

Skýrsla iðnaðar- og viðskiptaráðherra
um mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku,
samin af starfshópi skipuðum af ráðherra.

(Lögð fyrir Alþingi á 144. löggjafarþingi 2014-2015.)

Lögð fram af iðnaðar- og viðskiptaráðherra
maí 2015.

1. Þingsályktun

Greinargerð þessi byggir á þingsályktun um rannsóknir á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku sem var samþykkt á Alþingi 16. maí 2014:

„Alþingi ályktar að fela iðnaðar- og viðskiptaráðherra að hefja vinnu við mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku við strendur Íslands með það að markmiði að greina hagkvæmustu nýtingarkosti til framtíðar. Jafnframt verði lögð drög að uppbyggingu gagnagrunns um nýtingu sjávarorku. Einnig verði kannað með hvaða hætti Ísland geti orðið aðili að alþjóðlegu samstarfi um nýtingu sjávarorku. Ráðherra skipi starfshóp um málefnið sem skili tillögum eigi síðar en 1. maí 2015.“

2. Inngangur

Ísland er í fararbroddi þjóða sem hagnýta endurnýjanlega orku. Virkjun fallorku í vatnsaflsvirkjunum, jarðhita fyrir hitaveitur og raforkuframleiðslu og nýting jarðhitavökva til iðnaðarframleiðslu hafa reynst þjóðinni happadrljúg búvót. Rannsóknir á beislun vindorku og fyrstu stöðvar sem eru í rekstri lofa einnig góðu. Mat á möguleikum á virkjun sjávarstrauma, sjávarfalla og ölduorku er eðlilegt framhald af þeim ásetningi að afla upplýsinga um aðra orkunýtingarkosti í þeim tilgangi að ná heildar yfirsýn um orkulindir þjóðarinnar til lengri tíma litið. Allar orkuauðlindirnar eru endurnýjanlegar, stuðla að sjálfbærri þróun í orkuframleiðslu og lágmarka losun mengandi gróðurhúsalofttegunda. Með umhverfisvitund að leiðarljósi í virkjun orkulindanna er unnið að hagsmunum komandi kynslóða og fylgt alþjóðasamþykktum um loftslagsmál og sjálfbæra þróun.

Þótt mælingar og tilraunir með virkjun sjávarorku hafi verið stundaðar í nokkra áratugi er enn langt í land að fram séu komnar samkeppnishæfar tæknilausnir sem líklegar eru til að leiða til þess að virkjun sjávarorku verði almenn í náninni framtíð. Þetta getur þó breyst með auknum rannsóknum og þróunarvinnu. Auk óvissu um þróun hagkvæmra tæknilausna er bygging og rekstur sjávarorkuvirkjana háð erfiðum aðstæðum í breytilegu sjávarumhverfi þar sem öldur og iðustraumar eru miklir, tæring er mikil og aðgengi til byggingar, eftirlits og viðhalds er almennt erfið. Þróun olíuvinnslu af sjávarbotni, nýting vindorku á hafi og lagnir til lands hafa þó aukið skilning á slíkum vandamálum og getu til að leysa þau.

3. Starfshópurinn

Í þeim tilgangi að hefja vinnu við mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku hér við land skipaði iðnaðar- og viðskiptaráðherra, að undangenginni forvinnu, starfshóp í janúar 2015 til að fara yfir fyrirbyggjandi gögn um sjávarorku, gefa yfirlit um þá stöðu og setja fram tillögur um hvernig rannsóknum á sjávarorku verði fyrir komið á næstu árum. Í starfshópinu voru skipuð:

Erla Björk Þorgeirsdóttir, Orkustofnun.

Geir Guðmundsson, Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Héðinn Valdimarsson, Hafrannsóknastofnun.

Ólöf Rós Káradóttir, Verkís.

Sigurður Sigurðarson, Vegagerðinni.

Steinar Friðgeirsson, Samorku.

Sveinn Þorgrímsson, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti.

Starfshópurinn hefur lokið störfum með þeirri greinargerð sem hér liggur fyrir.

4. Almennar niðurstöður

1. Beislun sjávarorku er nýr kostur til sjálfbærrar endurnýjanlegrar orkuframleiðslu. Hafstraumar, sjávarföll og öldur eru ósnortnar auðlindir en hreyfiorku þeirra er hægt að meta gróflega út frá fyrirbyggjandi upplýsingum. Aðeins er þó unnt að virkja lítinn hluta hreyfiorkunnar.
2. Miðað við þær tæknilausnir til virkjunar sjávarorku sem nú þekkjast og hafa verið reyndar er ólíklegt að virkjun sjávarorku verði arðbær við Ísland í náinni framtíð. Talið er að lágt raforkuverð á Íslandi muni enn frekar seinka virkjun hennar.
3. Þó virkjun sjávarorku við Ísland virðist ekki hagkvæm miðað við núverandi stöðu þá kann það að breytast með þróun búnaðar og breyttu raforkuverði. Því er lagt til að í framhaldi af vinnu starfshópsins verði valdar rastir þar sem umfang og straumur verði kortlagður með straumsjármælingum, fjölgeisla-mælingum á dýpi og sjávarfallalíkani með nákvæmri upplausn. Straumsterkar rastirnar verði valdar þar sem vænta má tiltölulega hás hraða, út frá grófu mati sem nú liggur fyrir á hreyfiorku á landgrunninu og út frá tengingarmöguleikum við raforkukerfið.
4. Nú þegar liggja fyrir miklar upplýsingar um ölduorku svo ekki er að svo komnu máli þörf fyrir sérstakar viðbótar mælingar vegna öflunar grunnupplýsinga.

5. Skilið er á milli almennra grunnupplýsinga um sjávarorkuauðlindina og sérhæfðari rannsókna sem virkjunaraðili þarf að afla.
6. Vegna mikils sveiflutengds breytileika í orkuframleiðslu sjávarvirkjana verður rekstur þeirra að tengjast annarri grunnframleiðslu, t.d. vatnsaflsvirkjun.
7. Tengingar sjávarorkuvirkjana við flutnings- og dreifikerfi landsins um sæstreng er að jafnaði mun kostnaðarsamari en tenging virkjunarkosta á landi, þar sem leggja þarf sæstrengi og síðan tengingar á land að næsta mögulegum tengipunkti.
8. Lagt er til að Orkustofnun verði falið að varðveita í gagnagrunni upplýsingar um sjávarorku.
9. Vinna þarf að löggjöf vegna nýtingar sjávarorku, vindorku á hafi og jarðvarma á hafsbotni. Auk þess þarf löggjöf fyrir tengingu þessara virkjunarkosta við land um sæstreng. Mikilvægt er að stjórnvöld séu undir það búin að taka við umsóknum um rannsókna- og nýtingarleyfi vegna sjávarorku í framtíðinni.
10. Nýtingu sjávarorkukosta þarf að skoða í ljósi landsskipulagsstefnu, umhverfismála, áhrifa virkjana og tenginga þeirra á lífríki og aðra starfsemi sem byggir nýtingu auðlinda hafsins.

5. Um sjávarorku

Sjávarorku má skipta í eftirfarandi flokka eftir eðli hennar:

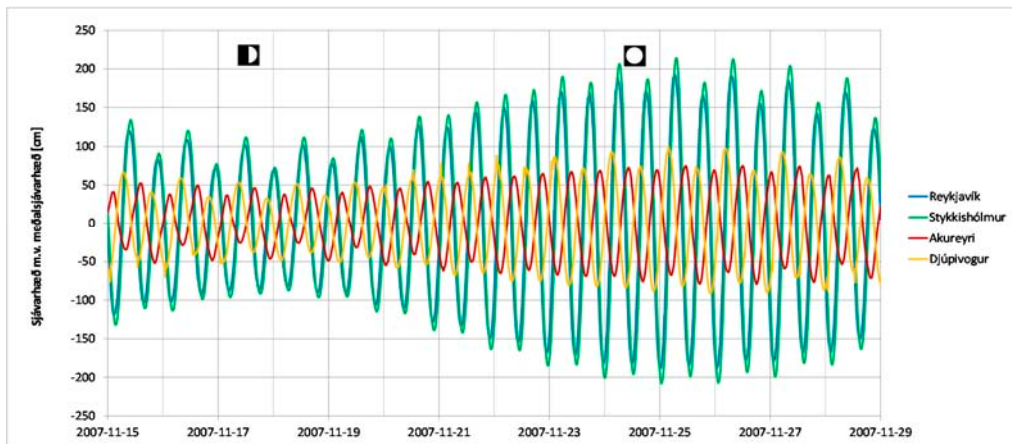
- Hafstraumaorka (*ocean currents energy*).
- Sjávarfallaorka (*tidal energy*).
- Ölduorka (*wave energy*).
- Seltuorka (*salinity gradients*).
- Hitafæðiorka (*temperature gradients*).

Hafstraumaorka. Hafstraumar sem eiga upptök í varmaflutningi frá miðbaug til heimskautasvæða eru hluti af vinddrifinni hringrás og hita-seltu hringrás jarðar (wind-driven, thermohaline ocean circulation). Á landgrunni Íslands eru þessir straumar að jafnaði 5 til 20 cm/s eftir staðsetningu og kemur orka þeirra til viðbótar orku í reiknuðum sjávarfallastraumum.

Sjávarfallaorka. Sjávarföll verða til við samspil aðdráttarkrafta tungls, jarðar og sólar. Lota sjávarfalla er 12 klst. og 25,2 mínútur. Flóð, útfall, fjara og aðfall verður einu sinni á hverri lotu. Flóð og fjara verður því um tvisvar á sólarhring og liggjandi sem er á fallaskiptum um fjórum sinnum á sólarhring. Á liggjanda er enginn straumhraði. Sjávarföll við Ísland eru fremur flókin og mikill munur er á flóði og fjöru á milli landshluta, þannig er mestur munur við Vesturland og minnstur við Austur- og Norðurland, sjá mynd 1.

Möguleg orkuframleiðsla úr sjávarföllum sveiflast innan sólarhringsins í takti við straumhraða og sjávarhæð eftir því hvort hreyfiorka eða stöðuorka er nýtt. Um fjórum sinnum á sólarhring er engin hreyfiorka, tvisvar á sólarhring er engin stöðuorka. Virkjun sjávarfalla stendur því illa ein og sér í raforkukerfinu og þarfnast samkeyrslu með öðrum orkukostum, t.d. vatnsorku.

Sjór hefur um 830 sinnum meiri eðlismassa en loft og þess vegna er orka sjávarstrauma hlutfallslega miklu meiri en loftstrauma við sama hraða og magn af sjó annars vegar og lofts hins vegar. Sjávarföll eru auk þess mjög regluleg og fyrirsjáanleg og þannig er alltaf hægt að spá nákvæmlega langt fram í tímann um hvernig þau munu sveiflast.



Mynd 1. Reiknuð sjávarhæð í Reykjavík, Stykkishólmi, Akureyri og Djúpvogum.

Sjávarfallavirkjunum er skipt í eftirfarandi fjóra flokka eftir því hvaða form orku er nýtt:

- Straumavirkjun (tidal current) – nýtir hreyfiorku.
- Stífluvirkjun (tidal barrage) – nýtir stöðuorku.
- DTP (dynamic tidal power) – nýtir stöðuorku.
- Sjávarfallalón (tidal lagoon) – nýtir stöðuorku.

Straumavirkjun. Með straumavirkjun er hreyfiorka sjávarfalla nýtt. Straumhverflum er komið fyrir í sjávarstraumi. Þeim fylgir ekki stíflugerð og áhrif á sjávarhæð og sveiflu eru óveruleg. Almenn er álitid að unnt sé að virkja sjávarstrauma þar sem straumhraði er um og yfir 1 m/s, en virkjanlegur lágmarksstraumhraði fer eftir tæknilegum útfærslum. Afl er í réttu hlutfalli við straumhraða í þriðja veldi og því gefur 5 m/s straumhraði 125 sinnum meira afl en 1 m/s straumhraði. Aukinn straumhraði er því mjög eftirsóknarverður á virkjunarstað.

Stífluvirkjun. Með stífluvirkjun er stöðuorka sjávarfalla nýtt, einkum í fjörðum þar sem mikill munur er á flóði og fjöru. Byggt er á hæðarmun innan og utan við stíflu eins og gert er í hefðbundnum vatnsaflsvirkjunum.

DTP (dynamic tidal power). Lagður er mjög langur garður þvert á strönd sem endar á þvergarði og mannvirkið myndar eins konar T séð úr lofti. Garðurinn hefur áhrif á straumafar og verður til hæðarmunur á milli hliða langa garðsins sem má virkja. Þessi tækni hefur ekki verið prófuð svo vitað sé og verður ekki fjallað um hana frekar hér.

Sjávarfallalón. Virkar líkt og stífluvirkjun, nema í stað þess að stífla fjörð er reistur garður sem lokar af svæði úti á sjó. Ekki verður fjallað frekar um þessa tegund virkjunar hér.

Ölduorka - Ölduorka er ekki háð sjávarfallastraumum. Vindurinn knýr öldurnar áfram og þar sem opið er fyrir hafi við vindasamar strendur er öldugangur mikill við landið.

Seltuorka - Seltuorka byggir á virkjun efnaorku sem losnar við blöndun ferskvatns og sjávar og grundvallast á eðlisfræði himnuflæðis.

Hér á eftir verður aðallega fjallað nánar um virkjun hafstrauma, sjávarfalla og öldu sem eru þær þrjár orkugerðir sem mesta þýðingu hafa í íslensku samhengi. Auk þess er lítillga fjallað um seltuvirkjanir en nokkrar rannsóknir eru nú stundaðar á því sviði.

Fræðilegt heildarmagn hafstraumaorku, sjávarfallahreifyfiorku og ölduorku við Ísland er hægt að meta gróft út frá fyrirliggjandi upplýsingum og út frá innlendum og erlendum reiknilíkönum og mælingum. Til að meta umfang nýtlegrar og aðgengilegar orku þarf hins vegar töluvert meiri vinnu. Vélbúnaður fyrir straumvirkjanir og ölduvirkjanir er enn í þróun en hún er mislangt á veg komin til fullreyndrar tækni til almennrar orkuvinnslu. Haldbærar reynslutölur um nýtni, fjárfestingarkostnað og viðhald liggja ekki fyrir. Ekki er því tímabært að meta hagvæmni orkuvinnslu úr sjó hérlendis, en miðað við áætlaðan framleiðslukostnað sem fyrirtæki í sjávarorkutækni hafa birt er ljóst að kostnaður við virkjun sjávarorku er umtalsvert hærri en reynslutölur sýna fyrir aðra virkjanakosti á Íslandi, þ.m.t. virkjun vindorku. Að svo komnu máli er vandséð að nokkur nýtingarkostur fyrir sjávarorku sé hagkvæmur. Það kann þó að breytast með aukinni þekkingu og þróun tækninnar í átt að lækkandi framleiðslukostnaði. Auðveldara er að meta hagkvæmni stífluvirkjunar sem nýtir hæðarmun sjávarfalla, þar sem nokkrar slíkar eru í rekstri í heiminum.

Í þessari greinargerð afmarkast umfjöllunin við þær upplýsingar sem tiltækar eru um umfang fræðilegrar heildarorku hveurrar orkulindar. Þá eru lagðar fram tillögur um nýjar mælingar á nokkrum álitlegum stöðum þar sem helst er að vænta árangurs við beislun

sjávarorkunnar. Slíkar mælingar eru forsendur þess að geta síðar metið frekar tæknilega, nýtilega, aðgengilega og raunhæfa orkuvinnslugetu einstakra svæða.

6. Undirbúningur framkvæmda

Evrópska rannsóknamiðstöð sjávarorku í Orkneyjum (*European Marine Energy Centre Ltd., EMEC*) hefur sett fram viðmiðunarreglur um mat á sjávarstraumorku (*Assesment of Tidal Energy Resource*). Þar er lagt til að skipta matinu í eftirfarandi fjóra þætti. Fyrstu tveir þættirnir, sem eru frummat og forathugun geta byggst á opinberum upplýsingum sem aflað er í þessum eða öðrum tilgangi af opinberum aðilum og eru að mestu aðgengilegir almenningi. Síðari tveir þættirnir, sem eru rannsóknir og virkjunarundirbúningur eru bundnir við aðstæðu á afmörkuðum stöðum og tengjast hagsmunum tiltekins virkjunaraðila sem aflað hefur leyfa til rannsókna og e.t.v. einnig til nýtingar, skv. virkjunarleyfi.

1. Frummat, sem er gróft mat á fræðilegri orku víðsvegar um land til að afmarka orkuríka staði til frekari skoðunar.
2. Forathugun er könnun á orkuríkum stöðum þar sem reynt er að leggja mat á orkugetu þeirra og hvar mesti aflþéttleiki (afl á þversniðseiningu sjávarstraums t.d. MW/m²) svæðisins liggur.
3. Rannsóknir og hagkvæmiathuganir virkjunaraðila eru unnar á grundvelli rannsóknarleyfis og eru m.a. metnir þættir sem lúta að fýsileika og hagkvæmni virkjunar. Allir kostir og gallar svæðisins eru skoðaðir og metnir. Gert er ráð fyrir að sótt sé um virkjanaleyfi í kjölfarið ef hagkvæmiathugun reynist jákvæð.
4. Virkjunarundirbúningur. Staðsetning virkjunar er ákveðin nákvæmlega. Lokið er við hönnun virkjunarinnar þar sem fyrir liggur hvaða hverflataækni verður notuð og hvar einstaka hverfill í hverflasamsteypunni verður staðsetur. Búið er að reikna hversu mikla orku hægt er að framleiða og meta alla viðskiptalega þætti. Framundan er útboð og undirbúningur framkvæmdaþátta.

Þessi skipting á vel við um mat á öllum gerðum sjávarorkuvirkjana, en hún var upphaflega miðuð við virkjun sjávarstraumorku. Í þessari greinargerð er fyrst og fremst fjallaða um frummat og forathugun. Fjallað eru um stöðu rannsókna almennt og bent á áhugaverða staði þar sem líklega má finna aðstæður fyrir virkjun sjávarorku.

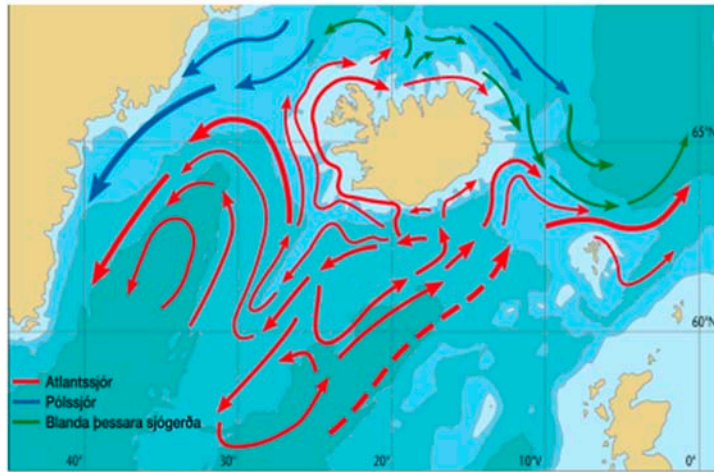
7. Hafstraumar

Vindar og hafstraumar færa varma frá miðbaug jarðar út til heimskautasvæða sem er afleiðing af inngeslun sólar. Þessi varmajöfnun er grunnorka hafstrauma sem og streymi lofts eða vinda lofthjúps jarðar. Svigraftar og aðdráttarkraftar himintungla hafa svo áhrif á hreyfinguna. Sjávarföll eru að jafnaði að færa sjó fram og aftur og því er þeim gjarnan sleppt þegar hafstraumar eru kortlagðir og eingöngu skoðaður meðalstraumur.

Meðalstraumur myndar hringrás hafstrauma á jörðinni. Sjávarstraumar við yfirborð eru að miklu leyti vinddrifnir. Á Norður-Atlantshafi er svonefnt staðvindabelti. Hluti þess er vestanvindabelti á norðlægari breiddum sem drífur sjó til austurs og viðheldur þannig hringrás yfirborðsstrauma með hjálp svigrafta jarðar.

Hringrás heimshafanna verður til er tiltölulega heitari og saltari sjór berst með yfirborðsstraumum til norðurs í Atlantshafi og sekkur þar á vissum svæðum vegna kólnunar og fleiri ferla niður í hafdjúpið og rennur síðan suður eftir Atlantshafi og blandast upp í yfirborðslög í Kyrrahafi og Indlandhafi sem síðan leiðir hann aftur yfir í Atlantshaf þar sem hringurinn hefst að nýju. Þetta er svo kölluð hita-seltu hringrás heimshafanna (Thermohaline Circulation) en hún er talin taka um 500 til 900 ár. Meðalstraumurinn er samsettur úr meðalstraumi vegna vinda og meðalstraumi vegna eðlisþyngdarstrauma.

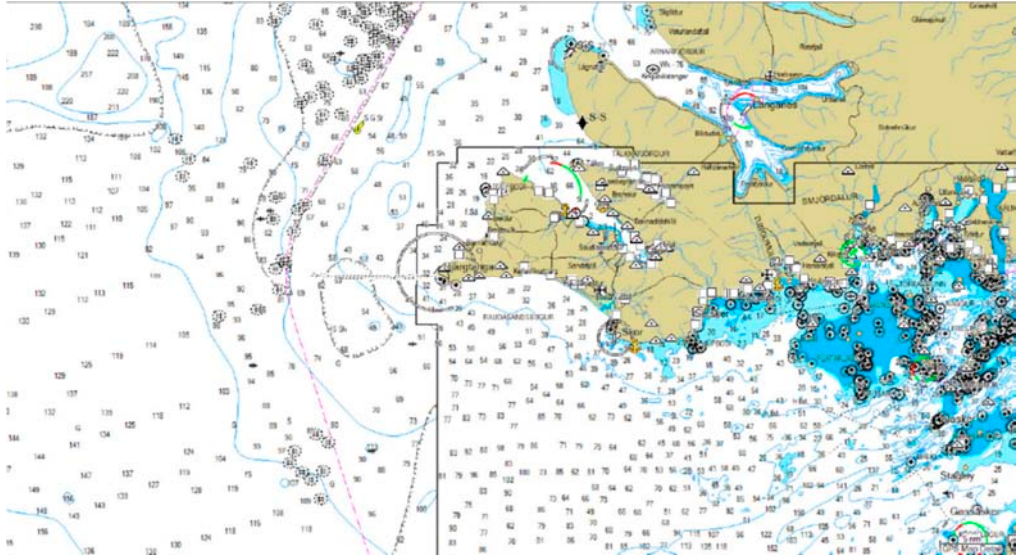
Með tilkomu gervihnatta og rekadufla með nákvæmri staðsetningu hefur kortlagning hafstrauma batnað mikið og sýnir mynd 2 meðalstrauma við Ísland. Styrkur meðalstraums úti á landgrunninu er að jafnaði nærri 0,1 m/s. Hvirflar og iður eru oft með meiri straum. Botnlögun hefur talsverð áhrif á strauma vegna viðnáms. Mikilvægt er að öll straumlíkön styðjist við raungögn til staðfæringar á straumnum.



