



ORKUSTOFNUN

Auðlindadeild

Samnýting orkulinda

**Erindi flutt á afmælisráðstefnu
Orkustofnunar
„Orkuvinnsla í sátt við umhverfið“
í október 1997**

**Valgarður Stefánsson, Orkustofnun
Elías B. Elíasson, Landsvirkjun**

1998

OS-98005



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 300 400

Valgarður Stefánsson Orkustofnun
Elías B. Elíasson Landsvirkjun

Samnýting orkulinda

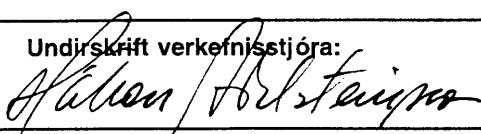
Erindi flutt á afmælisráðstefnu Orkustofnunar
"Orkuvinnsla í sátt við umhverfið"
í október 1997

OS-98005

Mars 1998

ORKUSTOFNUN: Kennitala 500269-5379 - Sími 569 6000 - Fax 5688 896
Netfang os@os.is - Heimasíða <http://www.os.is>



Skýrsla nr.: OS-98005	Dags.: Mars 1998	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: SAMNÝTING ORKULINDA	Upplag: 75	
	Fjöldi síðna: 11	
Höfundar: Valgarður Stefánsson, OS Elías B. Elfásson, LV	Verkefnisstjóri: Hákon Aðalsteinsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Ráðstefnuerindi	Verknúmer: 300 400	
Unnið fyrir:		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Fjallað er um eðli íslenskra orkulinda og samnýtingu olfu, vatnsorku og jarðhita. Bæði vatnsorka og jarðhiti eru hluti af samfelldum orkustraumum í náttúrunni sem hafa verið stöðugt í gangi í mjög langan tíma. Í báðum tilvikum hefur vinnsla ekki skerðandi áhrif á þessi hringrásarkerfi náttúrunnar. Af þeim sökum eru bæði vatnsorka og jarðhiti skilgreind sem endurnýjanlegar orkulindir. Í erindinu er samnýting þeirra rædd ítarlega. Frábærir stýrieiginleikar vatnsorkukerfa nýtast mjög vel í samnýtingu við jarðhitavirkjanir, sem eðli sínu samkvæmt nýtast best sem grunnafi. Breytingar í eftirspurn raforku kalla á að raforkukerfið sé uppbyggt af einingum með mismunandi eiginleika. Orkugeta er takmarkandi þáttur vatnsorkuvera en uppsett afl takmarkar rekstur jarðhita-stöðva. Í hagkvæmniathugum skiptir máli hvort hagkvæmnin er athuguð frá sjónarmiði einstakrar virkjunar eða frá sjónarhóli alls raforkukerfisins. Rekstur vatnsaflsvirkjana tekur mið af vatnsgildi miðlunarlóna. Bent er á að með svipuðu verðmætamati á vatnsgildi jarðhitakerfanna væri hægt að koma upp rekstrarkerfi sem tæki bæði til vatnsafls- og jarðhitavirkjana. Niðurstaða umfjöllunarinnar er sú að lægra raforkuverð fáiast með hæfilegri blöndu jarðgufu- og vatnsaflavirkjana en með raforku-kerfi þar sem aðeins ein tegund virkjana er notuð.		
Lykilorð: Orkulindir, samnýting, vatnsorka, jarðhiti, sjálfbær þróun, álagsbreytingar, langæislna, vatnsgildi, toppafl, umhverfiskostnaður	ISBN-númer: ISBN 9979-68-012-1	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirlit af: HT, PI	

Efnisyfirlit

Inngangur	1
Eðli íslenskra orkulinda	1
Orkunotkun	2
Eiginleikar aflstöðva og aðlögun að markaði	4
Toppafl	7
Niðurstöður	8
Heimildir	8

Myndir

1. Yfirlit um vatnsorku á Íslandi	2
2. Yfirlit um jarðhitaorku á Íslandi	2
3. Verg orkunotkun á Íslandi og velta nýtingarflokkanna	3
4. Mismunandi kostir við samnýtingu orkulinda	3
5. Umbreyting orkuforma	3
6. Mánaðarleg raforkuvinnsla	4
7. Mánaðarleg varmavinnsla	4
8. Árssveifla raforkuvinnslu á Norðurlöndum	4
9. Breytingar á daglegri vinnslu hitaveitu	4
10. Álagsbreytingar í vinnslu raforku	5
11. Langæislína hitaveitu	5
12. Langæislína raforkukerfis Landsvirkjunar á árinu 1994	5
13. Uppsetning afls vatnsaflsvirkjana	5
14. Uppsetning afls jarðhitavirkjana	5
15. Samband jarðhitavinnslu og þrýstings í jarðhitakerfi	6
16. Breytileg vatnsstaða í miðlunarlónum vatnsaflsvirkjana	6
17. Vatnsgildi í miðlunarlónum og í jarðhitageymum	7
18. Vinnsla og þrýstingur í jarðhitakerfi Hitaveitu Dalvíkur	7
19. Samband kostnaðar, toppafls og grunnafls	7
20. Þýsk hitaveita sem nýtir jarðhita sen grunnafl og olíu sem breytilegt afl	9

Orkustofnun

ISBN 9979-68-012-1

Samnýting orkulinda

Valgarður Stefánsson
Orkustofnun

Elias B. Eliasson
Landsvirkjun

Inngangur

Ríkisstjórnin hefur markað stefnu um sjálfbæra þróun í íslensku samfélagi. Þar segir m.a.: *Þróun íslensks iðnaðar og orkubúskapar verði með þeim hætti að nýting orkulinda skerði ekki lífsskilyrði komandi kynslóða og að slík nýting og hvers kyns iðnaðarstarfsemi valdi ekki skaðlegri mengun eða óhóflegri röskun vistkerfa og náttúruminja. Dregið verði úr notkun innflutts eldsneytis m.a. með orkusparnaði og með því að nýta í auknum mæli innlenda orkugjafa, sem eru hreinir og endurnýjanlegir, í þess stað. Stefnan er þannig sú að orkuvinnsla jarðhita og vatnsorku skerði ekki lífsskilyrði komandi kynslóða. Hins vegar fjallar framkvæmdáætlun ríkisstjórnarinnar ekki beinlínis um það hvort orkuvinnslan sem slík er sjálfbær. Á þessu tvennu er mikill munur.*

Engin reynsla er fyrir hendi um vægi þessarar yfirlýsingar ríkisstjórnarinnar. Ætla má að *orkuvinnsla í sátt við umhverfið* hafi áhrif á orkuverð ef lítið er til 10 - 20 ára tímabils. Eru Íslendingar reiðubúnir að greiða hærra orkuverð fyrir orku sem unnin er á sjálfbæran hátt en fyrir orku þar sem orkuvinnslan er það ekki?

