

Nýtni jarðhitavökva til orkuframleiðslu

Oddur B. Björnsson (obb@verkis.is)
Verkís, Suðurlandsbraut 4, IS-105
Davíð Örn Benediktsson (dob@verkis.is)
Verkís, Suðurlandsbraut 4, IS-105

“Jarðhiti er orkuauðlind. Nýting hans á að grundvallast á kostnaði og væntanlegum arði af nýtingunni” – Valgarður Stefánsson, 1980.

FLOKKUN JARÐHITASVÆÐA

Jarðhitasvæðum er gjarnan skipt í lághitasvæði og háhitasvæði. Þegar rætt er um lághitasvæði er átt við að hiti jarðvökvans, eða vatnsins, sé undir 150°C, en á háhitasvæðum er hiti í jarðhitageyminum oftast vel yfir 200°C. Hæsti hiti sem mælst hefur í borholu á Íslandi enn sem komið er mældist í Kröflu 21. október s.l., eða 385,6°C á ríflega 2800 m dýpi. Hæsti hiti þar á undan mældist í holu NJ-11 á Nesjavöllum árið 1985, eða 381°C, skv upplýsingum frá ÍSOR. Við svo háan hita, þ.e. hærri en 374,15°C, verður ekki greint á milli gufu og vatns, því eðlismassi vökva- og gufufasans verður sá sami.

Háhitasvæðin henta best til raforkuframleiðslu og því betur sem hlutfall gufu er meira. Á milli lághita- og háhitasvæða eru s.k. sjóðandi lághitasvæði, þ.e. svæði sem henta hvoru-veggja til hitaveitu og rafmagnsframleiðslu með svokölluðum tvívökvastöðvum.

HVAÐ ER VIRKJAÐ?

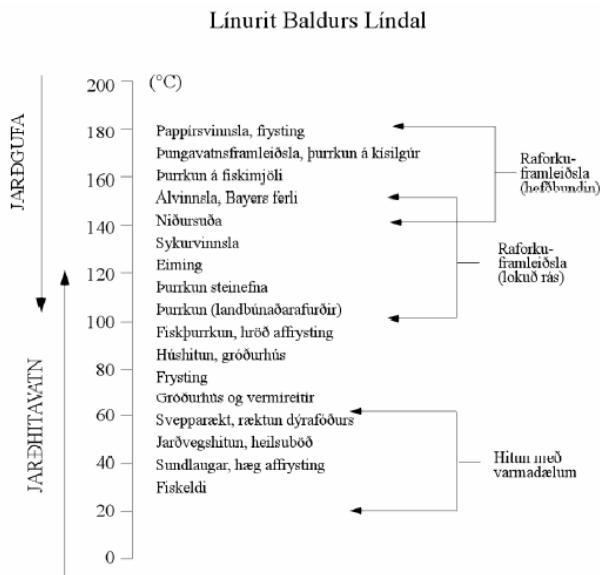
Vermi er íslenska heitið fyrir entalpíu sem mun vera samsett úr forskeytinu *en-* sem þýðir “að setja í” og gríska orðinu *–thalpein*, sem hefur merkinguna “að hita”. Í varmafræði er vermi (h) samsett úr innri orku og margfeldi þrýstings og rúmmáls, þ.e. $h=u+pv$. Innri orka vökva er beintengd hita, þ.e. $du=c_vdT$. Vermi er því samsett úr hita og þrýstingi í tilteknu rými. Því hærra sem vermið er því meiri orka (kJ) er í hverri massaeiningu (kg). Ástand vatns ræðst af hita þess og þrýstingi. Það getur verið undirmettað, mettað (á mörkum þess að fara að sjóða), blanda vatns og gufu (vatn við suðu) eða hrein mettuð eða yfirhituð gufa.

Markmið vinnslunnar er að fá sem mest afl og orku úr jarðhitageyminum fyrir sem minnst vatns- eða gufunám. Því hærra sem vermið er, því minna þarf að taka úr jarðhitageyminum. Miðað við ákveðna orkuvinnslu er t.d. miklu minna tekið úr hreinu gufukerfi en úr blönduðu eða hreinu vatnskerfi. Þetta hefur mikil áhrif á endingu geymisins og umhverfisáhrif af vinnslunni.

Í hefðbundnum hitaveitum er heitt vatn úr jörðu virkjað til húshitunar. Venjulega er vatnið undir suðumarki við andrúmsloftþrýsting, þ.e. undir 100°C. Þó eru dæmi þess að heita vatnið sem notað er í hitaveitu sé heitara, og má þar nefna borholur Orkuveitu Reykjavíkur á Laugarnessvæðinu þar sem vatnshitinn er nálægt 130°C. Í því tilfelli er vatninu haldið undir þrýstingi þar til varminn úr því hefur verið nýttur í upphitun á bakvatni með beinni blöndun, sem síðan er veitt til heimila um 80°C heitu. Vatn allt niður í 60°C er notað í hitaveitur á Íslandi, en ef vatnið er kaldara þarf að skerpa á því. Þá koma varmadætur til álita. Það að nota heita vatnið til upphitunar bygginga og síðan hugsanlega til snjóbræðslu skilar bestu nýtingu á auðlindinni. Ef heitt vatn við 80°C er nýtt niður í 30°C að meðaltali yfir árið, svarar

það til um 75% nýtingar, ef miðað er við að fræðilega væri hægt að nýta vatnið niður í umhverfishita, eða um 10 til 15°C. Ekki verður fjallað meira um notkun heits vatns til hitaveitna hér, heldur er athyglinni beint að háhita og sjóðandi lágghita.