Mynd 2. Yfirborðsstraumar við Ísland fengnir með rekduflum 1990-2000.

Hafstraumar við Ísland skiptast nokkuð um neðansjávarhryggina sem liggja um landið milli Grænlands og Skotlands. Sunnan við hryggina er heitari og saltari sjór úr suðri með Norður Atlantshafsstraumi sem er framhald Golfstraumsins. Hann fer að mestu suðaustanvið landið og í grein norðan Skotlands og Færeyja og norður með Noregi og inn í Noregshaf. Grein úr þessum straumi, s.k. Irmingerstraumur, liggur inn í Grænlandshaf sem aftur sveigir til suðvesturs í sunnanverðu Grænlandssundi. Lítil grein úr þessum straumi nær norður fyrir Horn og inn á Norðurmið. Þessi grein sem er að jafnaði innan við 1 milljón rúmmetra á sekúndu heldur Norðurmiðum lífvænlegum og streymir austur með Norðurlandi og blandast kaldari og ferskari sjó úr norðri. Sá sjór kemur allt norður úr Íshafi með Austur-Grænlandsstraumi sem liggur suður með Grænlandi í gegnum Grænlandssund og suður fyrir Grænland. Straumgrein sem liggur úr Austur-Grænlandsstraumi til suðausturs yfir Íslandshaf norðan Íslands nefnist Austur-Íslandsstraumur og blandast sjó úti fyrir Norðaustur- og Austurlandi.

Sjávarföll berast sólarinnis um landið sem bylgja sem leggst við þá hafstrauma sem hér var lýst. Lögum stranda og botns veldur því að við annes og þrengingar í fjörðum verða oft harðir straumar, svonefndar straumrastir. Nokkrar straumrastir við annes eru þekktar. Meðal þeirra eru Látraröst, Straumnesröst, Langanesröst og Reykjanesröst. Í þeim eru svæði með sterkari straumi í smástreymi og stórstreymi en lítið er til af straummælingum í þessum röstum. Átætlun á straumhraða í þeim byggir því að mestu á líkönum en sum þeirra hafa þó verið sannreynd með straummælingum, t.d. hafa straumlíkön í Breiðafirði verið sannreynd með straummælingum. Til þess að meta rastir með tilliti til orkunýtingar þarf að leggja í straumrannsóknir og finna útbreiðslu þeirra.



Mynd 3. Botndýpi undan Láttrabjargi. Punktalína í vestr frá Bjargi sýnir snið út í 10 sjómílu.

Lausleg könnun meðal vestfirskra sjómanna bendir til þess að rastir þar geti náð allt að 10 til 12 sjómílu frá landi. Þetta er í góðu samræmi við erlenda reynslu. Um straumstyrk er erfitt að segja en kunnugir sjómenn hafa nefnt straum um 3 til 4 hnúta (gróflega um 1,5-2 m/s) á þessum slóðum. Í vondum veðrum þegar vindur rekur sjó má gera ráð fyrir sterkari straum en þá eru sjófarendur sjaldnast á ferð. Nefnt hefur verið að straumur geti verið sterkastur á u.þ.b. 20 til 40 m dýpi en misaðdjúpt er við þessar rastir. Ljóst er að mismunandi staðhættir, s.s. botnlögun og dýpi hafa mikið að segja um hvernig flæðið er í röstum auk þess sem búast megi við allnokkru iðustreymi innan þeirra.

Staðhættir undan Láttrabjargi eru þannig að botndýpi út af bjarginu er fljótt komið á 30 m og um 10 sjómílu vestar er dýpið um 60 m. Út frá þessu má gera sér nokkra hugmynd um virkjanlegt þversnið rastarinnar. Svipað gildir um aðrar rastir. Ekki þarf að fara lengra en 1,5 sjómílu út frá Straumnesei þá er dýpið komið á 40 m. Við Langanes er botndýpi 30 m um 1,5 sjómílu frá landi. Út af Karli norðanvert við Reykjanestá má komast á 100 m dýpi um sjómílu frá landi. Þannig eru staðhættir við rastir æði mismunandi og skoða þarf hvern stað sérstaklega þegar virkjun er höfð í huga. Einnig má benda á að þar sem þrengingar eru við eyjar og sker sem liggja úti fyrir ströndum verða til nokkurs konar trektaráhrif sem geta skapað skilyrði fyrir sterka sjávarstrauma. Slíkir staðir eru t.d. við Skrúð, Seley og Papey fyrir austan land.

8. Hreyfiorka sjávarfalla

Þróun reiknilíkans fyrir sjávarföll í hafinu umhverfis Ísland hófst hjá Verkfræðistofnun HÍ árið 1993. Henni var fram haldið hjá VST (nú Verkís) í samstarfi við Vegagerðina. Með reiknilíkaninu má spá fyrir um sjávarhæð og strauma í hafinu umhverfis Ísland af völdum þekktra aðdráttarkrafta sólar og annarra himintungla. Einnig er hægt að taka tillit til áhrifa veðurs á sjávarhæð.

Sjávarfallalíkanið hefur verið keyrt daglega hjá Vegagerðinni frá árinu 1998 og eru niðurstöður þess aðgengilegar á vef stofnunarinnar. Þar er spáð fyrir um sjávarhæð, sjávarstrauma og áhlaðanda fimm daga fram í tímann¹ byggt á veðurspá frá ECMWF.

Dýpi og strandlína hafa veruleg áhrif á sjávarföll. Dýpi er fengið hjá Sjósmælingum Íslands, úr gagnagrunni Vegagerðarinnar og úr alþjóðlegum gagnagrunnum. Randskilyrði líkansins eru fengin úr gagnagrunninum FES2004. Líkanið byggir á sjö stærstu þáttum sjávarfallanna, en með þeim er langstærstur hluti sjávarfallabylgjunnar við Ísland skýrður. Nákvæmni líkansins, sem er tvívítt með möskvastærð 2 km x 2 km á landgrunninu, er mjög mikil og almennt má gera ráð fyrir að skekkja í reiknaðri hæð sterkasta sjávarfallaþáttarins sé minni en 4 cm og að skekkja í reiknuðum tíma flóðs og fjöru sé innan við 5 mínútur.

Þar sem líkanið er tvívítt reiknar það meðaltal straumhraða yfir dýpi. Almennt er það mjög góð nálgun þar sem straumhraði er oftast frekar jafn yfir dýpi. Þar sem mikilla þrívíðra áhrifa gætir, getur straumur aftur á móti verið talsvert breytilegur og líkanið því vanmetið straumhraða. Slíkt getur gerst þar sem aðstæður valda óreglu í sjávarfallastraumum, s.s. í röstum, í þröngum fjörðum eða á milli eyja. Upplausn líkansins skiptir einnig máli því takmörkuð upplausn getur einnig vanmetið straumhraða.

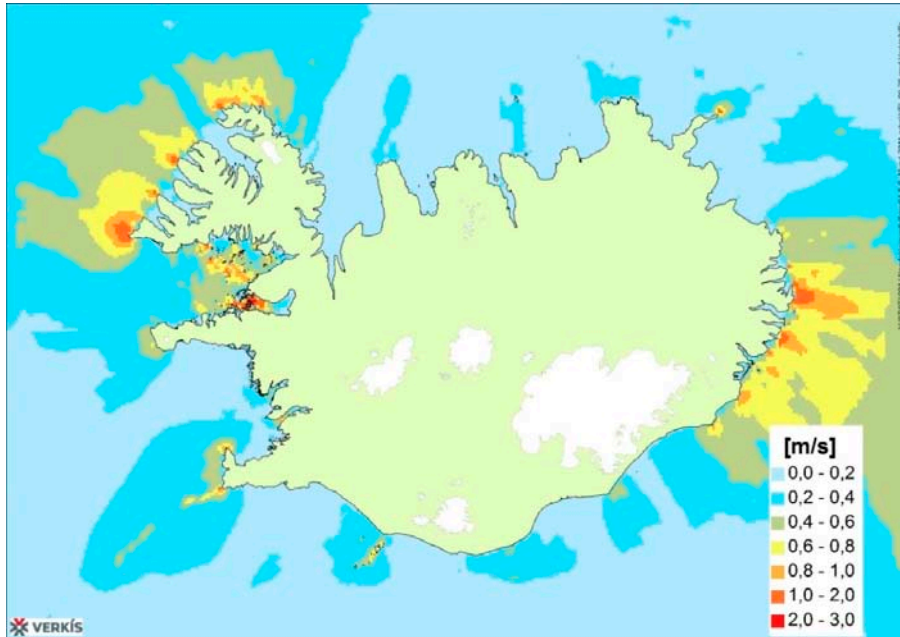
Líkanið hefur verið nýtt við ýmsar rannsóknir, m.a. til að meta hreyfiorku í sjávarföllum eins og lýst er í grein Gunnars Guðna Tómassonar, Ólafar Rósar Káradóttur og Stefáns Kára Sveinbjörnssonar í Árbók VFÍ/TFÍ árið 2011². Hér er gerð stutt grein fyrir niðurstöðum greinarinnar en myndirnar í þessum kafla eru fengnar að láni úr henni. Vakin er athygli á því að fjallað er um heildarhreyfiorku sjávarfalla (fræðileg orka) en ekki lagt mat á nýtanlega orku.

Samkvæmt niðurstöðum líkanreikninga er mest hreyfiorka í Breiðafirði, sérstaklega í mynni Hvammsfjarðar og í þekktum röstum víðsvegar um landið, sér í lagi við annes á Vestfjörðum og Austfjörðum, auk Langaness, Snæfellsness, Reykjaness og í þröngum

¹ <http://www.vegagerdin.is/vs/ArealDetails.aspx?type=tides>

² http://timarit.is/view_page_init.jsp?issId=356970&pageId=5704627&lang=is&q=SJ%C1VARFALLAORKA

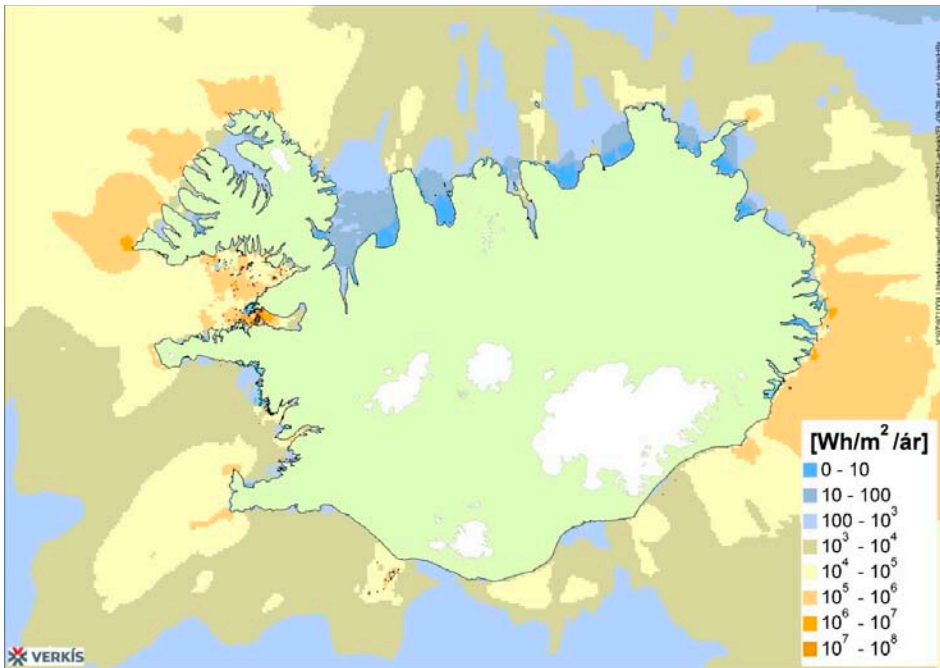
sundum á milli eyja. Verulegur munur er á mesta straumhraða á stórstreymi og smástreymi, á stórstreymi getur hraði orðið tvöfaldur hraði á smástreymi. Hámarks straumhraði í stórstreymi er sýndur á mynd 4.



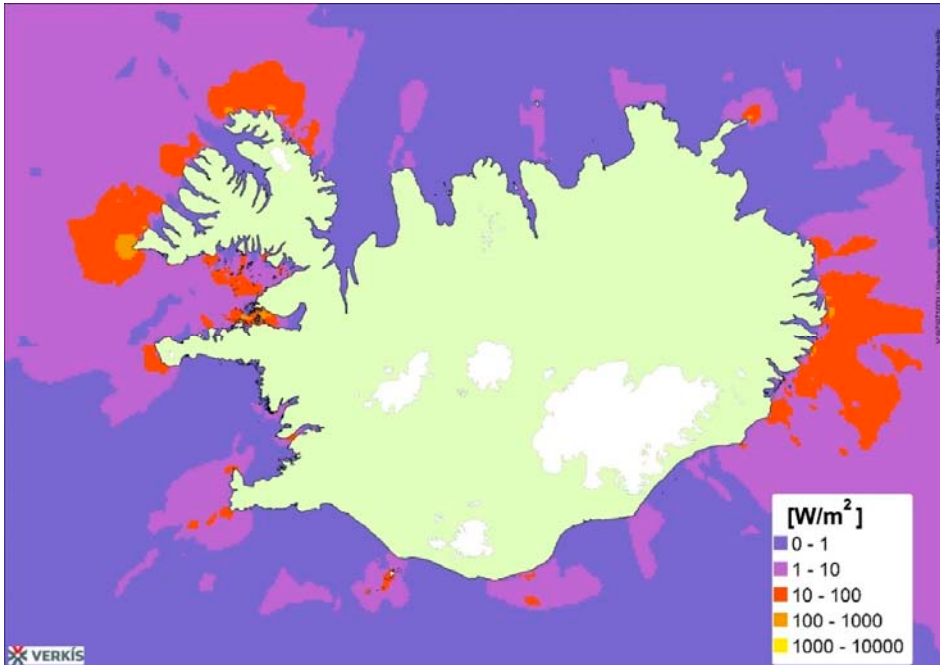
Mynd 4. Reiknaður hámarks straumhraði sjávarfalla á stórstreymi.

Heildarhreyfiorka sjávarfalla ($\text{Wh/m}^2/\text{ári}$) fyrir allt árið er sýnd á mynd 5. Hún byggir á útreiknaðri orku yfir tveggja vikna tímabil sem er uppreiknuð í heilt ár. Innan þessa tveggja vikna tímabils er dæmigert stórstreymi og smástreymi. Mesta reiknaða hreyfiorkan er í mynni Hvammsfjarðar á bilinu 10 til 100 $\text{MWh/m}^2/\text{ári}$. Á landgrunninu við Vestfirði og Austfirði, í Breiðafirði og víðar er hún á bilinu 1 til 10 $\text{MWh/m}^2/\text{ári}$.

Hámarksafll sjávarfallsstrauma þvert á straumstefnu (W/m^2) í stórstreymi er sýnt á mynd 6. Hámarksafll á hverjum stað er þegar hraði er mestur sem er um fjórum sinnum á sólarhring. Á stórstreymi er yfir 1.000 W/m^2 afl í mestu sjávarfallaröstum og á bilinu 100-1.000 W/m^2 víða í Breiðafirði og á landgrunninu við Vestfirði og Austfirði. Á stórstreymi er aflíð yfir 1.000 W/m^2 í mestu sjávarfallaröstum umhverfis landið og á bilinu 100-1.000 W/m^2 víða á Breiðarfirði og á landgrunninu við Vestfirði og Austfirði auk nokkurra staða við landið. Á smástreymi er aflíð verulega minna og mun meiri munur er á afli en straumhraða milli smástreymis og stórstreymis, enda breytist afl með þriðja veldi af hraða.



Mynd 5. Reiknuð hreyfiorka sjávarfalla yfir allt árið.



Mynd 6. Reiknað hámarksafli sjávarfalla á stórstreymi (W/m²).

Verkís hefur gert nákvæmt tvívítt líkan af sjávarföllum í mynni Hvammsfjarðar fyrir Sjávarorku ehf. til að meta betur hreyfiorku í firðinum. Líkanið er með 50 m x 50 m upplausn. Straummælingar hafa jafnframt verið gerðar í firðinum til að kortleggja straumafar þar sem mikilla þrívíðra áhrifa gætir og til að staðfesta niðurstöður líkansins. Til að meta nákvæmar hreyfiorku á öðrum orkurikum stöðum þarf að gera nákvæmara straumalíkan stutt af mælingum. Niðurstöður fyrirbyggjandi mælinga og þeir staðir sem sýndir eru á myndum 4 - 6 yrðu lagðir til grundvallar við ákvörðun um hvaða staði þurfi að skoða frekar. Nauðsynleg upplausn ræðst af aðstæðum á hverjum stað, en er líklega á bilinu 50 til 500 m.

9. Evrópsk viðmið

Í evrópskum viðmiðum er gert ráð fyrir að á forathugunarstigi (2. stigi undirbúnings) hafi reiknilíkanið upplausn sem er að lágmarki 500 m x 500 m og fyrir flóknari aðstæður þurfi að styðjast við enn finni upplausn eða 200 m x 200 m. Endurbætt reiknilíkan Verkís getur uppfyllt þessar auknu kröfur eins og nú þegar hefur verið gert fyrir Röstina í Hvammsfirði. Sama mætti gera fyrir aðra orkuríka staði við landið. Líkan Verkís er tvívítt sem er talið fullnægjandi á forathuganastigi. Á hönnunarstigi mannvirkis, þ.e. þegar virkjunaraðili er kominn með rannsóknarleyfi, er mælt með þrívíðu líkani fyrir raunhæft mat á orkuvinnslugetu virkjunar. Samkvæmt evrópskum viðmiðum er mælt með að notuð séu þrívíddarlíkön þar sem tekið er tillit til dýpis og að beitt verði dýptarmælinum með < 100 m milli mælistaða. Þá þarf að kvarða líkanið með nákvæmum samfelldum straumhraðamælingum.

Ljóst er að því fylgir umtalsverð vinna og kostnaður að finna, afmarka og meta staði með staðbundið hærri straumhraða innan stærri svæða. Áður væri þó hægt að þrengja leitina með því að útiloka svæði eins og mikilvæg fiskimið, siglingaleiðir, grunnsævi og óhentugan sjávarbotn.

10. Sjávarfallaorka

Fyrstu sjávarfallavirkjanirnar byggðust á því að stífla firði og lón og virkja hæðarmuninn sitt hvoru megin við stífluna til orkuframleiðslu. Fræðilegt orkumagn slíkrar virkjunar ræðst annars vegar af stærð lónsins fyrir innan stíflu og hins vegar af mismun flóðs og fjöru. Því hærri sem flóðhæðin er því betri nýting fæst fyrir orkuvinnsluna. Alltaf þarf að vera einhver lágmarks hæðarmunur á vatnsstöðu fyrir innan og utan til að hægt sé að virkja.

Því hærri sem meðalflóðhæðin er því lengri tíma varir lágmarks hæðarmunurinn sem hlutfall að sjávarfallasveiflunni.

Á Íslandi er hæsta meðalflóðhæð á Vesturlandi, einkum í Breiðafirði. Í Þorskafirði er meðal flóðhæðin 3,6 m og mesta mæld flóðhæð 5,7 m. Það er þó almennt talið of lítil flóðhæð fyrir sjávarfallavirkjun með stíflu. Sem dæmi má nefna að La Rance sjávarfallavirkjunin sem reist var 1966 í Frakklandi hefur meðalflóðhæð upp á 8 m og mestu flóðhæð upp á 13,5 m.

Til að auka arðsemi virkjunar sjávarfallaorku með stíflu á Íslandi þyrfti stíflan að gegna öðru hagkvæmu viðbótarhlutverki, t.d. sem brú fyrir umferð, sem höfn eða sjóvarvarnagarður. Þegar brú yfir Gilsfjörð var lögð var skoðað hvort hagkvæmt væri að byggja inn í veginn eða brúna sjávarfallavirkjun. Svo reyndist ekki vera en fyrir sjávarfallaorkuver þarf að meta hvern einstakan kost fyrir sig og gera ítarlega hagkvæmniathugun til að meta orkuframleiðsluna og hvort hægt sé að framleiða raforkuna á samkeppnishæfu verði.

Fyrirtækið Vesturorka ehf. hefur kannað virkjun í Þorskafirði. Hugmyndirnar byggjast á því að fallið yrði frá áformum um nýjan veg um Teigsskóg og í stað þess farið þvert yfir fjörðinn.³ Um er að ræða virkjun fallhæðar flóðs í firðinum með því að reisa garð þvert yfir mynni hans frá Reykjanesi yfir á Skálanes. Lokur hleypa flóðinu inn í fjörðinn en lokast við hámarksjafnstöðu. Þegar mesta hæðarmun er náð er útstreymið notað til að knýja vatnshverflana. Mælingar á jafnaðarflóðahæð í Þorskafirði benda til um 3,6 metra fallhæðar sem fer hátt í sex metra þegar mest er. Talið er að virkjun í Þorskafirði gæti framleitt um 180 gígavattstundir á ári, sem er svipað árlegri notkun á Vestfjörðum.

Fyrirtækið Sjávarorka ehf. hefur leyfi Orkustofnunar til að rannsaka sjávarfallaorku í Hvammsfirði m.a. í Röstinni (mynd 7). Þar eru taldir mestu straumar hér á landi og getur straumhraðinn farið í allt að 7 m/s. Verkís hefur endurbætt reiknilíkanið á þessu rannsóknasvæði og aukið upplausn þess í möskvastærð sem er allt að 50 m x 50 m, sem gefur færi á að reikna einstakar straumrastir. Þá hefur komið í ljós að mesti straumhraði í afmarkaðri röst á stórstreymi á milli eyja reiknast allt að 11 m/s, þrátt fyrir að stærri svæði umhverfis reiknist með mesta straumhraða 5 m/s í sömu upplausn. Til samanburðar gefur grófara reiknilíkanið í upplausn 2 km x 2 km mesta straumhraða 2,5 m/s. Helstu niðurstöður eru þær að talið er að heildarhreyfiorka frá botni upp í yfirborð sjávar sé um 1.000 GWh/ár og í Röst um 800 GWh/ár. Aðeins lítill hluti hreyfiorkunnar er virkjanlegur. Í fyrsta áfanga er mat á algeru hámarki á virkjanlegri orku í Breiðafirði um 650 GWh/ár.

