

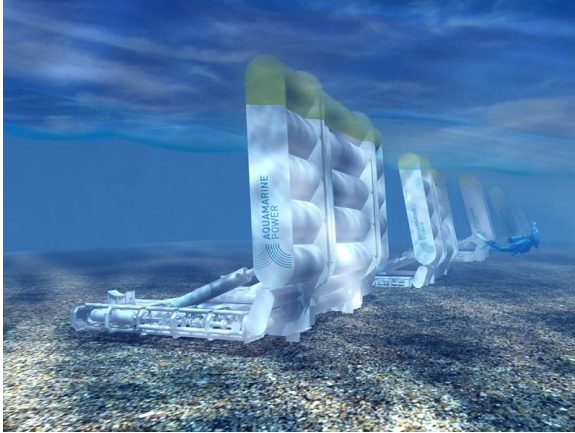


Virkjun vindorku og sjávarorku á Íslandi

Tækifæri til að efla íslenskt efnahagslíf
og auka fjölbreytni á orkumarkaðnum?

Frumúttekt iðnaðarráðherra

Apríl 2009



Mynd 1: Sjávarorkutæknin Oyster frá skoska fyrirtækinu Aquamarine Power (teikning).

Höfundur texta:

© Ketill Sigurjónsson 2009.

Mynd á forsíðu: Fljótandi vindrafstöð, kölluð Hywind, sem þýska vindorkufyrirtækið Siemens Wind og norska orkufyrirtækið StatoilHydro eru nú með í undirbúningi í Norðursjó.



Mynd 2: Vélvirki við eftirlit í vélarhúsi vindrafstöðvar í nærri 100 m hæð.

Efnisyfirlit

Formáli.....	4
Niðurstöður í hnotskurn og tillögur.....	5
1. Inngangur.....	8
2. Vindorka.....	15
3. Vindorkuframleiðsla framtíðarinnar?.....	37
4. Sjávarvirkjanir.....	40
4.1. Sjávarfallavirkjanir.....	41
4.2. Aðrar hafstraumavirkjanir, þ.m.t. hringiðuvirkjanir.....	48
4.3. Ölduvirkjanir.....	54
4.4. Seltuvirkjanir.....	57
4.5. Varmamismunarvirkjanir (OTEC).....	59
5. Um framleiðslukostnað raforku.....	60
6. Efnahagslegt tækifæri fyrir Ísland?.....	68
7. Niðurstöður.....	74
Eftirmáli.....	83



Mynd 3: Vindrafal komið fyrir í vélarhúsinu.

Formáli

Í þessari greinargerð er fjallað um möguleika Íslands til að nýta sér með hagkvæmum hætti fleiri endurnýjanlegar orkulindir en vatnsafl og jarðvarma. Ekki er um að ræða heildarúttekt, heldur er athyglinni hér beint að *vindorku* og *sjávarorku*.

Þessari frumúttekt er ætlað að varpa ljósi á þá möguleika og tækifæri, sem þessar tegundir endurnýjanlegrar orku kunna að hafa fyrir Ísland. Skipta má þessari umfjöllun um vindorku og sjávarorku í tvo meginþætti. Annars vegar er litið til möguleika á að virkja slíka orku hér á landi og/eða við strendur landsins. Hins vegar er reynt að meta hvort raunhæft sé að koma hér á fót iðnaði sem tengist þessum tegundum orkugeirans.

Niðurstöður í hnotskurn og tillögur

Vindorka

Gríðarleg vindorka er á Íslandi og ekki er ólíklegt að virkjun þessarar auðlindar sé raunhæfur og hagkvæmur kostur að einhverju marki hér á landi. Um þetta er þó ekki unnt að fullyrða nema ráðist verði í sérstakar rannsóknir og ennþá nákvæmari mælingar á vindi á áhugaverðustu svæðunum. Sérstaklega þarf að mæla vindinn í meiri hæð en gert hefur verið fram til þessa.

Í framhaldinu mætti nýta niðurstöðurnar úr þeim mælingum til staðarvals, mats á því hvers konar vindrafstöð væri heppilegust og gera ítarlega arðsemisútreikninga út frá þeim forsendum. Ef slíkar niðurstöður yrðu jákvæðar mætti ráðast í að nýta vindorku til að auka við virkjanlegt afl á Íslandi og draga úr þörfinni á byggingu umdeilda vatnsafls- og jarðvarmavirkjana.

Þeir kostir sem líklega eru áhugaverðastir eru eftirfarandi:

- Að virkja vindorku í talsvert stórum stíl til að spara miðlunarlón.
- Að reisa litlar vindrafstöðvar þar sem aðstæður leyfa, til að minnka þörf á aðkeyptu rafmagni og spara þannig dreifingarkostnað.
- Ef útflutningur á rafmagni um sæstreng verður tæknilega og efnahagslega hagkvæmur, gæti vindorka frá mjög stórum vindrafstöðvum orðið áhugaverður valkostur.

Lagt er til að ráðist verði í ítarlegri vindmælingar á nokkrum stöðum á landinu sem veðurfarsgögn frá fyrri árum benda til að hagstæðir séu fyrir vindorkuframleiðslu. Sérstaklega er áriðandi að vindmælingar verði gerðar í meiri hæð en gert hefur verið fram til þessa, þ.e. að vindur verði mældur í a.m.k. 50–80 m hæð.

Sennilega eru Gufuskálar heppilegastir í þessu skyni vegna masturs sem þar er nú þegar, en einnig er mikilvægt að gera slíka mælingar á fleiri stöðum á landinu. Svæði á Suðurlandsundirlendinu eru áhugaverð vegna tiltölulega hagstæðra vindaskilyrða og fleiri staðir kunna einnig að koma vel til greina.

Til að hafa umsjón með slíku verkefni, m.a. mælingum og í framhaldinu hugsanlegu staðarvali og arðsemisútreikningum, er lagt til að komið verði á fót vinnuhópi sérfræðinga, þ.m.t. bæði sérfræðinga í veðurfari og í orkumálum, m.a. frá stærstu orkufyrirtækjunum. Vegna kostnaðar við slíkt verkefni, svo sem vegna vindmælinga og veðurfarsrannsóknna, gæti verið upplagt að fjármagna hluta þess á vettvangi norræns samstarfs, þar sem nú er einmitt lögð mjög rík áhersla á endurnýjanlega orku.

Sjávarorka

Virkjun sjávarorku er ennþá of skammt á veg komin til að rauhæft sé að meta hver verður hagkvæmni slíkrar raforkuframleiðslu. Engu að síður er mögulegt að hér sé um að ræða athyglisverðan kost fyrir Íslendinga, bæði vegna möguleika á að nýta þessa orkuauðlind til rafmagnsframleiðslu í framtíðinni – og jafnvel enn frekar sökum þess að Ísland gæti hugsanlega orðið leiðandi á sviði tækniþróunar í þessari ungu en ört vaxandi iðngrein. Það gæti leitt til fjölda nýrra starfa hér á landi, stuðlað að meiri fjölbreytni í íslensku atvinnulífi og skapað nýjar útflutningstekjur. Um leið gæti virkjun sjávarorkunnar og uppbygging íslensks sjávarorkuiðnaðar skapað Íslandi ímynd líkt og vindorkan hefur skapað Danmörku. Í framtíðinni gæti sjávarorkan því orðið mikilvægur þáttur í íslenskum iðnaði.

Sjávarorka er áhugaverður kostur fyrir Íslendinga og í því sambandi má t.d. nefna eftirfarandi tvær ástæður:

- Sjávarvirkjun gæti reynst hagkvæmur kostur á fáeinum stöðum á Íslandi (kannski ekki síst í nágrenni Vestfjarða).

- Umtalsverð efnahagsleg tækifæri gætu verið fólgin í því að Ísland marki sér þá stefnu að verða leiðandi í þróun sjávarvirkjana.

Lagt er til að íslensk stjórnvöld fylgist vel með framþróun sjávarvirkjana og skoði nánar virkjanamöguleika af þessu tagi; sérstaklega uppsetningu sjávarfallavirkjunar við Breiðafjörð og möguleika á sjávarvirkjun á Vestfjörðum og/eða í Hrútafirði. Feiri staðir kunna að koma til greina.

Einnig er lagt til að stjórnvöld íhugi af mikilli alvöru þann möguleika að Ísland verði í fararbroddi í sjávarorkuiðnaðinum og setji sér metnaðarfull en raunhæf markmið til að svo megi verða.

Í þessu skyni verði sett saman teymi sérfræðinga til að gera ítarlegri úttekt á möguleikum sjávarorku og semja skýrar tillögur um markmið og leiðir. Viðkomandi teymi kanni sérstaklega möguleika á að vekja áhuga fremstu sjávarorkufyrirtækja heims á Íslandi sem heppilegum stað til tilrauna og tækniþróunar.

Loks skal ítrekað að hugsanlega hefur sjaldan verið betra tækifæri en nú til að fjármagna rannsóknir á þessum virkjunakostum á Íslandi. Þar kemur ekki síst til mikill áhugi stjórnvalda á Norðurlöndunum á því að Norðurlandasvæðið verði fremst í heiminum á sviði endurnýjanlegrar orku. Fyrir vikið hafa talsvert miklir fjármunir nú verið settir í þennan málaflokk á vettvangi Norðurlandsamstarfsins. Ekki er ólíklegt að Ísland geti að einhverju leyti nýtt þennan vettvang til að fjármagna ítarlegar rannsóknir á hagkvæmni vindorkuvirkjana á Íslandi og/eða þróun á sjávarvirkjunum. Fyrst og fremst er þó mikilvægt að íslensk stjórnvöld marki sér skýra stefnu í þessum málaflokkum.



Mynd 4: Tilraunaölduvirkjunin Aquabuoy frá kanadíska fyrirtækinu Finavera Renewables.

1. Inngangur

„Umhvervi okkara, svinnandi orkukeldur og trupulleikar hesum viðvirkjandi mynda eitt átrokandi mál í dagsins samfelagi.“ Þannig segir á vefsíðu færeyska fyrirtækisins SeWave sem nú vinnur að þróun ölduvirkjana í samstarfi við þýska stórfyrirtækið Siemens. Bæði vindorka og sjávarorka eru auðlindir sem vekja athygli margra öflugustu fyrirtækja heims. Þau eru tilbúin að leggja verulega fjármuni í að þróa þessa tækni og gera tilraunir á þeim svæðum sem henta hvað best vegna náttúrulegra aðstæðna.

Orkan og auðlindir hafsins.

Af einhverju ástæðum hefur Ísland nánast sniðgengið bæði vindorku og sjávarorku. Þetta er sérstaklega athyglisvert, þegar haft er í huga að hagkvæmni vindrafstöðva hefur aukist gríðarlega á stuttum tíma. Ekki er unnt að benda á skýrar eða óumdeildar ástæður fyrir því að þessi iðnaður hefur ekki hlotið mikla athygli hér á landi. Vafalaust ræður þar þó mestu sú staðreynd að hér er gnægð vatnsorku og jarðvarma og mikil þekking fyrir hendi á þessum orkugjöfum.

Allt frá því Íslendingar byrjuðu að nýta orkulindir sínar hafa vatnsorka og jarðhiti verið langmikilvægustu orkulindir þjóðarinnar. Hvorar tveggju eru *endurnýjanlegar* orkulindir og hafa gert Íslendingum kleift að hita hús sín og framleiða nánast allt sitt rafmagn með endurnýjanlegri orku. Sérstaða Íslands er mikil að þessu leyti. Flestar aðrar þjóðir byggja rafmagnsframleiðslu sína og húshitun að langmestu leyti á jarðefnaeldsneyti (kolum og jarðgasi) og einnig er kjarnorka umtalsverður þáttur í rafmagnsframleiðslu heimsins.

Auk jarðvarmans og orkunnar í fallvötnunum er einhverjar mestu náttúruauðlindir okkar að finna í hafinu. Þá hugsa líklega flestir til fiskistofnanna, en síður til orkunnar sem býr óbeisluð í hafinu. Á hinu vindasama Íslandi sem er umflotið hafi hefur hvorki vind- né sjávarorkan verið nýtt svo orð sé á gerandi. Hér er ekki að finna eina einustu rafvirkjun sem framleiðir rafmagn úr afli sjávar og hér hefur vindorkan einungis verið nýtt í mýflugumynd. Fyrir því eru vissulega tilteknar ástæður. Enn er mikið af virkjanlegu vatnsafla og jarðvarma á Íslandi og fram til þessa hefur þetta verið bæði ódýrari og áreiðanlegri raforka en frá vindorkuveri. Og virkjun sjávarorku hefur a.m.k. allt fram á allra síðustu ár ekki verið raunhæfur möguleiki og þess vegna kannski eðlilegt að henni hafi ekki verið sýndur mikill áhugi hér, enn sem komið er.

Er einhver ástæða til að skoða nýja möguleika í raforkuframleiðslu á Íslandi?

Sökum þess að vatnsaflað og jarðhitinn hafa verið svo hagkvæmir kostir og enn eru margir ónýttir virkjunarkostir af þessu tagi hér á landi, má spyrja hvort einhver ástæða sé til að skoða aðra orkugjafa? Er nokkur þörf eða skynsemi í því fyrir Íslendinga að velta fyrir sér möguleikum sem kunna að felast í t.d. lífmassa, sólarorku, sjávarorku eða vindorku?

Því má e.t.v. svara þannig að á síðustu árum hafa orðið mjög miklar framfarir og ör þróun í hönnun og byggingu vindorkuvera. Nýjar tegundir sjávarvirkjana eru nú í fyrsta sinn taldar raunhæfur kostur til umtalsverðrar raforkuframleiðslu innan einhverra ára eða áratuga. Þarna eru tækifæri sem Íslendingar hljóta að skoða; vindorka og sjávarorka eru

auðlindir sem eðlilegt er að gefa meiri gaum og hefja faglega og ítarlega vinnu til að meta hvort nýta beri þessar auðlindir og þau tækifæri sem þær kunna að skapa okkur. Þar skiptir hvað mestu að meta hagkvæmnina; svo sem að kanna framleiðsluverð mismunandi tegundar af endurnýjanlegri orku og hvers konar raforkuframleiðsla hentar hinum mismunandi svæðum landsins.

Önnur atriði sem hafa ber í huga eru t.d. gæði ólíkra tegunda raforkuframleiðslu, hvernig best er að standa að orkudreifingu og hvaða umhverfisáhrif mismunandi virkjunarkostir hafa í för með sér. Loks kunna þarna að vera tækifæri til fjölbreyttari iðnaðaruppbyggingar á Íslandi.

Ekki hefur mikið verið ritað um möguleika Íslands til að beisla vindorku eða sjávarorku. Þó hafa verið haldin ýmis erindi og gerðar stuttar samantektir um þetta efni, ásamt fáeinum námsritgerðum. Árið 2004 fór fram ráðstefna á vegum Orkustofnunar um nýja og óhefðbundna orkukosti á Íslandi og þar voru m.a. flutt erindi um vindorku á Íslandi og um virkjun sjávarfalla og ölduvirkjana.¹ Frá þeim tíma hefur orðið talsverð framþróun í þessum tegundum raforkuframleiðslu og rekstrarumhverfi þessara iðngreina hefur tekið miklum breytingum, bæði í Bandaríkjunum og í Evrópu. Fyrir vikið kann áhugi fjárfesta á vindorku og sjávarorku senn að aukast til muna. Íslendingar hafa m.ö.o. ýmsar ástæður til að huga betur að þessum möguleikum.

Geta nýir kostir í raforkumálum skapað viðtækari sátt um orkustefnu landsins?

Alkunna er að ýmsar þær virkjanir sem hér hafa verið byggðar undanfarin ár, eru og hafa verið umdeildar. Þær hafa kostað náttúrufórnir, en hafa m.a. verið réttlættar með vísan til þess að þær fórnir séu þess virði til að hér megi byggja upp meira og styrkara atvinnulíf og efla hagvöxt. Þetta kann að vera umdeilt sjónarmið, en ekkert eitt rétt svar er til við því.

¹ Erindin frá ráðstefnunni má sjá á vef Orkustofnunar: www.os.is/page/nyir_moguleikar

Hafa má í huga að í nútíma samfélagi er orka líklega einhver mikilvægasta undirstaða efnahagslífsins og aukinn hagvöxtur og velferð er mjög háð meira eða betra aðgengi að orku. Það þýðir þó ekki endilega að meiri orkunotkun sé algert skilyrði efnahagsvaxtar. T.d. hefur verulega dregið saman í olíunotkun sumra ríkja þrátt fyrir góðan hagvöxt (gott dæmi er Danmörk, en þetta gerðist einnig í Bandaríkjunum nú í upphafi 21. aldar).

Annað virðist gilda um raforkunotkunina. Þannig hefur raforkunotkun í heiminum t.d. aukist hvert einasta ár frá 1980, þrátt fyrir nokkrar niðursveiflur í efnahagslífnu á þessum tíma.² M.ö.o. má álykta sem svo að raforkunotkun muni halda áfram að aukast jafnt og þétt svo að sífellt verður þörf fyrir meiri rafmagnsframleiðslu. Þetta á jafnvel enn frekar við um Ísland en mörg önnur ríki vegna þess hversu landið er fámennnt og sérhver ný stóriðja hefur því mikil áhrif til aukinnar raforkuframleiðslu.

Auðvitað er óvissa um hvernig rafmagnsframleiðsla á Íslandi muni þróast næstu ár og áratugi. Vöxturinn hefur verið hraður undanfarið, fyrst og fremst vegna nýrrar stóriðju. Fyrir vikið hefur hlutfall stóriðjunnar í heildarrafmagnsnotkun á Íslandi farið hratt vaxandi. Ef hér mun rísa ný stóriðja, gerist það ekki nema með miklum virkjunarframkvæmdum.

Jafnvel þó svo að enginn nýr stórnotandi rafmagns kæmi til á Íslandi á næstu árum, er samt líklegt að rafmagnsnotkun þjóðarinnar muni aukast og kalla á meiri raforkuframleiðslu. Þjóðinni fjölgar og fátt bendir til þess að Íslendingar taki upp á því, þegar til lengri tíma er litið, að draga mjög úr rafmagnsnotkun sinni. A.m.k. hljóta að teljast mun meiri líkur en minni á því að eftirspurn eftir rafmagni haldi áfram að vaxa hér á landi. Að hluta til er unnt að mæta slíkum vexti með því að endurnýja búnað í þeim virkjunum sem fyrir eru til að auka afköst þeirra. Fljótlega kann þó að þurfa nýjar virkjanir – hvort sem það verða eingöngu vatnsaflsvirkjanir og jarðvarmavirkjanir eða að hér komi einnig til virkjunar á vindorku og jafnvel líka sjávarorku.

² Upplýsingar frá orkumálaráðuneyti Bandaríkjanna; þær má t.d. nálgast hér: www.eia.doe.gov/iea/elec.html

Erfitt er að meta hvaða náttúrufórnir eru réttlætanlegar í því skyni að framleiða meira rafmagn. Um það eru mjög skiptar skoðanir. En til að skapa meiri sátt í samfélaginu kann að vera skynsamlegt að minnka þörf á nýjum vatnsafls- og/eða jarðvarmavirkjunum. Þetta væri unnt að gera með því að horfa til annarra virkjunarkosta sem gætu haft síður neikvæð umhverfisáhrif í för með sér. Slíkir kostir hljóta að vera áhugaverðir, a.m.k. ef kostnaðurinn við þá er sambærilegur eða litlu meiri en við hefðbundnar íslenskar virkjanir. M.ö.o. skipta umhverfisþættir verulegu máli þegar lagt er mat á mismunandi virkjunarkosti.

Hvenig á að meta hagkvæmni virkjana?

Við ákvörðun um byggingu virkjana skiptir eðlilega mestu að hún sé ódýr og hagkvæm. Hin beina fjárhagslega hagkvæmni er lykilatriðið þegar lagt er mat á mismunandi virkjunarkosti. En einnig þarf að hyggja að ýmsu öðru en bara uppsetningar- og rekstrarkostnaði.

Auk áður nefndra umhverfisáhrifa er t.d. mikilvægt að ofnýta ekki jarðvarmasvæði. Undanfarið hefur borið nokkuð á umræðu um að einhver háhitasæði landsins kunni að vera u.þ.b. fullnýtt. Enn fremur er vert að hafa í huga að orkuframleiðsla og orkuverð lýtur ekki lögmálum markaðarins, nema að hluta. Stefna stjórnvalda í skattlagningu og verðstýringu er afgerandi þáttur þegar kemur að orkunotkun. Þegar upp er staðið ræðst kostnaður raforku ekki bara af raunkostnaðinum við framleiðsluna, heldur líka af orkustefnu stjórnvalda.

Í orkumálum blandast mjög saman bein fjárhagsleg hagkvæmni og samfélagsleg sjónarmið. Fyrir vikið er ekki með einföldum hætti unnt að setja nákvæman verðmiða á hina mismunandi orkugjafa. Þannig er t.d. dreifingarkostnaðurinn stór þáttur í orkuverði og til að jafna raforkuverð á Íslandi hefur verið komið á ákveðnu fyrirkomulagi. Fyrir vikið greiða landsmenn og fyrirtæki á hverjum stað yfirleitt ekki sannvirði fyrir framleiðslu og dreifingu orkunnar til sín. Sumir borga minna, en aðrir meira. Það kann

Því að vera hagkvæmt fyrir fólk eða fyrirtæki að reisa sitt eigið raforkuver, t.d. vindorkuver, og vera utan við Landsnetið. Þetta er einn af þeim þáttum sem taka ber tillit til þegar lagt er mat á hagkvæmni nýrra virkjunarkosta.

Hagkvæmni virkjana getur sem sagt ráðist af fleiri atriðum en bara beinum kostnaði við bygginguna og reksturinn. Þar að auki er samanburður á kostnaði vegna mismunandi orkugjafa ætíð háður margvíslegum óvissuþáttum og í reynd er ekki til neitt eitt rétt kostnaðarmat. Það er t.d. mikill kostnaðarmunur á hinum mismunandi vatnsaflsvirkjunum; sumar þeirra eru bersýnilega óhagkvæmari en aðrar og þá er fyllsta ástæða til að skoða aðra möguleika til raforkuframleiðslu, t.d. vindorku.³

Um vindorku og sjávarorku.

Miklu gæti skipt ef vindorka eða sjávarorka gæti að einhverju leyti mætt orkuþörf Íslands. Ef t.d. vindorkuver er talið álíka kostnaðarsamt og jarðhitavirkjun, er ástæða til að skoða vindorkuverið af fullri alvöru. Ekki síst ef jarðvarmavirkjunin myndi rísa á svæði sem telst vera náttúruperla eða af öðrum ástæðum sérstakt svæði sem æskilegt sé að vernda. Sams konar sjónarmið gilda um virkjun sjávarfalla, ölduorku og aðrar sjávarvirkjanir.

Hafa ber í huga að bæði vindorka og sjávarorka er iðnaður í örri þróun og jafnvel bestu upplýsingar á þessu sviði eru fljótar að úreldast. T.d. hafa kostnaðarlækkningar í vindorkugeiranum verið nánast ævintýralegar síðustu árin og hagkvæmni slíkra raforkuvera aukist umtalsvert á stuttum tíma. Þessari þróun er hvergi nærri lokið.