NÝTING OG NÝTNI



Maðurinn hefur frá upphafi vega nýtt jarðvarma með einhverjum hætti. Víða um Evrópu þar sem er jarðhiti, eru fornar minjar um böð. Á Íslandi er Snorralaug í Reykholti í Borgarfirði líklega hvað þekktust. Heilsuböð hafa verið til um aldir í mið-Evrópu, og er það líklega útbreiddasta notkun lágghita erlendis. Baldur Líndal flokkaði mögulega nýtingu jarðhita eftir hitaskala og setti á línurit sem nú er vel þekkt meðal jarðhitamanna um heim allan. Þar bendir hann á margs konar notkun jarðhita til iðnaðar, auk hinnar hefðbundnu notkunar til baða, ræktunar, upphitunar og raforkuframleiðslu, sem er efst á hitaskalanum.

Þegar rætt er um nýtni er átt við að hve miklu leyti frumorka úr tiltekinni orkulind nýtist til að framleiða nýtanlega orku manningnum til framdráttar. Eins og áður segir er orkuforðinn í jarðvarmanum táknaður með hugtakinu vermi, sem segir til um hve mikil orka (kJ) er í einu kg af jarðvarmavökva (vatn eða gufa.) En þetta er aðeins annar hluti jöfnunnar. Hinn hlutinn lýtur að því við hvaða vermi vökvanum (vatninu) er skilað úr vinnsluferlinu, því á endanum fer hann aftur út í náttúruna. Það er þessi mismunur á vermi inn í ferlið og vermi út úr ferlinu sem skiptir öllu máli. Við bestu aðstæður gætum við skilað vatninu við hita nálægt umhverfishita okkar, t.d. 5 eða 10°C hærri hita, en fræðilega besta nýtni, eða exergy, miðast við umhverfishita; stundum er miðað við +15°C í samanburði milli landa.

Í hitaveitum sem byggja á jarðvarma er lögð höfuðáhersla á að nýta vatnið sem best, þ.e. að hitakerfi húsanna séu afkastamikil og virk og skili heita vatninu sem köldustu út úr húsi. En þar sem innihiti er gjarnan á bilinu 20 til 22°C, er vart um það að ræða að nýta heita vatnið neðar í húshitun en 30 til 35°C. Þá má nota vatnið til baða og snjóbræðslu, svo ýmsir möguleikar eru til að nýta það enn betur.

Með fjölnýtingu jarðhita er stefnt að því að raða saman mismunandi notkunarviðum í takt við línurit Baldurs Líndal með það að markmiði að nýta jarðhitavökvann sem allra best. Dæmi um slíkt á Íslandi eru orkuverin í Svartsengi og á Nesjavöllum, þar sem verður til heitt vatn til upphitunar auk raforku. Annað dæmi er á Húsavík, en þar voru uppi áform um margvíslega notkun á 120° heitu vatni. Efst í þrepinu var rafmagnsframleiðsla, síðan þurrkun, hitaveita, böð, fiskeldi ofl.

VERMI Í HÁHITASVÆÐUM

Í borholum í sjóðandi jarðhitageymi svarar vermi oft í byrjun vinnslu til vökva við suðumark, en breytist síðan þegar fram líða stundir. Borholurnar þróast í að verða hávermisholur eða borholur með s.k. bjagað vermi, eða herra vermi en ætla mætti miðað við hita vökvans. Hækkunin getur verið mjög breytileg milli holna, sumar haldast sem vökva- vermisholur lengi áður en gufa fer að þrengja sér inn í þær. Ekki er talið að hækkun vermis sé

af náttúrlegum völdum eða upphafsástandi í jarðhitageyminum, heldur vegna þrýstilækkunar umhverfis vinnsluholur. Þrýstifallið leiðir til umfangsmikillar suðu í jarðhitageyminum og mikillar rúmmálsaukningar vegna gufunnar.

Tvær skýringar kunna að vera á hækkun vermis. Annars vegar gæti verið um aðskilnað vatns og gufu að ræða þar sem gufan á auðveldara með að streyma inn í borholuna og skilur vatnið eftir. Hins vegar að varmi frá berginu umhverfis borholuna hraði suðu í holunni. Slíkt varmastreymi verður þegar vatn í borholunni hefur kólnað við jafnvermissuðu (adíabatísk) vegna þrýstifalls á leið upp holuna (Stefán Arnórsson, 1995).

Sem dæmi um holu þar sem vermi hefur hækkað má nefna holu 6 á Nesjavöllum þar sem vermi hækkaði frá 1200 í 2600 kJ/kg. Líkanreikningar á jarðhitageymi undir Skarðsmýrarfjalli gefa til kynna hvernig vermi gæti breyst við 30 ára vinnslu frá því að vera 1400 kJ/kg upp í tæplega 2100 kJ/kg (Grímur Björnsson, 2005.)