³ http://www.reykholar.is/vistun_gagna/skra/799/

Unnið hefur verið að dýptar- og straummælingum og nákvæmri kortagerð á svæðinu með það að markmiði að áætla afl og orku sem er í sjávarfallastraumum í Hvammsfirði. Markvissar straummælingar fóru fram á árunum 2013 og 2014 í Hvammsfirði. Niðurstöður benda til þess að mesti meðalhraði yfir mælt svæði sé heldur minni en útreikningar straumlíkans gáfu til kynna. Órói og iður eru í Röstinni á útfalli en rólegra á aðfalli.



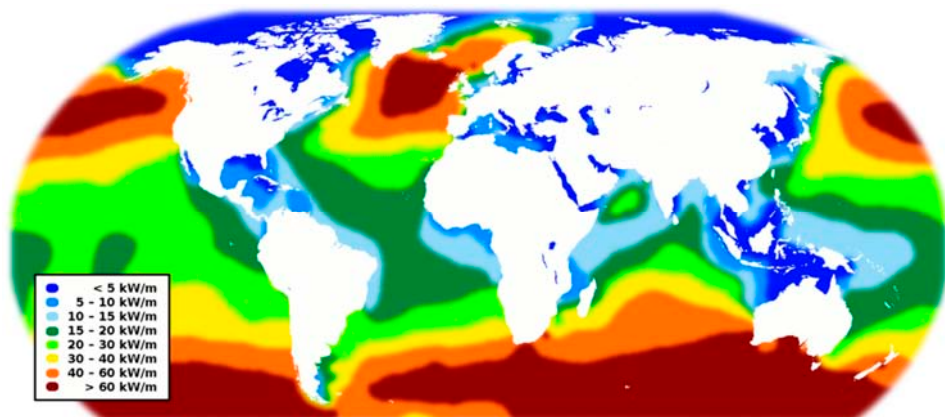
Mynd 7. Rannsóknarsvæði Sjávarorku ehf. í Breiðafirði.

Fyrirtækið Valorka ehf. hefur stundað rannsóknir og prófanir í Hornafirði svo og við Ósa á vestanverðu Reykjanesi. Straumhraði á þessum svæðum reyndist mestur vera liðlega 1 m/s sem gefur nokkuð hentugar aðstæður til prófana á hverflataekni Valorku⁴.

11. Ölduorka

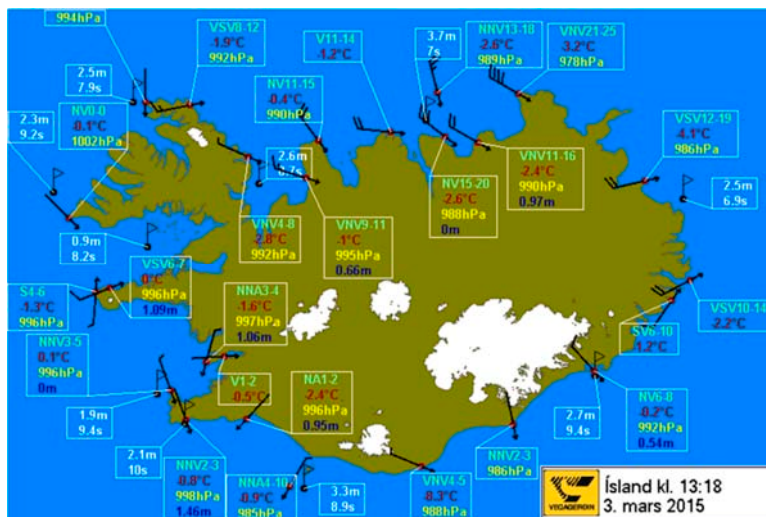
Hafsvæðið í kringum Ísland er eitt orkumesta hafsvæði í heiminum og verða fá strandsvæði fyrir eins orkumiklum öldum og suðurströndin. Meðal afl í öldum á úthafi fyrir sunnan Ísland er um og yfir 60 kW á lengdarmetra, en um 30 kW úti fyrir Norðurlandi. Birt hafa verið heimskort sem sýna meðal afl í öldum á heimshöfunum þar sem þetta kemur fram. Mynd 8 er dæmi um slíka framsetningu.

⁴ http://www.valorka.is/images/valorka_skyrsla_mars_2015.pdf.



Mynd 8 Heimskort sem sýnir meðalafl í öldum sem kW á lengdarmetra öldu. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_wave_energy_resource_map.png)

Á undanförunum áratugum hafa verið þróuð öflug reiknilíkön fyrir vind yfir hafi og öldur. Nú hafa öldulíkönin verið útvíkkuð og ná þau inn á grunnsævi og upp að ströndum. Þá hafa þau verið endurbætt og leiðrétt með mælingum frá duflum og gervitunglum. Með slíkum reiknilíkönnum er hægt að fá út tölfraði fyrir meðalölduhæð og meðalsveiflutíma (tíma milli öldutoppa) á áhugaverðum virkjanastöðum. Með líkindadreifingu fyrir meðalölduhæð og meðalsveiflutíma er hægt að meta hagnýtanlegt meðalölduafli yfir árið og í kjölfarið reikna út mögulega raforkuframléiðslu fyrir þá ölduvirkjunartækni sem hentar viðkomandi stað.

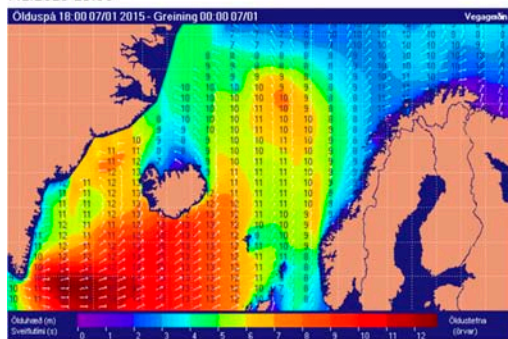


Mynd 9. Dæmi um rauntímaupplýsingar úr upplýsingakerfi Vegagerðarinnar. Hvitir kassar með hvítum tölum sýna hæð kenniöldu í metrum og meðalsveiflutíma í sekúndum.

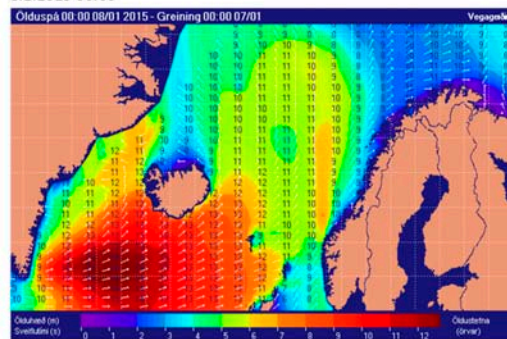


Mynd 10. Frá lagningu á öldudufli út af Kögri.

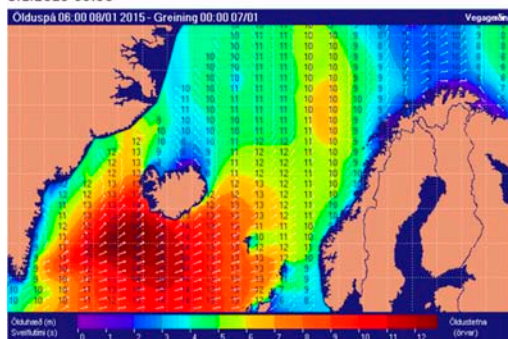
7.1.2015 18:00



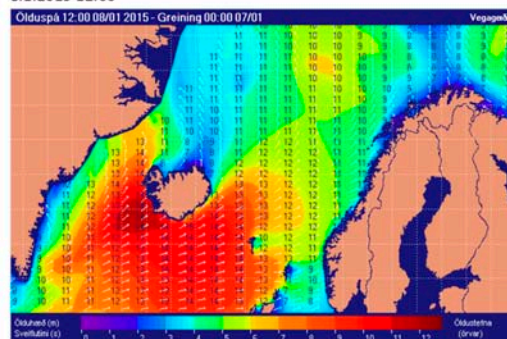
8.1.2015 00:00



8.1.2015 06:00



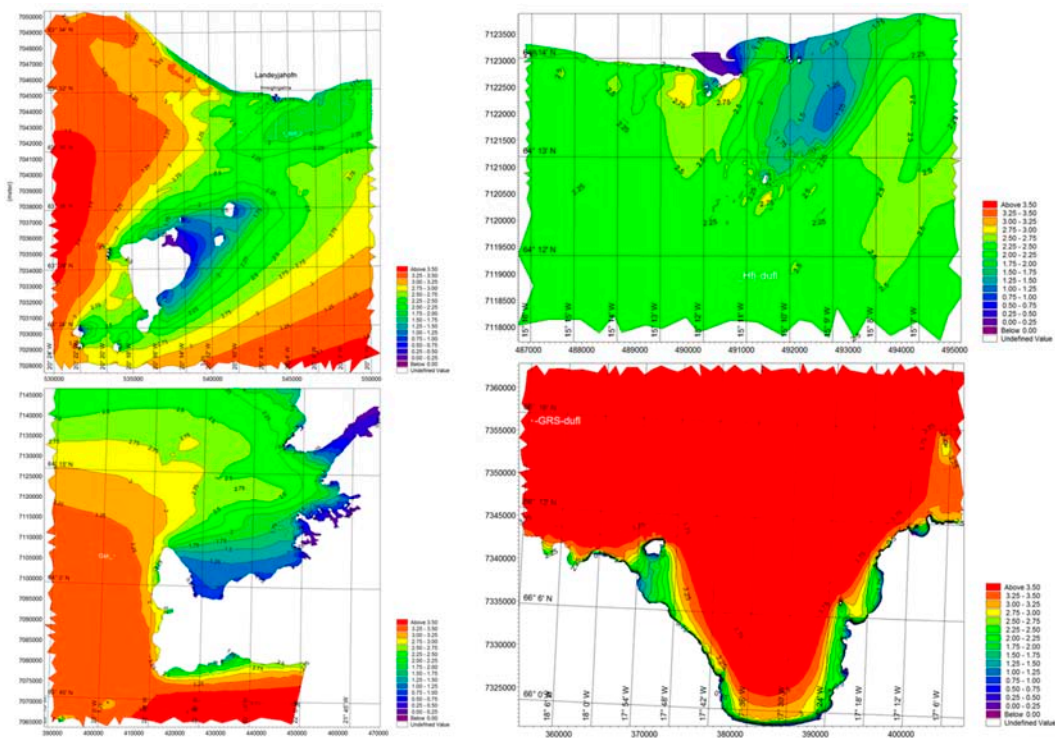
8.1.2015 12:00



Mynd 11. Ölduspá evrópsku veðurstofunnar fyrir Norður-Atlantshafið af vef Vegagerðarinnar. Sýndar eru breytingar á 6 tíma fresti.

Heilmiklar upplýsingar eru til um öldur við strendur Íslands. Vegagerðin rekur nú upplýsingakerfi um veður og sjólag þar sem annars vegar eru birtar rauntímaupplýsingar um öldur byggðar á mælingum með duflum hringinn í kring um landið (mynd 9) og hins vegar ölduspár nokkra daga fram í tímann bæði á hafi og inn á strandsvæðum.

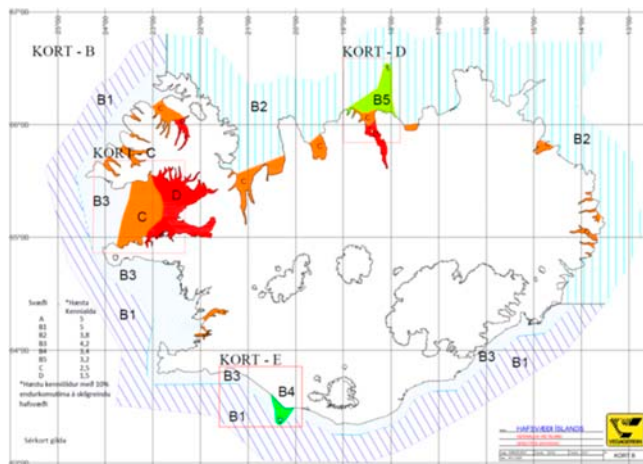
Öldumælingar eru gerðar með hollenskum ölduduflum af Waverider gerð (mynd 10). Ölduspárnar á úthafi eru byggðar á öflugu reiknilíkani sem keyrt er hjá evrópsku veðurstofunni í Reading í Englandi, (*European Centre of Medium Range Weather Forecast*) (mynd 11). Þessi ölduspá er síðan yfirfærð inn á firði, flóa og strandsvæði með reiknilíkani frá dönsku straumfræðistofunni DHI (mynd 12).



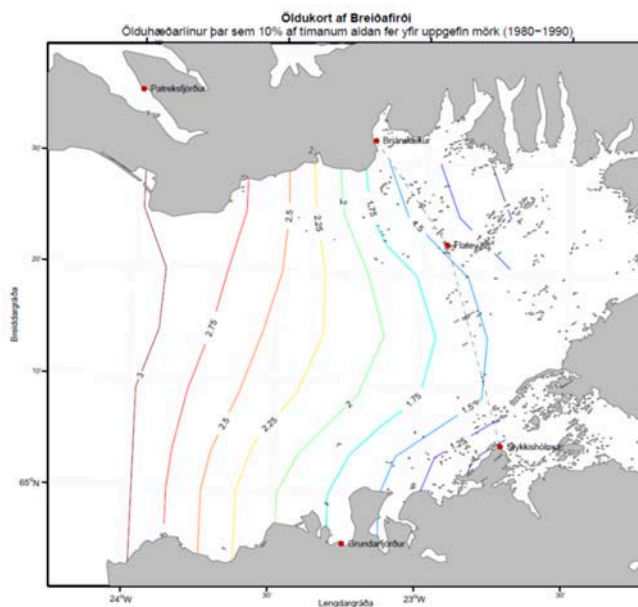
Mynd 12. Ölduspár af hafi færðar inn á firði, flóa og strandsvæði, efst til vinstri og réttisælis, strandsvæðið milli Vestmannaeyja og lands, strandsvæðið utan við Hornafjarðarós, Skjálfandinn og Faxaflói.

Öldumælingar og ölduspár eru vistaðar í gagnagrunni og er möguleiki að vinna úr þeim ýmsar upplýsingar. Mynd 13 sýnir öldukort fyrir hafsvæðið í kringum Ísland sem gefið er út samkvæmt tilskipun Evrópusambandsins 2003/25/EC um sérkröfur um stöðugleika ekjufarþegaskipa. Hafsvæðunum er skipt upp eftir ölduhæð með 10% varanleika, þ.e. 10% af árinu fer ölduhæð upp fyrir uppgefna ölduhæð. Mynd 14 sýnir

öldukort af Breiðafirði þar sem gefin eru upp sú ölduhæð sem að jafnaði hefur 10% varanleika.



Mynd 13. Öldukort sem gefið er út samkvæmt tilskipun Evrópusambandsins 2003/25/EC og sýnir hafsvæði í kringum Ísland sem skipt er upp eftir ölduhæð með 10% varanleika, þ.e. að 10% af tímanum fer hæð kenniöldu yfir mörk hvers svæðis.



Mynd 14. Öldukort af Breiðafirði. Ölduhæðarlínur sem sýna þá ölduhæð sem að jafnaði hefur 10% varanleika, þ.e. 10% af árinu fer ölduhæð upp fyrir uppgefna ölduhæð.

Út frá fyrirliggjandi upplýsingum er hægt að kortleggja frumölduorku kringum landið. Hún miðast við meðalölduhæð, þ.e. ölduhæð með 50% varanleika. Öldukortin hér að ofan miðast hins vegar við 10% varanleika.

Vegagerðin hefur fullnægjandi upplýsingar fyrir frummat og frekari úrvinnslu á ölduorku við strendur landsins. Vegagerðin notar þau m.a. til að meta hönnunarforsendur fyrir varnarmannvirki við sjó á sama hátt og gert er um heim allan. Hafi virkjunaraðili þörf fyrir ölduupplýsingar á einhverju hafsvæði eru allir möguleikar á að yfirfæra fyrirliggjandi upplýsingar úr gagnagrunni með öldufarsreikningum yfir á viðkomandi hafsvæði. Slíkir öldufarsreikningar byggja m.a. á upplýsingum um hafdýpi, en slíkar upplýsingar eru ekki alls staðar fyrir hendi. Þá eru upplýsingar um botngerð og lífríki hafsbotsins víðast hvar af skornum skammti en þær eru nauðsynlegar vegna legufæra mögulegra ölduorkuvera og mats á umhverfisáhrifum.

12. Seltuorka

Hægt er að virkja efnaorku sem losnar við blöndun ferskvatns og sjávar með hálf gegndræpum himnum. Tvær aðferðir eru þekktar og hafa báðar verið reyndar til raforkuframleiðslu. Annars vegar er tækni sem byggir á eðlisfræði himnuflæðis (*e. pressure-retarded osmosis*). Hins vegar er tækni sem byggir á öfugri rafhimmuskiljun (*e. reversed electrodialysis*) sem framkallar rafmagn beint út frá mismunandi seltustigi tveggja vökva. Í viðauka er ólík tækni skýrð frekar og greint frá tilraunum til raforkuframleiðslu úr seltuorku.

Afrennsli vatnsfalla á Íslandi er vel þekkt og nemur að jafnaði um 5.000 m³/s en afrennslið er breytilegt eftir árstímum og tíðarfari. Ef miðað er við að hægt sé að fá um 1,1 MW raf afl fyrir rennsli hvers rúmmetra á sekúndu af fersku vatni þá er fræðilegt heildar raf afl úr seltu við Ísland yfir 5 GW að jafnaði, sem samsvarar um 44 TWh raforku á ári. Tæknilega er þó ekki raunhæft að virkja allt fræðilegt afl. Veðurstofa Íslands heldur utan um og safnar upplýsingum um úrkomu og rennsli íslenskra vatnsfalla. Með upplýsingum frá Veðurstofu Ísland er því hægt að reikna út virkjanlegt orkumagn í ósum einstakra vatnsfalla að gefnum tæknilegum upplýsingum um þá seltuorkutækni sem nota á.

Þó svo að tæknin til að framleiða raforku úr seltumun með hálfgegndræpum himnum hafi verið þekkt frá upphafi áttunda áratugarins er hún enn óhagkvæm. Meira afl þarf að fást úr hverjum fermetra gegndræpar himnu en fæst í dag og leysa þarf vandamál varðandi endingu himnanna og stíflun þeirra af lífrænum toga (*e. biofouling*). Þróun á öflugum hálfgegndræpum himnum er drifin áfram af síaukinni þörf fyrir að vinna ferskvatn úr sjó. Nú er „reverse osmosis“ ódýrasta og minnst orkukrefjandi þekkta aðferð til þess. Mikil

Þróunarvinna á sér stað á sviði hálfgegndræpar himnutækni og binda menn vonir við framfarir á sviði nanó-tækni í því sambandi. Líkur eru á að á næstu áratugum geti seltuorkutækni orðið hagkvæmur kostur til að auka hlutfall endurnýjanlegrar orkuframleiðslu hjá þjóðum eins og Hollendingum sem hafa yfir miklu ferskvatni að ráða.

Nýsköpunarmiðstöð Íslands hefur athugað áhrif jökulvatns úr ólíkum íslenskum vatnsföllum á hálfgegndræpar himnur og fylgist í dag með þróun í seltuorkutækni, en Háskóli Íslands hefur safnað og rannsakað efnainnihald fallavatna á Íslandi. Að svo komnu máli er ekki tímabært að aðhafast sérstaklega vegna mögulegra seltuvirkjana á Íslandi, en það kann að breytast í framtíðinni. Þó er rétt að skipulagsyfirlögd reikni með virkjun sjávarorku í langtíma skipulagi og hugað verði að lagagrundi og regluverki sem lýtur að virkjun seltuorku. Umhverfisáhrif seltuvirkjana eru lítt þekkt í dag, en rétt er að benda á að þær gætu haft áhrif á lífríki svifþörungna, sem aftur hefur áhrif á allt annað lífríki sjávar. Þekking á áhrifum seltuvirkjana á líffræði og vistkerfi sjávar er mikilvæg áður en virkjað er.

13. Mat á áhrifaþáttum

Undirbúningur fyrir virkjun sjávarorku krefst langtímarannsókna á sjávarfari, umhverfisþáttum og tæknilegum úrlausnarefnum sem öll eru tímafrek og kostnaðarsöm viðfangsefni. Þeirri vinnu má í grófum dráttum skipta í eftirfarandi verkþætti:

- i. Straummælingar til að afla langtímamæliraða með viðurkenndri mælitækni.
- ii. Gerð reiknilíkans og skilgreining kennistærða fyrir hafsvæðið sem virkja á.
- iii. Dýptarmælingar og mæling á öðrum landfræðilegum áhrifaþáttum.
- iv. Mat á hagkvæmustu hverflatækni fyrir ríkjandi aðstæður.
- v. Mat á bestu legu fyrir neðansjávarkapla og tengingu í land og við dreifikerfið.
- vi. Mat á samkeyrsluáhrifum sjávarorku með öðrum orkuvirkjum.
- vii. Athugun á tiltækri þjónustu vegna byggingar, viðhalds og reksturs.
- viii. Mat á umhverfisþáttum og öðrum takmörkunum eins og siglingum og fiskveiðum.
- ix. Umhverfismat.
- x. Mat á byggingartæknilegum forsendum á virkjunarstað og kostnaðaráhrifum þeirra.
- xi. Ítarlegt mat á rekstrar- og viðhaldskostnaði mannvirkja og búnaðar.
- xii. Mat á öðrum óvissuþáttum og kostnaðaráhrifum þeirra.
- xiii. Ítarlegar og endurteknar kostnaðargreiningar í samræmi við framvindu undirbúningsins.

Öflun grunnupplýsinga sem aðeins eru fyrstu hlutar af verkþáttum 1 og 2 gætu verið á ábyrgð opinberra stofnana en allir aðrir þættir, þar með taldar straum- og öldumælingar og

tilheyrandi keyrslur reiknilíkana sem beinast að afmörkuðum virkjunarstað þurfa að vera á verksviði þeirra sem fá rannsóknar- og virkjunarleyfi.

14. Hverflataækni

Yfir hundrað fyrirtæki, stofnanir og einstaklingar í fleiri en 30 löndum vinna við þróun tækni til að virkja sjávarstraumaorku. Þá eru hátt í annað hundrað aðilar að þróa tækni til að virkja ölduorku. Enn hefur engin virkjanatækni orðin að fullþróaðri markaðsvöru. Nokkur fyrirtæki hafa þó smíðað starfhæfar frumgerðir sem sannprófaðar hafa verið í raunumhverfi og verið tengdar við raforkukerfi í nokkurn tíma. Margir stefna að því að innan fárra ára hafi þeir komið upp virkjanagarði (fjölmargir hverflar tengdir saman) með uppsettu afli yfir 10 MW.