Umhverfissjónarmið og orkuverð skipta máli fyrir uppbyggingu orkuvinnslu á Íslandi. Nú eru allar framkvæmdir vegna orkuvinnslu háðar umhverfismati. Almenn samstaða virðist vera um að kostnaður við vissar fyrirbyggjandi aðgerðir (t.d. mengunarvarnir) eigi að koma fram í orkuverði. Hins vegar eru uppi mörg sjónarmið um hvaða önnur atriði ættu að koma fram sem kostnaðarþættir við ákvörðun orkuverðs. Oft hefur reynst erfitt að bera saman fjárhagslega hagkvæmni orkuvinnslu og verndun náttúrunnar. Það gefur auga leið að nauðsynlegt er að ná samstöðu um einhvern samamburðargrundvöll fyrir þessi sjónarmið. Friðun (verndun) er vissulega eitt form á nýtingu náttúruauðlinda. Spurning er hins vegar hvernig þessi nýting (verndun) er metin til fjár og hvernig kostnaður eða verðmætasköpun verndunar er látinn koma fram í orkuverði. Ein leið virðist vera að nota svokallað skilyrt mat (Contingent Valuation Method) sbr. Tryggva Þór Herbertsson 1997.

Orkunotkun Íslendinga byggist á notkun olíu, jarðhita og vatnsorku. Samnýting orkugjafanna er tiltölulega lítil eins og sakir standa, en við langtíma stefnumörkun um orkunýtingu þjóðarinnar þarf að huga að öllum leiðum til þess að orkuvinnalan verði sem hagkvæmust jafnframt því að vera í sátt við umhverfið. Ein af þeim leiðum sem hefur áhrif á orkubúskap þjóðarinnar er hvernig samnýtingu mismunandi orkulinda verður háttáð á komandi árum. Í þessari samantekt er fjallað um samnýtingu á olíu, jarðhita og vatnsorku.

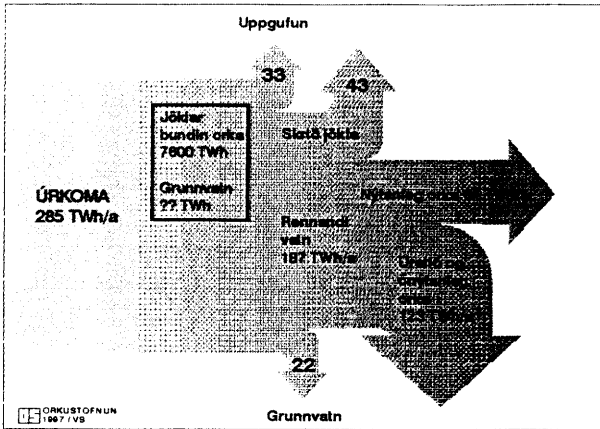
Eðli íslenskra orkulinda

Vatnsorka og jarðhiti eru mikilvægustu orkulindir á Íslandi. Báðar hafa sín séreinkenni, en sameiginleg einkenni þeirra skipta einnig miklu máli fyrir nýtingu þeirra. Myndrænn samanburður á jarðhita og vatnsorku er sýndur á fyrstu tveim myndunum.

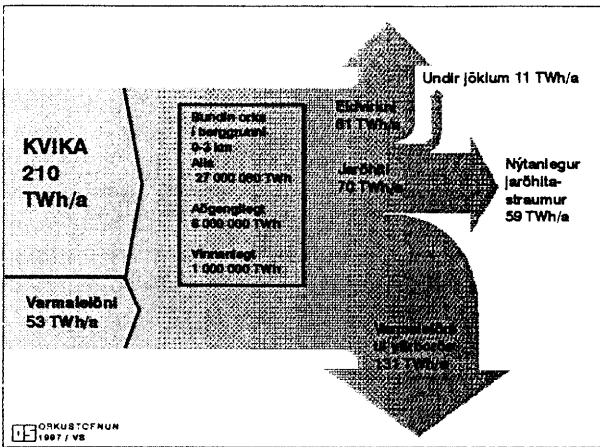
Í báðum tilvikum einkennast orkulindirnar af orkustraum. Vatnsorkan byggir á þeim orkustraum sem kemur að ofan - úrkomunni, en jarðhitinn á þeim orkustraum sem kemur að neðan, þ.e. þeim varma sem kemur úr iðrum jarðar í formi bráðinnar kviku og varmaleiðni. Það er eftirtektarvert að orkustraumarnir að ofan og neðan eru nokkurn veginn jafnstórir.

Orkustraumur úrkomunnar er gefinn sem 285 TWh/a en orkustraumur að neðan sem 263 TWh/a. Skekkjumörk í þessu mati eru veruleg þannig að rétt er að segja að orkustraumarnir að ofan og neðan eru jafn stórir.

Bæði jarðhiti og vatnsorka hafa það einkenni að orka safnast saman á vissum stöðum í náttúrunni. Auk hins samfellda orkustraums eru þannig fyrir hendi orkubirgðir (eða bundin orka) sem hluti af orkukerfinu. Í vatnsorkunni eru það fyrst og fremst jöklarnir sem geyma bundna vatnsorku, en grunnvatnsgeymar, stöðuvötn og miðlunarlón eru einnig dæmi um bundna vatnsorku. Áætlað er að bundin orka í jöklum landsins sé 7600 TWh. Þessi orka flokkast sem óvinnanleg.



Mynd 1. Yfirlit um vatnsorku á Íslandi.



Mynd 2. Yfirlit um jarðhitaorku á Íslandi.

Í berggruni landsins er bundin mjög mikil varmaorka. Í efstu þrem kílómetrum jarðskorpunnar er áætlað að þessi varmaorka samsvari 27 000 000 TWh. Aðeins lítil hluti þessarar orku er talinn vera vinnanlegur eða um 1 000 000 TWh. Hins vegar er bundin vinnanleg jarðhitaorka mjög mikil, eða sem nemur allri núverandi orkunotkun Íslendinga í 40 000 ár.

Ýmis afföll verða á orkustraumum bæði að ofan og að neðan eins og sýnt er á myndum 1 og 2. Því telst nýtanlegt vatnsafl vera 64 TWh/a en nýtanlegur jarðhitastraumur 59 TWh/a. Sem áður eru skekkjumörk það rúm í þessu mati að telja verður þessar tvær stærðir jafn stórar.

Mikill stærðarmunur er á bundinni vatnsorku og jarðhita. Sá munur kemur fram í efttífarandi:

- Bundin (óvinnanleg) vatnsorka er 7600 TWh, eða jafn mikil orka og fellur sem úrkoma á allt landið í 27 ár.
- Bundin jarðhitaorka í efstu 3000 m jarðskorpunnar er 27.000.000 TWh, en það er jafn mikil orka og streymir upp í gegnum allt landið á 100.000 árum.
- Bundin vinnanleg jarðhitaorka í efstu 3000 m jarðskorpunnar er 1.000.000 TWh, sem samsvarar varmastraumi úr iðrum jarðar í 3800 ár.