Annað dæmi um breytingar er í Svartsengi, þar sem vermi hefur hækkað í nokkrum holum úr 1040 kJ/kg, sem svarar til 240°C heits jarðsjávar, í 2800 kJ/kg sem er vermi þurrar gufu við 30 bara. Í upphafi var svo til eingöngu vatn í jarðhitakerfinu. Nú hefur Svartsengiskerfið hins vegar að breytast í blandað kerfi með vatni og gufu. Breytingarnar stafa af þrýstifalli í jarðhitakerfinu fyrir áhrif vinnslu úr svæðinu sem hefur leitt til aukinnar suðu og myndunar á gufupúða yfir heitu djúpvatni. Á árinu 2006 hafði allt að 3% af djúpvatninu breyst í gufu sem hefur stigið upp og myndað gufupúðann.

Fræðimenn og rekstraraðilar orkuversins í Svartsengi telja brýnt að viðhalda afkastagetu gufupúðans með því að stýra þrýstilækkun í djúpsvæðinu. Þar skiptir máli að finna hver sé besta skipting milli massatöku úr djúpkerfi og gufupúða og niðurrennsli til að viðhalda hámarks afköstum gufupúðans sem lengst (Sverrir Þórhallsson o.fl., 2004.)

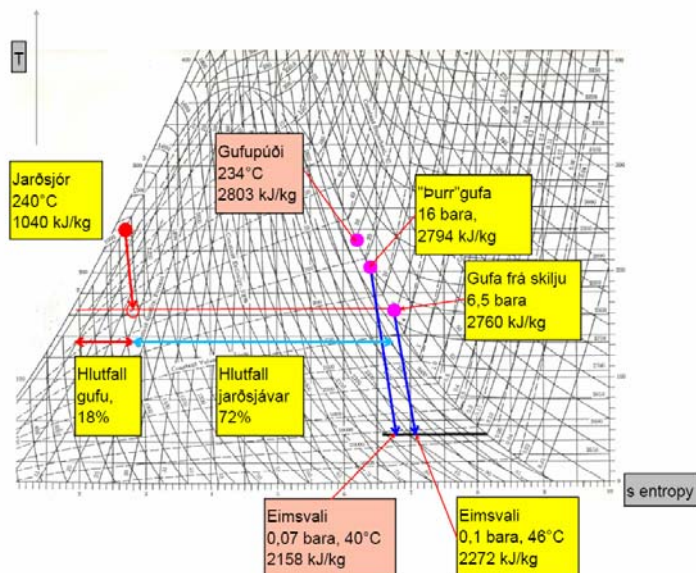
VIRKJUN HÁHITASVÆÐA

Skoðum dæmi um vinnsluferli virkjunar á háhitasvæði. Til viðmiðunar er jarðvarmasvæðið í Svartsengi, en þar hefur verið fylgst grannt með vinnslu úr svæðinu og breytingum á hita, þrýstingi og efnasamsetningu jarðsjávarins á þeim 32 árum sem Hitaveita Suðurnesja hefur nýtt það.

Í upphafi var gert ráð fyrir að rafmagn yrði framleitt sem aukaafurð í samrekstri við heitavatsþörfina, en afkastageta varmavinnslunnar var 125 MW_t í nýttum varma. Með tilkomu fyrri 30 MW eimsvalahverfilsins í orkuveri 5 árið 1999, færðist áherslan frá heitavatsframleiðslu yfir í raforkuvinnslu og massataka úr jarðhitakerfinu varð þá umfram þarfir hitaveitunnar einnar, sjá mynd 2. Því má segja að áhersla vinnslunnar hafi snúist við og í raun sé framleiðsla á heitu vatni í varmaorkuverinu aukaafurð og raforkuvinnslan orðin ráðandi um massatökuna (Sverrir Þórhallsson ofl., 2004.)

Varma- og raforkuverið í Svartsengi hefur þróast í takt við eftirspurn eftir raforku og ástand jarðvarmageymisins. Nýjasta orkuverið, OV6, tekur mið af nýjum aðstæðum í jarðhitageyminum sem hefur “þornað”, þ.e. gufupúði myndaðist ofan á djúpsjónum, með auknum niðurdrætti. Í orkuveri 6 er tekin háþrýst þurr-gufa sem er við 30 bara í jarðhitageyminum og nýtt við 16 bara í fyrstu þrepum “kolkraðbans”, en svo er nýjasti hverfillinn nefndur vegna fjölda tenginga gufu inn og út. Frá hverflinum fer gufan síðan út á milliþrepi við um 6,5 bara sem er inntaksþrýstingur annarra hverfla í orkuverinu sem nýta varma frá jarðsjónum og svo inn aftur við lægri þrýsting, og endar að lokum í eimsvala við 0,07 bara sem svarar til um 40°C.

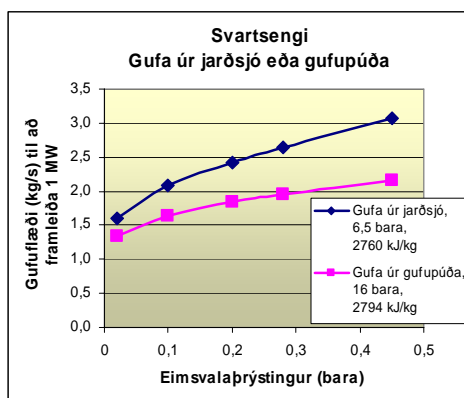
Þetta er býsna flókið ferli, en til að útskýra hvað það er sem í raun skiptir máli varðandi nýtingu og nýtni í orkuferli, er dregið upp ferli jarðvarmavökvans á T-s línurit. Það sýnir ástands-breytingar og eiginleika vatns og gufu, hita og entrópíu, þrýsting og jafnvermisferla, mynd 1.