Bandaríska Orkustofnunin (*U.S. Department of Energy*) hefur útbúið gagnagrunn (*Marine and Hydrokinetic Technology Database*) sem inniheldur nýjustu upplýsingar um endurnýjanlega sjávarorku- og streymisorkutækni um allan heim. Þar er haldið utan um sjávarorkuverkefni, sjávarorkutækni og fyrirtæki sem taka þátt í þróun tækninnar. Aðgangur að gagngrunninum er aðgengilegur í gegnum vefinn openei.org.⁵ Evrópska Sjávarorkumiðstöðin (*European Marine Energy Centre*)⁶ heldur einnig úti listum yfir fyrirtæki sem eru að þróa sjávarstrauma- og ölduorkutækni. Hvorki gagnagrunnur U.S. DoE, né listar EMEC eru þó tæmandi né fullkomnir.

Það sem einkennir bæði sjávarstrauma- og ölduorkutækni, er að framleiðsluverð orkunnar er töluvert hærra í dag en fyrir vindorkuvirkjanir úti á hafi. Því er þó spáð að framleiðsluverðið fari lækkandi og muni fylgja svipaðri, en hægari þróun og verið hefur í vindorkutækni. Mikil áhersla er lögð á að ná niður framleiðslukostnaði með því að huga að einföldun í hönnun hverfla og festingum þeirra við sjávarbotn. Einnig er mikilvægt að lágmarka viðhaldskostnað, sem er hlutfallslega hærri í sjávarorkuvirkjunum en virkjunum á landi. Því hefur verið spáð að framleiðslukostnaður sjávarorku eigi eftir að falla sexfalt frá því að fyrsti 10 MW virkjanagarðurinn hefur verið reistur og þangað til búið verður að virkja sexþúsundfalt það magn, eða 60 GW fyrir hvort tveggja; sjávarstrauma- og ölduorku.⁷

Sjávarstraumavirkjanir

⁵ http://en.openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Database.

⁶ <http://www.emec.org.uk>

⁷ http://www.si-ocean.eu/en/upload/docs/SIOcean_Market_Deployment_Strategy-Web.pdf

Afl í streymi sjávar er háð straumhraðanum í þriðja veldi. Því áttfaldast aflþéttleikinn með hverri tvöföldun í hraða. Með aflþéttleika er átt við virkjanlegt afl sem fer í gegnum þversnið sem er hornrétt á straumstefnuna. Orkuframleiðsla sjávarstraumhverfla er því háð virku flatarmáli þeirra, straumhraða vatnsins og nýtni viðkomandi hverfils. Nýtnin er mismunandi eftir eðli og hönnun hverflanna, en hún er oft á bilinu 8 – 45%. Nýtni hvers hverfils er nánast fasti og óháð straumhraðanum. Af þessum ástæðum er ávinningur af því að virkja þar sem straumhraðinn er mestur, en þegar upp er staðið er það þó framleiðslukostnaður orkunnar sem skiptir máli. Ódýr og einfaldur hverfill með lága nýtni (t.d. 10%) í hægum straumi (t.d. 1,5 m/s) getur því verið hagkvæmari en flókinn og dýr hverfill í hröðum straumi (t.d. 2,5 m/s) með 40% nýtni.

Þar sem straumhraði í sjávarföllum sveiflast frá engum hraða og upp í hámark og aftur í ekkert á rúmlega 6 klst. fresti, þá er orkuframleiðslan mjög sveiflukennnd, þótt hún sé mjög fyrirsjáanleg. Auk sveiflunnar í straumhraða milli flóðs og fjöru breytist hámarks straumhraðinn einnig milli stórstreymis og smástreymis og milli árstíða. Því er meðalaflið sem hverflarnir ná að virkja oft ekki nema 20 – 25% af því hámarksafli sem þeir geta nýtt í viðkomandi sjávarfallastraum. Séu hverflar hins vegar í stöðugum hafstraumi eins og t.d. í Golfstraumnum þar sem hann er sterkastur við Flórída í Bandaríkjunum, þá verður meðalaflið sem hlutfall af hámarksafli herra og orkuframleiðslan jafnari.

Í grunninn byggir sjávarstraumaorkutækni á svipuðum lögmálum og vindorkutækni, nema hvað straumhraðinn er lægri og vökvinn (vatn í stað loft) er yfir 800 sinnum þyngri. Algengasta hverflataeknin er því keimlík hefðbundnum vindmyllum, en fleiri útfærslur og gerðir eru þó í þróun en innan vindorkugeirans.

Hægt er að flokka sjávarstraumavirkjanir í yfir 6 gerðir eftir eðli hverflanna, eða þeim búnaði sem umbreytir hreyfiorku straumsins í hreyfanlegt vélarafli sem hægt er að umbreyta í raforku. Auk þess er líka hægt að flokka virkjanirnar eftir því hvernig þær eru festar niður.

Gerð sjávarstraumavirkjunar	Flokkun
Hverfill með snúningsás samsíða straumstefnu (<i>e. Horizontal Axis turbine</i>)	A
Hverfill með snúningsás þvert á straumstefnu (<i>e. Vertical Axis turbine</i>)	B
Sveiflandi spaði/vængur (<i>e. Oscillating Hydrofoil</i>)	C
Hverfill í aðþrengdum göngum (<i>e. Enclosed Tip / Ducted</i>)	D
Gormlaga skrúfuhverfill (<i>e. Helical Screw</i>)	E
Sjávarstrauma flugdreki (<i>e. Tidal Kite</i>)	F
Önnur tækni	G

Í viðauka er nánari lýsing á hverri gerð sjávarstraumavirkjana og tekin dæmi um lausnir í hverjum flokki frá fyrirtækjum sem lengst eru komin í þróun að markaðshæfum vörum.

Ölduvirkjanir

Afl í öldum er bæði háð ölduhæð og sveiflutíma öldunnar. Aflnýtni hverrar virkjunar er mjög mismunandi eftir gerð hennar og hönnun. Því er flóknara að áætla ársorkuframleiðslu ölduvirkjana en t.d. sjávarstraumavirkjana. Fyrst þarf framleiðandi ölduvirkjunarbúnaðarins að mæla aflupptökuna fyrir mismunandi ölduhæð og sveiflutíma. Ef líkindadreifing ölduhæðar og sveiflutíma er þekkt fyrir það svæði sem virkja á er hægt að áætla ársorkuframleiðsluna með því að margfalda saman árleg líkindi á ákveðinni ölduhæð og sveiflutíma með aflupptöku fyrir sömu ölduhæð og sveiflutíma. Sé þetta gert yfir allar mögulegar ölduhæðir og sveiflutíma fæst líkleg árs orkuframleiðsla. Orkuframleiðslan er þó bæði sveiflukennnd og álíka ófyrirséð eins og gildir um virkjun vinds. Undiraldra frá úthafi getur þó jafnað sveiflur í orkuframleiðslu nokkuð. Reiknað er með hærra framleiðsluverði raforku með ölduorku en sjávarstraumaorku og er framleiðsluverðið í dag ekki samkeppnishæft nema með miklum niðurgreiðslum. Spáð er að framleiðsluverð raforku með þessari tækni gæti fallið allt að sexfalt með aukinni tækniþróun og auknu uppsettu heildarafli.

Hægt er að skipta ölduvirkjanatækni í yfir átta flokka eftir eðli og virkni tækninnar⁸. Innan hvers flokks er verið að þróa fjölmargar útgáfur í dag, en flestar ölduvirkjanir eru enn á þróunarstigi og komnar skemur á veg en sjávarstraumavirkjanir. Mjög mikil fjölbreytni er í þeim hugmyndum sem eru í þróun og óvíst að hagkvæmasta tæknin sé enn komin fram.

Gerð ölduvirkjunar	Flokkun
Sveifludreyfing (<i>e. Attenuator</i>)	A
Sveifla dufls (<i>e. Point Absorber</i>)	B
Uptaka sveiflukennnds ölduflæðis (<i>e. Oscillating Wave Wurge Converter</i>)	C
Sveiflur í vatnssúlu (<i>e. Oscillating Water Column</i>)	D
Yfirflæðislón (<i>e. Overtopping/Terminator Device</i>)	E
Neðansjávar þrýstimunur (<i>e. Submerged Pressure Differential</i>)	F
Hnúfuvirkjun (<i>e. Bulge Wave</i>)	G
Hverfímassi (<i>e. Rotating Mass</i>)	H
Önnur tækni	I

Í viðauka er nánari á lýsing á hverri gerð ölduvirkjana og tekin dæmi um lausnir í hverjum flokki frá fyrirtækjum sem lengst eru komin í þróun á markaðshæfum vörum.

Sjávarfallavirkjun

Sjávarfallavirkjun sem byggir á að stífla firði og búa til lón, virkjar hæðarmun sem flóð og fjara mynda fyrir utan og innan stíflu. Orkuframleiðslan er háð meðalhæðarmun

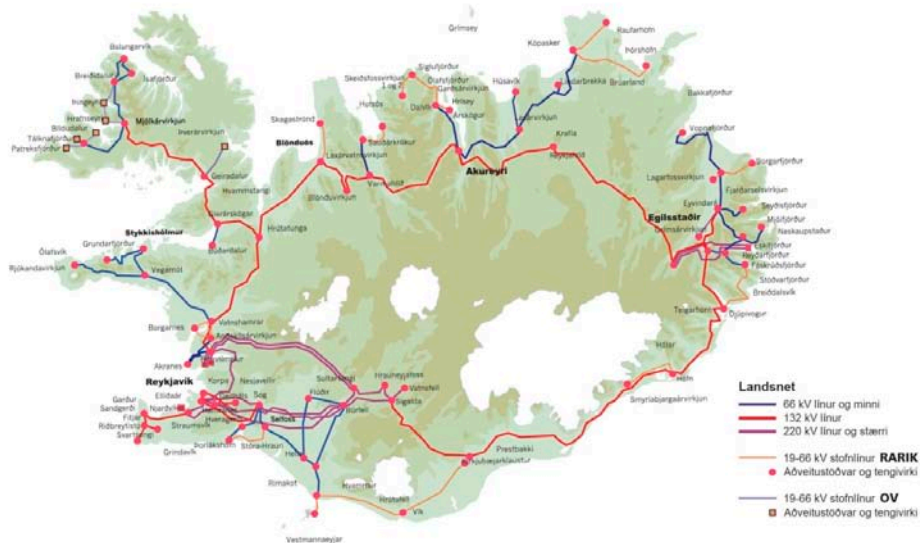
⁸ <http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/>

sjávarfallanna og stærð lónsins en einnig því hvort virkjunin er einvirk eða tvívirk, þ.e. nýtir bæði hæðarmun á aðfalli og útfalli. Hverflarnir eru ekki ólíkir skipskrúfum með sveran kúlulaga öxul þar sem rafallinn er inni í öxlinum. Nokkrir framleiðendur vatnsaflshverfla bjóða slíka hverfla, en oft eru þeir sérsmíðaðir fyrir viðkomandi virkjun. Tæknin er vel þekkt og þróuð og hefur verið í notkun í yfir hálfá öld.

15. Íslenska raforkukerfið

Til að nýta sjávarorku er jafnan horft til samkeyrslu við vatnsaflskerfi. Framleiðsla í samtengdri sjávarorkuvirkjun gæti sparað vatn frá vatnsmiðlunum kerfisins. Nærtækast er því að athuga samkeyrslu við vatnsaflsvirkjanir Landsvirkjunar sem er með markaðsráðandi stöðu í virkjun vatnsorku á Íslandi. Ef það hins vegar gengur ekki upp þá gæti þurft að skoða þann möguleika að reisa dæluvirkjun í nágrenni sjávarorkuvirkjunar. Kostnaður við dæluvirkjun mundi þá leggjast við kostnað sjávarorkuvirkjunar og þyrfti þá að reikna út hvaða áhrif það hefði á heildarkostnaðarverð raforku.

Hvaða leið sem farin yrði þarf sjávarorkuvirkjun með ójafna orkuvinnslu, þar sem framleiðslutímar flytjast til frá degi til dags og innan dagsins, ávallt að treysta á orku frá öðrum virkjunum til þess að koma inn þegar framleiðsla er í lágmarki. Slíkt hefur í för með sér aukinn kostnað sem þarf að taka tillit til þegar borinn er saman kostnaður við raforkuframleiðslu mismunandi kosta.

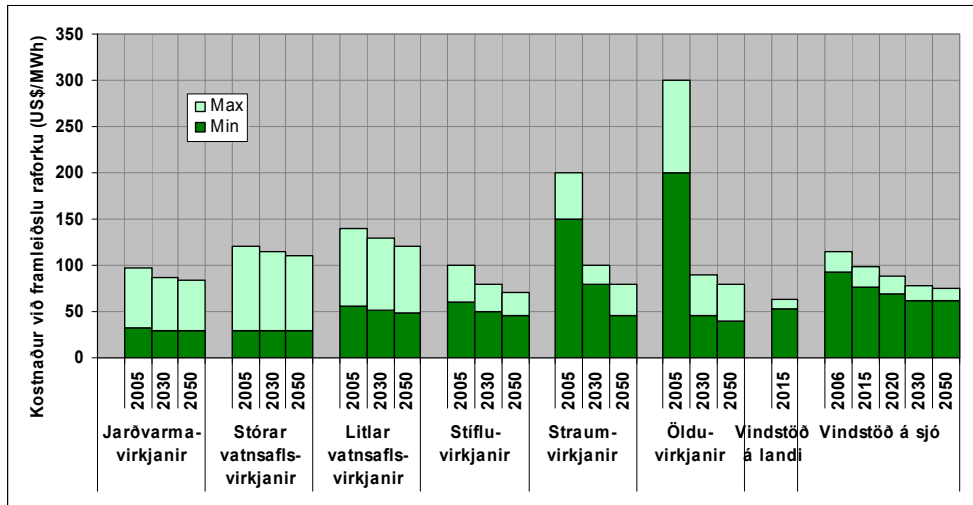


Mynd 15. Íslenska raforkukerfið.

Eðlilegast er að reikna með því að sjávarorkuvirkjun tengist hinu almenna raforkukerfi landsins og að hún beri kostnað af flutningi raforkunnar frá virkjunarstað að tengistað í raforkukerfinu. Hafa ber í huga að almennt séð er mjög kostnaðarsamt að tengja sjávarorkuvirkjanir við raforkukerfið. Við hagfelldar aðstæður er e.t.v. hægt að tengja 400-500 kW orkuver beint inn á dreifkerfi raforku, þ.e. háspennt kerfi með 11 og 19 kV spennu. Yfirleitt er þó ekki unnt að tengjast raforkukerfinu nema í aðveitustöðvum sem eru venjulega staðsettar við þéttbýlisstaði. Sjávarorkuver sem staðsett yrðu úti fyrir annesjum eins og t.d. Langanesi eða Látrabjargi yrði að tengja við næstu aðveitustöðvar sem eru annars vegar á Þórshöfn en hins vegar á Patreksfirði. Ef tekið er dæmi um að tengja 1 MW sjávarorkuver á slíkum stöðum getur kostnaður verið 10-15 kr/kWh sem leggst ofan á framleiðslukostnað sjávarorkuvirkjunarinnar.

16. Kostnaðarþættir

Mynd 16 sýnir áætlaða þróun á framleiðslukostnaði grænnar orku samkvæmt heimild frá Alþjóða Orkumálastofnuninni (IEA). Sýnt er hámarksmat (Max) og lágmarksmat (Min).



Mynd 16. Áætluð þróun í framleiðslukostnaði grænnar orku byggð á jafnaðartölum IEA.

Þessar kostnaðartölur frá IEA eru jafnaðartölur, þ.e. byggðar á alþjóðlegum meðaltölum. Þær eiga því illa við um kostnað við raforkuframleiðslu á Íslandi sem er talsvert lægri. Burt

séð frá því reiknar IEA með að kostnaðurinn fari lækkandi og lækki mest í straum- og ölduvirkjunum. Þá er tekið mið af því að tæknipróun er mikil og búast megi við því að á hverjum áratug skili hún umtalsverðum árangri í betri og öruggari búnaði og lækkandi framleiðslukostnaði. Ekkert er þó í hendi með þetta. Miðað við mögulega þróun fram til 2050 og framangreindar jafnaðartölur, er búist við að framleiðslukostnaður raforku frá straum- og ölduvirkjunum lækki það mikið að hann verði á svipuðum slóðum og framleiðsluverð frá vatnsafls og jarðvarmavirkjunum. Sú reynsla sem komin er af kostnaði við uppbyggingu og rekstur vindrafstöðva hér á landi er í sæmilegu samræmi við kostnaðartölur IEA. Auk framangreindra upplýsinga frá IEA um framleiðslukostnað raforku eru upplýsingar um kostnað við sjávarorkuvirkjanir einna helst að finna hjá rannsóknarstofnunum á borð við EPRI í Bandaríkjunum, ESAA í Asíu og Eurelectric í Evrópu.

Að undanfögnu hefur Sjávarorka ehf. unnið að rannsóknum og mælingum í utanverðum Hvammsfirði auk þess sem straumlíkan var gert af firðinum. Með því að nýta niðurstöður úr þessum rannsóknum var stillt upp kostnaðarlíkani af 6 MW sjávarstraumavirkjun sem staðsett yrði vestan við Röstina þar sem straumur er hvað mestur og nægjanlegt dýpi einnig. Miðað var við að nota hverfla frá bandaríska fyrirtækinu ORPC sem byggja á svonefndri Gorlov tækni. Verkfræðistofan Verkís reiknaði út mögulega orkuframleiðslu og reyndist hún vera um 9,5 GWh/ári. Var miðað við að raforkuframleiðsla færi fram þegar straumur er a.m.k. 1 m/sek. Það kom á óvart hversu nýtingartíminn var lágur eða tæplega 1.600 stundir (um 20%) en oftast hafa sjávarorkuver nýtingartíma upp á 2.000-2.500 klukkustundir á ári. Í eftirfarandi töflu er sýndur samanburður á áætluðum kostnaði við framleiðslu á raforku frá slíkri virkjun og á meðalstórrí vatnsaflsvirkjun þar sem kostnaðartölur liggja fyrir. Þrátt fyrir að nýtingartími upp á 2.500 stundir fengist yrði kostnaðurinn eftir sem áður verulega hærri en frá vatnsaflsvirkjun. Því er spáð að um miðja öldina geti kostnaðarverð á sjávarstraumavirkjunum jafnvel verið komið niður fyrir 2.000 USD/kW en þrátt fyrir það og betri nýtingartíma væri verðið ennþá yfir 10 ISK/kWh eða a.m.k. 2-3 falt það sem kostnaður við vatnsafls- og jarðvarmavirkjanir er hér á landi.

Tegund	Eining	Sjávarorka	Vatnsorka
Afl	MW	6	50
Orkuvinnsla	GWh/ári	9,5	370
Nýting	h/ári	1.583	7.400
Einingarkostnaður	USD/kW	6.000	2.580
Heildarkostnaður	MUSD	36,0	129,0

Kostnaðarverð orku	USD/MWh	482,0	26,7
Kostnaðarverð orku	ISK/kWh	65,1	3,60

Niðurstöðurnar benda til þess að enn sem komið er sé ekki hagkvæmt að virkja sjávarorku hér á landi á meðan virkjunarmöguleikar í vatnsafla og jarðvarma eru enn fyrir hendi. Þetta getur breyst og er því mikilvægt að fylgjast með þróuninni og auka þekkingu á eðli og orkuvinnslugetu öldu- og sjávarstrauma. Sjávarorka er vissulega áhugaverður kostur til orkuöflunar þegar litið er til lengri framtíðar og sem hægt væri að grípa til síðar meir þegar þróun straumahverfla verður komin mun lengra og reynsla annarra þjóða gefur tilefni til þess að fara fram með þessa lausn hér við land.

17. Erlent samstarf

Ísland er ekki aðili að Alþjóða Orkumálastofnunni IEA (*International Energy Authority*) og því heldur ekki aðili að OES (*Ocean Energy Systems Implementing Agreement*) sem starfar undir hatti IEA í París. Það er sá vettvangur þar sem fjallað er hvað mest um sjávarorku og nýtingu hennar. Ekki er tímabært fyrir Ísland að gerast aðili að OES en rétt er að fylgjast með framvindu mála á þeim vettvangi.

Athuga ætti samstarf við EMEC (*European Marine Energy Centre*) sem starfrækt er á Orkneyjum. Sjávarorka ehf. hefur gengið frá samstarfsyfirlýsingu við EMEC sem og ORPC (*Ocean Renewable Power Company*) í Bandaríkjunum (USA).

18. Flokkun sjávarorku

Heildarorkumagn sjávar er gríðarlega mikið en aðeins lítill hluti þess hagnýtanlegur. Eftirfarandi flokkun virkjunarkosta byggir á aðferðafræði (*ESBI Generic Renewable Energy Resource Ranking Diagram*). Flokkunin sýnir hvernig takmarkandi þættir leiða skref fyrir skref til niðurstöðu um raunhæfa orkunýtingu. Hún er upphaflega sett fram fyrir sjávarstrauma- og sjávarfallaorku en getur vel nýst fyrir ölduvirkjanir:

Flokkur	Skilgreining á flokki
Fræðileg orka	Heildar orkumagn sjávarorku frá 10 m dýpi fyrir utan strönd út að 12 sjómílna mörkum

Tæknileg orka	Fræðileg orka – að teknu tilliti til takmarkana sem núverandi hverflatækni setur - miðað við að mesti straumhraði sé að lágmarki 1,5 m/s
Nýtileg orka	Tæknileg orka - að teknu tilliti til takmarkana eins og dýpis, þ.e. innan dýptarmarka 10 – 40 m; straumhraða yfir 1,5 m/sek; aðstæðna á hafsbotni, siglingaleiða, fiski- og hvalagengdar, ísa, gosbeltis o.fl.
Aðgengileg orka	Nýtileg - að teknu tilliti til náttúrufars, t.d. fiskveiða og náttúruminja o.fl. Meta má aðgengilega orku = nýtilega orku.
Raunhæf orkunýting	Aðgengileg orka sem takmarkast við viðskiptalegar takmarkanir eins og þróunar-, byggingar-, og rekstrarkostnaðar og markaðsverð orku o.fl.

Fræðileg orka.

Gróft mat á fræðilegri hreyfiorku er tiltækt fyrir sjávarstraumorku í WH/m²/ár og fyrir ölduorku einnig. Matið er frekar varfærið og tekur ekki tillit til tæknilega nýtanlegrar orku. Kanna má hvort og hvernig auka mætti nákvæmni þessa mats t.d. með nákvæmari reiknilíkönum með minni möskvum ásamt straummælingum, hvað ynnist við það og hvað það myndi kosta. Fræðileg orka er öll hreyfing sjávar en óraunhæft verður að nýta nema örlítinn hluta hennar.

Tæknileg orka.

