

Forsendur stefnumörkunar í
orkurannsóknum

Valgarður Stefánsson

Greinargerð VS-2002/01

27-01-02

Forsendur stefnumörkunar í orkurannsóknum

Efnisyfirlit:

1. Inngangur
2. Endanlegar og endurnýjanlegar orkulindir
3. Aðgengi að orkulindum
4. Orkunotkun á Íslandi
5. Innlendir orkugjafar
 - 5.1 Vatnsorka
 - 5.2 Jarðhiti til raforkuvinnslu
 - 5.3 Bein nýting jarðhita
 - 5.4 Vindur
 - 5.5 Kolvetni
 - 5.6 Aðrir orkugjafar
6. Niðurstöður
7. Þakkir
8. Heimildir

1. Inngangur

Jarðhiti og vatnsorka eru þær innlendu orkulindir sem mest eru nýttar á Íslandi. Þessar endurnýjanlegu orkulindir standa nú undir 70% af orkunotkun þjóðarinnar og er það einzdæmi í heiminum að endurnýjanlegar orkulindir séu svo hátt hlutfall af orkunotkun þjóðar. Aðrar innlendar orkulindir eru t.d. vindorka, sjávarfallaorka, lífmassi, surtarbrandur og mór. Þessar orkulindir gætu haft nokkur áhrif á orkubúskap þjóðarinnar eftir nokkra áratugi, en framleiðsluverð þeirra er, en sem komið er, hærra en fyrir jarðhita og vatnsorku. Framleiðsluverð raforku með vindmyllum hefur lækkað verulega á síðasta áratug og má búast við að slík tilraunaframleiðsla hefjist hér á næsta eða næstu tveim áratugum. Ekki hafa ennþá fundist kolvetni (olía og gas) í íslenskri efnahagslögsögu, en skipuleg leit hefur hafist að slíkum orkuauðlindum.

Beislun orku er nokkuð tímafrekt ferli og er því nauðsynlegt að kanna og rannsaka orkulindirnar löngu áður en kemur til nýtingar. Einnig er nauðsynlegt að hafa sæmilega gott yfirlit yfir þekktar orkulindir þannig að hægt sé að skipuleggja nýtingu þeirra til langs tíma (marga tugi ára). Friðun er eitt form nýtingar, þannig að rannsóknir á orkulindum þurfa að ná til allra orkulinda, bæði þeirra sem verða nýttar til orkuvinnslu og þeirra sem verða nýttar í öðrum tilgangi en til orkuvinnslu.

Íslensk stjórnvöld hafa ákveðið að sjónarmið sjálfbærrar þróunar skuli gilda í þjóðfélaginu. Þessi sjónarmið taka til langtímaþróunar þjóðfélagsins þar sem horft er til margra áratuga eða jafnvel alda. Það er því brýnt að athuga nánar innan hvaða marka er hægt að skilgreina stefnu í orkumálum og orkurannsóknum sem samrýmist sjálfbærri þróun.

2. Endanlegar og endurnýjanlegar orkulindir

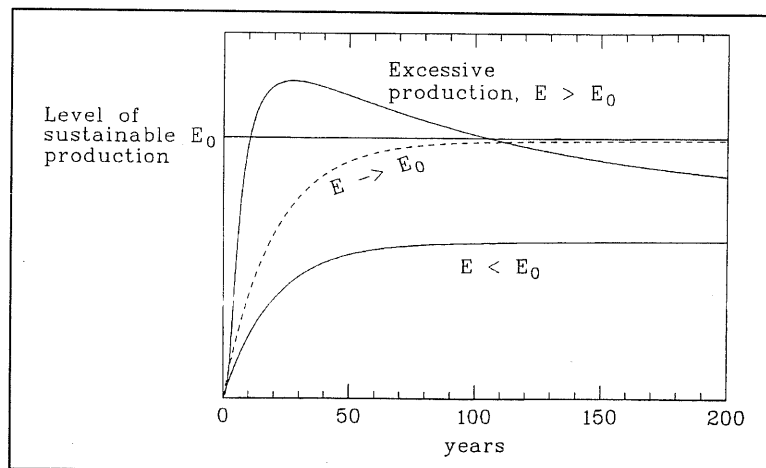
Skipta má orkulindum heimsins í tvo flokka, endanlegar og endurnýjanlegar orkulindir. Við þá skiptingu er miðað við eiginleika orkulindanna. Annars vegar eru orkulindir eins og olía, kol og kjarnorka sem eru endanlegar að umfangi þannig að þær minnka þegar af þeim er tekið. Hins vegar eru orkulindir eins og vindur, vatnsorka og jarðhiti sem hafa þann eiginleika að þær endurnýjast jafnt og þétt hvort sem þær eru nýttar eða ekki. Endurnýjanlegar orkulindir eru hluti af svo sterku ferli í náttúrunni að nýtingin hefur ekki áhrif á það ferli. Flestar endurnýjanlegu orkulindirnar eru afleiðingar af orkustraumi sólar til jarðar (sólarorka, vindur, vatnsorka og lífmassi). Jarðhiti er afleiðing þess að jörðin er heit að innan og að það er stöðugur varmastraumur úr iðrum jarðar til yfirborðs. Snúningur jarðar og aðdráttarafl tunglsins valda sjávarföllum sem sjávarfallaorka byggir á.

Við flokkun orkulindanna í endanlegar og endurnýjanlegar orkulindir skiptir hraði endurnýjunar sköpum. Kolvetni í jarðskorpunni myndast á jarðsögulegum tíma og slíki myndun á kolum, olíu og gasi er stöðugt í gangi. Hins vegar er myndunartíminn svo langur að nýmyndunin hefur ekki áhrif á nýtingu auðlindanna. Af þeim sökum eru þessar orkulindir flokkaðar sem endanlegar orkulindir. Á sama hátt má benda á að líftími sólar er endanlegur á stjarnfræðilegum tímaskala. Hins vegar er líftími sólar svo langur þegar miðað er við nýtingartíma orkulindar að hægt er að líta á líftíma sólar sem óendanlega langan tíma þegar horft er til nýtingartíma orkuauðlinda.

Auk eiginleika orkulindanna skiptir máli á hvern hátt orkulindir og aðrar auðlindir eru nýttar. Fiskistofnarnir í hafinu umhverfis Ísland eru endurnýjanlegar auðlindir, en þekkt er að hægt er að nýta fiskistofnana bæði á sjálfbæran hátt eða þannig að hrun komi fram í stofnum. Svipuð áhrif geta komið fram við nýtingu orkuauðlinda. Vinnuhópur á Orkustofnun hefur gert eftirfarandi skilgreiningu á sjálfbærri nýtingu jarðhita:

Fyrir hvert jarðhitakerfi og fyrir hverja nýtingaraðferð er fyrir hendi sérstakt hágildi vinnslu, E_0 , sem hefur þann eiginleika að ef vinnslan er minni en E_0 er hægt að viðhalda jafnri vinnslu í mjög langan tíma (100-300 ár), en ef vinnslan er meiri en E_0 er ekki hægt að viðhalda óbreyttri vinnslu í þetta langan tíma. Jarðhitavinnsla sem er lægri eða jöfn E_0 kallast sjálfbær nýting, en vinnsla sem er meiri en E_0 er ekki sjálfbær.

Mynd 1 sýnir nánar helstu atriði skilgreiningarinnar.



Mynd 1. Skýringarmynd fyrir skilgreiningu á hugtakinu sjálfbær nýting jarðhita.