Mynd 1 T-s línurit sem sýnir ferli jarðhitavökva frá jarðhitageymi, gegnum hverfil og inn í eimsvala. Annars vegar fyrir jarðsjó sem sýður í borholu og er skilinn í gufu og vatn á yfirborði og hins vegar fyrir mettaða "þurra" jarðgufu.

Samanburður þessara tveggja tilfella sýnir að:

- Aðeins um 18% jarðsjávarins verður að gufu sem nýtist til rafmagnsframleiðslu.
- Mismunur á vermi fyrir og eftir hverfil er um þriðjung meiri þegar tekin er gufa úr þurr-gufugeyminum en jarðsjávargeyminum. Af T-s grafi má sjá að vermi mettaðrar gufu **hækkar** um 50 kJ/kg á bilinu 5 bara til 20 bara, en **lækkar** þrefalt meira í eimsvala við 0,1 bara þegar miðað er við sömu ísentrópísku nýtni hverfils. Þar sem um er að ræða mismun vega þessi atriði þungt.
- Mun minni massa jarðhitavökva þarf því að nema úr jarðhitageyminum til að framleiða hvert MW_e rafafls þegar notuð er þurr-gufa en jarðsjór.

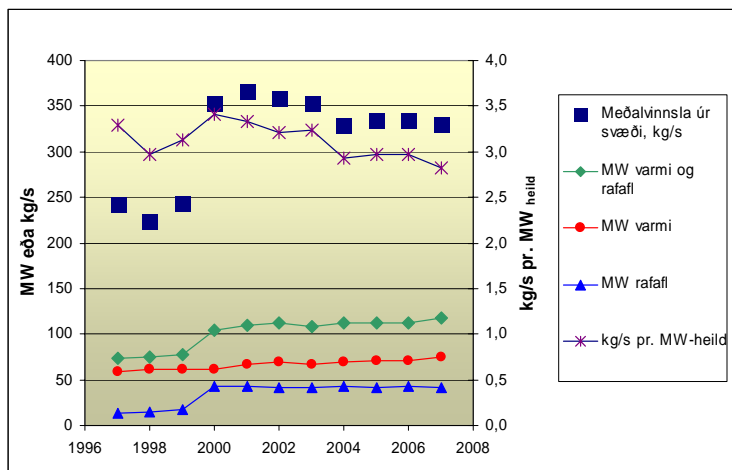


MWt varma fyrir hitaveitu, en í tilfelli þurr-gufunnar þarf 50 kg/s af þurr-gufu til að framleiða sama rafafli. En þá er ekki nein framleiðsla á heitu vatni.

Tafla 1 Jarðvarmaorkuverið í Svartsengi. Dæmi: Útreikningur á massa jarðvarmavökva/gufu til framleiðslu á rafafli og varma, og varmanýtni við rafmagnsframleiðslu.

		Svartsengi - OV 5	Svartsengi - OV 6	Reykjanes
Botnhiti	°C	240	230	300
Vermi	kJ/kg	1042	2803	1345
Þrýstingur við inntak hverfisil	bara	6,5	16	19
Massi gufu pr. MW _e rafmagns	kg/s pr. MW _e	2,0	1,6	1,6
Exergísk varmanýtni við rafm.framl.		9,2%	23,3%	11,4%
Rafmagnsframleiðsla	MW _e	30		
Varmaframleiðsla	MW _t	75		
Samtals afl	MW _{heild}	105	30	50
Heildarmassastreymi pr. afl	kg/s pr. MW _{heild}	3,2	1,6	6,9

Það sem að ofan er sagt byggir á einfölduðum útreikningum á vinnsluferli orkuversins, og er einkum ætlað að gefa til kynna hvaða atriði þarf að hafa í huga þegar rætt er um nýtingu jarðvarma og nýtni vinnsluferlis. Fróðlegt er að skoða reynslu síðustu ára af rekstri jarðvarmaorkuversins í Svartsengi. Í því skyni voru teknar saman upplýsingar úr ársskýrslum HS og reiknuð meðalvinnsla úr jarðhitageyminum frá 1999 til 2007, mynd 2. Ennfremur er reiknað meðalafli varma- og rafmagnsframleiðslu á tímabilinu og meðalnýting, þ.e. meðal-massastreymi (kg/s) úr jarðhitageyminum fyrir hvert framleitt MW samtals af varma og rafafli. Þessi tala hefur farið lækkandi frá árinu 2000, sem væntanlega endurspeglar aukid hlutfall þurrugufu í vinnslunni. Lækkun á síðasta ári má rekja til OV6, þar sem þurrugufa knýr 30 MW hverfilinn.



