uppgufara og eimsvala, sem stærsta til að minnka hitamun á milli vinnuvökva varmadælu og varmagjafa (eimir) annars vegar og varmaviðtaka (eimsvali) hins vegar.

Tafla 1 sýnir dæmi um hvernig aflstuðullinn breytist milli varmaviðtaka sem krefjast mismunandi framrásarhita. Í töflunni er sýndur fram- og bakrásarhiti í hinum mismunandi hitakerfum. Gildin í töflunni eru miðuð við 6°C heita varmalind.

Hitakerfi (fram- og bakrás við hönnunarálag)	Aflstuðull varmadælu, e (viðmiðunargildi)
Gólfhitakerfi (40°C/30°C)	4-5
Lághita ofnakerfi (55°C/45°C)	3-4
Venjulegt ofnakerfi (80°C/40°C)	2-2,5

Tafla 1 Dæmigert hitasvið mismunandi hitakerfa og aflstuðull varmadælu við þau skilyrði

Stjórnun og reglun varmadælukerfis

Mikilvægt er að stjórna og regla afköstum varmadælu sem nákvæmast í samræmi við aflþörf. Ef þessu er ekki gefinn nægur gaumur getur aflstuðull lækkað verulega í rekstri við mismunandi álag. Þetta er ekki eins áriðandi þegar varmadælur eru notaðar í iðnfyrirtækjum þar sem þær eru þá yfirleitt reknar á föstu álagi nálægt hámarksafköstum. Í hitakerfum bygginga þarf stöðugt að aðlaga varmadæluna að breytilegu varmaálagi og hitakröfum. Þrjár meginreglur ætti að halda í heiðri varðandi varmadælukerfi:

- Vatnshita í hitakerfi ætti ávallt að halda eins lágum og unnt er án þess þó að hafa áhrif á þægindi innandyra og stýra framrásarhita í takt við breytilega varmaþörf
- Uppblöndun fram- og bakrásar á ekki heima í hitakerfum tengdum varmadælum
- Varmadælan á alltaf að vera fyrsta þrep í upphitun og afköst hennar skal nýta til fulls áður en toppafl kemur inn.

Með þessu ætti að vera tryggt að varmadælan sé rekin allt árið um kring með hæsta mögulega aflstuðli og að sú varmalind sem kostnaðarminnst er að virkja sé fullnýtt.

Samantekt - 7 hollráð varðandi varmadælur

Það sem að framan er sagt má taka saman í eftirfarandi sjö hollráð:

- Nýta aðgengilega varmalind með sem hæstan ársmeðalhita
- Hanna varmadælukerfið í samræmi við aðstæður hverju sinni
- Velja afköst varmadælu með sem lengstan nýtingartíma hámarksafls í huga
- Nýta varmadæluna sem grunnafli
- Viðhafa stýringu og reglun í takt við breytilega varmaþörf notanda
- Nota lághitakerfi til upphitunar, s.s. gólfhitakerfi, lofthitakerfi, stóra ofna
- Ekki hafa uppblöndun í hitakerfi hússins

Varmalindir

Hvaða eiginleika þarf góð varmalind að hafa?

Varmalindir þurfa að vera:

- í nægilegu magni og aðgengilegar við notkunarstað
- við sem hæstan ársmeðalhita þannig að hitahækkun frá varmalind til notanda verði sem minnst
- með mikla varmarýmd
- með góða varmaflutningseiginleika
- sem minnst tærandi og mengandi
- auðvelt og ódýrt að virkja
- flutningur orku frá uppsprettu að og frá varmadælu sem ódýrastur

Varmalind	Hitasvið við hönnunarhita (-15°)	Hitabreyting yfir árið
Sjór:		
Vestmannaeyjar	5-6°C	0-5°C
Æðey, Grímsey, Mjóifjörður	0-1°C	0-10°C
Vötn og dragár	0-4°C	5-8°C
Grunnvatn	3-5°C	
Útiloft	-15°C	0-35°C
Jarðvarmi (volgrur)	10-30°C	
Iðnaðarvatn (frárennsli, afgangsvatn)	>10°C	
Skólþvatn	8-10°C	

Tafla 2 Nokkur dæmi um varmalindir og hitasvið þeirra

Jarðvarmi

Vatn úr velgjum (5-10°C), volgrum (10-25°C) og laugum (25-70°C) hentar vel sem varmagjafi fyrir varmadælur. Hiti á bilinu 10 til 30°C er ákjósanlegastur, því ef hitinn er hærri, t.d. 35°C til 45°C, má nýta jarðhitavatnið beint til upphitunar í gólfhitakerfi eða lofthitakerfi í nýjum húsum og varmadælan er ekki samkeppnisfær. Í eldri húsum þar sem fyrir er ofnakerfi sem gert er fyrir hærri hita, t.d. 80/40°C ofnakerfi, kæmi varmadæla þó að góðum notum við að hækka 35 til 50°C heitt jarðhitavatn upp í 70 til 80°C og þyrfti þá ekki að gera neinar breytingar á húskerfinu. Fáein dæmi um notkun jarðhita sem varmagjafa fyrir varmadælur á Íslandi eru sýnd í **Töflu 3** hér að neðan. Fjallað er um nokkur þeirra sérstaklega síðar.

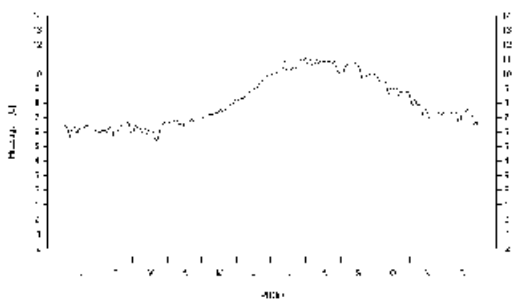
Staður	Varmaafköst kW	Hiti varmalindar °C	Ársvarmastuðull
Þórgautsstaðir	9	17	2,9
Hofsstaðir	14	20	2,6
Grænavatn	11	6	2,2
Nauteyri	17	36	2,9
Tálknafjörður	50	36	3,6
Staður Grindavík	(75)	7 (jarðsjór)	ekki þekkt
Akureyri	4000	27 (bakrásarvatn)	4,5

Tafla 3 Nokkur dæmi um varmadælur á Íslandi tengdar jarðvarma [4,5]

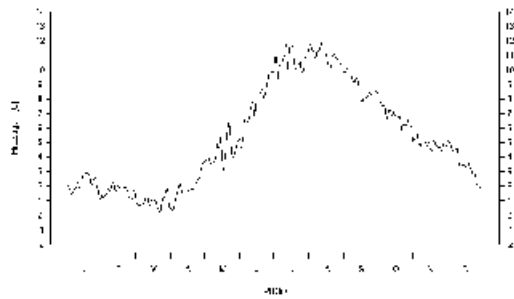
Sjór

Í Haffræði Unnsteins Stefánssonar [6] segir m.a. að við Ísland mætist ólíkir hafstraumar. Golfstraumurinn, 6°C heitur, kemur úr Mexíkóflóa og mætir Austur-Grænlandsstraumnum sem ber kaldan sjó, innan við 0°C, frá norðurslóð. Meginstofn Golfstraumsins streymir austur yfir Atlantshafið, alllangt suður af landinu, en grein úr honum kemur að suðurströnd landsins. Hlýsjórinn streymir til vesturs fyrir Reykjanes og þaðan áfram norður með Vesturlandi til Vestfjarða. Úti fyrir Vestfjörðum greinist straumurinn í tvennt og meginhlutinn streymir til vesturs í átt til Grænlands. Minni kvíslin streymir til norðausturs með Vestfjörðum. Ef streymið er mikið norður fyrir land, má greina áhrif hlýsjávarins við norðanverða Austfirði. Á veturna er straumur Atlantssjávar norður fyrir land lítill, en þegar líða tekur á vorið streymir hlýsjórinn venjulega með auknum krafti norður fyrir land.

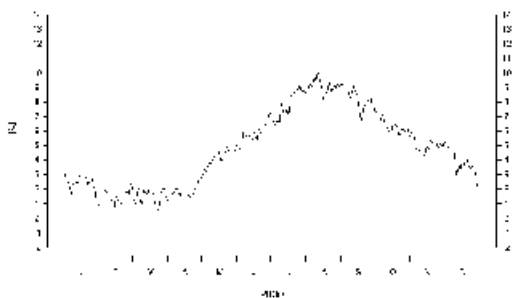
Hafrannsóknastofnunin mælir sjávarhita reglulega á mörgum stöðum umhverfis landið. Dæmi um sjávarhita í Vestmannaeyjum, Æðey, Grímsey og í Mjóafirði má sjá á **Mynd 3 a til d**, sem sýnir niðurstöður mælinga árið 2000 [7]. Sjórinn er að mörgu leyti góð varmalind fyrir varmadælu, einkum við Suður- og Vesturland þar sem sjávarhiti er hæstur hér við land. Á veturna fer sjávarhiti í Vestmannaeyjum vart undir 5°C og upp í 11-12°C yfir hásumarið. Sjávarhiti er talsvert lægri á Vestfjörðum og fyrir Norðurlandi og Austurlandi yfir veturinn (sjá mælingar frá Æðey, Grímsey og Mjóafirði), eða á milli 0 og 1°C í febrúar-apríl, en fer upp í 10-11°C í júlí/ágúst. Aðstæður við Suður- og Vesturland bjóða því upp á hlýrri sjó yfir vetrarmánuðina og minni hitasveflu milli árstíða en annars staðar við strendur landsins.



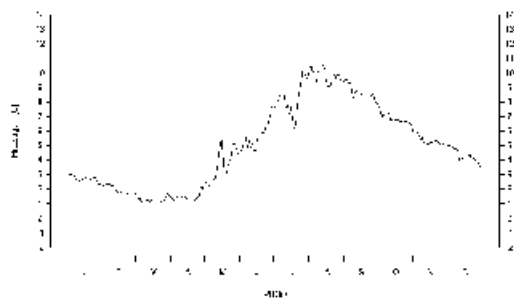
a) Vestmannaeyjar



b) Æðey



c) Grímsey

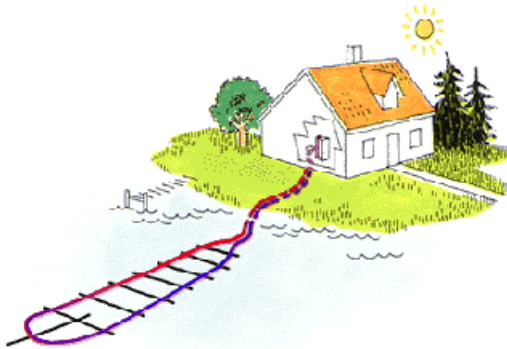


d) Mjóifjörður

Mynd 3 Sjávarhiti á nokkrum stöðum umhverfis Ísland skv. mælingum Hafrannsóknastofnunarinnar árið 2000 [7].

Varmaupptaka úr sjó getur verið með beinum eða óbeinum hætti. Með beinum hætti er sjór tekinn beint inn í eimi varmadælnnar. Það hefur þó vissar hættur í för með sér því sjórinn er mjög tærandi og hætta er á að sjór og kælimiðill geti blandast með slæmum afleiðingum.