Orkustraumar jarðhita og vatnsorku eru samfelldir straumar og hafa verið stöðugt í gangi í mjög langan tíma. Ætla má að úrkoman á landið hafi verið mjög svipuð síðan á síðustu ísöld eða í 10.000 ár. Varmastraumurinn upp í gegnum landið hefur verið svipaður og nú a.m.k. þann tíma sem landið hefur verið að hlaðast upp eða í 10.000.000 ár, líklega þó lengur. Af þessum sökum er talað um að bæði vatnsorka og jarðhiti séu endurnýjanlegar orkulindir. Það táknar að orkulindirnar klárast ekki þó af sé tekið. Orkulindirnar endurnýjast, eða eru hluti af samfelldum straum í náttúrunni.

Mótvægi við endurnýjanlegar orkulindir eru svo kallaðar tæmanlegar orkulindir. Kol og olía eru flokkaðar sem tæmanlegar orkulindir. Spurning er hvort bundna jarðhita- og vatnsorkan skuli flokkað sem endurnýjanleg eða tæmanleg orkulind. Í báðum tilvikum er bundna orkan hluti af náttúrulegu orkukerfi sem endurnýjar sig (samfelldur straumur). Af þeim sökum er talið eðlilegt að flokka bundnu orkuna í vatnsafl og jarðhita einnig sem endurnýjanlega orkulind.

Stundum er notað hugtakið sjálfbær orkuvinnsla. Er þá átt við að orkuvinnslan skerði ekki stærð orkulindar, þ.e. að orkuvinnslan geti haldið áfram í mjög langan tíma án þess að breyting verði á stærð auðlindar. Orkuvinnsla sem byggir á orkustraum jarðhitans og vatnsorkunnar er auðsjáanlega sjálfbær orkuvinnsla. Hins vegar verður málið flóknara ef orkuvinnslan er meiri en sem samsvarar orkustraumnum, þ.e. þegar farið er að ganga á bundnu orkuna (orkuforðann) í orkukerfinu. Strangt tekið eru tímamörk á slíkrri vinnslu þó svo að nýtingartíminn verði mjög langur, t.d. fyrir jarðhitann á Íslandi. Hér er sjálfbær orkuvinnsla skilgreind þannig að vinnslan gangi ekki á orkuforðann í orkukerfinu. Þannig verður sjálfbær þáttur jarðhita-vinnslu 70 TWh/a og 64 TWh/a fyrir vatnsorku. Ekki er hægt (með núverandi tækni) að vinna meiri orku úr vatnsorku en þessi sjálfbæru 64 TWh/a, en hægt er að vinna meira en 70 TWh/a af jarðhita með því að nota hluta af bundinni orku jarðhitans. Núverandi nýting jarðhita er um 14 TWh/a þannig að á landsvísi er öll jarðhitavinnsla sjálfbær enn sem komið er.

Orkunotkun

Gróf einföldun er að skipta orkunotkun á Íslandi í þrjá flokka eins og sést á mynd 3. Vinnsla raforku er um 5 TWh/a og er vatnsorka 94% vinnslunnar en jarðhiti undir 6%. Um aldamótin má búast við að þáttur jarðhita í raforkuvinnslu verði kominn yfir 15%.

Varmavinnsla fyrir hitaveitur er að mestu byggð á jarðhita og samgöngutæki eru knúin olíu og öðrum brennsluefnum.

Veltan í orkugeiranum á Íslandi er nálægt því að vera um 45 miljarðar króna og er rétt er að benda á að velta Orkustofnunar er minni en 1% af veltunni í orkugeiranum.

Helstu möguleikar á samnýtingu orkulinda eru sýndir á mynd 4. Vatnsorka, jarðhiti og eldsneyti er þegar notað til raforkuvinnslu og svo mun einnig verða í framtíðinni. Hér á eftir verður fjallað nokkuð ítarlega um samnýtingu þessara orkulinda til raforkuvinnslu.

Við varmavinnslu (hitaveitur) eru það einkum jarðhiti, raforka og olía sem ætla má að skipti mestu máli á næstunni. Brennsla á sorpi hefur í vissum mæli verið notuð við varmavinnslu, en hagkvæmnin virðist vera mjög háð staðbundnum aðstæðum og þess vegna verður ekki fjallað frekar um sorpbrennslu hér.

Í samgöngum er búist við að olía og önnur brennsluefni ráði ferðinni á næstu árum. Notkun raforku í samgöngum á landi ætti að vera skammt undan, en mun lengra virðist vera þangað til aðrir orkugjafar verða samkeppnisfærir fyrir samgöngur á sjó og í lofti. Á Íslandi er um þessar mundir almennur áhugi á að nota vetni sem orkubera. Hins vegar eru ennþá svo miklir tæknilegir annmarkar á geymslu vetnis að vart er við því að búast að notkun þess verði almenn í náinni framtíð.

Myndir 6 og 7 sýna árssveifluna í notkun raforku og varma. Í báðum tilvikum er meðalnotkun á veturna mun meiri en sumarnotkun. Breytingin er meir áberandi fyrir varmavinnslu en á raforkumarkaðnum. Þetta stafar fyrst og fremst af því að um helmingur raforkuvinnslunnar fer til stóriðju þar sem notkunin er jöfn allt árið. Árssveiflan í raforkuvinnslu er minni á Íslandi heldur en í Noregi og Svíþjóð eins og kemur fram á mynd 8.

Auk árssveiflunnar eru finni drættir í eftirspurn eftir orku. Mynd 9 sýnir dæmigerða vinnslu hitaveitu á vissu ári. Vinnsalan er háð veðurfari þannig að kuldaköst að vetri koma fram sem aftoppar í varmavinnslu.

Á raforkumarkaðnum eru álagsbreytingarnar mun örari en á hitaveitumarkaðnum eins og fram kemur á mynd 10. Á hverjum einasta degi ársins breytist eftirspurnin mjög verulega og ekki er óalgengt að minnsta álag sólarhrigsins sé um helmingur af mesta álagi dagsins.

Þessar myndir eiga að sýna þá eiginleika raforku- og varmamarkaðsins að orkuvinnslan verður að vera nægilega sveigjanleg til þess að fylgja duttlungum eftirspurnar. Orkukerfin þurfa að hafa nægilega stýringu til þess að fylgja markaðnum eftir. Í hitaveitum eru stystu álagssveiflur yfirleitt jafnaðar út með miðlunartönkum, en í raforkukerfi er bein tenging milli vinnslu og notkunar þannig að stýrieiginleikar raforkukerfisins þurfa að vera mun sneggri en í hitaveitu.