Mynd 2 Jarðvarmaorkuverið í Svartsengi. Yfirlit um meðalvinnslu (kg/s) og meðalafli (MW, og MW_e) undanfarin tíu ár (heimild: Ársskýrslur HS.) Breyting á hlutfalli massastreymis og framleiðslu (kg/s pr. MW_{heild}.)

Annað dæmi sem skoða má um mögulega nýtingu úr háhitasvæði er af jarðhitakerfinu kringum Hengil. Í spá um viðbrögð jarðhitakerfisins við stækkun raforkuvers úr 120 í 240 MW með nýju borsvæði upp á Skarðsmýrarfjalli (Grímur Björnsson, 2005) kemur m.a. fram spá um hækkun á vermi. Hækkunin er skýrð með suðu í jarðhitageyminum vegna fallandi þrýstings við vinnslu. Skv. spánni hækkar vermið frá 1400 kJ/kg, sem svarar til 311°C hita mettaðs vatns við 100 bara þrýsting, upp í 1900 kJ/kg, og síðan við áframhaldandi vinnslu með niðurrennsli upp í tæplega 2100 kJ/kg árið 2036. Ef þessi breyting á vermi er skoðuð á “landakorti” vatnsgufu (T-s graf), sést að jarðhitakerfið er dæmigert blandað kerfi þar sem við vermi á bilinu 1900 til 2100 kJ/kg er blanda vatns og gufu nálægt helmingsskipt (50%/50%.)

Hins vegar er rétt að minnst skýringar Stefáns Arnórssonar frá 1995, um að hækkun vermis við vinnslu stafi af aðskilnaði vatns og gufu þar sem gufan á auðveldara með að streyma inn í borholu en vatnið. Vermi í borholum gæti skv. því reynst enn hærra en spáin segir til um?

Niðurstöður útreikninga á mögulegri rafafslsframleiðslu úr þessu jarðhitakerfi eru teknar saman í töflu 2. Með 10 bara inntaksþrýstingi í hverfla og 0,1 bara eimsvaflþrýstingi, þarf 1,8 kg/s af gufu til að framleiða 1 MW_e rafafsls. Heildarmassastreymi vatns og gufu er 2,9 til 3,8 kg/s fyrir hvert framleitt MW_e rafafsls og varmanýtni á bilinu 16 til 17%.

Tafla 2 Jarðvarmaorkuver á Hengils svæði. Dæmi: Útreikningur á massa jarðvarma "vökva" til framleiðslu á rafafli og varmanýtni við rafmagnsframleiðslu.

		Hellisheiðarvirkjun - Skarðsmýrarfjall						
Botnhiti	°C	360	310	275	260	260	255	
Vermi	kJ/kg	1754	1400	1730	1900	1900	2000	
Þrýstingur við inntak hverfils	bara	10	10	10	10	10	10	
Massastreymi	m_heild	kg/s	440	440	440	440	380	340
Afl úr hverfli	MW _e		120	77	117	138	119	116
Massi gufu pr. MW rafmagns	kg/s pr. MW _e		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Exergísk varmanýtni við rafm.framl.			15,8%	12,8%	15,6%	16,7%	16,7%	17,2%
Heildarmassastreymi pr. afl	kg/s pr. MW _e		3,7	5,7	3,8	3,2	3,2	2,9

VIRKJUN SJÓÐANDI LÁGHITASVÆÐA

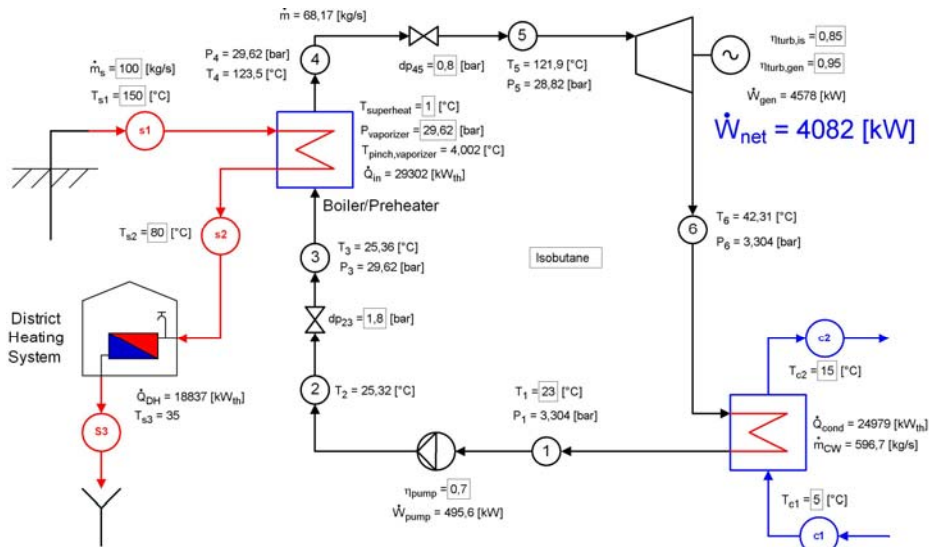
Á Orkuþingi 2001 stóð Jarðhitafélag Íslands fyrir málstofu um sjóðandi lághitasvæði. Þar kom m.a. fram að algengt aflhlutfall varma og rafmagns sé um 4 MW_e/MW_t í byggðum sem njóta hitaveitu (t.d. Reykjavík, Akureyri, Sauðárkrúkur). Það fer fyrst og fremst eftir hita vatnsins hvert þetta hlutfall verður, haldist þessi vinnsla í hendur þannig að ekkert vatn fari til spillis (Stefán Arnórsson, Sverrir Þórhallsson, 2001.) Stefán og Sverrir komust að því að með 130°C vatni væri unnt í samnýtingu að framleiða átta sinnum meira varmaafli en rafafli, ef miðað væri við 11% varmanýtni við raforkuframleiðsluna. Því getur byggð annað helmingi rafafllarfarar samhliða hitaveitu. Höfundar þessa erindis ákváðu að skoða þetta nánar.

