

Mynd 1.

VARMADÆLUR

Varmadælar

Varmadælar eru byggðar á þeirri tækni að flytja varma frá stórum varmalindum til smærri og heitari varmaþega. Þessi grundvallartækni var fyrst skýrð eðlisfræðilega af Kelvin lávarði 1852. Á þeim tíma var eftirspurn eftir nýjum aðferðum til kælingar á matvælum mikil og fullgerð kælivél hafði nokkrum árum áður náð framleiðslustigi. Í framhaldinu varð heimsbylting í meðhöndlun og dreifingu matvæla og varmadælar til hitunar byggja á þeim sama vélbúnaði og notaður er í kælitækni.

Við varmaflutninginn er notuð mekanísk orka sem oftast er fengin með rafknúnum vélum. Þannig er unnt að flytja varmaorku með því að beita minni raforku en þyrfti til að hita viðkomandi rými beint og spara þannig raforku hlutfallslega.

Talið er að varmadælar í heiminum séu nú um 130-140 milljónir talsins (RM Lazzarin, 2007, International Journal of Low Carbon Technology) með varmaafköst sem um síðustu aldamót hafi numið um 1300 TWh. Notkunarsviðið hafi verið um 57% við húshitun, 27% í ýmiss konar þjónustu og loks um 16% í iðnaði. Svíar hafa náð mestum árangri, með varmadælum sem

afla varma sem nú nálgast 6 GW og er að mestu jarðvarmi að uppruna. Til samanburðar er bein jarðvarmanotkun hérlendis um 2 GW.

Í athugunum Nýsköpunarmiðstöðvar vegna núverandi skýrslu hefur komið fram að Orkusetrið á Akureyri reiknar með að milli 350-400 styrkir hafi verið veittir til kaupa á varmadælum á köldum svæðum á árabílinu 2010 til 2017. Samkvæmt upplýsingum Tollstjóra og Hagstofunnar voru um 250 varmadælar keyptar til landsins á árunum 2016 til 2017.

Varmauppspretta við notkun varmadælna er með ýmsu móti. Nota má venjulegar varmauppsprettur eins og jarðhita og nota má ýmist vatn úr borholum eða berghita sem leiða má úr jörð með slöngukerfum. Þá er unnt að nota varma úr andrúmsloftinu eins og tíðkast í loft-loft eða loft-vatn varmadælum. Eðlisfræðin á ýmsa valkosti umfram beina mekaníska notkun t.d. rafvéla, því unnt er að nota efnafraði fasabreytinga í föstu formi til að ná sömu virkni. (ísog/ásog - desorption/absorption).

Vinnslumiðlar

Vinnslumiðlar varmadælna eru efnin sem notuð eru í hringrás varmadælu. Vinnslumiðlar eru blóðrás varmadælna en þjöppur, hylki og annar búnaður eru eins og líffærin sem sjá til þess að hringrás vinnslumiðilsins gangi. Vinnslumiðill er valinn þannig að hann gefi sem mesta nýtingu tiltekins varma í þeim búnaði sem notaður er.

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 sérstökum lykli sem ekki verður farið nánar út í hér.

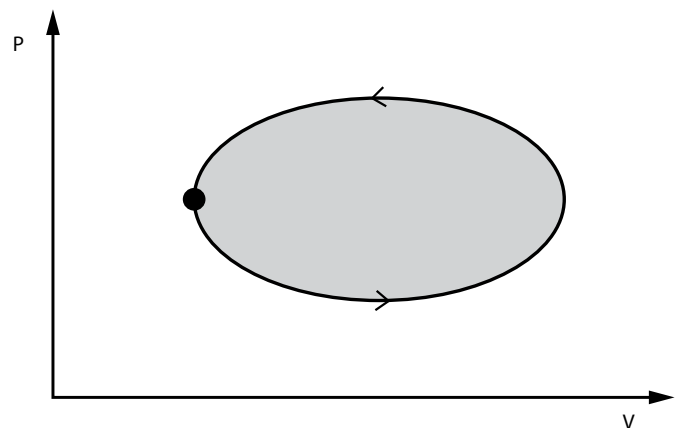
Vinnslumiðlarnir hafa þróast mikið undanfarna áratugi. Mesta hættu við suma þeirra hefur stafað af áhrifum þeirra á umhverfið, t.d. losun klórs sem aftur ræðst á ósónlag andrúmsloftsins. Eldnæmi er annað atriði sem getur skapað hættu. Þróun miðla framtíðarinnar stefnir að minnkun umhverfisáhrifa. Ef nefna ætti einn miðil sem nýtur æ vaxandi vinsælda nú er það CO₂ sem er í miklum vexti. Með nýjum samþykktum til varnar hnattrænni hlýnun jarðar, sem kenndar eru við Kigali, er stefnt að því að hætta notkun vinnslumiðla sem innihalda flúor, oft nefnd f-gös. Í stað þeirra koma þá einungis náttúrulegir vinnslumiðlar, t.d. CO₂ og NH₃ (ammóníak) til greina.