	TWh/a	Gkr
RAFORKUVINNSLA mest vatnsorka fyrir almennan markað og stóriðju	5	15
VARMAVINNSLA mest jarðhiti fyrir hitaveitur	13	7
SAMGÖNGUR mest olía á farartæki, skip og flugvélar	9	23
ALLS	27	45

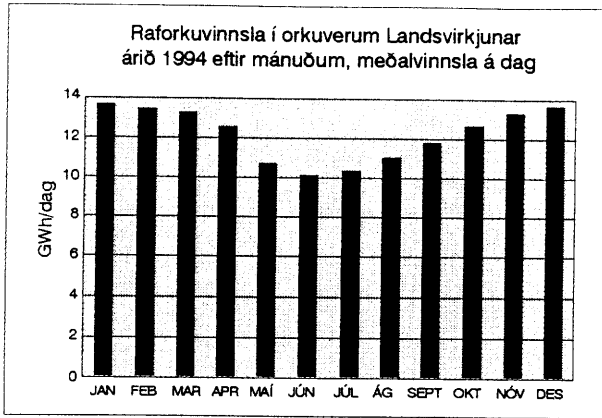
Mynd 3. Verg orkunotkun á Íslandi og velta nýtingarflokkanna.



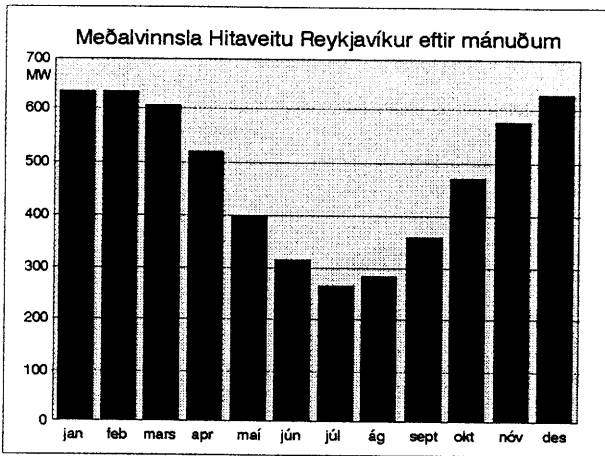
Mynd 4. Mismunandi kostir við samnýtingu orkulinda.

Varmaorka (jarðhiti)	↔	Hreyfiorka (raforka)	
Jarðhiti	→	raforka	10-20%
Jarðhiti	→	varmi	≈ 80%
Varmi	→	raforka	max 40%
Raforka	→	varmi	≈ 100%

Mynd 5. Umbreyting orkuforma.



Mynd 6. Mánaðarleg raforkuvinnsla.

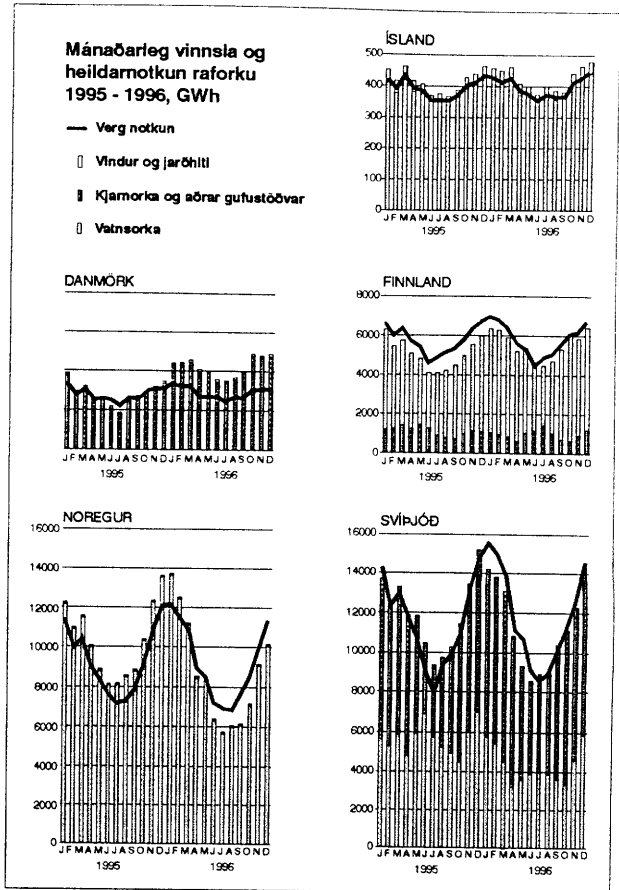


Mynd 7. Mánaðarleg varmvinnsla.

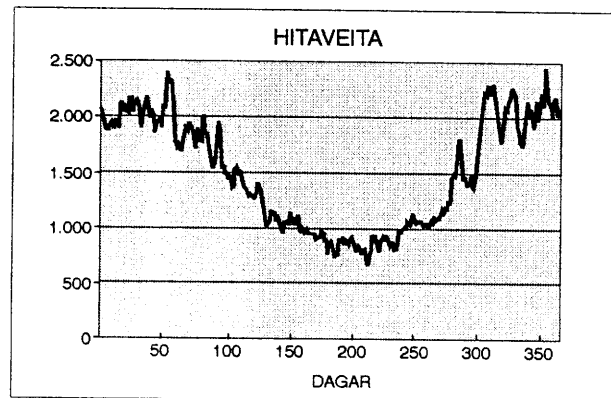
Til þess að lýsa eiginleikum orkuvinnslukerfis (eða eiginleikum orkumarkaðs) er sett upp svokölluð langæislína. Langæislínan sýnir hlutfallslega aflþörf kerfisins yfir árið. Mesta afl kerfisins er einungis þörf tiltölulega stuttan tíma ársins, en vissu afl þarf að vera í gangi allt árið. Það afl sem þörf er á allt árið er kallað grunnafli en það afl sem þörf er á fram yfir grunnafli mætti kalla breytilegt afl. Oft er einnig talað um toppafli en það er mesta afl sem þörf er á tiltölulegan stuttan tíma ársins (minna en nokkur hundruð klukkustundir á ári).

Myndir 11 og 12 sýna annars vegar langæislínu fyrir allt raforkukerfið á Íslandi og hins vegar langæislínu fyrir dæmigerða hitaveitu. Myndirnar sýna að eins og sakir standa er 73% af raforkuvinnslunni svokallað grunnafli, en 27% er breytilegt afl. Þar sem stóriðjumarkaðurinn mun aukast verulega á næstu 2-3 árum er fyrirsjáanlegt að um aldamótin verður hlutur grunnafils kominn yfir 80% af heildarvinnslunni og þáttur breytilega aflsins orðinn minni en 20%.

Langæislína fyrir hitaveitu sýnir að um það bil helmingur orkuvinnslunnar flokkast sem grunnafli en hinn helmingurinn sem breytilegt afl.



Mynd 8. Árssveifla raforkuvinnslu á Norðurlöndum.

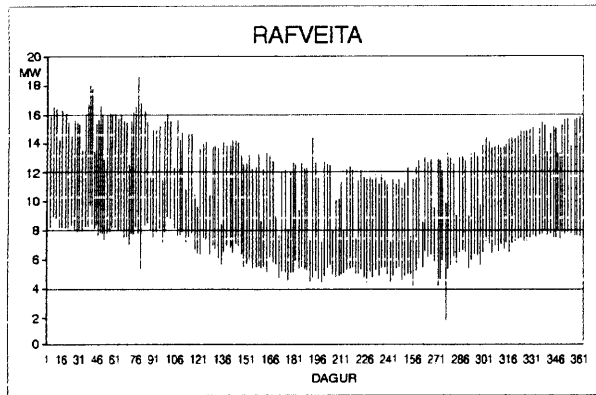


Mynd 9. Breytingar á daglegri vinnslu hitaveitu.