Mat á tæknilegri orku miðast við svæði þar sem lágmarks dýpi er 10 m á stórstraumsfjöru og mesti straumhraði er meiri en 1,5 m/s. Taka þarf tillit til mismunandi ræsihraða hverfla og mismunandi efri marka. Tæknileg orka tekur mið af tæknilegum lausnum og er gert ráð fyrir að fyrst og fremst verði stuðst við tiltækar tæknilegar upplýsingar frá rannsóknahópum og framleiðendum. Áður en ráðist er í kostnaðarsama útreikninga og mælingar til að leita uppi staði í sjónum kringum Ísland þar sem tæknilega séð væri mögulegt að setja niður sjávarhverfla, væri skynsamlegt að meta hvort til séu lausnir sem eru nógu hagkvæmar til að uppfylla forsendur íslensks raforkumarkaðar. Hér er m.a. vísað til almenns framleiðsluverðs raforku, afhendingartíma, afhendingaröryggis, tengingar við raforkukerfið og þarfir raforkumarkaðarins. Þá þarf að meta hversu mikill orkuþéttleiki í sjávarstraumunum verður að vera til að virkjun sé arðbær og hvort líklegt sé að finna slíkan orkuþéttleika við Ísland.

Nýtileg orka.

Við mat á nýtilegri orku mætti skoða hvaða tæknilegir þættir takmarka möguleika á nýtingu eins og ölduhæð, aðstæður á hafsbotni, siglingaleiðir, og fleiri tæknilegir þættir sem kunna að takmarka mögulega nýtingu við íslenskar aðstæður, eins og tengingamöguleikar við raforkukerfið.

Aðgengileg orka.

Athuga þarf hvaða þættir kunni að takmarka möguleika á nýtingu sjávarorku af náttúrufarsárstæðum. Þar getur verið um að ræða samspil aurburðar og lífríkis við stendur landsins, fiskimið, göngur sjávarlífvera, ís og hættu á eldgosum eða jarðskjálftum og fleiri þætti sem kunna að vera sérstakir við stendur Íslands. Í ljósi slíkrar skoðunar eru lagt mat á hvaða hlutmengi nýtanlegrar orku er aðgengilegt.

Aðgengi að orkunni þarf að skoða í ljósi stöðu Rammaáætlunar um vernd og orkunýtingu og landsskipulags.

Raunhæf orkunýting.

Við mat á raunhæfri nýtingu sjávarorku þarf lauslega að skoða aðgengilega orku í ljósi takmarkandi þátta eins og kostnaðar, stærðarhagkvæmni, verðs, tímasetningar og áhættu. Þá þarf að finna líftímakostnað og ávöxtunarkröfu fyrir nýtingu sjávarorku. Athuga þarf hvar er hagkvæmt að tengja slíkar framleiðslueiningar við flutningskerfið og hvað það kostar fyrir mismunandi lausnir.

Stjórnvöld á Írlandi hafa metið sjávarstraumaorku við Írland og birt niðurstöður í skýrslu⁹. Þar kemur fram að heildar fræðileg sjávarstraumaorka við Írland sé 230 TWh á ári, en raunhæf orkunýting sé aðeins 0,92 TWh á ári, eða minna en 0,4% af fræðilegri orku. Sjávarfallahæð og sjávarstraumar við austanvert Írland eru meiri en þekkt við Ísland, og þó ekki sé hægt að yfirfæra mælingar Íra yfir á Ísland, þá gefa útreikningar Íra til kynna að mjög mikill munur geti verið á fræðilegri orku og raunhæfri orkunýtingu

19. Stjórnslá

Samkvæmt lögum um Orkustofnun nr. 87/2003 á stofnunin m.a. að sinna eftirfarandi verkefnum:

- Vera ríkisstjórninni til ráðuneytis um orkumál og önnur auðlindamál sem stofnuninni eru falin með lögum og veita stjórnvöldum ráðgjöf og umsagnir um þau mál;
- standa fyrir rannsóknum á orkubúskap þjóðarinnar, á orkulindum landsins og hafsbotsins og á öðrum jarðrænum auðlindum þannig að unnt sé að meta þær og veita stjórnvöldum ráðgjöf um skynsamlega og hagkvæma nýtingu þeirra;

⁹http://www.seai.ie/Publications/Renewables_Publications_/Ocean/Tidal_Current_Energy_Resources_in_Ireland_Report.pdf

- safna gögnum um orkulindir og aðrar jarðrænar auðlindir, nýtingu þeirra og orkubúskap landsmanna, varðveita þau og miðla upplýsingum til stjórnvalda og almennings;
- vinna að áætlanagerð til langs tíma um orkubúskap þjóðarinnar og hagnýtingu orkulinda og annarra jarðrænna auðlinda landsins og hafsbotsins;
- stuðla að samvinnu þeirra sem sinna orkurannsóknum og samræmingu á rannsóknarverkefnum.

Ekki er í lögum að finna sambærilegt lögboðið hlutverk er lýtur að mati á umfangi og hagnýtingu sjávarorku. Hafrannsóknastofnun er með lögum um rannsóknir í þágu atvinnuveganna nr. 64/1965 m.a. falið að afla alhliða þekkingar um hafið, eðlis- og efnafræðilega eiginleika sjávar umhverfis Ísland svo og um lögum, gerð og jarðfræðilega eiginleika landgrunnsins, einkum með tilliti til áhrifa á lífríkið. Vegagerðin gegnir veigamiklu hlutverki í mælingum og hagnýtum rannsóknum á öldufari og áhrifum sjávaröldu á hverskonar samgöngumannvirki eins og vega- og hafnarmannvirki, sbr. lög um Vegagerðina, nr.120/2012; lög um vitamál, nr. 132/1999; lög um sjóvarnir nr. 28/1997 og hafnalög nr. 61/2003. Með þessu fjölbætta hlutverki og tengdum rannsóknum er Vegagerðin í lykilhutverki í öflun grunnupplýsinga um ölduorku sem nýst hefur og mun nýtast við mat á virkjanlegri ölduorku við Ísland. Þá ber Landhelgisgæsla Íslands ábyrgð á sjómælingum og sjókortum, sbr. 11. lið 4. gr. laga nr. 52/2006. Sjómælingasvið Landhelgisgæslunnar annast gerð sjó korta en slík kort eru nauðsynleg forsenda fyrir því að hægt sé að stilla upp straumlíkani í röstum.

Ljóst er að allar þessar fjórar stofnanir hafa hlutverk sem með einhverjum hætti lúta að eðli og hagnýtingu sjávarorku. Hlutverk Orkustofnunar er skýrast og umfangsmest. Því er lagt til að Orkustofnun verði falið að annast uppbyggingu gagnagrunns um nýtingu sjávarorku og stuðla að samvinnu þeirra sem stunda rannsóknir sem tengjast hagnýtingu sjávarorku. Mikilvægt er að gögn berist með reglubundnum hætti á milli allra ofangreindra stofnana meðal annars til að tryggja að rannsóknir á náttúrufari varðveitist hjá viðkomandi stjórnvaldi. Orkustofnun feli jafnframt viðkomandi verkfræðistofum og opinberum stofnunum að annast útreikninga á orkuvinnslugetu líklegra virkjunarstaða fyrir sjávarorku til að afla grunnupplýsinga sem teljast til frummats og forathugunar, sbr. 6. kafla um undirbúning framkvæmda. Auk þess taki hún við og vinni úr rannsóknarniðurstöðum þeirra sem fengið hafa rannsóknar- og framkvæmdaleyfi til virkjunar sjávarorku. Mat á tæknilegri orku, nýtanlegri orku, aðgengilegri orku og raunhæfri orkunýtingu, sbr. 18. kafla um flokkun sjávarorku verður á ábyrgð framkvæmdaaðila.

Engin sérlög eru um nýtingu sjávarorku eða vindorku utan netlaga né um rannsóknir á slíkum virkjunarkostum. Grundvöllur virkjunarleyfa til raforkuframleiðslu eru raforkulög nr. 65/2003. Lögin taka til vinnslu, flutnings, dreifingar og viðskipta með raforku á íslensku

forráðasvæði án tillits til orkugjafa. Samkvæmt raforkulögum er raforkuver/-virkjun skilgreind sem mannvirki sem notað er til vinnslu raforku. Tvær eða fleiri einingar sem mynda eðlilega heild og tengjast flutningskerfinu eða dreifikerfi gegnum sameiginleg tengivirki teljast ein virkjun. Raforkulög vísa til auðlindanýtingar vegna raforkuframleiðslu og gilda um rannsóknaleyfi vegna virkjunarkosta á landi og við strendur innan netlaga.

Bærist Orkustofnun umsókn um rannsóknir eða nýtingu sjávarorku og vindorku utan netlaga vegna fyrirhugaðra virkjunar með vísan til ákvæða raforkulaga, gæti Orkustofnun eftir atvikum tekið ákvörðun um slíkt leyfi á grundvelli lögskýringarleiða. Ef sett yrði ný löggjöf um virkjunarkosti utan netlaga þyrfti að skilgreina hvað felst í hinum mismunandi kostum sem byggja á nýtingu sjávarorku auk þess að fjalla um jarðvarmavirkjanir og vindorkuver. Skilgreina þarf tengsl slíkra virkjunarkosta við gildandi löggjöf, svo sem ákvæði raforkulaga. Auk þess þarf að horfa til tengsla slíkra virkjunarkosta, m.a. við skipulag á haf- og strandsvæða samkvæmt Landsskipulagsstefnu, lög um mat á umhverfisáhrifum nr. 106/2000, auk laga um verndar- og orkunýtingaráætlun nr. /48/2011, svo dæmi sé tekið.

20. Tillögur um öflun viðbótarupplýsinga

Sæmileg heildarmynd er til af sjávarstraumaorku og ölduorku við Ísland. Hún sýnir að nokkrar af helstu röstum landsins á borð við Hvammsfjarðarröst, Reykjanesröst og Látraröst geta mögulega gefið af sér virkjanlega orku í framtíðinni, sbr. mynd 4 (bls.12) sem sýnir reiknaðan hámarksstraumhraða sjávarfalla á stórstreymi. Upplýsingar frá sjómönnum hafa gefið vísbendingar um umfang rastanna og strauma í þeim. Frekari upplýsinga er þörf til að áætla orku þeirra.

Ölduorka er mest við Suðurland og Vesturland og má áætla orkuvinnslugetuna með reiknilíkönnum og mælingum frá gervitunglum. Miklar beinar öldumælingar hafa verið gerðar um árabíl af Vegagerðinni og byggjast þær á mælingum með öldduflum. Óvída eru mælingar jafn umfangsmiklar í öðrum löndum og er óþarfi að auka þær vegna þeirra grunnupplýsinga sem opinberir aðilar þurfa til að meta ölduorku. Á grundvelli þessa eru eftirfarandi tillögur settar fram.

1. Fram fari dýptarmælingar og straummælingar í helstu röstum við Ísland en þær eru nauðsynlegar til að stilla upp réttum upplýsingum í straumlíkan og staðreyna niðurstöður þess. Samhliða því verði sett upp reiknilíkan sem m.a. nýtist við staðsetningu þessara mælinga. Með því að kortleggja sjávarbotninn með fjölgeisla mælingum verður

staðsetning straummælinga markvissari og niðurstöður reiknilíkans fyrir röstina verða áreiðanlegri. Stærstu og orkumestu rastirnar eru Hvammsfjarðarröst, Reykjanesröst, Látraröst, rastir við Barða, Straumnes og Hornbjarg á Vestfjörðum og við Austurland rastir við Langanes, Seley, Skrúð og Papey. Í þessum röstum má búast við að straumhraði og orkuvinnslugeta sé mest. Rastirnar við Látra, Straumnes og Hornbjarg hafa lítinn hagnýtan tilgang vegna mikillar fjarlægðar frá raforkukerfinu. Mæling þeirra hefur aftur á móti fræðilegan tilgang og eru þær nefndar vegna þess en þær munu varla hafa forgang í vinnsluröð. Enginn straummælir er tiltækur til þessara mælinga, en einn mælir gæti nýst fyrir allar nauðsynlegar straummælingar í þeim. Gert er ráð fyrir að Hafrannsóknastofnun eigi mælinn og annist mælingarnar. Alls tæki um þrjú ár að fá eitt línulegt snið í hverja framagreiðna rasta ef gert ráð fyrir að mælt sé á hverjum stað í um fjóra mánuði. Fjölgeislamælingar yrðu framkvæmdar af sjómælingasviði Landhelgisgæslunnar en ókannað er hversu tímafrekar þær yrðu eða hvað þær myndu kosta.

Miðað við helstu tæknilausnir sem nú eru í þróun þarf mesti straumhraði að vera yfir 1,5 m/s og virkjanlegt dýptarbil um 10-40 metrar. Ef straumlíkön úr mælingum á stærstu röstunum gefa góðar vonir um hagkvæma nýtingarmöguleika orkunnar, er rétt að reynslan verði metin og skoðað hvort ástæða sé til að halda áfram á sömu braut og mæla fleiri línuleg snið í valdar rastir. Einnig verði metinn kostnaður og ávinningur af mælingum á stað eða stöðum þar sem mesti straumhraði gæti verið á bilinu 0,8-1,5 m/s ef sýnt verður fram á að til sé hagkvæm virkjanatækni fyrir þann straumhraða.

2. Gerðir verði útreikningar á fræðilegri orku út frá nýjum mælingum, skv. 1. tölulið, þannig að unnt verði að leggja mat á orkugetu þeirra og hvar mesti aflþéttleiki viðkomandi svæðisins liggur, þ.e. afl á þversniðseiningu sjávarstraums, t.d. MW/m².
3. Orkustofnun fyrir hönd opinberra aðila haldi utan um upplýsingar um rannsóknir sem tengjast mati á möguleikum á virkjun sjávarorku. Í því felst m.a. að Orkustofnun leiði samstarf við aðrar stofnanir um öflun upplýsinga sem teljast frummati og forathugun, skv. skilgreiningu í 5. kafla hér að framan um undirbúning framkvæmda og vinni úr þeim grunnupplýsingar um helstu virkjunarsvæði við Ísland.

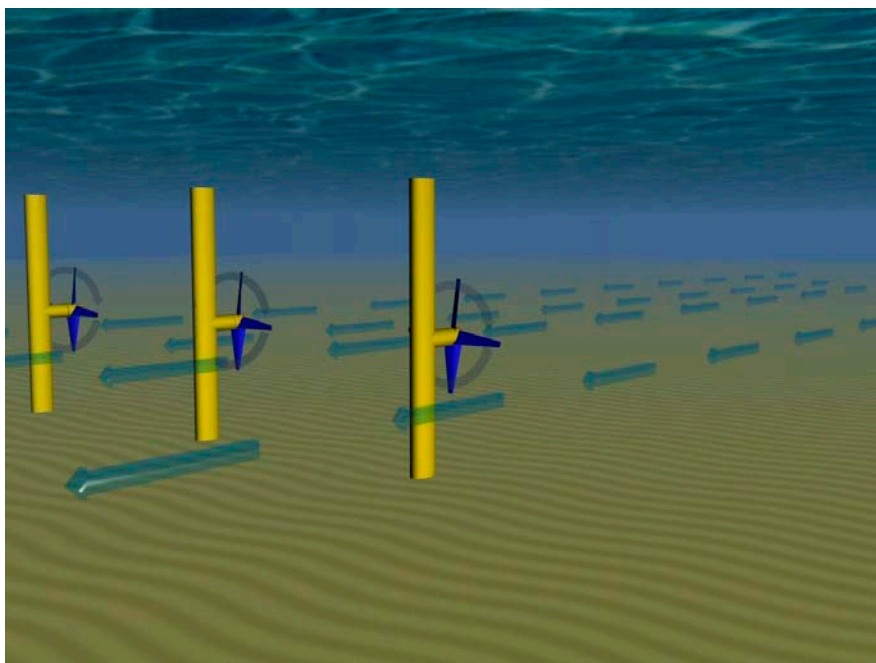
21. Viðauki

Sjávarstraumaorkutækni

Yfir 100 aðilar um allan heim eru að þróa sjávarstraumaorkutæki. Ógjörningur er að gera grein fyrir þeim öllum, en hér eru tekin nokkur dæmi í hverjum flokki og vísað á þá sem lengst eru komnir í þróunarvinnu. Hver flokkur er lauslega skýrður og vísað á vefi viðkomandi fyrirtækja.

Gerð sjávarstraumavirkjunar	Flokkun
Hverfill með snúningsás samsíða straumstefnu (<i>e. Horizontal Axis turbine</i>)	A
Hverfill með snúningsás þvert á straumstefnu (<i>e. Vertical Axis turbine</i>)	B
Sveiflandi spaði/vængur (<i>e. Oscillating Hydrofoil</i>)	C
Hverfill í aðþrengdum göngum (<i>e. Enclosed Tip / Ducted</i>)	D
Gormlaga skrúfuhverfill (<i>e. Helical Screw</i>)	E
Sjávarstrauma flugdreki (<i>e. Tidal Kite</i>)	F
Önnur tækni	G

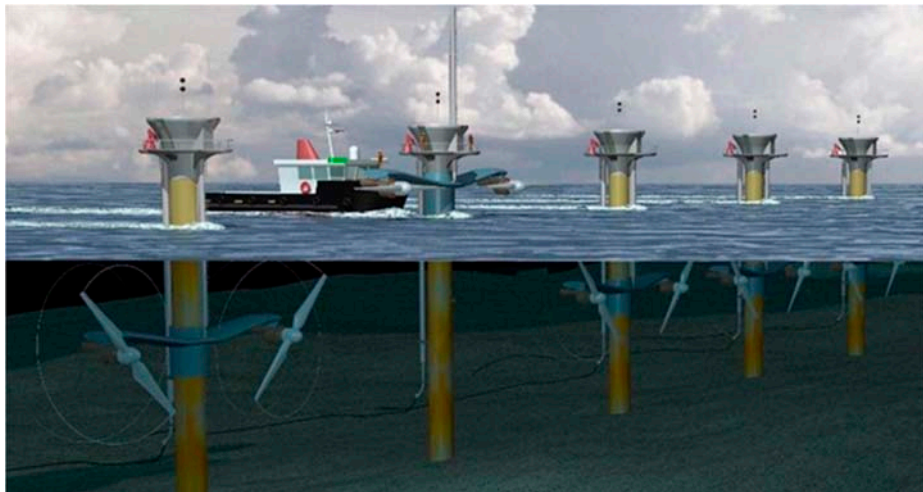
A - Hverfil með snúningsás samsíða straumstefnu (*e. Horizontal Axis Turbine*)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Þessi gerð er algengasta, elsta og lengst þróaða sjávarstraumaorkutækni. Uppbyggingin er keimlík hefðbundnum vindmyllum þar sem vængjablöðum er raðað á snúningsás og lyftikraftur blaðanna í straumi mynda snúningsvægi. Öxullinn er tengdur við rafal, annað hvort beint, eða gírar notaðir til að ná upp snúningshraða rafalsins. Rafallinn framleiðir síðan rafmagn sem flutt er í land með neðansjávarköplum. Þegar stefna straumsins breytist, þá ýmist snýst öxullinn í andstæða snúningsstefnu, eða blöðunum er snúið um 180° á ásnum, eða allur hverfillinn snýst um 180° um undirstöður sínar upp í nýja breytta straumstefnu. Orkunýtni hverflanna getur verið á bilinu 30 – 40% eða hærri. Orkuframleiðslan ræðst af flatarmálinu sem blöðin ná að snúast yfir. Hverflarnir þurfa nokkuð dýpi, en það fer aðallega eftir lengd blaðanna og þar með virkjanlegs afls. Neðri hluti blaðsins þarf að vera nokkru yfir botni og efri hlutinn nokkru fyrir neðan yfirborð. Stærð blaðanna ræður því mestu um lágmarks dýpi. Algengt lágmarksdýpi er 20 – 30 m eða meira. Hversu djúpt hverflar geta setið ræðst af tækninni við að setja þá niður og taka upp. Hverflar eru ýmist festir við botn eða fljóta og þá tengdir með keðjum við bólfæri á botni. Til að sinna viðhaldi er hverfill ýmist tekin upp úr sjónum af undirstöðum sínum, eða að honum sé lyft upp fyrir hafflötinn. Fljótandi hverfla er hægt að losa af bólfærum og draga til hafnar. Algengt uppsett afl hverfils er um 1 MW, en getur verið frá 100kW upp í 2 MW. Hverflar byrja oftast að snúast við 0,8 – 1 m/sek straumhraða og ná oft uppsettu afli við 2,5 – 4 m/sek, en þola hærri straumhraða án þess að raforkuframleiðsla aukist umfram uppsett afl.