Lífsferilsgreining varmadælna leiðir til svipaðra niðurstaðna og lífsferilsgreining ísskápa og kællirýma. Mikilvægast er að hafa í huga að vinnslumiðlana þarf að hafa undir góðu eftirliti og þeim þarf að farga með varúð.

Þróun varmadælna hér á landi mun væntanlega verða töluverð. Fyrst ber að nefna að vel má hugsa sér að nota kerfi varmadælna í bæjarfélögum þar sem ein meginæð varma er leidd um bæinn, líklega byggt á glýkóli sem tengt er meginvarmauppsprettu – síðan byggt á fjölda smærri varmadælna í húsum og hýbýlum. Sambærilegum aðferðum er nú þegar beitt á nokkrum stöðum í Noregi. Ef hefðbundin hitaveita eða dreifiveita er til staðar er skynsamlegt að stærri varmadælur tengist slíku kerfi þegar þörf er á að bæta við varma inn í kerfin eða spara raforkunotkun, líkt og gert var í Drammen í Noregi og nú síðast í Vestmannaeyjum. Nú er verið að skoða svipaða útfærslu fyrir Seyðisfjörð, en með breytingum sem nýta kaldari sjó. Þar er markmiðið að finna hagkvæmar leiðir til að nýta varma úr sjó sem er allt að 0°C og ef vel tekst til má ætla að aðferðin nýtist víðar á Íslandi, svo sem á Vestfjörðum og Austfjörðum, en einnig erlendis, t.d. á Grænlandi og í Danmörku og hugsanlega á stærri mörkuðum.

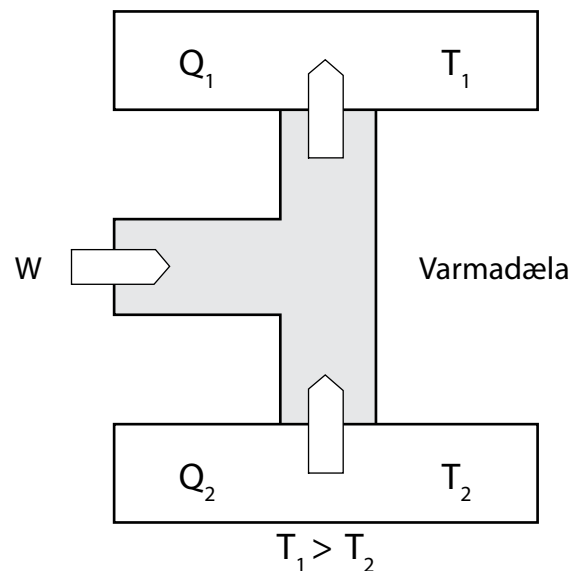
Næst verður skoðað hvernig varmaafllæði og eðlisfræði varmadælna lítur út.

Handhægt getur verið að hugsa sér ferla í rúmi sem spannst af þrýstingi p og rúmmáli V í ferli sem skrifa má sem hringferli í pV rúminu (mynd 2). Vinnan sem fer fram í ferlinu er í hlutfalli við flatarmál svæðisins sem markast af gráa svæðinu á myndinni. Margfeldi þrýstings og rúmmáls hefur einmitt eininguna orka og er mæld í Joule.



Mynd 2. Hringferli. Eftir hvern hring kemur kerfið aftur á byrjunarreit. Vinnan, margfeldi þrýstings og rúmmáls, er í raun í hlutfalli við flatarmál gráa svæðisins sem myndast.

Í varmadælu (sjá mynd 3 að neðan) er vinnan W notuð til að flytja varmann Q_2 frá varmalind með lágan hita T_2 þannig að varminn Q_1 er fluttur í umhverfi með hærri hita T_1 .



Mynd 3. Varmadæla sem flytur varma frá varmalind til að hita upp heitari varmaþega.

Þjappan í varmadælunni þrýstir saman vinnslumiðilinum þegar hann er í gasfasa og þannig hækkar hitastig vinnslumiðilsins. Meginhluti ytri orkunnar sem notuð er til að knýja varmadæluuna fer í þessa þjöppun.

Nýtni; í Carnot hringferlinu er nýtnistuðullinn,
 $\eta = Q_1 - Q_2 / Q_1 = (T_1 - T_2) / T_1$

Ársvarmastuðull varmadælu (e. SPF – Seasonal Performance Factor) er fundinn á sambærilegan hátt út frá hlutfalli heildarvarmaorku og -raforku á ársgrundvelli. Ársvarmastuðull er ein af forsendum arðsemisútreikninga varmadælu.