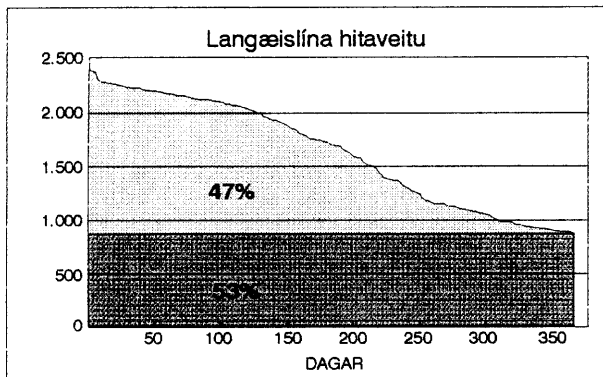
Svo sem síðar verður vikið að eru orkugjafar misheppilegir fyrir grunnafilstöðvar og fyrir stöðvar sem reknar eru með breytilegu álagi.

Eiginleikar aflstöðva og aðlögun að markaði

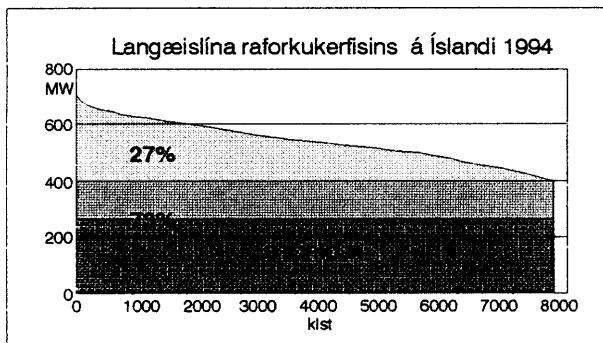
Í þessum kafla er einkum fjallað um mismunandi eiginleika vatnsafls- og jarðvarmastöðva og hvernig þeir hafa áhrif á samnýtingu jarðhita og vatnsafls til raforkuvinnslu. Þessi samnýting virðist hafa mikið almennt gildi fyrir orkubúskap þjóðarinnar en samnýting raforku, olíu og jarðhita til varmvinnslu hefur fyrst og fremst gildi á þeim stöðum þar sem jarðhiti er



Mynd 10. Álagsbreytingar í vinnslu raforku.



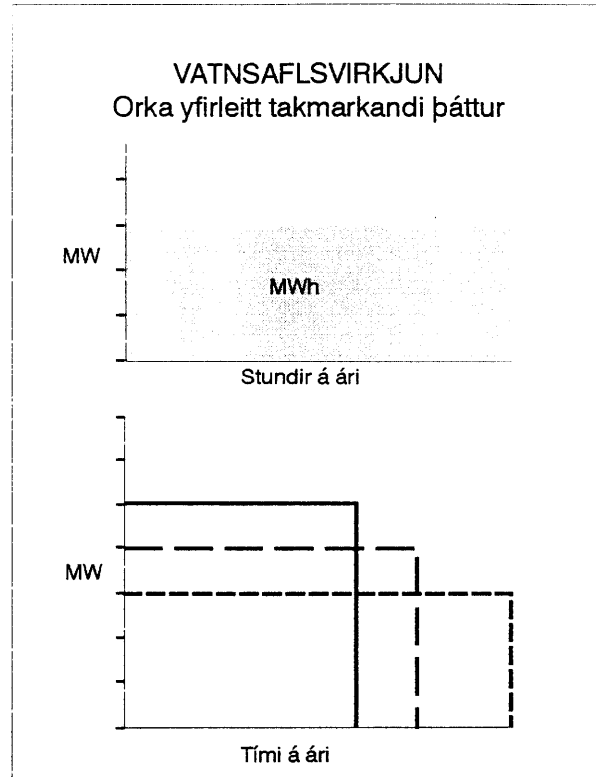
Mynd 11. Langæisliða hitaveitu.



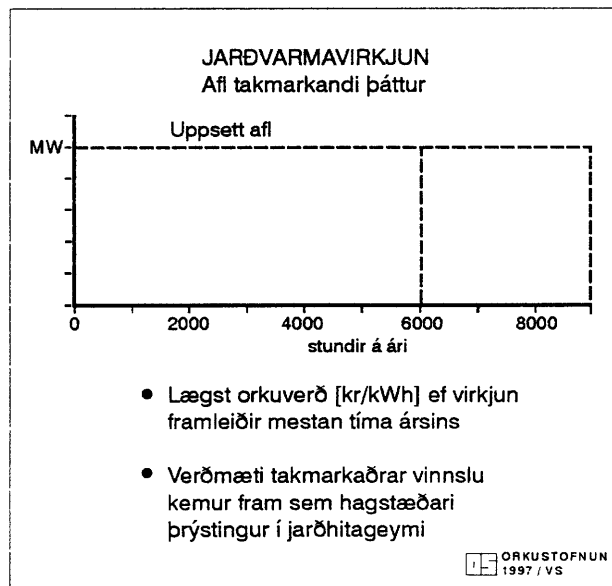
Mynd 12. Langæisliða raforkukerfis Landsvirkjunar á árinu 1994.

ekki fyrir hendi eða þar sem vinnsla jarðhita er mjög takmörkuð eða mjög dýr. Þegar jarðhiti er notaður til varmvinnslu er orkuverð hans yfirleitt mun lægra en annarra orkugjafa. Þá verður hagkvæmni samnýtingar mun minni en þar sem orkuverð mismunandi orkugjafa er svipað.

Veigamikill munur á vatnsaflsstöðvum og jarðhita-stöðvum til raforkuvinnslu er sá að vatnsaflsstöðvarnar takmarkast af tiltækri orku en jarðhitastöðvarnar takmarkast af uppsettu afli. Myndir 13 og 14 eiga að skýra þetta atriði nánar. Í vatnsaflsstöð er það vatnsmagnið sem hægt er að láta renna í gegnum hverfla stöðvarinnar sem takmarkar afköst stöðvarinnar. Stöðin hefur vissa



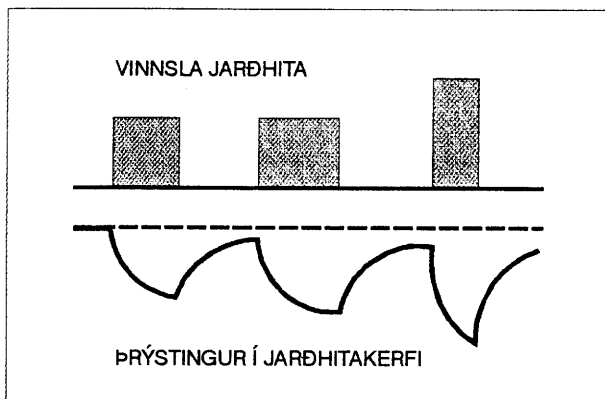
Mynd 13. Uppsetning afls vatnsaflsvirkjana. Orkugeta er takmarkandi þáttur virkjunar.