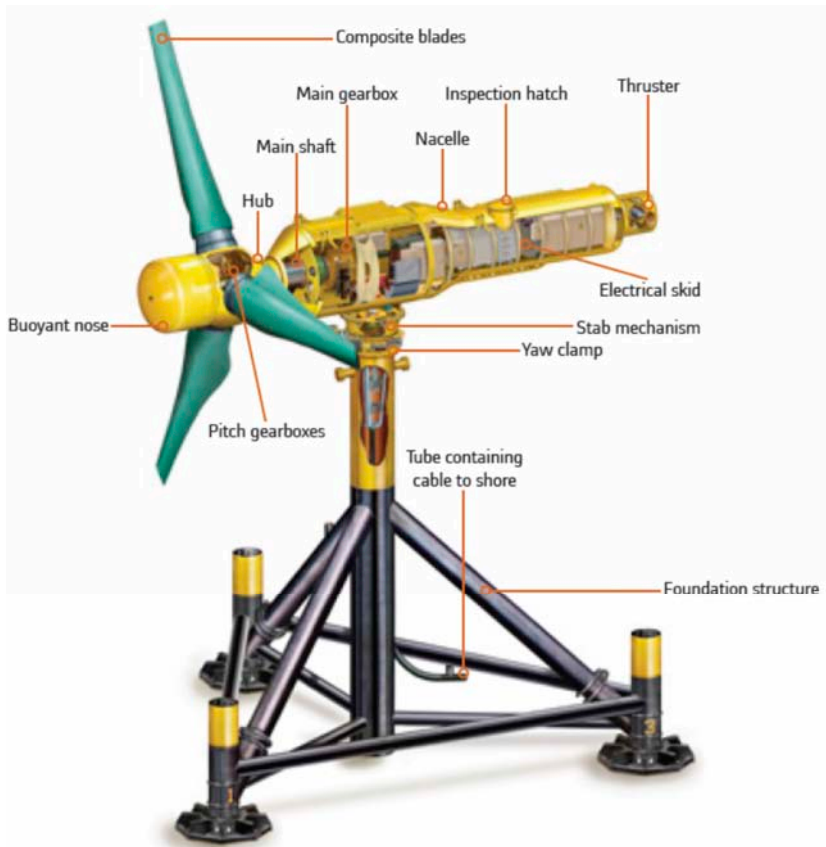
Eftirfarandi eru dæmi um fyrirtæki sem hafa þróað hverfla á það stig að frumgerðir hafa verið prófaðar við raunaðstæður og framleitt rafmagn inn á dreifikerfið í einhvern tíma:



Simens MCT (<http://www.marineturbines.com/>)



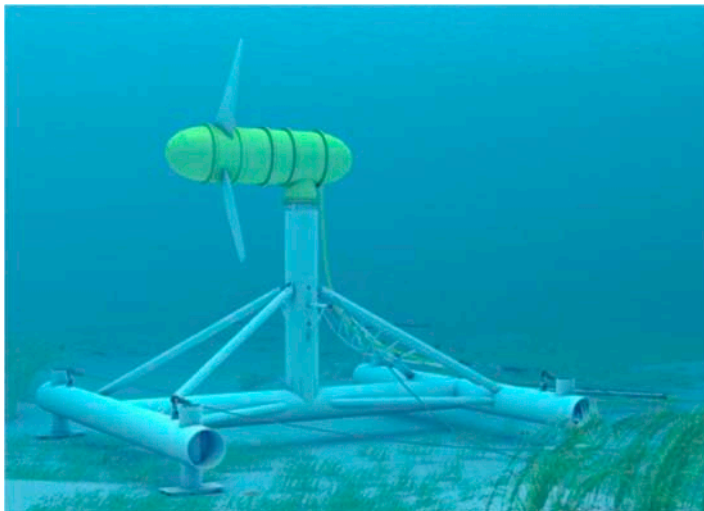
Andritz Hydro Hammerfest (<http://www.hammerfeststrom.com/>)



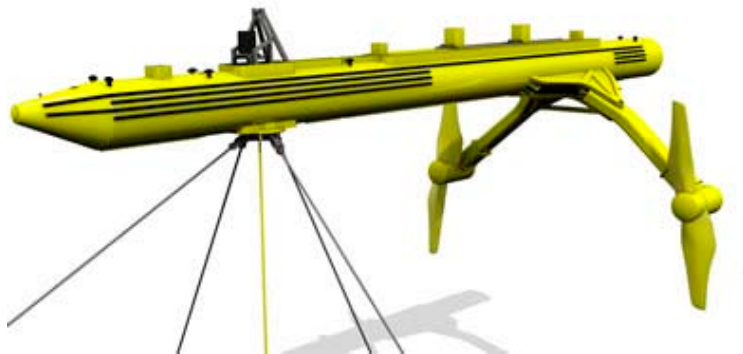
Tidal Generation Limited (<http://www.tidalgeneration.co.uk/>)



Atlantis Resource Corporation (<http://atlantisresourcesltd.com/>)



Voith Hydro HyTide (<http://www.voith.com/en/products-services/hydro-power/ocean-energies/tidal-current-power-stations--591.html>)



Scotrenewable (<http://www.scotrenewables.com/>)



Tocado (<http://www.tocado.com/>)

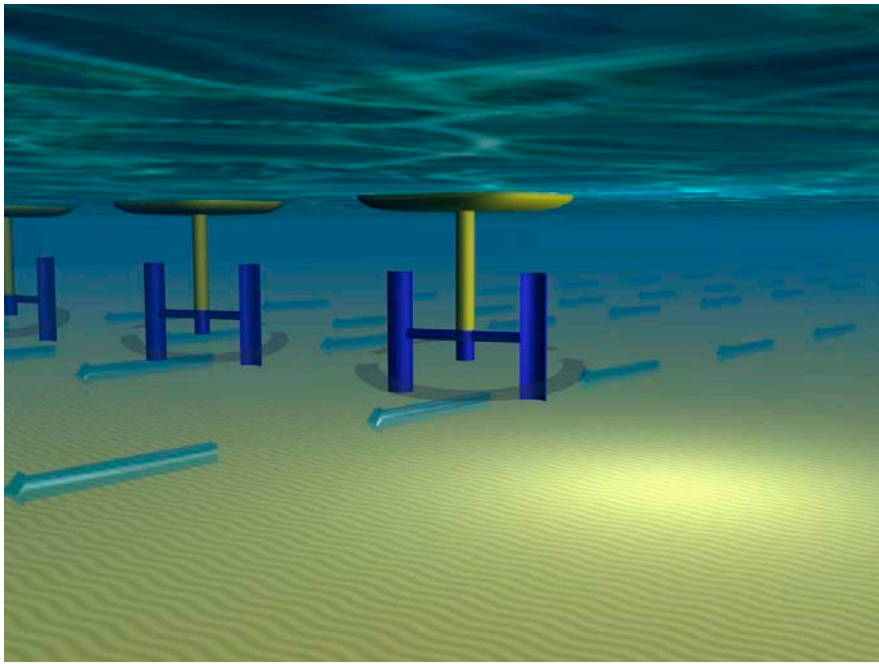


Verdant Power (<http://www.verdantpower.com/>)



Hydra Tidal Morlid II (<http://www.straumgroup.com/>)

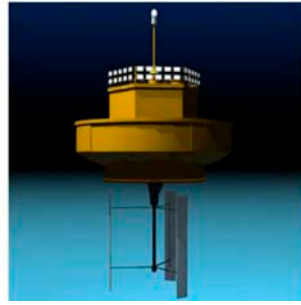
B- Hverfill með snúningsás þvert á straumstefnu (*e. Vertical Axis Turbine*)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

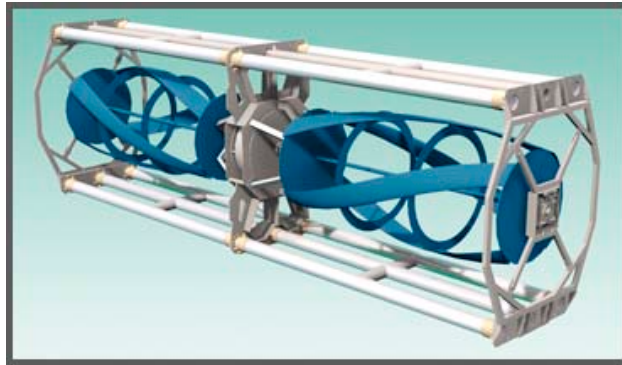
Kostir þessara hverfla er að þeir snúast alltaf í sömu snúningsstefnu óháð stefnu straumsins. Því þarf engu að breyta né hreyfa þegar stefna sjávarfallastraumsins snýst við. Snúningsásinn getur hvort tveggja verið lóðréttur eða láréttur. Nýtnin er á bilinu 25 – 35%, en dæmi eru um nýtni yfir 45% sem er með því mest sem þekkist. Snúningsöxullinn tengist við rafal sem framleiðir rafmagnið. Í sumum tilfellum er hægt að tengja saman marga hverfla í röð til að snúa sama rafalinum. Orkuframleiðslan er háð þverskurðar flatarmáli hverfilsins, þ.e. þvermáli margfaldað með lengd hverfils. Hverflar eru annaðhvort fljótandi eða festir við botn og geta þá verið alveg neðansjávar. Viðhaldsvinna er svipuð og fyrir hverfla með snúningsás í stefnu straumsins. Þar sem hægt er að láta hverfla liggja lárétt nokkuð nærri sjávarbotni er hægt að virkja á sjávardýpi sem er aðeins 15 m. Hverflarnir byrja að snúast við eða rétt undir 1 m/sek. Hámarksstraumhraði til að fullnýta uppsett afl er mismunandi eftir framleiðanda, en algengur hámarkshraði er 3 – 4 m/sek.

Eftirfarandi eru dæmi um fyrirtæki sem hafa þróað gegnumstreymishverfla með snúningsás þvert á straumstefnu og prófað hverfla við raunaðstæður:



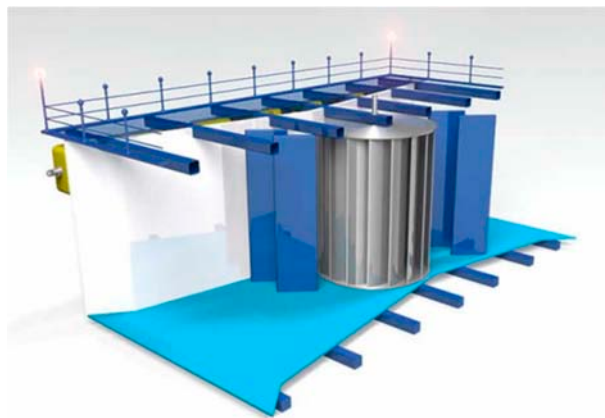
Ponde di Archichimedes International (fyrirtækið er ekki með vefsíðu, en upplýsingar að finna í grein um tæknina

<http://www.tidaltoday.com/tidal07/presentations/GuidoCalcagnoMoroso.pdf>)

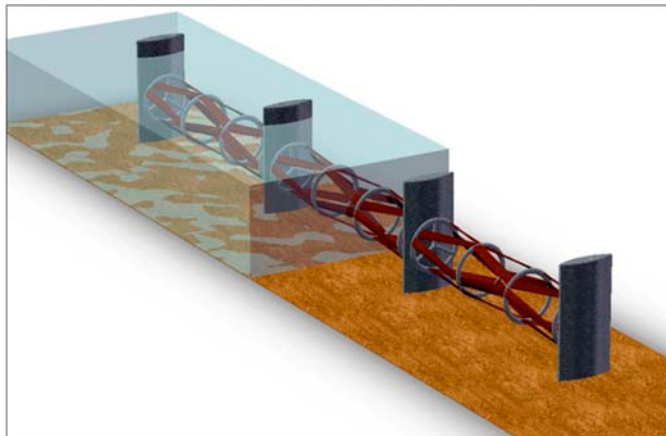


Ocean Renewable Power Company (<http://www.orpc.co/>)

Sjávarorka ehf hefur verið í sambandi við ORPC og skoðað hvort tæknin henti í Röst Hvammsfirði.



Neptune Renewable Energy fljótandi gegnumstreymishverflar (Fyrirtækið varð gjaldþrota 2013 og vefsvæði þess lokað)



THAWT frá Oxford University (<http://www.eng.ox.ac.uk/tidal>)
<http://www.keplerenergy.co.uk/>

Tækni í þróun sem er með mjög háa nýtni.

Valorku- hverfillinn

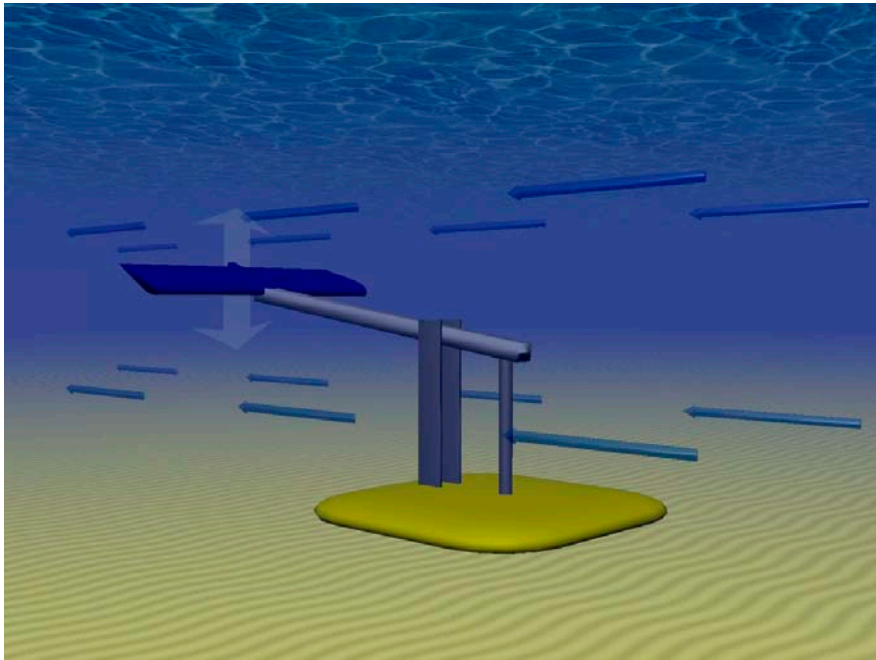
Íslenska fyrirtækið Valorka vinnur að þróun hverfils fyrir lægri straumhraða en almennt gerist. Sjá nánar: <http://www.valorka.is>.



Aðrar hugmyndir

Fjölmargar hugmyndir til að virkja sjávarstrauma eru á teikniborðinu en hafa ekki enn komist á stig tilraunafrumgerðar. Sumar hugmyndanna falla illa í framangreinda flokka.

C- Sveiflandi spaði (Oscillating Hydrofoil)



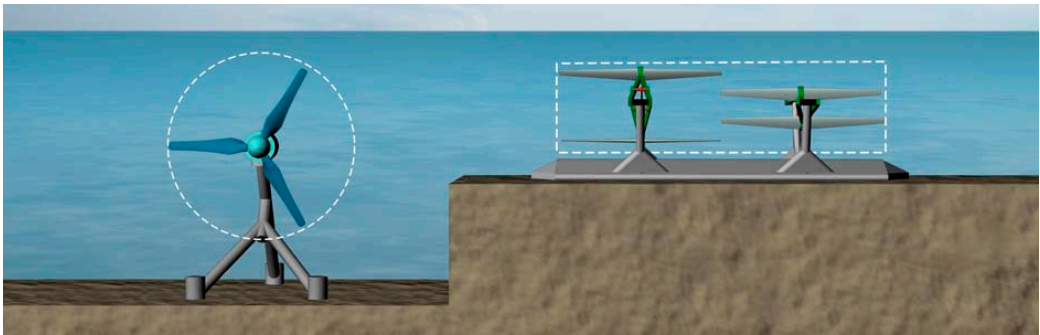
(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Hér er hermt eftir sporðum hvala. Vænglaga spaði er þvert á straumstefnuna. Halla spaðans er breytt þannig að hann myndar lyftikraft á enda vogarstangar sem færir vogarstöngina upp. Þegar í efstu stöðu er komið er halla vængsins aftur breytt í gagnstætt horn þannig að hann myndar þrýstikraft og færir vogarstöngina aftur niður í upphafstöðu. Þetta er endurtekið í sífellu. Hinn endi vogarstangarinnar þrýstir á vökvatjakk sem dælir vökva inn í vökvamótor sem drífur rafal. Vogarstöngina má einnig tengja sveifarás til að framkalla sambærilega hringhreyfingu sem drífur rafalinn beint. Hægt er að útfæra þessa tækni þannig að spaðinn sé í lóðréttri stöðu og sveiflast hann þá til hliðar eins og sporður á fiski. Kostur tækninnar er að hægt er að virkja í mjög grunnu vatni, en straumhraði og þar með orkuþéttleiki, verður oft meiri á grunnsævi en á meira dýpi.

Fyrirtækið Pulse Tidal Ltd (<http://www.pulsetidal.com/>) hefur smíðað frumgerð og prófað hana við raunaðstæður.

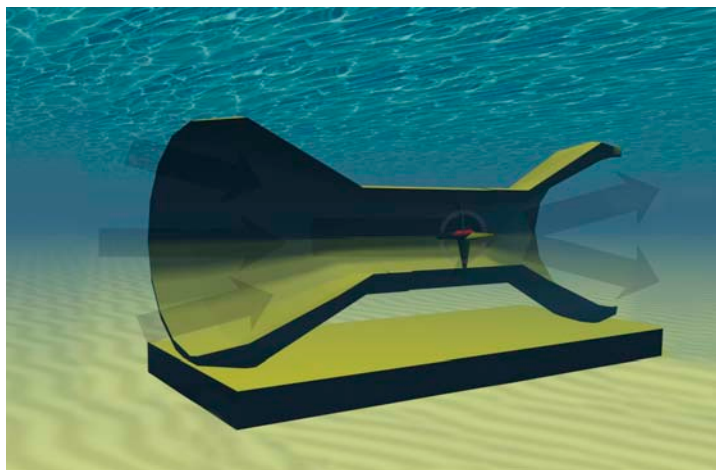


Tilraunafrumgerð Pulse Tidal við ármynni Humber á austurströnd Bretlands.



Sveiflandi spaðar virka í grynna vatni en hverfill með snúningsás í straumstefnunna.

D- Hverfill með aðþrengdum göngum (*e Enclosed Tips (Ducted)*)

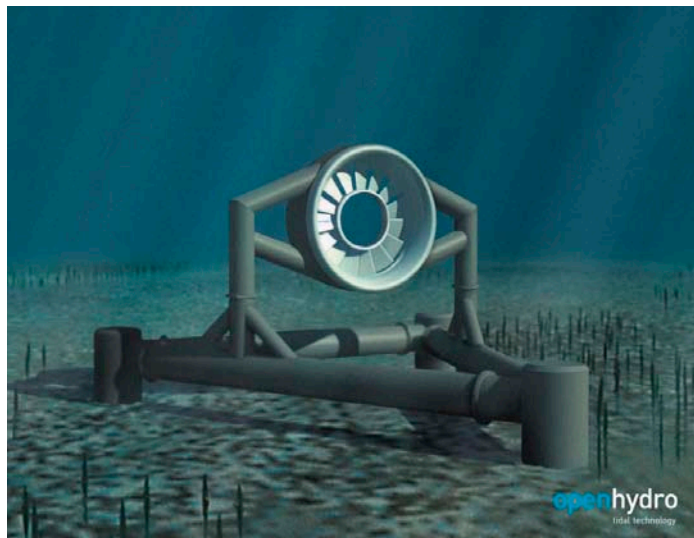


(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

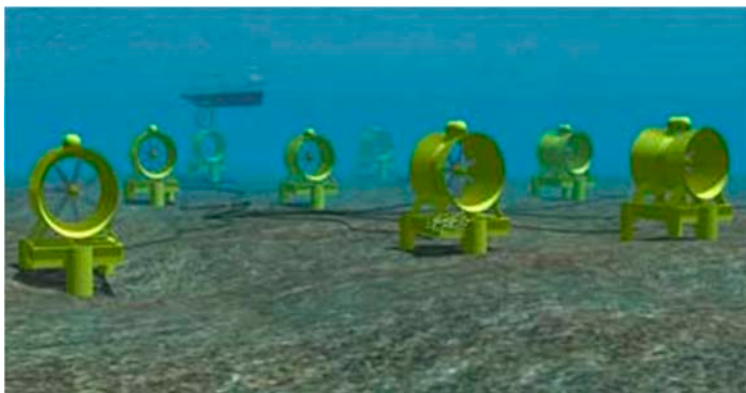
Með því að setja trekt fyrir framan hverfil eykst straumhraðann í gegnum hverfilinn og þannig fæst meiri aflþéttleiki svo hægt er að framleiða sömu orku með minni hverfli. Á móti kemur að mikið efni sem fer í smíði trektarinnar eða þrengingarinnar. Þrengingar er líka hægt að setja utan um gegnumstreymishverfla til fá fram sömu áhrif.



Clean Current (<http://www.cleancurrent.com>)

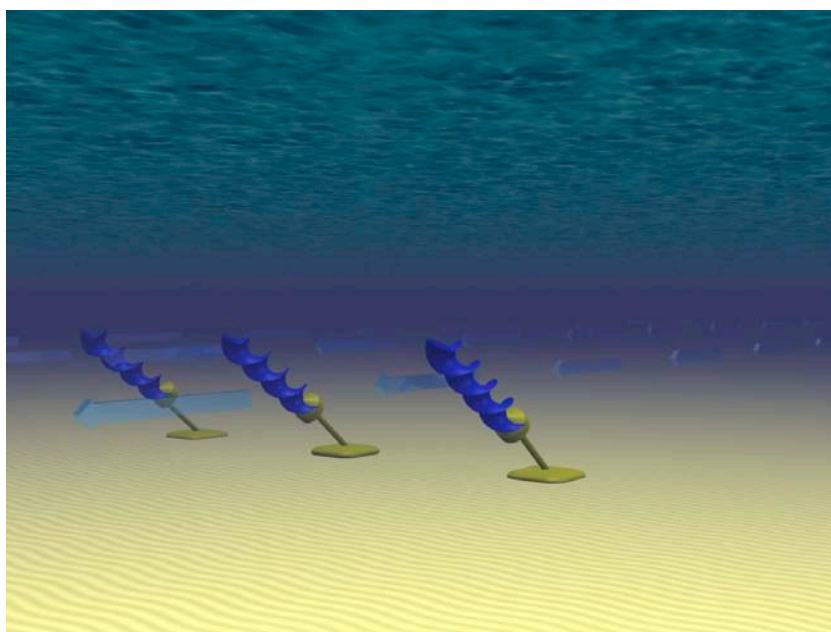


Open Hydro (<http://www.openhydro.com/>)



Lunar Energy (<http://www.lunarenergy.co.uk/>)

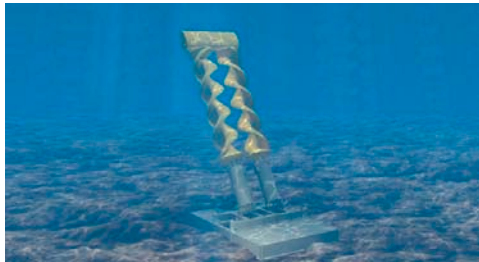
E - Gormlaga skrúfuverfill (*e. Helical screw*)



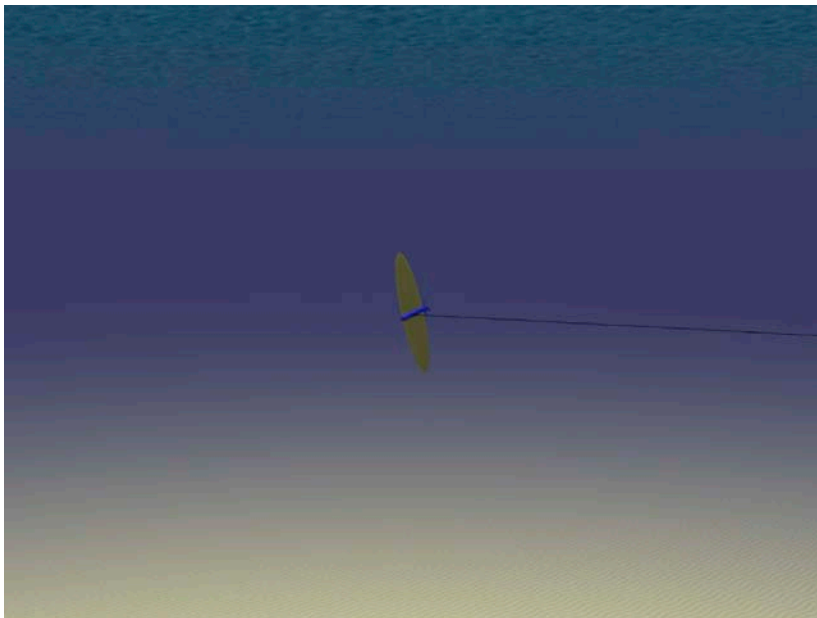
(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Norska fyrirtækið Flumill (<http://www.flumill.com/>) er eitt um að þróa gormlaga skrúfuverfill, sem einnig er nefnt Archimeds skrúfa. Í raun er þetta gegnumstreymishverfill, en samt nógu frábrugðinn öðrum hverflum með snúningsásinn þvert á strauminn, að rétt þykir að hafa sér flokk fyrir hann. Skrúfan sem liggur lóðrétt hallandi undan straumnum, snýst um sjálfa sig þegar straumurinn fer upp samhliða skrúfunni. Skrúfan drífur áfram rafal sem situr á enda snúningsöxulsins. Þegar straumstefna

sjávarfallanna snýst við, þá hallast hverfillinn yfir í gagnstæða átt, undan straumstefnunni. Fyrir minna dýpi er hægt að láta hverfillinn vera í láréttri stöðu. Hverfillinn byrjar að framleiða raforku við 1 m/sek straumhraða. Kostir hverfilsins, sem er smíðaður úr trefjaplasti, er einkum lítill viðhaldskostnaður og auðveld uppsetning.