Þegar hitabil á milli varmalindar og varmaþega eykst, lækkar aflstuðull varmadælu. Lykilstærð varðandi afköst varmadælu er svokallaður coefficient of performance (COP), aflstuðull, en skilgreiningin er:

$COP = \frac{\text{kyndivarmi út/raforka inn}}{\text{hlutfall þess varma sem fæst úr dælu og þeirrar raforku sem notuð er til vinnu dælu}}.$

Hugtakið „varmadæla“ er notað til að lýsa hvoru tveggja tæki sem notað er til hitunar eða kælingar. Venjulega er þó með varmadælu átt við tæki sem hitar en kælivél er tæknilega sambærilegur búnaður sem kæli eða frystir. Ísskápur er dæmigerð

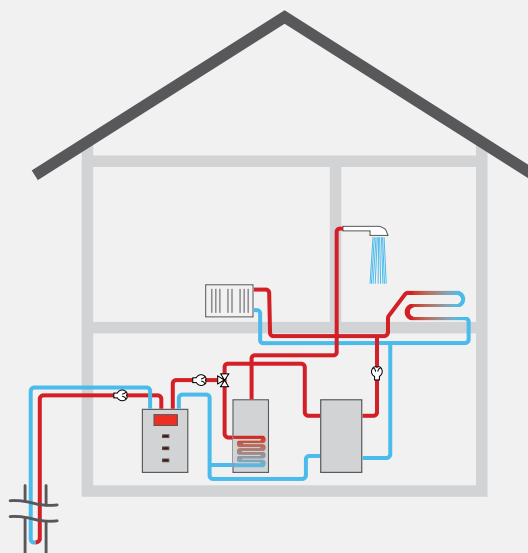
kælivarmadæla. Á Íslandi er notkun varmadælna til upphitunar ekki algeng, en ástæðurnar eru hár stofnkostnaður varmadælu og lágt raforkuverð til húshitunar (oft niðurgreitt). Einnig ber að nefna samkeppni við aðgengilegan jarðhita. Varmadælu eru hins vegar algengari víða erlendis, sérstaklega í Bandaríkjunum, Sviss, Svíþjóð og Þýskalandi. Nánast allar nýbyggingar í Svíþjóð eru til að mynda útbúnar varmadælur. Í Bandaríkjunum eru þær yfirleitt notaðar til kælingar en til upphitunar á Norðurlöndunum.

Mörg fyrirtæki og verkfræðistofur hér á landi vinna að framgangi varmadælna. Eftir að Nýsköpunarmiðstöð hóf að halda námskeiðið Orkubóndann, á öðrum áratug þessarar aldar, hefur notkun varmadælna aukist verulega og þeim verið komið fyrir víðs vegar um landið.

Í greinunum hér á eftir eru sýnd dæmi um varmadælukerfi sem verkfræðistofan Efla hefur unnið að á tveimur stöðum á landinu.

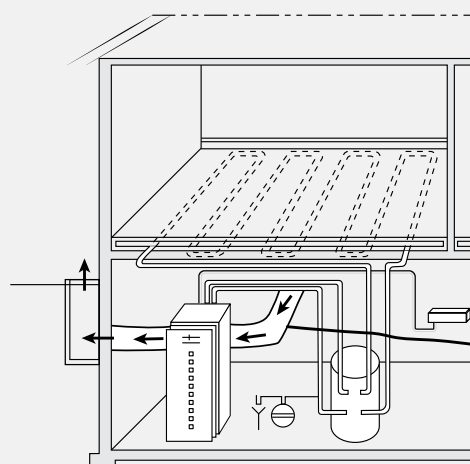
Varmadælukerfi á Grenhól Snæfellsnesi

- Nýtt 180 m² einbýli með gólfhitun
- Varmadæla með glykol/glykol kerfi
- Nafnafköst 7,7 kW m.v. 0°C að dælu og 35°C framrásarhita
- Varmi er tekinn úr 150 m djúpri borholu
- Grunnhiti holu í hvíld er 13°C
- Hiti holu lækkar niður í 1°C í vinnslu á vetrum
- Hóla er hvíld í 15 mín á 2 klst fresti
- Mældur aflstuðull, COP, eftir 3 ára notkun er 4,12.

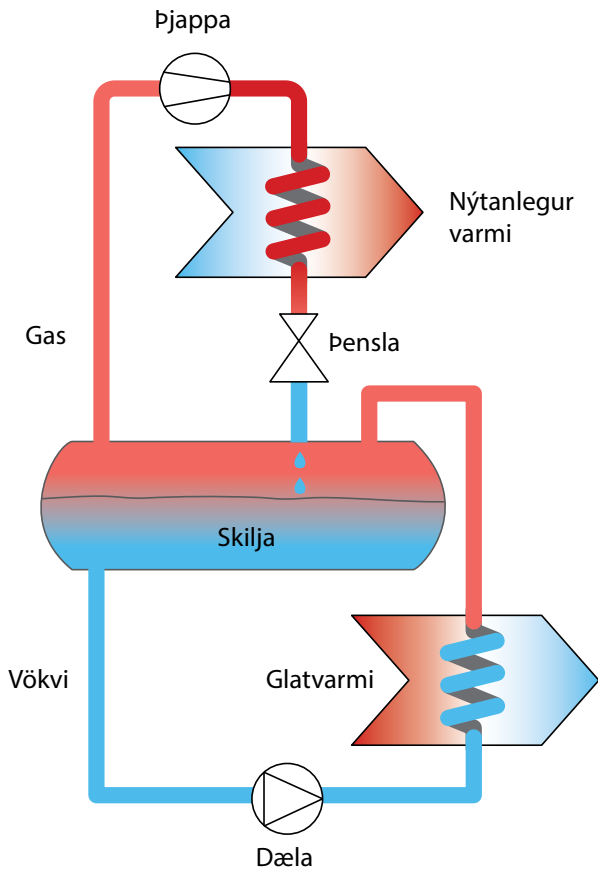


Varmadælukerfi á Litlu Brekku

- Sumarbústaður við Þingvallavatn með gólfhitun
- Varmadæla með loft/vatn kerfi
- Nafnafköst 10,6 kW m.v. 2°C hitastig að dælu og 35°C framrásarhita
- Mældur aflstuðull eftir 3 ára notkun er 3,5