Ekki liggur fyrir hvort heppilegt er að tengja pólitísk markmið sjálfbærrar þróunar við tæknileg sjónarmið sjálfbærrar nýtingar orkulinda. Sjálfbær nýting orkulinda er vissulega í samræmi við sjónarmið sjálfbærrar þróunar, en ekki er gefið að aðrar nýtingaraðferðir séu í andstöðu við sjónarmið sjálfbærrar þróunar. Nýting endanlegra orkulinda mun halda áfram um langan tíma á þessari öld og spurningin er frekar sú hvernig er hægt að aðlaga það nýtingarform að sjónarmiðum sjálfbærrar þróunar.

Hugtakið sjálfbær þróun komst í tísku við útgáfu Bruntland skýrslunnar árið 1987. Í upphaflegri umfjöllun um sjálfbæra þróun er hugtakið skilgreint þannig að sjálfbær þróun felist í því að fullnægja þörfum okkar á líðandi stund án þess að komi til skerðingar á því að fullnægja þörfum komandi kynslóða. Norðmenn réttlæta t.d. vinnslu olíu úr Norðursjónum með því að verðmætasköpun vinnslunnar á líðandi stund eigi að ganga í arf til komandi kynslóða og þannig sé verið að búa í haginn fyrir komandi kynslóðir. Það virðist því vera fyrir hendi verulegur sveigjanleiki í því að skilgreina og fylgja sjónarmiðum sjálfbærrar þróunar. Sem langtímasjónarmið er þó eflaust rétt að miða við að sjálfbær nýting endurnýjanlegra orkugjafa muni aukast í framtíðinni í stað endanlegra orkugjafa.

Þó endurnýjanlegar orkulindir séu óendanlegar í þeim skilningi að nýtingin hefur ekki áhrif á stærð þeirra – þær minnka ekki þó þær séu nýttar - eru þær endanlegar í þeim skilningi að það eru takmörk á því hvað hægt er að vinna mikla orku árlega úr vissri orkulind.

3. Aðgengi að orkulindum

Orkunýting er háð aðgengi að orkulindum. Fyrsta skilyrðið er þannig að vitað sé hvar orkulindirnar eru og hverjir séu eiginleikar þeirra. Til þess að skipuleggja nýtingu orkulindanna til langs tíma þarf að liggja fyrir sæmileg þekking á stærð þeirra og eiginleikum. Þessi þekking er að vissu leyti fyrir hendi á Íslandi, en á sumum sviðum hamlar þekkingarskortur.

Stærð vatnsorkunnar er þekkt að vissu marki, og þó þar megi vissulega gera betur er ekki trúlegt að frekari rannsóknir munu breyta myndinni neitt verulega. Hins vegar er stærð jarðhitaauðlindarinnar mun óvissari. Við mat á stærð jarðhitans hefur verið notast við mat á þeim varma sem bundinn er í jarðskorpunni undir landinu og síðan er gert ráð fyrir að viss en mjög lítil hluti af þessari bundnu varmaorku sé nýtanlegur sem jarðhiti. Veikleikinn í þessari aðferðarfræði er annars vegar sá að ekki tekið tillit til varmastraumsins sem streymir sífellt úr iðrum jarðar til yfirborðs og hins vegar er lítið vitað um hversu mikill hluti bundnu varmaorkunnar reynist verða nýtanlegur á yfirborði jarðar. Smávægilegar breytingar á þessu nýtingarhlutfalli hafa í för með sér miklar breytingar á stærð jarðhitans.

Ekki er vitað hvort sjálfbær nýting jarðhita er meiri eða minni en sú tala sem kemur út úr jarðvarmamatinu. Fljótt á litið mætti halda að mörk sjálfbærrar nýtingar sé lægri en niðurstöður jarðvarmamatsins, en benda má á að núverandi sjálfbær nýting jarðhitasvæðanna í Laugarnesi og í Mosfellsbæ er um hundrað (?) sinnum meiri en jarðvarmamatið segir til um. Skekkjumörkin í fyrirliggjandi mati á stærð jarðhitaauðlindarinnar eru því trúlega margar stærðargráður. Það verður því að teljast

mjög brýnt að rannsaka eðli jarðhitans betur og reyna að ákvarða stærð auðlindarinnar betur. Það er skilyrði þess að hægt sé að ákvarða stefnu í orkumálum til langs tíma.

Vindorka er töluverð á Íslandi, en lítið er vitað um mörk virkjanlegrar vindorku. Af tæknilegum ástæðum má ætla að í fyrirsjáanlegri framtíð takmarkist virkjuð vindorka við ca 15% af uppsettu afli í raforkukerfi landsins. Til þess að hægt sé að skipuleggja þennan nýtingarmöguleika betur þarf að kortleggja vindorku landsins á næstu árum eða áratugum.

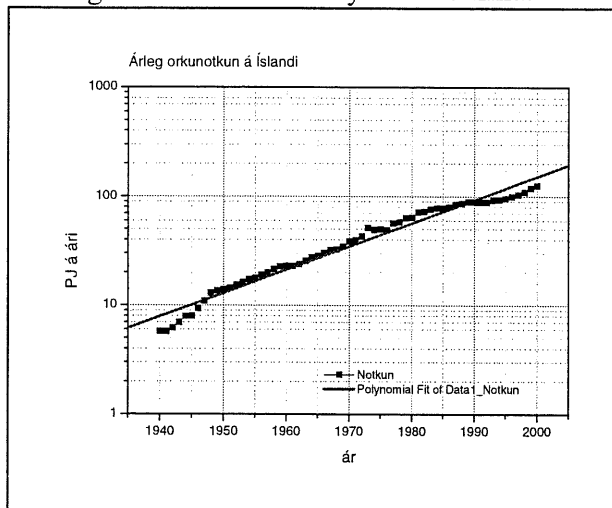
Aðrar orkulindir svo sem sjávarfallaorka, sólarorka og lífmassi koma varla til með að hafa mikil áhrif á orkubúskap þjóðarinnar fyrr en á seinni hluta aldarinnar. Það er því ekki eins brýnt að fjárfesta í rannsóknum á þessum orkulindum eins og á jarðhita, vindi og vatnsorku.

4. Orkunotkun á Íslandi

Mynd 2 sýnir árlega frumorkunotkun á Íslandi á tímabilinu 1940 – 2000. Aukningin er nánast ~~vissfall~~ ^{exponential} (exponential function) og að meðaltali hefur aukningin verið 5,1 % á ári á þessu 60 ára tímabili. Þetta er mun meiri aukning en aukningin í mannafla og landsframleiðslu á þessum tíma. Spurning er hve lengi er hægt að viðhalda svona mikilli aukningu í orkunotkun, og hvort svona hröð aukning samrýmist grundvallarsjónarmiðum sjálfbærrar þróunar.

Ætla má að til langs tíma litið geri sjálfbær þróun ráð fyrir að orkunotkun á íbúa muni ekki aukast með tíma. Ef það sjónarmið verður látið gilda í framtíðinni mun aukningin í orkunotkun lækka til samræmis við aukninguna í fólksfjölda, sem hefur verið um 1% á ári á seinni hluta tuttugustu aldarinnar.

Samband orkunotkunar og landsframleiðslu er nokkru flóknara fyrirbæri og erfitt er að greina hver verður þróun mála á þessu sviði. Yfirleitt er talið að efnahagslegur vöxtur byggji á hagræðingu á öllum sviðum þjóðfélagsins þannig að hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu (energy intensity) lækki með tíma. Til þess að ná því þróunarstigi að þessar reglur hagfræðinnar gildi, þarf hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu þó að ná vissum þröskuldi. Það er talið vera tákni um lágt efnahagslegt þróunarstig ef hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu eykst með tíma.