Þó svo að hér sé í sömu andrá talað um vindorku og sjávarorku, ber að leggja áherslu á að þessar tvær greinar endurnýjanlegar raforkuframleiðslu eru mjög misjafnlega langt komnar. Virkjun sjávarorku er enn nánast á fósturstigi og reyndar þykir iðnaðurinn um

³ Sem dæmi má nefna að sérfræðingar segja hagkvæmni Kárahnjúkavirkjunar miklu meiri en Hvalárvirkjunar á Vestfjörðum, sem nokkuð hefur verið í umræðunni síðustu misserin. Sbr. samtöl við starfsfólk hjá Orkustofnun og víðar í apríl 2009.

margt minna á stöðu vindorkuiðnaðarins fyrir um aldarfjórðungi. Mikilar kostnaðarlækkarnir gætu orðið í sjávarorkuiðnaðinum á næstu árum og áratugum. Að nokkru leyti gildir hér hið sama um vindorkuver á landi og vindrafstöðvar á hafi úti (þ.e. skammt utan við ströndina). Síðarnefndi virkjunarkosturinn er ennþá talsvert dýrari og er líka mun yngri tækni og vanþróaðri en vindrafstöðvar á landi. Þróunin í bæði vindorku og sjávarorku mun vafalítið leiða til þess að fljótlega verður nauðsynlegt að uppfæra ýmsar upplýsingar sem koma fram í þessari skýrslu – bæði um tæknina og um kostnaðinn.

Umfjöllunarefni þessarar skýrslu.

Hér er engan veginn um tæmandi úttekt að ræða, enda var þessi skýrsla tekin saman á rétt rúmum hálfum mánuði. Þessi vinna var hugsuð sem skref í þá átt að kortleggja betur möguleika Íslands í orkumálum, þ.e. í vindorku og sjávarorku. Þess er vænst að skýrslan nýtist til þess að draga athyglina að nokkrum kostum sem eru líklegir til reynast Íslendingum hagkvæmir til framtíðar.

Efni þessarar skýrslu er raðað þannig að byrjað er á því að fjalla um virkjun vindorkunnar. Að því búnu er athyglinni beint að sjávarfallavirkjunum og öðrum möguleikum á að virkja afl sjávar til rafmagnsframleiðslu.

Hér er ekki að finna nákvæmar tæknilegar, eðlisfræðilegar eða hagfræðilegar upplýsingar um þá virkjunarkosti sem fjallað er um. Umfjöllunin beinist að því að gera stuttlega grein fyrir tækninni; hvernig hún er nú og hvernig líklegt er að hún þróist á komandi árum. Áhersla er lögð á að reyna að meta tækifæri Íslands til að taka þátt í þeim iðnaði og tækniþróun sem virkjun vind- og sjávarorku byggist á. Þar er bæði litið til virkjunarmöguleika og einnig til þess hvort Íslendingar og íslensk fyrirtæki gætu orðið þátttakendur í þessum iðnaði. Loks er stuttur kafli þar sem gerð er grein fyrir helstu niðurstöðum (stutta samantekt á þeim kafla má sjá í upphafi skýrslunnar).



Mynd 5: Stórt vindorkuver á landi.

2. Vindorka

Það eitt hversu vindasamt Ísland er gefur tilefni til að huga að möguleikum á að virkja vindorkuna. Talsmenn vindorku eru óþreypandi við að benda á kosti hennar og mikla möguleika, enda er sjálf auðlindin (vindurinn) ókeypis og vindrafstöðvar nánast lausar við mengun. Á móti koma t.d. sjónarmið um að raforkuframleiðsla vindorkuvera sé óstöðug, turnarnir skemmi útsýni og að þetta sé þar að auki dýr leið til að framleiða rafmagn.

Hverjir eru helstu kostir vindorkuvera?

Sá kostur vindorkuvera sem fyrstur kemur upp í hugann er að vindurinn er ókeypis auðlind og starfsemi vindrafstöðva veldur takmörkuðum umhverfisáhrifum, nánast engri mengun og losar nær engar gróðurhúsalofttegundir.

Rekstrarkostnaður vindraforkuvera er lítil miðað við ýmsar aðrar virkjanir, en stofnkostnaðurinn aftur á móti verulegur. Vindrafstöð kallar sem sagt á mikinn fastan kostnað, rétt eins og vatnsaflsvirkjanir með uppistöðulóni, en lítinn rekstrarkostnað. Hvort þetta telst kostur eða galli ræðst fyrst og fremst af fjármagnskostnaði á hverjum tíma.

Vindorkuver má setja upp á skömmum tíma og þó svo turnarnir með hinum risastóru spöðum séu afar áberandi eru varanleg umhverfisáhrif vindrafstöðva lítil. Þær má auðveldlega fjarlægja og þá er landið nær óspillt. Sé land fyrir hendi er einfalt að stækka vindorkuver ef á þarf að halda og bæta við fleiri turnum. Þar að auki má oft halda hefðbundinni landnotkun áfram. Ekki er t.d. óalgengt að vindrafstöðvum sé komið fyrir á landbúnaðarsvæðum sem eru samt áfram nýtt til landbúnaðar.

Á vef Orkustofnunar er að finna stutt yfirlit um endurnýjanlega orkugjafa, aðra en fallvötn og jarðhita. Upplýsingarnar þar um afl og kostnað vegna vindorku eru orðnar nokkurra ára gamlar (frá 2002) og því að mestu úreltar. Aftur á móti er rétt að taka undir þau orð Orkustofnunar að allur búnaður vindorkuveranna hefur „tekið miklum stakkaskiptum, og gæði rafmagns frá þeim hefur aukist“.⁴ Kostir vindorkuvera eru því mun meiri nú en voru fyrir nokkrum árum. Gera má ráð fyrir að hagkvæmni vindrafstöðva muni halda áfram að aukast og að þetta verði sífellt betri kostur.

Hverjir eru helstu gallar vindorkuvera?

Það þykir ókostur við stórar vindrafstöðvar að þeim fylgir nokkur hávaði – svo og sjónmengun sem sumum finnst bagaleg. Forðast má þessar hliðarverkanir vindorkuvera með því að vanda staðarvalið og þessir gallar hverfa nær alveg þegar vindorkan er virkjuð utan við ströndina. Slíkar vindrafstöðvar eru talsvert dýrari í uppsetningu en þær sem eru reistar á landi, en jafnari og betri/stöðugri vindur bætir þann mismun að nokkru upp.

⁴ Sjá vef Orkustofnunar; <http://os.is/page/sjalfbaerir>

Helsta galla vindorkuvera er ekki að rekja til mannvirkjanna, heldur þess hversu óstöðug raforkuframleiðslan er. Vindur er sfbreytilegur og ógjörningur að spá nákvæmlega fyrir um hvernig hann verður til lengri tíma lítið. Fyrir vikið er „*erfitt að sjá fyrir hvenær vindrafstöðvar munu skila raforku eða hvenær þurfi að keyra varaafsstöðvar. Raforkuframleiðslan getur einnig verið óstöðug vegna flökts í vindstyrk*“.⁵ M.ö.o. fela vindrafstöðvar ekki í sér sömu framleiðslugæði eða orkuöryggi og t.d. vatnsaflsvirkjanir. Þess vegna þurfa þeir sem nýta raforku frá vindorkuveri jafnan að hafa aðgang að varaafli. Sé slíkt varaafli fyrir hendi getur verið áhugavert að nýta vindorkuna í stórum stíl.

Sem dæmi má nefna að í Danmörku, þar sem vindorkuver standa undir hátt í 20% raforkunotkunarinnar á góðum degi, framleiða vindorkuverin nánast ekkert rafmagn í rúmlega 50 daga sum árin.⁶ Ástæða þess að Danir ráða við slíkar sveiflur eru góðar raforkutengingar við nágrannaríkin. Danir geta samstundis keypt rafmagn þaðan ef innlenda framleiðslan er ekki nægjanleg. Þetta er prýðilegt dæmi um það að Íslendingar gætu seint látið vindorku standa undir eins háu hlutfalli raforkuframleiðslu sinnar og Danir.

Þess má geta að dæmi eru um að vindorkuver trufla fjarskipti í næsta nágrenni, en á því eru til ódýrar lausnir og því telst þetta ekki stórvægilegt vandamál. Spaðarnir hafa valdið nokkrum fugladauða,; t.d. hafa nokkrir ernir drepist í Noregi. Rannsóknir benda þó til þess að þessi áhætta sé hverfandi, sérstaklega ef forðast er að koma upp vindrafstöðvum á svæðum sem eru þekkt fyrir óvenju mikið fuglalíf.

Hvernig vind þarf til að framleiða rafmagn?

Venjulega byrja vindrafstöðvar að framleiða rafmagn um leið og vindurinn nær 3–5 m/s. Eftir því sem vindurinn eykst skilar stöðin meiri afköstum. Það eru þó takmörk á því

⁵ Sá vef Orkustofnunar; <http://os.is/page/sjalfbaerir>

⁶ Upplýsingar frá verkfræðivefnum Thomas Telford; www.thomastelford.com/journals/DocumentLibrary/CIEN.158.2.66.pdf

hversu sterkur vindurinn má vera; hætta er á tjóni ef hann verður of mikill. Þess vegna eru vindrafstöðvar jafnan með sérstakan búnað sem slekkur á framleiðslunni ef vindurinn fer yfir tiltekið mark. Spaðarnir fara svo sjálfkrafa aftur að snúast þegar vindstyrkurinn minnkar á ný.

Þó svo að vindorkuver byrji að framleiða rafmagn þegar vindhraðinn fer í ca. 3–5 m/s er fleira sem þarf að huga að þegar meta skal hagkvæmni vindrafstöðva. Í fyrsta lagi er æskilegt að vindhraðinn sé að jafnaði mun meiri (afköst vindrafstöðvar aukast í þriðja veldi í hlutfalli við aukinn vindstyrk). Afköst vindrafstöðva nú á dögum eru oftast hvað mest við 14–20 m/s vind., en þær geta almennt verið í gangi allt þar til vindhraðinn fer í 25 m/s. Þessar tölur eru reyndar misjafnar eftir framleiðendum.

Búast má við að umrædd hámarkstala (25 m/s) kunní að hækka eitthvað á komandi árum, t.d. vegna betri hönnunar á spöðunum, þ.e. að í framtíðinni geti vindrafstöðvar starfað í mun meiri vindi. Vindstyrkurinn er þó ekki það eina sem máli skiptir; miklu skiptir að vindurinn sé stöðugur svo rafmagnsframleiðsla frá vindrafstöðinni geti verið þokkalega jöfn. Við staðarval vindrafstöðva á Íslandi myndi því m.a. verða litið til vindstyrks, vindstöðugleika og tíðni stórvíðra.

Er þetta fullþroskuð tækni eða má vænta framfara í vindorkuiðnaðinum á næstu árum?

Mikil reynsla hefur fengist af virkjun vindorkunnar; þetta er þroskuð tækni sem hefur þróast mjög á síðustu áratugum og hefur sannað sig sem hagkvæm raforkuframleiðsla og ábatasamur iðnaður. Sem dæmi um hve þróunin er gríðarlega ör má nefna að árið 1995 setti Evrópusambandið sér markmið um að sextánfalda rafmagnsframleiðslu frá vindrafstöðvum fyrir árið 2010. Því marki var þó náð miklu fyrr, eða fljótlega upp úr aldamótunum.

Samkvæmt nýjustu ársskýrslu Alþjóða vindorkusambandsins (World Wind Energy Association) var framleiðslugeta uppsettra vindrafstöðva í árslok 2008 samtals rúmlega 121 GW (hugtakið framleiðslugeta er hér í skýrslunni notað í sömu merkingu og uppsett afl).⁷ Það merkir að framleiðslugeta vindorkuiðnaðarins hefur tvöfaldast á tímabilinu 2005-08. Vindorkugeirinn mun vera sá hluti orkugeirans sem vaxið hefur hvað hraðast undanfarna tvo áratugi eða svo og nú er svo komið bæði í Bandaríkjunum og Evrópu að engin tegund endurnýjanlegrar orkuframleiðslu vex jafn hratt og vindorkan.⁸

Vindorkuver virðast ekki mjög flókin tæknilega séð. Það sem blasir við augum manna eru turninn og spaðarnir sem vindurinn snýr. Rafallinn og sérstakur búnaður breytir svo þeirri hreyfiorku í rafmagn, en rafallinn er oftast í sérstöku húsi efst á turninum (það er ekki algilt). Miklu skiptir að hanna spaðana þannig að þeir nýti afl vindsins sem best og æskilegt er að þeir geti skilað góðum afköstum hvort sem vindur er lítill eða mikill.

Auk turnsins, spaðanna, rafalsins og vélarhúss eru helstu einingarnar í vindrafstöð tengibúnaður, gírbúnaður og fleira (reyndar eru til útfærslur þar sem gírbúnaðinum er sleppt). Nú er algengast að þrír spaðar séu á vindrafstöðvunum, þó svo að það sé ekki alltaf svo. Spaðarnir eru langoftast smíðaðir úr trefjagleri, en smærri spaðar þó stundum úr áli. Turninn er alla jafna úr stáli, en vegna þess hversu verð á stáli hefur hækkað undanfarin ár hafa komið fram hugmyndir um að nota frekar steinsteypu í turninn.

Veruleg samþjöppun hefur orðið í vindorkuiðnaðinum og í dag eru örfá fyrirtæki ráðandi á markaðnum. Þar eru stærst danska fyrirtækið Vestas, hið spænska Gamesa, þýsku fyrirtækin Enercon og Siemens Wind, indverska fyrirtækið Suzlon og hið bandaríska GE Wind. Þarna eru líka fjöldi annarra smærri fyrirtækja sem sífellt bjóða fram nýjar og

⁷ World Wind Energy Report 2008; skýrsluna má nálgast hér:

www.wwindea.org/images/stories/worldwindenergyreport2008_s.pdf

⁸Sjá vef European Wind Energy Association;

www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/factsheets/EWEA_FS_Statistics_FINA_L_lr.pdf og

[hwww.ewea.org/index.php?id=60&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=1441&tx_ttnews\[backPid\]=1&cHash=8c4bf8b777](http://www.ewea.org/index.php?id=60&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=1441&tx_ttnews[backPid]=1&cHash=8c4bf8b777). Þó ber að hafa hér í huga að bæði vindorku- og sólarorkuiðnaðurinn geta stært sig af örustum vexti, allt eftir því hvert viðmiðunartímabilið er, sbr. upplýsingar á vef Renewable Energy Policy Network; www.ren21.net/globalstatusreport/default.asp.

athyglisverðar lausnir. Samkeppnin er veruleg og mikil barátta um að hanna æ hagkvæmari vindrafstöðvar. Það má því gera ráð fyrir að framleiðslukostnaðurinn fari eitthvað minnkandi á næstu árum, þó svo að um þetta ríki vissulega mikil óvissa.⁹

Hver er stærð og framleiðslugeta vindorkuvera?

Vindrafstöðvar eru mjög misstórar, en turninn getur verið hátt í 100 m hár og spaðarnir þá oft um 35–45 m langir. Margar útfærslur eru þó mun minni, en stærstu vindrafstöðvarnar eru enn hærri og með ennþá stærri spaða.

Þróun þessarar tækni hefur nánast verið ævintýraleg síðustu 20–25 árin. Á 8. áratugnum voru vindrafstöðvar oft með framleiðslugetu á bilinu 50–100 kW, en í dag er algeng framleiðslugeta einnar vindrafstöðvar um 2 MW og til eru vindrafstöðvar sem geta framleitt allt upp í 5 MW. Á 9. áratugnum var algengt að þvermál vindspaðanna væri um 20 m, en nú er þvermálið allt að 90 m.¹⁰

Ein mikilvægasta ástæðan fyrir sífellt stækkandi vindrafstöðvum er sú að í þeim felst betri nýting og þar með meiri hagkvæmni. Framleiðslu- og rekstrarkostnaður stórra vindrafstöðva er einfaldlega hlutfallslega minni en margra smærra sem þarf til að framleiða jafn mikið af rafmagni.

Tekið skal fram að varast ber að leggja of mikið upp úr tölum um framleiðslugetu virkjana, sérstaklega raforkuvera sem hafa mjög óstöðuga framleiðslu eins og vindrafstöðva. Meira máli skiptir hversu mikla raforku virkjunin framleiðir í raun og veru (kWh). Tölur um framleiðslugetu einstakra turna eða heilla vindorkuvera gefa þó þokkalega vísbendingu um það hvaða virkjanir framleiða meira rafmagn en aðrar. En fara

⁹ Sjá má glænýja skýrslu (frá mars 2009) um kostnað og hagkvæmni vindorkuvera á vef European Wind Energy Association;
www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Economics_of_Wind_Main_Report_FINAL-lr.pdf

¹⁰ Upplýsingar frá American Wind Energy Association á vef bandaríska stjórnarráðsins;
www.america.gov/st/env-english/2008/February/200802261811151cnirellep0.4339105.html

verður sérstaklega varlega þegar framleiðslugeta vindorkuvers er borin saman við aðrar tegundir raforkuvera, t.d. vatnsaflsvirkjana sem almennt skila miklu betri nýtingu en vindrafstöðvar.

Nýting vindorkuvera (capacity) er oft á bilinu 20–40% og líklega er nýtingin mun oftár nær lægra gildinu. Það þýðir að til lengri tíma litið framleiða þau langt innan við helming og jafnvel einungis fimmtung af þeirri raforku sem þau gætu framleitt við bestu aðstæður.¹¹ Það er því oft verulegt bil á milli uppgefnar framleiðslugetu og raunverulegrar framleiðslu. Það þykir gott ef nýtingin fer yfir 30%; viðmiðun fyrir það sem teljast góðar aðstæður er oft nýting á bilinu 30–35%.¹² Vindorkuverin nýta aftur á móti að jafnaði mjög vel þá orku sem í vindinum býr hverju sinni (efficiency).¹³

Til skýringar má taka vindrafstöð með 1 MW framleiðslugetu og 30% nýtingu. Hún myndi þá framleiða sem nemur 2.628 MWh á ári. Til samanburðar notar venjulegt íslenskt fjögurra manna heimili 3.600–4.200 kWh á ári (húshitunin ekki talin með).¹⁴ Hafa ber í huga að ekki myndi öll raforkan frá vindorkuverinu verða notuð – framleiðslugetan á næturnar færi líklega að verulegu leyti til spillis (nema hún væri t.d. notuð til að dæla vatni í miðlunarlón).

Stærstu vindorkuverin er að finna úti í sjó. Þau eru kölluð *offshore wind turbines* á enskri tungu (hins vegar *onshore* á landi). Framan af var algengt að setja upp fáar eða jafnvel einungis eina vindrafstöð, en á síðari árum hefur orðið æ algengara að setja upp marga turna og jafnvel tugi á sama stað (á ensku er þá talað um *wind parks*).

Til skamms tíma voru tvö stærstu vindorkuver heims bæði utan við strendur Danmerkur; hvort um sig með um 80 turna og um 160 MW framleiðslugetu. Þessi vindorkuver eru kennd við Nysted á Lálandi og Horns Rev við Jótland. Eigendur þeirra eru danska

¹¹ Upplýsingar frá Center for Energy Efficiency and Renewable Energy (CEERE) við Massachusetts-háskóla; www.ceere.org/rerl/about_wind/RERL_Fact_Sheet_2a_Capacity_Factor.pdf

¹² The Economics of Wind Energy, skýrsla bandaríska vindorkufyrirtækisins Clipper Windpower frá 2006.

¹³ Center for Energy Efficiency and Renewable Energy (CEERE) við Massachusetts-háskólann; www.ceere.org/rerl/about_wind/RERL_Fact_Sheet_2a_Capacity_Factor.pdf

¹⁴ Upplýsingar af vef Orkuveitu Reykjavíkur; sjá

www.or.is/media/PDF/ORK%2038342%20Rafmenningarb.%2017.10.pdf

fyrirtækið Dong Energi, sænska fyrirtækið Vattenfall og sænski hluti stórfyrirtækisins E.On. Það eru aftur á móti Vestas og Siemens sem eiga heiðurinn af tæknibúnaði þessara tveggja stóru vindraforkuvera.

Seint á síðasta ári tók mun stærra vindorkuver til starfa við strendur Bretlands, svokallað Lynd og Inner Dowsing-orkuver, tæpar 3 sjómílur út af strönd Lincolnskíris á austurströnd Englands.¹⁵ Framleiðslugeta þess er 194 MW og samanstendur af 50 vindrafstöðvum frá Siemens sem hver um sig getur framleitt rúmlega 3,5 MW.



Mynd 6: Sól gyllir haf. Vindorkuverið kennt við Nysted í Danmörku.

Nú er verið að vinna að a.m.k. einu vindorkuveri sem verður 500 MW og á teikniborðinu eru vindorkuver sem áætlað er að verði með 1.000-1.500 MW framleiðslugetu. Það eru Evrópuríki og Bandaríkin sem einkum hafa uppi svo umfangsmiklar áætlanir um beislun vindorkunnar, en einnig eru uppi afar metnaðarfullar áætlanir í Kína. Bráðum verður sem sagt líklega til vindorkuver sem er með rúmlega tvöfalt meira uppsett afl en Kárahnjúka- og Fljótsdalsvirkjun. Tíminn einn mun leiða í ljós hvort eða hvenær þær áætlanir ganga eftir.

¹⁵ Sjá www.power-technology.com/projects/lynnandinnerdowsing/

Er raforka frá vindorkuverum á samkeppnishæfu verði?

Fyrir um aldarfjórðungi, þ.e. upp úr 1980, var ennþá langt í land með að vindorka gæti keppt við þáverandi hefðbundna rafmagnsframleiðslu, nema með rausnarlegum styrkjum. Í kjölfar olúkreppunnar 1973–74 og aftur í kjölfar Íransdeilunnar 1979–80 jókst áhugi á vindorku mikið vegna verðhækkana á olú og sveiflna á olúverði. Fyrir vikið var allt kapp lagt á þróunarstarf og kostnaðurinn við raforkuframleiðslu með vindrafstöð lækkaði stórkostlega á fáeinum árum.

Á síðustu tuttugu árum hefur kostnaður við að framleiða rafmagn frá vindorku minnkað um heil 90%.¹⁶ Í skýrslu bandaríska orkumálaráðuneytisins er heildarkostnaður vegna vindorkuvera, þ.e. uppsetningar og rekstrar, nú sagður vera mjög nálægt því sem gerist hjá raforkuverum sem knúin eru olú eða gasi (kolaorkuverin eru aftur á móti ódýrust).¹⁷ Forsvarsmenn vindorkuiðnaðarins eru iðinir við að benda á að ef kostnaður vegna umhverfistjóns og heilsutjóns sé reiknaður með, sé vindorka nú orðin ódýrari en nokkur önnur rafmagnsframleiðsla.¹⁸ Þessi munur er þó síbreytilegur vegna mikilla verðsveiflna á jarðefnaeldsneyti. Sem fyrr segir er búist við að tækniframfarir í vindorkuiðnaðinum muni áfram leiða til kostnaðarlækkana og ef olúverð hækkar umtalsvert á ný verður vindorkan ennþá samkeppnishæfari.