Mynd 14. Uppsetning afls jarðhitavirkjana. Afl er takmarkandi þáttur og orkugeta ákvarðast af nýtingartíma virkjunar.

orkugetu (MWh) eins og sýnt er á efri hluta myndar 13. Uppsett afl er valið með hliðsjón af meðal-nýtingartíma stöðvarinnar. Hægt er að velja aflið þannig að stöðin sé í gangi allt árið eða að valið er að setja upp meira afl. Í því tilviki verður þó meðal-nýtingartími stöðvarinnar minni eins og sýnt er á neðri hluta myndarinnar.

Stýrieiginleikar vatnsaflsstöðva eru betri en allra annarra stöðva sem notaðar eru til raforkuvinnslu. Af þeim sökum getur gildi vatnsaflsstöðvar til stýringar á framleiðslu verið mun meira en gildi stöðvar sem grunnafl. Annars er hægt að hanna þær bæði sem grunnaflsstöðvar eða sem stöðvar til að anna breytilegu álagi.



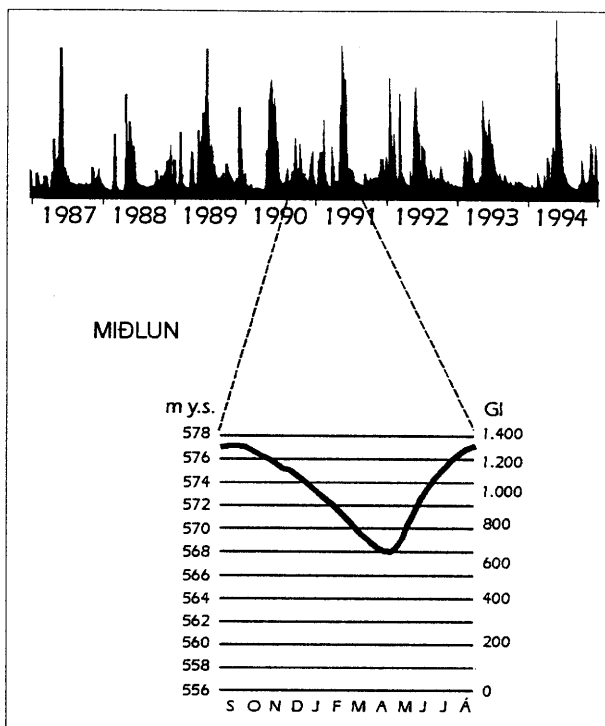
Mynd 15. Samband jarðhitavinnslu og þrýstings í jarðhitakerfi.

Í jarðvarmavirkjunum er það uppsett afl sem takmarkar vinnsluna eins og sýnt er á mynd 14. Sú orka sem stöðin framleiðir á ári fer eingöngu eftir því hve mikinn tíma ársins stöðin er í vinnslu. Orkuverð frá slíkri stöð verður því lægra sem stöðin er í gangi lengri tíma. Jarðhitastöðvar hafa mun verri stýrieiginleika en vatnsaflsstöðvar þannig að menn hyllast til að keyra jarðhitastöðvar sem grunnafl a.m.k. ef vatnsaflsstöðvar eru fyrir hendi til þess að mæta breytilegu álagi. Það eru til raforkukerfi (t.d. á Filippseyjum) þar sem eingöngu jarðhitastöðvar sinna breytilegu álagi markaðsins, en slík stýring er dýrari og erfiðari en í kerfum þar sem hægt er að nota vatnsaflsstöðvar til stýringar.

Vinnsla jarðhita hefur í för með sér að þrýstingur í jarðhitakerfi lækkar, eða með öðrum orðum vatnsborð í jarðhitageymi lækkar. Ef vinnslan er minnkuð eða henni hætt getur aðstreymi af jarðhita-vökva hækkað þrýsting aftur (vatnsborð hækkar á ný). Stöðvun á jarðhitavinnslu getur því haft vissa kosti, a.m.k. ef til langs tíma er lítið. Á mynd 15 er sýnt samband á milli jarðhitavinnslu og þrýstings í jarðhitakerfi. Myndin á að sýna að sé vinnsla jarðhitans hætt jafnar jarðhitakerfið sig (endurnýjanleg orkulind).

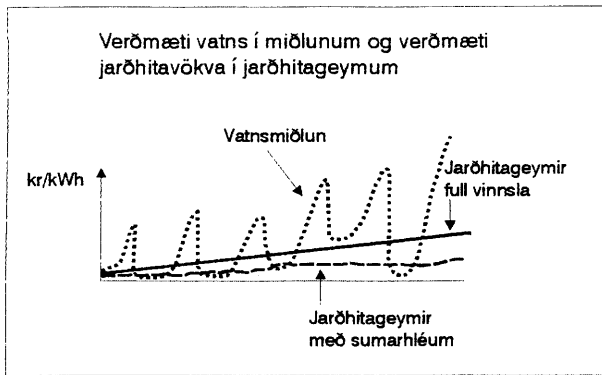
Við hagkvæmniathuganir á jarðhitavirkjunum hefur sú aðferð yfirleitt verið notuð að gera ráð fyrir að stöðin sé í samfelldum rekstri í svo sem 30 ár, eða svo lengi sem mannvirki á yfirborði endast. Gengið er svo frá málum að þrýstingur í jarðhitakerfi verði nægilega mikill í lok þessa tímabils, sem er þá oft nefndur líftími virkjunar. Með tilvísun í mynd 15 er þá einungis verið að skoða fyrsta vinnslutímabilið á myndinni. Með samnýtingu

jarðhita og vatnsorku opnast nýjir möguleikar á rekstri jarðhitastöðva, þ.e. að líta á jarðhitastöðina sem hluta af orkukerfi og reka stöðina þannig að sem hagkvæmust niðurstaða fáið fyrir orkukerfið frekar en að líta á stöðina sem eina og sér. Þessi rekstraraðferð hefur í raun verið notuð um langt árabil hér, en þar sem kerfið er að mestum hluta vatnsaflsstöðvar er rekstrar-grundvöllurinn (rekstrarlíkan LV) byggður á eiginleikum vatnsaflsstöðvanna.

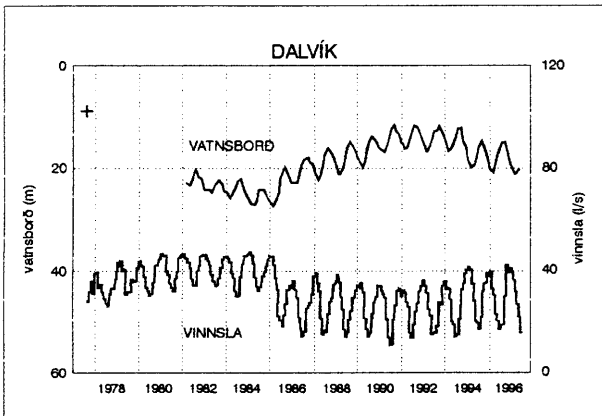


Mynd 16. Breytileg vatnsstaða í miðlunarlónum vatnsaflsvirkjana.