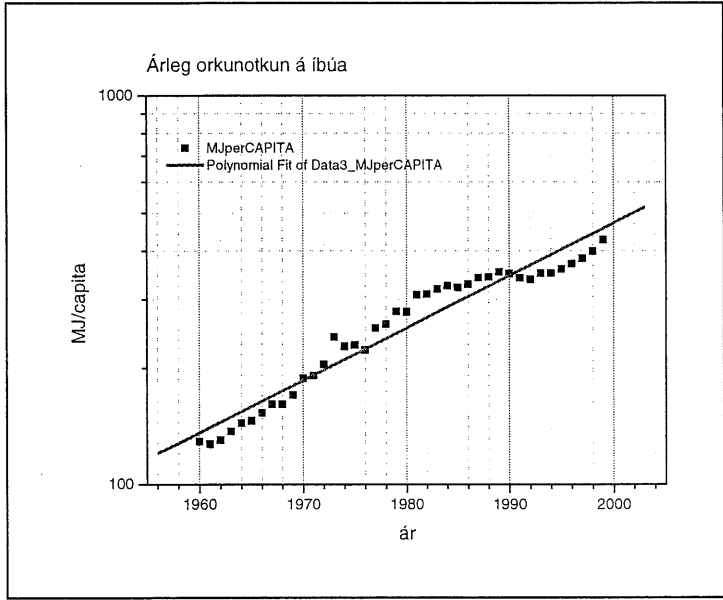


Mynd 2. Árleg orkunotkun á Íslandi 1940-2000.

Handwritten note:
það verður
að verða
sefja um
stærðum

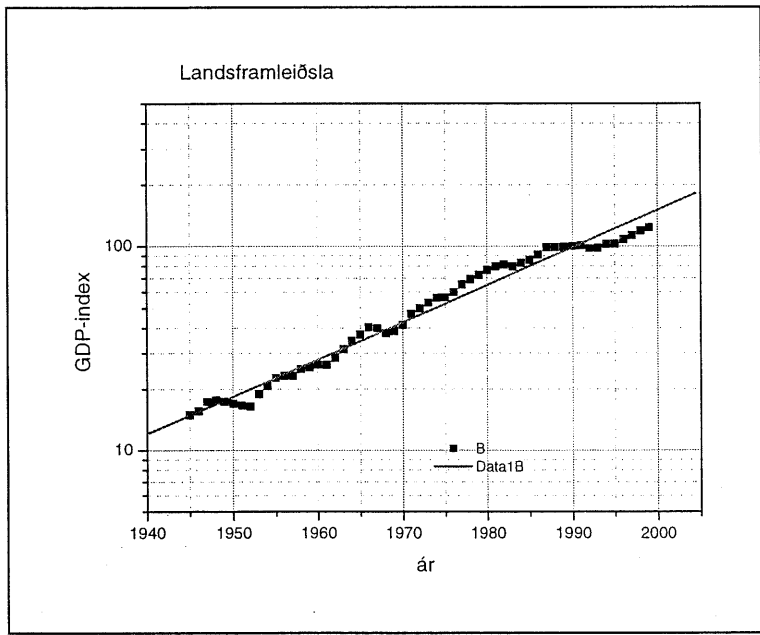
veðlin

Mynd 3 sýnir árlega orkunotkun á íbúa á Íslandi á árunum 1960 – 1999. Aukningin er ~~vísifall~~ (exponential function) og meðaltalsaukningin var 3% á ári á þessu tímabili. Til að samrýmast sjónarmiðum sjálfbærrar þróunar þarf þetta hlutfall að hætta að vaxa þegar líða tekur á öldina. Íslendingar nota nú meiri orku á íbúa en flestar aðrar þjóðir, þannig að það ætti að vera tiltölulega auðvelt fyrir þjóðina að ná slíku markmiði.



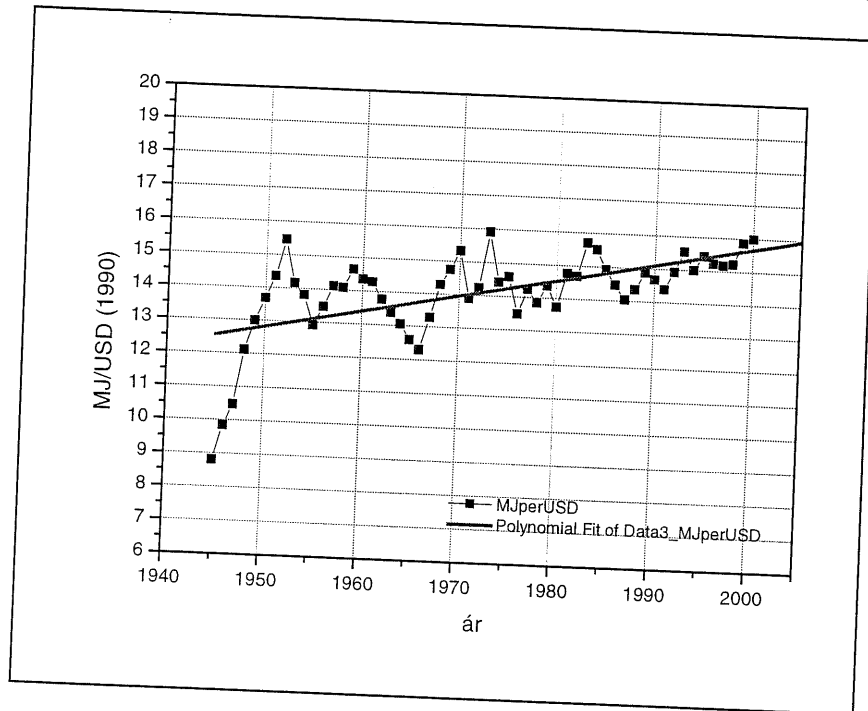
Mynd 3. Árleg orkunotkun á íbúa á tímabilinu 1960 – 1999.

Vöxtur landsframleiðslu var mikill á seinni hluta síðustu aldar eins og fram kemur á mynd 4.



Mynd 4. Vöxtur landsframleiðslu á tímabilinu 1945 – 1999.

Meðalaukningin á þessu hálfra aldar tímabili var 4,3 % á ári. Þetta er verulegur hagvöxtur og hefur íslenskt þjóðfélag gjörbreyst á þessu tímabili. Hins vegar er þessi vöxtur minni en aukningin í orkunotkun þjóðarinnar sem var að meðaltali 5,1% á ári á þessu tímabili. Þetta þýðir að hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu (energy intensity) er vaxandi fall eins og sýnt er á mynd 5.



Mynd 5. Hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu (energy intensity) á tímabilinu 1945 – 2000. Bein lína sýnir meðaltalsaukninguna á tímabilinu 1950-2000.