Verkfræðistofan Efla hefur gefið út ofangreind dæmi



Mynd 4. Varmadæla sem byggir t.d. á ammoníaki

Stórar varmadælu og verkefnið í Vestmannaeyjum

Í Vestmannaeyjum hafa hús verið kynt með jarðefnaeldsneyti, fyrst kolum og síðan olíu. Árið 1962 var rafstrengur lagður til Eyja og tók því rafkynding við upphituninni.

Þann 23. janúar 1973 hófst eldgos í byggð í Vestmannaeyjum. Ákveðið var að virkja hitann úr hrauninu til upphitunar á húsum. Tvöfalt dreifikerfi var lagt í allan bæinn og dælustöð byggð. Þetta er fyrsta og eina hraunhitaveitan sem starfrækt hefur verið í heiminum svo vitað sé. Með lagningu dreifikerfis um bæinn skapaðist möguleiki á að nota fleiri aðferðir við upphitun á hitaveituvatninu.

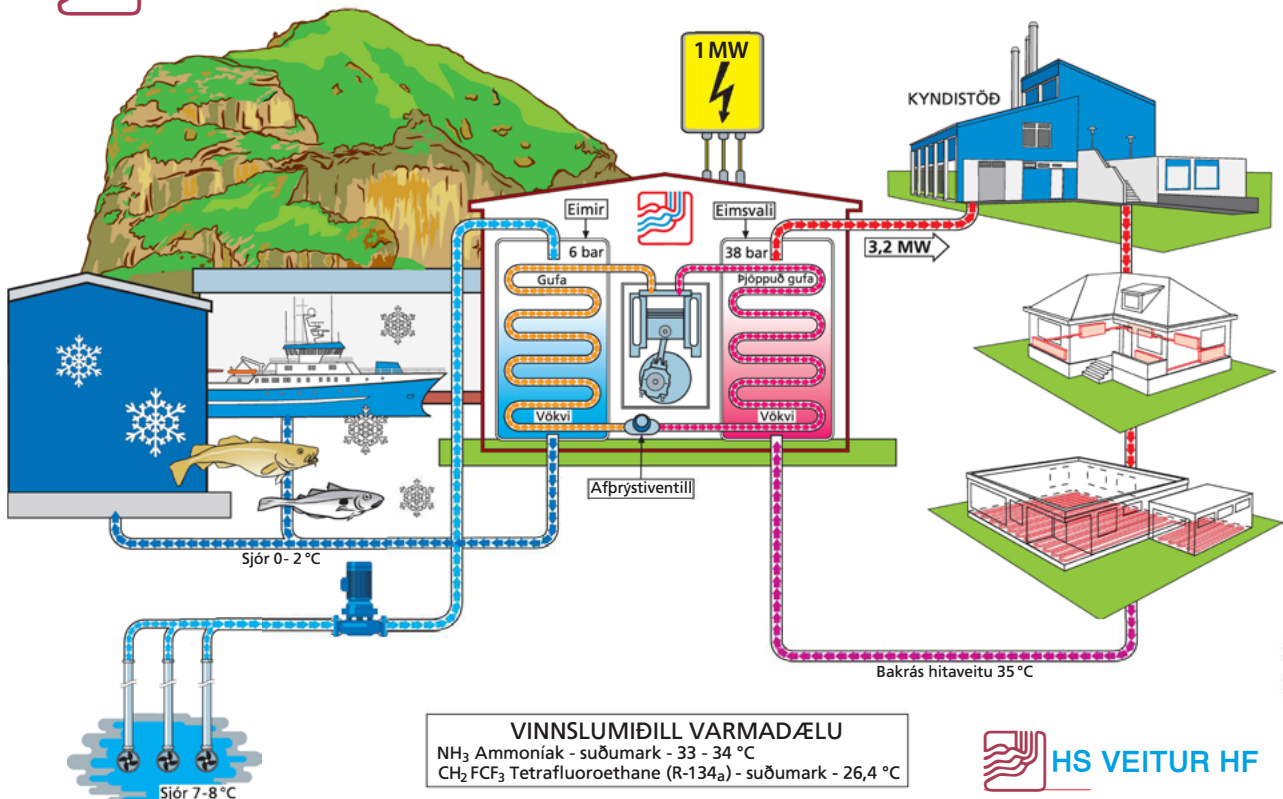
Árið 1988 var hitinn í hrauninu það lítil að rekstri hraunhitaveitunnar var hætt og 20 MW rafskautaketill tekinn í notkun, sem hefur séð um upphitun á hitaveituvatninu síðan. Olúkatlar voru notaðir sem varaafli. Sorpbrennsla var í rekstri frá 1993-2013 og varmi frá henni notaður til upphitunar. Varmi frá fiski-mjolsverksmiðjunum er einnig notaður til upphitunar.