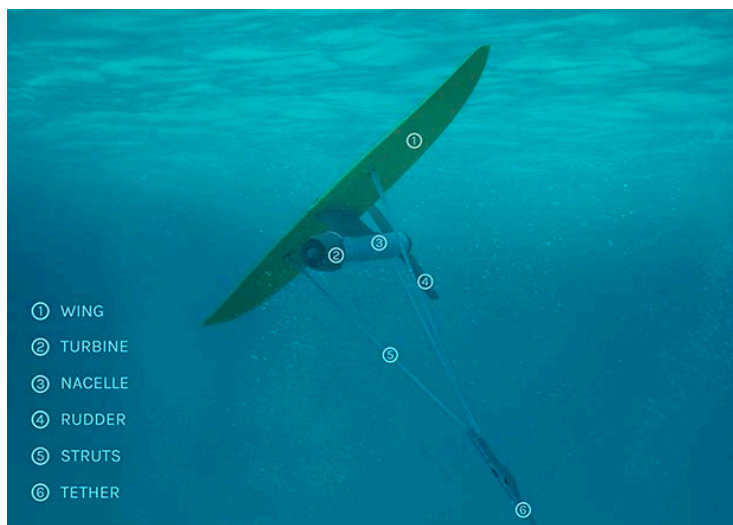
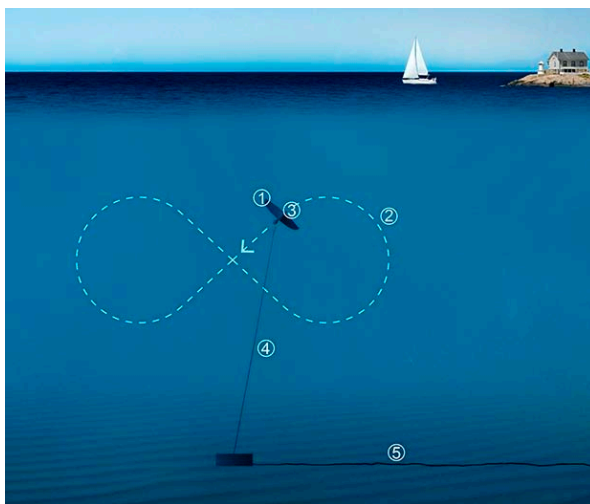
F - Sjávarstrauma flugdreki (e. *Tidal kite*)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Sjávarstrauma flugdreki er uppfinning frá sænsku Saab flugvélaferksmiðjunum og er þróað af sprotafyrirtækinu Minesto (<http://www.minesto.com>) undir nafninu Deep Green. Hverfill er festur á lítinn væng sem flýgur eins og flugdreki í hægum sjávarstraumi í áttlaga hreyfiferil. Flughraði flugdrekans er allt að 10 faldur hraði sjávarstraumsins og hverfillinn sem festur er neðan í flugdrekann verður því fyrir 10 földum „straumhraða“ með þúsundfalt hærri aflþéttleika en er í sjávarstraumnum. Nýtnin er léleg, eða um 8%, en hverfillinn er

mjög ódýr miðað við framleitt afl og verður því samkeppnishæfur við mun flóknari og dýrari hverfla sem virka auk þess ekki við lítinn straumhraða (1,2-1,8 m/sek). Hins vegar er nauðsynlegt lágmarksdýpi 60 m eða meira, sem útilokar marga staði á grunnsævi. Tæknin gæti hentað til að virkja stöðuga strauma eins og Golfstrauminn.



Mynd sem skýrir einstaka hluta Deep Green sjávarstrauma flugdrekans.

G - Önnur sjávarstrauma orkutækni

Fjöldmargar hugmyndir til að virkja sjávarstrauma eru á teikniborðinu en hafa ekki enn komist á stig tilraunafrumgerðar. Sumar hugmyndanna falla illa í framangreinda flokka.

Ekki verður fjallað nánar um þær hér. Á vef Evrópsku Sjávarorkumiðstöðvarinnar er hægt að skoða hvaða sprotafyrirtæki eru að þróa óvenjulega sjávarstraumaorkutækni:

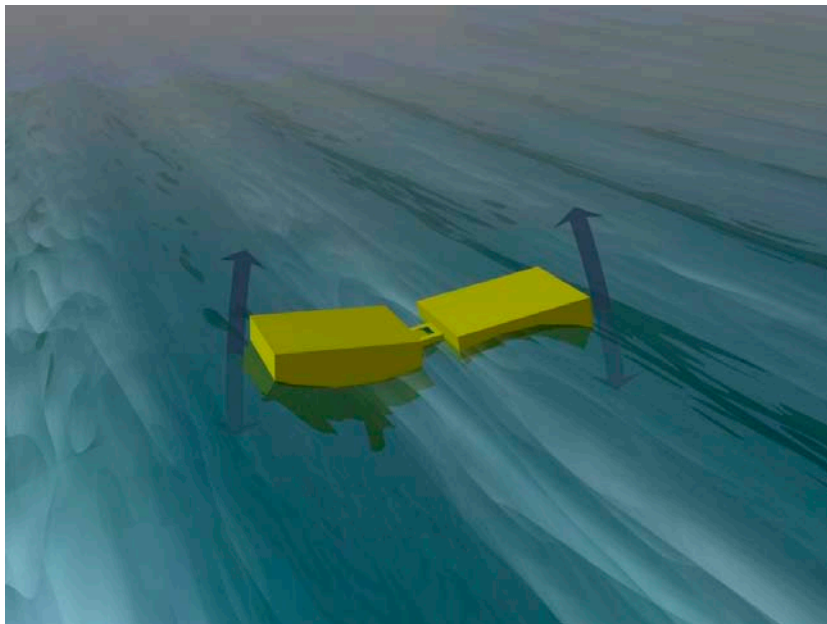
<http://www.emec.org.uk/marine-energy/tidal-developers/>

Ölduorkutækni

Yfir 150 aðilar um allan heim eru að þróa ölduorkutæki. Ógjörningur er að gera grein fyrir þeim öllum, en hér eru tekin nokkur dæmi í hverjum flokki ölduvirkjunar og vísað á þá sem lengst eru komnir í eigin þróunarvinnu. Hver flokkur er lauslega skýrður og vísað á vefi fyrirtækja sem eru að þróa tæknina.

Gerð ölduvirkjunar	Flokkun
Sveifludreyfing (<i>e. Attenuator</i>)	A
Sveifla dufls (<i>e. Point Absorber</i>)	B
Upptaka sveifluketnds ölduflæðis (<i>e. Oscillating Wave Surge Converter</i>)	C
Sveiflur í vatnsúlu (<i>e. Oscillating Water Column</i>)	D
Yfirflæðislón (<i>e. Overtopping/Terminator Device</i>)	E
Neðansjávar þrýstimunur (<i>e. Submerged Pressure Differential</i>)	F
Hnúfuvirkjun (<i>e. Bulge Wave</i>)	G
Hverfímassi (<i>e. Rotating Mass</i>)	H
Önnur tækni	I

A - Sveifludreyfing (e Attenuator)



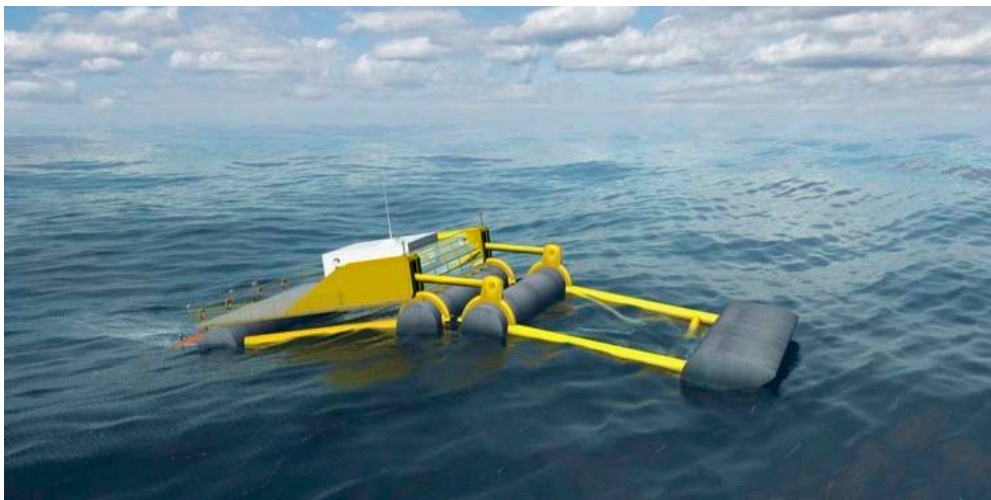
(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Ölduorkan er notuð til að búa til sveifluhreyfingu milli tveggja eða fleiri samliggjandi hluta sem tengdir eru saman með hreyfanlegum lið og mynda saman sjálfa ölduorkuvirkjunina. Hreyfingu milli hlutanna er umbreytt í vökvaprýsting inni í vökvatjökum sem virka gegn, eða dempa innbyrðis hreyfingu hlutanna. Vökvaprýstingnum er síðan umbreytt í snúning í vökvamótor sem aftur knýr rafal. Einnig er hægt að umbreyta hreyfingu milli hlutanna beint í snúning sem knýr rafal. Sveifludreyfingar-ölduhverfill getur ýmist verið á yfirborði sjávar eða að fullu undir yfirborði sjávar. Algengast er að hann fljóti á yfirborðinu og sé festur við botn með keðju og bólfæri. Sveifludreyfingar-ölduhverfill snýr sér oftast sjálfur upp í öldustefnuna. Þekktasta fyrirtækið sem notar þessa tækni er Pelamis Wave Power (<http://www.pelamiswave.com/>), en vefsíðu þess hefur verið lokað þegar þetta er skrifað vegna gjaldþrotameðferðar fyrirtækisins sem hófst í nóvember 2014. Frekari upplýsingar um Pelamis Wave er að finna á wikipedia: (http://en.wikipedia.org/wiki/Pelamis_Wave_Energy_Converter).



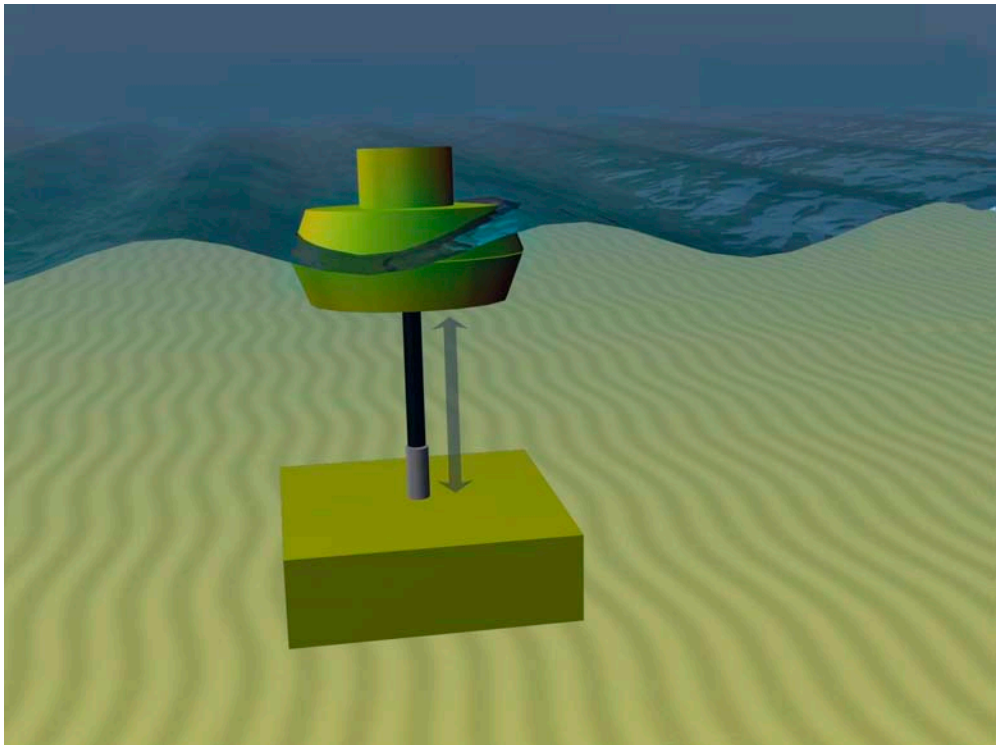


Danska fyrirtækið Dexawave (<http://www.dexawave.com>) hefur smíðað frumgerð af ölduvirkjun sem byggir á sveifludreyfingu.





B - Sveifla dufls (e. Point Absorber)

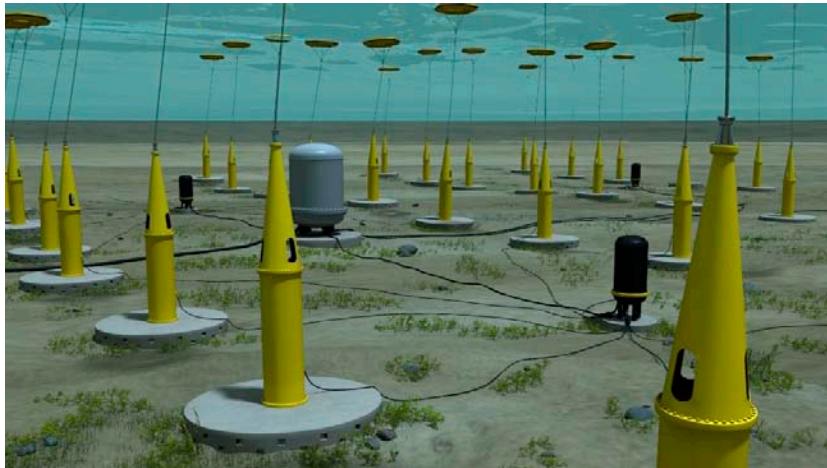


(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

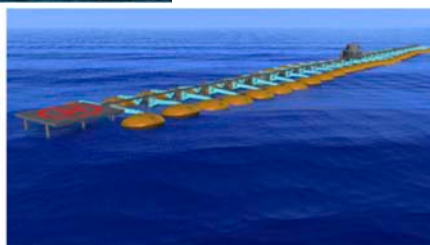
Tæknin byggir á fljótandi duflum sem eru festar við sjávarbotn. Duflin fylgir öldhreyfingunni og ýmist slakar eða strekkir á festingunni við botn sem skapar þannig innbyrðis hreyfingu milli dufls og sjávarbotns. Hreyfingunni upp og niður er síðan breytt yfir í raforku. Ekki er nauðsynlegt að virkjunin sé föst við botn. Ef dufl er festur við stórt fljótandi mannvirki, þá getur alda hreyft meira við duflinu en hinu fljótandi mannvirki sem duflin er fest við og þannig skapað afstæða hreyfingu. Orkuframleiðslan er óháð öldustefnu.



Ocean Power Technologies (OPT) (<http://www.oceanpowertechologies.com/>)

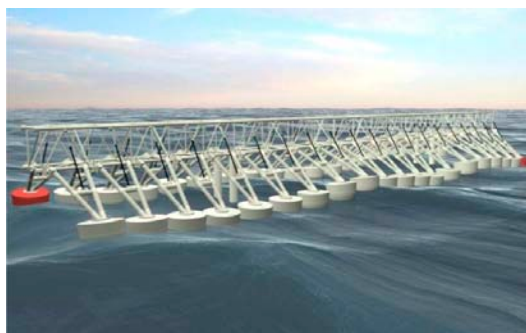


Sænska fyrirtækið SeaBased (<http://www.seabased.com/>) hefur þróað línurafal sem framleiðir raforku beint úr línulegum hreyfingum upp og niður. Línurafallinn er festur á sjávarbotninn og tengdur með vír upp í dufl, eða flot, sem færir upp og niður með öldhreyfingunni.



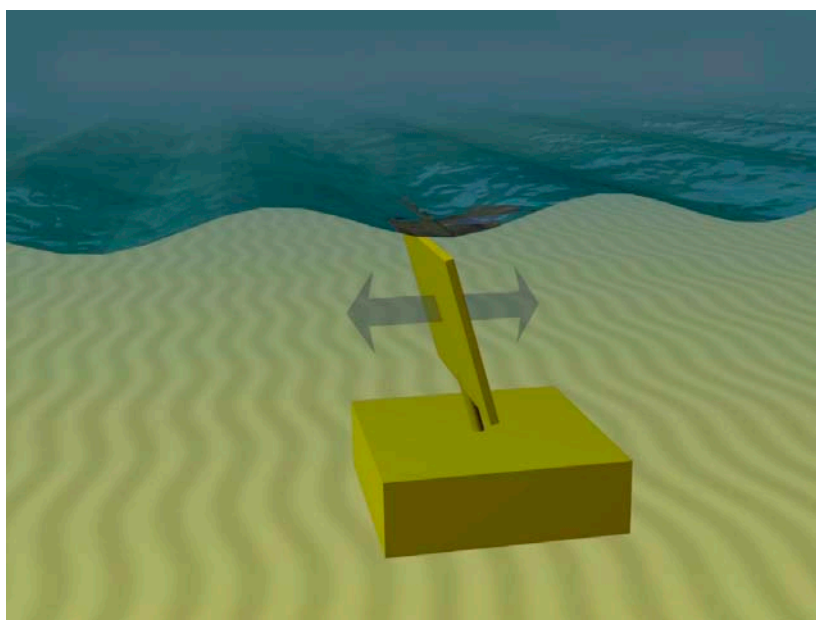
Fljótandi ölduvirkjun frá Ecomerit Technologies
(<http://www.ecomeritech.com/centipod.php>)

Hér að neðan er svipuð hugmynd frá danska fyrirtækinu Wavestar Energy
(<http://wavestarenergy.com/>) nema hvað mannvirkið er fest við botn í stað þess að fljóta



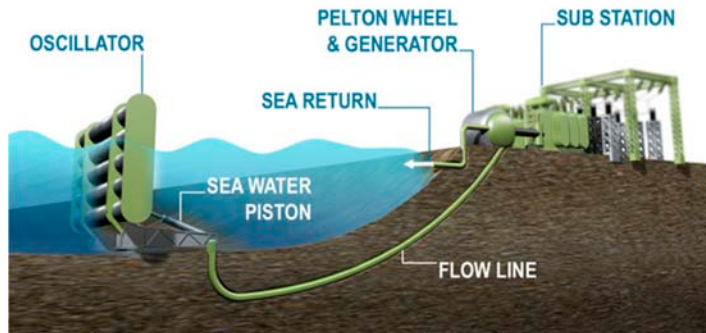


C - Upptaka sveiflukennnds ölduflæðis (e. Oscillating Wave Surge Converter)

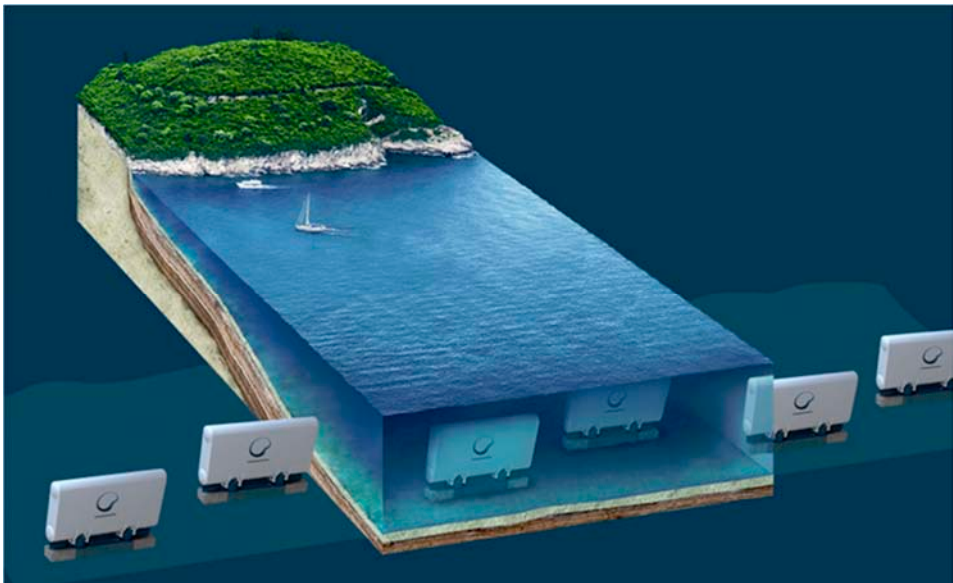


(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Þegar alda nálgast strönd og dýpi minnkar, verður hringhreyfing hennar sporöskjulegri við sjávarbotninn og loks breytist hún yfir í sveiflukennt flæði fram og til baka við sjávarbotninn áður en hún brotnar í fjörunni. Hið sveiflukennnda ölduflæði er hægt að nota til að láta lóðréttan fleka sveiflast fram og til baka og umbreyta þeirri hreyfingu í vökvaprygting sem hægt er að leiða upp á þurrt land til að knýja þar vökvamótor tengdan við rafal. Þessi tækni er notuð mjög nálægt ströndu á litlu dýpi. Virkjunin er fest við botninn, en einnig er verið að þróa fljótandi virkjun lengra frá landi.