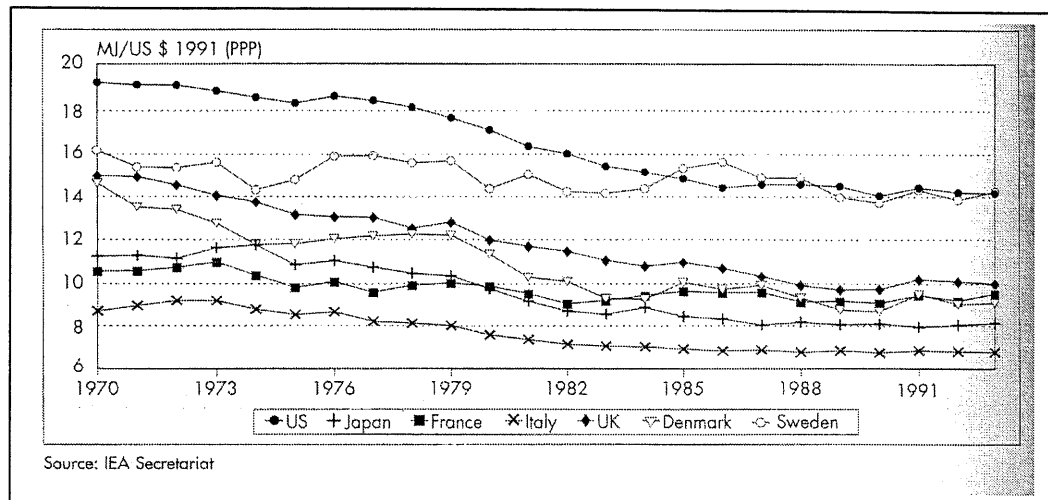
Mynd 5 er athyglisverð að tvennu leyti. Annars vegar það atriði að hlutfallið vex með tíma og hins vegar að sveiflurnar eru mjög verulegar. Eins og fram kemur á mynd 6 er það einkenni á þróuðum efnahagsheildum að hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu lækkar með tíma. Er það skýrt á þann hátt að hagræðing í orkubúskap þjóðar auki hagvöxt þannig að það sé eðlilegt ástand í þróuðu hagkerfi að hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu lækki með tíma, eða a.m.k að hlutfallið vaxi ekki með tíma.

Myndir 4 og 5 sýna að Íslendingum hefur tekist að ná verulegum hagvexti á seinni hluta tuttugustu aldarinnar jafnframt mikilli sóun á orku. (Mig skortir þekkingu til að meta hvort hagvextinum á seinni hluta síðustu aldar hefur verið náð vegna mikillar sóunar á orku eða þrátt fyrir orkusóuninina. Æskilegt væri að fá skýringu sérfræðinga á þessu atriði.

Á mynd 5 var valið að nota eininguna MJ/USD svo þægilegt væri að bera saman aðstæður á Íslandi við aðstæður í öðrum löndum sem mynd 6 sýnir. Einnig er þess gætt að verðlag sé sambærilegt. Á mynd 5 er miðað við verðgildi USD á árinu 1990, en á mynd 6 er 1991 viðmiðunarár.

Hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu á Íslandi virðist í lok aldarinnar vera svipað og samsvarandi hlutföll í Bandaríkjunum og Svíþjóð. Það er hins vegar hærra í lok aldarinnar en samsvarandi hlutföll í öðrum löndum sem sýnd eru á mynd 6 (Japan, Frakkland, Ítalía,

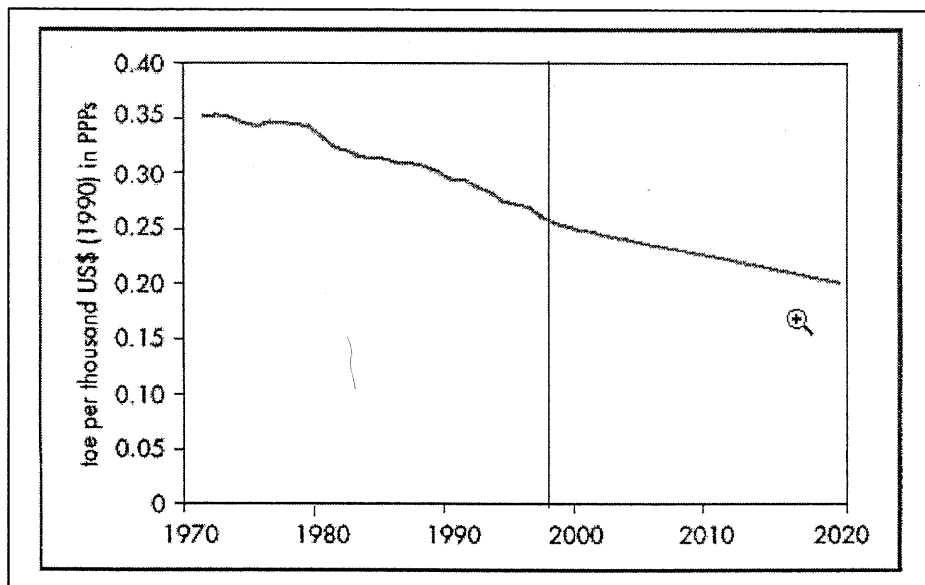
Bretland, Danmörk). Meginmunurinn á myndum 5 og 6 er sá að hlutfallið eykst með tíma á Íslandi, en lækkar með tíma í þeim sjö löndum sem sýnd eru á mynd 6.



Mynd 6. Hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu í sjö löndum á tímabilinu 1970-1992. Úr IEA: Indicators of Energy Use and Efficiency, 1997.

Sveiflurnar í íslenska grafinu eru mun meiri en sveiflurnar á mynd 6. Að öllum líkindum er þetta afleiðing smæðar íslenska hagkerfisins og einhæfni. Sveiflurnar eru mun meira áberandi um miðja öldina en í lok hennar.

Ætla má að hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu muni hætta að aukast á Íslandi þegar líða tekur á tuttugustu og fyrstu öldina og að sú þróun mála verði talin vera í samræmi við grundvallarsjónarmið sjálfbærrar þróunar.



Mynd 7. Hlutfall orkunotkunar og "landsframleiðslu" heimsins. Úr IEA: World Energy Outlook 2000.

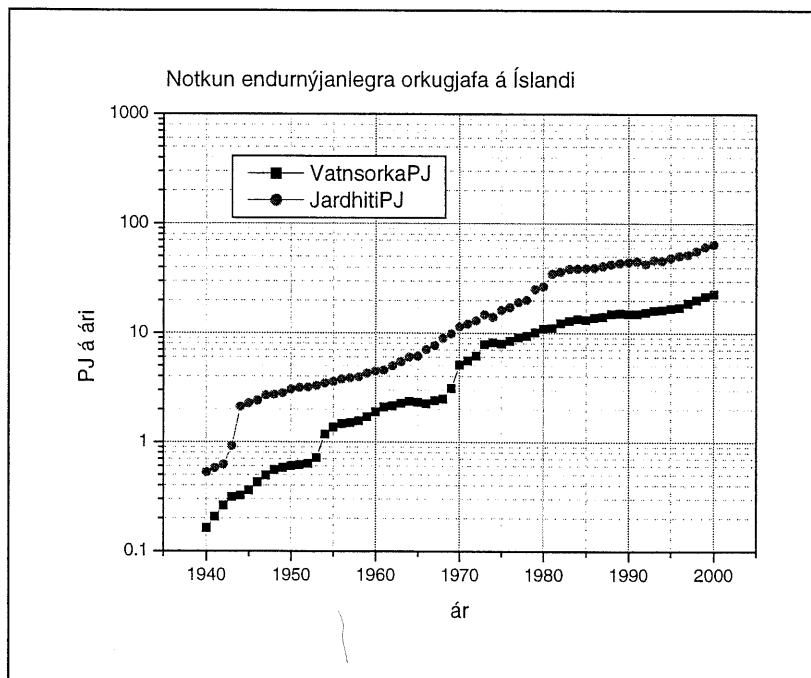
Fyrir heiminn í heild hefur hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu lækkað um 1,1% á ári á tímabilinu 1971-1997 og IEA gerir ráð fyrir að sama þróun muni haldast á næstu tveim áratugum eins og sýnt er á mynd 7.

5. Innlendir orkugjafar

Aukningin í nýtingu jarðhita og vatnsorku hefur verið mjög hröð á seinni hluta tuttugustu aldar. Mynd 8 sýnir þessa þróun þar sem orkunotkunin er reiknuð sem frumorka.