Rafkyntar hitaveitur er að finna á sjö þéttbýlisstöðum hér á landi þar sem ótryggð orka er notuð til að hita upp vatn í lokuðu kerfi. Þrjú fyrirtæki reka þessar veitur, HS veitur reka veituna í Vestmannaeyjum, Orkubú Vestfjarða rekur veitur á Patreksfirði, Flateyri, Suðureyri, í Bolungarvík og á Ísafirði og RARIK rekur veitu á Seyðisfirði og á Höfn.



HS VEITUR HF

VARMADÆLA Í VESTMANNAEYJUM



Mynd 5. Sjóvarmadælukerfi í Vestmannaeyjum HS veitur

Heildarorkunotkun rafkyntra hitaveitna á Íslandi nemur árlega 190 GWh. Um helmingur þessarar orku er niðurgreiddur og ver ríkissjóður um 200 milljónum kr. árlega í þann lið. Sé horft til 25 sveitarfélaga sem eru með fleiri en 300 íbúa er heildarraforkunotkunin 360 GWh á ári.

Um nokkurt skeið hefur verið unnið að tæknilegu mati á möguleikum á að tengja stórar varmadælur inn í veitukerfin með tilheyrandi ávinningi. Um verulegan raforkusparnað er að ræða eða allt að 100 milljónir kWh. Það samsvarar almennri raforkunotkun um 20.000 heimila. Þetta samsvarar jafnframt um 15 MW vatnsaflsvirkjun. Hér væri um virkjun innan kerfis að ræða sem hvorki þyrfti umhverfismat né uppistöðulón en allar þær kWh sem sparast má nota til nýrrar atvinnuuppbyggingar. Í Vestmannaeyjum er nú þegar búið að setja upp stórar varmadælur sem eiga að geta sparað yfir 40 GWh. Sú raforka stendur þá fyrirtækjum og heimilum til boða í Eyjum eða annars staðar á landinu.

Orkusparnaður með varmadælum ætti einnig að vernda notendur að hluta fyrir hækkandi raforkuverði sem m.a. hefur verið boðað í framtíðaráætlunum Landsvirkjunar. Nokkur fjárfestingarkostnaður fylgir uppsetningu slíkra varmadælna en lægri orkukostnaður veitnanna ætti að standa undir þeirri fjárfestingu að því gefnu að orkuverð haldist óbreytt eða hækki.

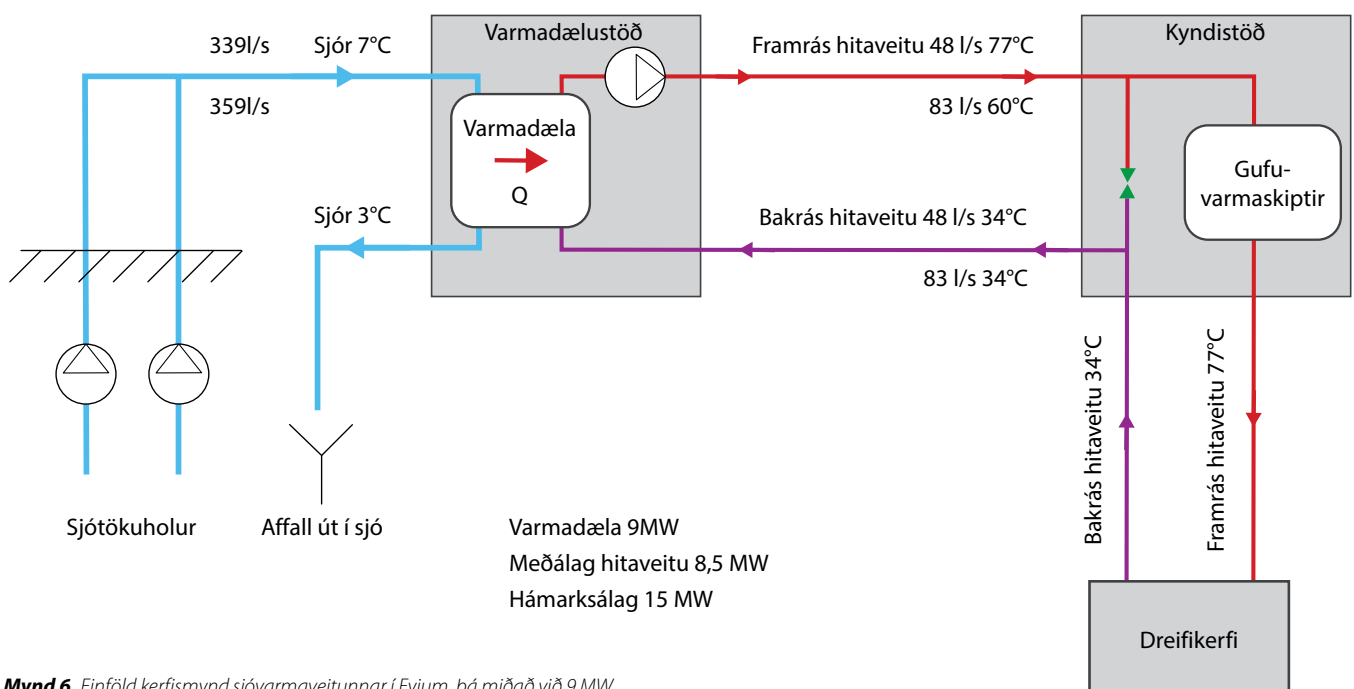
Málið er ekki einfalt þar sem ólíkir hagsmunir ýmist vinna saman eða vegast á. Þegar orkuþörf veitna minnkar er hægt að nýta núverandi niðurgreiðslur á húshitun sem stofnstyrk fjárfestingarinnar. Mögulega er líka jafnhagstætt fyrir veiturnar að hafa óbreyttar niðurgreiðslur en framtíðarumfang þeirra