Almennt yrði vindorka á Íslandi líklega dýrari en t.d. orka frá stórum vatnsaflsvirkjunum. Um þetta liggja þó ekki fyrir neinar haldgóðar upplýsingar og svona fullyrðing því í reynd vafasöm. Þegar litið er til erlends samanburðar á kostnaði vindorku og annarra tegunda endurnýjanlegrar rafmagnsframleiðslu, kemur vindorka jafnan mjög vel út. Um þetta er nánar fjallað hér á eftir í 5. kafla. Loks skal þess getið að árið 2020 er búist við að kostnaður við vindorkuver á landi hafi lækkað um 20-25% miðað við það sem nú er og lækkunin vegna vindorkuvera í sjó verði hvorki meira né minna en 40%.¹⁹

¹⁶ Sbr. upplýsingar frá American Wind Energy Association; www.awea.org/pubs/factsheets/EconomicsOfWind-Feb2005.pdf.

¹⁷ Sjá vefsetur EIA (Energy Information Agency); www.eia.doe.gov/oiaf/archive/ieo06/pdf/elec_boxtbl.pdf

¹⁸ Sjá vef European Wind Energy Association: www.ewea.org/index.php?id=201

¹⁹ Upplýsingar frá European Wind Energy Association: www.ewea.org/index.php?id=201. Hafa ber í huga að EWEA geta varla talist hlutlaus samtök og kunna að setja fram full bjartsýnar tölur.

Hverjir nýta vindorku?

Á síðustu árum og áratugum hefur virkjun vindorku verið sú tegund endurnýjanlegrar orku sem hefur vaxið hvað hraðast í heiminum og búist er við miklum vexti næstu árin.²⁰ Fram til þessa hefur hinn hraði vöxtur orðið í ólíkum efnahagskerfum og í löndum með ólíkar náttúrulegar aðstæður. Lönd innan ESB eru þar í fararbroddi, en einnig Bandaríkin. Nú síðast hafa kínversk stjórnvöld lagt mikla áherslu á að auka rafmagnsframleiðslu af þessu tagi og búist er við að á næstu árum vaxi vindorkumarkaðurinn hraðast í Kína.²¹ Í fljótu bragði virðist því augljóst að vindorka sé orðin hagkvæmur kostur víða um heim til að framleiða rafmagn í stórum stíl.

Danmörk er meðal þeirra ríkja sem hafa lagt hvað mesta áherslu á vindorkuiðnaðinn og danska vindorkufyrirtækið Vestas er með stærstu markaðshutdeildina af öllum vindorkufyrirtækjum heims. Samkeppnin er þó mikil og ýmis stórfyrirtæki hafa náð sterkri stöðu á þessum markaði. Nefna mætti hér annað land (sem oft kynnir sig sem vindasamasta land Evrópu!), sem bindur gríðarlegar vonir við þessa tegund rafmagnsframleiðslu. Þar er um að ræða Bretland, en ekki eru nema um 18 ár síðan fyrsta vindorkuverið var reist á Bretlandseyjum. Fram til 2007 var vatnsafl stærsta grein endurnýjanlegrar orku í Bretlandi, en það ár fór vindorkan fram úr vatnsaflinu. Samkvæmt orkustefnu breskra stjórnvalda er stefnt að því að árið 2020 verði hlutfall vindorku í rafmagnsframleiðslunni yfir 15% (er nú rétt rúm 2%).²²

Vindorka er ekki bara nýtt í þeim löndum sem byggja fyrst og fremst á jarðefnaeldsneyti – þ.e. búa ekki yfir endurnýjanlegri orku í formi jarðvarma eða vatnsafls. Þó svo vatnsafl

²⁰ Sem fyrr segir er auðvelt að finna misvísandi upplýsingar um það hvort vindorka eða sólarorka vaxi hraðar og ræðst það t.d. af því hvaða viðmiðunartímabil er valið, en báðar þessar greinar endurnýjanlegrar orku hafa vaxið mjög mikið síðustu árin.

²¹ Upplýsingar frá Global Wind Energy Council:

www.gwec.net/fileadmin/documents/Global%20Wind%202008%20Report.pdf.

Sjá einnig ritgerð Ketils Sigurjónssonar í *International Business* við Copenhagen Business School: Wind Power in China: Vestas & General Electric, 2008.

²² Upplýsingar frá British Wind Energy Association; www.bwea.com/onshore/index.html.

og jarðvarmi hafi löngum verið talin ein ódýrasta og hagkvæmasta leiðin til að framleiða rafmagn, þykja vindrafstöðvar henta vel innan sumra ríkja sem einnig eiga orkuauðlindir af því tagi sem við þekkjum á Íslandi. Nefna má Nýja Sjáland sem dæmi og líka Noreg. Í báðum þessum löndum er verulegt vatnsafl fyrir hendi (og einnig jarðvarmi á Nýja Sjálandi) en þar er engu að síður líka mikil áhersla lögð á uppbyggingu vindrafstöðva.

Sé Noregur tekinn sem dæmi, þá búa Norðmenn bæði yfir miklu vatnsafl og ógrynni af olíu og gasi. Þeir hafa engu að síður beislað vindorkuna til rafmagnsframleiðslu. Aftur á móti eru einungis til mjög litlar vindrafstöðvar á Íslandi; hér hefur ekki risið vindorkuver í líkingu við þau sem t.d. þekkjast í Danmörku, Noregi, Hollandi, Bretlandi, á Nýja Sjálandi, í Kína, Kanada, Bandaríkjunum og fjölmörgum öðrum löndum.



Mynd 7: Vindorkuverið kennt við Horns Rev í Danmörku.

Hæst er hlutfall vindorkunnar í Danmörku, með um 19% framleiðslugetu alls raforkukerfisins. Þar á eftir koma Spánn og Portúgal með um 11% og Þýskaland og Írland með um 7%. Það land sem nú er með mestu framleiðslugetuna miðað við virkjað vindorkuafl eru Bandaríkin með rúmlega 25 þúsund MW. Þau tíðindi urðu á liðnu ári að Bandaríkin fóru fram úr Þýskalandi sem nú er með tæplega 24 þúsund MW framleiðslugetu í vindorku. Í þriðja sæti kemur svo Spánn með tæplega 17 þúsund MW framleiðslugetu.²³

²³ Sjá Global Wind Energy Council Report 2008; www.gwec.net/index.php?id=94

Vatnsafls- og jarðvarmalandið Nýja Sjáland hefur byggt upp talsvert af vindorkuverum og er nú með 325 MW framleiðslugetu í vindorku – sem jafngildir u.þ.b. hálfri Kárahnjúkavirkjun. Vatnsafls- og olíuríkið Noregur hefur staðið sig enn betur að þessu leyti og var í árslok 2008 með 428 MW framleiðslugetu í vindorku.

Norsk stjórnvöld íhuga nú að auka þessa tegund raforkuframleiðslu gríðarlega. Vera má að í kringum 2020 verði vindorkuver Norðmanna með allt að 5–8 þúsund MW framleiðslugetu.²⁴ Til samanburðar er framleiðslugeta allra raforkuvera á Íslandi nú rúmlega 2 þúsund MW. Norski vindorkuiðnaðurinn einn er sem sagt núna með sem nemur fimmtungi af allri framleiðslugetu íslenskra virkjana og kann að stækka fimmtánfalt eða svo á næstu 10 árum.

Vangaveltur Norðmanna um að beisla vindorkuna svo hressilega eru ekki komnar til vegna aukinnar raforkunotkunar þeirra sjálfra. Ástæðan er fyrst og fremst markmið ESB um að stórauka hlutfall endurnýjanlegrar orku. Norðmenn sjá tækifæri til að geta mætt hluta af þeirri gríðarlegu eftirspurn með útflutningi á rafmagni framleiddu í vindrafstöðvum.

Hefur vindorka verið notuð til rafmagnsframleiðslu á Íslandi?

Áður fyrr var nokkuð um að reistar væru litlar vindrafstöðvar við sveitabæi á Íslandi. Þær lögðust af með rafvæðingu landsins eftir miðja öldina og á tímabili munu Rafmagnsveitur ríkisins meira að segja hafa gert þá kröfu að slíkum heimarafstöðvum væri lokað.²⁵

Á Íslandi hefur aldrei risið nein vindrafstöð í þeim stærðarflokki sem nú þekkist víða um heim. Hér er einungis að finna mjög litlar stöðvar sem m.a. Vegagerðin mun hafa nýtt sér. Ekki er kunnugt um að almennar hagkvæmnisathuganir hafi verið gerðar um að reisa

²⁴ Sjá t.d. frétt Reuters í maí 2008; www.reuters.com/article/rbssEnergyNews/idUSL2648359020080526?sp=true

²⁵ Sbr. erindi Helgu Tulinius á Orkuþingi 2001: Nýir endurnýjanlegir orkugjafar og vistvænt eldsneyti.

vindorkuver hér á landi, en einhverjar staðbundnar athugunir í tengslum við vindmælingar hafa verið gerðar, svo sem í Grímsey og Vestmannaeyjum.

Fyrir fáeinum árum voru lögð drög að uppsetningu á vindrafstöð í Grímsey. Stöðin átti að koma frá danska fyrirtækinu Vestas og átti að geta framleitt mun meira en sem nam allri orkuþörf eyjarskeggja, en díselstöð skyldi nýtt sem varaafli. Í skýrslu nefndar iðnaðarráðuneytisins um Grímseyjarverkefnið, sem kom út snemma árs 2003, var lagt til „að nú þegar verði ráðist í tæknilega úttekt á samkeyrslu dísilrafstöðva og rekstri vindmyllu í Grímsey og er eðlilegt að fela sérfræðingum í beislun vindafli það verkefni. Nærtækast er að leita til sérfræðinga dönsku vindrannsóknastöðvarinnar á Risö“.²⁶ Svo virðist sem þetta verkefni hafi lognast út af og þess í stað verið lögð áhersla á að leita að jarðhita á eyjunni og bíða með ákvarðanir um að setja þar upp vindrafstöð.

Fyrir nokkrum árum starfaði hér íslenskt vindorkufyrirtæki, Vindorka ehf., sem hugðist þróa nýja, hagkvæmari og hljóðlátari vindrafstöðvar en þekkt hafa. Hugvitsmaðurinn að baki því verkefni heitir Nils Gíslason. Skráð var einkaleyfi að hugmyndinni og Nýsköpunarsjóður atvinnulífsins lagði til 35 milljónir króna í hlutafé, en alls var hlutafé rúmlega 93 milljónir króna. Ekki gekk þetta eftir sem skyldi og fyrirtækið hætti starfsemi 2004.

Af þessu tilefni er rétt að minna á að vindorka getur gegnt veigamiklu hlutverki í efnahagslífi þjóðar jafnvel án þess að settar séu upp neinar stórar vindrafstöðvar. Þó svo að mikil raforkuframleiðsla sé frá vindorkuverum í Danmörku hafa nær engar stórar, nýjar vindrafstöðvar verið settar þar upp um árabil. Engu að síður hefur danska fyrirtækið Vestas verið í örum vexti vegna mikillar söluaukningar erlendis.

Árið 1999 var gerð könnun á vegum opinbers starfshóps á hagkvæmi rafmagnsframleiðslu með vindorku á Íslandi og á því hvar helstu möguleikar væru til þess með

²⁶ Sjá skýrslu nefndarinnar á vef iðnaðarráðuneytisins: www.idnadarraduneyti.is/media/ Acrobat/Grimsey.pdf

tilliti til veðurfars. Niðurstaðan mun hafa verið sú að hagkvæmt gæti verið að reisa vindorkuver á Suðurlandsundirlendinu og jafnvel í Bláfjöllum.²⁷

Nýlega samdi sveitarfélagið Hornafjörður við Nýsköpunarmiðstöð Íslands um sérstakt verkefni þar sem m.a. verða skoðaðir möguleikar á virkjun sjávarorku og vindorku. Í frétt um verkefnið kemur fram að stefnt sé að „*samstarfi við aðila í Skotlandi sem hafa náð góðum árangri í virkjun vind- og sjávarorku*“.²⁸ Loks er að geta þess að nú er unnið að uppsetningu vindrafstöðvar í Belgsholti í Melasveit.²⁹

Er raunhæft að setja upp stórar vindrafstöðvar á Íslandi?

Tæknilega séð er ekkert því til fyrirstöðu að vindorka verði nýtt í einhverjum mæli á Íslandi. Aftur á móti er óvíst hvort eitthvert fjárhagslegt vit er í slíku, þ.e. erfitt er að fullyrða hvor íslenskt vindorkuver gæti keppt við rafmagn frá vatnsafls- eða jarðvarmavirkjunum. Vindorka gæti mögulega reynst hagkvæm á Íslandi, en um þetta ríkir óvissa vegna skorts á ítarlegri rannsóknnum, vindmælingum og tilraunum.

Þó er vitað að vindur á Íslandi er almennt mjög óstöðugur og stundum afar hvass. Það eitt gerir vindrafstöðvar hér ekki eins fýsilegan kost og víða annars staðar. Þetta útilokar þó alls ekki að hér geti verið hagkvæmt að nýta vindorku til raforkuframleiðslu að einhverju marki.

Á síðustu árum hafa t.d. verið hannaðir hverflar af nýrri tegund sem eru ólíkir þeim sem almennt hafa verið notaðir í vindorkuiðnaðinum til þessa. Hinir hefðbundnu hverflar framleiða mismikið rafmagn eftir því hvað vindurinn er sterkur og eru hannaðir til að skila mestu afli við ákveðinn vindstyrk, t.d. 15 m/s. Þó svo að einstakar tæknilegar útfærslur séu ekki umfjöllunarefni þessarar skýrslu, er nauðsynlegt að vekja athygli á því

²⁷ Guðmundur Jónsson: Vindorka, 2008.

²⁸ Frétt á vefnum www.rikivatnajokuls.is/frettir dags. 3. febrúar 2009 (sjá www.rikivatnajokuls.is/frettir/2009/02/03/nr/6119).

²⁹ Sbr. þessi frétt: www.visir.is/article/20080918/FRETTIR0601/1326888/-1/FRETTIR

að til eru hverflar sem miðast við það að skila stöðugu afli, sama hver vindurinn er. Þessir hverflar geta bæði nýst í vindorkuver og líka í sjávarvirkjanir, þar sem orkan er breytileg rétt eins og gerist með vind. Vindorkuver með slíkum hverflum gæti verið áhugaverður kostur á Íslandi.³⁰

Vegna óstöðugleika vindorkunnar mun hún þó hugsanlega aldrei verða mjög stór hluti af rafmagnsframleiðslu á Íslandi jafnvel þótt framleiðslan væri það hagkvæm að hún gæti keppt við rafmagn frá vatnsafls- eða jarðvarmavirkjunum. Ísland er í þeirri sérstöku stöðu að stóriðjan hér notar óvenju hátt hlutfall af heildarraforkuframleiðslu í landinu. Til samanburðar má ítreka að hlutfall vindorku er nú nærri 20% í Danmörku. Þar er jafnframt greiður aðgangur að rafmagni erlendis frá ef á þarf að halda. Vegna hás hlutfalls stóriðjunnar í raforkunotkun hér á landi, sem verður að eiga aðgang að mjög stöðugu raforkuframboði, er vart raunhæft að hlutfall vindorku inn á raforkukerfið hér verði nálægt því svo hátt. Líklega er raunhæft að miða við hlutfall einhvers staðar á bilinu 5–10% og þá jafnvel nær lægri viðmiðuninni.

Í þessu sambandi má geta þess að í erindi á Orkuþingi 2001 var sett fram það sjónarmið að hugsa megji sér að uppsett afl frá vindrafstöðvum á Íslandi verði „5–6% af heildar aflgetu virkjana eða um 75MW“ og að „um 60–70% þessarar framleiðslu félli til yfir vetrarmánuðina“.³¹ Hafa ber í huga að nú myndi þetta sama hlutfall (5–6%) þýða mun meiri framleiðslugetu en 75 MW sökum þess að nýjar virkjanir hafa bæst við frá 2001. Það er þó ekki hægt að fullyrða hvert hlutfall vindorku gæti verið fræðilega séð; gera þyrfti sérstaka fræðilega úttekt á þessu.

Auk framleiðslu frá vindorkuveri inn á raforkukerfið má hugsa sér að vindorka á Íslandi geti nýst utan við dreifikerfið. Svo sem að einhver sveitarfélög komi sér upp sínu eigin vindorkuveri, auk aðgangs að rafmagni frá Landsnetinu. Þetta kann þó að vera langsóttur möguleiki; slíkur kostur kann að vera óhagkvæmur nema líka sé unnt að selja raforku frá

³⁰ Sjá nánar skýrsluna „Orka í streymi vatns“ eftir þau Höllu Jónsdóttur og Geir Guðmundsson hjá Iðntæknistofnun (nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands), frá 2004.

³¹ Sjá erindi Ásbjörns Blöndal; aðgengilegt á vef Samorku: www.samorka.is/Apps/WebObjects/Samorka.woa/1/swdocument/1000288/Nýting+vindorku+-+Ásbjörn+Blöngal,+Selfossveturum+bs.pdf

vindorkuverinu inn á Landsnetið. Reglur um dreifikostnað kunna reyndar að takmarka möguleika á slíkum heimarafstöðvum.³² Þetta þarf þó að skoða mun betur.

Vegna hagkvæmni vatnsafls og jarðvarma og mikilar þekkingar á Íslandi á slíkri raforkuframleiðslu eru talsverðar líkur á að það sé sú orka sem best sé til þess fallin að mæta aukinni raforkunotkun almennings og fyrirtækja á Íslandi. Í samtölum við starfsfólk Orkustofnunar kom fram að þeirri auknu orkunotkun megi jafnvel mæta án nýrra virkjana; með því t.d. að skipta út túrbínnum og setja upp nýjar og hagkvæmari túrbínur. Þar með komi vindorka líklega almennt til með að verða óþörf fyrir einstaklinga og fyrirtæki, en stóriðjan geti ekki byggt starfsemi sína á svo óstöðugri raforkuframleiðslu sem vindorkan er.

Að þessu leyti virðast vindorkuver því ónauðsynleg og jafnvel óheppileg á Íslandi. Smærri vindrafstöðvar gætu þó hugsanlega nýst litlum notendum til að minnka þörf sína á aðkeyptu rafmagni sem er talsvert dýrt vegna dreifingarkostnaðarins. Þá er ónefndur sá möguleiki að nýta vindorku á Íslandi til annars en beinnar rafmagnsframleiðslu, svo sem að auka framleiðni miðlunarlóna. Sá möguleiki er hvað líklegastur til að vekja áhuga á vindorku hér á landi, þ.e. að hún verði notuð til að spara miðlunarlón. Rétt er að víkja aðeins nánar að þessum möguleika:

Gæti vindorka nýst á annan hátt á Íslandi, en með sölu á raforkunni?

Nýta mætti vindrafstöðvar á Íslandi til að auka nýtni miðlunarlóna eða spara miðlunarlón, t.d. á haustin og/eða veturna. Þá er framleiðslugeta vindorkuvera mest vegna sterkari vinda, en um leið getur veðurfar á veturna orðið til þess að hratt gangi á forðann í miðlunarlónum. Vindorkuver geta þannig aukið orkuöryggi og sparað orkuna í miðlunarlóninu, sem í reynd er eins konar risastór geymir fyrir orku.

³² Samtal við starfsfólk Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands í apríl 2009.

Slík nýting vindorkunnar, þ.e. samspil vindorku og vatnsaflsvirkjana, þekkist nú þegar á nokkrum stöðum í heiminum. Sem dæmi hafa vindorkuver verið nýtt í þessu skyni bæði í Noregi og í Quebec í Kanada. Þetta kann að vera einn besti kosturinn fyrir vindorkuver á Íslandi. Þá skiptir óstöðugur vindur litlu máli og enn fremur myndi þarna nýtast vel bæði vindur yfir daginn og líka vindurinn á næturnar.



Mynd 8: Markaður fyrir vindrafstöðvar hefur vaxið geysratt í Austur-Asíu, sérstaklega í Kína.

Vindrafstöðvar má einnig nota til að dæla lekavatni aftur í miðlunarlón og/eða dæla vatni annars staðar frá yfir í lónið. Þá er í raun verið að beisla vindorkuna og geyma hana í miðlunarlóninu. Við slíka dælingu skipta sveiflur í vindi í raun engu máli. Með þessari tækni mætti hugsanlega minnka neikvæð umhverfisáhrif við byggingu vatnsaflsvirkjana, t.d. forðast gerð skurða. Vindorkuver mætti jafnvel nota til að koma vatni af öðru vatnasvæði yfir í miðlunarlónið eða til að dæla vatni aftur upp í miðlunarlón fyrir ofan virkjunina, til að endurnýta vatnið. Dæling af þessu tagi þekkist t.d. í Ölpunum, en hæpið er að hún sé hagkvæm hér á Íslandi vegna þess að mikil orka tapast við slíka dælingu. Annað sem þarf að hafa í huga er að ísing kynni að ógna vindrafstöðvum í nágrenni við virkjunarsvæði hálendisins.

Þarf miklar rannsóknir áður en hægt er að reisa vindrafstöðvar á Íslandi?

Þó svo að ítarlegar og góðar vindmælingar séu til á Íslandi, myndi þurfa mun umfangsmeiri vindmælingar hér á landi til að meta hagkvæmni vindorkuvera.³³ Hér hafa reglubundnar vindmælingar mest farið fram í 10 m hæð og reiknilíkani hefur verið beitt til að áætla vindstyrkinn í meiri hæð. Þessi aðferð er þó ekki nógu nákvæm til að réttlæta svo mikla fjárfestingu sem stór vindrafstöð er. Áður en til staðarvals kæmi, þyrfti því að mæla vind í 80 m og jafnvel 200 m hæð á fáeinum stöðum á landinu.³⁴ Slíkt kallar á að reist verði möstur, en nú þegar er t.d. mastur á Gufuskálum sem nota mætti í þessum tilgangi. Mikilvægt væri að geta gert slíkar vindmælingar á fleiri stöðum á landinu og e.t.v. mætti hér nýta möstur sem eru á Eiðum á Fljótsdalshéraði og á Mýrum á Vesturlandi.

Eins og áður hefur komið fram, þarf að líta til fleiri atriða en vindstyrks þegar meta skal hagkvæmni vindrafstöðva. Sérstaklega er mikilvægt að vindurinn sé fremur jafn og stöðugur. Undanfarin ár hefur verið unnið að því að setja saman vindatlas fyrir Ísland í samtarfi Orkustofnunar og Veðurstofunnar og til eru miklar upplýsingar um vindafar mjög víða á landinu.

Vindatlasinn er í raun kortlagning á vindorku landsins og hann gefur prýðilega vísbendingu um vindafarið svo nú ætti að vera tiltölulega einfalt að finna út hvaða staðir eru heppilegastir fyrir vindorkuver hér á landi. En eins og áður sagði, yrði ekki ákveðið að reisa vindorkuver nema að undangengnum nákvæmari mælingum á fyrirhuguðum uppsetningarstað (a.m.k. árs-mæling).