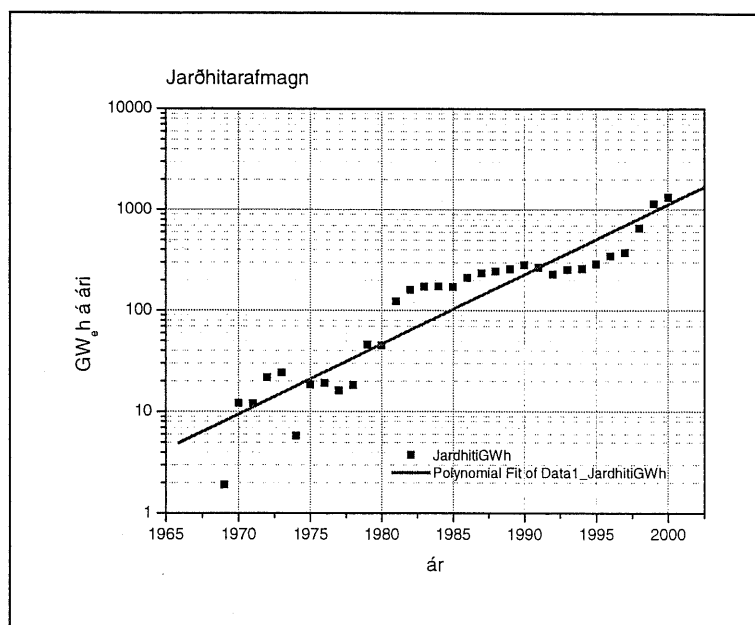
Eins og myndin sýnir hefur aukningin verið svipuð fyrir þessar tvær orkulindir og að meðaltali er vöxturinn sá sami eða 8% aukning á ári bæði fyrir jarðhita og vatnsorku. Vaxtarhraðinn er mun hærri fyrir jarðhita og vatnsorku heldur en vaxtarhraði heildarorkunotkunar sem var 5,1% á ári (mynd 2). Þetta þýðir að hlutur innlendu orkulindanna hefur aukist á kostnað influttra orkugjafa á tímabilinu.

Mynd 8 sýnir heildarnotkun landsmanna á jarðhita, þ.e. jarðhitanýtingu bæði til hitunar og til raforkuvinnslu. Ef litið er eingöngu á jarðhitanýtingu til raforkuvinnslu (mynd 9) kemur fram að vöxtur þessarar sérstöku orkunýtingar hefur verið mjög hraður eða 16,6% á ári að meðaltali á tímabilinu 1969-2000.



Mynd 8. Nýting jarðhita og vatnsorku á tímabilinu 1940 – 2000.

Mynd 9 sýnir raforkuvinnslu úr jarðhita á tímabilinu 1970 – 2000. Tiltölulega seint var farið að nota jarðhita til raforkuvinnslu og skýrir það að vaxtarhraðinn mælist svona hár (16,6% á ári).



Mynd 9. Vinnsla raforku úr jarðhita á tímabilinu 1969-2000.

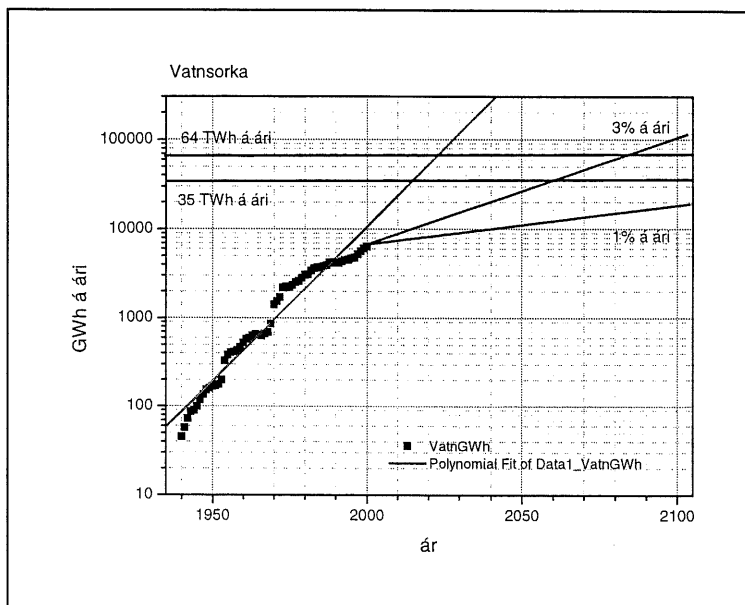
Stærð íslensku orkulindanna jarðhita og vatnsorku er endanleg í þeim skilningi að árleg orkuvinnsla verður að vera innan vissra marka. Stærð orkulindanna setur því viss takmörk á mögulega orkuvinnslu á nýbyrjaðri öld. Hér verður litið á hvaða skorður stærð orkulindanna hefur á mögulega orkuvinnslu í framtíðinni.

5.1 Vatnsorka

Mynd 10 sýnir aukninguna í nýtingu vatnsorku á tímabilinu 1940–2000. Dregin hefur verið bein lína sem fellur best að aukningunni á þessu tímabili, og er meðalaukningin 8% á ári eins og áður hefur verið minnst á.

Áætlað hefur verið að tæknilega sé hægt að vinna 64 TWh á ári af vatnsorku, og að af þessu orkumagni sé hagkvæmt að nýta um 30-45 TWh á ári. Ekki liggur fyrir hve mikill hluti af þessum hagkvæma hluta vatnsorkunnar verður talinn virkjanlegur vegna umhverfissjónarmiða. Á mynd 10 eru sýndar tvær línur sem sýna viðmiðunargildin 35 og 64 TWh á ári.

Mér finnst það nokkuð ljóst að virkjunarhraði vatnsorku verður ekki jafn mikill á tuttugustu og fyrstu öldinni eins og hann var á seinni hluta tuttugustu aldar. Ef virkjunarhraða tuttugustu aldarinnar verður viðhaldið í náninni framtíð verður öll hagkvæm vatnsorka fullvirkjuð á rúmum tveim áratugum.



Mynd 10. Nýting vatnsorku á tímabilinu 1940-2000 og mögulegur nýtingarhraði vatnsorku á nýbyrjaðri öld.

Á mynd 10 eru einnig dregnar tvær hjálparlínur, annars vegar lína sem sýnir vöxtinn 1% á ári og hins vegar lína fyrir 3% vöxt á ári. Mynd 10 sýnir að ef virkjunarhraði vatnsorku verður meiri en 1% á ári kemur stærð auðlindarinnar til með að hafa takmarkandi áhrif á nýtingarhraðann á öldinni. Því meiri sem virkjunarhraðinn er, því fyrr koma áhrif stærðarinnar í ljós.

Áður var minnst á að það samrýmist illa sjónarmiðum sjálfbærrar þróunar að orkunotkun á íbúa fari vaxandi. Þó virkjunarhraði vatnsorku aukist hraðar en íbúafjöldinn í landinu þarf það því ekki að vera í andstöðu við sjónarmið sjálfbærrar þróunar ef notkun annarra orkugjafa dregst saman að sama skapi. Það er því fyllilega mögulegt að velja virkjunarhraða vatnsorku sem nemur nokkrum prósentum á ári í náinni framtíð. Þau atriði sem skipta sköpum fyrir þessa ákvarðanatöku eru annars vegar hversu langan tíma menn vilja taka sér í að fullvirkja vatnsorkuna í landinu og hins vegar hvernig eftirspurn eftir raforku muni þróast í náinni framtíð. Á liðnum áratugum hefur eftirspurn eftir raforku til stóriðju ráðið virkjunarhraða vatnsorku. Tæknilega er hægt að fylgja þessari stefnu í orkumálum í einn eða tvo áratugi á þessari öld, en eftir það verður það stærð auðlindarinnar sem takmarkar virkjunarhraða vatnsorku.