Með óbeinu aðferðinni er sjórinn tekinn inn í gegnum varmaskipti sem hitar upp frostlagarblöndu (vatn/glykól) sem hringrásað er í gegnum varmaskiptinn og eiminn. Við þennan milli-lið tapast um 3-5°C í hita sem lækkar aflstuðul varmadælnnar og eykur hitamun á varmalind og varmaþega. Varmaskiptar úr títan málm og sjótökulögn með síum og sjódælum er dýr búnaður sem krefst reglulegs eftirlits og hreinsunar og hentar aðeins með stórum varmadælum. Nokkur slík kerfi voru byggð í Svíþjóð á áttunda og níunda áratugnum.



Önnur aðferð sem hentar betur minni kerfum og hefur verið notuð víða um heim, er að leggja plastslöngur út í sjó og dæla kælimiðli varmadælnnar þar um. Slöngurnar gegna því hlutverki eimis (uppgufara) varmadælnnar. Meðfylgjandi skýringarmynd og aðrar í þessum kafla, eru ættaðar frá Noregi, þar sem talsverður uppgangur hefur verið í notkun lítilla varmadælna til upphitunar heimila. Myndin hér til hliðar sýnir dæmigerða varmaupptöku-laufu í sjó eða stöðuvatni.

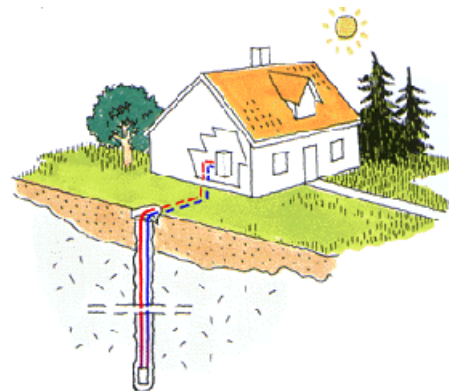
Útiloft

Enda þótt útiloft sé langalgengasta varmalind varmadælna hentar það ekki allskostar vel sem varmagjafi. Helsti kosturinn er hve aðgengilegt það er og loft/loft varmadælur eru gjarnan einnig notaðar á sumrum til kælingar. Ókostur við að nota útiloft er að það er kaldast þegar varmaþörf er mest og aflstuðull varmadælnnar lækkar þar sem hitabil á milli varmalindar og varmaþega eykst. Almennt má segja að afköst varmadælu minnki um 4% við hverja gráðu sem hiti varmalindarinnar lækkar. Loftvarmadælur henta því best þar sem lofthiti er ekki of lágur og sem jafnastur, s.s. nálægt sjó. Verjast verður hrímmyndun á eimi þegar hiti nálgast frostmark. Af öllu þessu falla afköst varmadælnnar því verulega þegar útihiti lækkar undir frostmark, eins og sjá má á **Mynd 1** hér að framan. Varmafræðilega hefur loft ýmsa ókosti. Það hefur litla varmarýmd, þ.e. lágan eðlisvarma og eðlismassa, og lélega varmaflutnings-eiginleika. Þetta kallar á mikið loftstreymi, stóra varmaskiptafleti og mikinn hitamun á milli lofts og kælimiðils.

Varmi úr jörðu

Grunnvatn

Hvað hita varðar er grunnvatn góð varmalind fyrir varmadælur. Á Íslandi er grunnvatnshiti á milli 3-5°C eftir því hvar á landinu er og dýpi. Árstíðabundin hitasveifla hefur áhrif á efstu tvo metra grunnvatnsborðsins, en þar fyrir neðan er hitinn stöðugur uns hann tekur að hækka með auknu dýpi í samræmi við hitastigul svæðisins. Hér á landi er óvenjumikið um vatnslindir vegna mikillar úrkomu og lektar, einkum á hraunasvæðum [13]. Hraunasvæðin eru þó heldur kaldari en önnur þar sem vatn streymir að þeim frá hærri stöðum. Til eru staðbundin svæði t.d. á Suðurlandi þar sem grunnvatnshitinn er hærri og jafnari en annars staðar, um 5°C árið um kring.



Nýta má grunnvatn sem varmagjafa fyrir varmadælu með ýmsu móti, en algengast er að bora grunnar borholur og dæla vatni úr þeim. Stundum er vatni skilað aftur ofarlega í sömu holu eða því sleppt á yfirborði. Ennfremur er notuð óbein upptaka með slöngum (slaufur, lokuð hringrás) sem komið er fyrir í borholum.

Þegar vatn er notað sem varmagjafi fyrir varmadælu takmarkast nýting þess við kælingu niður í um 2°C vegna frosthættu. Úr 1 l/s af 4°C heitu grunnvatni er þá hægt að fá um 8,4 kW varma inn í eimi varmadælu, táknað með Q_0 . Ef aflstuðull varmadælu er $\epsilon = 3,5$ fengjust um 12 kW af nýtanlegum varma til upphitunar, þ.e.

$$\epsilon = COP = \frac{Q_1}{P_r} \quad \text{og} \quad Q_1 = Q_0 + P_r, \quad \text{en } P_r \text{ tákna rafmagnsnotkun þjöppumótors}$$

$$Q_1 = \frac{Q_0 \cdot \epsilon}{\epsilon - 1} \quad \text{og} \quad Q_1 = \frac{m \cdot (t_{v1} - t_{v2}) \cdot c_p \cdot \epsilon}{\epsilon - 1}$$

þar sem m (l/s) er rennsli vatnsins í gegnum eimi varmadælu og t_{v1} og t_{v2} hiti vatnsins inn og út úr eimi. Þegar tölur eru settar inn í jöfnuna kemur í ljós að úr 8,4 kW varmalind við 4°C (sem er óaðgengilegur varmi við venjuleg skilyrði) fást tæplega 12 kW af 35 til 40°C heitu vatni með 3,4 kW rafafli á þjöppumotor, þ.e.,

$$Q_1 = \frac{1 \cdot (4 - 2) \cdot 4,2 \cdot 3,5}{3,5 - 1} = 11,8 \text{ kW}$$

sem nægir til að hita um 500 m³ einbýlishús með gólfhitakerfi.

Bergvarmi

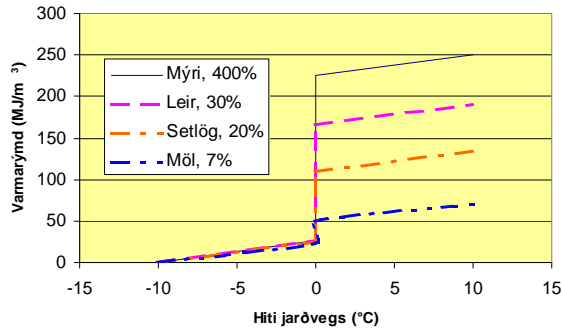
Varma má einnig fá úr jörðu þar sem ekki er streymandi vatn með því að leggja slöngur með frostlagarblöndu í borholur. Borholurnar eru um 100-200 m djúpar. Þrátt fyrir nokkurn kostnað við þessa aðferð að sækja varma fyrir varmadælu, hefur hún náð talsverðri útbreiðslu í Sviss með s.k. holuvarmaskiptum. Ennfremur eru nýttur varmi með þessum hætti í Svíþjóð, Þýskalandi, Austurríki og víðar. Helsti kostur við þennan varmagjafa er stöðugur hiti árið um kring og þar með öruggur og jafn rekstur varmadælu.

Jarðvegshiti

Algengt er víða erlendis að vinna varma úr jarðlögum næst yfirborði. Plastslöngur eru lagðar á um 0,5 til 1,5 m dýpi með um 0,7 til 1,5 m millibili. Frostlagarblöndu er dælt í lokaðri hringrás um slöngurnar og eimi varmadælu. Varma sem þannig fæst er mjög háður gerð jarðvegs, raka hans og veðráttu. Mesti varminn sem fæst úr slíku kerfi er bræðsluvarmi sem skilar sér þegar vatnið í jarðveginum frýs. Varma sem fæst við kælingu jarðvegs, t.d. frá 10°C niður í frostmark og síðan kæling frosins jarðvegs, er mun minni en bræðsluvarminn. Mýrar og önnur votsvæði henta vel sem varmagjafi fyrir varmadælu, en þurr jarðvegur, s.s. mól og sandur, að sama skapi illa, sjá *Mynd 4* [2]. Við það að varmi er tekinn úr jarðveginum frýs jarðvegurinn næst slöngunum og fer það m.a. eftir varmaleiðni jarðvegsins hve



langt frostið nær út frá slöngunum. Jarðvegurinn á slöngusvæðinu kólnar reyndar allur og gæti það haft áhrif á djúpar rætur plantna (c.a. 0,5 m dýpi). Þetta hefur einnig áhrif á gróður á yfirborði þar sem líkja má þessu við að varmatökusvæðið hafi færst norður á bóginn til kaldara loftslags.

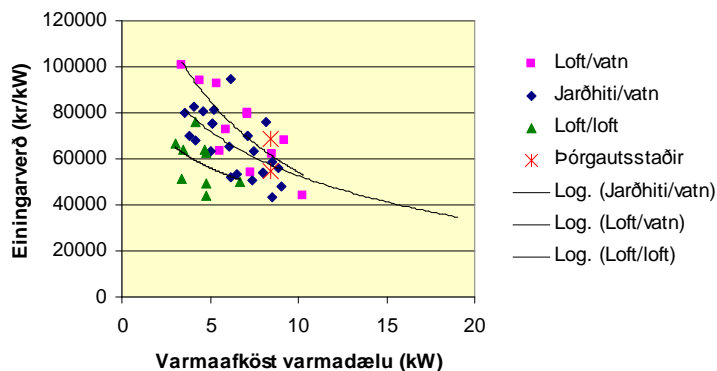


Mynd 4 Varmarýmd í mismunandi jarðvegi – slöngur í jarðvegi [2]

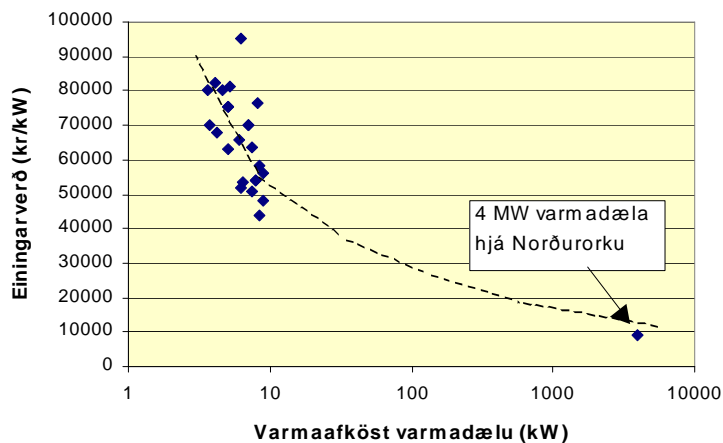
Fjárhagslegar forsendur

Stofnkostnaður varmadælukerfa

Stofnkostnaður varmadælukerfa er mjög breytilegur eftir aðstæðum á hverjum stað. Einna mest er óvissan varðandi varmagjafann og skiptir þar öllu máli hve langt hann er frá varmadælu og hvað þarf að gera til að virkja hann og tengja við varmadæluna. Einföldust er uppsetning loft/loft varmadælna sem víða eru notaðar erlendis til hitunar á vetrum og kælingar á sumrin. Mesti kostnaðurinn fylgir því ef bora þarf eftir vatni og leiða lagnir langar leiðir. Hér að neðan eru sýnd dæmi um einingarverð kr/kW fyrir varmadælu. Tölurnar eru fengnar úr samanburðarverðlista sem sænsk orkuvirkni hafa tekið saman [3] og einnig eru sett inn dæmi af íslenskum varmadælum. Einingarverð varmaafls er hæst með minnstu varmadælunum, en fer lækkandi eftir því sem þær verða stærri [2]. Á **Mynd 5** er sýnt verðbil lítilla varmadælna sem ætlaðar eru fyrir heimili. Hér er eingöngu átt við verð varmadælnanna en ekki uppsetningu þeirra og virkjun varmalindar. Heildarkostnaður er því í raun nokkru hærri. Eins og fram hefur komið er hagkvæmast að velja afköst varmadælu miðað við um 50% hámarksafþörf. Fyrir venjuleg íbúðarhús á Íslandi er varmaþörfin um 10 til 15 kW. Afköst varmadælu ættu því að vera á bilinu 5 til 8 kW. Varmaafli Þórgautsstaðavarmadælu var tæp 9 kW. Kostnaður við hana hefur verið færður til verðlags 2003 með byggingarvísitölu og sýna punktarnir á línuritinu annars vegar kostnað við varmadæluna sjálfa og hins vegar heildarkostnað með uppsetningu. Varmadælu eru almennt mun dýrari en sambærileg ketilkerfi, en slíkir varmagjafar kosta aðeins um 10 til 15% af því sem varmadælukerfi kostar [2,20].