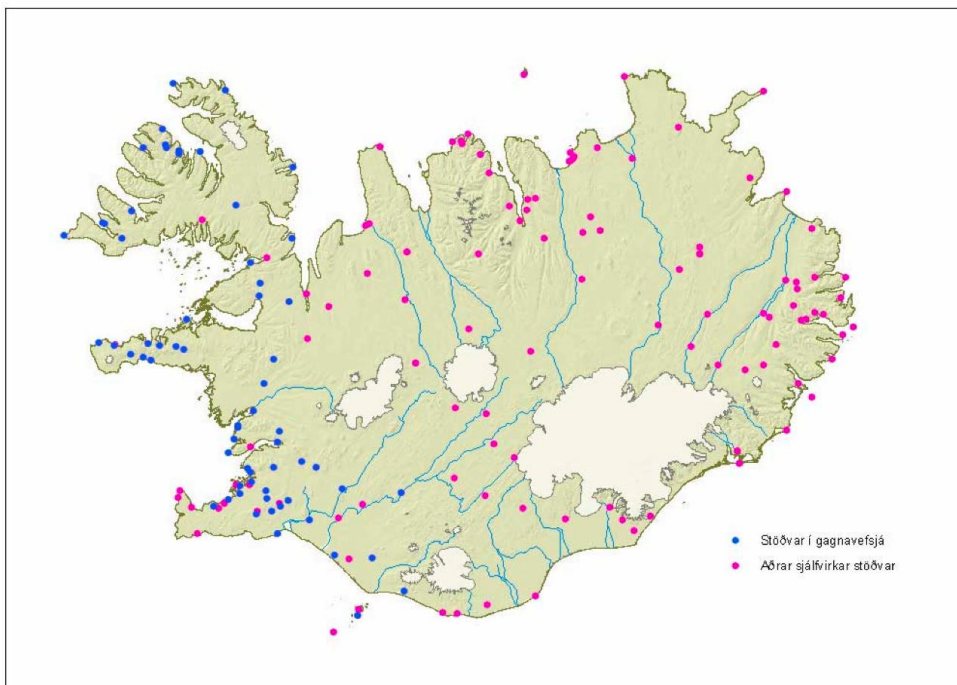
Vindatlasinn er aðgengilegur á Internetinu, gegnum vef Orkustofunar (s.k. Gagnavefsjá). Á myndinni hér á næstu síðu má sjá þær stöðvar sem gagnavefsjain sýnir auk annarra sjálfvirkra vindmælingastöðva. Atlasinn gefur upplýsingar um vindorkuna í mismunandi

³³ Samtöl við starfsfólk hjá Veðurstofu Íslands í apríl 2009

³⁴ Upplýsingar frá starfsfólki Veðurstofu Íslands í apríl 2009.

hæð og er tiltekin Vestas-vindrafstöð notuð sem viðmiðun til að sýna afköstin sem vindurinn á viðkomandi stað getur skilað.

Sérstakt forrit reiknar út framleiðslugetuna. Er þá tekið tillit til meðalvindhraða, tíðni vindátta, áhrifs hindrana og þess sem kallað er þéttleiki vindsins (W pr. rúmmetra). Þéttleikinn er gefinn upp fyrir mismunandi hæð: 10 m, 25 m, 50 m, 100 m og 200 m. Þannig fæst yfirlit yfir nýtanlega vindorku í ólíkri hæð. Sem fyrr segir byggja allar íslenskar tölur á vindi í meira en 10 m hæð á útreikningum skv. ákveðnu reiknilíkani, en ekki á raunverulegri vindmælingu í þeirri hæð.



Mynd 9: Staðsetning vindstöðva í Gagnavefsjá auk annarra sjálfvirkra vindmæla.

Hvaða staðir eru áhugaverðastir fyrir vindrafstöðvar á Íslandi?

Eins og áður segir mun þurfa meiri rannsóknir til að svara þessari spurningu af einhverri nákvæmni. En sé litið til fyrirbyggjandi vindmælinga, má gera ráð fyrir að Suðurlandsundirlendið henti hvað best til að reisa vindrafstöð með góðri nýtingu. Þar gæti verið sérstaklega áhugavert að líta til Landeyjanna og Mýrdalssands.³⁵ Ef nefna ætti stað, sem áhugavert væri að skoða fyrir vindorkuver í sjó, koma Hraun í Faxaflóa upp í hugann; þar eru grynningar og vindsveipum frá fjallendi gætir þar minna en víða annars staðar.

Loks ber að nefna að Norðurlöndin eiga nú í samstarfi um að kortleggja betur vindskilyrðin í þessum löndum, þar sem horft er til langtíma skilyrða í 100 m hæð. Þetta samstarf miðar einnig að því að spá fyrir um þróun raforkumarkaðarins á Norðurlöndunum næstu 20-30 árin.³⁶ Á þessum vettvangi á sér margvíslegt annað samstarf sem er til þess fallið að auka möguleika Íslands á þátttöku í samstarfsverkefnum á sviði vindorku.

Nokkrar ályktanir

Eins og fram hefur komið eru ýmsir möguleikar fyrir hendi í virkjun vindorku á Íslandi, en um leið fjölmargir áhættuþættir sem þyrfti að skoða mun nánar til að leggja raunsætt mat á hagkvæmnina. Skynsamlegasti kosturinn varðandi stórar vindrafstöðvar virðist sá að vindorka verði einfaldlega notuð til að spara miðlunarlón eða minnka þörf á mjög stóru lóni. Einnig kann að vera skynsamlegt fyrir litla notendur að framleiða sitt eigið rafmagn með vindorku og kaupa af Landsnetinu þegar vindinn þrýtur.

³⁵ Viðtöl við starfsfólk Veðurstofu Íslands í apríl 2009.

³⁶ Upplýsingar frá starfsfólki Veðurstofunnar í apríl 2009. Sjá einnig greinina “Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources: Their role in the Nordic energy system” eftir Clausen, N.E., Lundsager, P., Barthelmie, R., Holttinen, H., Laakso, T. & Pryor, S.C, bls. 105–128 í bókinni *Wind Power*, ritstýrt af J. Fenger, útg 2007.

Ef miðað er við að hér yrðu byggð vindorkuver sem tengd yrðu Landsnetinu og framleiddu um 5% af öllu rafmagni á landinu, þyrftu þau að geta framleitt u.þ.b. 100 MW (framleiðslugeta allra virkjana landsins er nú rúmlega 2 þúsund MW).

Þá má hugsa sér að meðalstærð hvers turns yrði um 2,5 MW og þá yrðu alls reistir u.þ.b. 40 turnar. Vegna þess hversu nýting vindrafstöðva er lág er þó líklegra að byggja þyrfti allt að 100 slíka turna til að standa undir raforkuframleiðslu sem næmi 5% af heildarframleiðslunni. Hér yrði þá vindorkuiðnaður með um 250 MW framleiðslugetu. Þessar tölur ættu að gefa vísbendingu um það hvaða markmið íslensk stjórnvöld gætu sett sér í virkjun vindorku.

Til eru ítarlegar upplýsingar um vindstyrk og -stefnu á fjölmörgum mælistöðvum á Íslandi. Þær sýna að meðalvindur hér á landi er víða mjög hentugur fyrir vindorkuver. Aftur á móti er hér afar misvindasamt og óveður miklu tíðari en gengur og gerist þar sem mest er um vindorkuver í heiminum. Hönnun og þróun orkuvera af þessu tagi hefur einkum miðast við aðstæður þar sem vindur er fremur stöðugur og stórviðri óalgeng. Þess vegna hefur vindorkuiðnaðurinn almennt síður góðar lausnir á boðstólum fyrir svæði þar sem stórviðri eru jafn tíð og hér á Íslandi.

Í reynd er ekki unnt að fullyrða neitt um hvort vindorkuver séu hagkvæmur kostur á Íslandi eða ekki, meðan ekki hafa verið gerðar nákvæmari mælingar á vindi og jafnvel tilraunir með uppsetta, stóra vindraforkustöð hér á landi. Slíkar mælingar eru m.ö.o. forsenda þess að unnt sé að bera nákvæmlega saman hagkvæmni íslenskrar vindorku og raforkuframleiðslu frá vatnsaflsstöð eða jarðvarmaorkuveri.

Sú mynd sem hér hefur verið dregin upp af möguleikum vindorku á Íslandi myndi þar að auki gjörbreytast ef Ísland gæti selt raforku beint úr landi, þ.e. um sæstreng. Slíkt gæti kallað á stórfellda aukningu í raforkuframleiðslu og þá yrði vindorka hugsanlega góður kostur til að selja endurnýjanlega íslenska orku (um áætlanir Norðmanna af þessu tagi segir í 3. kafla). Sama er að segja um það ef vetni yrði mikilvægur orkugjafi á Íslandi; þá

myndu aukast líkur á því að rafmagnsframleiðsla (til vetnisframleiðslu) með vindorku yrði fýsilegur kostur.³⁷

Fullt tilefni er til að nánar verði könnuð hagkvæmni þess að virkja vindorku á Íslandi. Slík hagkvæmnisathugun þyrfti m.a. að beinast að því að finna bestu tæknina sem í boði er, finna hagkvæmustu stærðina og staðsetninguna fyrir slíkt raforkuver hér á landi og læra af þeim þjóðum sem hafa mesta reynslu af slíkum virkjunum.

Einnig má hugsa sér að vindorkuiðnaður gæti orðið til á Íslandi – jafnvel þó svo hér yrði ekki reistar margar vindrafstöðvar, þ.e. að hér yrðu þróaðar og byggðar vindrafstöðvar til útflutnings. Þetta er þó langsóttur möguleiki. Nú á þróun og nýsköpun í vindorku sér fyrst og fremst stað hjá reynslumiklum vindorkufyrirtækjum og að ætla að ná sneið af vindorkuiðnaðinum kallar á miklar fjárfestingar. Ef hér ætti að byggjast upp slíkur iðnaður þyrfti hann að njóta mikils velvilja stjórnvalda og eiga aðgang að afar þolinmóðum og sterkum fjárfestum. Hér á landi kynni að verða erfitt að koma á fót slíkum iðnaði sem þyrfti að geta keppt við heimsþekkt vindorkufyrirtæki sem sum hver eru hluti af risastórum iðnaðarsamsteypum, eins og t.d. Siemens og General Electric.

³⁷ Þessi ábending kom frá mörgum viðmælendum í tengslum við gerð þessarar skýrslu. Almennt virðist sem möguleg vetnisvæðing njóti verulegs áhuga hjá íslenskum orkusérfræðingum.



Mynd 10: Fljótandi framtíðarvindorkuver úti á sjó; hugmynd norska fyrirtækisins Sway í samstarfi við NorskHydro.

3. Vindorkuframleiðsla framtíðarinnar?

Áður en við skiljum við vindorkuna og víkjum að sjávarorkunni er rétt að fara nokkrum orðum um hugmyndir manna um það hvernig vindorka kann að verða nýtt í ennþá meira mæli í framtíðinni. Í þessu sambandi verður sérstaklega horft til Noregs, en þar eru nú uppi miklar áætlanir um slíka raforkuframleiðslu.

Hér að framan sagði frá stærstu vindorkuverum heims sem einmitt hafa verið byggð úti í sjó þar sem vindur er mun stöðugri og virkjanirnar skila oft meiri afköstum en á landi. Nú verður stuttlega vikið að þeim framtíðarmöguleikum sem taldir eru geta gert vindorkuver ennþá hagkvæmari og stóraukið hlutfall vindorku í rafmagnsframleiðslu.

Þau fyrirtæki sem nú eru líklega lengst komin í að þróa þessa nýju tækni eru norsku fyrirtækin Sway og orkurisinn StatoilHydro. Ástæðan fyrir því að Norðmenn eru svona áhugasamir um þessa úthafsvindrafstöðvataekni er að þarna geta þeir nýtt þekkingu sína úr olíuiðnaðinum. Norðmenn standa framarlega í smíði á fljótandi olíuborþöllum og hyggjast nýta þá reynslu til að smíða stórar fljótandi vindrafstöðvar sem staðsettar verða í

Norðursjó djúpt út af vesturströnd Noregs. Þessum hugmyndum Norðmanna um stóraukna orkuframleiðslu og raforkuútflutning til Evrópu er stundum lýst með þeim orðum að Noregur stefni að því að verða rafhlaða Evrópu.

Til marks um þá fjármuni sem nú er varið í þróun á þessari tækni, skal þess getið að árið 2007 tryggði Sway sér hlutafé upp á 150 milljónir NKK. Hitt verkefnið, sem StatoilHydro kemur einnig að, er unnið í samstarfi við vindorkuarm þýska fyrirtækisins Siemens.³⁸ Á forsíðu þessarar skýrslu er teikning sem sýnir hvernig svona vindrafstöð mun líta út og til að átta sig á stærðinni hefur þyrlu verið bætt inn á myndina.

Það sem hvetur Norðmenn til að leggja fjármagn í að auka framleiðslu sína á raforku frá vindrafstöðvum er fyrst og fremst stefna Evrópusambandsins um að stórauka hlutfall endurnýjanlegrar orku í raforkunotkun innan sambandsins. Þó svo að bæði vindorka og sólarorka vaxi hratt innan ESB, er ekki víst að sambandið nái markmiðum sínum um „hreinni“ orku og minnkun gróðurhúsalofttegunda nema með miklum innflutningi á rafmagni frá endurnýjanlegum orkugjöfum.

Þessi kostur kæmi þó líklega seint til skoðunar á Íslandi, nema unnt yrði að selja raforkuna um sæstreng til útlanda. Það yrði þá væntanlega helst til Skotlands, vegna nálægðarinnar. Óvíst er hvort slíkar úthafsvindrafstöðvar við Ísland gætu keppt við sambærilega raforkuframleiðslu í t.d. Norðursjó. Það er þó ekki útilokað; vegna þess hversu sterkur vindur er hér gæti hagkvæmni stórra og öflugra vindrafstöðva hugsanlega orðið mun meiri við strendur Íslands en út af Bretlandseyjum og framleiðsluverðið samkeppnishæft. Þetta eru auðvitað einungis vangaveltur sem hafa litla praktíska þýðingu í dag.

Í lok þessarar umfjöllunar um vindorku, er viðeigandi að nefna hugmyndir um miklu stærri og öflugri vindrafstöðvar en tíðkast hafa fram til þessa. Þar er um að ræða

³⁸ Sjá http://w1.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_spring_2008/energy/offshore.htm

hugmyndir kanadíska fyrirtækisins Magenn Power um eins konar loftskip sem eru útbúin með gríðarstóra spaða og haldið föstum við jörðu með löngum köplum.

Annað fyrirtæki sem er að þróa sambærilega tækni er Kite Gen á Ítalíu. Þessi tækni er kynnt sem mun ódýrari kostur en að byggja turna, auk þess sem tiltölulega einfalt á að verða að færa stöðvarnar til. Framtíðin ein mun leiða í ljós hvort þetta sé raunhæfur möguleiki. En hæpið er að slíkar loftskips-vindrafstöðvar verði nokkru sinni settar upp hér á landi; til þess eru stórviðri of tíð. Það veðravíti sem stundum ríkir á Íslandi hlýtur að útiloka vindorkuver af þessu tagi hér á landi – þótt þau verði hugsanlega að veruleika einhvers staðar annars staðar í heiminum.



Mynd 11: Teikning af hugmynd Magenn Power um svífandi vindorkuframleiðslu.



Mynd 12: Spaðar fyrir Seagen, sjávarfallavirkjunina frá breska fyrirtækinu Marine Current Turbines.

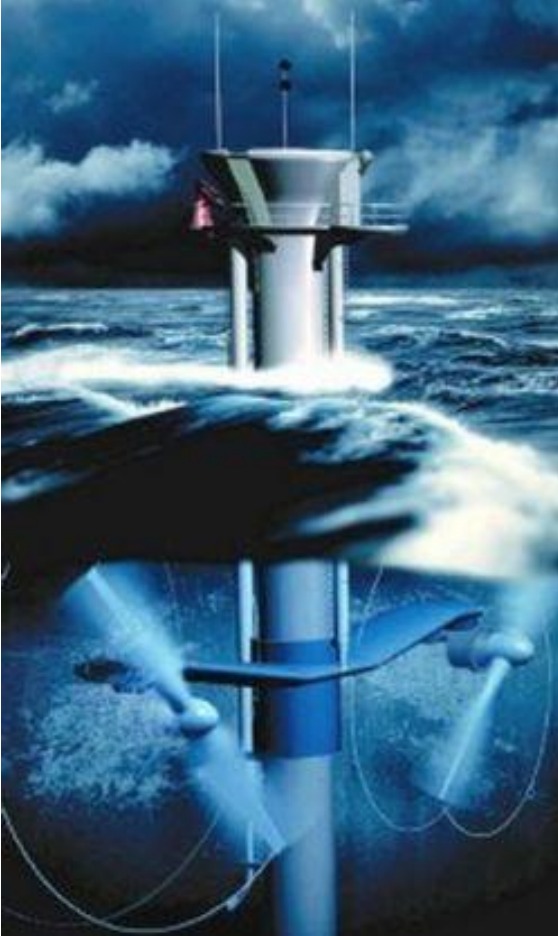
4. Sjávarvirkjanir

Hér að framan var minnst á helstu náttúruauðlindir Íslands; orkuna og auðlindir hafsins. Með auðlindum hafsins er jafnan átt við hinar lífrænu auðlindir – fiskinn og annað sjávarfang. En alkunnugt er að hafið býr einnig yfir gríðarlegri orku sem freistandi er að reyna að virkja.

Í grófum dráttum má skipta virkjunum sem byggja á orku sjávar í sex mismunandi flokka (þessi flokkun er þó ekki einhlít og er stundum sett fram á annan hátt):

1. Sjávarfallavirkjanir sem byggjast á stíflu (sjá kafla 4.1).
2. Nýjar tegundir sjávarfallavirkjana (sjá kafla 4.1).
3. Aðrar hafstraumavirkjanir, þ.m.t. hringiðuvirkjanir (sjá kafla 4.2).
4. Ölduvirkjanir (kafla 4.3).
5. Seltuvirkjanir (kafla 4.4).
6. Varmamismunarvirkjanir (kafla 4.5).

Áður en vikið verður að möguleikum sjávarvirkjana á Íslandi, verður þessum sex mismunandi flokkum af sjávarvirkjunum lýst í stuttu máli. Tekið skal fram að í þessari skýrslu verður þó ekki gerð nákvæm grein fyrir því hvernig hver og ein sjávarvirkjanatækni virkar (þar að auki eru oft mjög margar tækniútfærslur til í hverjum flokki fyrir sig).



Mynd 13: Teikning af sjávarfallavirkjuninni Seagen frá breska fyrirtækinu Marine Current Turbines (sbr. mynd 12 á blaðsíðunni hér á undan).

4.1. Sjávarfallavirkjanir

Sjávarfallavirkjanir sem byggja á einhvers konar stíflu eða þverun er sú tækni sem er þróuðust í virkjun á afli sjávar. Þess konar virkjanir má nefna hefðbundnar sjávarfallavirkjanir, en þeim svipar að mörgu leyti til venjulegra vatnsafllsvirkjana með miðlunarlóni.

Útbúin er stífla, t.d. fyrir fjörð eða sund; fyrir tilverknað stíflunnar og sjávarfallanna verður yfirborð sjávar öðrum megin stíflunnar hærra en hinum megin og þannig má nýta fallorkuna þegar sjórinn streymir þar á milli. Til að slíkar virkjanir séu hagkvæmar þarf straumurinn sem myndast að vera mjög sterkur, þ.e. mikill munur þarf að vera á flóði og fjöru og auk þess þurfa landfræðilegar aðstæður að vera þannig að hægt sé að stífla fjörð eða árósa.

Ný tegund sjávarfallavirkjana

Undanfarin ár hefur víða verið unnið að nýjum tegundum sjávarfallavirkjana sem munu hugsanlega geta orðið hagkvæmar þó svo að sjávarfallastraumurinn sé ekki eins sterkur og þar sem notast er við stíflur. Með tækniframförum og aukinni áherslu á að forðast neikvæð umhverfisáhrif virkjana, hafa myndast hvatar sem eru líklegir til að flýta þróun slíkra virkjana og þær gætu orðið hagkvæmur kostur innan nokkurra ára eða áratuga.

Þetta hefur leitt til þess að þróuð hefur verið ný tækni við að virkja afl sjávarfallanna. Þá er hreyfiorkan í sjávarfallastraumnum virkjuð þar sem hinn náttúrulegi straumur er hvað stríðastur, án nokkurrar stíflu eða annarra slíkra mannvirkja. Hagstæðustu staðirnir fyrir slíkar virkjanir eru þar sem landfræðilegar aðstæður valda stríðum sjávarfallastraumum.

Þó nokkru fjármagni hefur verið varið til að þróa þessa nýju tækni í sjávarfallavirkjunum, einkum á Bretlandseyjum. Einnig eru nokkuð mörg fyrirtæki af þessu tagi í Bandaríkjunum, en þau eru flest mjög lítil.³⁹ Hverflarnir og hönnunin er mismunandi og rannsóknir standa yfir á mörgum og ólíkum útfærslum. Einnig er t.d. leitað hagkvæmra lausna á því hvers kona rafalar henta best og hvernig einfaldast og hagkvæmast er að koma rafmagninu yfir í dreifikerfið.⁴⁰

³⁹ Fyrirtæki á sviði sjávarorku fengu lítinn sem engan opinberan stuðning meðan Bush-stjórnin sat að völdum.

⁴⁰ Um lesefni á íslensku um mismunandi hverfla í sjávarvirkjunum, má t.d. vísa á skýrslu frá 2004 eftir þau Höllu Jónsdóttur og Geir Guðmundsson hjá Iðntæknistofnun (nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands): „Orka í streymi vatns“.

Slíkar sjávarfallavirkjanir eru afar mismunandi. Virkjanir af þessu tagi minna stundum á vatnsaflsvirkun án miðlunarlóns, þ.e. rennslisvirkjanir, en önnur útfærsla felst í því að turni með spöðum er komið fyrir ofan í sjónum og sjávarfallastraumurinn veldur því að spaðarnir snúast. Eins má nefna s.k. skötur (á ensku nefnt *stingray technology*), sem eru eins konar vængir sem færast upp og niður og pumpa þannig vökva sem drífur vökvamótor er knýr rafalinn, og sogtækni (á ensku nefnt *venturi*) sem byggist á því að framkalla sog sem dregur sjó eða loft í gegnum hverfil uppi á landi. Til eru ýmsar aðrar útfærslur.

Helstu kostir og gallar sjávarfallavirkjana

Sjávarfallavirkjunum sem byggja á því að nýta hæðarmun sjávarfalla með stíflu fylgja mikil umhverfisáhrif. Þær teljast ekki hagkvæmar nema þar sem flóðhæð í stórstreymi er 8–10 m eða meiri.⁴¹ Fáa slíka staði er að finna í heiminum.