Til þess að skýra samnýtingu vatnsafls og jarðhita til raforkuvinnslu er rétt að líta nánar á rekstur vatnsaflsvirkjana. Breytilegt rennsli í ám er jafnað út með miðlunum. Vatni er safnað í miðlunarlón þannig að hægt sé að nýta vatnið á veturna, þegar rennslið er lítið, en einnig til þess að raforkukerfið sé viðbúið að mæta breytilegri eftirspurn markaðsins. Mynd 16 sýnir í grófum dráttum þessa tilhögun. Á haustin eiga miðlunarlón að vera full, en eftir því sem á líður vetur lækkar í lónunum. Á vorin fara lónin að fyllast þannig að vatnsborð verði komið í fulla hæð í lok ágúst eða svo. Eftir því sem lækkar í miðlunarlónum eykst verðmæti vatnsins í lónunum fyrir rekstraraðilann. Rekstraraðilinn hefur gert samninga um afhendingu raforku á mismunandi verði. Verðmæti vatnsins sem hann hefur til þess að geta staðið við gerða samninga má meta til fjár. Þegar lítið vatn er eftir í miðlun getur það orðið hagstæðara fyrir rekstraraðilann að skerða afhendingu raforku á lágu verði, frekar en að eiga á hættu að lónið tæmist og rekstraraðilinn verði af sölu á herra verði. Á þennann hátt er raforkukerfi Landsvirkjunar stýrt.



Mynd 17. Vatnsgildi í miðlunarlónum og í jarðhitageymum.



Mynd 18. Vinnsla og þrýstingur í jarðhitakerfi Hitaveitu Dalvíkur.

Svipaðar aðstæður eru fyrir hendi í rekstri jarðhitastöðva eins og fram kemur á mynd 15. Eftir því, sem vinnsla úr jarðhitakerfi heldur áfram, kemur þrýstingur í jarðhitakerfi til með að lækka og þar með verður vinnsla úr því erfiðari. Því má segja að “vatnsgildi” jarðhitakerfisins hækki með aukinni vinnslu. Munurinn er einkum sá að vatnsgildi vatnsaflsmiðlana breytist frá lággildi í hágildi á einu ári, en vatnsgildi jarðhitageymanna breytist mjög hægt. Það líða yfirleitt mörg ár áður en fram kemur veruleg breyting í þrýstingi í jarðhitakerfum. Engu að síður eru þessi áhrif fyrir hendi og því full ástæða að skoða nánar hvaða áhrif þetta hefur á samrekstur vatnsafls- og jarðhitastöðva. Slíkar athuganir hafa ekki verið gerðar að neinu marki, en Orkustofnun hefur ákveðið að hefja vinnu við slíkar athuganir á næsta ári og hún væntir góðrar samvinnu við Landsvirkjun og önnur orku-fyrirtæki í þessu verkefni.

Mynd 17 sýnir annars vegar hvernig vatnsgildi miðlunarlónanna breytist með tíma og hins vegar hvernig verðmæti jarðhitavökva í jarðhitakerfi gæti breytst með tíma. Ef vatnsgildi miðlunarlónanna er nálægt því að vera núll í einhvern tíma á sumrin og ef vatnsgildi í jarðhitageymi vex stöðugt með tíma, verður vatnsgildi jarðhitageymisins hærra einhvern hluta ársins.

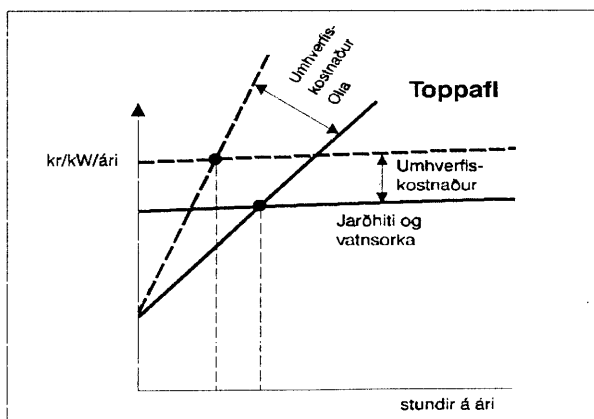
Þá er hagstæðara fyrir rekstraraðila að hætta framleiðslu í jarðhitastöð en framleiða einungis með vatnsaflsstöðvum. Með því að stoppa vinnsla úr jarðhitakerfi fær það tækifæri á að jafna sig og vatnsgildið lækkar. Það er því hagstæðara fyrir ástand raforkukefisins í heild að vinnsla vatnsaflsstöðvanna og jarðhitastöðvanna sé samræmd á þann hátt sem fram kemur á mynd 17.

Hér er rétt að benda á að til þess að hægt verði að ná fram þeirri hagræðingu og jafnvel sparnaði sem lýst er á mynd 17, þarf að vera fyrir hendi nán samvinna rekstraraðila vatnsafls- og jarðhitavirkjana. Ef sami aðilinn rekur báðar gerðir virkjana eru það augljósir hagsmunir hans að vinnslan verði samræmd. Ef raforkuvinnslan er í höndum margra sjálfstæðra aðila er hugsanlegt að ná fram samræmdum rekstri þar sem frjáls markaður er með raforku. Hins vegar kallar það á góða samvinnu rekstraraðilanna.

Viðbrögð jarðhitakerfa við minnkaðri vinnslu eru vel þekkt fyrirbæri. Mynd 18 sýnir vinnslu og vatnsborð í jarðhitakerfinu við Hamar sem Hitaveita Dalvíkur rekur. Á árinu 1985 var skipt um sölufyrirkomulag hjá veitunni. Hætt var að nota hemla en þess í stað farið að nota rennslismæla við söluna. Sú breyting hafði í för með sér að vinnsla úr jarðhitakerfi minnkaði og vatnsborð í jarðhitageymi hækkaði. Myndin sýnir að með því að breyta sölufyrirkomulagi hefur “líflengd” jarðhitanytingar við Hamar aukist um a.m.k. 15 ár.

Toppafi

Þó svo að notkun jarðhita og vatnsafls sé yfirleitt hagstæðari en brennsla olíu við vinnslu raforku og varma, er olíunotkun hagkvæmur kostur ef vinnslan er einungis í gangi stuttan tíma ár hvert. Stofnkostnaður olíustöðva er mun minni en stofnkostnaður vatnsafls- og jarðhitastöðva. Hins vegar er eldsneytiskostnaður olíustöðvanna verulegur en eldsneytiskostnaður er enginn hvorki fyrir vatnsafl né jarðhita. Mynd 19 lýsir þessum aðstæðum. Ef nýtingartími aflstöðvar er mjög stuttur á hverju ári (nokkur hundruð klukkustundir) er olíustöð



Mynd 19. Samband kostnaðar toppafls og grunnafsls.

mun hagstæðari kostur en að reisa nýja vatnsafls- eða jarðhitastöð. Olíustöðvar eru því mjög heppilegur kostur sem varaafstöðvar eða sem toppstöðvar. Þessar aðstæður eru fyrir hendi bæði fyrir raforkuvinnslu og varmavinnslu (hitaveitur). Mynd 19 sýnir einnig að kostnaður vegna umhverfismála kemur fram sem aukinn orkukostnaður.