Mynd 5 Einingarverð varmadælna, kr/kW, til hitunar heimila, skv. [3,15]



Mynd 6 Dæmigerð leitni varmadæluverðs eftir því sem afköstin eru meiri, sbr. [2]

Raforkuverð til varmadælna

Ný lög um niðurgreiðslu húshitunarkostnaðar tóku gildi í maí 2002. Nýmæli í lögnum er að nú falla varmadætur undir sömu ákvæði um niðurgreiðslur og rafhitun. Í 3 grein segir m.a. “Rafhitun telst bein hitun með raforku hvort sem um er að ræða þilofna, hitastrengi eða vatns-hitakerfi þar sem rafmagn er notað til að hita vatnið. Raforkunotkun varmadælu er í þessum lögum flokkuð með rafhitun.” Eina frávikið er að hámarksorkunotkun á ári takmarkast við þriðjung af því sem gildir um almenna rafhitun (hér er reiknað með að aflstuðull varmadælu sé 3,0), þ.e.: “Ef notuð er varmadæla skal hámarksfjöldi kWst vera 1/3 af ákvörðuðu hámarki við beina rafhitun”.

Skv. lögum er virðisaukaskattur vegna húshitunar 14%. Hluti þess skatts er þó endurgreiddur samkvæmt nánari ákvörðun iðnaðarráðuneytis hverju sinni. Frá og með 1. janúar 1997 er endurgreiðsla af virðisaukaskatti vegna rafhitunar 63%. Af raforkuverði til hitunar heimila greiðist því 5,18% virðisaukaskattur og á það við hvorutveggja orkugjald og fastagjald.

Hluttur fastagjaldsins í raforkuverði til heimilis er allnokkur. Dæmigert íbúðarhús notar um 35000 kWst. á ári til upphitunar og fastagjald er nú nálægt 17.000 kr. á ári án vsk. Þetta svarar til um 0,5 kr/kWst. án vsk. Þegar varmadæla á í hlut er hámarksfjöldi kWst. á ári um þriðjungur af því sem hefðbundin rafhitun notar, og hluttur fastagjaldsins í orkuverðinu því þrefalt hærri, þ.e. um 1,5 kr/kWst án vsk. Í raun er hlutfall rafmagnsnotkunar rafhitunar og varmadælu jafnt ársvarmastuðli varmadælu, sem getur verið á bilinu 2,5 til 5. Því hærri sem ársvarmastuðullinn er, því þyngra vegur fastagjaldið í heildarraforkuverðinu.

Í **Töflum 4 og 5** hér að neðan eru sýnd dæmi um raforkuverð til varmadælna og hefðbundinnar rafhitunar. Miðað er við verðskrár frá 1. ágúst 2002 og niðurgreiðslulögin sem tóku gildi í maí 2002, en skv. þeim falla varmadætur undir sömu ákvæði og rafhitun.

Tegund notkunar	Eining	Grunngjald	vsk%	Niðurgreiðsla	Afsláttur Landsv.	Afsláttur Rarik	Orkuverð án vsk.	Orkuverð m. vsk.	Árleg orku-notkun	Hluttur fastagjalds án vsk	Hluttur fastagjalds m. vsk	Orkuverð alls, m. vsk	
Rafhitun									kWst/ár	kr/kWst	kr/kWst	kr/kWst	
Orkugjald	kr/kWst.	4,54	5,18	-2,23	-0,34	-0,076	1,89	1,99	35000	0,50	0,53	2,52	
Fastagjald	kr/ár	17.615	5,18										
Varmadæla									cop_vd				
Orkugjald	kr/kWst.	4,54	5,18	-2,646			1,89	1,99	3,5	10000	1,76	1,85	3,84
Fastagjald	kr/ár	17.615	5,18										

Tafla 4 Orkugjald vegna rafhitunar skv. texta Rarik 1. ágúst 2002 og nýrra laga um niðurgreiðslu vegna hitunar íbúðarhúsnæðis

Tegund notkunar	Eining	Grunngjald	vsk%	Niðurgreiðsla rikisins	Afsláttur Landsv.	Afsláttur Rarik	Orkuverð án vsk.	Orkuverð m. vsk.	Árleg orku-notkun	Hluttur fastagjalds án vsk	Hluttur fastagjalds m. vsk	Orkuverð alls, m. vsk	
Rafhitun									kWst/ár	kr/kWst	kr/kWst	kr/kWst	
Orkugjald	kr/kWst.	4,38	5,18	-2,57			1,81	1,90	35000	0,48	0,50	2,41	
Fastagjald	kr/ár	16.748	5,18										
Varmadæla, taxti C1									cop_vd				
Orkugjald	kr/kWst.	4,38	5,18	-2,57			1,81	1,90	3,5	10000	1,67	1,76	3,67
Fastagjald	kr/ár	16.748	5,18										
Varmadæla, taxti D3									cop_vd				
Orkugjald	kr/kWst.	6,04	5,18	-2,57			3,47	3,65	3,5	10000	1,67	1,76	5,41
Fastagjald	kr/ár	16.748	5,18										

Tafla 5 Orkugjald vegna rafhitunar skv. texta Orkubús Vestfjarða 1. ágúst 2002 og nýrra laga um niðurgreiðslu vegna hitunar íbúðarhúsnæðis

Hagkvæmni varmadælu

Aflstuðull varmadælu

Aflstuðull varmadælu er fundinn með eftirfarandi jöfnu þegar hiti varmalindar og varmaþega er þekktur. Hitamunur á milli varmalindar og uppgufunarhita kælimiðils í eimi θ_e annars vegar, og varmaþega og þéttihita kælimiðils í eimsvala θ_{es} hins vegar, kemur þarna við sögu, en hann getur verið nokkuð hár eftir aðstæðum Því meiri sem þessi munur er, því meiri munur verður á uppgufunarhita og þéttihita í varmadælurásinni og aflstuðull að sama skapi lægri. Með afkastameiri varmaskiptum hefur tekist að lækka þennan mun nokkuð. Stuðullinn η_C táknar Carnot nýtni, sem lýsir því hve nálægt tiltekin varmadæla kemst hinni fræðilegu Carnot varmadælu, sjá *Viðauka A*. Dæmigerður stuðull fyrir litlar varmadælur er 0,4 til 0,5, en hæst fer hann í um 0,6 í stórum varmadælum. Þróun varmadælna hefur m.a. miðað að því að hækka þennan stuðul einkum fyrir litlar varmadælur sem notaðar eru til húshitunar.

$$\varepsilon = \eta_C \cdot \frac{t_h + 273 + \theta_{es}}{t_h - t_k + \theta_{es} + \theta_e}$$

- t_k , hiti varmalindar, °C
- t_h , óskhiti til hitakerfis, °C
- θ_e, θ_{es} , hitamunur í varmaskiptum (eimi og eimsvala), °C
- η_C , Carnot nýtnin, háð stærð varmadælu

Ef settar eru inn tölur fyrir varmadælu sem nýtir varmagjafa við 10°C niður í 2°C og skilar heitu vatni við 45°C, t.d. fyrir gólfhitakerfi, verður aflstuðullinn:

$$\varepsilon = 0,6 \cdot \frac{45 + 273 + 3}{45 - 0 + 3 + 13} = 3,2$$

Hvað má varmi frá varmadælu kosta?

Hvað má varmi frá varmadælu kosta svo varmadælan sé samkeppnisfær við aðra varmagjafa? Framleiðslukostnað varma með varmadælu má finna með eftirfarandi jöfnu, sem jafnframt sýnir efri mörk varmakostnaðarins:

$$k_{vd} = \frac{K \cdot a}{\tau} + \frac{k_r}{\varepsilon} \leq k_h$$

þar sem

K er stofnkostnaður varmadælukerfisins, kr/kW

τ er árlegur nýtingartími, klst/ár

a er stuðull fjármagnskostnaðar- og viðhalds, % pr. ár

ε er aflstuðull varmadælu^{*)}

k_r er rafmagnsverð til varmadælu, kr/kWst

k_h er kostnaður varma frá öðrum varmagjafa, kr/kWst_{varma}

^{*)} Hér ætti í reynd að nota ársvarmastuðul varmadælnnar, Φ , sjá *Viðauka A*.

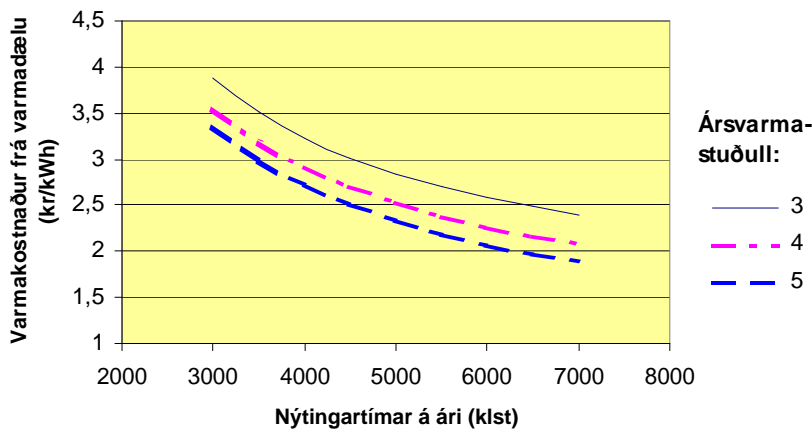
Til að fjárfesting í varmadælukerfi borgi sig verður varmakostnaður með varmadælu að vera lægri eða jafn varmakostnaði frá hefðbundnum varmagjöfum. Lítum á samanburð við beina rafhitun.

Samanburður á varmadælu og rafhitun

Hér á landi er yfir 85% heimila hituð með jarðhita, en önnur eru hituð með rafmagni með beinum eða óbeinum hætti. Varmadælur munu ekki keppa við jarðhita þar sem afl og hiti er nægur til að anna varmaþörf allt árið, en gætu komið inn sem viðbótarorka þar sem það á við. Gott dæmi um þetta er hjá Norðurorku á Akureyri.