Raforkuframleiðsla sjávarfallavirkjunar sveiflast í takt við sjávarfallabylgjuna og er því ójöfn, rétt eins og hjá vindrafstöð. Aftur á móti veldur fyrirsjáanleiki sjávarfallanna því að tiltölulega auðvelt er að reikna út breytingar á afli og orkuframleiðslu sjávarfallavirkjunar. Afl vindorkuversins er á hinn bóginn algerlega háð duttlungum vindsins hverju sinni. Að þessu leyti eru sjávarfallavirkjanir áreiðanlegri kostur.

Hinar nýju tegundir sjávarfallavirkjana skera sig mjög frá þeim eldri sem þurfa stíflu. Nýju sjávarfallavirkjanirnar eru margar nánast ósýnilegar ofansjávar og þeim fylgja ekki dýrar stífluframkvæmdir. Þær eru almennt sagðar hafa lítil umhverfisáhrif, en slíkum virkjunum geta þó fylgt einhver neikvæð áhrif á lífríkið. Þetta þarf að rannsaka betur. Þessum virkjunum fylgja miklar rafmagnsleiðslur á botni og viðhald getur verið erfiðleikum bundið. Þær þurfa líka talsvert mikinn straumhraða, eins og nú verður vikið að.

⁴¹ Viðtal við starfsfólk Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands í apríl 2009.

Hversu miklu máli skiptir straumhraðinn?

Hinar nýju sjávarfallavirkjanir eru sagðar geta verið hagkvæmar þar sem hámarksstraumurinn er um 2,5 m/s. Hafa ber í huga að þetta er talsvert mikill straumhraði; sjávarfallastraumar eru víðast hvar umtalsvert hægari en sem þessu nemur.

Eins og gefur að skilja eykst hagkvæmnin ef straumurinn er meiri. Afköst sjávarfallavirkjana og annarra straumvirkjana (og líka vindorkuvera) aukast í þriðja veldi miðað við aukinn straumhraða (vindhraða). Til að skýra þetta betur skal tekið fram að aflið og orkuframleiðslan áttfaldast við það að straumhraðinn tvöfaldast ($2 \times 2 \times 2 = 8$).

Eftir því sem straumurinn er meiri þarf virkjunin að vera sterkari og því eykst kostnaður við virkjunina. Kostnaðurinn eykst þó ekki nærri jafn mikið og afkastageta virkjunarinnar. Tvöföldun í straumhraða þýðir 3–4 sinnum meiri fjárfestingu, en aftur á móti áttfaldast aflið, eins og áður segir. Þess vegna er mikil hagkvæmni fólgin í því að virka þær straumrastir þar sem straumur verður hvað hraðastur.

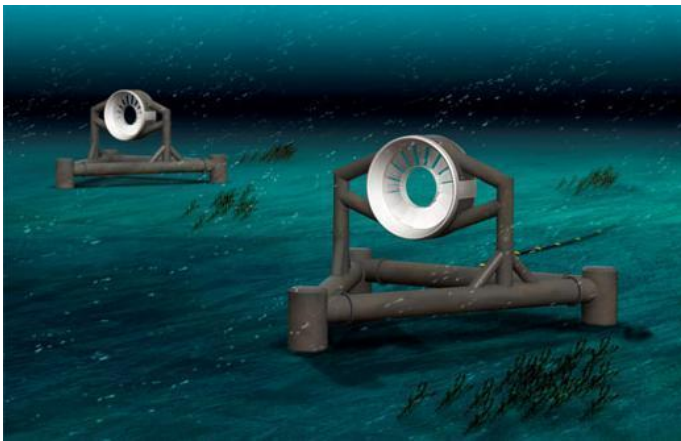
Straumurinn ræðst af landfræðilegum aðstæðum við ströndina, svo sem ef þrengingar skapa umtalsverðan straumhraða, eða þar sem grynningar valda því að sjávarfallastraumar verða stríðir. Hinar nýju sjávarfallavirkjanir sem nú eru á hönnunarstigi miðast flestar við hámarksstraumhraðinn sé a.m.k. á bilinu 2,5–5,0 m/s. Til samanburðar er straumhraðinn í sjávarföllum á Breiðafirði allt að 10 m/s, en hæðarmunur flóðs og fjöru við Ísland er einmitt mestur við Vesturland. Þess vegna kann Breiðafjörður að henta vel fyrir sjávarfallavirkjun.⁴² Aftur á móti eru hafstraumar við Ísland oftast einungis u.þ.b. 0,25–0,5 m/s.⁴³

⁴² Samkvæmt upplýsingum frá starfsfólki Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands var lengi vel talið að hámarksstraumurinn þarna væri jafnvel allt að 12 m/s, en nú hefur komið í ljós að líklega sé hraðinn mun minni. Vísbendingar eru um að yfirborðsstraumhraðinn sé um 6,5 m/s, en það þarf að gera ítarlegi rannsóknir til að fá þetta á hreint.

⁴³ Upplýsingar frá starfsfólki Hafrannsóknastofnunar, apríl 2009.

Eru til sjávarvirkjanir sem ekki þurfa mikinn straumhraða?

Ef unnt væri með hagkvæmum hætti að virkja veika sjávarfallastrauma eða jafnvel venjulega hafstrauma, þ.e. straum sem er talsvert minni en 2,5 m/s og jafnvel allt niður í 0,5 m/s, ylli það væntanlega straumhvörfum í orkumálum veraldar. Um slíkar virkjanir er fjallað í kafla 4.2.



Mynd 14: Teikning af sjávarfallavirkjun írsku fyrirtækisins Open Hydro.

Hvar má finna starfandi sjávarfallavirkjanir?

Þekktasta sjávarfallavirkjun í heimi er Rance-virkjunin í Frakklandi. Hún var byggð við ósa áinnar la Rance á Bretagneska og hóf starfsemi árið 1966. Virkjunin byggir á stíflu (þverun) og hafði mikil áhrif á lífríkið á svæðinu. Til eru örfáar aðrar sambærilegar sjávarfallavirkjanir í heiminum, t.d. í Fundyflóa við austurströnd Kanada, en þær eru mun smærri í sniðum en sú franska.

Sem fyrr segir hafa virkjanir af þessu tagi þótt valda miklum umhverfisáhrifum og þess vegna þykja þær yfirleitt ekki góður virkjanakostur nú á dögum. T.d. hefur lengi verið til

skoðunar að byggja stóra sjávarfallavirkjun með því að þvera ósa lengstu ár Bretlandseyja, árinna Severn, sem rennur til sjávar á mótum Englands og Wales, en þar er munur flóðs og fjöru hvað mestur í heiminum utan Fundyflóa í Kanada. Hugmyndirnar um að virkja Severn hafa mætt verulegri andstöðu vegna neikvæðra umhverfisáhrifa virkjunarinnar og ennþá er óvíst hvort af þessum áformum verður.

Margar tilraunir standa yfir með hinar nýju tegundir sjávarfallavirkjana eða straumvirkjana. Í fyrstu eru smækkaðar frumgerðir prófaðar í streymistöðum hjá rannsóknastofum eða prófaðar í vatnsföllum á landi. Nokkur dæmi eru um að frumgerðir af búnaðinum hafi verið settur upp úti í sjó og í örfáum tilvikum hafa fyrirtækin sagt að þau séu byrjuð að framleiða rafmagn frá slíkum virkjunum inn á dreifikerfið.

Tilraunir með virkjun af þessu tagi hafa t.d. verið gerðar í Kanada frá árinu 2006 (Race Rocks Tidal Power Demonstration Project). Önnur dæmi eru hugmyndir fyrirtækisins Tidal Energy í Wales (Delta Stream) og breska fyrirtækisins Lunar Energy, sem nú vinnur að uppsetningu virkjana bæði utan við strönd Suður-Kóreu og Wales.⁴⁴ Lengst komin eru þó breska fyrirtækið Marine Current Turbines með svo kallaða SeaGen-tækni og írski fyrirtækið Open Hydro, en þau hafa bæði sett upp tilraunavirkjanir og eru sögð hafa tengt þær við raforkukerfi.

Nú er liðið um ár frá því fyrstu SeaGen-sjávarfallarafstöðinni var komið fyrir í Straumfirði (Strangford) á Írlandi.⁴⁵ SeaGen-tæknin byggist á n.k. turni sem rís upp af hafsbótuninum og á honum neðansjávar eru spaðar eða vængir – ekki ósvipaðir og á vindrafstöð – sem snúa rafölum. Framleiðslugeta (uppsett hámarksafl) eins svona turns er sögð vera um 1,2 MW. Virkjunin nýtir bæði aðfallið og útfallið og að sögn Marine Current Turbines framleiðir stöðin rafmagn í um 18–20 klst á dag.⁴⁶

⁴⁴ Sjá vef Lunar Energy; www.lunarenergy.co.uk/News.php

⁴⁵ Sjá t.d. frétt í Guardian, 17. júlí 2008:

www.guardian.co.uk/environment/2008/jul/17/waveandtidalpower.renewableenergy

⁴⁶ Sjá upplýsingar á vef fyrirtækisins; www.marineturbines.com/3/news/

Meðalhraði sjávarfalla í Strangford er talsverður (um 3,7 m/s en fer upp í 4,8 m/s).⁴⁷ Það er þó langt frá því sem gerist t.d. í Röstinni í mynni Hvammsfjarðar, en þar nær straumurinn því hugsanlega að verða allt að 10 m/s, eins og áður hefur verið nefnt (sem fyrr segir kann þetta að vera ofáætlað). Athyglisvert verður að fylgjast með þessari virkjun þarna við Írlandsstrendur og hugsanlega gæti þessi tækni hentað á einhverjum stöðum hér við land.

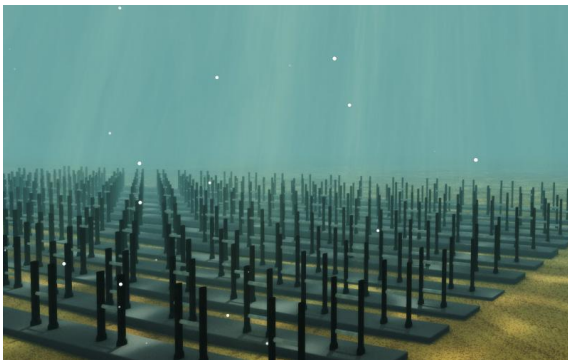
Hitt fyrirtækið sem vinnur að þessari nýju tegund sjávarfallavirkjana og hefur hafið raforkuframleiðslu, er írski fyrirtækið Open Hydro. Það kom sinni stöð einnig fyrir s.l. sumar (2008), en hún er staðsett utan við Evrópsku haforkurannsóknarmiðstöðina á Orkneyjum (European Marine Energy Centre; EMEC). Rannsóknarstöðin sérhæfir sig m.a. í prófunum á tilraunavirkjunum og að meta umhverfisáhrif sjávarvirkjana, svo sem á fiska, fugla og sjávarspendýr. Framleiðslugeta (hámarksafl) hvernar einingar hjá Open Hydro er 250 kW, en nú er í undirbúningi uppsetning á 1 MW Open Hydro-virkjun í Fundyflóa í Kanada og einnig við Alderney á bresku Ermarsundseyjunum.⁴⁸

Þetta eru einungis fáein dæmi um það sem nú er að gerast á þessu sviði í heiminum. Fjöldi annarra tilrauna er í gangi. Ekki eru forsendur fyrir hendi til að meta hagkvæmni sjávarfallavirkjana og bera þær saman við aðrar tegundir af endurnýjanlegri orkuframleiðslu; til þess er tæknin enn of ung og óþroska. Þær nýju sjávarfallavirkjanir sem til eru í dag eru aðeins tilraunavirkjanir og enn er ekki komin reynsla á hver rekstrarkostnaður slíkra virkjana er eða kemur til með að verða. Fjöldaframleiðsla á búnaði í slíkar virkjanir er ekki hafin og ómögulegt að leggja mat á hver fjárfestingarkostnaðurinn kemur til með að verða. En af viðbrögðum t.d. breskra stjórnvalda og bandarískra fjárfesta má ráða að tæknin sé áhugaverð og geti til framtíðar orðið raunverulegur og jafnvel mjög mikilvægur kostur í framleiðslu á rafmagni.

⁴⁷ Upplýsinga af heimasíðu Sea Generation: www.seageneration.co.uk/downloads/recent/General%20Documents/Seagen%20Facts%20EXTERNAL%2002.pdf

⁴⁸ Sjá t.d. frétt Independent í maí 2008 (www.independent.ie/business/irish/worldfirst--as-irish-firm-supplies-tidal-energy-to-grid-1389590.html) og vef Open Hydro; www.openhydro.com/news/OpenHydroPR-100908.pdf

Hvað Ísland snertir, hefur undanfarin ár verið unnið að hugsanlegri sjávarfallavirkjun í mynni Hvammsfjarðar. Það er líklega sá staður á Íslandi sem best hentar fyrir sjávarfallavirkjun, en vissulega eru hér fleiri áhugaverðir staðir, t.d. Reykjanesröstin. Um þetta er nánar fjallað hér á eftir í 5. kafla.



Mynd 15: Teikning af hugmynd bandaríska fyrirtækisins Vortex Hydro Energy um hringiðuvirkjun á hafsbötni.

4.2. Aðrar hafstraumavirkjanir, þ.m.t. hringiðuvirkjanir

Sjávarfallavirkjanir byggja á mikilli fallhæð og/eða að sjávarfallastraumarnir séu sem sterkastir. Sjálfir hafstraumarnir eru miklu hægari og fram til þessa hafa almennt verið taldar litlar líkur á því að unnt verði að framleiða rafmagn með hagkvæmum hætti með því að virkja hafstrauma. Rétt eins og vindorkuver er óhagkvæmt ef það er byggt þar sem að jafnaði er logn eða mjög lítill vindur.

Undanfarin ár hafa þó ýmsir kannað möguleika á hafstraumavirkjunum. Sökum þess hversu straumhraði í hafinu er almennt lítill er orka á rúmmálseiningu ekki mikil. Til að

vinna upp á móti litlum straumi gæti lausnin falist í því að hanna mjög ódýra hverfla og þá gæti ein virkjun hugsanlega nýtt mikinn fjölda hverfla og náð nægjanlegri hagkvæmni.

Þær nýju sjávarfallavirkjanir sem nú eru á hönnunarstigi miðast flestar við að straumhraðinn sé a.m.k. á bilinu 2,5–5,0 m/s. Ástæða þess að nú er byrjað að skoða möguleika á því að nýta hafstrauma, sem eru talsvert miklu hægari, er áhugi margra ríkja á að auka hlutfall endurnýjanlegrar raforkuframleiðslu og draga þannig úr þörf sinni fyrir jarðefnaeldsneyti. Nýir fjárhagslegir hvatar (styrkir o.fl.) gera það að verkum að fjárfestar eru tilbúnir að setja fjármuni í þróun ýmissa tegunda af nýjum virkjunum í von um að unnt verði að þróa búnaðinn og að því komi að slíkar virkjanir geti í framtíðinni keppt við raforku frá t.d. kolaorkuverum eða gasorkuverum.

Gífurleg orka er fólgin í hafstraumum heimsins og freistandi að leita leiða til að virkja hana. Þó er miklu líklegra að framfarir í sjávarorkuiðnaðinum muni verða vegna ódýrari sjávarfallavirkjana eða ölduvirkjana en að hafstraumavirkjanir verði raunverulegur kostur.

Það er sem sagt ólíklegt að hafstraumavirkjanir verði einhvern tímann áhugaverður kostur til rafmagnsframleiðslu á svæðum þar sem hafstraumurinn er einungis 2,5 m/s eða jafnvel enn minni. Hér er þó vert að minna á að á síðustu árum hefur verið unnið að hugmyndum um virkjun í Messinasundi, milli Ítalíu og Sikileyjar, en þar er meðalstraumhraðinn einungis um 2,5 m/s.⁴⁹ Einnig eru uppi hugmyndir um að setja upp gríðarmiklar straumvirkjanir út af ströndum Florida, þar sem hraði Golfstraumsins er um 2 m/s.⁵⁰ Annað róttækt dæmi um hugmyndir um að virkja venjulega hafstrauma er sú sem gerir ráð fyrir því að beita svokallaðri hringiðutækni.

⁴⁹ Sjá t.d. upplýsingar á vef Háskólans í Napolí; [hwww.dpa.unina.it/adag/eng/renewable_energy.html](http://www.dpa.unina.it/adag/eng/renewable_energy.html)

⁵⁰ Sjá t.d. umfjöllun Scientific American: www.sciam.com/article.cfm?id=gulf-stream-renewable-energy

Hringiðutæknin

Það er þekkt fyrirbæri hvernig hringiður eða hvirflar geta myndast í hafinu af náttúrulegum orsökum. Hreyfiorkan í hringiðunum kveikti þá hugmynd hjá mönnum að skoða möguleika á því að búa til hringiður nálægt landi, virkja þá orku og framleiða þannig rafmagn. Aðferðin felst í því að koma mannvirkjum fyrir á hafsbotni sem trufla strauma svo hvirflar myndist. Þessa orku kann að verða hægt að virkja til rafmagnsframleiðslu.

Hringiðuvirkjanir eru í raun ein tegund af straumvirkjunum, en sérstaða þeirra felst í því að geta hugsanlega framleitt rafmagn þar sem meðalstraumur er mjög lítill. Ef tæknin reynist raunhæf mun þessi tegund sjávarvirkjana hugsanlega verða áhugaverð. En þróun hringiðuvirkjana er á algeru frumstigi og mun e.t.v. aldrei skila neinu.

Bandaríska fyrirtækið Vortex Hydro Energy er líklega þekktast á þessu sviði í dag. Það var stofnað 2004 og hefur því unnið að þróun hringiðuvirkjunar í nokkur ár. Stefnt er að því að hver framleiðslueining virkjunarinnar geti skilað um 50 kW og setja megi fjölmargar einingar saman svo slík virkjun geti framleitt tugi og jafnvel hundruð MW! Hugmyndin á rætur að rekja til manna hjá Michigan-háskóla og hafrannsóknadeild bandaríska sjóhersins og að þeirra sögn eru nú einungis um 5 ár þar til að unnt verður að hefja framleiðslu á þessum virkjunum.⁵¹

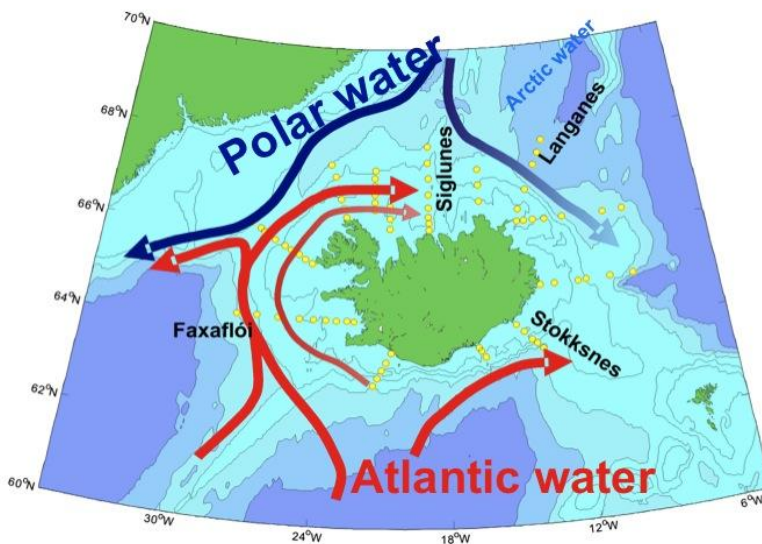
Á móti koma efasemdir um að þessi tækni verði nokkru sinni raunhæf. Hjá bandaríska fyrirtækinu Hydro Volts, sem býr yfir talsverðri þekkingu á virkjun sjávarorkunnar, fullyrða menn að slíkt sé útilokað nema straumhraðinn sé a.m.k. 3 m/s.⁵² Þar með muni venjulegur hafstraumur aldrei nýtast til að framleiða rafmagn.

⁵¹ Sjá t.d. frétt á vefnum ConcentrateMedia í apríl 2008:
www.concentratemedia.com/innovationnews/vortexhydroenergyannarbor0026.aspx

⁵² Sá upplýsingar á vef fyrirtækisins; www.hydrovolts.com

Þessi straumhraði (3 m/s) er í raun svipuð viðmiðun og sjá má hjá flestum þeirra fyrirtækja sem nú eru að vinna að hönnun nýrra sjávarfalla- eða straumvirkjana. Það virðist því sem háskólafólkið frá MIT og félagar þeirra hjá Vortex Hydro Energy standi dálítið einmana í sjávarvirkjanaíðnaðinum. Hvað svo sem síðar á eftir að verða.

En það eru líka til sjávarvirkjanir sem byggja ekki á straumhraða heldur á ölduorku. Um ölduvirkjanatæknina er fjallað í kafla 4.4.



Mynd 16: Hafstraumar við Ísland.
Kortið er frá Hafrannsóknastofnun.

Möguleikar sjávarfallavirkjana og hafstraumsvirkjana við Ísland

Straumar við Ísland koma upp að landinu við suðvesturhornið og halda svo að mestu áfram réttisælis í kringum landið, nema hvað tunga klofnar frá Golfstraumnum sunnan við landið og fer austur með suðurströndinni. Um strauma inni á fjörðum gildir aftur á móti að þar virðist straumurinn almennt fara rangsælis. Um þetta eru þó ekki til nákvæmar mælingar nema í fáeinum fjörðum. Sjávarfallastraumarnir við Ísland fylgja í megindráttum stefnu hafstraumanna, þ.e. fara réttisælis kringum landið.

Á Orkuþingi 2006 kom fram að ekki væri hagkvæmt að ráðast í sjávarfallavirkjun hér við land nema þar sem sjávarstraumarnir eru a.m.k. 8–10 m/s.⁵³ Sú niðurstaða er byggð á lauslegum útreikningum á líklegum kostnaði við síkar virkjanir miðað við hefðbundnar virkjanir á Íslandi.

Þó nokkrar straummælingar hafa verið gerðar við Ísland í gegnum tíðina. Siglingastofnun hefur í samstarfi við íslenskar verkfræðistofur þróað sjávarfalla- og sjávarstraumalíkan og með því er hægt að áætla straumhraða við strendur landsins. Sjávarfallalíkanið nýtist vel til að fá upplýsingar um strauma, straumrastir og sjávarflóð. Það nær yfir allt hafsvæðið umhverfis Ísland, en þó ekki langt inn í firði. Þar þarf því að gera sérstakar straummælingar til að fá vitneskju um straumana.

Fram til þessa hafa slíkar straummælingar takmarkast við svæði sem þurft hefur að rannsaka vegna annarra framkvæmda. Þar má t.d. nefna straummælingar í Héraðsflóa vegna umhverfismats tengt Kárahnjúkavirkjun og mælinga í Reyðarfirði vegna fyrirhugaðs álvers og siglinga flutningaskipa þangað.