Það er pólitísk ákvörðun hve langan tíma menn vilja taka sér í að fullvirkja vatnsorku landsins. Fljótt á litið virðist mér heppilegt að þjóðin taki sér a.m.k 50 ár til þessa verks.

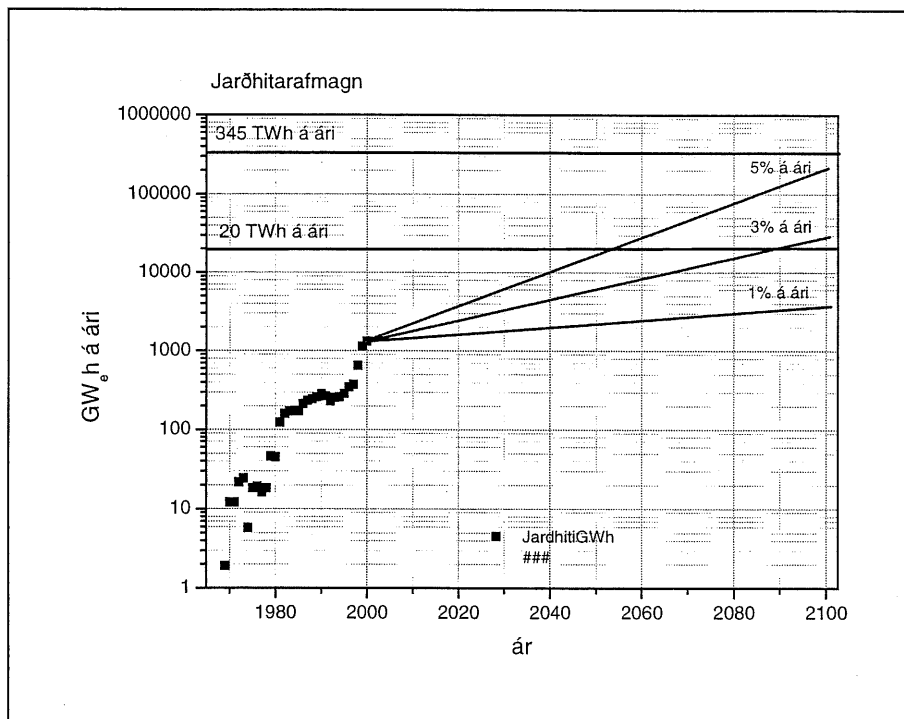
Staða vatnsorkurannsókna er frekar góð. Stærð auðlindarinnar er sæmilega vel þekkt, og vitað er í stórum dráttum hvar helstu virkjunarstaðir vatnsorkunnar eru. Auk þess er reiknað með að á árinu 2004 verði lokið við að forgangsraða helstu virkjunarkostum í samræmi við aðferðarfræði rammaáætlunar.

Mér finnst trúlegt að á næstu 50 árum verði meðalvirkjunarhraði vatnsorku á bilinu 1-3% á ári. Hraðinn verður eflaust ekki jafn yfir allt tímabilið. Hann verður trúlega heldur hærri í byrjun tímabilsins, en lægri þegar líða tekur að miðbiki aldarinnar. Miðað við þessa

framtíðarsýn verður þörfin fyrir vatnsorkurannsóknir ekki mjög mikil í náninni framtíð. Ekki er fyrirjáanlegt að gera þurfi neitt séstakt átak í vatnsorkurannsóknum heldur ætti að vera hægt að halda lágum en jöfnum rannsóknarhraða næstu áratuginna.

5.2 Jarðhiti til raforkuvinnslu

Þetta er sú tegund orkuvinnslu sem náði mestum vaxtarhraða (16,6% á ári) í lok tuttugustu aldarinnar eins og sýnt er á mynd 9. Mynd 11 sýnir hins vegar randskilyrði á vinnslu jarðhita til raforkuvinnslu.



Mynd 11. Raforkuvinnsla úr jarðhita á tímabilinu 1969-2000 og mögulegur virkjunarhraði á nýbyrjaðri öld.

Oft hefur verið miðað við að hægt sé að vinna 20 TWh/ári af raforku úr jarðhita. Ekki liggur fyrir hvernig þessi stærð hefur komist inn í umræðuna um orkumál. Í Jarðvarmamati frá 1985 er áætlað að þekkt háhitasvæði landsins geti staðið undir um 30 TWh/ári raforkuvinnslu. Miðað við þær niðurstöður má ætla að 20 TWh/ári gæti verið hagkvæm mörk raforkuvinnslu á þekktum háhitasvæðum.

Jarðvarmamatið frá 1985 byggir á mati á varmaorku í berggrunninum. Varminn undir háhitasvæðunum er aðeins lítill hluti allrar varmaorku í íslenska berggrunninum sem nota má til raforkuvinnslu. Í Jarðvarmatinu er áætlað að allur jarðhiti landsins geti staðið undir 43200 MW raforkuvinnslu í 50 ár. Þetta afl samsvarar 345 TWh raforkuvinnslu á ári í 50 ár.

Miðað við núverandi þekkingu á íslenskum jarðhita eru mestar líkur á að tæknilega sé hægt að vinna mun meiri raforku úr jarðhitaauðlindinni en þær 20-30 TWh/ári sem oftast hefur

verið miðað við. Hins vegar er ekki hægt að segja með neinni vissu hve mikil þessi viðbót er.

Það rýrir gildi tölunnar 345 TWh/ári að ekki er hægt að benda nákvæmlega á hvar megi ganga að þessarri orku, heldur er um að ræða summu án staðartilvísunar. Eðlilegasta túlkunin á þessum aðstæðum er sú að ekki sé ennþá búið að finna nema um einn tíunda hluta af þeim jarðhita sem nota má til raforkuvinnslu á Íslandi. Í þannig stöðu er það auðvitað tilgangslaust að giska á hve mikill hluti þessarar orku reynist vera hagkvæmur til virkjunar.

Rétt er að geta þess að jarðhitarannsóknir á liðnum áratug eða svo, hafa í sumum tilvikum breytt mati á orkugetu einstakra háhitasvæða. Þannig hefur matið fyrir Reykjanes, Brennisteinsfjöll og Torfajökul hækkað verulega, en matið fyrir Öxarfjörð hefur lækkað. Að öllu samanlögðu er jarðhitamat háhitasvæðanna með rúmmálsmati 60-70% hærra á árinu 2001 en það var árið 1985.

Auk þeirrar óvissu sem ríkir um stærð bundinnar jarðhitaorku er ekki vitað hvort þröskuldur sjálfbærrar nýtingar jarðhita er hærri eða lægri en jarðvarmamati með rúmmálsaðferð. Áður hefur verið nefnt að núverandi sjálfbær nýting jarðhitasvæðanna í Laugarnesi og Mosfellsbæ er um tíu sinnum meiri en jarðvarmamati þessara jarðhitasvæða með rúmmálsaðferð. Ef svipaðar aðstæður eru fyrir hendi í jarðhitakerfum sem nýta má til raforkuvinnslu gæti þröskuldur sjálfbærrar nýtingar jarðhita til raforkuvinnslu numið þúsundum terawattstunda á ári af vinnslu raforku.

Þetta er líklega stærsta og mikilvægasta spurningin sem nú liggur fyrir um orkumál Íslands. Umræðan snýst um það hvort vinnanlegur jarðhiti til raforkuvinnslu á Íslandi sé tíu sinnum eða jafn vel hundrað sinnum meiri en áætlað hefur verið fram að þessu. Þetta eru ekki beinlínis nýjar niðurstöður því sterkustu rökin fyrir þessarri túlkun voru birt í Jarðvarmamatinu 1985. Hins vegar hafa menn túlkað niðurstöður Jarðvarmamatsins mjög þröngt og gefið sér að einungis væri hægt að nýta þekkt háhitasvæði landsins til raforkuvinnslu. Þetta var e.t.v. ekki óeðlileg ályktun á þeim tíma sem Jarðvarmamatið var unnið. Á þeim tíma var þjóðin að stíga sín fyrstu skref í virkjun jarðhita til raforkuvinnslu og yfirsýn manna um þessi mál var auðvitað takmörkuð.