Aquamarine Power Oyster (<http://www.aquamarinepower.com>)



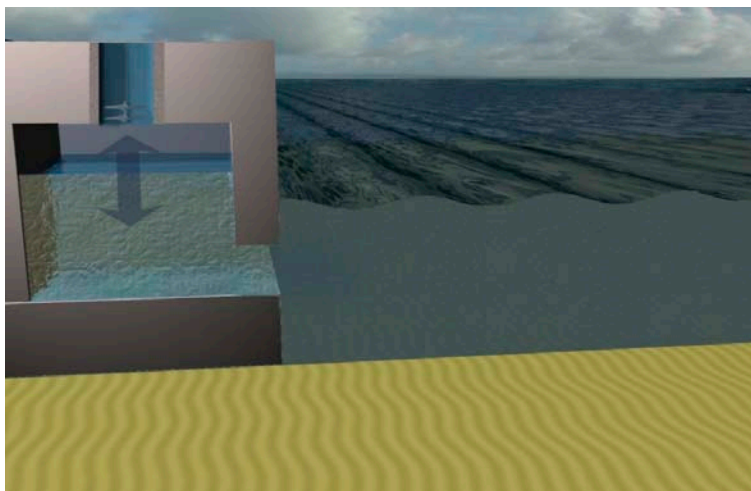
AW Energy Wave Roller (<http://aw-energy.com/>)



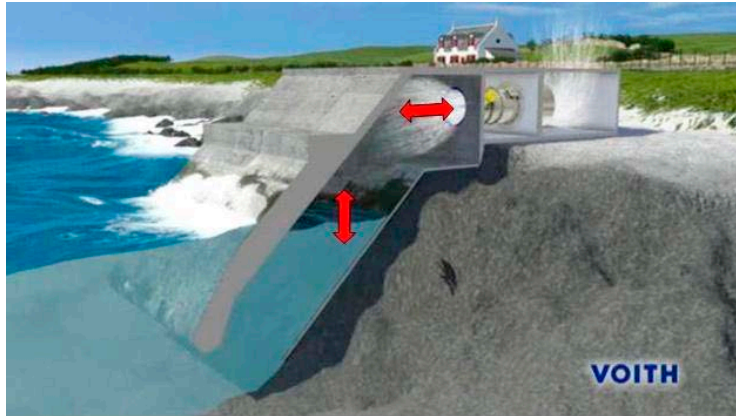
Langlee Wave Power <http://www.langleewavepower.com/>

D - Sveiflur í vatnsúlu (e. Oscillating Water Column)

Rými með vatni og lofti er haft opið neðansjávar. Öldur þrýsta sjó inn í rýmið og lyfta vatnsyfirborðinu upp og þar með þrýstist loft út um göng ofansjávar. Á frásoginu lækkar sjávarhæðin í rýminu og loft sogast til baka í gegnum göngin inn í rýmið. Í loftgögnunum er komið fyrir tvívirkrri vindmyllu. Vindmyllan virkjar loftstrauminn í báðar áttir og framleiður úr honum rafmagn. Sveiflur í vatnsúlu henta vel við orkuvinnslu við klettótta strönd eða innbyggða í sjóvarnargarð. Einnig er hægt að koma virkjun fyrir á fljótandi pramma fjær ströndu.



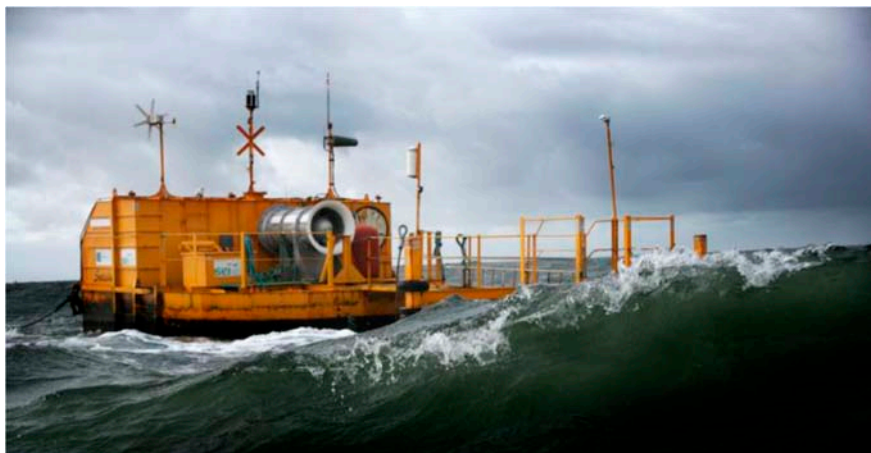
(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)



Wavegen frá Voith, sem nú hefur lagt verkefnið til hliðar.

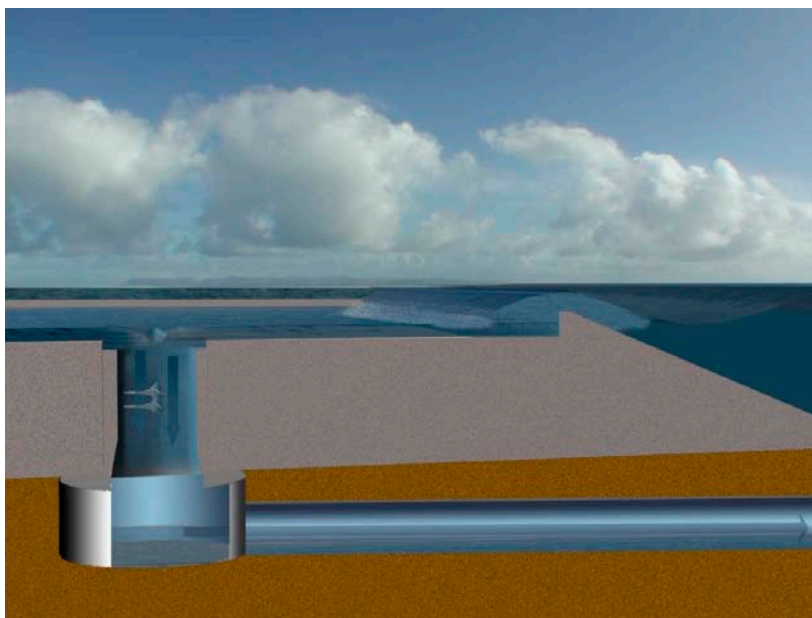


WaveEC Pico Plant á Azoreyjum <http://www.wavec.org/en>



Fljótandi vatnsúlu sveiflu virkjun frá Ocean Energy Limited <http://www.oceanenergy.ie>

E - Yfirflæðislón (e. Overtopping/Terminator Device)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

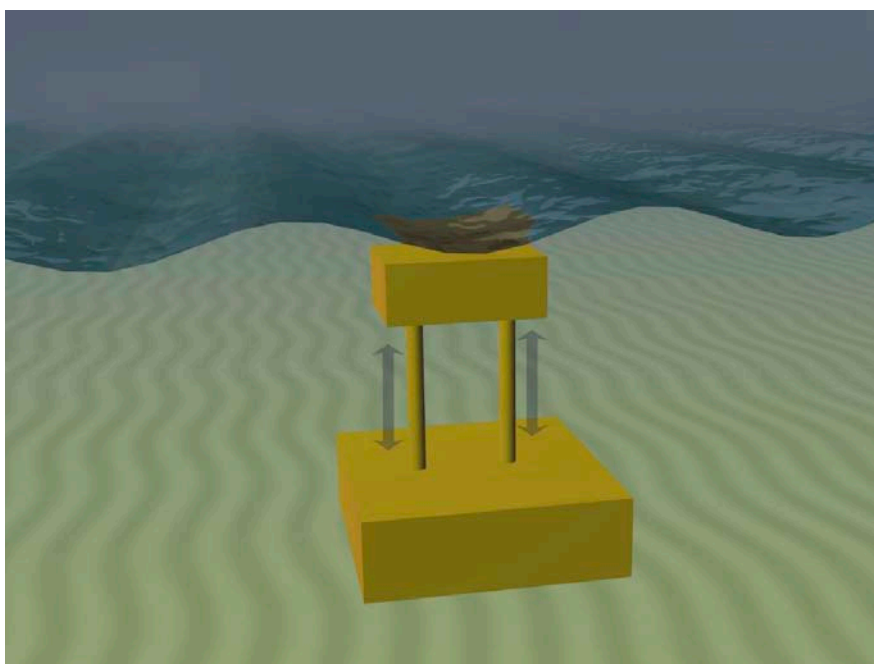
Yfirflæðislón breytir ölduorku yfir í hæðarmun sem virkjaður er með vatnshverfli. Hönnun virkjunarinnar gerir það að verkum að öldur sem brotna á virkjuninni flæða upp í manngert lón sem liggur örlítið hærra en sjávaryfirborðið fyrir utan. Á botni lónsins er rás til hafs og í rásinni er komið fyrir Kaplan vatnshverfli sem virkjar streymið frá lóninu og til baka til

sjávar. Virkjunin getur verið fljótandi úti á hafi, eða föst við strönd ef sjávarfalla gætir lítið, og þá t.d. innbyggð í sjávarvarnagarð.



Tilraunavirkjun Wave Dragon <http://www.wavedragon.net>

F - Neðansjávar þrýstimunur (e. Submerged Pressure Differential)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Rétt undir yfirborði sjávar gætir sveiflu í þrýsting vegna ölduhreyfingar. Sveifluhæð upp á 10 m myndar sveiflu í þrýstingi um eina loftþyngd. Þrýstingsmundur veldur því flot færirst

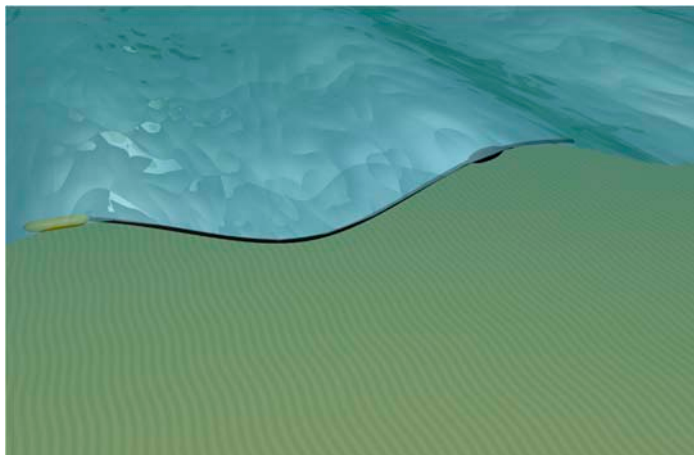
upp og niður, eða uppblásin belgur þrýstist sundur og saman í takt við breytingu í ölduhæð og þrýstir lofti frá einu rými yfir annað. Þessa tilfærslu er hægt að virkja.



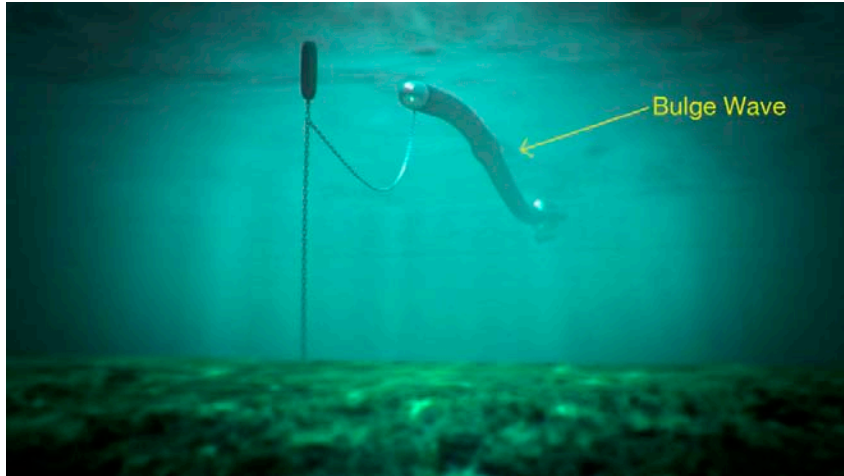
AWS Ocean Energy <http://www.awsocan.com/>

G - Hnúfuvirkjun (e. Bulge Wave)

Löng slanga úr teygjanlegu efni er fest með taug frá bólfærum á sjávarbotni upp í annan enda hennar. Slangan er fyllt af vökva og flýtur rétt undir, yfirborðinu. Slangan snýr sér sjálfkrafa í öldustefnuna. Þegar aldan fer yfir slönguna, veldur mismunur í þrýstingi því að gúlpur myndast inn í sveigjanlegri slöngunni. Gúlpurinn ferðast svo eftir slöngunni endilangri með hraða sem er í hlutfalli við ölduhraðann og teygjanleika efnisins í slöngunni. Gúlpurinn stækkar eftir því sem hann ferðast lengra eftir slöngunni og safnar í sig hreyfiorku sem hægt er að virkja með hverfli á hinum enda slöngunnar.

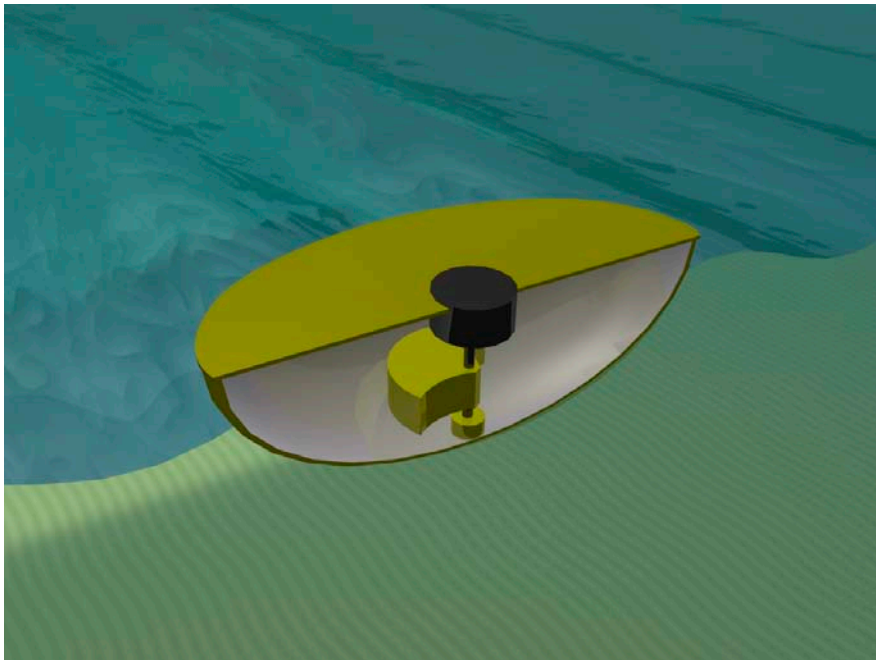


(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)



<http://www.checkmateukseaenergy.com/anaconda/>

H - Hverfimassi (e. Rotating Mass)



(Mynd frá <http://www.aquaret.com>)

Inni í fljótandi pramma er komið fyrir hjámiðjulóði sem snýst um lóðréttan átt eftir því sem pramminn veltist til og frá. Lögum prammans er hönnuð til að veltingurinn valdi því að

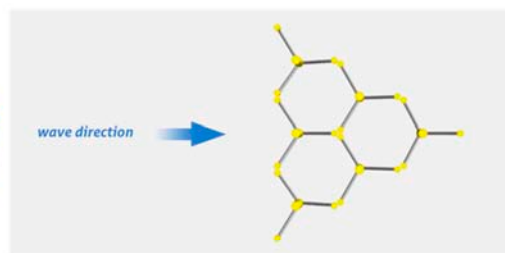
hjámiðjulóðið snúist alltaf í sömu snúningsátt. Snúningsöxull hjámiðjunnar er svo tengdur rafali.



Wello Oy Penguin (<http://www.wello.eu/en>)

I - Önnur ölduvirkjunartækni

Dæmi um aðra tækni eru samtengd dufl sem færast upp og niður og dæla vökva á milli sín og byggja upp mismuna þrýsting sem er virkjaður.



Albertern Wave Energy <http://albatern.co.uk/>

Seltuorka

Hægt er að virkja efnaorku sem losnar við blöndun ferskvatns og sjávar með hálf gegndræpum himnum. Tvær aðferðir eru þekkar og hafa báðar verið reyndar til raforkuframleiðslu. Annars vegar er tækni sem byggir á eðlisfræði himnuflæðis (*e. osmosis*) og sem kallast á ensku „pressure-retarded osmosis“ skammstafað PRO. PRO framkallar vatnsþrýsting sem virkjaður er með hefðbundinni vatnsaflstækni. Hins vegar er tækni sem byggir á öfugri rafhimmuskiljun sem kallast á ensku „reversed electro dialysis“, skammstafað RED. Með RED er rafmagn framkallað beint þegar hlaðnar jónir fara yfir himnu frá söltum vökva yfir í minna saltan vökva.

Árið 1954 benti Richard Eric Patttle á það í bréfi til vísindaritans Nature að mögulega væri hægt að virkja þá orku sem losnar úr læðingi við blöndun ferskvatns við sjó. <http://www.nature.com/nature/journal/v174/n4431/abs/174660a0.html>

Sidney Loeb, prófessor við Ben-Gurion Háskólann í Ísrael, er talinn hafa fundið tæknilegar útfærslur fyrir bæði PRO og RED osmósu tækni. Árið 1973 fékk hann einkaleyfi á „pressure retarded osmosis“ tækni og 1977 fékk hann einkaleyfi á að nota „reversed electro dialysis“ til raforkuframleiðslu.

Framleiðslukostnaður raforku úr seltumun er í dag of hár til að seltuorka sé samkeppnishæf við hefðbundna endurnýjanlega orkukosti. Munar þar mest um hversu dýrar himnurnar eru miðað við það afl sem úr þeim fæst og vandamál varðandi endingu himnanna ásamt stíflun af lífrænum toga (*e. biofouling*). Hröð tækniþróun gæti þó breytt stöðunni í framtíðinni.

„Pressure Retarded Osmosis“ (PRO)

Himnurnar hleypta vatni í gegnum sig en hvorki söltum né uppleystum jónum. Sjó er dælt öðru megin við himnuna, en ferskvatni hinum megin. Ferskvatnið dregst í gegnum himnuna yfir í sjóinn vegna efnaorku seltunnar. Við það þynnist seltustigið sjávarmegin, en aukið vökvamagn í hálf salta vökvunum byggir upp þrýsting sem getur fræðilega komist upp í 27 bar. Rannsóknir sýna þó að hagkvæmast er að fara upp í um 13 bar þrýsting, en það jafngildir 130 m fallhæð vatns. Ferskvatnsstreymi upp á 1 rúmmetra á sekúndu getur því framkallað um en 1,3 MW af þrýstiafli sem hægt er að umbreyta í rafmagn með vatnsaflshverflum og rafölum. Einhver töp verða í vatnshverflum og rafölum, þannig að fá má rúmlega 1,1 MW af rafafli úr hverjum rúmmetra á sek af ferskvatnsstreymi.

Norska orkufyrirtækið Statkraft reisti 10kW tilrauna seltuvirkjun í Hurum við Oslófjörð árið 2009. Rannsóknaverkefnið byrjaði 1997, en var lagt á hilluna lok árs 2013. Í

fréttatilkynningu frá Statkraft kemur fram að fyrirtækið telji litlar líkur á að seltuvirkjanir með himnutækni geti framleitt raforku á samkeppnishæfu verði í fyrirsjáanlegri framtíð.

<http://www.statkraft.com/media/news/News-archive/2013/Statkraft-halts-osmotic-power-investments/>

<http://www.powermag.com/statkraft-shelves-osmotic-power-project/>



Tilrauna seltuvirkjun Statkraft í Hurum.

Höfundur ljósmyndar: Erlend Bjørtvedt (CC-BY-SA)

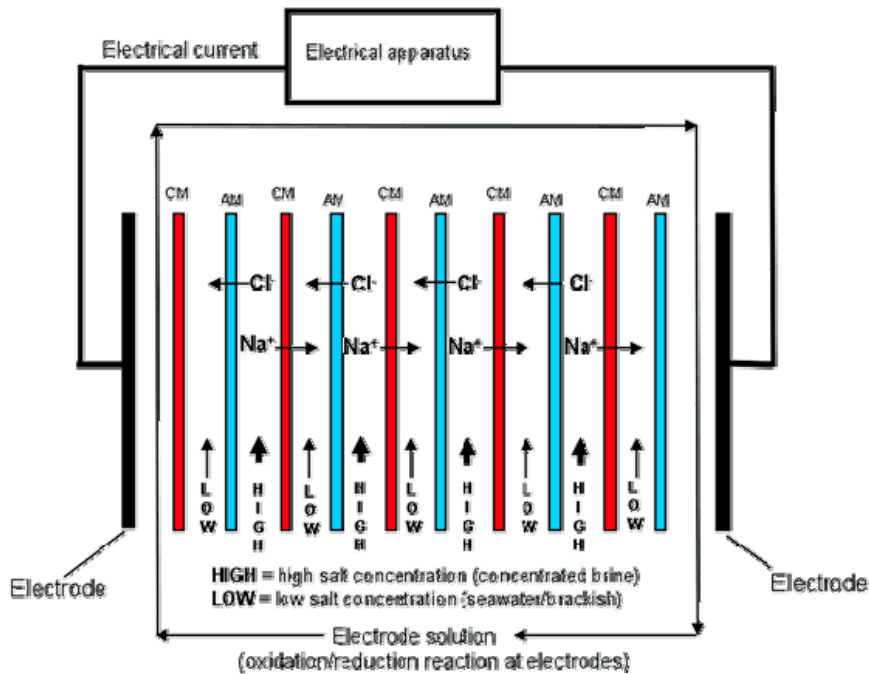
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurum_osmosis_power_02.JPG#/media/File:Hurum_osmosis_power_02.JPG

„Reversed electro dialysis“ (RED.)

Hollenska vatnstækni rannsóknastofnunin Wetsus hefur um nokkra ára skeið þróað og rannsakað seltuorkutækni sem byggir á öfugri rafhímnuskiljun (<http://www.wetsus.nl/research/research-themes/blue-energy>).

Fyrirtækið REDstack B.V. (www.redstack.nl) varð til úr þróunarvinnu Wetsus árið 2005. REDstack hefur lengi haft áform um að setja upp tilraunavirkjun við Afsluitdijk í Hollandi. Í febrúar 2014 tilkynnti fyrirtækið að verið væri að setja á fót 50 kW pilot virkjun á þeim

stað í samvinnu við FujiFilm Manufacturing Europe B.V. Saman taka þessi fyrirtæki þátt í Evrópusamstarfsverkefni með fleiri fyrirtækjum, háskólum og rannsóknastofnun þar sem markmiðið er að skoða öfuga rafhimnuskiljun til framleiðslu orku úr sjó (3,5% salt) annarsvegar og hinsvegar fullmettaðs saltþækils (26,3% salt) sem framleiddur væri úr sjó með sólarorku <http://www.reapower.eu/>. Slík tækni gæti hentað við Miðjarðarhaf eða hvar sem nóg er af sólarorku og þarf ekkert ferskvatn til raforkuframleiðslunnar.



Virkni rafhimnu-skiljunar á saltþækli skýrð.

Heimildir og viðbótarefni til frekari skýringa:

Kennslufni um sjávarorku frá ESB sem skýrir mismunandi tækni:

<http://www.aquaret.com/>

Evrópska rannsóknamiðstöðin í sjávarorku er með lista yfir fyrirtæki sem eru að þróa sjávarorkutækni:

<http://www.emec.org.uk/>

Skýrsla frá 2014 um „State of the Art“ í sjávarorkuvirkjunum:

http://si-ocean.eu/en/upload/docs/WP3/Technology%20Status%20Report_FV.pdf