Til þessa hefur sjávarfallavirkjun við Breiðafjörð yfirleitt verið talin eini raunhæfi möguleikinn á sjávarvirkjun við Ísland. Í Breiðafirðinum er hátt í 5 m munur á stórstraumsflóði og -fjöru og straumhraðinn í Röst við mynni Hvammsfjarðar getur farið yfir 10 m/sek við bestu aðstæður (sem fyrr segir kann þessi tala þó að vera ofátluð). Þarna gæti verið tækifæri til að framleiða talsvert mikla raforku með sæmilega hagkvæmum hætti og virkjunina mætti byggja í áföngum og t.d. byrja fremur smátt.

Nokkrar rannsóknir hafa verið gerðar á styrk sjávarfallanna á svæðinu og straumunum þar.⁵⁴ Árið 2001 var stofnað fyrirtækið Sjávarorka ehf. til að rannsaka möguleika á virkjun sjávarfalla í Breiðafirði og að hafa forystu um slíka virkjun. Unnið hefur verið að

⁵³ Sjá erindi Geirs Guðmundssonar á Orkuþingi 2006: „Sjávarorka og möguleg virkjun sjávarfalla við Ísland“.

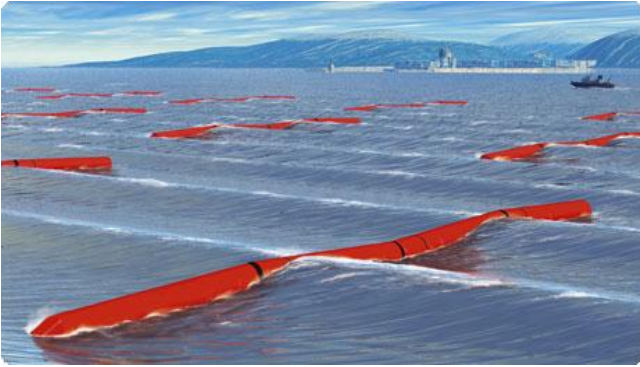
⁵⁴ Dæmi um síka umfjöllun: „Virkjun Sjávarfalla í Breiðafirði“; ritgerð verkfræðinemanna Braga Birgissonar, Magnúsar Einarssonar og Sigurðar Gunnarssonar við Háskólann í Reykjavík, frá 2006.

dýptar- og straummælingum og kortlagningu svæðisins. Einnig hafa verið skoðaðar mismunandi tegundir af hverflum en engin ákvörðun mun hafa verið tekin um framhaldið.

Helsti kostur þessa staðar fyrir sjávarfallavirkjun gæti reyndar einnig skapað vandkvæði. Hugsanlega er straumurinn þarna svo sterkur að hann mundi valda erfiðleikum við viðhald virkjunarinnar. Þá er óvíst um umhverfisáhrif virkjunarinnar og einnig má hafa í huga að langt er í næsta stórnotanda (stóriðjuna á Grundartanga). Þarna eru sem sagt fyrir hendi margir óvissuþættir sem kanna þarf miklu betur áður en unnt verður að meta hagkvæmni svona virkjunar.

Skylt er að nefna að fyrr á tíð var starfrækt lítil sjávarfallavirkjun við Brokey á Breiðafirði, sem var notuð til að mala korn en ekki framleiða rafmagn (sem sagt e.k. sjávarmylla). Gríðarleg orka er í sjávarföllunum á Breiðafirði og harla óskynsamlegt væri að veita henni ekki meiri athygli og mikilvægt að skoða þessa möguleika enn betur.

Sama má segja um aðra virkjunarmöguleika af þessu tagi við Ísland, t.d. þann fræðilega möguleika að seta upp straumvirkjun í Reykjanesröstinni. Athyglisvert er að í nágrenni við það svæði eru einnig grynningar (Hraun út af Garðskaga) sem gætu reynst góð staðsetning fyrir stóra vindrafstöð.



Mynd 17: Pelamis-ölduvirkjunin við strendur Portúgal.

4.3. Ölduvirkjanir

Ölduvirkjanatæknin byggist á að virkja aflíð í ölduhreyfingu sjávar; unnt er að virkja upp- og niðursveiflu öldunnar og þannig framleiða rafmagn. Þetta er því talsvert ólíkt sjávarstrauma- og sjávarfallatækninni.

Unnið er að hönnun og byggingu fjölda ölduvirkjana, m.a. í Danmörku, Bretlandi og Bandaríkjunum. Þar prófa menn sig áfram með margvíslegar tækniútfærslur, en öldungis er óvíst hvaða aðferð mun sigrá í þeirri samkeppni. Enn sem komið er hafa a.m.k. tvær ölduvirkjanir verið settar upp og gefið af sér rafmagn; virkjun WaveGen við skosku eyjuna Islay og Pelamisvirkjunin við strendur Portúgal. Báðar eru þær þó ennþá á tilraunastigi (og Pelamisvirkjunin liggur nú í portúgalskri höfn vegna bilana). Vert er einnig að nefna að síðustu ár hefur staðið yfir tilraun með uppsetningu ölduvirkjunar við Færeyjar.⁵⁵

Eitt af þeim fyrirtækjum sem nú vinna að uppsetningu ölduvirkjana er Ocean Power Technologies í Bandaríkjunum. Það fyrirtæki er skráð á Nasdaq (OPPT) og er til marks um verulegan áhuga fjárfesta á þessum iðnaði.

⁵⁵ Sjá nánar heimasíðu SeWave; www.sewave fo/Default.asp?sida=1252

Er ölduvirkjun vænlegur kostur við Ísland?

Ölduorka er óvíða meiri í heiminum en við suðurströnd Íslands.⁵⁶ Reyndar kann aldán þar að vera of kraftmikil fyrir ölduvirkjanir svo mannvirkin ráði hreinlega ekki við þann ægikraft náttúrunnar.⁵⁷ Raunhæfara kann að vera að virkja ölduorkuna við Ísland innan fjarða eða í annars konar skjóli, þ.e. þar sem orkan er viðráðanleg.

Til eru nokkuð góðar upplýsingar um ölduhæð á hafsvæðinu umhverfis Ísland. Þær eru uppfærðar mjög reglulega og aðgengilegar á vef Siglingastofnunar og þar er einnig birt ölduspá sem fyrst og fremst er auðvitað ætluð sjófarendum.⁵⁸ Aftur á móti þyrfti að gera miklu nákvæmari öldumælingar, t.d. inni á fjörðum eða nálægt landi, til að unnt væri að fullyrða nokkuð um hagkvæmni ölduvirkjana við Ísland.⁵⁹

M.ö.o. verður ekki unnt að leggja mat á hagkvæmni þess að setja upp ölduvirkjun við Ísland, nema að undangengnum ítarlegri rannsóknnum og mælingum á ölduhæð á þeim stöðum sem kunna að vera álitlegir. Í samtölum við starfsfólk Siglingastofnunar kom fram að sérstaklega gæti verið áhugavert að kanna möguleika á ölduvirkjun við höfnina í Höfn í Hornafirði og einnig við höfnina sem nú er verið að gera við Bakkafjöru í Landeyjum.

Í því sambandi var vísað til ölduvirkjunartækni skoska fyrirtækisins WaveGen, en það er einmitt sama fyrirtækið og hefur verið í samstarfi við Færeyinga um uppsetningu ölduvirkjunar þar. WaveGen er nú að mestu í eigu Siemens.

Enn fremur þyrfti að skoða nákvæmlega þær mismunandi tæknilausnir sem nú er verið að vinna að til að nýta ölduorkuna. Þessi tækni er í reynd á algeru frumstigi, þótt svo eigi að heita að ein eða tvær ölduvirkjanir hafi tekið til starfa. Áðurnefnd Pelamisvirkjun við

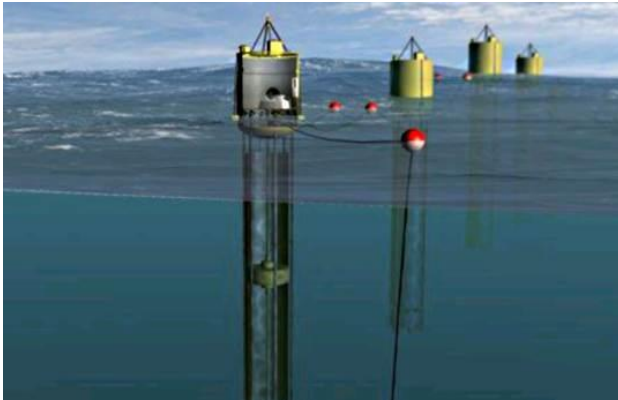
⁵⁶ Sbr. t.d. skýrsluna Wave Energy Utilization in Europe, útg. Af Centre of Renewable Energy Sources í Grikklandi 2002, og

⁵⁷ Samtöl við starfsfólk Siglingastofnunar í apríl 2009.

⁵⁸ Sjá vef Siglingastofnunar; <http://vs.sigling.is/pages/1012>

⁵⁹ Viðtöl við starfsfólk Siglingastofnunar og Hafrannsóknastofnunar í apríl 2009.

strendur Portúgal er eina virkjunin sem reynd hefur verið á hafi úti, en ölduvirkjun WaveGen við Skotland er hönnuð til að virkja ölduorkuna þegar aldan skellur á ströndinni. Það eru sem sagt til ýmsar útfærslur af ölduvirkjunum sem kortleggja þyrfti nákvæmlega til að átta sig á hvaða tækni er lengst komin.



Mynd 18: Teikning af fyrirhugaðri ölduvirkjun, Aquabuoy frá kanadíska fyrirtækinu Finavera Renewable, sbr. mynd nr. 4 á bls. 8.



Mynd 19: Osmósavirkjunin, sem nú er að rísa við Hurum í Noregi; skammt frá Osló (teikning).

4.4. Seltuvirkjanir – virkjanir sem byggja á mismunandi seltu sjávar og ferskvatns

Þar sem ferskvatn og sjór mætast losnar mikil orka úr læðingi vegna mismunandi efnasamsetningar (seltu). Með því að nota s.k. osmósuhimnur er hægt að mynda þrýsting sem unnt er að virkja til rafmagnsframleiðslu. Þarna er á ferðinni mjög athyglisverð tækni sem gerir mögulegt að framleiða um eða yfir 1 MW á hvern rúmmetra á sekúndu af streymi ferskvatns.

Þeir staðir sem henta fyrir þessar virkjanir eru helst við árósa. Einnig má e.t.v. hugsa sér að virkjanir af þessu tagi gætu hentað þar sem mikill ís bráðnar við ströndina, eins og við strendur Grænlands.

Nú er unnið að byggingu osmósavirkjunar í Noregi og einnig er verið að þróa aðra seltuvirkjanatækni í Hollandi. Virkjunin sem verið er að undirbúa í Noregi er á vegum norska orkufyrirtækisins Statkraft. Fyrirtækið bindur miklar vonir við þessa virkjun og álitur að osmósavirkjanir eigi sér bjarta framtíð víða um heim. Þetta sé mun jafnari og

áreiðanlegri raforkuframleiðsla en t.d. vindorka og hafi lítil umhverfisáhrif.⁶⁰ Þrýstingurinn sem myndast (sogkrafturinn) er mjög sterkur og gætu því svona osmósavirkjanir hugsanlega haft framleiðslugetu (uppsett hámarksafl) upp á tugi eða hundruð MW.

Þó svo að osmósutæknin sé ný þegar kemur að raforkuframleiðslu er þetta þekkt tækni við að framleiða ferskvatn úr sjó. Tæknin byggir því á nokkuð sterkum grunni, þó svo þessi aðferð við ferskvatnsframleiðslu sé enn í mikilli þróun. Við mat á hagkvæmni raforkuframleiðslunnar er venjulega miðað við hversu mikið afl fæst á hvern fermetra af himnunni sem er sett á milli sjávarins og ferskvatnsins. Hjá Statkraft segjast menn vera komnir í 4W á fermetrann og að bæta þurfi nýtinguna um 25% til að þetta borgi sig.

Hollenska fyrirtækið Redstack, sem er einnig að vinna að þróun seltuvirkjunar, notar aðra tækni en Statkraft og ekki liggja fyrir aðgengilegar upplýsingar um árangurinn hjá Hollendingunum.⁶¹

Hugsanlega gætu virkjanir af þessu tagi risið við nokkra árósa hér á landi. Upp hefur komið sú hugmynd að seltuvirkjanir gætu hentað sérstaklega vel á Vestfjörðum, með hliðsjón af því hversu óáreiðanlegt raforkuframboðið er víða á því svæði. Hugsanleg virkjun Hvalár í Ófeigsfirði kann að vera dýr kostur og hæpið er að vindorkuver rísi á Vestfjörðum, m.a. vegna lítils undirlendis. Því eru sjávarvirkjanir e.t.v. sérstaklega áhugaverðar fyrir Vestfirðinga og kannski ekki síst osmósavirkjun.

Undanfarið hefur Nýsköpunarmiðstöð Íslands skoðað slíka möguleika í samstarfi við Vestfirðinga.⁶² Og Nýsköpunarmiðstöðin vinnur nú að osmósatilraunaverkefni sem afar athyglisvert verður að fylgjast með. Ýmsir þættir koma til sérstakrar skoðunar vegna

⁶⁰ Á vef Statkraft eru nokkuð greinargóðar upplýsingar um þetta verkefni; www.statkraft.com/pub/innovation/tecnology/osmotic_power/concept_of_osmosis.asp.

⁶¹ Sjá má upplýsingar um hollenska verkefnið hér: www.redstack.nl/RS-Pres01/RS-pres_bestanden/frame.htm

⁶² Sjá kynningu NSÍ; www.fjordungssamband.is/fv/upload/files/fjordungsting53/nyir_orkugjafar_a_vestfjordum_this_og_dhg.pdf

mögulegra seltuvirkjana á Íslandi, svo sem hvort grugg eða aurburður í jökulvatni myndi hafa slæm áhrif á virkjun af þessu tagi.

Sama óvissan á við um seltuvirkjanir og flestar aðrar sjávarvirkjanir; þetta er á tilraunastigi og óvíst hvernig til tekst. En í fljótu bragði virðist sem osmósutæknin gæti verið áhugaverð fyrir Ísland, með sitt mikla vatn sem rennur til sjávar.

4.5. Virkjanir sem byggja á varmamismun í hafinu (Ocean Thermal Energy Conversion; OTEC)

Til að þessi sjávarvirkjunartækni sé hagkvæm þarf að vera til staðar hitamunur í sjónum sem er a.m.k. 20 gráður á Celsius og jafnvel meira. Slíkur hitamunur þekkist ekki við Ísland og því kemur þessi tækni ekki til álita hér á landi. Af þeim sökum verður ekki fjallað nánar um þessa tækni hér.



Mynd 20: Íslenskar háspennulínur í vetrarríki.

5. Um framleiðslukostnað raforku

Umfjöllunarefni þessarar skýrsu nær ekki til þess að gera samanburð á framleiðsluverði rafmagns frá mismunandi orkulindum, þ.e. hver sé kostnaður við uppsetningu og rekstur virkjana. Né heldur er hér að finnan neina arðsemisútreikninga á mögulegum virkjunarkostum sjávarorku eða vindorku á Íslandi.

Engu að síður verður hér fjallað í stuttu máli um það hvort raforkuframleiðsla frá vindrafstöð eða sjávarvirkjunum geti mögulega borgað sig á Íslandi. Tilgangurinn er að gefa lesendum vísbendingar um það hvort slíkir virkjunarkostir kunni að vera fjárhagslega hagkvæmir hér á landi og til hvaða atriða þurfi helst að líta við slíkt hagkvæmnismat.

Hagkvæmni hefur aukist hratt í mörgum greinum endurnýjanlegrar orku á síðustu árum vegna mikilla rannsókna og þróunarvinnu. Nú er svo komið að ekki aðeins rafmagnsframleiðsla frá vatnsaflsvirkjunum og jarðvarma, heldur einnig frá hagkvæmstu vindrafstöðvunum, fer mjög nálægt því að vera jafn ódýr og rafmagnsframleiðsla með kolaorku og gasi. Hafa ber í huga að um leið og olía hækkar í verði fylgir gasverðið og kolaverðið gjarnan í kjölfarið og þess vegna er hátt olíuverð vatn á myllu

endurnýjanlegrar orku í þeim löndum sem byggja rafmagnsframleiðslu sína mikið á jarðefnaeldsneyti.

Framleiðslukostnaður raforku fer auðvitað eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig. Vindorkuver eða vatnsaflsvirkjun á einum stað kostar ekki nákvæmlega það sama á öðrum stað, þó svo að framleiðslugetan sé sú sama. Ekki eru til neinir nákvæmir fastar yfir framleiðslukostnaðinn – eða öllu heldur er varasamt að miða við slík verð sem stundum eru gefin upp af hagsmunaaðilum (þá er oftast miðað við verð á uppsettu afli pr. kWh). Engu að síður gefa slíkar viðmiðunartölur mögulega vísbendingu og eru auðvitað meðal þeirra gagna sem höfð eru til hliðsjónar þegar samanburður er gerður á virkjunarkostum.

Þó svo að bæði vatnsafl og jarðvarmi séu taldir mjög góðir kostir á Íslandi eru þetta misdýrir kostir. Almennt er stofnkostnaður jarðhitavirkjana lægri en vatnsaflsvirkjana en á móti kemur að rekstrarkostnaður jarðhitavirkjana er hærri.⁶³ Hvor kosturinn er betri ræðst því mjög af fjármagnskostnaðinum á hverjum tíma. Ekki er sjálfgefið að vatnsafl og jarðvarmi séu ávallt ódýrustu virkjunarkostirnir á Íslandi.

Þessar tvær tegundir endurnýjanlegrar rafmagnsframleiðslu eru líka mjög ólíkar þegar nýtingin er skoðuð. Raforkuframleiðslan frá jarðvarmavirkjunum er jafnari yfir árið en frá íslensku vatnsorkuverunum. Aftur á móti hafa vatnsaflsvirkjanirnar miklu styttri viðbragðstíma til að auka eða minnka álag í raforkukerfinu.⁶⁴ Þess vegna hefur reynst vel að reka jarðgufuvirkjanir og vatnsaflsvirkjanir saman. Jarðgufuvirkjanir sjá kerfinu fyrir grunnafli en vatnsaflinu er beitt við álagsstýringu og það getur annað álagstoppum yfir daginn.

Þessi atriði er vert að hafa í huga þegar t.d. kostir og gallar vindorkuvera eru metnir í samanburði við vatnsafl eða jarðvarma. Vindorkuverin eru óstöðug, en gætu verið góð búbót og nýst vel til að spara miðlunarlón. Einnig er auðvelt að staðsetja vindorkuver

⁶³ Upplýsingar af vef Landsvirkjunar; www.lv.is/faq.asp?catid=8&faq=39#no39

⁶⁴ Upplýsingar af vef Landsvirkjunar; www.lv.is/faq.asp?catid=8&faq=40#no40

Þannig að jarðfræðileg áhætta sé nánast engin. Slík áhætta er aftur á móti umtalsverð þegar reistar eru jarðvarmavirkjanir og skapast oft líka þar sem hagkvæmast þykir að byggja vatnsaflsvirkjanir (þ.e. á eldvirkum eða skjálftavirkum svæðum). Fjölmörg önnur atriði skipta hér máli, t.d. það að unnt er að byggja vindorkuver með litlu jarðraski. Fyrir vikið er vindorkan líklega mun umhverfissvænni kostur en bæði jarðhitavirkjun og vatnsaflsvirkjun. Á móti kemur sjónmengun vegna vindorkuveranna.

Þegar fjallað er um rafmagnskostnað frá vindorkuverum og sjávarorkuvirkjunum, er annars vegar um að ræða vel þroskaðan iðnað (vindorku) þar sem all nákvæmar kostnaðartölur liggja fyrir, en hins vegar er sjávarorkan sem enn er nánast á fósturstigi. Það er m.ö.o. ennþá mjög dýrt að framleiða rafmagn með sjávarorku. En ekki er útilokað að a.m.k. einhver tegund sjávarorku muni innan tíðar verða jafn ódýr raforkuframleiðsla og nú þekkt frá vatnsaflsvirkjunum eða vindorkuverum.

Hvað kostar að framleiða rafmagn með vindrafstöð?

Til eru margar og mismunandi upplýsingar um kostnað við að setja upp vindrafstöðvar. Hér verður ekki farið út í beinar kostnaðartölur, en látið nægja að benda á helstu þættina sem taka þarf tillit til við samanburð á slíkum kostnaði. Í því sambandi má nefna að kostnaður við að setja vindrafstöð út í sjó er oft um 50–70% hærri en það sem gerist á landi. Þá er miðað við sambærilega framleiðslugetu. Kostir þess að setja vindrafstöðvar upp úti í sjó eru aðallega að fá stöðugri og öflugri vind, ásamt því að slík vindorkuver þykja valda minni sjónmengun. Í reynd er kostnaðarmunurinn talsvert minni en nefnt var, sökum þess að rafmagnsframleiðsla vindrafstöðva í sjó er yfirleitt mun jafnari en þeirra sem eru á landi. Þó svo að uppsetningarkostnaðurinn sé mun lægri á landi, getur heildarkostnaður á líftíma virkjunarinnar því verið nokkuð jafn.

Vegna flókinna reglna um verðlagningu á rafmagni og mismunandi uppbyggingar á rafmagnsverði í hinum ýmsu löndum, er samanburður af þessu tagi erfiður. En erlendur samanburður segir oftast að vindorkan sé heldur dýrari en vatnsaflíð. Í samtölum við

starfsfólk íslensku orkufyrirtækjanna og fleiri kom fram að líklega sé kostnaður við raforkuframleiðslu hér á landi heldur lægri en sambærileg raforkuframleiðsla erlendis. Samkvæmt þessu er raforka frá íslenskum orkuverum ódýrari í framleiðslu en t.d. raforka framleidd í bandarískum vatnsaflsvirkjunum. Um þetta er þó í reynd alger óvissa.

Tekið skal fram að líklega er ekki skynsamlegt að byggja um of á erlendum samanburðar-rannsóknum um rafmagnsverð þegar meta þarf hagkvæmni vindrafstöðva á Íslandi. Til að komast að þessu þyrfti að gera hér meiri vindmælingar og eiga samstarf við orkufyrirtækin til að geta metið hagkvæmnina miðað við vatnsafl og jarðvarma. Þar að auki má nefna að í reynd eru ekki til neinar nýlegar marktækar samanburðartölur um það hvað kostar að framleiða rafmagn á Íslandi miðað við önnur lönd.

Sem dæmi fengust eftirfarandi upplýsingar frá Orkuveitu Reykjavíkur: „Við höfum ekki neinar upplýsingar um kostnað við framleiðslu á rafmagni utan Íslands. Við getum því ekki gert neinn samanburð við önnur lönd.“⁶⁵ Ekki bjó Landsvirkjun heldur yfir slíkum samanburði og fylgdi sögunni að slíkar samanburðartölur væru í reynd óaðgengilegar. Ekki er heldur hægt að nota hér samanburðartölur um raforkuverð sem Samorka hefur birt.⁶⁶ Þær taka ekki tillit til þess frá hvaða orkugjöfum rafmagnið kemur og einungis er litið til söluverðsins, en ekki þess hver framleiðslukostnaðurinn er í raun.