hefur verið á floti að undanförunu og eru ýmsar hugmyndir uppi um breytt fyrirkomulag. Eins er óvissa um framtíðarorkukostnað og framboð á ótryggðri orku en sparnaður á þeim kostnaði er einmitt það svigrúm sem þarf til að borga upp fjárfestinguna við varmadæluna. Uppsetning á stórum varmadælum getur líka minnkað álag á dreifikerfi og skapað möguleika á hagræðingu í fjárfestingum. Hvað verður um orkuna sem losnar og á hvaða verði hún er seld nýjum notendum hefur svo áhrif á heildarmyndina. Að mörgu er að hyggja og viðfangsefnið umfangsmikið og margslungið.

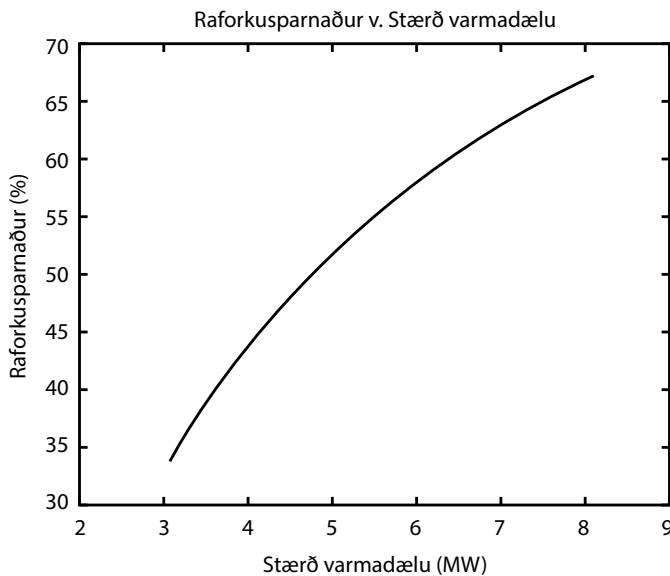
Iðnaðarráðherra skipaði starfshóp 2015 til að setja fram tillögur um uppsetningu á varmadælum á þeim stöðum sem taldir voru upp hér að framan. Greining var gerð á staðbundnum varmalindum, svo sem sjávarhita, volgrum, glatvarma o.s.frv. Þá var hópnum ætlað að leggja mat á umfang orkusparnaðar og dreifingu orkunotkunar yfir árið.

HS Veitur hafa unnið langmest á þessu sviði og hafa fjárfest í varmadælukerfi fyrir Vestmannaeyjar þar sem orka Golfstraumsins er notuð með því að dæla jarðsjó úr holum á Heimaey.

10 MW sjóvarmadælustöð HS Veitna í Eyjum var reist við Hlíðarveg 4. Leggja þurfti hitaveitulagnir og háspennustreng milli núverandi kyndistöðvar og nýju sjóvarmadælustöðvarinnar. Leggja þurfti affallsrör fyrir sjóinn frá sjóvarmadælustöð og út fyrir Eiði. Um er að ræða næst stærstu sjóvarmadælustöð í heimi sem notar náttúrulegan vinnslumiðil (ammóníak) og er áætlaður kostnaður við verkefnið um 1400 milljónir. Stöðin



Mynd 6. Einföld kerfismynd sjóvarmaveitunnar í Eyjum, þá miðað við 9 MW



Mynd 7. Útreikningar Varmalausna ehf. á sambandi stærðar og raforkukostnaðar

í Drammen er aðeins stærri, eða 13 MW, en pláss er fyrir eina vélasamstæðu í viðbót í sjóvarmadælustöðinni í Eyjum og þá yrðu þessar tvær stöðvar nánast jafn stórar.

Á stofnári Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands 2007 hreyfði forstjórinn þeirri hugmynd samhliða stofnun útibús í Eyjum að hvatt væri til þess að nýta varmadælu í Vestmannaeyjum og það gert að forgangsverkefni. Tæknimenn HS í Eyjum voru þá þegar að kanna slíka möguleika og fram fóru fyrstu athuganir á hagkvæmni.