Dæmi um samrekstur orkugjafa við varmavinnslu er sýndur á mynd 20. Í þessari þýsku hitaveitu er jarðhiti notaður sem grunnafli en olía eða jarðgas sem toppafli. Jarðhiti er hlutfallslega dýrari í Þýskalandi en á Íslandi. Því er talið hagkvæmt að hanna varmaveituna þannig að um þriðjungur varmavinnslunnar komi frá brennslu eldsneytis.

Niðurstöður

Hér hefur verið fjallað um samnýtingu olíu, vatnsorku og jarðhita. Fjallað hefur verið um samnýtingu þessarra orkugjafa til raforku- og varmavinnslu. Helstu niðurstöður eru þessar:

- ♦ Vatnsorka og jarðhiti eru endurnýjanlegar orkulindir þar sem orkuvinnsla er sjálfbær.
- ♦ Ávöxtunarkrafa þjóðfélagsins ræður nýtingu vatnsafls og jarðhita.
- ♦ Lægra raforkuverð fæst með hæfilegri blöndun af jarðgufuvirkjunum og vatnsaflsvirkjunum en með raforkukerfi þar sem aðeins ein tegund virkjana er notuð.

Heimildir

Eliás B. Eliásson, 1996: Samræmd vinnsla vatnsorku og jarðvarma. Samorka: Ráðstefna fyrir starfsmenn veitna; Akureyri 29. maí - 1. júní 1996, bls. 271-282.

Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson, 1985: Mat á jarðvarma Íslands. Skýrsla Orkustofnunar OS-85076/JHD-10, 134 bls.

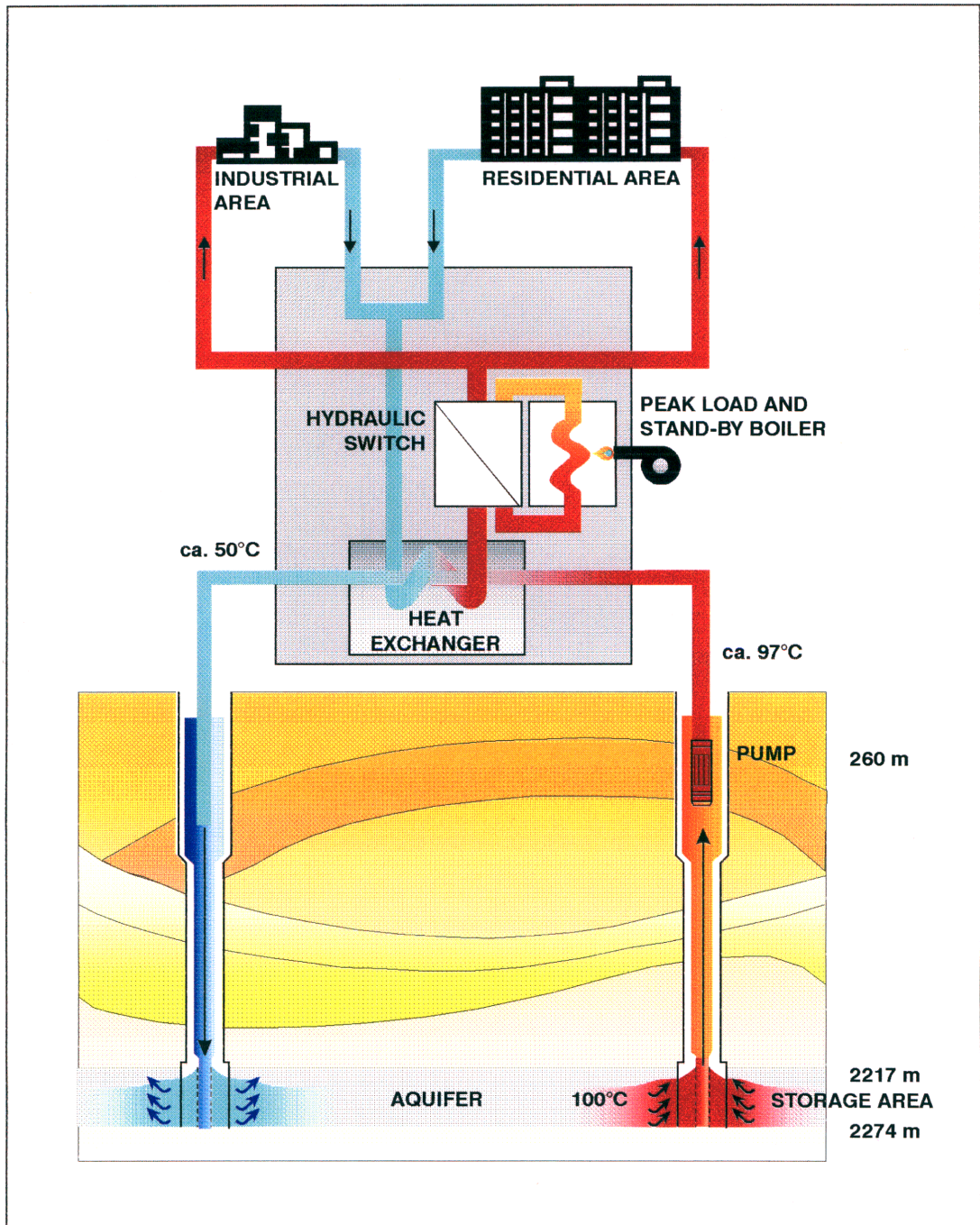
Gunnar Böðvarsson, 1982: Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. In Continental and oceanic rifts. ed. G. Pálmason, Geodynamics Series Vol. 8, pp. 271-282, American Geophysical Union, Washington D.C.

Haukur Tómasson, 1982: Vattenkraft i Island och dess hydrologiska förutsättningar. Skýrsla Orkustofnunar OS-82059/VOD, 17 bls.

Haukur Tómasson og Sigurður Þórarinnsson, 1987: Vatnsorka á Íslandi. Skýrsla Orkustofnunar OS-87030/VOD-02, 50 bls.

Tryggvi Þór Herbertsson, 1997: Sjálfbær þróun og mat á umhverfisáhrifum. Erindi flutt á afmælisráðstefnu Orkustofnunar, 24. október 1997.

Valgarður Stefánsson, 1995: Jarðhiti til raforkuvinnslu. Árbók VFÍ 1993/94, bls. 233-251, Reykjavík 1995.



Mynd 20. Þýsk hitaveita sem nýtir jarðhita sem grunnafl og olíu sem breytilegt afl (toppafi).