Líta þarf til fleiri þátta en bara stofn- og rekstrarkostnaðar

Þegar lagt er mat á það hvað kostar að framleiða rafmagn, er ónákvæmt að líta einungis til beins kostnaðar við uppsetningu virkjunarinnar og rekstrarkostnaðar. T.d. má hafa hliðsjón af því hvað mikilli orku þarf að eyða til að afla orkunnar, þ.e. hversu mikil orka fer í smíði, uppsetningu og framleiðslu virkjunarinnar. Þetta er stundum nefnt endurheimtustuðull eða endurheimtuhlutfall. Það skiptir sem sagt verulegu máli til hvaða

⁶⁵ Tölvupóstur frá Hreini Frímanssýni, sviðsstjóra framleiðslu hjá OR, 3 apríl 2009.

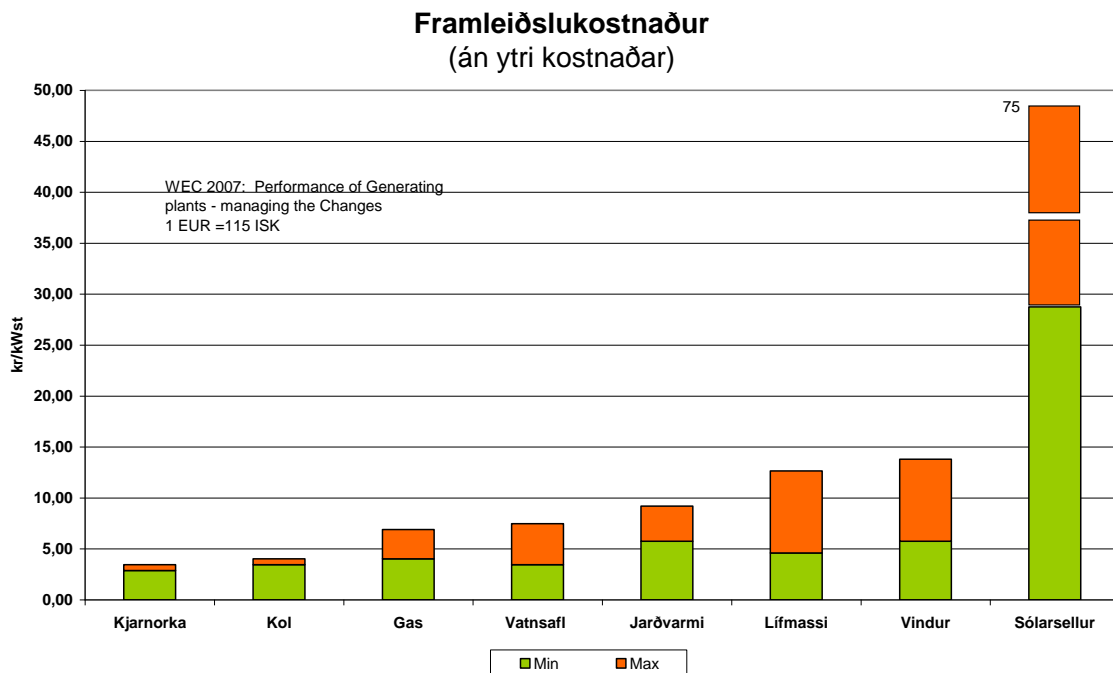
⁶⁶ Sjá má samanburðinn á vef Samorku:

www.samorka.is/Apps/WebObjects/Samorka.woa/1/wa/dp?detail=1000400&id=1000075&wosid=kdCt1gIQGPoIF8Z63gjirg

atriða er litið þegar gerður er samanburður á hagkvæmni mismunandi tegunda af virkjunum.

Erlendis er mjög horft til ytri kostnaðar við samanburð á framleiðslukostnaði rafmagns. Þá eru t.d. kolefnisskattar teknir inn í dæmið. En hér á landi er nánast öll raforka frá endurnýjanlegum orkugjöfum og þess vegna kemur slíkur ytri kostnaður ekki til með að vera hagstæður vindorku eða sjávarorku á Íslandi.

Aftur á móti mætti hér taka tillit til mismunandi landnotkunar þegar gerður er samanburður á t.d. hagkvæmni vindorkuvers og vatnsaflsvirkjunar.



Mynd 21: Framleiðslukostnaður rafmagns án ytri kostnaðar.⁶⁷

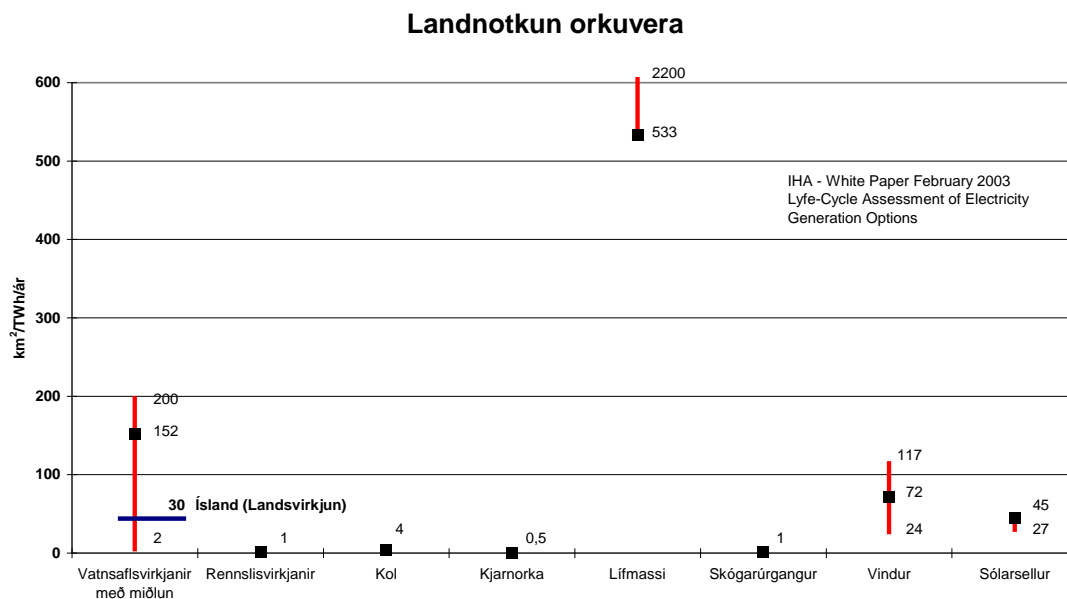
Hér að ofan er dæmi um útreikning á framleiðslukostnaði raforku sem tekinn var saman af Landsvirkjun en byggir á erlendum heimildum. Myndin sýnir framleiðslukostnaðinn án ytri kostnaðar. Samkvæmt þessu er kostnaðurinn við framleiðslu á vindraforku oft

⁶⁷ Þessi mynd, ásamt myndunum á næstu tveimur blaðsíðum, er úr samantekt eftir Agnar Olsen hjá Landsvirkjun og er frá því í júní 2008. Birt með góðfúslegu leyfi Þorsteins Hilmarssonar, upplýsingastjóra Landsvirkjunar.

umtalsvert hærri en almennt gildir um vatnsaflíð, a.m.k. þegar einungis er litið til beins framleiðslukostnaðar.

Þetta er þó ekki algilt. Uppsetningarkostnaður vindorkuvers getur í sumum tilvikum verið svipaður miðað við uppsett afl (framleiðslugetu) og byggingarkostnaður vatnsaflsvirkjunar. En nýting á vindorkunni er mun lakari og einnig er líftími vatnsaflsvirkjana lengri. Fyrir vikið er vatnsaflíð oft hagkvæmari kostur.

Næsta mynd – sem sést hér að neðan – sýnir aftur á móti samanburð á því hversu mikið land þarf að setja undir hinar mismunandi virkjanir. Enn og aftur ber að ítreka að þetta fer mjög eftir aðstæðum á hverjum stað.

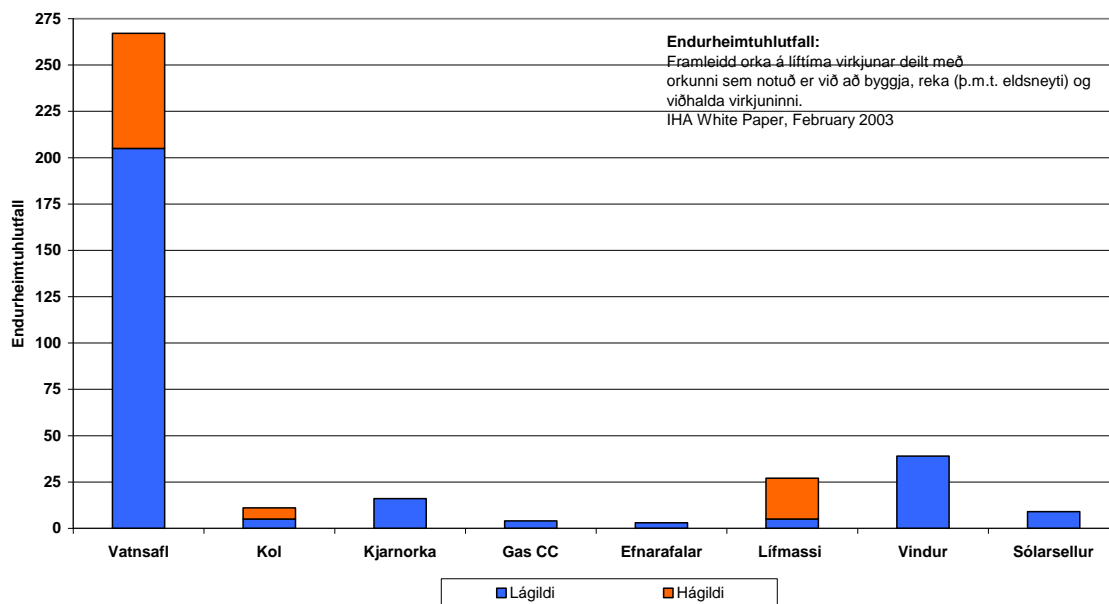


Mynd 22: Landnotkun mismunandi tegunda af orkuverum.

Þessi samanburður er hagstæður vindorkuverum miðað við vatnsaflsvirkjanir með miðlunarlón. Hér má minna á að stundum er vatnsafl virkjað í rennslisvirkjunum; þessi virkjunarkostur er t.d. mjög í skoðun núna í stóráráðgjöf. Rennslisvirkjanir krefjast mjög lítillar landnotkunar. Sama er að segja um sjávarvirkjanir – enda er virkjunin sjálf í sjó.

En þó svo að vatnsaflsvirkjanir kalli oft á mikla landnotkun, kemur á mótí að endurheimtuhlutfall þeirra er mjög mikið. Það skýrist einna mest með löngum líftíma slíkra virkjana; vatnsaflsvirkjun framleiðir gríðarmikla orku á líftíma sínum miðað við orkuna sem fór í að reisa virkjunina. Þarna slær vatnsaflíð vindorkunni við, eins og sá má á næstu mynd:

Raforkuframleiðsla - endurheimtuhlutfall (payback ratio)



Mynd 23: Endurheimtuhlutfall mismunandi tegunda af raforkuframleiðslu.

Eins og sést á framangreindum myndum er sjávarorkan ekki tekin þar með í reikninginn, enda er sú raforkuframleiðsla ennþá miklu vanþróaðri en t.d. vindorkuiðnaðurinn eða sólarorkuiðnaðurinn. Líklega er vafasamt að treysta tölum um kostnað við raforkuframleiðslu frá sjávarvirkjunum sem enn eru á fósturstigi. Bæði er að þetta eru einhliða upplýsingar frá framleiðendunum, sem eru í harðri innbyrðis samkeppni, og auk þess verður að hafa í huga að kostnaður í sjávarorkuiðnaðinum á líklega eftir að lækka umtalsvert á komandi árum.

Sjávarvirkjanir eru enn of óþroskaðar til að unnt sé meta hagkvæmni þeirra

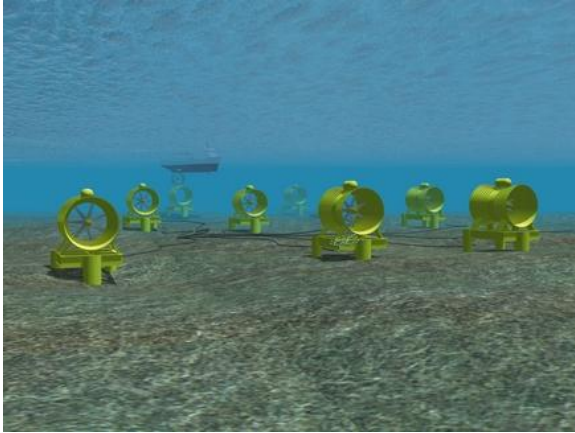
Á Orkuþingi 2006 kom fram að það kostar u.þ.b. fjórum sinnum meira að framleiða rafmagn frá sjávarfalla- og straumvirkjunum en frá íslenskum vatnsafls- og jarðvarmavirkjunum.⁶⁸ Þá er miðað við að hámarksstraumhraðinn sé á bilinu 2,5–5 m/s og dregin sú ályktun að sjávarvirkjanir borgi sig ekki hér nema hámarksstraumhraðinn sé 8–10 m/s. Það þýðir að einungis fáeinir staðir í Breiðafirði koma raunverulega til álita fyrir svona virkjanir hér á landi – miðað við kostnaðinn eins og hann er nú og verður í allra nánustu framtíð.

Sumir telja að önnur sjávarorka en orka sjávarfallavirkjana geti hugsanlega nýst þar sem sjávarstraumar eru heldur veikari. Sú tækni öll er jafnvel ennþá óþroskaðri en nýju sjávarfallavirkjanirnar og enn fer því fjarri að ljóst sé hver framleiðslukostnaður raforkunnar kemur til með að verða.

Eins og staðan er nú er ekki líklegt að sjávarorkuvirkjun verði byggð við Ísland í nánustu framtíð. Þá eru undanskildar sjávarfallavirkjanir sem hugsanlega kunna að verða byggðar í Breiðafirði eins og áður hefur verið greint frá. Engu að síður kann að koma til greina að byggja sjávarvirkjun t.d. í Reykjanesröstinni eða jafnvel enn frekar við Vestfirði vegna þess hversu óáreiðanlegt framboð af rafmagni er þar. Í samtölum við íslenska vísindamenn kom fram að Hrútafjörður gæti verið sérstaklega áhugaverður kostur.

Hér verður ekki reynt að gera heildarsamanburð á því hvað rafmagn frá vindorkuveri eða sjávarorkuveri myndi kosta á Íslandi miðað við vatnsafl og jarðvarma. En hvað sem því líður gætu þarna verið á ferðinni athyglisverð efnahagsleg tækifæri, eins og nú verður vikið að.

⁶⁸ Sjá kynningu Geirs Guðmundssonar sem starfar hjá Nysköpunarmiðstöð Íslands.



Mynd 24: Teikning af hugmynd Lunar Energy um sjávarvirkjun á hafsbötni.

6. Efnahagsleg tækifæri fyrir Ísland?

Nýlega hafa orðið umtalsverðar breytingar á lagaumhverfi bæði í Bandaríkjunum og Evrópusambandinu sem hvetja til meiri fjárfestinga í endurnýjanlega orkugeiranum. Þetta gefur tilefni til þess að við Íslendingar íhugum vandlega hvort og með hvaða hætti við getum leikið stærra hlutverk í virðiskeðju endurnýjanlega orkugeirans.

Einhver stærsti óvissuþátturinn og áhrifavaldurinn í vindorkuiðnaðinum og flestöllum öðrum greinum endurnýjanlegrar orku í heiminum er olíuverð. Hækkandi olíuverð framan af hinni nýju öld hafði mjög jákvæð áhrif á fjárfestingar í endurnýjanlegri orku. Þetta gerðist einnig á 8. áratug liðinnar aldar, í kjölfar olúkreppunnar 1973–4 og mikilla olíuverðshækkana sem hún olli.

Frá miðju ári 2008 hefur olíuverð lækkað verulega á ný. Haldist verðið lágt næstu árin kann að vera tilefni til að óttast að talsvert hægi á fjárfestingum og allri tækniþróun í endurnýjanlegri orku. Jafnvel þó að vindorka sé orðin vel þróuð og hagkvæmnin nálgist það sem t.d. þekkist hjá vatnsaflsvirkjunum og jafnvel gasorkuverum, hafa vindorkufyrirtæki fundið fyrir afleiðingum lægra olú- og gasverðs og þó fyrst og fremst

erfiðleikum vegna lánsfjárcreppu. Erfiðara hefur orðið að fjármagna ný vindorkuver og framleiðendur hafa einnig þurft að doka við með útrás sína.

Þrátt fyrir að olíuverðlækkarnir nú minni sumpart á það sem gerðist á 9. áratugnum er staðan á orkumörkuðunum nú allt önnur en þá var. Á 9. áratugnum var olúsjálfstæði Vesturlanda t.a.m. miklu mun meira en er í dag. Þá voru nýjar olíulindir í Alaska og Norðursjó mikilvæg uppspretta olíu, en í dag eru nýjar olíulindir af því tagi ekki í auglýsni á Vesturlöndum. Horfur eru á að Vesturlönd muni á næstu árum smám saman verða ennþá háðari innflutningi á olíu frá Mið-Austurlöndum. Sama má segja um gasinnflutning Japana og Evrópu sem er mjög háð rússnesku gasi. Þetta minnkandi orkusjálfstæði bæði Bandaríkjanna og Evrópu er einn helsti hvatinn að því hversu mikil áhersla er nú lögð á það beggja vegna Atlantshafsins að auka innlenda orkuframleiðslu. Það er einhver mikilvægasti hvatinn til stóraukinnar fjárfestingar í endurnýjanlegri orku og það gæti komið íslenskri orkuþekkingu til góða. Þetta gæti m.a. valdið því að orkuflutningar um langar leiðir með sæstreng verði hagkvæmur kostur.

Það er fyllsta ástæða til að ætla að endurnýjanlegi orkugeirinn spjari sig þrátt fyrir að ýmsar blikur séu á lofti. Þó svo að ekkert sé víst í þessum heimi kann að vera tilefni fyrir íslensk stjórnvöld að marka þá stefnu að Ísland verði leiðandi á fleiri sviðum orkugeirans en jarðhita. Þá er komið að spurningunni hvort hér á Íslandi gæti byggst upp vindorkuiðnaður eða sjávarorkuiðnaður?

Ekki er raunhæft að hér á landi byggist upp öflugt vindorkufyrirtæki, þ.e. fyrirtæki sem sérhæfir sig í hönnun, þróun og smíði þeirra mannvirkja og tækja sem notuð eru í vindrafstöðvar. Vindorkuiðnaðurinn er orðinn mjög þróaður og á undanförunum árum hefur orðið mikil samþjöppun í greininni. Þar eru fáein stórfyrirtæki með yfirburðastöðu á markaðnum, eins og Vestas og Siemens. Að auki eru vissulega rekin mörg smærri fyrirtæki, en það er tvímælalaust mjög erfitt að hasla sér völl í þessari iðngrein, svo ekki sé fastar að orði kveðið. Möguleikar Íslands í vindorkunni takmarkast því líklega við það að unnt sé að virkja þetta afl hér á landi.

Hafa ber í huga að íslensk stjórnvöld og/eða íslenskar stofnanir gætu e.t.v. að umtalsverðu leyti fjármagnað rannsóknir á möguleikum bæði vindorku og sjávarorku á Íslandi með framlögum úr sjóðum á vegum Norðurlandaráðs. Á Norðurlöndunum er nú mikill áhugi á að svæðið verði í fararbroddi í uppbyggingu á endurnýjanlegri orku. Í þessu skyni hefur verið komið á fót akveðnu sjóðakerfi, sem ætlað er að stórefla rannsóknir á þessu sviði.⁶⁹

Danir eru sú þjóð sem hefur náð að skapa sér sterkasta stöðu í vindorkuiðnaðinum. Það má upphaflega rekja til danska vindorkufyrirtækisins Vestas og markvissra aðgerða danskra stjórnvalda til að efla þennan iðnað. Þessi stefna var mörkuð meðan vindorkuiðnaðurinn var enn mjög óþroskaður. Fyrir vikið er Danmörk nú leiðandi í þessum stóra og mikilvæga iðnaði og skýtur þar alþjóðlegum risafyrirtækjum ref fyrir rass.

Þegar fram liðu stundir byggðist mikill vöxtur Vestas ekki á innanlandsmarkaðnum, heldur fyrst og fremst á sölu til annarra landa. Nú síðast hafa Bandaríkin og Kína orðið æ mikilvægari markaður fyrir Vestas-vindrafstöðvar. Þetta hefði ekki gerst, nema vegna þess að dönsk stjórnvöld gerðu sér ljóst hve mikilvægt var að hlúa að þessum iðnaði meðan fyrirtækið var að stækka og eflast og sýndu þar þá þolinmæði sem er bráðnauðsynleg þegar um er að ræða nýjan geira í endurnýjanlegri orku.

Sérstaklega áhugavert gæti verið fyrir íslensk stjórnvöld að stefna að því að Ísland verði leiðandi á sviði sjávarvirkjana. Að mati skýrsluhöfundar er réttlætanlegt að spá því að eftir um það bil 20–25 ár hafi sjávarorkan álíka stöðu í heiminum og vindorkuiðnaðurinn hefur í dag. Þau lönd sem hlúa að uppbyggingu sjávarorku gætu sem sagt orðið leiðandi í öflugum og mjög hratt vaxandi iðnaði.

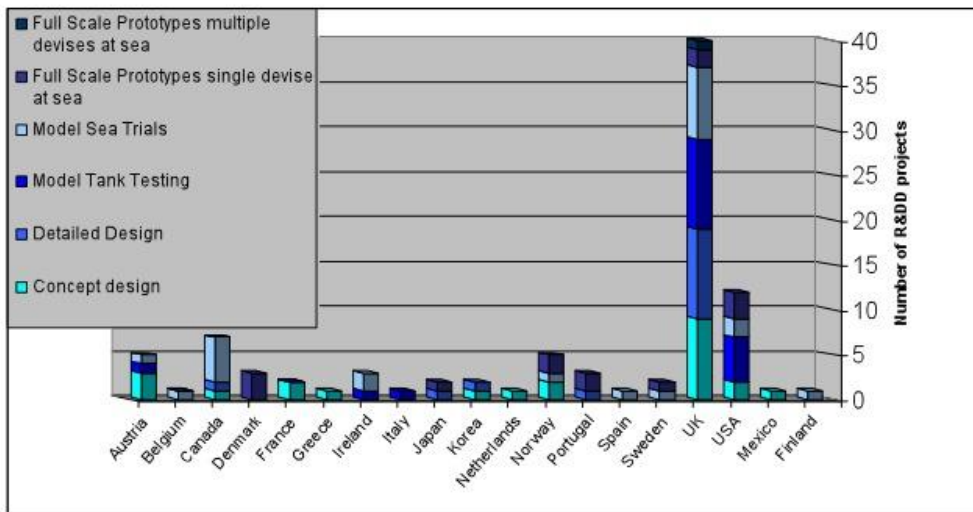
Til að gefa vísbendingu um það hversu stór þessi iðnaður gæti orðið má taka áætlanir skoskra stjórnvalda sem dæmi. Þar hafa menn sett sér það markmið að meira en 30%

⁶⁹ Sjá t.d. upplýsingar á eftirfarandi vefsvæðum: www.nordicenergy.net/onenews.cfm?Id=3-169&path= og www.nordicenergysolutions.org.

raforkunnar komi frá endurnýjanlegum orkulindum árið 2012 og að þetta hlutfall verði komið í 50% árið 2020.⁷⁰ Ekki hefur verið sundurliðað nákvæmlega hvernig þetta rafmagn skuli framleitt, en hvað mestar vonir eru bundnar við virkjun sjávarorkunnar vegna hagstæðra náttúrulegra aðstæðna.