Á sjóðandi lághitasvæðum henta tvívökvastöðvar (ORC-Organic Rankine Cycle) betur en gufuaflstöðvar til rafmagnsframleiðslu. Tvívökvastöð byggir á því að jarðhitavökvinn er látinn hita og sjóða vinnuvökva hringsins í forhitara og sjóðara, oft sambyggt í einn sjóðara. Vinnuvökvinn snýr svo hverfli sem knýr rafala. Eftir hverfilinn er lágþrýst gufa vinnuvökvans þétt í eimsvala og svo dælt upp í sjóðaraþrýsting aftur.

Tvær aðferðir henta vel til að tengja saman rafmagnsframleiðslu við framleiðslu hitaveituvatns.

Áhersla á hitaveitu – raforka aukaafurð

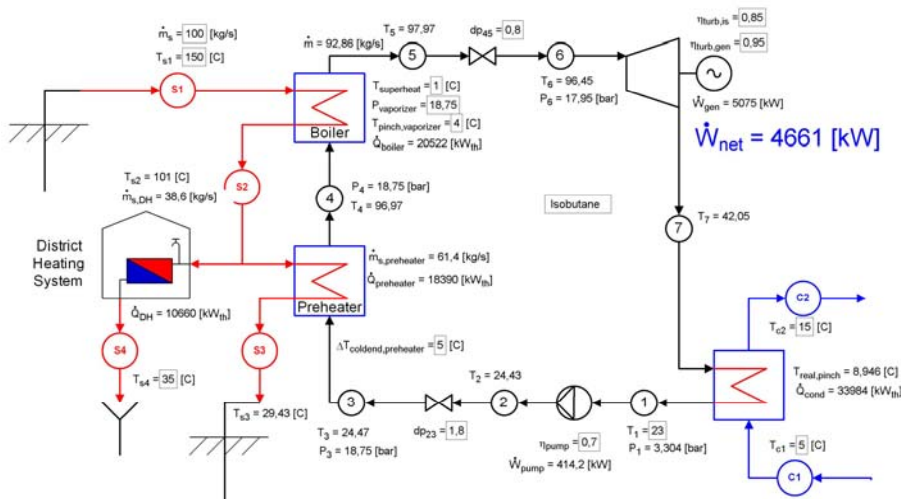
Hefðbundin leið sem farin var t.d. í orkuverinu á Húsavík (þó að vinnuhringurinn þar sé talsvert frábrugðinn þeim sem hér er fjallað um) er að láta rafmagnsframleiðsluna nýta varmann úr jarðhitavatninu sem er fyrir ofan valinn framrásarhita hitaveitunnar, þ.e. tvívökvaorkuverið fær að kæla jarðhitavatnið niður í 80°C og svo er því dælt inn á hitaveitukerfið. Dæmi um slíkan vinnuhring má sjá á mynd 3.



Mynd 3 ORC vinnuhringur og hitaveita raðtengd

Áhersla á rafmagn – hitaveita “í kaupbæti”