Það er forgangsverkefni í íslenskum orkurannsóknum að meta stærð jarðhitaauðlindarinnar. Þetta er viðamikil verkefni sem beinist að undirstöðuatriðum jarðhitans sem orkulindar. Þetta er líka langtímaverkefni sem tekur eflaust einhverja áratugi, jafnvel þó fjármagn verði ekki takmarkandi á framvindu verksins. Fjárhagslegur ávinningur rannsókna er hins vegar mjög mikill. Tilgangur rannsókna er að sannreyna hvort orkuauðlindir landsins séu einni eða tveim stærðargráðum meiri en talið hefur verið fram að þessu.

Miðað við randskilyrðin á mynd 11 gæti vöxturinn í raforkuvinnslu úr jarðhita numið 3-5% á ári alla 21. öldina. Það er því tæknilega mögulegt að viðhalda vissri stóriðjustefnu í raforkumálum eitthvað fram eftir öldinni. Hins vegar má búast við að sjónarmið sjálfbærrar þróunar fái aukið vægi á næstu áratugum þannig að aukningin í orkunotkun landsins verði í takt við aukninguna í mannafla.

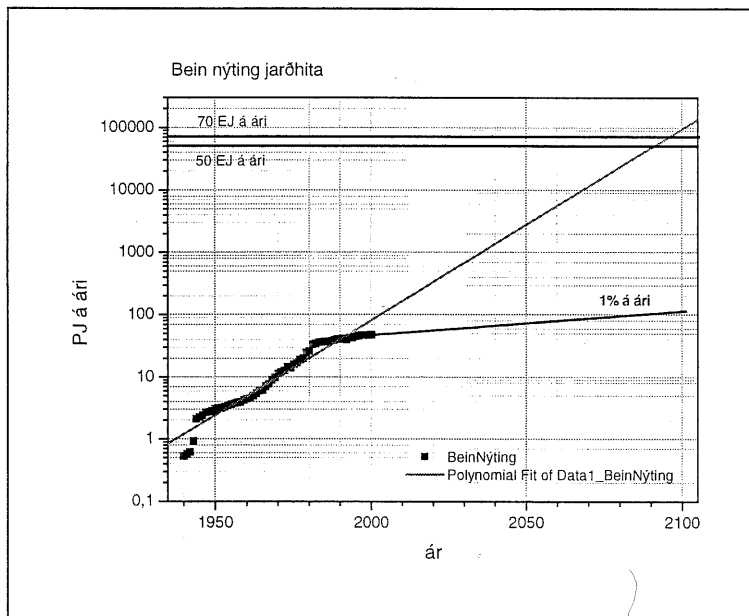
Líklegt er að aukningin í virkjun jarðhita til raforkuvinnslu verði meiri en samsvarandi aukning í vatnsorku. Bæði er að svigrúmið til virkjunar er meira fyrir jarðhita en fyrir

vatnsorku (sjá myndir 10 og 11), en einnig er það æskilegt fyrir raforkukerfið að jafna betur hlutfall framleiðslueininga í jarðhita og vatnsorku.

Staðan í jarðhitarannsóknum er mun lakari en staðan í vatnsorkurannsóknum. Þetta á bæði við um yfirborðsrannsóknir en einkum þó um rannsóknarboranir. Það er því mjög nauðsynlegt að auka jarðhitarannsóknir í náinni framtíð. Þessi þörf byggir bæði á því að fá nægilegar upplýsingar til þess að meta stærð auðlindarinnar en einnig er nauðsynlegt að kortleggja auðlindirnar vegna væntanlegra virkjana á næstu áratugum. Það er því eðlilegt að gera ráð fyrir að jarðhitarannsóknir verði auknar mjög verulega á næstu áratugum. Þessi aukning ætti að vera svo veruleg að réttlætjanlegt væri að tala um átak í þessum efnum.

5.3 Bein nýting jarðhita

Á mynd 8 er sýnd heildarnotkun jarðhita á tímabilinu 1940-2000, en mynd 11 sýnir þann hluta jarðhitanýtingarinnar sem notaðar eru til vinnslu raforku. Mynd 12 sýnir hins vegar beina nýtingu jarðhita á tímabilinu 1940-2000.



Mynd 12 Bein nýting jarðhita á tímabilinu 1940-2000 og möguleg aukning á 21. öldinni.

Í Jarðvarmamatinu frá 1985 er áætlað að tæknilega vinnanlegur jarðvarmi við holutopp sé 3500 EJ eða 70 EJ á ári í 50 ár. Að frádregnum þeim hluta jarðhitans sem heppilegur var talinn til raforkuvinnslu kemur út stærðin 50 EJ á ári sem væri þá sá hluti jarðhitans sem heppilegur væri til beinnar nýtingar. Nú ber að geta þess að það er vel hægt að nota hátt hitastig á jarðhitavökva til beinnar hitunar og í mörgum tilvikum er bæði varmi og raforka unnin úr sama jarðhitavökvanum. Það er því líklega eins raunhæft að miða stærð auðlindarinnar við 70 EJ á ári eins og að miða stærðina við 50 EJ á ári.

Magnið af jarðhita til beinnar nýtingar er svo mikið á Íslandi að engar líkur eru á því að hann verði fullnýttur á næstu öld. Bein nýting jarðhita er auk þess mjög vel þróuð í landinu þannig að ekki er fyrrsjáanlegt að aukningin verði meiri en sem samsvarar

fólksfjölgun í landinu. Hér er reiknað með að aukningin í fólksfjölda og aukningin í beinni nýtingu jarðhita verði 1% á ári á 21. öldinni.

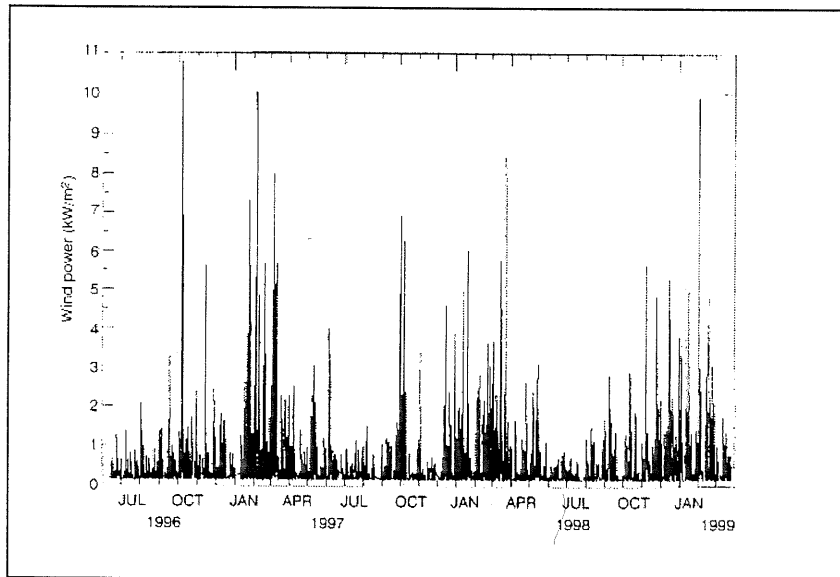
Á næsta áratug eða svo má búast við að farið verði að nota varmadælur í stað beinnar rafhitunar húsa. Það mun auka hlut jarðhita upp í ca 95% af orkunotkun til húshitunar þannig að segja má að markaðurinn sé mettaður.