Þessar metnaðarfullu áætlanir Skota hafa verið réttlættar með því að benda á að framleiðslukostnaður vindorku lækkaði um nærri 70% á tíu ára tímabili á níunda áratugnum og upphafi þess tíunda. Það sé því rökrétt að innan eins til tveggja áratuga verði risinn öflugur sjávarorkuiðnaður í heiminum sem mun velta gífurlegum fjármunum. Þarna gæti myndast iðnaður þar sem afar áhugavert væri fyrir Ísland að leika hlutverk.

UK role in Marine Energy



4/11/09

15

Mynd 25: Hér má sjá hvaða lönd eru með flest rannsóknarverkefni í sjávarorku.

⁷⁰ Sjá skýrslu skoskra stjórnvalda frá 2008; Sustainable Development Commission: “On Stream – Creating energy from tidal currents”.

Auk Bretlandseyja eru Bandaríkin og Kanada dæmi um ríki sem hafa lagt talsverða vinnu í að meta möguleika sjávarvirkjana heima fyrir.⁷¹ Næst á eftir þessum þremur löndum í þróun sjávarvirkjana koma svo Norðmenn. Það vill m.ö.o. svo til að nágrannar Íslands beggja vegna Alantshafsins eru afar áhugasamir um sjávarvirkjanir og stjórnvöldum í þessum löndum er talsvert umhugað umað styðja við bakið á þessum unga iðnaði.

Einnig er athyglisvert að árið 2007 kynnti viðskiptaráð Bretlands (UK Trade & Investment) hugmynd um samstarf við Ísland á sviði endurnýjanlegra orkugjafa. Þessi hugmynd var sérstaklega nefnd í tengslum við kynningu á breskri þekkingu á sjávarorkutækni.⁷² Því má hugsanlega álykta sem svo að bresk stjórnvöld myndu sýna áhuga á samstarfi við Íslendinga um rannsókir og þróun innan þessa iðnaðar.

Eins og staðan er í dag, virðist líklegast að Bretland og Bandaríkin muni verða „Danmörk sjávarorkunnar“ og jafnvel einnig Kanada, Noregur og/eða Írland. En þarna gæti Ísland líka átt tækifæri. Með því að bjóða hagstæð skattakjör til fyrirtækja sem nú þegar hafa náð athyglisverðri framþróun í virkjun sjávarorku, gæti Ísland hugsanlega orðið þátttakandi í þessari þróun. Samfara slíkri ráðstöfun má hugsa sér að lögð verði sérstök áhersla á sjávarorku innan verkfræðideildar Háskóla Íslands og/eða Háskólans í Reykjavík.

Sú mikla þekking sem hér er innan stofnana eins og t.d. Hafrannsóknastofnunar, Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands (áður Iðntæknistofnunar), Orkustofnunar, Siglingastofnunar og Veðurstofnunar kemur að góðum notum við slíka framkvæmd. Og ekki síður sú mikla verkfræðiþekking sem Íslendingar af aflað sér með orkuuppbyggingu sinni. Fyrst og fremst þyrftu stjórnvöld þó að vera sér meðvituð um sitt lykilhlutverk; bæði gagnvart rekstrarumhverfinu og líka því að efla hér rannsóknir og mælingar á t.d. straumum, sjávarföllum, ölduhæð og öðru því sem mikilvægt er í tengslum við rekstur og

⁷¹ Sjá t.d. skýrslu um sjávarfallavirkjanir í Bresku Kólumbíu í Kanada frá 2004: “Green Energy Study for British Columbia - Phase 2 – Tidal Current Energy”, unnin af kanadískri verkfræðiskrifstofu og ráðgjafafyrirtæki.

⁷² Kynning UK Trade & Investment í Reykjavík, 17. apríl 2007.

hagkvæmni sjávarvirkjana. Að sama skapi eru ítarlegri vindrannsóknir lykilatriði til að geta lagt raunsætt mat á hagkvæmni vindorkuvera á Íslandi.



Mynd 26: Vindorkuver á sléttum Innri-Mongólíu í Kína.

7. Niðurstöður



















Hér landi er staðan sú að enn er mikið af óvirkjaðri vatnsorku og sama er að segja um jarðvarma. Ekki er unnt að komast að neinni skýrri niðurstöðu um það hvort Íslandi bjóðist góð tækifæri í virkjun vindorku eða sjávarorku, nema hér verði fyrst ráðist í meiri rannsóknir á þessum virkjunarkostum og bætt við ýmsar grunnupplýsingar sem eru alger forsenda þess að meta hagvæmni og arðsemi þessara virkjunarkosta.

Ef eingöngu yrði litið til arðsemissjónarmiða við raforkuframleiðslu kann að vera ólíklegt að hér rísi stórt vindorkuver eða sjávarvirkjun í náninni framtíð. Um þetta ríkir þó í reynd óvissa sem ekki verður eytt nema hér verði t.d. gerðar meiri og nákvæmari vindmælingar í þeirri hæð sem hentar nútíma vindorkuverum. Þá er sjávarorkutæknin ennþá of vanþróuð til að unnt sé að bera hana saman við aðra virkjunarkosti.

Vafsamt er að líta eingöngu til beins kostnaðar við uppsetningu og rekstur virkjana. Sé höfð hliðsjón af fleiri atriðum er t.d. mögulegt að vindrafstöðvar þyki áhugaverður og hagstæður virkjunarkostur á Íslandi þrátt fyrir að vera eitthvað dýrari en hefðbundnar íslenskar virkjanir.

Dæmi um slíka þætti, sem eðlilegt kann að vera að taka tillit til, eru t.d. landnotkun og umhverfisáhrif. Vindorkuvirkjanir hafa lítil sem engin óafturkræf áhrif á umhverfið og þetta á væntanlega líka við um hinar nýju tegundir sjávarvirkjana. Stórar vatnsaflsvirkjanir hafa aftur á móti almennt mun meiri varanleg umhverfisáhrif. Í samræmi við þetta og það sem sagði hér fyrir í 5. kafla um kostnað við raforkuframleiðslu má setja upp mynd sem sýnir grófan samanburð á mismunandi virkjunarkostum:

Raforkuframleiðsla á Íslandi

	 Vatnsafl / jarðvarmi	 Vindorka	 Sjávarorka
Framleiðslukostnaður			
Ytri kostnaður			
Landnotkun			
Endurheimtuhlutfall			
Niðurstaða			

© Askja Energy 2009

Mynd 27: Samanburður á hagkvæmni sjávarorku, vindorku og hefðbundinnar raforkuframleiðslu á Íslandi.⁷³

Til skýringar skal tekið fram að grænu örvarnar merkja einfaldlega að kosturinn er hagfelldur eða jákvæður, gulu örvarnar merka að kosturinn er heldur lakari og rauð ör tákna að verulega hallar á viðkomandi virkjanakost. Taka ber fram að talsverð óvissa er um enduheimtuhlutfall sjávarorkuvirkjana, en á móti kemur að þar á

⁷³ Þessi mynd er m.a. dregin upp með hliðsjón af áður nefndri samantekt eftir Agnar Olsen hjá Landsvirkjun frá 2008. Höfundur myndarinnar er Ketill Sigurjónsson.

framleiðslukostnaðurinn væntanlega eftir að lækka umtalsvert á næstu árum eða áratugum. Einnig skal bent á að líklega mætti vel réttlæta rauða ör vegna landnotkunar þegar litið er til vatnsaflsvirkjana. Miðlunarlónin geta verið mjög stór og hafa þá eðli málsins samkvæmt mikil áhrif á landnotkun, eins og áður hefur verið minnst á.

Miðað við þessar einföldu forsendur sem myndin tekur tillit til, er staðan nú sú að vindorka telst almennt heldur lakari kostur hér á landi en vatnsorka eða jarðvarmi. Það sama má tvímælalaust segja um sjávarorkuna. Nú getur hún reyndar ekki talist raunhæfur kostur til umfangsmikillar raforkuframleiðslu, nema á þeim örfáu stöðum í heiminum þar sem straumar er mjög miklir, hvað svo sem verður í framtíðinni.

Í þessu sambandi má minna á að sama mátti segja um vindorkuna fyrir um það bil aldarfjórðungi, en nú er vindorkuiðnaðurinn mjög stór og undirstaða afar öflugra fyrirtækja. Ef t.d. mikil þróun verður í gerð ölduvirkjana, hinna nýju seltuvirkjana eða kostnaður við straum- og sjávarfallavirkjanir minnkar verulega, er vel mögulegt að sjávarvirkjanir verði öflugur og samkeppnishæfur iðnaður.

Í reynd er þessi myndræna niðurstaða einungis ónákvæm vísbending. Til að fá raunhæfa mynd af því hvort vindorka og/eða sjávarorka séu álitlegir kostir hér á landi, þarf miklu ítaregri rannsóknir á vindi annars vegar og straumum og sjávarföllum hins vegar.

Af efni þessarar skýrslu skulu nú teknar saman helstu niðurstöður og settar fram tillögur um næstu skref.



Mynd 28: Vindorkuver utan við strendur Danmerkur.

7.1. Virkjun vindorku og uppbygging vindorkuiðnaðar á Íslandi –niðurstöður

Gríðarleg vindorka er á Íslandi og ekki er ólíklegt að virkjun hennar sé að einhverju marki raunhæfur og hagkvæmur kostur hér á landi. Um þetta er þó ekki unnt að fullyrða nema ráðist verði í sérstakar rannsóknir og nákvæmari mælingar á vindi á áhugaverðustu svæðunum. Til að meta hagkvæmni þess að virkja þessa orku er lykilatriði að ráðast í meiri mælingar á vindi og þá sérstaklega mæla vindinn í meiri hæð en gert hefur verið fram til þessa.

Kannski má segja að Ísland sé bæði besta og versta landið til að beisla vindorkuna. Best vegna mikils meðalvinds, en slæmt vegna þess hversu vindurinn hér er óstöðugur, stórvíðri tíð og vegna þess að ekki er unnt að flytja þá raforku til notenda erlendis.

Fremur ólíklegt er að vindorka verði mjög stór þáttur í raforkuframleiðslu á Íslandi, nema til komi útflutningur á rafmagni um sæstreng. Ástæðan er einfaldlega sú að raforkuframleiðsla af þessu tagi er mjög óstöðug. Afar hátt hlutfall raforkunnar hér á

landi fer til stóriðju og sá iðnaður má ekki við óstöðugu raforkuframboði. Meðan ekki er unnt að selja íslenskt rafmagn beint til útlanda er óraunsætt að ætla að hlutfall vindorku í raforkuframleiðslunni hér færi umfram ca. 5–10% og líklega er það nálægt lægra gildinu.

Engu að síður er fullt tilefni til að kanna nánar hagkvæmni vindorkunnar hér á landi, enda gæti hún t.d. reynst hagkvæm til að spara uppistöðulón og minnka þörfina á nýjum umdeildum vatnsafls- eða jarðvarmavirkjunum.

Skynsamlegast er að beina sjónum að landshlutum þar sem vindskilyrði eru hagstæð samkvæmt fyrirbyggjandi mælingum, en einnig mætti t.d. hafa hliðsjón af því hvaða svæði eiga ótraustan aðgang að raforku frá vatnsafla eða jarðvarma.

Vísbendingar eru um að náttúrulegar aðstæður fyrir vindorkuver á Íslandi séu hvað bestar á nokkrum svæðum á Suðurlandsundirlöndinu. Til að geta svarað þessu þarf þó að gera vindmælingar í mun meiri hæð en gert hefur verið fram til þessa. Vegna fjármögnunar á slíkum rannsóknum kunna að vera tækifæri á vettvangi Norðurlandasamstarfsins.

Ekki er líklegt að hér á Íslandi geti byggst upp umtalsverður iðnaður tengdur vindorku. Vindorkuiðnaðurinn er háþróaður og þar hefur mikil samþjöppun átt sér stað. Hér á landi er hvorki stór markaður, sérþekking, hráefni né annað sem gerir Ísland sérstaklega aðlaðandi í augum fyrirtækja sem starfa í vindorkuiðnaðinum.

Lagt er til að gerðar verði ítarlegri vindmælingar á nokkrum stöðum sem núverandi veðurfarsgögn benda til að hagstæðir séu fyrir raforkuframleiðslu með vindorku. Sérstaklega er áriðandi að vindmælingar verði gerðar í meiri hæð en gert hefur verið fram til þessa, þ.e. að vindur verði mældur í 50–80 m hæð og jafnvel hærra. Sennilega eru Gufuskálar heppilegastir í þessu skyni vegna masturs sem þar er nú þegar, en einnig er mikilvægt að gera slíka mælingar á fleiri stöðum á landinu. Svæði á Suðurlandsundirlöndinu eru hvað áhugaverðust í þessu skyni. Til að hafa umsjón með þessu er lagt til að komið verði á fót vinnuhópi sérfræðinga, bæði sérfræðinga í veðurfari og í orkumálum, þ.m.t. frá stærstu orkufyrirtækjunum. Starfshópurinn meti hvaða

rannsóknir þurfi að ráðast í til að kortleggja hvort og þá hvar vindrafstöðvar gætu verið hagstæður kostur á Íslandi.



Mynd 29: Unnið að samsetningu á ölduorkuvirkjuninni Oyster hjá skoska fyrirtækinu Aquamarine Power.

7.2. Virkjun sjávarorku og uppbygging sjávarorkuiðnaðar á Íslandi – niðurstöður

Virkjun á sjávarorku er almennt ung og óþroskuð iðngrein, en gæti orðið sá hluti hins endurnýjanlega orkugeira sem vex hvað hraðast næstu áratugin.

Virkjun sjávarorku má greina í tvennt eftir því hversu mikil reynsla er komin á viðkomandi tækni. Annars vegar eru *hefðbundnar sjávarfallavirkjanir* sem byggjast á virkjun hæðarmunar sjávarfalla með stíflu og hafa lengi verið í notkun á nokkrum stöðum í heiminum, þótt fáar séu.

Hins vegar eru annars konar sjávarvirkjanir. Sumar þeirra eiga ýmislegt sameiginlegt með sjávarfallavirkjunum (*sjávarfallastraumavirkjanir* og aðrar *straumvirkjanir*, þ.m.t. *hringiðuvirkjanir*), en aðrar eru mjög ólíkar (*ölduvirkjanir* og *seltuvirkjanir*).

Sjávarfallavirkjanir, þar sem reist er stífla fyrir fjörð eða sund, eru ennþá eina tegund sjávarvirkjana sem fengist hefur veruleg reynsla af. Aftur á móti þykja slíkar sjávarfallavirkjanir stundum óæskilegar vegna neikvæðra umhverfisáhrifa.

Síðustu ár hefur verið unnið að ýmsum hugmyndum um annars konar sjávarvirkjanir en að virkja sjávarföllin með stíflum. Þetta eru virkjanir sem geta haft lítil umhverfisáhrif. Þær felast bæði í nýrri tækni til virkjunar á sjávarföllum og í því að virkja ölduorkuna og jafnvel venjulega hafstrauma. Einnig eru aðrir virkjunarkostir mögulegir, þ.e. hringiðuvirkjanir og seltuvirkjanir.

Enn alveg óvíst hvaða tækni sjávarvirkjana reynist hagkvæmust. Talsvert mikla vonir eru bundnar við það að slíkar virkjanir geti í framtíðinni orðið raunhæfur og mikilvægur kostur til rafmagnsframleiðslu. Margar tegundir sjávarvirkjana hafa t.d. þann kost umfram vindorku að hafa enn minni umhverfisáhrif og valda sama sem engri sjónmengun. Þetta gerir virkjun sjávarorku að sérlega áhugaverðum kosti ef unnt verður að gera hana nægjanlega hagkvæma.

Hin nýja sjávarvirkjunartækni gæti hentað vel á nokkru svæðum við Ísland. Þar eru sjávarfallavirkjanir hvað áhugaverðastar, en einnig myndu koma hér til skoðunar aðrar tæknilausnir. Athugandi væri að kanna sérstaklega hvort slíkar sjávarvirkjanir kæmu til álita á svæðum sem eiga ótraustan aðgang að raforku frá vatnsafli eða jarðvarma, svo sem á Vestfjörðum.

Ómögulegt er að segja til um hvort ölduvirkjanir, hvað þá hringiðuvirkjanir, verði einhvern tíma góður kostur við Ísland. Úthafsaldan er mjög sterk og myndi jafnvel eyðileggja ölduvirkjanir, t.d. ef þær væru settar upp utan við Suðurströndina þar sem aflið er mest, nema þær væru hafðar í vari innan við sjóvarnargarða. Þetta er engu að síður

kostur sem vert er skoða og rétt er að fylgjast vel með þróun hans. Seltuvirkjanir, þ.e. osmósavirkjanir, gætu einnig reynst raunhæfur kostur við Ísland.

Nú eru tilraunir með þróun sjávarorku einkum gerðar við strendur Bretlandseyja og Bandaríkjanna en einnig má t.d. nefna Noreg og Kanada. Náttúrulegar aðstæður hér, fjölbreytt gerð strandsvæðanna við landið, strjálbýli og gott aðgengi að svæðum við ströndina kunna að henta mjög vel til þróunar á þessari tækni. Einnig myndi verkfræði- og tækniþekking Íslendinga á vatnsaflsvirkjunum vafalítið nýtast vel í þessu skyni. Því er fyllsta ástæða til að íslensk stjórnvöld hugi vel að möguleikum á því að laða hingað fyrirtæki og fjárfesta sem áhuga hafa á sjávarvirkjunum.

Ísland gæti með því móti mögulega orðið leiðandi í þróun og byggingu sjávarvirkjana og hér gætu orðið til fyrirtæki með umtalsverða yfirburði í hinum alþjóðlega sjávarorkuiðnaði. Tæknin er enn skammt á veg komin erlendis og náttúrulegar aðstæður og íslensk tækni- og verkfræðiþekking eru góður grunnur til að byggja á. Jafnframt væri mikilvægt að fá núverandi orkufyrirtæki á Íslandi til að taka þátt í að afla þekkingar á sjávarorkutækni.

Miklar vonir eru bundnar við að sjávarvirkjanir muni þróast nokkuð hratt og verði brátt hagkvæmur virkjunarkostur víða um heim. Þetta gæti gerst með svipuðum hætti og gerðist í vindorkuiðnaðinum, þ.e. að bygging og raforkuframleiðsla með sjávarvirkjunum verði umsvifamikill og ábatasamur iðnaður innan 20 ára eða svo.

Mikill áhugi er á uppsetningu sjávarvirkjana í þeim ríkjum sem leggja ríka áherslu á aukið hlutfall endurnýjanlegrar orku og njóta hagstæðra náttúrulegra aðstæðna fyrir virkjanir af þessu tagi. Líklega verða Bretlandseyjar og nokkur svæði Bandaríkjanna mikilvægasti markaðurinn a.m.k. til að byrja með. Segja má að þessi iðnaður sé nú í svipaðri stöðu og vindorkuiðnaðurinn var um eða upp úr 1975 og að þróun sjávarorkuiðnaðarins geti orðið sambærileg við það sem varð í vindorkunni. Þetta gæti m.ö.o. orðið sá hluti hins endurnýjanlega orkugeira sem hraðast vex næstu áratugina.

Ef íslensk stjórnvöld marka sér þá stefnu að afla sér þekkingar á sjávarorku og geri sitt til að laða hingað fyrirtæki og fáfesta á sviði sjávarorku frá t.a.m. Bretlandi, Írlandi og Bandaríkjunum, er mögulegt að þetta gæti í framtíðinni orðið mikilvæg iðngrein á Íslandi. Skapa þyrfti atvinnugreininni skýra og öfluga hvata, væntanlega í gegnum skattkerfið, til að laða hingað fjarfestingar í þessu skyni.

Í þessu sambandi má líta til þess hvernig danska vindorkufyrirtækið Vestas hefur þróast, en það er nú með um fjórðungshlutdeild á heimsmarkaðnum fyrir vindrafstöðvar og eitt af þeim fyrirtækjum sem mikilvægust hafa verið í því að skapa Danmörku jákvæða og hreina ímynd.

Sjávarorka er því athyglisverður kostur fyrir Íslendinga, bæði vegna möguleika á að nýta þessa orku hér við land og jafnvel enn frekar sökum þess að Ísland gæti orðið leiðandi á sviði tækniþróunar í þessari ungu en ört vaxandi iðngrein. Það gæti leitt til fjölda nýrra starfa hér á landi og skapað nýjar útflutningstekjur. Um leið gæti virkjun sjávarorkunnar og uppbygging íslensks sjávarorkuiðnaðar veitt Íslandi ímynd í anda þess sem vindorkan hefur veitt Danmörku og skapað okkur mikilvægt hlutverk í þessum iðnaði.

Lagt er til að íslensk stjórnvöld íhugi af mikilli alvöru þann möguleika að Ísland verði í fararbroddi í sjávarorkuiðnaðinum og setji sér metnaðarfull en raunhæf markmið til að svo megi verða. Í þessu skyni verði sett saman teymi sérfræðinga til að gera útarlegri úttekt á möguleikum sjávarorku, semja skýrar tillögur um hver markmiðin skuli vera og útlista leiðir að takmarkinu. Viðkomandi teymi athugi sérstaklega með möguleika á að vekja áhuga fremstu sjávarorkufyrirtækja heims á Íslandi sem heppilegum stað til tilrauna og tækniþróunar.



Eftirmáli

Höfundur þessarar skýrslu er Ketill Sigurjónsson, lögfr. og MBA. Margir lögðu til ýmsar upplýsingar, ráðleggingar og aðra aðstoð; þ.á m. starfsfólk hjá Hafrannsóknastofnun, Háskóla Íslands, Iðnaðarráðuneytinu, Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Orkustofnun, Siglingastofnun og Veðurstofnunni, svo og ýmsir aðrir einstaklingar. Þeim öllum eru hér með færðar bestu þakkir.

Frumkvæðið að þessari vinnu átti Össur Skarphéðinsson iðnaðarráðherra. Samantektin var unnin á fremur skömmum tíma og ef þar er að finna einhverja misfellur, missagnir eða rangfærslur skrifast þær alfarið á ábyrgð höfundar.

Reykjavík, 20. apríl 2009

Ketill Sigurjónsson

Tölvupóstur: ketillsigurjonsson@gmail.com

Farsími: 863-8333



*Mynd 30: Þangrafstöð?
Hugmyndaflugið virðist takmakalaust þegar kemur að
hönnun sjávarvirkjana. Þetta er mynd af hönnun ástralska
fyrirtækisins Bio Power Systems.*