Meginvettvangur varmadælna til hitunar heimila eru rafhituð svæði landsins. Til að jafna húshitunarkostnað landsmanna er raforka til hitunar heimila niðurgreidd. Þar að auki veita Landsvirkjun og dreifiveitur afslátt frá sínum taxta. Raforkuverð til húshitunar er með 14% virðisaukaskatti, en veittur er sérstakur afsláttur af virðisaukaskatti til hitunar heimila eins og fram hefur komið hér að framan.

Hér að neðan er sýnt dæmi um varmakostnað frá varmadælu miðað við nógildandi raforkutaxta. Í dæminu er tekið mið af varmadælukerfi sem kostar 60.000 kr/kW_{varma}. Árlegur fjármagns- og viðhaldskostnaður er áætlaður 13% (m.v. 15 ára afskriftartíma, 6% vexti og 3% viðhaldskostnað á ári).



Mynd 7 Varmakostnaður frá varmadælu m.v. rafmagnsverð til varmadælu 3,84 kr/kWst

Niðurstaðan úr þessu dæmi sýnir m.a. áhrif nýtingartímans á varmakostnað frá varmadælunni. Ef nýtingartími er 6000 klst. (varmadæla annar þá um 50% af heildaraflþörf) og ársvarmastuðull 4, er varmakostnaður frá varmadælu 2,26 kr/kWst. Ef nýtingartíminn er 4000 klst. verður varmakostnaðurinn 2,91 kr/kWst.

Munur á kostnaði þegar ársvarmastuðull breytist er minni en búast hefði mátt við, en miðað við 6000 klst nýtingartíma og ársvarmastuðul 3 verður varmakostnaðurinn um 2,58 kr/kWst. Þetta stafar af því að hlutur fastagjaldsins í rafmagnsverðinu vegur þyngra þegar ársvarmastuðullinn hækkar og verkar því á móti betri nýtingu. Til samanburðar er verð til rafhitunar 2,52 kr/kWh og varmaorkuverð hitaveituvatns hjá Orkuveitu Reykjavíkur um 1,7 kr/kWst. Einfaldur endurgreiðslutími varmadælnnar í þessu dæmi er 6,8 ár.

Hvað má varmadælukerfi kosta?

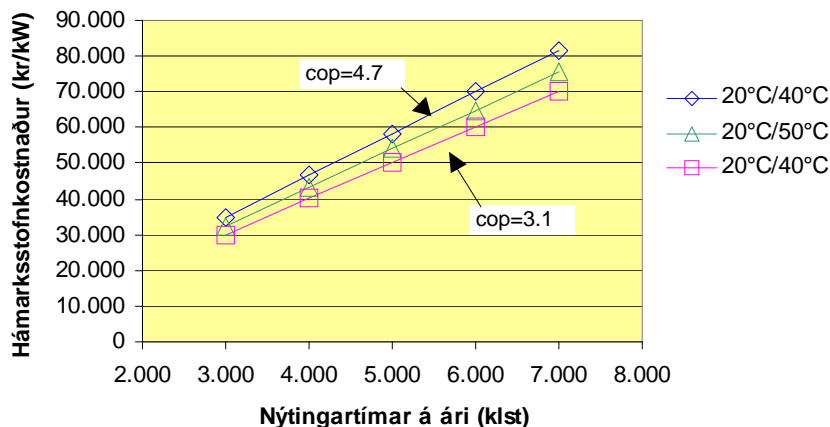
Spurningunni frá fyrri kafla má snúa við, þ.e. hvað má varmadælukerfi kosta miðað við nógildandi raforkutaxta? Ef valið stendur á milli rafhitunar og rafknúinnar varmadælu þarf að huga annars vegar að varmafræðilegum og hins vegar fjárhags- og rekstrarlegum forsendum varmadælukerfisins.

$$K' \leq \frac{\tau}{a} \cdot (k_r - k_{rVD}) \text{ kr/kW}_{\text{varmi}}$$

Hér er:

- K' , stofnkostnaður varmadælu **umfram** kostnað við rafhitakerfi, kr/kW
- a , stuðull fjármagnskostnaðar og viðhalds % pr. ár
- τ , nýtingartími hámarksafls, klst./ár
- k_r , rafmagnsverð til beinnar rafhitunar, kr/kWst
- k_{rVD} er raforkuverð til varmadælu, kr/kWst
- ε er aflstuðull varmadælu, sjá skilgreiningu hér að framan

Í þessu dæmi er tekið mið af hita varmalindar og hitakröfu varmaþega, en þessi atriði skipta mestu máli varðandi aflstuðul varmadælu. Gert er ráð fyrir að hiti varmalindar sé 20°C og hiti frá varmadælu inn í húshitakerfi, sé 40°C, 50°C eða 60°C. Carnot-nýtnistuðullinn er 0,5. Samkvæmt þessum forsendum verður aflstuðull $\varepsilon = 3,1$ til 4,7. Miðað við þessa stuðla verður raforkuverð til varmadælu annars vegar 3,65 kr/kWst og hins vegar 4,46 kr/kWst og gætir þar áhrifa fastagjaldsins í taxtanum. Verð til rafhitunar er 2,52 kr/kWst. Niðurstöður útreikninga koma fram á **Mynd 8**. Þar má sjá, að ef varmadælukerfið gengur sem svarar 6000 klst á ári á uppsettu afl, má varmadælukerfið kosta um 60.000 til 70 000 kr/kW umfram hefðbundið rafhitakerfi. Varmaþörf venjulegs 200 m² einbýlishúss er 10 til 15 kW en varmadæla er valin fyrir u.þ.b. 50% hámarksafls, eða 5 til 8 kW.



Mynd 8 Hámarksstofnkostnaður varmadælukerfis umfram hefðbundið rafhitakerfi

Hve háum vatnshita getur varmadæla skilað inn í hitakerfi?

Enn má spyrja: Ef ákveðin varmalind er fyrir hendi, t.d. vatn í jörðu við 20°C og fyrir liggja upplýsingar um einingarverð á varmadælu og tilheyrandi hitakerfi, kr/kW, hvað getur vatnshiti frá varmadælu inn í hitakerfi húss orðið hæstur miðað við að varmakostnaður verði jafnhár eða lægri en frá öðrum varmagjöfum? Til að svara þessu þarf, eins og áður, að skoða kostnaðar- og rekstrarumhverfi varmadælu og varmafræðilegar forsendur.

Eftirfarandi er þekkt:

- hiti varmalindar, °C
- kostnaður við uppsett varmadæluhitakerfi, kr/kW_{varmi}
- árleg varmaþörf hitakerfis og mögulegur nýtingartími varmadælu
- orkuverð samkeppnisvarmagjafa, kr/kW_{st, varmi}
- raforkuverð til varmadælu, kr/kW_{st, r}

Eftirfarandi ójafna segir að fjármagns- og rekstrarkostnaður varmadælu skuli vera jafn eða lægri en varmakostnaður annarra varmagjafa sem til álita koma:

$$k_{vd} = \frac{K \cdot a}{\tau} + \frac{k_r}{\varepsilon} \leq k_h$$

Þessa jöfnu má umrita þannig,

$$\varepsilon \geq \frac{k_r}{k_h - \frac{K \cdot a}{\tau}}$$

sem sýnir hve hár aflstuðull varmadælu þarf að vera svo hún sé samkeppnisfær.

Aflstuðullinn er háður hita varmalindar og varmaþega eins og áður hefur komið fram, þ.e.

$$\varepsilon = \eta_C \cdot \frac{t_h + 273 + \theta_{es}}{t_h - t_k + \theta_{es} + \theta_e}$$

Þessa jöfnu má umrita fyrir t_h , sem sýnir að hiti frá varmadælu inn á hitakerfi hússins getur hæstur orðið:

$$t_h \leq \frac{\varepsilon \cdot (t_k - \theta_{es} - \theta_e) + \eta_C \cdot (273 + \theta_{es})}{\varepsilon - \eta_C} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Miðað við 20°C heita varmalind, 5000 klst. nýtingartíma, Carnot nýtni = 0,5, raforkutaxta til varmadælu 3,84 kr/kWst og samanburðarvarmaverð 2,8 kr/kWst (= 2,52 kr/kWst. + áætlaður fjármagns- og viðhaldskostnaður hefðbundins rafhitakerfis, 0,3 kr/kWst):

Kostnaður varmadælukerfis	Lágmarkskrafa um aflstuðul	Hámarkshiti frá varmadælu
65.000 kr/kW	3,5	53°C
75.000 kr/kW	4,5	40°C

Tafla 6 Niðurstöður úr tilbúnu dæmi

Í þessu dæmi setja fjárhagslegir þættir skilyrði um lágmarks aflstuðul, sem aftur á móti takmarkar hversu háum hita varmadælan getur skilað fyrir gefinn hita varmalindar.

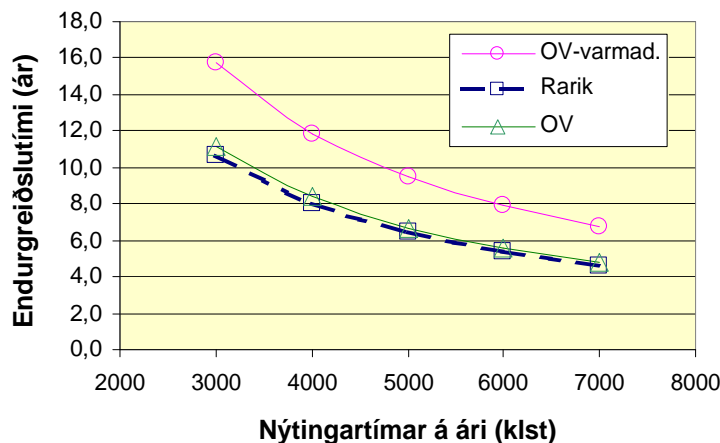
Einfaldur endurgreiðslutími fjárfestingar

Skilgreina má einfaldan endurgreiðslutíma varmadælufjárfestingar með eftirfarandi hætti:

$$n = \frac{K'}{(k_r - \frac{k_{rVD}}{\epsilon}) \cdot \tau}$$

- K' , stofnkostnaður varmadælu umfram kostnað við rafhitakerfi, kr/kW
- τ , nýtingartími hámarksafls, klst./ár
- k_r er orkuverð til beinnar rafhitunar, kr/kWst
- k_{rVD} er rafmagnsverð til varmadælu, kr/kWst
- ϵ er aflstuðull varmadælu

Hér að neðan er sýnt dæmi um endurgreiðslutíma þegar stofnkostnaður varmadælu umfram rafhitakerfi er 50 000 kr/kW og miðað er við gjaldskrá Rarik og Orkubús Vestfjarða eins og fram kemur í **Töflum 4 og 5**. Athugið að efri ferillinn (OV-varmad.) er sýndur til samanburðar við verðskrá skv. nýju niðurgreiðslulögunum (sem tilgreina að sama orkuverð skuli gilda um varmadælu og rafhitun). Augljóst er að varmadæla er ekki samkeppnisfær ef miðað er við hærri gjaldskrána.



Mynd 9 Hámarksstofnkostnaður varmadælukerfis umfram hefðbundið rafhitakerfi

Samkeppnisstaða varmadælu

Í greinargerð nefndar á vegum iðnaðarráðuneytisins um sjálfbært orkukerfi í Grímsey sem út kom í febrúar 2003, segir m.a. um varmadælu [8]:

”Ein af ástæðum þess að varmadælum hefur ekki verið gefinn meiri gaumur hér á landi en raun ber vitni er eflaust yfirburðarstaða jarðhitans við húshitun. Líklegt er þó að til lengri tíma lítið þurfi að fullnægja allt að 10% af húshitun hér á landi með öðrum orkugjöfum en jarðhita. Önnur ástæða fyrir lítili útbreiðslu varmadælna hér á landi er áhrif niðurgreiðslna til húshitunar, en raforka var ekki niðurgreidd þar til ný niðurgreiðslulög tóku gildi vorið 2002. Margt bendir til að varmadælu geti verið fýsilegur kostur til húshitunar á köldum svæðum hér á landi. Enn frekar eru þær áhugaverðar á jarðhitasvæðum þar sem vatnshitinn er of lágur fyrir hefðbundna upphitun, en víða á landinu háttar þannig til. Undir slíkum kringumstæðum er nýtni varmadælna mun betri en þegar varmagjafinn er við lægra hitastig eins og algengast er erlendis”.

Markmið niðurgreiðslu kostnaðar við hitun íbúðarhúsnæðis hjá þeim sem ekki eiga kost á fullri hitun með jarðvarma er að lækka hitunarkostnað til jafns við það sem gerist á hitaveituvæðum. Viðmiðið er það orkugjald sem greitt er fyrir hitun með jarðvarmahitaveitum. Það er nokkuð breytilegt eftir veitum eins og dæmi frá þremur hitaveitum sýnir, sjá *Töflu 7*.

Hluti (VSK)	Eining	OR 14%	NO 5.32%	HEF 8.26%
Vatnsgjald	kr/m ³	67,26	100,05	83,36
Fastagjald	kr/dag	22,18		
	kr/ár		8.910	7.461
Hitanýting	°C	40	40	40
Orkuþörf	kWh/ár	35.000	35.000	35.000
Vatnspörf	m ³ /ár	764	764	764
Orkuverð	kr/kWh	1,70	2,44	2,03

Tafla 7 Útreiknað varmaorkugjald Orkuveitu Reykjavíkur, Norðurorku og Hitaveitu Egilsstaða og Fella, m.v. verðskrá 1. ágúst 2002.

Skv. gjaldskrá Rarik og Orkubús Vestfjarða, sem áður er getið, er orkugjald til rafhitunar um 2,41 til 2,52 kr/kWst að teknu tilliti til fastagjaldsins, sem er í hærri kantinum samanborið við verð á varmaorku frá hitaveitum. Raforkuverð til varmadælna er nokkuð hærra, eða 3,67 og 3,84 kr/kWh miðað við tiltekna orkuþörf og áætlaðan aflstuðul varmadælu og stafar það af því að fastagjaldið vegur þyngra í orkugjaldi til varmadælna en rafhitunar.

Hér að framan var varmaorkuverð frá varmadælu reiknað út miðað við nýtingartíma og stofnkostnað varmadelukerfis, sjá t.d. *Mynd 7*. Þar kom fram að varmaverð frá varmadælu sem kostar uppsett 60.000 kr/kW og gengur 6000 klst á ári er 2,26 kr/kWst. m.v. að raforkuverð til varmadælu sé 3,84 kr/kWst. Þetta sýnir að varmadæla er samkeppnisfær við rafhitun, og einnig jarðhitaveitur á meðan raforkuverð til húshitunar (og varmadælu) er niðurgreitt. Hluttur fjármagns- og rekstrarkostnaðar í varmaorkuverðinu er um 1,3 kr/kWst í þessu dæmi. Ef miðað er við 2,5 kr/kWst. sem hæsta leyfilega varmaverð á rafhituðum svæðum, en þá er tekið mið af dýrari jarðvarmaveitunum, má hlutur raforkunnar ekki vera meiri en 1,2 kr/kWst. Ef ársvarmastuðull varmadælu er 3,0, má raforka til varmadælu kosta 3,6 kr/kWst, og ef ársvarmastuðull er 4,0, má raforkan kosta 4,8 kr/kWst. Ekki er því mikið svigrúm, ef nokkuð, til lækkunar niðurgreiðslu á raforku á meðan varmaorkuverð hjá hitaveitum er eins lágt og raun ber vitni.

Varmadælar á Íslandi

Reynsla af varmadælum á Íslandi er hvorki löng né víðtæk. Besta dæmið er að finna hjá Norðurorku á Akureyri (áður Hitaveitu Akureyrar), sem hefur rekið varmadælar síðan 1984, eða í næstum 20 ár. Tilraun var gerð með notkun varmadælu á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu, en tilgangur tilraunarinnar var að kanna hvort hagkvæmt væri að draga úr rafafliþörf í dreifbýlinu með notkun varmadælu til húshitunar. Varmadælar hafa verið settar upp í tengslum við kælikerfi í frystihúsum, s.s. á Grenivík og hjá ÚA á Akureyri. Varmadælar eru einnig notaðar með kælikerfum í stórum verslunarmiðstöðvum þar sem þær nýta eimsvaflavarma kælivélar sem varmagjafa til að hita upp loft í loftræsikerfum. Dæmi um slíkt er í Smáralind í Kópavogi. Nokkrir sveitabæir munu hafa varmadælar en ekki er vitað um reynslu af þeim. Með nýjum lögum um niðurgreiðslu hitunarkostnaðar með raforku, þar sem varmadælar falla nú í sama flokk og rafhitun heimila, aukast möguleikar á notkun varmadælu til húshitunar.

Varmadælar Norðurorku (Hitaveitu Akureyrar)

Fyrri varmadælan 1984-1998

Fyrri varmadæla Norðurorku (þá Hitaveitu Akureyrar) var gangsett í apríl 1984 og var hún dönsk af Sabroe gerð. Varmadælukerfið var byggt upp af tveimur raðtengdum varmadælum 2,6 MW_t alls, sem tóku inn 40 l/s af 62°C heitu vatni frá borholu á Glerárdal og skiluðu því 78°C heitu. Varminn var tekinn úr 40°C heitu bakrennslisvatni veitunnar og að hluta einnig úr kælivatni mótóranna og var vatnið kælt niður í 20°C [9].

Varmadælan var í notkun í 14 ár, en á fyrri hluta tímabilsins urðu ýmsar breytingar í rekstri hitaveitunnar sem höfðu áhrif á nýtingu hennar. Þar á meðal breyttust flestar þær forsendur sem notaðar voru þegar kaupin voru ákveðin, eins og fram kom í erindi Magnúsar Finnssonar hjá HA sem hann flutti á aðalfundi SÍH árið 1991, en þá hafði varmadælan verið í notkun í sjö ár [5]. Varmadælan gekk í fyrstu allt að 8000 klst á ári, en gangtíminn styttest síðar niður í um 5000 klst./ár. Var það bein afleiðing af breyttu dælingarmynstri sem fram kom eftir að settir voru upp rennslismælar hjá notendum. Við það minnkaði magn bakrásar svo yfir sumarmánuðina að ekki var grundvöllur fyrir rekstri varmadælnnar í um það bil 3 mánuði á ári. Þetta gerðist þrátt fyrir það að hlutfallslega hefur aukist það húsnæði sem tengt er við bakrásarkerfi veitunnar. Skýringin er sú að orkunýting hjá notendum stórbatnaði. Árið 1991 var bakrásarvatn um 10°C kaldara en það sem upphaflega var reiknað með. Aflstuðull varmadælnnar lækkaði úr 4,0 árið 1984 niður í 3,0 árið 1990 í takt við lækkun bakrásarhita úr 40°C niður í 30°C. Hlutfall varmadælnnar í framleiðslu hitaveitunnar var á bilinu 5-8%. Þrátt fyrir breyttar forsendur sýndu niðurstöður rekstursins fyrstu sjö árin að sú ákvörðun að kaupa varmadæluna hafi verið fyllilega réttmæt og skilað arði til hitaveitunnar [5]. Varmadælan gekk allt til ársins 1998 þegar henni var skipt út fyrir nýja.

Síðari varmadælan 1998-

Ákveðið var að endurnýja varmadæluna árið 1997 með nýrri varmadælu sem félli betur að rekstrarforsendum veitunnar. Var hún formlega tekin í notkun í febrúar 1998. Nýja varmadælan er af Gram gerð og notar ammoniak sem kælimiðil, en sú eldri notaði Freon 12 sem ekki er lengur heimilt að nota af umhverfisástæðum. Varmadælan er í raun tvær raðtengdar varmadælar eins og sú eldri, en varmaafköst eru nokkru hærri, eða um 4 MW. Aflstuðull varmadælnnar er 4-5. Varmadælan tekur inn 27°C bakrásarvatn og er því skipt á eimi og eimsvala. Í eimum er tekinn varmi úr vatninu og það kælt niður í 5°C og í eimsvölum hitnar vatnið frá 27°C upp í 52°C. Kælda bakrásarvatnið fer síðan til niðurdælingar í jarðhitakerfið í Laugalandi þar sem það hitnar að nýju í 95°C.

Uppsett kostaði varmadælan um 29 mkr árið 1998 eða um 36 mkr. á núvirði (m.v. hækkun byggingarvísitölu). Kostnaður pr. uppsett varmaafli er því aðeins 9.000 kr/kW. Varmadælan hefur nú gengið í 5 ár og reynst vel.

Hér að neðan er samantekt nokkurra rekstrarstærða síðustu tveggja ára [10].

Norðurorka	2001	2002
Orkuframleiðsla	8.781.000 kWh	12.274.200 kWh
Orkunotkun	1.967.000 kWh	2.726.000 kWh
Ársvarmastuðull	4,46	4,50
Rafmagnskaup	2.170.073 kr	2.496.381 kr
Meðal rafmagnsverð	1,10 kr/kWh	0,92 kr/kWh
Rekstarkostnaður	1.003.000 kr	1.080.000 kr
Hlutfall rekstrakostnaðar af stofnkostnaði	2,8%	3%

Tafla 8 Rekstartölur varmadælu Norðurorku 2001 og 2002

Tilraunaeldisstöð Hafró á Stað við Grindavík

Á Stað við Grindavík rekur Hafrannsóknastofnunin tilraunaeldisstöð. Þar voru tvær varmadælur notaðar í 10 ár með góðum árangri, eða þar til árið 2002 að hitaveita var lögð að stöðinni. Varmagjafi var 7°C heitur jarðsjór sem leiddur var úr borholum við Íslandslax. Við varmadælnar var jarðsjónum skipt í tvær rásir, annars vegar að eimum varmadælnanna, þar sem hann var kældur í 1-2°C, og hins vegar að eimsvölum þar sem jarðsjórinn var hitaður í 16°C [11,12]. Afköst varmadælnanna voru um 2 l/s af 16°C jarðsjó, sem svarar til um 75 kW.

Þórgautsstaðir í Hvítársíðu

Varmadælan á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu í Borgarfirði var tilraunaverkefni sem styrkt var af orkusparnaðarnefnd iðnaðarráðuneytis. Nefndin lagði fram tillögur vorið 1980 um aðgerðir í orkusparnaði og segir þar m.a. "veittur verði styrkur til kaupa á varmadælu til tilraunareksturs á einhverju sveitabýli og hagkvæmni þess að draga úr rafafliþörf í dreifbýlinu með þessum hætti, metin í ljósi niðurstaðna af þeirri tilraunastarfsemi" Svo segir m.a. í inngangi skýrslu Landsvirkjunar, Orkustofnunar og Rafmagnsveitna ríkisins um tilraun sem gerð var á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu með varmadælu til húshitunar, en skýrslan kom út í apríl 1982 [14].

Framkvæmdanefnd var skipuð til að "annast endanlegt val á tilraunastað, velja og útvega heppilega varmadælu, sjá um hönnun og uppsetningu tækjabúnaðar, fylgjast með og annast nauðsynlegar mælingar og eftirlit með tilrauninni og leggja mat á niðurstöður og ganga frá greinargerð að henni lokinni" [14]. Nefndin leitaði tilboða hjá 20 varmadæluframleiðendum þar sem spurst var fyrir um varmadælur er nýtt gætu jarðhitavatn á bilinu 10-40°C og skilað heitu vatni á bilinu 50-80°C. Hitunarafl varmadælnnar átti að vera 6-15 kW. Varmadæla var síðan keypt í Þýskalandi og sett upp á Þórgautsstöðum í nóvember 1981 og var hún 8,4 kW að varmafli.

Í annarri skýrslu sem rituð var árið 1984 um tilraunina koma fram eftirfarandi upplýsingar um hönnunarstærðir varmadælnnar og niðurstöður mælinga [15]:

Þórgautsstaðir - Hönnunarstærðir varmadælu:

Stærð húss	150 m ² og 400 m ³
Áætluð aflþörf húss	10 kW (25 W/m ³)
Hiti á vatni í hús og út	16,8°C/3,2°C
Hiti inn á ofna og út	55,0°C/43°C
Varmadælukerfi	Freon R12

Þórgautsstaðir - Niðurstöður mælinga (úrdráttur):

Orkunotkun húss	35700 kWh/ár
Raforkunotkun varmad.	12530 kWh/ár
Mæld afköst varmad.	8,4 kW (21.5 W/m ³)
Rafmagnsnotkun	3 kW
Ársvarmastuðull	2,9
Nýtingartími varmad.	4200 klst./ár

Í lok skýrslunnar frá 1982 eru dregnar ályktanir af fyrstu niðurstöðum tilraunarinnar. Fram kemur að hagkvæmni varmadælna er háð mörgum breytilegum þáttum en af þeim "virðast stofnkostnaður og hitaorkunotkun ná yfir hvað víðast svið" [14]:

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

Þessar niðurstöður eru í samræmi við það sem almennt gildir um varmadælu; stofnkostnaður og nýtingartími, ásamt raf- og varmaorkuverði, vegur þyngst þegar hagkvæmni varmadælu er metin.

Skýrsluhöfundar benda á í lokin "að við lauslega athugun má áætla, að á a.m.k. 50 sveita-býlum, þar sem volgrur eru í nágrenni, komi til greina að nota varmadælu til hitunar. Þar ræður þó mjög kostnaður við vatnsöflun, þ.e. fjarlægð húss frá lind og dælingarkostnaður. Einnig eru volgrur í nánd við nokkra þéttbýlisstaði þar sem mögulegt er að nota stórar varmadælu í fjarvarmaveitur eða til að hækka hitastig á hitaveituvatni þar sem það er of lágt. Nýting afgangsvarma með varmadælum getur einnig verið hagstæður kostur. Varmi frá frýstítækjum hraðfrýstihússins Kaldbaks í Grenivík er nú nýttur á þann hátt, og mætti gera slíkt víðar á landinu" [14].

Afl varmadælnnar á Þórgautsstöðum var 8,4 kW, sem var talið 84% af *áætlaðri* hámarks-varmaþörf hússins. Í ljós kom þegar á reyndi að 8,4 kW voru nóg fyrir húsið. Nýtingartími varmadælnnar var í samræmi við það, eða 4200 klst/ár, sem telst frekar stutt þegar varmadæla á í hlut. Ársvarmastuðull varmadælnnar var um 2,9. E.t.v. hefði verið heppilegra að velja varmadælu með minni afköst, t.d. um 5 kW, og nýta olúketil sem fyrir var sem toppafl? Olúketillinn var reyndar tengdur þannig að hann gæti þjónað sem vara- og toppafl, en ekki virðist hafa reynt á hann sem toppafl.

Nokkuð bar á bilunum í varmadælnni, m.a. voru vandræði vegna þjöppunnar og mótors hennar [15]. Fyrsta þjappan reyndis gölluð frá verksmiðju, fengin var ný þjappa en mótörinn réð ekki við hana og brann yfir. Langan tíma tók að fá nýja þjöppu. Með nýrri þjöppu jukust afköst varmadælnnar í 9,6 kW og rafmagnsafl í 3,4 kW. Erfiðleikar í viðhaldi voru taldir stafa að nokkru leyti af ókunnugleika en einnig af því að varmadælu bila frekar en hefð-

bundin hitakerfi. Bent er á að nauðsynlegt sé að hafa varaaflið ávallt til staðar, þar sem langt getur verið í viðgerðar- og varahlutabjónustu við varmadælur í sveitum.

Varmadælan á Þórgautsstöðum lagðist af þegar hitaveita var lögð í sveitina, en í Hvítársíðu er nú hitaveita að Síðumúla og þjónar hún svæðinu að Þórgautsstöðum. Í svæðisskipulagi Mýrasýslu 1998-2010 kemur fram að búið er að hanna hitaveitu í Hvítársíðu sem mun anna allri Hvítársíðu að Kalmannstungu undanskilinni. Ekki er því líklegt fleiri varmadælur verði reyndar í Hvítársíðu í bráð, nema ef vera skildi í Kalmannstungu?

Varmadætur í Evrópu – nokkur dæmi

Reynsla af varmadælum í Noregi - styrkur til varmadælukaupa

Vatn/vatn varmadæla hefur hagstæðust rekstrarskilyrði og hæstan ársvarmastuðul. Slíkar varmadætur henta best með lághitavatnskerfi, s.s. gólfhita eða þar sem ofnar eru stórir og afkastamiklir. Samkvæmt reynslu frá Noregi er kostnaður fyrir íbúðarhús á bilinu 100-150.000 Nkr., eða 1-1,5 mkr, og er þá kostnaður við virkjun og lagnir frá varmalind meðtalinn. Í Noregi er endurgreiðslutíminn um 10 ár. Hagstætt getur verið að nýta sömu varmadælu fyrir fleiri en eitt hús. Þessi gerð varmadælu hentar best í ný hús eða hús sem eru endurbyggð að talsverðum hluta.

Sömu almennu skilyrði gilda um loft/vatn varmadætur, nema að ekki er þörf fyrir borholur eða varmasafnlagnir í jörðu. Slíkar varmadætur hafa lægri aflstuðul þegar kólnar í veðri. Kostnaður við uppsett kerfi er á bilinu 40-70.000 Nkr, eða 400 til 700 þús. kr. Endurgreiðslutími í Noregi er að jafnaði 4-8 ár.

Loft/loft varmadætur eru lang útbreiddastar í heiminum, og eru þá notaðar til upphitunar og loftræsingar með heitu lofti á vetrum og kælingar með svölu lofti á sumrin. Japanir eru framarlega í framleiðslu slíkra varmadælna og hafa náð háum aflstuðli, allt að 5, við nafn-afköst (0/35°C) og halda stöðugum hita þótt útihiti lækki. Að öllu jöfnu er árlegur varmastuðull loft/loft varmadælna lakastur. Kostnaður við loft/loft varmadætur fyrir íbúðarhús er á bilinu 25-35.000 Nkr., eða 250 til 350 þús. kr. og endurgreiðslutími 3-5 ár miðað við verðlag í Noregi.

Í Noregi fer um 55-70% af rafmagnsnotkun heimila með rafmagnshitun til upphitunar húss og heits vatns. Með loft/loft varmadælu má gera ráð fyrir sparnaði í upphitun húss um 50-70%. Varmaframleiðsla með varmadælum í Noregi var 86 GWst árið 2000 og 105 GWst. árið 2001, sem er aukning um 22,5%. Þrátt fyrir þetta nemur varmaframleiðsla varmadælna í Noregi aðeins 5% af heildarvarmaframleiðslu hitaveitna.

Norðmenn gera nú sérstakt átak til að auka notkun varmadælna, með því að veita styrk til varmadælukaupa. Styrkurinn nemur 20% af kostnaði, eða allt að 5000 Nkr. (svarar til um 50 þúsund kr.). Tilgangurinn er að hvetja fólk til að spara raforku og ein aðferð til þess er að setja upp varmadætur til að hita upp híbýli og heitt neysluvatn. Þessu átaki er beint til heimila sem nota rafmagn til upphitunar. Gerðar eru ákveðnar gæðakröfur til varmadælnanna s.s. að þær noti viðurkennda kælimiðla, s.s. R-407C eða R-410A eða náttúrlega kælimiðla sem ekki eru skaðlegir ozonlaginu. Varmadæturnar skulu hafa stiglausa afkastastýringu sem stuðlar að hárrí heildarnýtni yfir árið. Þær skulu og uppfylla tiltekna gæðastaðla.

Danmörk – niðurgreiðsla til varmadælukaupa

Rafknúnar varmadætur hafa verið á markaði í Danmörku í 20 ár, og nú hafa litlar gasdrifnar varmadætur bæst í hópinn. Rafknúnar varmadætur hita upp nálægt 33 þús. heimili í Danmörku, en auk þeirra er fjöldi varmadælna í iðnfyrirtækjum og gróðurhúsum. Danska stjórnin niðurgreiðir 15% af verði varmadælu, en þrátt fyrir það eru færri varmadætur seldar nú en áður til heimila.

Svíþjóð – flestar varmadætur á Norðurlöndum

Í Svíþjóð voru veittir styrkir til kaupa og uppsetningar varmadælna á árunum 1979 til 1984 og fjölgaði þá varmadælum mjög, einkum litlum, 25 kW eða minni, til hitunar einbýlishúsa. Langmest var sala á varmadælum til hitunar heimila um 1990 og árin á eftir, aðallega loft/loft

varmadælur en sala á varmadælum sem nýta varma úr jörðu fer vaxandi. Heildarvarmaframleiðsla með varmadælum var komin í 10 TWh árið 1990. Varmaframleiðsla með varmadælum í hitaveitum í Svíþjóð var um 15% árið 1997, eða ríflega 6 TWh.

Jarð - varmadælur í Evrópusambandslöndum

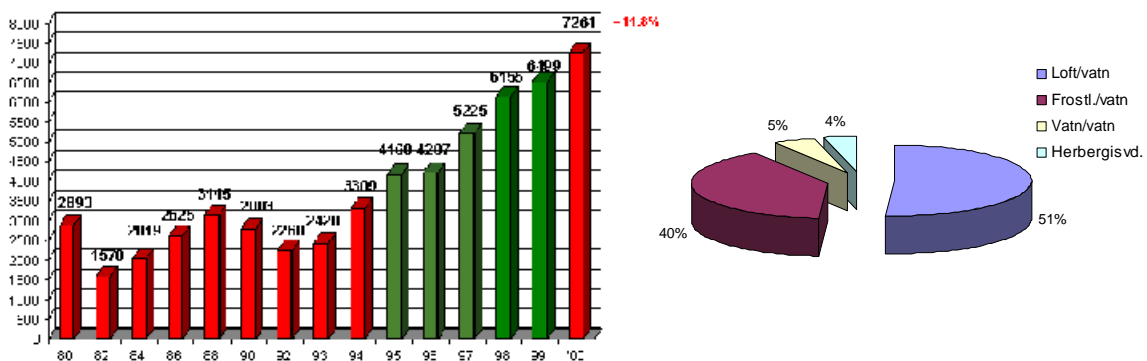
EurObserv'ER [19] hefur safnað saman upplýsingum um "nýjar orkulindir" þar á meðal varmadælur í Evrópusambandslöndunum sem nota lághitavarma úr jörðu. Flestar slíkar varmadælur eru í Svíþjóð, næstflestar í Austurríki og síðan fylgir Þýskaland, sjá **Töflu 9** að neðan. Aukning á milli árána 1999 og 2000 var að meðaltali 26% í ESB löndunum.