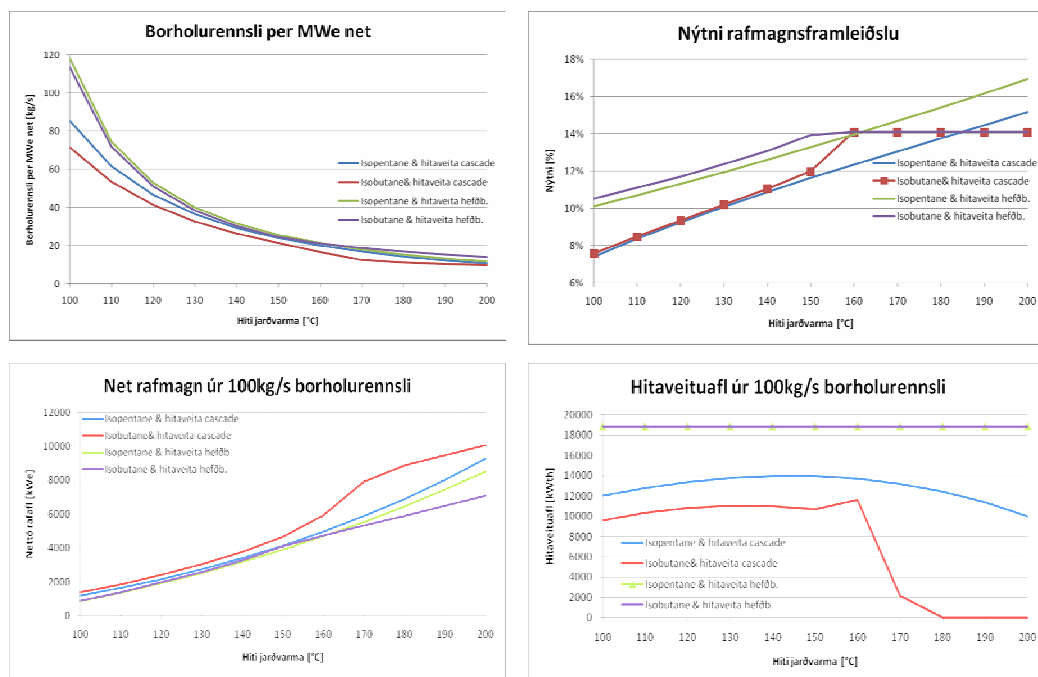
Annar möguleiki á að tengja saman tvívökvakerfi og hitaveituframleiðslu er að aðskilja forhitara og sjóðara tvívökvakerfisins. Allt jarðhitavatnið er sett í gegnum sjóðarann en svo er því skipt í tvo strauma. Annar straumurinn er notaður í forhitun vinnuvökvans og er magn hans stíllt þannig af að u.þ.b. sami hitamunur er á milli vökvanna alla leið í gegnum forhitarann. Hinn straumurinn er svo notaður í framsás hitaveitunnar. Með þessu móti fær tvívökvakerfið allan þann varma sem það þarf og skilar sama rafafli og það gerði ef engin væri hitaveitan. Eina breytingin sem verður á tvívökvakerfinu er að stærri varmaskiptaflöt þarf í forhitarann þar sem hann vinnur við lægri hitamun. Með þessu móti fæst hitaveita þar sem framsásarhitinn er háður suðuhita vinnuvökvans og þar með þrýstingi hans. Dæmi um slíkt kerfi er sýnt á mynd 4.



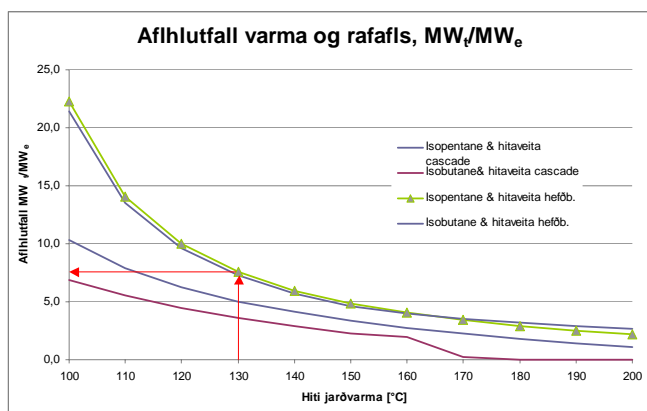
Mynd 4 ORC vinnuhringur með hitaveitu hliðtengda við forhitara

Á myndum 3 og 4 eru sýndir vinnuhringir sem nýta 100 kg/s af 150 °C jarðhitavatni og nota isobutane sem vinnumiðil. Í báðum tilvikum er sjóðaraþrýstingurinn valinn, þ.e. nettó rafafli er hámarkað.

Sambærileg bestun fyrir þessar tvær útfærslur af vinnuhringjum var gerð fyrir jarðvökvahita á bilinu 100-200°C, og bæði fyrir isobutane og isopentane sem vinnuvökva. Niðurstöður þeirra útreikninga má sjá á eftirfarandi gröfum:



Mynd 5 Niðurstöður líkanreikninga fyrir tvívökvavirkjun á sjóðandi lághitasvæði



Lítum að lokum á línurit sem sýnir aflhlutfall varma og rafafls, sem getið var í upphafi, sjá mynd 6. Við 130°C, sýna niðurstöður að hlutfallið sé um 7,5 með hefðbundinni aðferð, þ.e. ef lögð er áhersla á hitaveitu. Ef lögð er áhersla á raforku, verður hlutfallið frá 4 til 5 eftir því hvor vinnuvökvin er notaður í tvívökvavélina. Þetta er nálægt aflhlutfalli varma og rafmagns í byggðum sem njóta hitaveitu.

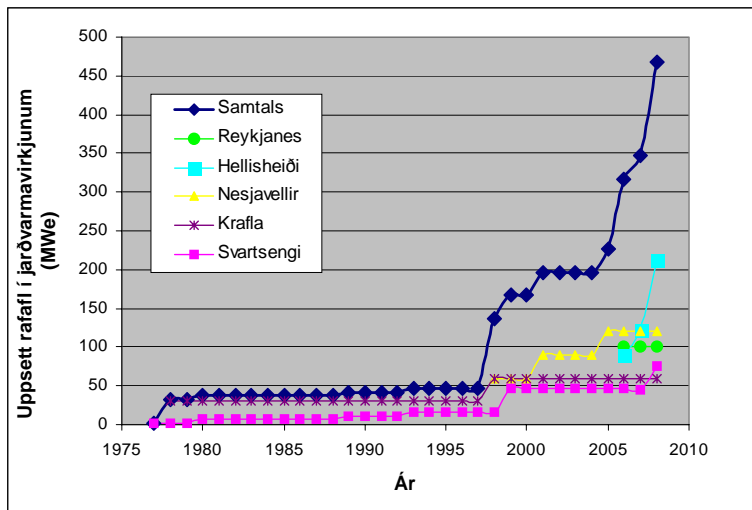
Mynd 6 Aflhlutfall varma og rafafls skv. líkanreikningum fyrir tvívökvavirkjun

HVAÐ SKILAR MEÐAL HÁHITAHOLA MIKLU RAFAFLI?

Valgarður Stefánsson safnaði heimildum um árangur jarðhitaborana á 29 háhitasvæðum í 13 löndum þar sem raforka er unnin með jarðgufu og birtu niðurstöðurnar í grein í *Geothermics* árið 1992. Vel heppnuð einstök borhola getur gefið af sér gufu til vinnslu á 6-7 MW_e, en meðaltalið í ofangreindri skoðun Valgarðs var 1,9 MW_e þegar allar borholur og uppsett rafafli var reiknað á hverju svæði. Þessi tala, 1,9 MW_e pr. holu, byggir á heildarfjölda borholna sem boraðar hafa verið á jarðhitasvæði frá því að rannsóknir hófust og fram til þess tíma sem athugunin var gerð, og ætti því að mati Valgarðs að endurspeglar framleiðslugetu til langs tíma.

Meðalafli borholna á tilteknu svæði fer oftast nær vaxandi er fleiri holur hafa verið boraðar. Yfirlitt þarf 10-15 borholur til að ljúka lærdómsferlinu og ná nokkuð stöðugu meðalafli eftir það. Ef tekið er meðalafli nýboraðra holna eftir að lærdómsferlinu er lokið fást 4,2 MW_e á hverja borholu á öllum þeim svæðum sem skoðuð voru. Talan 4,2 MW_e pr. holu endurspeglar hins vegar ekki langtíma framleiðslugetu jarðhitageymisins að mati Valgarðs.

Mjög mikill vöxtur hefur verið í virkjun háhitasvæða til raforkuframleiðslu á Íslandi síðastliðin tíu ár, mynd 7, en samantekt Valgarðs hefur ekki verið uppfærð í takt við þá þróun.



Mynd 7 Yfirlit um þróun uppsetts rafafils frá helstu jarðvarmavirkjunum á Íslandi

Tafla 3 Dæmi um meðalafli borholna á háhitasvæðum á Íslandi (miðast við uppsett afl og allar boraðar holur á viðkomandi svæði síðan rannsóknir hófust.)

		Nesjavellir allar holur	Svartsengi allar holur	Reykjanes allar holur	Krafla allar holur
Holur boraðar á svæði		27	23	24	36
Heitavatnsframleiðsla	MW _t	300	150		
Til hitaveitu	MW _t /holu	11,1	6,5		
Rafmagnsframleiðsla	MW _e	120	75	100	60
Til rafmagnsframleiðslu	MW _e /holu	4,4	3,3	4,2	1,7
Varmi og rafafi	MW _t +MW _e	420	225		
Til heildarorkuframleiðslu	MW/holu	15,6	9,8		

Í töflunni hér að ofan eru tekin dæmi frá fjórum svæðum þar sem rannsóknir og rekstur hófst fyrir allmörgum árum eða áratugum. Meðalafli pr. borholu þegar miðað er við uppsett afl í virkjun og heildarfjölda borholna í þessari lauslegu könnun er á bilinu 1,7 til 4,4 MW_e, en þörf er á frekari úrvinnslu á slíkum upplýsingum um íslensk jarðhitasvæði.

Heimildir:

Valgarður Stefánsson, 1980. *Borun eftir jarðhita og rannsóknir á borholum*. Náttúrufræðingurinn, 50 (3-4), bls. 250-270, 1980.

Stefán Arnórsson, 1995. *Estimation of initial steam fraction in boiling geothermal reservoir*. WGC Florens 1995.

Sverrir Þórhallsson, Trausti Hauksson, Snorri Páll Kjara, Magnús Ólafsson og Albert Albertsson, 2004. *Niðurdæling í Svartsengi. Frá tilraunum til stöðugs rekstrar*. Málþing Jarðhitafélags Íslands 10. nóvember 2004.

Guðmundur Pálmason, 2005. *Jarðhitabók. Eðli og nýting auðlindar*. Hið íslenska bókmenntafélag 2005.

Grímur Björnsson, 2005. *Hellisheiðarvirkjun – Skarðsmýrarfjall. Spár um viðbrögð jarðhitakerfis við stækkun raforkuvers úr 120 í 240 MW*. ÍSOR-2005/022, júní 2005.

Ingvar Birgir Friðleifsson, 2001. *Hvað er sérstakt við sjóðandi lágheatasvæði?* Orkuþing 2001.

Sveinbjörn Björnsson, 2006. *Orkugeta jarðhita*. Orkuþing 2006.

Stefán Arnórsson og Sverrir Þórhallsson, 2001. *Fjölnotkun jarðhita á sjóðandi lágheatasvæðum*. Orkuþing 2001.

Guðni Axelsson, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson, 2006. *Hvernig á að meta sjálfbæra vinnslugetu jarðheatasvæða?* Orkuþing 2006.

Valgarður Stefánsson, 1992. *Success in geothermal development*. Geothermics, Vol. 21, No 5/6, pp. 823-834, 1992.