Árið 2010 lagði Varmalausnir ehf. fram tillögur til HS Veitna um sjóvarmadælu sem væru á talsvert lægra verði en áður var talið mögulegt. Sparnaður var metinn við mismunandi stærð varmadælu, sjá mynd 7. Miðað var við að raforkunotkun til hitunar væri 52 GWh en ekki 81 GWh eins og nú er (fjölgun hefur orðið í Eyjum og sorpbrennslan er nú aflögð). Í kjölfarið fólu HS Veitur verkfræðistofunni Verkís að gera athugun á hagkvæmni þess að nýta sjó til að hita bakvatn hitaveitunnar með varmadælu. Hámarksafþörf hitaveitunnar var þá um 15 MW og skoðaðar voru ýmsar stærðir og gerðir varmadælna.

Niðurstaðan var að hagkvæmasta afl varmadælu væri um 9 MW þar sem tveir þriðju hlutar orkunnar kæmu úr sjó og um þriðjungur væri rafmagn. Þar sem ávinningurinn af varmadælu er fyrst og fremst rafmagnssparnaður er hagkvæmni hennar mjög háð rafmagnsverði. Árið 2011 var rafmagnsverð það lágt að arðsemi var talin ófullnægjandi auk þess sem Verkís miðaði við mun hærra verð á varmadælum en Varmalausnir. Allt benti þó til þess að rafmagnsverð færi hækkandi og arðsemi mundi aukast og var því ýmsum undirbúningi haldið áfram, t.d. með þátttöku HS Veitna, Nýsköpunarmiðstöðvar og Varmalausna ásamt fleirum í Arctic Ocean Heat verkefninu sem stutt var af Nordic Innovation á árunum 2014-2016 (númer 13033). Sjóvarmaveitur í Noregi voru heimsóttar í því verkefni og vakti

veitan í Drammen mesta athygli, enda er sjóhitinn þar samþærilegur og í Vestmannaeyjum. Verkís lauk endurskoðun frumhönnunar í júní 2015 og áætlaði arðsemi verkefnisins við mismunandi rafmagnsverð.

Eftir endurskoðun frumhönnunar unnu HS Veitur áfram að ýmsum undirbúningi svo sem samningum um rafmagnsverð, framkvæmd niðurgreiðslna á rafhitun o.fl. Verkís annaðist gerð útboðsgagna og mat á tilboðum í varmadælu og var samið við Varmalausnir um kaup á fjórum Sabroe (Johnson Controls) varmadælueningum, samtals 10 MW. Leitað var tilboða í borun holna fyrir sjótöku og unnið að samningum um borunina. Hönnun húsbýggingar, pípulagna og rafbúnaðar var næst í röðinni.

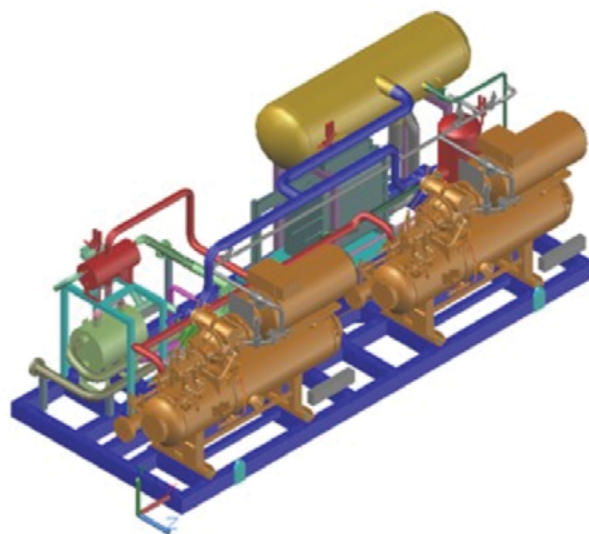
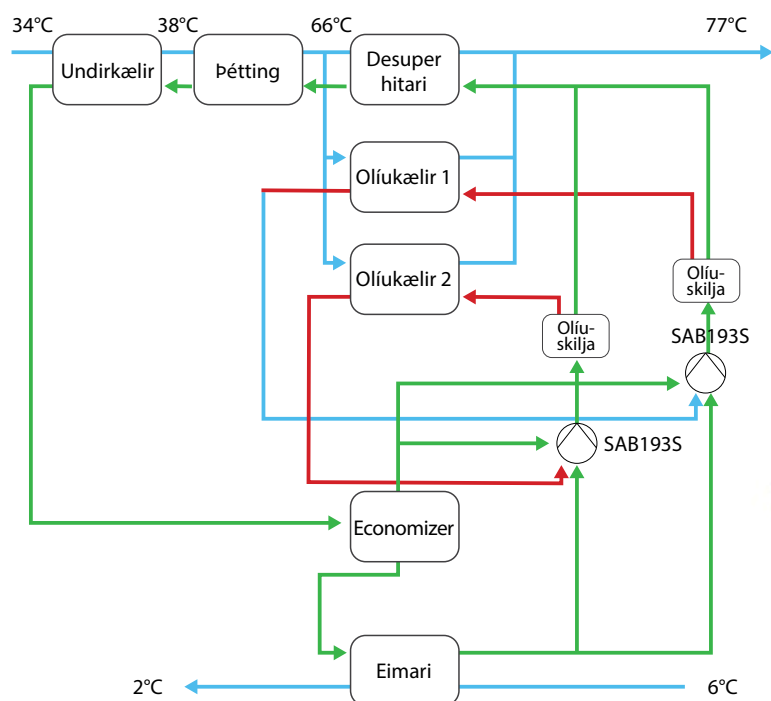
Í gegnum varmadæluna er leiddur sjór sem er kældur og orkan sem fæst með kælingunni er notuð til að hita upp hitaveituvatnið. Mynd 5 er úr frumhönnun og er einfölduð kerfismynd fyrir 9 MW varmadælu. Álagstölur á myndinni eru annars vegar fyrir hámarksálag á hitaveituna, 15 MW, og hins vegar fyrir meðalálag, 8 MW. Inn á varmadæluna er leiddur 7°C heitur sjór sem er kældur niður í 3°C. Að varmadælunni er leitt 34°C heitt bakvatn hitaveitu sem er hitað upp í henni. Þegar aflþörf hitaveitunnar er undir uppsettu afli varmadælu, 9 MW, er hitaveituvatnið hitað í 77°C sem er framrennslishi hitaveitunnar.