Þó það sé æskilegt að skilja eðli jarðhitans betur liggur ekki fyrir nein brýn þörf á að auka jarðhitarannsóknir vegna beinnar nýtingu. Hægt verður að viðhalda tiltölulega lágu, en samfelldu rannsóknarstigi á þessu sviði.

5.4 Vindur

Framleiðsluverð raforku úr vindorku hefur lækkað verulega á síðasta áratug og raunhæft er að reikna með að einhver vinnsla á vindorku hefjist hér í náinni framtíð. Það eru einkum tvö atriði sem eru hagstæð fyrir nýtingu vindorku á Íslandi. Annars vegar er vindasamt á landinu og hins vegar er raforkukerfið að miklum hluta byggt á vatnsaflsvirkjunum.

Vindorkan er mjög óreiðanleg eins og fram kemur á mynd 13.



Mynd 13. Vindafl á malistað við suðurströnd Íslands.

Ekki er hægt að byggja miðlunarlón fyrir vindorkuna eins og gert er fyrir vatnsorkuna. Þess í stað þarf raforkukerfið að hafa þann sveigjanleika að geta tekið við vindorkunni þegar hún gefst og geta líka framleitt aukalega þegar enginn vindur er fyrir hendi. Yfirleitt eru raforkukerfi hönnuð þannig að þau ráða einfaldlega við ca. 15% breytingu í álagi. Stýrieiginleikar vatnsaflsvirkjana eru mun betri en annara virkjana í þessu tilliti. Þess vegna er samkeyrsla vindmyllna og vatnsaflsstöðva mjög heppilegur kostur. Það á þó eftir að gera raunhæfa rekstrareftirlíkingu af svona samkeyrslu til þess að fá fram tölulega hversu góður kosturinn er.

Önnur afleiðing af óáreiðanleika vindorkunnar er sú að ekki er hagkvæmt að setja upp meira afl vindorku en sem samsvarar um 15% af heildarafl í því raforkukerfi sem vindmyllurnar tengjast. Á meðan afl vindorkunnar er innan við 15% af afl kerfisins er enginn aukakostnaður því samfara að taka við vindorkunni þegar vindinum þóknast að blása. Ef afl vindorkunnar er hins vegar meira en hönnunarmörk kerfisins þarf aukafjárfestingu til þess að auka sveigjanleika kerfisins þannig að kerfið ráði við meiri álagsbreytingar en 15%. Sá aukakostnaður kæmi þá á reikning vindmyllanna og gerði þá framleiðsluáðferð ennþá dýrari.

Mjög lítið er vitað um tæknileg mörk nýtanlegrar vindorku á Íslandi. Til þess að fá mat á stærð þessarar orkulindar þarf að mæla vindhraða á nægilega mörgum stöðum á landinu til þess að hægt sé að gera svokallaðan vindatlas af landinu. Þetta er sambærilegt við þá vinnu sem Vatnamælingar hafa stundað s.l. hálfu öld.

Að öllum líkindum er ekki bráðnauðsynlegt ljúka við að gera vindatlas á mjög skömmum tíma vegna þess að það verður frekar stærð raforkukerfisins en stærð auðlindarinnar sem takmarkar mögulega nýtingu vindorku í náinni framtíð. Hins vegar er rétt að skipuleggja þessa rannsóknarvinnu þannig að vindatlas verði tilbúinn eftir áratug eða svo.

5.5 Kolvetni

Ný lög um vinnslu kolvetnis á hafsbotni tóku gildi á árinu 2000 (?). Á næstu árum ætla ríkið að verja a.m.k. 700 milljónum til að styrkja stöðu sína í hafréttar og hafsbotsmálum og til þess að afla vissra grunnupplýsinga um hafsbotninn. Þetta sýnir að rannsóknir á kolvetnum verða stundaðar á Íslandi í náinni framtíð. Erfitt er að sjá fyrir hver verður þróun þessara mála eftir tvo áratugi eða svo, en líklegast er að þessi starfsemi haldi áfram a.m.k. eitthvað fram eftir 21. öldinni.

Enn sem komið er eru ekki miklar líkur á að vinnanleg kolvetni finnist í íslenski efnahagslögsögu. Hins vegar er þróunin ör á þessum sviðum og því nauðsynlegt að viðhalda gagnasöfnun og eftirliti með hafsbotsrannsóknum í efnahagslögsögu landsins.

5.6 Aðrir orkugjafar

Búast má við að virkjun sjávarfalla komi til álita eftir svo sem tvo áratugi eða svo. Náttúrulegar aðstæður eru fyrir þannig virkjanir t.d. í Hvammsfirði og Gilsfirði. Hins vegar er ekki fyrirsjáanlegt að nýting sjávarfalla muni hafa mikil áhrif á orkubúskap þjóðarinnar. Það er því varla þörf á að sinna miklum rannsóknum á þessu sviði í náinni framtíð.

Sama má raunar segja um sólarorku og lífmassa. Þó sólskinsstundir á ári séu tiltölulega margar á Íslandi er dreifingin yfir árið tiltölulega óhagstæð bæði til orkuvinnslu og til ræktunar á lífmassa. Hér er því gert ráð fyrir að rannsóknarstarf á þessum sviðum verði mjög lítið í náinni framtíð.

6. Niðurstöður

Hér hafa verið raktar ýmsar forsendur sem taka þarf tillit til við stefnumörkun í orkurannsóknnum. Niðurstöður þeirrar umfjöllunar eru í stórum dráttum þessar:

- Mikilvægasta spurningin í orkumálum landsins tekur til eðlis jarðhitans og stærðar auðlindarinnar, einkum þess hluta sem nýta má til raforkuvinnslu. Spurningin er hvort eigi að miða stærðina við 30 TWh á ári eða við 300 TWh á ári, eða jafn vel við 3000 TWh á ári. Þetta er svo stór spurning sem hefur svo mikla efnahagslega þýðingu fyrir þjóðina að nauðsynlegt er að gera þetta að forgangsverkefni í íslenskum orkurannsóknnum í náinni framtíð.
- Hlutfall orkunotkunar og landsframleiðslu hefur þróast með öðrum hætti á Íslandi en í flestum öðrum löndum heims. Það er því bráðnauðsynlegt að auka rannsóknir á efnahagslegum afleiðingum af orkustefnu þjóðarinnar og nota þær niðurstöður til þess að meta efnahagslega næmni í þróun orkumála. Niðurstöður slíkra rannsókna skipta sköpum við stefnumörkun í orkumálum og í orkurannsóknnum.
- Grundvallarsjónarmið sjálfbærrar þróunar munu að öllum líkindum verða til þess að það dragi verulega úr aukningu í orkunotkun þegar líða tekur á 21. öldina.
- Þörfin á rannsóknnum á vatnsorku og jarðhita til beinnar nýtingar er ekki mjög mikil þannig að hægt er að halda lágum en jöfnum hraða á þeim sviðum.
- Viss starfsemi þarf að vera í gangi til þess að halda utanum kolvetnisrannsóknir í efnahagslögsögunni og gera þarf vindatlas af landinu. Athuganir á öðrum orkulindum mega vera í lágmarki í náinni framtíð.

7. Þakkir

Árni Ragnarsson var mjög hjálplegur við að finna til gögn sem notuð eru í þessari samantekt og las auk þess yfir textann. Ég þakka honum kærlega fyrir hjálpina.

8. Heimildir

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.

International Energy Agency: World Energy Outlook 2000.

IEA: Indicators of Energy use and Efficiency, Paris 1997, 330 p.