Evrópusambandsland	1999			2000			1999/2000 Aflaukning milli ára
	Fjöldi varmad.	Afl MWt	Orka GWst	Fjöldi varmad.	Afl MWt	Orka GWst	
Austurríki	22.680	272	363	26.680	320	427	18%
Finnland	6.370	51	86	7.800	63	105	24%
Frakkland	4.000	48	71	4.500	54	80	13%
Þýskaland	18.000	344	319	22.140	423	393	23%
Svíþjóð	73.000	500	1522	97.253	667	2028	33%
Alls ESB lönd	127.153	1250	2417	162.226	1569	3101	26%

Tafla 9 Varmadælur í ESB löndum sem nýta varma í jörðu sem varmagjafa

Varmadælur í Sviss

Í árslok 2000 voru um 60.000 varmadælukerfi í Sviss, en takmark svissneska varmadælufélagsins, "Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz" (FWS), er að komast yfir 100.000 markið árið 2010. Ef þetta markmið næst mun um helmingur allra nýrra heimila verða hitaður með varmadælum. Ennfremur mun um 10% eldri hitakerfa, sem nú eru með olúkatla, verða endurnýjuð með varmadælu. Árið 2002 voru um 36% nýrra heimila hituð með varmadælum. Súluritið að neðan sýnir aukningu í notkun varmadælna í Sviss síðastliðin 20 ár, **Mynd 10**. Kökuritið sýnir skiptingu varmadælna eftir gerð. Flestar varmadælur nýta loft sem varmagjafa, en einnig eru varmadælur sem nýta varma úr jörðu algengar. Eru þá boraðar holur og leiddar ofan í þær slöngur eða s.k. borholuvarmaskiptar með frostlagarlausn í lokaðri hringrás sem dælt er í gegnum eimi varmadælnnar (upplýsingar frá FWS).



Mynd 10 Seldar varmadælur í Sviss. Hlutfallsleg skipting varmadælugerða

VIÐAUKI A

Hvers virði er orka í varmafræðilegum skilningi?

Lítum á hvers virði orka er í varmafræðilegum skilningi. Samkvæmt 2. lögmáli varmafræðinnar er orka skilgreind sem aðgengileg orka (exergy) og óaðgengileg orka (anergy). Aðgengileg orka er sá hluti orkumengisins sem hægt er að breyta í hvaða annað orkuform sem er með viðsnúanlegu ferli (viðsnúanlegt ferli er orkuferli þar sem engin töp verða við orkutilfærslu frá einu ástandi til annars og getur því gengið fullkomlega til baka til upprunalegs ástands). Óaðgengileg orka er sá hluti orkumengisins sem ekki er hægt að umbreyta í annað orkuform og er því einskis virði. Heildarorka er ávallt summa þessara tveggja orkuforma, þ.e.

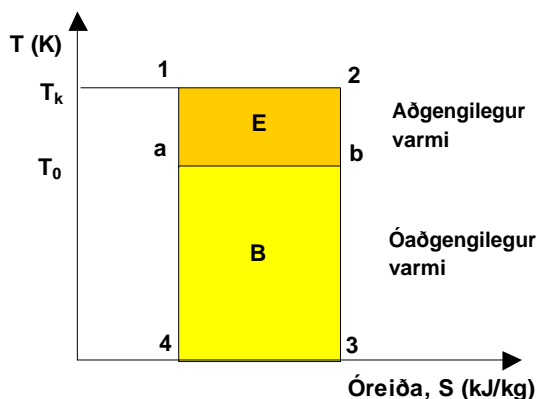
$$\text{Orka} = \text{aðgengileg orka} + \text{óaðgengileg orka.}$$

Raforka, vélræn (mekanísk) orka og efnaorka eru dæmi um hreina aðgengilega orku, þ.e. þessum orkuformum er hægt að breyta í hvaða annað orkuform sem er í viðsnúanlegu ferli. Varmi er hins vegar dæmi um orkuform sem aðeins að hluta til er hægt að umbreyta í aðra orku.

Til að útskýra aðgengilega og óaðgengilega hluta varmaorkunnar, Q , er hugtakið óreiða (entropy), S , kallað til sögunnar, ásamt s.k. T-S línuriti sem sýnir samband hita og óreiðu;

$$ds = dQ/T \quad \text{eða} \quad Q = \int T ds$$

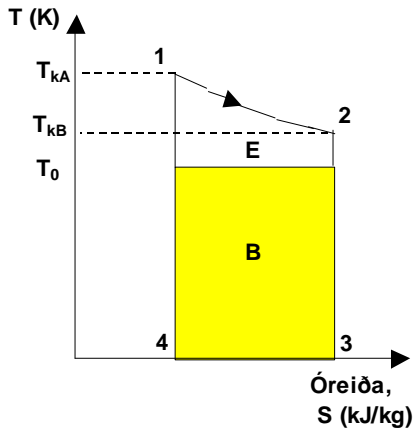
ds táknar breytingu á óreiðu þegar varmi, dQ , flyst á milli kerfa við fastan hita T (ath. að hiti er ávallt táknaður í Kelvin gráðum, $273\text{K} = 0^\circ\text{C}$). Varminn, eða varmaorkan, kemur fram sem flötur á TS línuriti eins og meðfylgjandi dæmi sýnir, **Mynd A1**.



Mynd A1 Aðgengileg og óaðgengileg varmaorka (exergy og anergy)

Heildarvarmaorkan er sýnd sem flöturinn 1-2-3-4. Þessi flötur skiptist í tvo undirfleti, þ.e. þann sem táknar aðgengilega orku og hinn sem táknar óaðgengilega orku. Mörkin eru við hita umhverfisins, T_0 . Nýting varmans, þ.e. varmaflutningur frá einu kerfi til annars við fastan hita (t.d. gufa sem þéttist), takmarkast við þann hluta flatarins sem er við hita yfir T_0 . Aðgengilegur varmi er því táknaður sem flöturinn E, eða 1-2-b-a, og er það sá hluti sem væri t.d. unnt að breyta í vélræna orku í varmaorkuvél (ef engin töp væru í ferlinu). B-hluti línuritsins táknar hins vegar óaðgengilega varmaorku.

Ef varmi flyst við fallandi hita, t.d. eins og gerist í miðstöðvarofni þegar vatnið kólnar, lítur línuritið út eins og **Mynd A2** sýnir.



Varmaþörf er samsett af aðgengilegum og óaðgengilegum hluta. Tökum sem dæmi upphitun húss þar sem krafan er um stöðugan 22°C (295K) innihita og hiti umhverfisins er 0°C (273K):

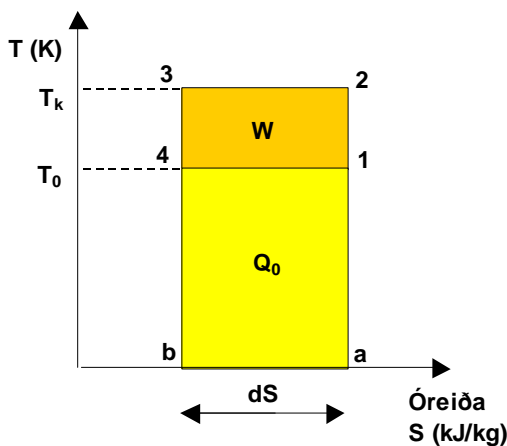
Aðgengilegur hluti varmaþarfar (E) er $(295-273)/295 * 100\% = 7,5\%$ og óaðgengilegi hlutinn (B) er $(273-0)/295 * 100\% = 92,5\%$.

Mynd A2 Aðgengileg og óaðgengileg varmaorka við breytilegan hita

Fræðileg (ideal) varmadæla er vél sem fyrir tilstilli aðgengilegrar orku (t.d. rafmagns) hækkar hita varmagjafa úr umhverfinu T_0 upp í hita T_k sem gerir varmagjafann nýtanlegan til upphitunar. Til að knýja varmadæluna er henni færð aðgengileg orka sem svarar til E, aðgengilega hluta varmaþarfarinnar. Óaðgengilegi hluti varmaþarfarinnar hringrásar til og frá umhverfinu og situr eftir sem uppgufunarvarmi í eimi varmadælu.

Varmadælur

Meginintak 2. lögmáls varmafræðinnar er að varmi getur ekki flust af sjálfu sér frá stað við lágan hita til staðar við háan hita. Með varmadælu er hins vegar unnt, með tilstuðlan aðgengilegrar orku (t.d. rafmagns), að flytja óaðgengilegan varma úr umhverfinu upp á hærra hitasvið þar sem nýta má varmann t.d. til húshitunar (sjá skilgreiningu á fræðilegri varmadælu hér á undan). Svokallað viðsnúanlegt Carnot ferli (1824), kennt við Frakkann Sadi Carnot sem uppi var á 19. öld, sýnir hið fræðilega varmadæluferli á TS línuriti, sjá **Mynd A3**.



- 1-2 táknar viðsnúanlega þjöppun (án núnings eða varmataps og óreiða S er því óbreytt, $ds=0$) frá lægri hita T_0 upp í hærri hita T_k .
- 2-3 táknar varmagjöf Q_k við fastan hita T_k .
- 3-4 táknar útpenslu við óbreytta óreiðu S frá hærri hita T_k niður í lægri hita T_0 .
- 4-1 táknar varmainnstreymi Q_0 frá umhverfinu við fastan hita T_0 .

Mynd A3 Carnot ferlið og Sadi Carnot (1796-1832)

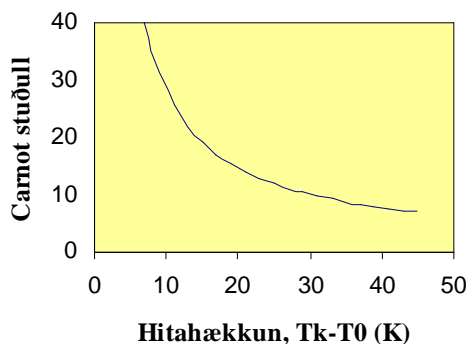
Varminn Q_0 frá umhverfinu, sem tekinn er upp við fastan hita T_0 , er fluttur upp á hærra hita-svið T_k . Orkan sem knýr ferlið, aðgengileg orka W , t.d. raforka, umbreytist einnig í varma sem skilar sér við hitann T_k . Heildarvarmi sem ferlið skilar við hitann T_k er því:

$$Q_k = Q_0 + W$$

Carnot virkni

Virkni Carnot ferlisins er skilgreind sem hlutfallið á milli varma sem kerfið skilar á móti þeirri aðgengilegu orku sem þarf til að knýja kerfið, þ.e.:

$$e_c = Q_k/W = T_k \cdot \Delta S / (T_k - T_0) / \Delta S = T_k / (T_k - T_0)$$



Mynd A4 Carnot virkni

Mynd A4 sýnir hve næm virknin er gagnvart hitahækkun í varmadæluferli. Til að fá sem hæsta virkni þarf því að leitast við að hafa hita T_k á viðtakahlið (hitakerfi) sem lægstan og finna varmagjafa í umhverfinu með sem hæstan ársmeðalhita T_0 .

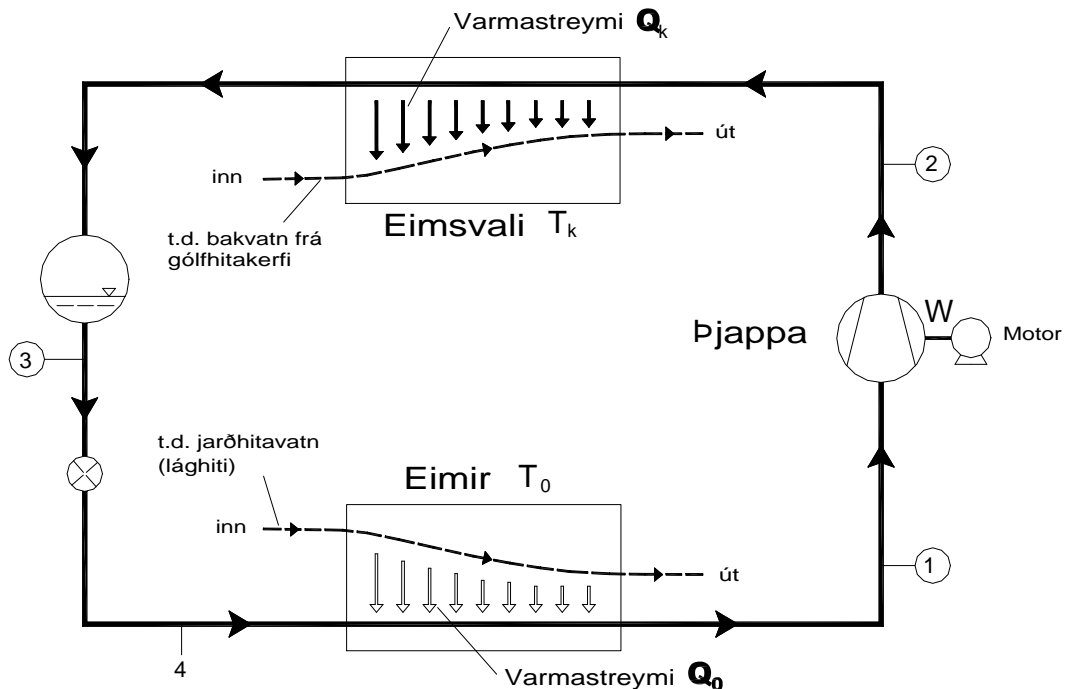
Raunverulegt varmadæluferli

Raunverulegt varmadæluferli víkur frá Carnot ferlinu á tvennan hátt. Annars vegar er gasið yfirhitað við þjöppun sem krefst meiri aðgengilegrar orku og hins vegar notar ferlið aðgengi-lega orku í þensluloka og varmaupptaka í eimi verður fyrir vikið minni. Virkni ferlisins er því minni en Carnot virknin.

Í varmadæluferli eru fjórar höfuðeiningar, þ.e. 1) uppgufari eða eimir, varmaskiptir sem er í tengslum við umhverfið, 2) þjappa, 3) eimsvali, varmaskiptir í tengslum við varmaviðtaka, t.d. húshitun, og 4) þensluloki, sjá **Mynd A5**. Kælmiðill í lokaðri hringrás breytir stöðugt um ástand, þ.e. er ýmist í vökva- eða gasformi og við lágan eða háan þrýsting og hita og tekur ýmist til sín varma eða skilar honum frá sér.

Varmadæluhringrásinni má lýsa þannig: Þjappan sýgur kælmiðil á gasformi úr eimi og þrýstingur og þar með suðumark kælmiðilsins lækkar undir hita umhverfisins T_0 . Við það streymir varmi frá umhverfinu inn í eiminn og kælmiðillinn sýður (gufar upp). Varminn, óaðgengilegur varmi Q_k sem kemur frá umhverfinu safnast þannig upp í kælmiðlinum sem uppgufunarvarmi. Þjappan þrýstir gasinu saman svo þrýstingur og þar með hiti þess hækkar. Gasið sem nú er við hærri þrýsting og hita en áður, er leitt inn í annan varmaskipti,

eimsvalann. Útstreymi frá eimsvalanum er þrengt með þensluloka, þannig að þrýstingur hækkar þar til hiti gassins T_k er orðinn hærri en varmaviðtaka (t.d. húshitakerfi). Varmi Q_k sem svarar til varmans Q_0 (óaðgengilegur varmi) sem eimirinn tók upp og vinnu þjöppumótorsins W (aðgengilegur varmi, raforka), streymir úr kælimiðlinum yfir í viðtakann (vatnið í húshitakerfinu). Gasið kólnar í eimsvalanum og þéttist í vökva. Að lokum fer vökvinn í gegnum þenslulokann þar sem þrýstingur fellur frá eimsvalaþrýstingi niður í þrýsting í eimi (uppgufara) og hringrásin lokast.



Mynd A5 Kerfismynd sem sýnir meginþætti varmadæluhringrásar

Raunveruleg virkni varmadælu

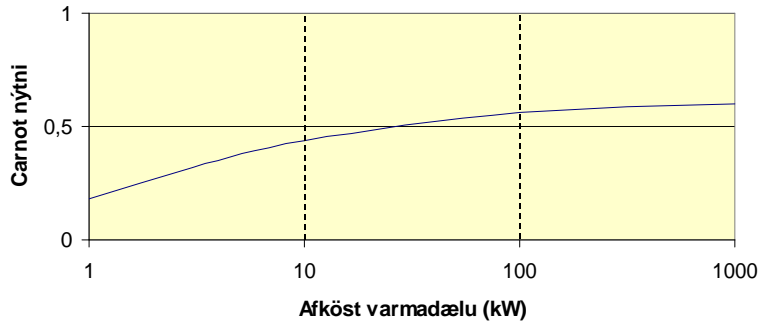
Töp í þjöppu og mótur ofl. veldur því að raunveruleg virkni varmadælu er lægri en ætla mátti skv. varmadæluferlinu. Venjan er að rita raunverulega virkni varmadælu sem hlutfall af Carnot nýtni, táknuð með η_c . Þessi nýtnistuðull er því n.k. mælikvarði á gæði varmadælukerfis:

$$\varepsilon = \eta_c \cdot \varepsilon_c = \frac{Q_k}{P_r}$$

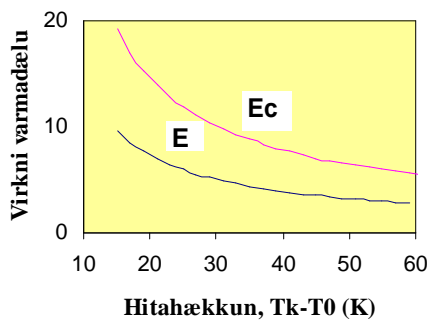
$$\frac{Q_k}{P_r} = \text{aflstuðull (COP) varmadælu}$$

Q_k = varmagjöf varmadælu [kW]

P_r = rafafli sem þarf til að knýja varmadæluna [kW]



Mynd A6 Carnot nýtni, η_C , er háð afköstum varmadælu



Mynd A7 Dæmi um aflstuðul Carnot hringrásar, ε_C , og raunverulegrar varmadæluásar, ε , sem fall af hitahækkun við fastan uppgufunarhita, 0°C . Carnot nýtni er 0,5.

Varmafræðileg töp í þjöppu og mótur minnka með stærð varmadæluinnar. Stórar og vandaðar varmadælu hafa Carnot nýtni á bilinu 0,5 til 0,6, en litlar varmadælu innan við 10 kW hafa Carnot nýtni allt niður í 0,3 til 0,4, sjá **Mynd A6**. Raunveruleg virkni varmadælu, e eða aflstuðull (COP), er sýnd á **Mynd A7** í samanburði við Carnot virknina ε_C .

Heimildir

- [1] “Anvendelse av varmpumper-Rammebetingelser”. 1990. Hovedrapport. ED-90-111. Energidata.
- [2] ”Varmepumper-Grunnleggende varmepumpeteknikk”. 1998. NTH-SINTEF Kuldeteknikk - ”Program for anvendelse av varmpumper” NTNF
- [3] ”Villavärmepumpar-Energimyndighetens sammanställning över värmepumpar for småhus”. 2002. Statens energimyndighet. ET 21:2002/10 000 Svíþjóð.
- [4] María Jóna Gunnarsdóttir. 1987. ”Varmepumper i Island” ., Orkustofnun. 3:e Nordiske Varmepumpedage, Reykjavík 22-25 júní 1987.
- [5] Magnús Einar Finnsson. 1991. ”Varmadælar Hitaveitu Akureyrar – sjö ára reynsla”. Aðalfundur SÍH Suðurnesjum 2-3. maí 1991.
- [6] Unnsteinn Stefánsson. 1994. Haffræði II. Háskólaútgáfan
- [7] Hafrannsóknastofnun. 2003. hafro.is
- [8] “Sjálfbært orkukerfi í Grímsey”. 2003. Greinargerð nefndar á vegum iðnaðarráðuneytis.
- [9] Böðvar Bjarnason. 1984. ”Varmadælar hitaveitu Akureyrar”. Samband íslenskra hitaveitna. Aðalfundur 28-29. júní 1984.
- [10] Magnús E. Finnsson. 2003. Ýmsar upplýsingar um nýju varmadælar Norðurorku.
- [11] Ingvar Nielsson. 2003. Verkfræðingur. Munnlegar upplýsingar
- [12] Matthías Oddgeirsson, 2003. Stöðvarstjóri Tilraunaeldisstöðvar Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað. Munnlegar upplýsingar.
- [13] Árni Hjartarson. 2003. Jarðfræðingur Jarðfræðideild ROS. Munnlegar upplýsingar.
- [14] Gísli Júlíusson, María Jóna Gunnarsdóttir, Róbert Magnússon. 1982. ”Varmadæla til húshitunar. Tilraun gerð á Þórgautsstöðum í Hvítársíðu”. Unnið fyrir Orkusparnaðarnefnd iðnaðarráðuneytis.
- [15] María Jóna Gunnarsdóttir. 1984. “Varmadæla á Þórgautsstöðum. Reynsla og hagkvæmni í rekstri”. OS 84100 JHD 19.
- [16] Lars-Olof Glas. 1978. ”Värmepumpboken” Ingenjörsförlaget.
- [17] ”Varmadælar við nýtingu jarðhita” 1981. Fundur að Hótel Esju 6. desember 1979. OS81008/JHD04.
- [18] Róbert Magnússon, Gísli Júlíusson. 1982. “Store varmapumper i Island: Andvendelse og muligheder” 1st Nordiske Varmepumpedager. NTH 30-31. ágúst 1982.
- [19] “The 2001 Geothermal Energy Barmometer”. Renewable Energy Journal, No. 12, 2002.
- [20] Rafhitun ehf. 2003. Munnlegar upplýsingar