Varmadælurnar eru alls fjórar (2,5 MW hver) og eru smíðaðar af Johnson Controls í Árósum, Danmörku, undir vörumerkjum Sabroe sem er vel þekkt félag hér á landi, sérstaklega sem framleiðandi kæli- og frystivéla í matvælaframleiðslu, aðallega sjávarútvegi.

Ný afurð verður til við varmadæluna í Vestmannaeyjum. Þegar 6 gráðu heitur sjór er tekinn inn lækkar hiti hans í fyrstu og út kemur 2 gráðu heitur sjór sem gæti orðið áhugaverð afurð til nota í fiskiðnaðinum. Slíkur kælisjór gæti verið afar verðmætur, ekki síst þegar hreinleiki hans byggir á síun í gegnum hraunlög neðanjarðar eins og í Eyjum.

| | Án varmadælu GWh/ár | Með varmadælu GWh/ár |
|--------------------------|---------------------|----------------------|
| Rafmagnsnotkun ketils | 78,6 | 5,3 |
| Rafmagnsnotkun varmadælu | 0 | 20,7 |
| Rafmagn fyrir sjódælingu | 0 | 1,2 |
| Samtals | 78,6 | 27,2 |

- 10MW við 34/77°
- C COP 3.5



Mynd 8. Um varmadælu í Vestmannaeyjum (Ívar Atlason HS veitur)

Varmadælustöðin í Eyjum hefur nýtnistuðul sem er rétt rúmlega 3, þ.e. þriðjungur orkunnar sem fæst úr varmadælunni er rafmagn sem knýr hana, en 2/3 eða rúm 6 MW fást úr sjónum.

Sem fyrr segir er rafmagnssparnaður helsti ávinningurinn við varmadæluna. Taflan sýnir áætlaða rafmagnsnotkun hitaveitunnar með og án varmadælu.

Í greinargerð Verkís um málið er sagt að helstu hlutar verkefnisins séu:

- Sjótaka og losun kælds sjávar.
- Varmadælustöð með öllum búnaði.
- Tenging varmadælustöðvar við kyndistöð

Helstu tækifæri til varmadæluvæðingar til upphitunar á húsnaði á Íslandi eru af tvennum toga:

1. Nýting á volgrum. Volgrur sem ekki teljast nægilega heitar til beinnar húshitunar eru víða á landinu. Nýting þeirra er mjög hagkvæm með varmadælum. Eitt besta tækifærið til slíkrar nýtingar er á Tálknafirði, þar sem um 42°C heitt vatn rennur nú þegar til bæjarins. Leggja þarf hitaveitu til að nýting verði sem hagkvæmust.

2. Nýting sjávarvarma. Í Vestmannaeyjum er þessi nýting hafin en kanna þarf hagkvæmni við nýtingu á kaldari sjó. Öfundarfjörður hefur verið kannaður í þessu tilliti og nú er unnið að sambærilegum athugunum á Seyðisfirði.

Heimildir og ítarefni

Um nýjar prófanir á varmadælum við norræn skilyrði:

www.bestitestguiden.com/tester-pa-beste/varmepumpe.html

Ívar Atlason og Þorsteinn I. Sigfússon 2017, Heating an Arctic Island with the Gulf Stream. Erindi á Arctic Circle í Reykjavík, 14. október 2017.

Frosti Gíslason, Þorsteinn Ingi Sigfússon, Ívar Atlason og Árni Geirsson (2009). Varmadæla fyrir Fjarvarmaveitu Vestmannaeyja. Fýsileikakönnun. Nýsköpunarmiðstöð Íslands og HS Veitur

Ívar Ingvarsson, samtöl.

Ragnar Ásmundsson, Varmalausnir ehf. Samtöl.

Höfundur: Þorsteinn I. Sigfússon prófessor PhD.

Prentun: Prentmet

Eftirprentun óheimil



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands