

Sjávarfallaorka 2025

Staða tækniþróunar og nýtingar

Formáli

Sjávarfallaorka er að öllum líkindum önnur stærsta orkuauðlind Íslands; auk ölduorku. Endurnýjanleg, mengunarlaus orka sem unnt er að nýta án nokkurra þekktra umhverfisáhrifa. Við Íslendingar höfum farið framarlega í flokki þjóða um nýtingu endurnýjanlegrar orku. En nú sér fyrir endann á því sem hér er unnt að virkja á landi í sæmilegri sátt við umhverfi og þjóðina. Ófriður er að magnast um þá orkukosti á landi sem hagsmunaaðilar vilja nýta; einkum vindorku og fallvötn. Þjóðin vill almennt ekki sjá vindmyllur trónandi á öðrum hverjum fjallstoppi; landslagi spillt með virkjanalónum, vegalagningu og gufuleiðslum; eða loftslagi spillt með losun frá steinsteypu og vinnuvélum.

Stjórnvöld hafa hingað til, í einu og öllu, fylgt hagsmunum stóru virkjanafyrirtækjanna við alla stefnumörkun í orkumálum; enda hafa þeir oft farið saman með hagsmunum almennings. En nú er að verða rof þar á: Ásælni orkufyrirtækja eftir frekari vatnsafls- og vindvirkjunum fylgja náttúrufórnir sem þjóðin sættir sig ekki við. Þjóðin vill breytingar; þjóðin vill nýta önnur úrræði.

Orkustefna stjórnvalda í þágu orkufyrirtækjanna hefur leitt það af sér að sjávarorku hefur nánast enginn gaumur verið gefinn. Ísland er nánast eina strandríki heims sem hefur látið undir höfuð leggjast að kanna umfang og nýtingarmöguleika sinna sjávarorkulinda og undirbúa nýtingu þeirra. Fyrir mína kynningu og hvatningu samþykkti Alþingi samhljóða þingsályktun árið 2014 að fela ráðherra að hefja rannsóknir á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku; koma á fót gagnagrunni og gerast aðili að alþjóðasamtökum um sjávarorkunýtingu. Ráðherra fór ekki að þessum fyrirmælum löggjafans, þar var öllu stungið undir stól; engar rannsóknir; enginn gagnagrunnur; fálætið eitt.

Þessari samantekt er ætlað að bæta úr brýnni þörf fyrir kynningu á sjávarfallaorku, umfangi hennar og nýtingarmöguleikum; en ekki síður stöðu tækniþróunar á þessu sviði; bæði erlendis og hérlendis. Í hálfra öld hef ég fylgst með síaukinni tækniþróun og vaxandi áhuga heimsríkja á nýtingu sjávarorku. Ég hef einnig leitað leiða til að þróa tækni sem hentar til nýtingar þeirra hafstrauma sem hér eru algengir; tækni sem um leið kæmi Íslandi í fremstu röð þróunar og yrði verðmæt útflutningsvara. Sú þróun hefur gengið mjög vel, en stefnuleysi stjórnvalda og skilningsleysi „stuðningsumhverfisins“ hafa tafið þróunina. Um leið hef ég, einn Íslendinga, staðið fyrir kynningu á hinum gríðarmiklu möguleikum sjávarorkunýtingar hérlendis og fræðslu í skólum. Ég hef gert athuganir á raunhæfi sjávarfallavirkjana hérlendis og komið á fót þeim gagnagrunni sem ráðherra lét undir höfuð leggjast.

Margar skýrslur hef ég áður ritað og komið þeim til stjórnvalda, þar sem þær hafa líklega lent í pappirstætaranum. A.m.k. hefur ekkert verið með þær gert, ef frá er talin sú sem varð kveikjan að áðurnefndri þingsályktun. Fyrir nokkrum árum gaf ég t.d. út ítarlega skýrslu „Staða og framtíð sjávarorkunýtingar“, sem m.a. innihélt fjölmargar tilvitnanir í fremstu fræðimenn og stofnanir heims á þessu sviði. Ég hef einnig ritað allmargar greinar í fjölmiðla; farið í viðtöl og haldið kynningar.

Þessi eins manns kynning á mikilvægu hagsmunamáli þjóðarinnar hefur þó vissulega borið árangur: Árið 2022 kom í ljós, í skoðanakönnun Maskínu, að um 71% þjóðarinnar vill að sjávarfallaorka standi undir frekari orkuöflun, meðan miklu færri vilja vatnsvirkjanir og einungis 59% nefna vindmyllur.

Ég skora á alþingismenn og aðra ráðamenn þjóðarinnar að hefja nú þegar undirbúning þess að nýta sjávarorku við Ísland; hefja rannsóknir; móta stefnu og styðja við þróun íslenskrar sjávarorkutækni.

Valdimar Össurason
frumkvöðull í sjávarorku

Efni:

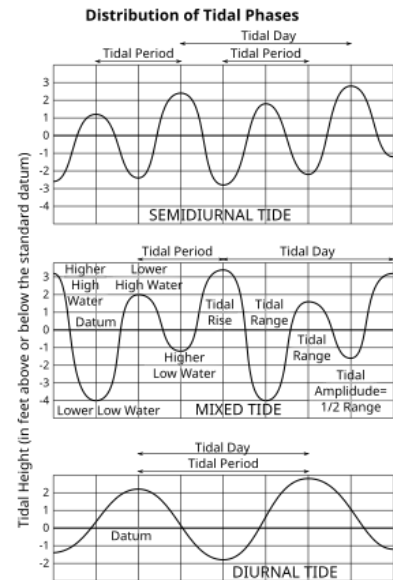
Formáli	2
1. Eðli og umfang sjávarfallaorku	
1.1. Tunglorka	4
1.2. Umfang sjávarfallaorku	5
1.3. Saga sjávarfallanýtingar.....	6
2. Aðferðir til nýtingar sjávarfallaorku	
2.1. Áskoranir við nýtingu sjávarfallaorku	7
2.2. Fjórar meginaðferðir til nýtingar sjávarorku	8
2.3. Helstu aðferðir til sjávarstraumavirkjunar	9
2.4. Tæknifyrirtæki í þróun sjávarfallahverfla	10
2.5. Nokkur stór verkefni í sjávarfallavirkjun.....	16
2.6. Nokkrir áfangar 2003.....	18
2.7. Prófunarstöðvar sjávarvirkjana	19
2.8. Prófunaraðstaða sjávarhverfla hérlendis	20
2.9. Stífluvirkjanir	21
2.10. Hugsanlegar stífluvirkjanir hérlendis.....	22
2.11. Sjöföldun orkunýtingar með hægstraumshverflum	23
2.12. Lausnir til framleiðslujöfnunar	24
3. Hagkvæmni sjávarfallavirkjana	
3.1. Umsagnir fræðimanna	25
3.2. Álit IEA-OES	27
3.3. Samkeppnishæfi sjávarorku	28
3.4. Umhverfisáhrif sjávarfallavirkjana	28
3.5. LCA-greining sjávarfallavirkjana	29
4. Stefnumótun og þróun eftirspurnar	
4.1. Stefnumótun ríkja	30
4.2. Þróun markaðar og eftirspurnar sjávarorku.....	32
5. Staðan hérlendis	
5.1. Umfang sjávarfallaorku við Ísland	33
5.2. Fossinn mikli.....	35
5.3. Þingsályktun um sjávarorku	36
5.4. Aðgerðaleyfi framkvæmdavaldsins.....	37
6. Starf Valorku ehf á sviði sjávarorku	
6.1. Upphaf Valorku ehf	38
6.2. Íslensk hverflaþróun; einása hverflar	38
6.3. Tvíása hverflar Valorku.....	39
6.4. Athugun á raunhæfi sjávarfallavirkjunar	40
6.5. Bætt úr vanþekkingu á sjávarfallaorku.....	41
6.6. Þjóðin vill nýta sjávarorku; stjórnvöld skortir stefnu.....	41
Samantekt.....	42

1. Eðli og umfang sjávarfallaorku

1.1. Tunglorka

Sjávarföll birtast greinilegast sem mismunandi sjávarhæð við strendur; sem flóð og fjara. Líklega eru færri sem leitt hafa hugann að sjávarfallastraumum utan fjörunnar. Því er rétt að skoða þá í stórum dráttum.

Sjávarföll orsakast einkum af aðdráttarafli tungls, sem veldur því að yfirborð sjávar á jörðinni rís upp í tvær meginbylgjur. Önnur rís tunglmeigin á hnettinum en hin verður til á gagnstæðum jarðarhelmingi. Daglegur snúningur jarðar veldur því að lönd og hafsbötn færast gegnum þessar bylgjur; þ.e. sjávarmassinn streymir yfir hafsbötn og meðfram löndum. Árekstur meginbylgjanna við lönd og aðrar hindranir, ásamt samspili staðvinda- og hitakerfa, veldur ákveðnu mynstri á tíma sjávarfalla á hverjum stað. Hér við land og víða annarsstaðar eru tvisvar flóð og tvisvar fjara daglega (semidiurnal tides), en á öðrum stöðum er sveiflan einu sinni á sólarhring (diurnal tides); eða blanda beggja (mixed tides). Aðdráttarafli sólar hefur einnig áhrif á hafflötinn, þó þau séu mun minni. Þegar tungl er næst eða fjarst sólu, séð frá jörðu, eykur aðdráttarafli hennar við sjávarfallabylgjurnar svo flóð og fjara aukast; þá er stórstreymt. Þegar aðdráttarafli sólar er hornrétt á aðdráttarafli tungls eru bylgjurnar lægstar og þá er smástreymt. Sú sveifla verður því tvisvar í hverjum tunglmanuði.



Hérlendis koma sjávarfallabylgjurnar upp að landinu úr suðvestri; fara réttisælis kringum landið og ganga frá því til austurs og suðausturs. Flóð og fjara verða því á misjöfnum tímum milli staða á landinu. Flóðhæð er einnig mismikil eftir staðháttum.

Sjávarföllin valda sjávarfallastraumi í hafinu. Við ströndina er hann misjafnlega hraður frá einum stað til annars og orsakast það m.a. af lögun lands og hafsbötns. T.d. þarf sjávarmassinn víða að flæða fyrir annes og yfir grynningar þar sem straumurinn hraðast; eða inn í flóa, firði og djúp þar sem hann hægir á sér. Inn í þessa hringrás spila einnig hita- og staðvindadrifnir hafstraumar, s.s. Golfstraumurinn.

Stefna sjávarfalla er þó ekki alltaf í sömu réttisælissátt og stefna meginbylgjunnar um landið. Í hvert sinn sem meginbylgjan er farin framhjá hverjum stað; þ.e. flæði afstaðin og byrjað að falla út; fellur straumur meðfram landinu í gagnstæða átt; allt þar til næsti bylgjutoppur nálgast og flæði hefst. Þannig verður t.d. norðurfall og suðurfall á víxl við Vestfirði og Austfirði; en vestur- og austurfall við Norðurland og Suðurland. Fyrir hvern stað fellur straumurinn því úr gagnstæðum áttum á víxl, en á milli er kyrrstaða; nefnd fallaskipti eða snúningur. Fallaskipti verða fjórum sinnum á sólarhring; á misjöfnum tímum eftir því sem lengra dregur í átt til hafs frá hverjum stað á ströndinni.

Sjávarfallaorka er einstök meðal endurnýjanlegra orkugjafa, fyrir það að hún orsakast ekki af geislun sólar og er á engan hátt háð henni. Fyrir hvern stað í hafinu er orka sjávarfalla fyrirsjáanleg þúsundir ára fram í tímann, en það verður ekki sagt um aðrar orkuuppsprettur. Útilokað er að spá fyrir um vind fyrir vindmyllur yfir langt tímabil; né heldur sól fyrir sólarcellur eða öldu fyrir ölduvirkjanir. Sjór hefur um 830 sinnum meiri eðlismassa en loft, og því er orka sjávarstrauma þeim mun meiri.

Vatnsfallavirkjanir eru háðar úrkomu á hálendi og ört minnkandi jöklum; og jarðhitageymar tæmast við mikla notkun. Sjávarfallaorka er útreiknanleg þúsundir ára fram í tímann.

1.2. Umfang sjávarfallaorku

Eins og sjá má á heimildum liggur ekkert áreiðanlegt mat fyrir varðandi umfang nýtanlegrar sjávarorku. Talið er að heildarorkan á heimsvísu sé um 3 TW, eða viðlíka og öll raforkuþörf heims, en aðeins hluti hennar er virkjanlegur; jafnvel með bestu tækni. Ekki er unnt að áætla virkjanlega orku, m.a. þar sem tækni er enn öll á þróunarstigi. Alþjóða orkumálastofnunin IES áætla að sjávarorka gæti mætt allri orkuþörf heimsins; um 20.000 TWst, væri tækni tiltæk til nýtingar. Aðrir fræðimenn telja umfangið langtum meira. Áætlað hefur verið (IEA) að árið 2050 muni raforkuframleiðsla frá sjávarorku nema 748 GW, og að árið 2030 muni hún skapa 160.000 bein störf.

Með tilkomu nýrrar tækni, svonefndrar „þriðju kynslóðar sjávarfallahverfla“ margfaldast umfang nýtanlegrar orku, eins og komið verður að hér síðar.

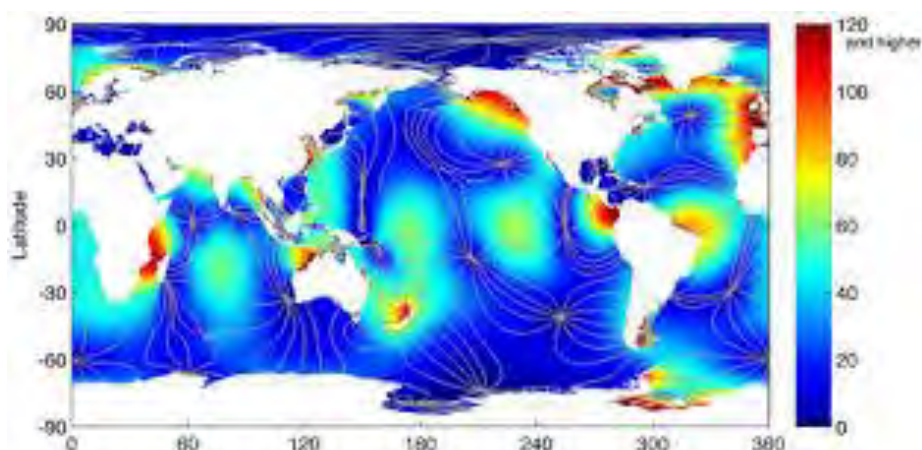
Sjávarorkudeild Alþjóða orkumálastofnunarinnar (IEA-OES) telur að árið 2050 muni sjávarfallaorka og ölduorka samanlagt geta lagt til um 300 GW afl á heimsvísu; og þannig komið í veg fyrir losun 500 milljóna tonna kolefnislofttegunda.

Áætlanir gera ráð fyrir allt að 700 MW uppsettu aflí sjávarfallavirkjana í Evrópu árið 2028. Talið er að öflun 100 GW sjávarfallaorku í Evrópu muni uppfylla 10% daglegrar orkuþarfar ESB áætlaði 2020 að heimsmarkaður fyrir sjávarfallaorku væri á bilinu 150-800 TWst á ári, eða jafnvirði um 40 milljarða evra á ári.

Við Bretland áætla sumir að sé að finna helminginn af heildarumfangi sjávarfallaorku Evrópulanda; 10% heildarorku sjávarfalla heimsins. Er talið að með henni megi mæta 11% raforkuþarfar Bretlands árið 2050. Við Bretland allt er áætlað að virkja megi um 11 GW, sem myndi nægja 10 milljón heimilum og fullnægja um 11% af heildar raforkuþörf landsins. Talið er að einungis í Pentlandsfirði megi setja upp allt að 269 hverfla, með nær 400 MW uppsett afl samtals, en það gæti nægt um 175.000 heimilum.

Árið 2024 var uppsett afl starfandi sjávarfallavirkjana Evrópulanda 30,5 MW, og ársframleiðsla um 93 GWst. Þrisvar sinnum meira en framleiðsla annarra heimslanda samanlögð.

Nánar verður vikið að umfangi sjávarfallaorku hérlendis hér síðar.



Flóðhæð sjávarfalla í heimshöfunum. Mest á rauðu svæðunum. Á hvítu línunum eru sjávarföll á sama tíma, en í miðpunktunum (aphidromic points) verða ekki fallaskipti. Ísland er á orkuríku beltí, en orkuríkustu svæðin hérlendis eru í Breiðafirði, við Vestfirði og Austfirði.

1.3. Saga sjávarfallanýtingar

Maðurinn hefur hagnýtt sjávarföllinn frá því hann kom fyrst nærri sjó. Líklega fyrst með söfnun ætis á útfiri og til ferðalaga um fjöru. Eftir að siglingar hófust nýttu menn sjávarföll til að auðvelda sjóferðir.

Óljósar vísbendingar eru frá því um 4000 f.Kr um búnað til vökvunar, sem gæti hafa verið vatnshjól. Sama er að segja um hið indverska vatnshjól frá 4.öld f.Kr. Heimildir eru áreiðanlegri um að vatnshjól í ám hafi verið notuð til kornmölunar í Grikkjaveldi hinu forna um 240 f.Kr. Vatnshjól voru síðar þróuð og notuð einnig til dælingar á vatni; sögunar á viði o.fl. nytja.

Skrúfuhverflar þróuðust út frá Arkimedesarskrúfunni, en uppfinningamaður hennar var uppi um 200 f.Kr. Leonardo da Vinci endurbætti skrúfuna fyrir ímynduð loftför á 15.öld, en um miðja 18.öld var fyrst farið að nota hana til að knýja báta; og nokkru síðar loftbelgi. Enn er unnið að þróun skrúfuhverfla til margvíslegra nota. En einnig hafa komið fram hverflar af allt öðru tagi.

Fjölmargar tilraunir hafa á síðari tímum verið gerðar til að ná tókum á virkjun sjávarfallaorku til raforkuframleiðslu. Þó margir hverflar séu nú í tilraunakeyrlu hafa mörg tækniverkefni runnið út í sandinn af ýmsum orsökum. Talið er að 18% þeirra verkefna sem komist hafa á verulegt tilraunastig hafi mislánast; hætt var við 10% áður en tilraunum lauk og 10% framleiddu minna en ætlað var. Algengasta orsökina var bilun í blöðum sem orsakaði víðtækari eyðileggingu. Bilunum fækkaði þegar þróunin færðist í lítið eitt hægari strauma, eftir 2011.

Fyrsta sjávarfallavirkjun heims, til raforkuframleiðslu í stórum stíl, var stífluvirkjunin í La-Rance á Frakklandi, með 240 MW uppsett afl. Nánar um hana hér síðar.

Fyrsta sjávarfallavirkjunin í fullri stærð, sem hagnýtti strauma án stíflugerðar, var hverfill Marine Current Technology (MCT) sem keyrður var í tilraunaskyni í Strangford Logu á Norður-Írlandi frá 2007.

Árið 2023 jókst uppsett afl sjávarorkuvirkjana um 2 MW, en frá 2010 till 2023 hafði uppsett afl starfandi sjávarfallahverfla aukist um 41 MW. Það ár fór framleiðsla þeirra yfir 90 GWst. Árið 2023 vörðu heimsríki samtals 215 milljónum dollara (yfir 30 milljörðum króna) til þróunar sjávarorkutækni. Fjárfesting einkaaðila í geiranum jókst um 75% (REN21).



Fyrsti íslenski sjávarfallahverfillinn var kornmylla sem sett var upp í Brokey á Breiðafirði árið 1901, þar sem straumar í eyjasundi knúðu vatnshjól. Myllan var í notkun til 1924. Valorka ehf hefur, frá 2008, unnið að þróun fyrsta íslenska sjávarfallahverfilsins til raforkuframleiðslu.

2. Aðferðir til nýtingar sjávarfallaorku.

2.1. Áskoranir við nýtingu sjávarfallaorku

Sveifluháð orkuframleiðsla.

Iður og straumsveigjur á virkjanasvæði: Aðstæður á virkjanasvæðum eru misjafnar. Botnlögun og strandlögun hefur þar mikil áhrif. Ójöfnur á botni skapa iðuköst sem náð geta langt upp. Straumurinn sveigir eftir lögun strandarinnar og botnsins, en einnig getur straumur fallið í ólíkar stefnur eftir föllum. Hverflar þurfa að geta höndlað þessar aðstæður; en allajafna mun verða reynt að sneiða hjá slíkum vandamálum við val á virkjanasvæðum.

Erfitt vinnuumhverfi. Augljóslega er öll vinna neðansjávar erfið, kostnaðarsöm og hættuleg. Köfun manna er dýr og krefst sérstaks búnaðar og kunnáttu. Þróunar- og virkjunaraðilar reyna því að takmarka þörf á henni eins og kostur er. Fremur eru notaðir fjarstýrðir mannlausir kafbátar þar sem við verður komið.

Tæring og ásetur. Saltur sjór veldur tæringu á málum. Í sjónum er fjöldi lífvera sem eru líklegar til að festa sig og vaxa á ýmsu yfirborði neðansjávar; t.d. hrúðurkarlar og þörungar. Efnisval og aðferðir þurfa að taka tillit til þess vandamáls.

Ölduórói: Jafnvel 20 metrum undir yfirborði getur í mesta ölduróti gætt straumhröðunar yfir 4 m/sek (Andritz Hydro). Þrýstiálag á hverfilinn getur orðið 1.500 kN (150 tonn), sem er fimmfalt meðalálag; 340 kN (34 tonn). Skrúfuhverfill sem er 18 m að þvermáli hefur skurðflöt sem er 255 m². Við mesta álag getur sveigjuálag hvers blaðs við rætur orðið allt að 2700 kNm. Hámarksnúningshraði er um 14,5 sn/mín, en þá er hraði við blaðendana 4,8 sinnum meiri en straumhraðinn.

Umhverfisáhrif. Eins og allar virkjanaaðferðir hafa sjávarstraumavirkjanir einhver áhrif á umhverfi sitt. Þau skaðlegustu sem greind hafa verið hingað til tengjast stórum skrúfuhverflum í straumhörðum sundum. Selir sem koma of nærri blaðendum á snúningi geta slasast eða jafnvel drepist og fiskur getur fælst eða breytt gönguleiðum sínum. Þar er einnig meiri hættu á að hverflarnir hafi áhrif á setflutning og á botn- og strandrof. Þessi hættu er lítt sem ekki fyrir hendi varðandi hverfla sem snúast hægar og eru nýttir fjær ströndum. Ljóst að virkjanir og veiðar fara illa saman á sama hafsvæði. Kanna þarf hvar slík skörun gæti átt sér stað, og taka mið af henni við skipulag og leyfaveitingar.

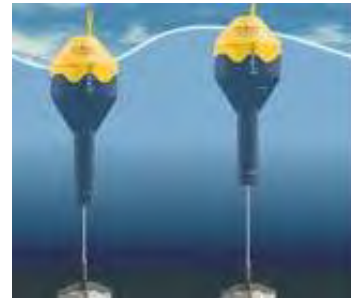
Lagaleg óvissa. Laga- og regluumhverfi hefur ekki enn náð að þróast með tilliti til sjávarorkunýtingar. Sérstaklega reynir á það gagnvart virkjunum nærri landi; t.d. í þröngum sundum, sem eignarréttur einstakra jarðeigenda tekur til. Þá liggur fyrir að skilgreina virkjanasvæði og friða þau vegna veiðarfæranotkunar og annarra athafna.

Hagkvæmnióvissa er þó enn ein mesta hindrunin í vegi þeirra sjávarstraumavirkjana sem nú eru í tilraunakeyslu. Að baki þeirra liggur mikil og dýr þróunarvinna, auk þess sem stærð þeirra og vinnuumhverfi útheimtir mikinn kostnað í efni og aðferðum. Allt bendir til þess að hinn íslenski hverfill Valorku verði langtum ódýrari í þróun, smíði, meðförum og framleiðslu en hinna þungu skrúfuhverfla. Þó hann starfi í orkurýrara umhverfi og þurfi að því að vera stór í sniðum, er allur tilkostnaður langtum minni en annarra hverfla.

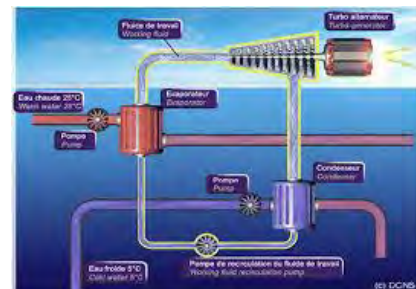
2.2. Fjórar megin aðferðir til nýtingar sjávarorku

Flokka má aðferðir til nýtingar sjávarorku í fjóra meginflokk:

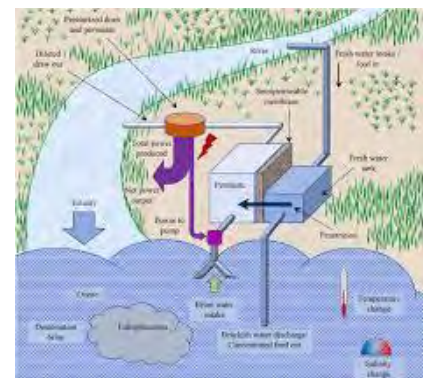
- ❖ **Ölduvirkjanir**, þar sem nýtt er hreyfiafl öldu á yfirborði sjávar. Gríðarleg orka er víða í heimshöfum á þessu formi, t.d. við Íslandsstrendur; einkum suðurströndina. Margar aðferðir eru í þróun og sumar hafa komist í tilraunarekstur. Ekki hefur enn tekist að leysa helsta vandamálið, sem er eyðileggingamáttur bárunnar í versta sjólagi. Ölduorka er gríðarmikil í heimshöfunum; einkum þar sem úthafsaldan hefur ferðast um miklar vegalengdir. Suðurströnd Íslands er eitt orkuríkasta svæði heims að þessu leyti, en þar getur orka í hverjum lengdarmetra öldu orðið um 65 kW. Stærstu öldur verða allt að 15 metra háar; með 1,7 MW í hverjum lengdarmetra. Þessi síbreytilega orka er eitt helsta vandamálið sem ölduvirkjanir þurfa að glíma við. Engu að síður eru fjölmörg þróunarverkefni í gangi og miklu fé varið til þeirra. Meðal þeirra stærstu eru: CorPower Ocean, Eco Wave Power, Waves4Power og Seabased í Svíþjóð; Waveroller í Finnlandi; Ocean Energy í Írlandi; Mocean Energy í Skotlandi; Carnegie og Wave Swell í Ástralíu og EHL Azura í Nýja-Sjálandi. Á myndinni eru botnfestar baujur CorPower.



- ❖ **Hitastigulsvirkjanir (OTEC)**, sem nýta mikinn hitamismun yfirborðssjávar og djúpsjávar. Til þess þarf stórar og dýrar virkjanir, en þær eru ekki starfhæfar utan miðbaugssvæða jarðar. Lítl tækniþróun hefur verið í þessum flokki, en þeim mun meiri rannsóknarvinna. Myndin sýnir hoð flókna virkjunarferli í stórum dráttum.

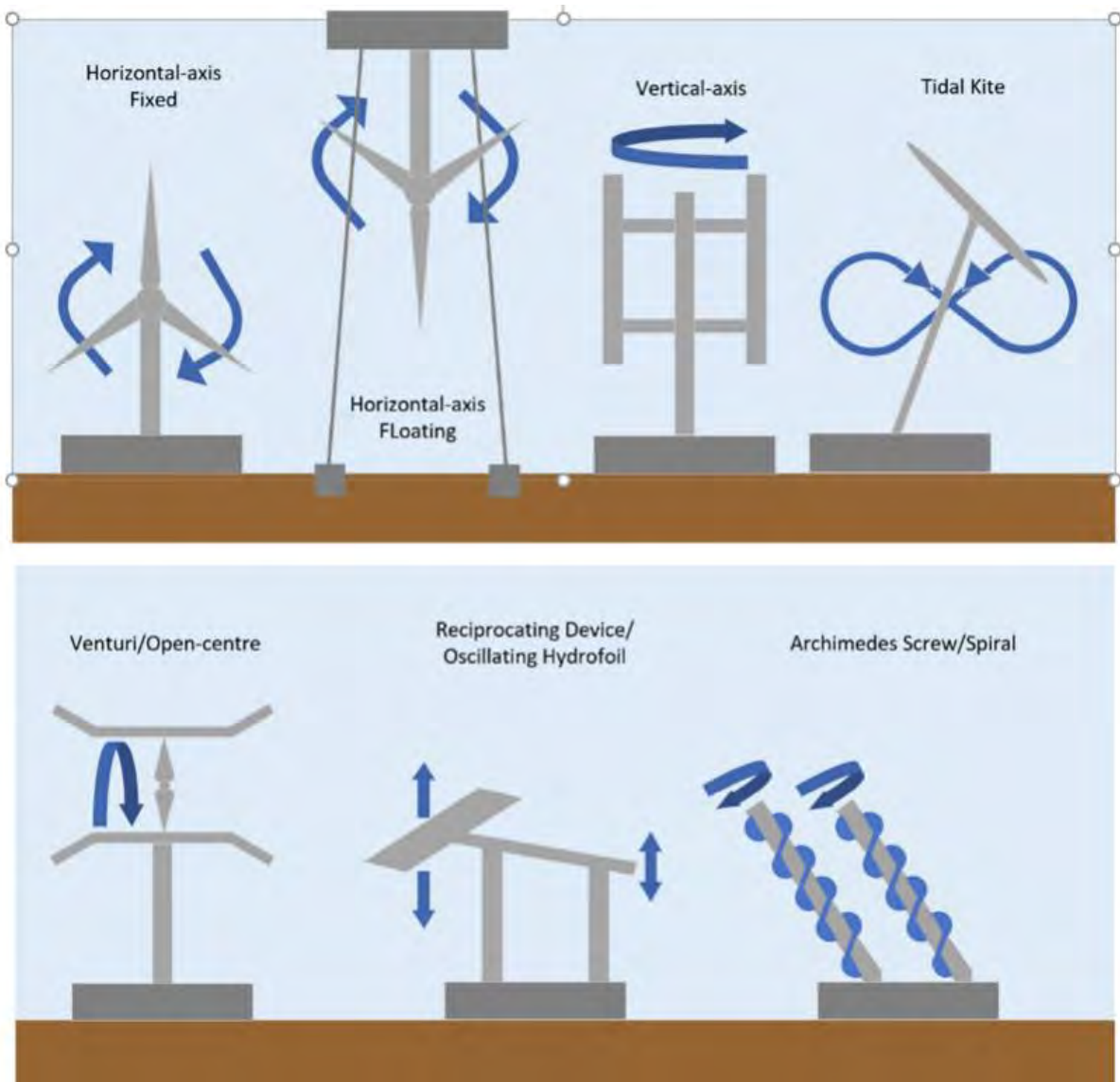


- ❖ **Seltumunarvirkjanir (osmosis)**, sem nýta seltumun sjávar og ferskvatns á þann hátt að auka þrýsting í hólfum sjávar og ferskvatns sem aðskilin eru með gleypnum himnum. Enn er tækni á algeru byrjunarstigi og án teljandi afkasta. Ef heppileg efni og aðferðir finnast gætu þó verulegir möguleikar legið í þessari aðferð. Virkjanir héraendis yrðu þá væntanlega staðsettar við ósa stórra fallvatna.



- ❖ **Sjávarfallavirkjanir**, sem einnig eru í þróun í ýmsum flokkum. Umfang sjávarfallaorku er mikið í heimshöfunum, en hún er helst nýtanleg við strendur þar sem straumurinn hraðast vegna hindrana. Umfjöllun um virkjanir í þessum flokki er meginviðfangsefnið hér á eftir.

2.3. Helstu aðferðir til sjávarstraumavirkjunar

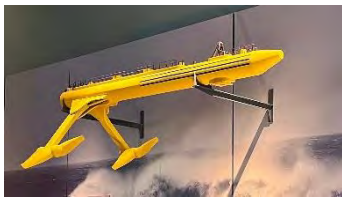


Flokka má aðferðir til virkjunar sjávarstrauma án stíflugerðar í nokkrar megináðferðir, sem hér eru sýndar. Efst t.v. er flokkur botnfesta skrúfuhverfla, en af honum eru langflest þau verkefni sem lengst eru komin. Stærsta virkjunin (Orbital) er þó í flokki fljótandi skrúfuhverfla. Nokkrir þróa gegnumstreymishverfla af darrieus-gerð, og Minesto þróar drekavirkjun (kite). Aðferðir í neðri röð eru sjaldgæfari; skermaður skrúfuhverfill; vængvirkjun og snigilvirkjun.

Íslenska aðferðin. Á þetta yfirlit vantar hverfla af þeirri gerð sem Valorka ehf þróar héraendis, en þá mætti e.t.v. nefna „seglavirkjanir“ eða „strengvirkjanir“. Hverfilblöðum með breytilegri opnun er þá raðað á streng sem gengur um tvo eða fleiri ása. Hverfillinn getur orðið stærri en allar hinar gerðirnar; enda er honum ætlað að „safna“ orku af miklu flararmáli orkurýrra en algengra sjávarstrauma.

2.4. Tæknifyrirtæki í þróun sjávarorkuverfla

Orbital Marine Power var stofnað 2022 og hefur síðan þróað þrjár tegundir sjávarfallahverfla. Hefur höfuðstöðvar í Skotlandi og hét áður **Scotrenewables Tidal Power** sem m.a. þróaði hverfillinn SR250. Hverfillinn O2 hefur verið 15 ár í þróun og verður prófaður við Orkneyjar næstu 15-20 árin. Fyrirtækið prófar hverfla sína í EMEC prófunarmiðstöðinni. Í júlí 2022 fékk fyrirtækið úthlutun í CfD stuðningsúrræði stjórnvalda í lotu AR-4, til stuðnings við 7,2 MW framleiðslu. Sett hefur verið af stað verkefnið MAXBlade, sem lýtur að rannsóknum á þoli og endingu 13 m langra hverflablaða. Þeir myndu gera 1000 m² skurðarflatarmál; það lengsta sem þekkist hjá sjávarfallahverflum. Talið er að þeir gætu markað eina mestu framför til kostnaðarlækkunar á þessu sviði.



SR2000 var þróaður frá 2016; 2 MW að stærð og skilaði meira en 3 GWst á 1 árs reynslutíma. Hverfillinn var 16 m í þvermál; skrokk lengd 63 m og þyngd 550 tonn. Keyrður til haustsins 2018.



O2-X hverfill Orbital Marine Power samanstendur af fljóttandi 72 m löngum sívalningi sem lagt er í straumi, og á tveimur fótum neðan í honum sitja tveir hverflar; hvor 20 m í þvermál og 1 MW að afli. Flatarmál hverflaskurðarins í sjávarsniði er því samanlagt um 600 m². Snúningshraði er 3-21 sn/mín.

Nova Innovation er skoskt þróunarfyrirtæki sem stofnað var 2009 og hefur höfuðstöðvar í Edinborg. Varð fyrst til að setja upp hverflaver til sjávarfallavirkjunar árið 2016, við Hjaltlandseyjar. Fyrsti hverfill fyrirtækisins var 30 kW, en síðan hafa þróað stærri hverflar. Þeir hafa verið prófaðir m.a. í Bluemull-sundi við Hjaltland. Þar hafa verið settir niður 6 hverflar. Áætlanir eru um virkjanir í Frakklandi, Kanada og Wales. Þar á meðal virkjun með 1,5 MW hverflum í Petit-sundi í Nova Scotia. Samstarf er við RSK um fyrirtækið AquaGen365 sem þróað sölurorkuvirkjanir. Allir hverflar Nova eru tveggja blaða. Fyrirtækið hefur gert tilraunir með notkun Tesla rafhlaðna til að jafna út framleiðslusveiflur, og í mars 2021 setti það upp fyrstu sjávarorkuknúnu bílahleðslustöðina. Nova stendur að Seastar virkjanaverkefninu, sjá hér síðar. Í árslok 2022 höfðu hverflar Nova framleitt orku inn á net í 60 mánuði samtals.

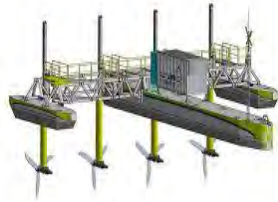


M100-D; 100 kW hverfill Nova Innovation er tveggja blaða; með beinu drifi á rafal; án gírunar.



M500-D er 500 kW og 13,5 m í þvermál. Vinnslugeta í allt að 4,5 m/sek straumhraða. Fyrirtækið setti upp fyrsta hverflabú heims árið 2016, í Bluemull-sundi við Hjaltland. Hafa hverflar Nova snúist í meira en 65.000 klst samtals.

Sustainable Marine Energy Ltd var stofnað 2012 til að þróa sjávarorkulausnir. Fyrirtækið hefur unnið náið með **Schottel Hydro** að lausnum í sjávarstraumavirkjunum, og 2019 sameinuðu fyrirækin krafta sína. Meðal eigna Schottel var breska fyrirtækið TidalStream og kanadíska Black Rock Tidal Power. Schottel hefur keyrt 5 MW hverflaver í Fundy-flóa, Nova Scotia



Plat-1 4,63 eru fljótandi skrúfuhverflar SME, sem prófaðir hafa verið í Fundy-flóa frá 2018. Stöðin er 30 metra löng með þremur bolum og fjórum hverflum sem saman skila 280 kW. Stöðin er prófuð í Grand Passage í Fundy flóa í Kanada.

Nýrri gerð; Plat-1 6,3 var sjósett í Fundy-flóa 2022. Sex hverfla, sem skila 420 kW afli samanlagt.

Minesto er sænskt fyrirtæki sem upphaflega var stofnað af Saab-bílaverksmiðjunum. Fyrirtækið hefur þróað skrúfuhverfil sem festur er neðan í væng; einskonar svifdreka sem svifur í feril yfir botnfestingu og eykur með því straumhraðann um skrúfuna. Prófanir hafa staðið yfir í áraraðir og tæknin hefur verið endurbætt.

Með svifi sínu um sjóinn eykur svifdrekin hraða straumsins um skrúfuna og þar með afl hennar. Má því segja að virkjunin sé af „annarri kynslóð“ sjávarfallavirkjana; þ.e. með getu til virkunar straums á bilinu 2 – 2,5 m/sek

Minesto hefur, frá desember 2020, starfrækt tvo hverfla af gerðinni DG100 í Vestmannaundi í Færeyjum. Síðar bættu þeir við tveimur Dragon 4, 100 kW, hverflum í maí og desember 2022. Dragon 12 hverfli var síðan lagt í Vestmannaund í ársbyrjun 2024. Fyrirhuguð er virkjun a.m.k. 200 MW sjávarafis í Færeyjum með hverflum Minesto. Einnig tekur Minesto þátt í verkefni við Holyhead, í nágrenni við W-Anglesey prófunarsvæðið í Wales.



DG100 hverfill Minesto er með 100 kW uppsett afl, hefur 4,9 m vænghaf og vegur 2,7 tonn.



Dragon 12 hverfill Minesto er með 1,2 MW uppsett afl; 12 metra vænghaf og vegur 28 tonn.

Andritz Hydro Hammerfest er sjávarorkudeild stórfyrirtækisins Andritz Group, sem m.a. byggir á þróun norska fyrirtækisins **Hammerfest ström**. Frá 2011 voru gerðar prófanir á 1 MW hverfli. Fyrirtækið þróa botnfesta skrúfuhverfla sem ætlaðir eru fyrir 5 m/sek hámarksstraumhraða eða meira. Beiðni kom frá MeyGen verkefninu breska árið 2014 um þrjá hverfla sem skilað gætu 1,5 MW.



HS1000 hefur 1 MW uppsett afl og er 20 m í þvermál. Blöðin eru framleidd af breska fyrirtækinu Gurit. Prófaður hjá EMEC frá 2011 til 2015.



AH1000-MK1 Uppsett afl hvers hverfils er 1,5 MW; þvermál blaða 18,4 metrar og vinnsludýpi hans við Skotland er um 50 metrar. Fyrirtækið lagði til 3 slíka í MeyGen verkefnið við Skotland 2016.

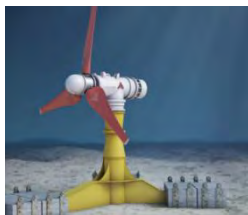
SAE er núna heitið á þróunarfyrirtækinu **Atlantis Resources Ltd**. Fyrirtækið sérhæfir sig á tveimur sviðum sjávarorkutækni; þróun orkugeymslna/battería og þróun sjávarstraumhverfla. Það hefur komið upp hverflarannsóknarstöð í Uskmouth orkugarðinum í Wales og stendur að hinu mikla MeyGen verkefni í Skotlandi.



AR1000 hverfill Atlantis Resources var prófaður við Fall of Warness frá 2011. Hann er 1 MW, með 18 m þvermál og vegur 140 tonn, en undirstaðan 1300 tonn. Hæð 22,5 m.



AK-1000 kom fram árið 2010; þá stærsti sjávarfallahverfill heims. Tveir þriggja blaða skrúfuhverflar, sinn á hvorum enda snúningsássins. Þvermálið er 18 metrar; snúningshraði 6-8 sn/mín; aflið 1 MW.



AR1500 er smíðaður af Atlantis Resources Ltd í samvinnu við Lockheed Martin. Uppsett afl hvers hverfils er 1,5 MW; þvermál blaða 18,4 metrar; lengd hverfils 12 metrar; þyngd í lofti 150 tonn; blöð stillanleg; sísegulsrafal með 4,16 kV úttaki.

Proteus Marine Renewables er eitt af fremstu fyrirtækjum heims í þróun sjávarstraumhverfla. Það var stofnað árið 2022 á grunni sjávarverkunardeildar Simec Atlantis, og sérhæfir sig í sjávarorkutækni. Fyrirtækið hefur (2024) sett niður hverfla í sex löndum, samtals með 20 GWst ársframleiðslu.



Proteus hefur lagt AR1100 hverfli sínum í Naru-sund í Japan. Fyrstu stóru sjávarstraumavirkjuninni þarlendis. Uppsett afl er 1,1 MW og hefur hverfillinn þegar náð að skila 97% þess. Skurður blaða er stillanlegur; svo og stefna hverfilsins.



AR3000 frá Próteus er stærsti sjávarfallahverfill heims, með uppsett 3 MW afl. Áætlað er að nota hverfillinn í ýmis verkefni, s.s. í Normandí og í Cook-sundi í Alaska.

Verdant Power er stærsta hverflaþróunarfyrirtæki Bandaríkjanna. Fyrirtækið þróar þriggja blaða túrbínur og hefur prófað þær við Roosvelt eyju í East River í New York; sjá RITe-verkefnið. Verdant mun einnig prófa hverfla sína í Morlais-verkefninu í Wales (sjá þar) og þá keyra orku inn á breskt neyslunet.



Gen5, eru þriggja blaða hverflar Verdant Power. Plánetugír og rafall eru í nefkeilu. Nýjstu hverflarnir hafa 70 kW uppsett afl. Verdant prófaði „TriFrame“ botnfesta hverfla sína með góðum árangri frá 2020 til 2022. Framleiðslan hafði þá verið 210 MWst.

Tocado er hollenskt fyrirtæki nærri hafnarbænum Oude Zeug, sem þróar nokkrar gerðir skrófuhverfla, bæði til lagningar á sjávarbotn og fljótandi á yfirborði straumvatns. Starfsemin hófst 1999, en eflidist 2008 undir merkjum Tocardo með styrkjum hollenska sjóðsins Technostarter. Fyrsta frumgerð 2005: viðvarandi prófanir frá 2008. Tocardo þróar einnig snjallkerfi til stýringar orku frá hinum ýmsu uppsprettum (smart grid).



T-1 hverfill Tocardo getur skilað 50-100 kW afli. Sagður geta unnið á allt að 4 m grunnu vatni og við straumhraða allt að 6,8m/sek. Skurður blaða breytist við fallskipti. Prófaður 2008 í flóðgáttum Hollands og síðar í fleka. T-2 var settur í prófanir 2015 og getur skilað 250 kW. Síðar kom T-3, sem getur skilað 600 kW afli.



Tocado OTP er samstæða 5 hverfla sem árið 2015 var komið fyrir í einni flóðgátta Oosterscheide. Hámarksafli við 4 m/sek er 1,2 MW. Komið á þróunarstig TRL-8. Framleiðir orku inn á neyslunet.

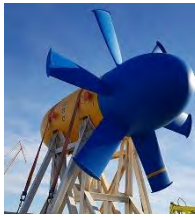
Magellanes renovables er spænskt fyrirtæki, stofnað 2007. Aðaleigandi er spænska fyrirtækið Sagres SL. Magellanes hefur gengið frá leyfum um 3 MW framleiðslu í Skotlandi. Fyrirtækið fékk úthlutun í CfD stuðningsúrræði breskra stjórnvalda, til prófunar í Moralis verkefninu í Anglesey, Wales.



Magellanes renovables smíðar fljótandi sjávarfallahverfilinn ATIR. Neðan í 45 m langan skiplaga bol eru festir tveir skrófuhverflar á holu mastri; 15 metrum undir yfirborði. Hverflarnir eru í línu og snúast í gagnstæðar áttir. Uppsett afl 1,5 MW. Smíðað í Vigo á Spáni og prófað í EMEC frá 2014; tengt neti 2019.

Inyanga Marine Energy Group yfirtók árið 2024 þróunarverkefni hins franska **Sabella** sem stofnað var 2008, og þróaði skrófuhverfla til sjávarfallavirkjunar. Inyanga Maritime sérhæfir sig í ýmsum tækniverkefnum á grunnsævi en dótturfyrirtækið, HydroWing, þróar sjávarorkuhverfla. Fyrirtækið, sem staðsett í í Falmouth á Bretlandi, tekur þátt í PHARES verkefninu, um uppsetningu fleiri hverfla á

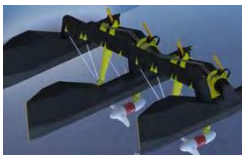
Þessum stað. Einnig TIGER verkefninu í Morbihanflóa. Samstarf er við hið skoska Nova Innovation um frekari sjávarfallavirkjanir.



D10-1000 hverfill Sabella er 1 MW að afli. Hæð hans á undirstöðum er 17 metrar og hverfillinn er 10 metrar í þvermál. Fyrstu hverflunum var lagt 2015 í Fromveur-sund og voru hverflarnir tengdir inn á neyslunet Ushant-eyjar, þar sem búa 800 manns.



HydroWing samanstendur af burðargrind sem lagt er á botninn, og samstæðu 3-5 Tocardo-3 hverfla; 100-200 kW, í annarri grind sem á fest er ofan á hina fyrri með sérstökum ferjufleka. Próaður af Inyanga Marine Energy Group. Samningar liggja fyrir um prófun 10 MW samstæðu við Wales 2025. Einnig við PLN um 10 MW virkjun í Indónesíu

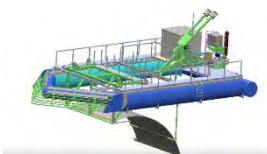


R-1 er rennslisvirkjun fyrir ár; allt að 400 kW með 3 Tocardo-1 skrúfum.

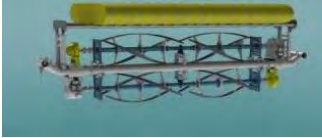
HydroQuest er franskt fyrirtæki, stofnað 2010, sem þróar sjávarfallahverfla í samvinnu við fyrirtækið Constructions Mécaniques de Normandie, með stuðningi háskólans í Caen. Verkefnið OceanQuest fól í sér uppsetningu 1 MW virkjunar í prófunarmiðstöðinni Paimpol-Bréhat við Bretagne-skaga. Unnið er að 17,5 MW orkuveri við Raz-Blanchard í Normandy, en þar er mjög öflugt straumasvæði. Þar verða notaðir 2,5 MW hverflar. Það verður á vegum FloWatt samsteyppunnar sem áður nefnd fyrirtæki standa að. Einnig er HydroQuest aðili að TIGER verkefninu, sem er samstarfsverkefni Breta og Frakka á sviði sjávarorkuþróunar. Á vegum þess eru áætlunar um uppsetningu 8 MW orkuvera í Ermarsundi.



Hverfill **HydroQuest** er gegnumstreymishverfill sem hefur verið prófaður sem rennlishverfill í ám, en er nú próaður sem sjávarfallahverfill. Tveimur til þremur darrieus hverflum er staflað á hvorn tveggja lóðréttra ása virkjunarinnar. Hver hverfill verður yfir 10 m hár; vegur 200 tonn og getur séð 20.000 manns fyrir raforku.



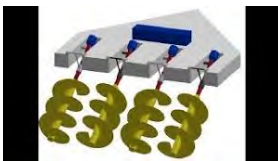
Franska fyrirtækið EEL Energy, stofnað 2011, þróar sjávarstraumaavirkjun sem byggir á því að sveigjanlegur flötur bylgjast/sveiflast í straumnum. Fyrirtækið gerir núna prófanir í fleka á ánni Rhone, með 50 kW uppsett afli. Það fullyrðir að tæknin notist við straumhraða frá 1,2 til 3,5 m/sek og nái meira en þeirri 59% nýtni sem er möguleg í srkúfuhverflum, samkvæmt Betz-lögmálinu. Undirbúin er virkjun með 2 x 500 kW afli sem verður prófuð 2026.



ORPC er bandarískt fyrirtæki sem þróar spírallaga darrieus-hverfla sem hengdir eru neðan í fleka og nýttir til straumavirkjunar í ám og sjávarstraumum. Þeir hafa verið í tilraunakeyrlu í Western Passage í Maine-fylki Bandaríkjanna í samstarfi við borgina Eastport. Einnig tilraunakeyrðirí Alaska og framleiða þar orku til þorpsins Igiugig. Tveir Riv-Gen (Tid-Gen) hverflar eru í samstæðunni, sem hvor framleiðir 80 kW við 2,25 m/sek straumhraða. Samstæðan er 17 m breið og 6 m á



SeaCurrent er hollenskt fyrirtæki sem þróar drekavirkjanir, sem um sumt líkjast Minesto-hverflunum. Prófanir fara fram við Amaland í Wadden-sjó, undan Hollandi.



JupiterHydro er kanadískt þróunarfyrirtæki spírallhverfla fyrir sjávarfallavirkjun. Verkefnið er í eigu Ross Sinclair og hófst 2010. Prófanir fara fram í Fundy-flóa, þar sem fyrirhuguð er 2 MW virkjun.



NewEastEnergy er annað kanadískt þróunarfyrirtæki. Hverflar þess eru af Darreus-gerð; neðan í fljótandi fleka. Áætlanir eru um prófanir í Minas-sundi í Fundy-flóa, og uppsetningu 800 kW vers þar.



GEM Ocean's Kite er drekavirkjun, hönnuð af ítölsku fyrirtækjunum ADAG og SeaPower. Hverfillinn hefur verið prófaður í Fenejum, og áætlanir eru um niðursetningu 300 kW frumgerðar í Messínasundi.



Subhub er fleki með skrúfuhveflum sem dreginn er á virkjanastað; sökkt til botns og tengingu stýrt með fjarstýringu.

Íslensk tæknipróun í sjávarfallanýtingu. Ólíkt öðrum tæknivæddum ríkjum hefur engin áhersla verið lögð á þetta svið hérlendis. Það stingur í stúf við þá staðreynd að víða kringum landið eru verulega orkurík svæði, þar sem orkuvinnsla úr sjávarföllum mun verða mjög hagkvæmur kostur þegar tækni hefur þróast. Einnig er þetta á skjön við það orðspor hreinorkunýtingar sem stjórnvöld vilja halda á lofti. Stjórnvöld og orkufyrirtæki hafa reynt að tala sjávarorkunýtingu niður um áraraðir. Það er fyrst með núverandi ríkisstjórn að finna má dæmi um breytt viðhorf, t.d. í stefnu þess flokks sem nú fer með forsætisráðuneyti og orkumál.

Þrátt fyrir þetta hefur eitt íslenskt fyrirtæki; Valorka ehf, unnið að þróun sjávarfallahverfla frá árinu 2008, byggða á íslensku uppfinningum og ætlaða til aðstæðna sem algengar eru hér við land og víða annarsstaðar. Hverfillinn er af „þriðju kynslóð“ sjávarfallahverfla og verður lýst hér síðar.

2.5. Nokkur stór verkefni í sjávarfallavirkjun

MeyGen í Pentlandsfirði norðan Skotlands er í dag (mars 2025) talið stærsta þróunarverkefni heims á sviði sjávarorkutækni. Heitið er samsett af heiti skoska kastalans Mey og styttingu „generation“ framleiðsla. Stofnað 2010 af Atlantis Resources Ltd, ásamt Morgan Stanley fjármálafyrirtækinu. Norska Statkraft var um tíma einn eigenda, en dró sig út 2011. Verkefnið er nú í eigu SIMEC Atlantis Energy. MeyGen fékk leyfi frá Crown Estate fyrir 400 MW verkefni á 25 ára tímabili. Leyfi samkvæmt raforkulögum eru fyrir byggingu 61 tveggja eða þriggja blaða skrúfuhverfils með 86 MW uppsett afl; þvermál hverfla allt að 20 m; hver með 1-2,4 MW uppsett afl, með landtengingu um 6,6 kV streng. Leyfi er einnig fyrir hendi frá Marine Scotland, til janúar 2041. Fyrsti hverfillinn; TTG1 tók til starfa í des. 2016; smíðaður af Andritz Hydro Hammerfest; síðan 3 aðrir af gerðinni AR 1500, þróaðir af Atlantis Resources í samstarfi við Lockheed Martin. Í júlí 2022 gerði MeyGen samning um framleiðslu á 28MW inn á breskt neyslunet og er gert ráð fyrir því 2027. Áætlanir eru um gangsetningu hverfla með 24 m þvermál. Núverandi áætlanir gera ráð fyrir gangsetningu 28 MW 10 hverfla samstæðu 2027 og 22 MW til viðbótar 2028. Nýlegur viðbótarsamningur gerir ráð fyrir 9 MW í viðbót, fyrir 2029. Alls gera núverandi áætlanir MeyGen ráð fyrir uppsetningu 398 MW orkuvers. Árið 2018 höfðu túrbínurnar fjórar framleitt 8 GWst; 13,8 GWst árið 2019: og heildarframleiðslan var 51 GWst í mars 2023. Verkefnið fékk 1,5 milljón punda styrk skoskra stjórnvalda 2020 til þróunar neðansjávartengingar margra hverfla.

Talið er að í Pentlandsfirði megi setja upp allt að 269 hverfla, með nær 400 MW uppsett afl samtals, en það gæti nægt um 175.000 heimilum. Við Bretland allt er áætlað að virkja megi um 11 GW, sem myndi nægja 10 milljón heimilum og fullnægja um 11% af heldar raforkuþörf landsins. Simec Atlantis hefur einnig sett niður 500 W prófunarhverfla við Japansstrendur, nærri Goto eyjum, í samvinnu við Kyuden Mirai Energy.

Seastar (Sustainable European Advanced Subsea Tidal Array) er annað stórt virkjunarverkefni með starfsemi við Orkneyjar; styrkt af sjóðum ESB. Að því standa Scottish Renewables og Nova Innovation. Árið 2023 tryggði verkefnið samning til 15 ára um afhendingu 4 MW sjávarorku. Notaðir verða 16 hverflar af gerðinni Nova til framleiðslu á 4 MW afli, og staðsetningin er í grennd við rannsóknarstöð EMEC hjá Fall og Warness. Verkefnið mun standa frá 2023 til 2029.

Euro-Tides (European Tidal Energy Pilot Farm Focused on Industrial Design, Environmental Mitigation and Sustainability) er enn eitt sjávarorkuverkefnið við Orkneyjar sem styrkt er af Evrópusambandinu. Aðilar að verkefninu eru m.a. Orbital Marine Power; Ocean Energy Europe; Mara Soft; EMEC; Energie de la Lune o.fl. Stefnt er að 9,6 MW hverflabúi sem samstanda mun af fjórum 2,4 MW fljótandi hverflum frá Orbital Marine; frá árinu 2027. Verkefnið mun standa frá 2023 til 2029.

Ocean Star Tidal er virkjanaverkefni á vegum Nova Innovation, sem hyggst setja upp 10 MW hverflabú við EMEC prófunarstöðina í Fall og Warness við Orkneyjar. Notaðir verða hverflar Nova af gerðinni M500D, sem lýst var hér að ofan. Efnisnotkun 6.317 tonn steinsteypa; 950 tn stál; 95 tn plast. Ocean Star Tidal hefur gengið frá samningi um 2 MW framleiðslu í Skotlandi.

Yell Sound er fyrirhugað virkjanaverkefni á vegum Nova Innovation. Fyrirtækið hyggst koma upp 15 MW hverflabúi í Yell-sundi, milli Hjaltlandseyjanna Yell og Bigga. Ætlað er að það muni fullnægja þriðjung af orkuþörf Hjaltlandseyja.

Bluemull-Sound er fyrra verkefni Nova á Hjaltlandseyjum; í Bluemull-sundi milli eyjanna Unst og Yell. Orkuverið hefur verið í gangi frá 2014, þar sem 0,3 MW þriggja hverfla bú er keyrt inn á net. Upphaflega voru hverflarnir fleiri, en nokkrir voru teknir í land til rannsókna. Sundið er 830 m breitt og sjávardýpi er 30-40 metrar.

Petit Passage er annað fyrirhugað virkjanaverkefni á vegum Nova Innovation; 1,5 MW virkjun í 2ja km breiðu Petit-sundi í Nova Scotia, með 500 kW hverflum Nova. Sjávardýpi er 30-40 m. Petit-sund er fjörður vestan við Fundy-Flóa við Nova Scotia, þar sem sjávarhæðarmunur er hvað mestur á jörðinni.

Westray-South er fyrirhugað virkjanaverkefni á vegum DP Energy Ltd sem hyggst setja upp 200 MW hverflabú í Westray-firði á norðureyjum Orkneyja; gegnt EMEC prófunarstöðinni. Þar er 25-54 metra dýpi, en virkjanasvæðið er um 12,6 km². Notaðir verða 1 MW fljótandi skrúfuhverflar frá Orbital Marine Power (sjá framar). Verkefninu var frestað árið 2023.

FloWatt er virkjanaverkefni sjávarfalla sem starfrækt hefur frá 2019 hjá Paimpol-Bréhat prófunarstöðinni á Bretaníuskaga. Fyrirhugað er stærra verkefni; 17,5 MW við höfðann Raz Blanchard á norvesturströnd Normandy. Þar er öflugt straumasvæði sem fyrirtækið Artelia hefur rannsakað. Svæðið er eitt af sjö öflugum straumasvæðum við Frakklandsstrendur, en heildarorka þessara svæða er álitin um 4 GW. Hverflaþróunarfyrirtækið HydroQuest áætla að setja hér upp 7 hverfla orkubú, með 17,5 MW framleiðslugetu; 3 km undan ströndinni á 35 metra dýpi.



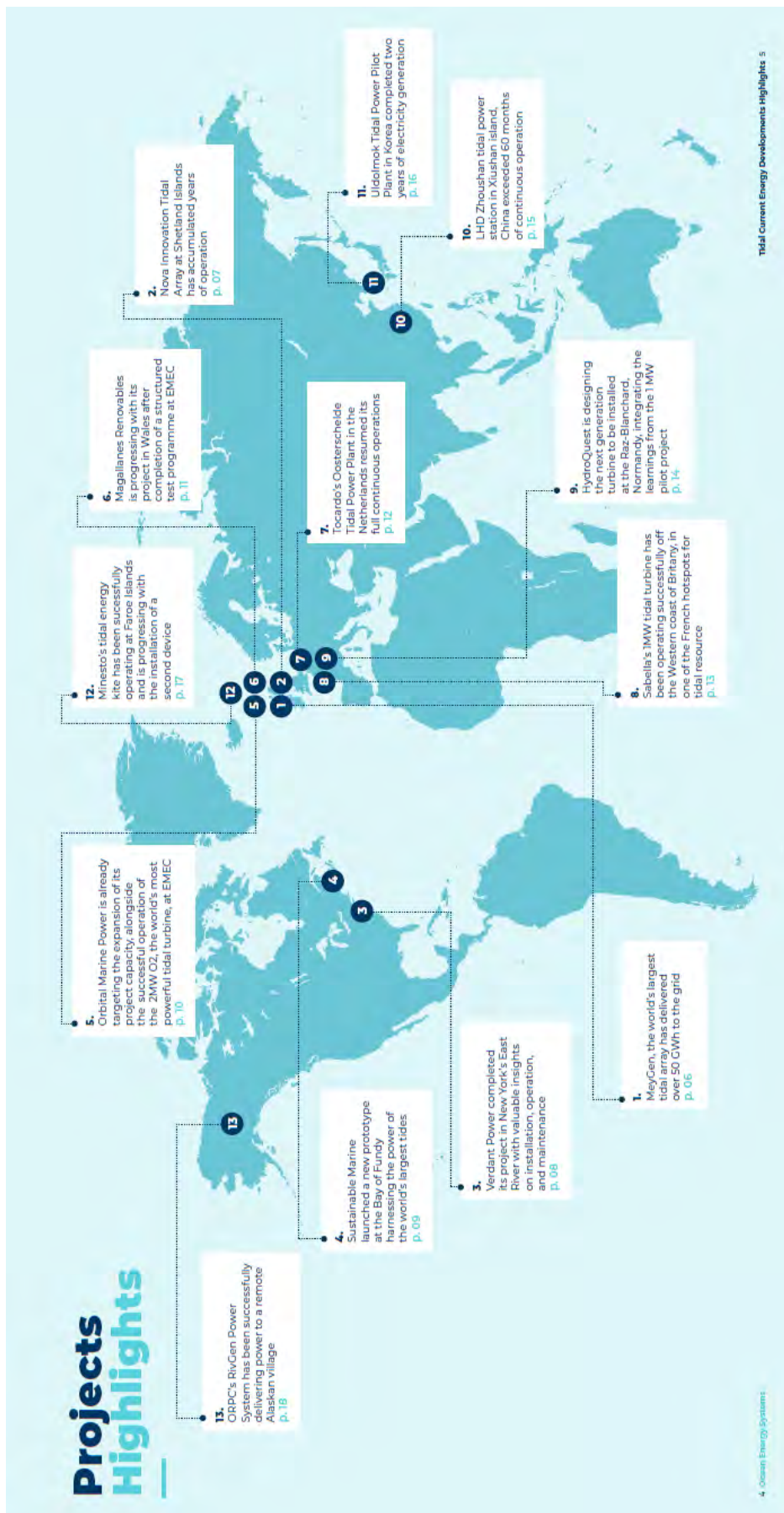
Normandie Hydroliennes NH1 er franskt virkjanaverkefni sem fyrirhugað er við strönd Normandí. Verið samanstendur af 4 skrúfuhverflum af gerðinni Proteus AR3000; 3ja MW hver, frá Proteus Marine Renewables. Áætlað er að verið komist í gagnið 2028 og muni framleiða 33,9 GWst á ári, sem nægir 15.000 íbúum; og skapa um 6000 bein og óbein störf. Fékk 31,3 milljóna evra styrk úr sjóðum ESB 2025.

RITE-verkefnið (Roosevelt Island Tidal Energy Project) er staðsett austan Roosevelt-eyju í East River New York. Þar gerir Verdant Power prófanir á sínum hverflum, samkvæmt leyfi frá Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Í fyrstu þremur fösum 2006-2006, voru prófaðar frumgerðir hverfilsins með misjöfnum árangri. Í maí 2007 voru 6 hverflar prófaðir í fullri stærð í þremur röðum með um 30 metra millibili; þar af 5 með 35W rafal. Með þeim taldi fyrirtækið sig hafa orðið fyrst í heimi til raforkuframleiðslu inn á neyslunet, en keyrt var inn á rafkerfi stórmarkaðar og bílastæðahúss. Árið 2012 prófaði fyrirtækið 16 feta hverfil með góðum árangri. Árið 2020 var settur niður rammi með þremur 70 kW hverflum.

Kutch-flói. Fyrirhugað virkjanaverkefni á Kutch-flóa í Gujarathéraði á vesturströnd Indlands. Áætluð er 50 MW virkjun í samstarfi Gujarat Power Corporation Ltd við hverflaþróunarfyrirtækið Atlantis Resources Corporation. Stækkanleg í 250 MW, en talið er að virkjanleg orka á svæðinu sé um 300 MW. Notaðir verða 1 MW hverflar Atlantis af gerðinni AK1000.

Nova Scotia svæðið í Kanada býr yfir gríðarmikilli sjávarfallaorku, enda verður sjávarfallamunur hvergi meiri í heimi en í Fundy-flóa. Straumhraði verður þar yfir 3 m/sek. Ýmis verkefni hafa þar verið fyrirhuguð, en sum þeirra runnið út í sandinn af ýmsum ástæðum. Árið 2023 var þar settur kraftur í verkefnið „Uisce Tapa“ (rennandi vatn), sem er samstarfsverkefni DP Energy og Rio Fundo Operations Canada Limited. Verkefnið fer fram í kanadísku prófunarstöðinni Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE). Verkefnið mun nota 6 x 1,5 MW hverfla af gerðinni Andritz Hydro Hammerfest. Hér, í Grand Passage, prófar Sustainable Marine fljótandi skrúfuhverfla Schottel.

2.6. Nokkrir áfangar 2023



Nokkrir áfangar í þróun sjávarfallatækni árið 2023. Úr ársskýrslu IEA-OES.

2.7. Prófunarstöðvar sjávarvirkjana

EMEC (European Marine Energy Centre) er vottuð prófunarmiðstöð sjávarstraumhverfla og ölduvirkjana; staðsett við Orkneyjar, norðan Skotlands. Þar hefur verið komið upp góðri aðstöðu til prófana smárra sem stórra virkjana. Unnt er að tengja virkjanirnar við neyslunet eða nýta þær til vetnisframleiðslu. EMEC var komið á fót 2003 í samstarfi einkaaðila við vísinda- og tækniráð breska þingsins. Auk prófunaraðstöðunnar býðst þróunaraðilum aðstoð við regluverk, rannsóknir og fleira. Stöðvar EMEC á Orkneyjum eru þessar: Billia Croo ölduprófunarsvæði vestast á Orkneyjum; Fall of Warness hverflaprófunarsvæði við Eday; Caldale vetnisframleiðslustöð á Eday; prófunarsvæði ölduvirkjanalíkana í Skapa-flóa og annað slíkt í Shapinsay-sundi; og aðalstöðvar í Stromness. Þróunaraðilar sem prófað hafa virkjanir sínar í EMEC eru m.a: Pelamis Wave Power; AW-Energy; Aquamarine Power; Scottish Power; Open-Hydro; Orbital Marine Power; Magellan Renovables; Alstom; Andritz Hydro Hammerfest; Voith; Sustainable Marine Energy; Tocardo; CorPower; Mocean Energy og AWS Ocean Energy.

Morlais prófunarstöðin er í Írlandshafi; vestan Holy-eyjar við Anglesey, Wales. Rekin af opinbera fyrirtækinu Menter Môn, sem leigir svæðið til 45 ára. Sjávarfallaorka á þessu 35 km² svæði er metin um 240 MW. En það nær frá 500 m til 6 km frá landi; á um 40 m meðaldýpi (mest 72 m). Meðalstraumhraði er 1,7 m/sek; hámarksstraumhraði um 3,7 m/sek. Misvísun aðfalls- og útfallsstrauma er allt að 15°. Undirbúningur svæðisins hófst 2022, en ætlað er að hverflaprófanir hefjist 2026. Umhverfisverndarsinnar hafa þó áhyggjur af áhrifum á fuglastofna, s.s. langvíu og álku. Fyrirtæki hafa þegar hafa lýst yfir áhuga á prófun hverfla sinna. HydroWing Tidal Projects mun prófa Tocardo T3 hverfla á fjölhverfla botnfestingu. Magellanes Renovables mun prófa ATIR fljótandi hverfla. Verdant Isles (Verdant Power í samvinnu við Duggan Energy) mun prófa þriggja blaða hverfla á þriggja hverfla botnfestingu. Þá er einnig von á Nova Innovation; Sabella; Orbital Marine Power og hinu sænska Minesto.

Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE) við Nova Scotia í Kanada er sjálfseignarstofnun, sem nýtur framlaga Kanadastjórnar, Nova-Scotia héraðs og annarra. Prófunarstöðvar eru í Minas-sundi við Fundy-flóa.

META (Marine Energy Test Area) í Wales nær yfir átta viðurkennd svæði. Þar af eru fimm við bakka og tengjanleg við neyslunet, en þrjú á opnu hafi án nettengingar.

Aðrar prófunarmiðstöðvar sjávarfallahverfla eru m.a.:

Perpetuus Tidal Energy Centre (PTEC) við bresku eyrna Isle of Wight.

Falmouth Bay Test Site (FaBTest) við Cornwall-skaga, Bretlandi.

SmartBay við Galway á vestanverðu Írlandi

Atlantic Marine Energy Test Site (AMETS) við vestanvert Írland.

Dutch Marine Energy Centre í Hollandi.

Powerdam í Sjálandshéraði í Hollandi.

Blue Accelerator við Oostende í Belgíu.

Paimpol-Bréhat Tidal Test Site við Bretagne-skaga í Frakklandi.

SEEENEHOH við ósa Garonne-ár í Frakklandi.

Pacific Marine Energy Center í Tanana-á í Alaska, Bandaríkjunum

Open Sea Lab – MERIC í Chile.

Nagasaki-AMEC (Nagasaki - Asian Marine Energy Centre) í Japan.

Korea Tidal current Energy Center (K-TEC) í Suður-Kóreu.

Taiwan Marine Energy Centre (TaiMEC) í Taiwan.

Zhoushan Tidal Energy Test Site í Kína.

Chinese Marine Energy Center (CMEC) í Kína

2.8. Prófunaraðstaða sjávarhverfla hérlandis

Íslensk stjórnvöld hafa hingað til ekki sýnt sjávarfallavirkjunum neinn áhuga, þrátt fyrir möguleika þeirra til verulegrar orkuöflunar. Frumherjaverkefni á þessu sviði hafa því orðið að bjarga sér á eigin spýtur. Það á einnig við um nauðsynlega aðstöðu til prófana á líkönum og frumgerðum.

Straumkerið í Grindavík. Þegar Valorka ehf hóf að þróa sjávarfallahverfla sína fékk fyrirtækið afnot af eina straumkeri landsins sem gagnast til prófana hverflalíkana, sem þá var staðsett í Fjölbrautaskóla Suðurnesja. Kerið var síðar flutt til Grindavíkur og nýtt m.a. í þágu Fisktækniskólans þar. Áfram hefur Valorka afnot af kerinu og hefur tekið þátt í viðhaldi þess. Kerið býður upp á 0,5 m/sek jafnan straumhraða og hentar vel fyrir lítil hverflalíkon fyrir hægstraum. Lokanir Grindavíkurbæjar vegna eldgosa hafa að mestu orðið á þeim tíma sem þróunarstarfið lá niðri vegna fjárskorts, en ætla má að kerrið muni nýtast við þá þróun einstrengs hverfils sem nú er hafin.

Mikleyjaráll í Hornafirði. Þegar Valorka hóf að prófa hverfil í stærri gerð var svipast um eftir hentugri aðstöðu til sjóprófana. Í ljós kom að Mikleyjaráll, í nágrenni Hornafjarðarhafnar, býður upp á einstakar aðstæður í þeim efnum. Valorka hannaði því sérútbúinn fleka og prófaði hverfilinn A-5 í Mikleyjarál sumarið 2013. Þær prófanir gengu vel, en gátu ekki klárast vegna synjunar TPS um styrki til áframhaldandi þróunar.

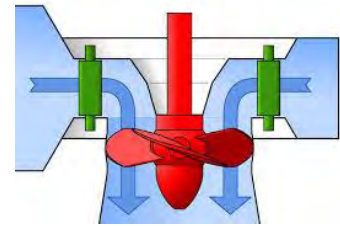
Aðstaðan í Mikleyjarál er að mörgu leyti í „heimsklassa“ fyrir þetta svið tækniþróunar. Hornafjarðarós er sjávarlón sem varið er fyrir úthafsbáru af sandrifjum. Kaupstaðurinn Höfn stendur á nesi sem gengur fram í lónið og skiptir því í tvennt. Austari hlutinn nefnist Skarðsfjörður og er allmikill að flatarmáli. Á hverri flæði þarf því mikið magn sjávar að falla þangað inn; gegnum sund milli Hafnar og



svonefndrar Mikleyjar, sem nefnist Mikleyjaráll og er rétt austan hafnarinnar. Þarna er um 8 metra dýpi, og straumhraðinn verður allt að 1 m/sek í harðasta fallinu. Miklir kostir fylgja því að vera svo nærri höfninni með prófanir. Unnt var að setja hverfil og fleka saman uppi á landi og renna því í sjóinn á rampi. Hafnarstarfsmenn voru boðnir og búnir til aðstoðar, og kom öflugur hafnsögubátur að góðum notum við drátt flekans og lagningu botnfestinga. Aðstaðan er góð til prófana á hægstraumshverflum. Víða eru auk þess ár og lækir sem koma að góðum notum við slíkt.

2.9. Stífluvirkjanir

„Stífluvirkjun“ er sjávarfallavirkjun sem byggir á þeirri aðferð að stíflað er sund eða þröngur fjörður og virkjuð fallhæð sem sjávarföllin orsaka. Skilgreiningin nær einnig til svonefndra „lónavirkjana“, þar sem lón eru gerð með stíflum úti á grunnsævi og inn-/útfllæði sjávar virkjað. Notaðir eru hefðbundnir hverflar, t.d. af kaplan-gerð. Þessu fylgja oftast veruleg umhverfisáhrif, bæði vegna mannvirkja, en aðallega vegna uppsöfnunar ferskvatns, breyttra strauma og umbyltingar í lífríki. Stífluvirkjunum fylgja því jafnan miklar umhverfislegar fórnir; öfugt við straumvirkjanir neðansjávar í sundum og annesjaröstum. Hérlendis gætu stífluvirkjanir verið hægkvæmar þar sem hæðarmunur verður mestur vegna sjávarfalla, þ.e. í Breiðafirði. En ólíklegt verður að teljast að almenn samstaða næðist um slíkt umhverfisslys.



Kaplan hverfill í straumrás

La Rance stífluvirkjunin í ósum Rance-ár í Bretagne-skaga, Frakklandi er elsta starfandi



sjávarfallavirkjun heims, og var til skamms tíma sú langstærsta. Stöðin tók til starfa árið 1966, með 240 MW uppsett afl frá 24 kaplan-hverflum. Hver hverfill er 5,35 m í þvermál, með 4 blöðum. Meðal afl, að teknu tilliti til fallaskiptastöðvunar o.fl. er 57 MW, og árs-orkuframleiðsla er um 500 GWst. Stöðin fullnægir um 0,12% raforkuþarfar Frakklands. Kostnaðarverð raforkunnar er um 0,12 €/kWst. Stíflugarðar virkjunarinnar eru 750 m langir og lónið er um 22,5 km² að flatarmáli.

Sihwa stífluvirkjunin í Sihwa-vatni, Gyeonggi-héraði í vestanverðri S-Kóreu varð stærsta



sjávarfallavirkjun heims er hún tók til starfa árið 2012; með 254 MW uppsett afl. Kostnaður var um 560 milljónir bandaríkjadala. Við gerð hennar var byggður stíflugarður, þvert yfir ós vatnsins en lónið sem myndaðist nýtist einnig til áveitna. Verið nýtir 10 kaplan hverfla og orkuvinnslan fer einungis fram á aðfalli. Sú aðferð var valin með hliðsjón af landnotkun, vatnsnotkun og umhverfissjónarmiðum. Þrátt fyrir þetta hefur virkjunin valdið miklum umhverfisáhrifum. Eiturefni söfnuðust svo fyrir í lóninu að vatnið varð óhæft til landbúnaðarnota. Sjávarhæðarmunur sem virkjunin nýtir er 5,6 metrar að meðaltali, og virkjað lón er um 30 km² að flatarmáli.

Uldomok stífluvirkjunin í Myeongnyang-sundi við Jindo-eyju í S-Kóreu tók til starfa árið 2009.

Stöðin er hluti af Sjávarfallamiðstöð Kóreu, K-TEC, og er jafnframt prófunarstöð fyrir sjávarfallahverfla.

LHD Zhoushan er stífluvirkjun við Xiushan-eyju í Xhejiang-héraði í Kína, sem starfrækt hefur verið frá

2016. Stöðin var þróuð af Zhejiang Zhoushan LHD Energy Development Co, sem sérhæfir sig í hægstraumsvirkjunum. Núverandi hverflar virkjunarinnar eru 1,6 MW, af gerðinni Endeavour, og voru settir niður 2022. Í október 2024 hafði verið, á 7 árum, framleitt yfir 7,05 MWst.

Mersey verkefnið lýtur að áætlunum um stífluvirkjun í ósum Mersey-fljóts í Bretlandi; milli Liverpool og Wirral-skaga. Þarna er flóðhæð allt að 10 metrar; önnur hæsta í Bretlandi. Hugmynd kom upp árið 2006 um 700 MW stífluvirkjun, í tengslum við vindmyllur í nágrenninu. Hugmyndin var lögð til hliðar en hefur síðar verið endurvakin og fékk rannsóknarstyrk 2020.

Severn verkefnið í Bretlandi lýtur að fyrirhugaðri stíflun ósa Severn-fljóts, á landamærum Englands og Wales. Svokölluð „Bondi-nefnd“ skilaði áætlun 1981 um 16 km langan stíflugarð, þar sem framleiðslugetan yrði um 72200 MW, en talið er að tvöföld sú orka sé vinnanleg í sundinu. Árið 2007

komu upp hugmyndir um svonefnd „sjávarfallaríf“, þar sem minnka átti hin gífurlegu umhverfisáhrif stífluvirkjunar með nokkurs konar hólfum eða girðingum í flóanum.

Swansea Bay verkefnið í Bretlandi lýtur að fyrirhugaðri gerð stórs sjávarlóns við höfn bæjarins Swansea, sem næði yfir hluta Swansea-flóa. Sjávargarðurinn, sem yrði 9,5 km langur; U-laga og næði 1,5 km frá landi, myndi loka af um 11,5 km² svæði. Sextán 20 MW hverflar, hver 7,2 m í þvermál, yrðu í flóðgáttum garðsins. Enn hafa framkvæmdir ekki hafist.

Mezenskaya verkefnið í Rússlandi lýtur að fyrirhugaðri stífluvirkjun í ósum fljótsins Mezen í austanverðu Hvítahafi, en þar er mikill flóðhæðarmunur. Áætlanirnar eru á vegum rússneska orkufyrirtækisins RusHydro, og gera ráð fyrir 8000 MW orkuveri. Óvíst er hvort af framkvæmdum verður.

Penzhin verkefnið í Rússlandi lýtur að fyrirhugaðri stífluvirkjun við Kamtschatka-skaga í austanverðu Rússlandi. Gerðar verða tvær gríðarmiklar stíflur yfir hinn 300 km langa og 65 km breiða Penzhinskaya-fjörð, sem gengur inn úr Okhotskahafi, og þar sett upp stífluvirkjun með framleiðslugetu yfir 100 GW; stærsta fyrirhugaða sjávarfallaorkuver heims. Þarna er flóðhæðarmunur 10-14 metrar og um flóðgáttirnar munu fara um 500 km³ sjávar á dag. Það jafngildir tveggja ára rennsli Volgu og 25 daga rennsli Amazon-fljóts. Áætlað er að mikill hluti raforkunnar verði nýttur til framleiðslu á vetni og öðrum orkuberum

Garorim Bay er fyrirhugað virkjanaverkefni með sjávarstíflum á vesturströnd Suður-Kóreu. Þróað af „Korea Western Power Company“ og með leyfi stjórnvalda frá 2008. Áætluð framleiðslugeta verður 520 MW frá 20 túrbínnum. Verkefnið mun hafa nokkur umhverfisáhrif, eins og aðrar stífluvirkjanir, en á svæðinu er mikið fiskeldi. Hafa fiskimenn haft uppi hávær mótmæli; svo og umhverfisverndarsamtök. Segja þau að verkefnið myndi spilla gróðurvöxnum flóðasléttum og því yrðu heildar loftslagsáhrif virkjunarinnar neikvæð.

Incheon Bay er annað fyrirhugað virkjanaverkefni með sjávarstíflum á vesturströnd Suður-Kóreu. Áætluð framleiðslugeta er 1.320 MW, með 44x30 MW túrbínnum.

2.10. Hugsanlegar stífluvirkjanir héraendis

Héraendis væri fræðilega unnt að afla sjávarfallaorku með stífluvirkjunum, þó slíkt sé varla raunhæfur kostur vegna umhverfisfórna sem óhjákvæmilega myndu fylgja. Breiðafjarðarsvæðið kæmi þá helst til greina, en þar verður flóðhæðarmunur mestur á landinu; um 3,6 m að meðaltali og allt að 5,7 metrar. Til samanburðar er munurinn að meðaltali um 8 m við La Rance í Frakklandi. Hagkvæmni mætti auka með vegagerð yfir stífluna. Eins og fyrr sagði eru umhverfisáhrif stífluvirkjana gríðarlega; einkum á lífríki, sem gjarnan er auðugt í fjörðum og árósum. Þau áhrif gera þennan kost ófýsilegan.

Tveir kostir af þessu tagi hafa komið til álita:

A. Þverun Þorskafjarðar utanverðs með stíflu, sem í yrðu virkjaðar flóðgáttir. Hugmyndir þessa efnis eru ekki nýjar, t.d. heyrði skýrsluhöfundur þær fyrst hjá athafnamanninum Magnúsi Ólafssyni í Vesturbotni um 1970; sem einnig stakk upp á laxeldi í firðinum til að auka hagkvæmnina.

Áður en ráðist var í brúargerð innar í firðinum fyrir nokkrum árum var þessi virkjanakostur athugaður af Vesturorku; stíflugerð frá Reykjanesi að Skálanesi. Áætlað var að virkjunin gæti framleitt um 180 GWst/ári, sem samsvaraði raforkunotkun á Vestfjörðum. Niðurstaðan varð þó sú að virkjunin yrði ekki hagkvæm nema að hún fengi á einhvern hátt að njóta annarrar hagkvæmni, t.d. af umferð yfir stífluna.

B. Þegar vegur var lagður yfir Gilsfjörð var skoðað hvort hagkvæmt yrði að byggja virkjun inn í garðinn. Svo reyndist ekki vera, en nýlega hafa þau áform þó verið tekin til endurskoðunar. Þverun Gilfjarðar sýnir þær miklu breytingar sem verða á vistkerfum við stíflugerð.

2.11. Sjöföldun orkunýtingar með „þriðju kynslóð“ sjávarfallahverfla

Í flestum gögnum sem nú eru lögð til grundvallar varðandi umfang nýtanlegrar sjávarfallaorku er miðað við þá skráfuhverfla sem lengst eru komnir í þróun. Ástæða þess er einfaldlega sú að þeir eru einu mælanlegu viðmiðin. Hinsvegar eru flestir þessir hverflar ekki taldir hagkvæmir í hægari straumi en 2,5 m/sek, sem þýðir að nýtingarsvæði þeirra eru afskaplega fá og takmarkast einkum við sjaldgæf þröng sund. T.d. væru þeir ekki nothæfir hérlendis utan fárra sunda í Breiðafirði.

Lengi hefur verið ljóst að langsamlega umfangsmestu orkusvæði sjávarfalla eru utan þessara straumhörðu sunda. Talið er að allt að 99% orkunnar sé á svæðum með minna en 2 m/sek straumhraða. Lítið hefur þó verið að hafa af rannsóknum sem renna stoðum undir þetta með vísindalegum hætti. Ein slík liggur þó fyrir, en niðurstöður hennar birtust 2015 í þessari fræðigreinin fjögurra fræðimanna.

Hverfill Valorku mun geta unnið við mun hægari straum og allar líkur benda til að hann verði hagkvæmur til notkunar í straumi kringum 1 m/sek. Ekki er vitað af annarri tækni sem hentar í slíkt, en sá sem kemst næst því er líklega hverill Tidal Sails, sem ætlað er að nýta allt niður í 1,5 m/sek straumhraða.

Merk fræðiritgerð kom út árið 2015, eftir M. Lewis; S.P. Neill; P.E Robins og M.R. Hashemi, sem allir starfa hjá School of Ocean Sciences; Bangor háskóla í Bretlandi. „Resource assessment for future generations of tidal-stream energy arrays“.

Þar er athygli beint að þeirri aukningu hagkvæmrar orkuvinnslu sem ná mætti fram með hægstraumshverflum; eða því sem þeir kalla „þriðju kynslóð“ sjávarfallahverfla (2nd and 3rd generation tidal turbine arrays).

Rannsókuð voru tvö ólík svæði í Írlandshafi. Þrennskona virkjanatækni var lögð til grundvallar: „**Fyrsta kynslóð**“ er skráfuhverfill MCT, sem prófaður var í nokkur ár, og þurfti meira en 2,5 m/sek lágmarksstraum til að framleiðsla gæti orðið hagkvæm.

„**Önnur kynslóð**“ er hverfill sem vinnur við 2 m/sek og meira, s.s. hverflar Minesto og Tidal Sails.

„**Þriðja kynslóð**“ er hverfill sem nýtt getur straumhraðann 1,5-2 m/sek eða jafnvel hægari straum.

Niðurstaða sérfræðinganna er sú að ef það markmið tekst að þróa hverfil af þriðju kynslóð, sem á hagkvæman hátt getur unnið orku úr 2 m/straumhraða eða hægari straumi (þriðju kynslóð); þá muni það umbylta fyrri áætlunum um umfang virkjanlegrar sjávarfallaorku.

Unnt verði að vinna sjöfalt meiri orku en áður var talið.

Svo vill til að hinn íslenski hverfill Valorku ehf er hannaður til orkuvinnslu úr slíkum hægstraumum; frá 0,5 til 2 m/sek. Nánar um hann hér síðar.



Source: IRENA (2020a).

Hér eru samandregnir í myndrænu formi nokkrir kostir nýtingar sjávarfallaorku. Úr skýrslu IRENA 2023; „Ocean Energy Technologies“.

2.12. Lausnir til framleiðslujöfnunar

Orkuframleiðsla sjávarfallahverfla er breytileg, í takti við sveiflur þær í straumstyrk sem áður getur. Þetta flökt fylgir þó fyrirséðu mynstri sem auðveldlega má reikna út langt fram í tímann; ólíkt þeim ófyrirsjáanleka sem einkennir vindorkunýtingu. Ýmsar lausnir eru þekktar á þessu viðfangsefni og hér verður bent á nokkrar þeirra.

Nýting sjávarfallaorku til vatnshitunar er líklega einfaldasta og hagkvæmasta lausnin til sveiflujöfnunar. Þá er raforka frá sjávarfallahverfli eða hverflabúi leidd til lands og nýtt til hitunar vatns eða annars vökva í stórum einangruðum geymi/tanki. Vatn úr geyminum má svo nýta sem hvert annað hitaveituvatn, t.d. til hitunar húsa; fiskeldis eða til raforkuframleiðslu. Þar sem virkjunin keyrir beint inn á element þarf ekki neinn kostnaðarsaman spennujöfnunarbúnað. Einkanlega ætti slíkt úrræði vel við hérlendis á svonefndum „köldum svæðum“ sem ekki búa að jarðhitavatni; enda er kynding húsa að jafnaði helsta orkunotkun almennings. Þá gæti þessi aðferð opnað leiðir til atvinnuuppbyggingar t.d. í landeldi fiska; gróðurhúsarækt eða annarrar „grænnar“ atvinnuuppbyggingar. Þessi notkun sjávarorku er einkar athugandi á stöðum sem ekki búa við tryggja raforkudreifingu, en liggja nærri orkuríki sjávarröst. Hverfill Valorku er sérlega hentugur í þessu tilliti; mun hentugri en skrófuhverflar sem ekki geta nýtt hægstraum.

Samkeyrsla með öðrum orkugjöfum er einnig aðgengileg og sjálfsögð leið til orkujöfnunar, þar sem staðir liggja vel við raforkuneti. Sérstaklega á þetta vel við þar sem raforka á netinu er framleidd með endurnýjanlegri orku og orkufyrirtæki eru í eigu almennings, eins og staðan er hérlendis. Kostur slíkrar samkeyrslu er að með henni má afla samfelldrar spennujafnaðrar orku. Sparast mun í lónum vatnsafsvirkjana sem nýttar yrðu í slíkt, sem aftur minnkar þörf á frekari virkjunum og lónagerð og stuðlar þar með að landvernd.

Nýting mismunandi flóðatíma (phasing) er áhrifarík aðferð til framleiðslujöfnunar. Þá er hagnýttur sá tímamunur sem er á sjávarföllum frá einum virkjanastað til annars með langri strönd. Það tekur sjávarfallabylgjuna að meðaltali um 12,4 klst að fara kringum Ísland. Með því að virkjaðar væru rastir kirngum landið; T.d. við Vestfirði, Langanes, Austfirði, Reykjanes, Snæfellsnes og í Breiðafirði og þær tengdar inn á orkunetið mætti fá all stöðuga orkuöflun.

Hleðsla rafgeyma er aðferð sem sífellt verður vænlegri, með hinni hröðu þróun rafhlaðna sem fylgir rafbílavæðingunni. Má ætla að þessi aðferð, e.t.v. ásamt hitun, verði ofaná innan tíðar; einkum í afskekktum byggðum og eyjasamfélögum þar sem ekki er völ á tengingu við orkunet. Vísir að slíki notkun sjávarfallavirkjunar er reyndar að komast í gagnið nú þegar, t.d. þar sem franskir skrófuhverfillinn Sabella sinnir orkupörf nær 900 manna samfélags á eyjunni Ushant við Bretaníuskaga. Í því tilviki eru geymarnir nýttir til að jafna út smærri sveiflur, en ekki framleiðslustöðvun yfir fallaskipti. Skyld þessari jöfnunaraðgerð er það að nota sjávarorku til hleðslu rafbíla og annarra hleðslutækja þegar framleiðsla er mest.

Dæling og fleyting eru tveir möguleikar enn til framleiðslujöfnunar sjávarfallavirkjana, sem koma til greina. Í fyrra tilvikinu er um það að ræða að toppur mestu framleiðslu hverfilsins er nýttur til að dæla sjó upp í lón, en þegar hægir á fallastraumnum og dregur úr framleiðslu er rennsli úr lóninu keyrt í gegnum rafal til jöfnunar. Víða með t.d. ströndum Íslands hagar þannig til að orkumiklar rastir eru undan háum nesjum, þar sem nýta mætti einhverja hvílt í nokkurri hæð sem jöfnunarlón án mikilla umhverfisáhrifa. Fleyting er af öðrum toga, þó þar sé einnig nýtt stöðuorka til geymslu. Þá er orka hverfilsins nýtt til að knýja búnað sem dregur belgi eða annað flot niður á aukið dýpi. Uppdrif flotsins er svo nýtt til orkuframleiðslu yfir fallaskiptin.

3. Hagkvæmni sjávarfallavirkjana

Hagkvæmni sjávarfallavirkjana hefur löngum verið dregin í efa; einkum af hagsmunaaðilum á vegum annarra orkuvinnsluaðferða. Sú gagnrýni á vissulega við rök að styðjast þegar litið er á kostnaðartölur við smíði og rekstur þeirra örfáu frumgerða sem nú framleiða raforku í tilraunaskyni í þróunarferli sínu. Gagnrýnin er þó augljóslega mjög ósanngjörn, þar sem á bakvið þessa örlitlu raforkusölu fárra frumgerða liggur gríðarlegur þróunarkostnaður. Segja má að þróun sjávarfallahverfla standi núna á svipuðu stigi og þróun vindmylla fyrir nokkrum áratugum; áður en fjöldaframleiðsla á þeim hófst, og notkun þeirra varð almenn í fjölda heimsríkja. Vindmyllur hafa núna náð þeirri hagkvæmni, með fjöldaframleiðslu og magnsölu orku, að geta (sumsstaðar) boðið samkeppnisfær verð raforku. Ekki leikur minnsti vafi á að sjávarfallavirkjanir munu feta sömu slóð.

3.1. Umsagnir fræðimanna

Ýmsar samantektir hafa birst um hagkvæmni sjávarorkuvera. Ein þeirra, frá 2009, er ritgerð Eleanor Denny; prófessors í hagræði við Trinity-háskóla í Dublin, sem nefnist „The economics of tidal energy“. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509000408>

Niðurstaða athugunarinnar er sú að til að sjávarorkuver skili hagnaði, og að það sé samkeppnisfært við aðrar orkuöflunarleiðir, þarf stofnkostnaður þess að vera undir € 510.000 (76.500.000 kr.) á hvert uppsett MW. Er þá miðað við orkuverð á Evrópumarkaði. Það eigi ekki við um neinn þeirra sjávarfallahverfla sem þá (2009) voru í tilraunakeyrslu. Miklar framfarir hafa orðið á síðustu árum sem bæta samkeppnishæfnina. Og eins og fram kemur hér síðar bendir flest til þess að íslenski hverfillinn standist þessi viðmiðunarmörk.

Mjög svipuð niðurstaða kemur fram í vísindaritgerð frá 2024 eftir Matteo Catalano og Indiano Dádamo við Rómaháskóla; Massimo Gastaldi við Aquilaháskóla; og Marzena Smol við pólsku vísindaakademíuna. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772655X24000624>. Þeir athuguðu hagkvæmni 1 MW sjávarfallavirkjunar með tilliti til margra þátta, s.s. kostnaðarverðs. vegins meðalorkuverðs og endurgreiðslutíma.

Niðurstaðan varð sú að virkjunin skilaði hagnaði miðað við stofnkostnað upp á 573.000 € (85.950.000 kr) og 21 árs endurgreiðslutíma. Niðurgreiðslur og styrkir myndu lækka tilkostnað og stytta endurgreiðslutíma. Framleiðslukostnaður raforku frá verinu áætla þeir verða 49,4-89,8 €/MWst, sem virðist bjartsýni miðað við aðra útreikninga. Niðurstaðan sýnir, að þeirra áliti, að stuðningur við þróun sjávarorkutækni stuðlar að hraðari orkuskiptum, og að blanda tæknilegra, marðkaðslegra og pólitískra þátta þurfi að ráða við stefnumótun í málaflokknum.

Í sömu átt hnígur álit Brian Polagye, forstjóra Pacific Marine Energy Center og aðstoðarprófessors við Washingtonháskóla.

Hann bendir á að samkvæmt athugun árið 2019 sé kostnaðarverð raforku frá sjávarfallavirkjunum 130-280 \$/MWst, samanborið við 20 \$/MWst í vindorku. Því valdi m.a. hár stofnkostnaður í byggingum og búnaði; hár viðhaldskostnaður og sérfræðikostnaður.

Á vegum Edinborgarháskóla kom fyrir fáeinum árum út samantektin „Wave and tidal energy; the potential economic value“, þar sem rýnt er inn í þá þróun sem líklegust er talin verða á þessum sviðum, einkum þegar litið er til tímabilsins 2030 til 2050. Edinborgarháskóli hefur staðið í fremstu víglínu þróunar, enda hafa Skotar verið leiðandi í þróun sjávarorkutækni.

Helstu niðurstöður eru þær að líklegt megi teljast að árið 2030 hafi orkuverð frá öldu- og sjávarfallavirkjunum náð fullri samkeppnisfærni við aðrar orkuvinnsluaðferðir. Orkuverð í Evrópu verði þá um 90 €/MWst. Talið er að árið 2050 gæti heildarorkuvinnsla öldu- og sjávarfallavirkjana við Bretland verið orðin um 1.300 TWst/ári.

Árið 2023 kom út viðamikil samantekt á vegum ensku orkuskiptamiðstöðvarinnar (CCCEP); Leedsháskóla og fleiri aðila: „Seizing sustainable growth opportunities from tidal stream energy in the UK“. Höfundar eru Esin Serin, Pia Andres, Ralf Martin, Arjun Shah og Anna Valero.

Niðurstöður eru þær að áframhaldandi þróun sjávarfallatækni sé afar mikilvæg, bæði fyrir orkuskipti og fyrir breskt efnahagslíf. Hér sé einnig um mikil tækifæri að ræða til styrkingar byggðar og aukins orkuöryggis. Hvatt er til áframhaldandi opinbers stuðnings við þróunina á þessu byrjunarstigi og að opinber stefnumörkun taki mið af sjávarorkunýtingu. Sett verði viðmið um sjávarorkuframleiðslu; stuðningsúrræðið CfD (Contracts for Difference) verði áframhaldandi; stefna verði sett um aðfangakeðjur; tækninýtingaráætlun verði gerð í samráði við hagsmunaaðila; og heildarstefna verði mótuð sem taki til allra þátta orkuframleiðslu á grunnsævi.

Frjármálaráðgjafafyrirtækið Fortune segir m.a. í markaðsfrétt sinni í mars 2025:

Heimsmarkaður öldu- og sjávarfallaorku var metinn á 0,98 milljarða bandaríkjadala árið 2023 og 1,28 milljarða 2024. Áætlaður 19,75 milljarðar árið 2032. Evrópa er þar yfirgnæfandi, með 64,29% hlut árið 2023.

IRENA (International Renewable Energy Agency) gaf út skýrsluna „Ocean energy technologies“ árið 2023. Þar segir m.a:

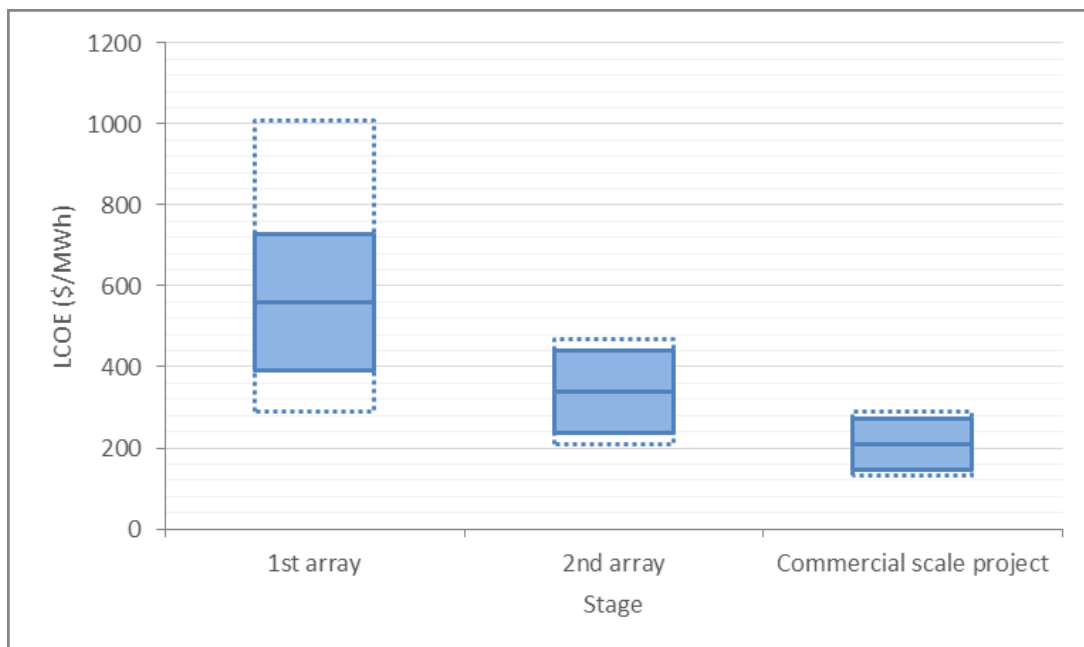
Evrópusambandið hefur sett viðmið um lækkun kostnaðar við öldu- og sjávarfallavirkjanir sem nemur 100 €/MWst (118 \$/MWst). Gert er ráð fyrir að það markmið náist þegar uppsett afl þessara virkjana nemur 1 GW. Breska stjórnvaldsstofnunin ORE Catapult kemst að svipaðri niðurstöðu, er hún spáir að kostnaðarverð sjávarfallaorku verði 132 €/MWst (170 \$/MWst) við 730 MW uppsett afl; og 89 €/MWst (114 \$/MWst) við 2,6 GW uppsett heildarafl.

Vísindaritgerðin „Tidal Stream and Ocean Current Energy - the benefits of harvesting lesser energetic flows“ eftir S. Ordonez-Sanchez, C. Calvillo-Munoz, I. Marino-Tapia, R. Martinez, S. Fu, M. Allmark, A. Mason-Jones, T. O’Doherty, R. Silva-Casarin og C. Johnstone, kom út árið 2020. Þar er borin saman hagkvæmni hraðstrauma-sjávarfallavirkjana á Orkneyjasvæðinu við 2,5 m/sek straumhraða; og hægstraumavirkjana í Mexíkóflóa, við straumhraðann 1 m/sek. Niðurstaðan er sú að hægstraumavirkjunin yrði mun hagstæðari en hin; einkum vegna mun hærri nýtnistaðals (capacity factor). Hann yrði allt að 77% fyrir hægstraumavirkjanir en allt að 44% fyrir hraðstraumavirkjanir.

3.2. Álit IEA-OES

International Energy Agency; Alþjóða orkustofnunin, er samstarfsvettvangur rösklega 30 ríkja, ásamt fræðastofnunum. Innan IES starfar sérstök deild um málefni sjávarorku; Ocean Energy Systems; OES. Árið 2019 lauk þar verkefni sem miðaði að því að skoða alla kostnaðarþætti sem hafa áhrif á kostnaðarverð raforku frá sjávarvirkjunum. Athugað var hvert verkefni á þessum tíma út frá þróunarkostnaði; stofnkostnaði, rekstrarkostnaði, framleiðslugetu og umhverfispáttum. Í raun var um endurskoðun að ræða á samskonar úttekt stofnunarinnar árið 2015, sem sjá má í skýrslunni „International Levelised Cost of Energy (LCOE) for Ocean Energy Technologies“. Í henni er margt forvitnilegt að finna, þó við lesturinn þurfi að hafa í huga þær stórstígu framfarir sem orðið hafa síðan; og miða að lækkun tilkostnaðar.

Framleiðslukostnaður raforku frá orkuveri af nýstárlegri gerð hlýtur alltaf að vera gríðarhár og úr öllum takti við almennt orkuverð. Það á jafnt við um sjávarorkutækni sem vindorkutækni þegar hún var á sama stigi. Allsendis örökrétt er því að hafna nýrri tækni á þeim forsendum. Rannsakendur í þessari skýrslu skoða hvernig þetta kostnaðarverð (LCOE) muni þróast, út frá fyrirbyggjandi forsendum, og taka m.a. tillit til hagræðis af fjöldaframleiðslu; lærdómsferlis og stærðarhagkvæmni.



Þróun kostnaðarverðs raforku frá sjávarfallavirkjunum (skrúfuhverflum) í ljósi stærðarhagkvæmni. Punktalínurnar eru álit hagsmunaaðila en skyggðu svæðin spá IEA-OES með +/- 30% skekkjumörkum. Lengst til vinstri er orkuverð frá fyrsta hverflabúi í tilraunakeyslu, þá öðru búi og til hægri orkuverð eftir að stigi fjöldaframleiðslu er náð. Þá er orkuverð áætlað um 200 \$/MWst (214 €/MWst). (Sjá þó hér meðar).

Endurskoðuð spá IEA-OES árið 2019 (phase II) leiddi í ljós enn hraðari reiknaða raforkuverðslækkun frá sjávarfallaorku. Telur stofnunin nú að greinin muni geta náð markmiðum sem sett eru í stefnumótun Evrópusambandsins; „Strategic Energy Technology Plan“, sem eru þau að kostnaðarverð (LCOE) raforku frá sjávarfallavirkjunum verði um € 150-100 /MWst á árabílinu 2030-2035.

3.3. Samkeppnishæfni sjávarorku

Hér hafa verið dregnar fram fáeinir tilvitnanir í trúverðuga aðila um kostnaðarverð raforkuframleiðslu sjávarfallavirkjana. Í ljós kemur að þó framleiðsluverð hvers MW sé núna verulega hátt, samanborið við aðra orkukosti, þá ber öllum saman um að það eigi eftir að lækka hratt með aukinni þróun; aukinni framleiðslu og þó einkum með fjöldaframleiðslu búnaðar. Líklegt er að upp úr 2030 hafi verið lækkað niður fyrir 100 €/MWst, og fyrir 2050 verði það orðið vel samkeppnisfært við aðra orkuöflunarkosti; jafnvel 60-70 €/MWst eða jafnvel minna.

Alþjóðlegur meðalkostnaður raforkuframleiðslu er núna um 90 €/MWst fyrir vindorku á landi; 76€/MWst fyrir vatnsfallaorku og 69 €/MWst fyrir jarðhitaorku (heimild: skýrsla ferða-iðnaðar- og nýsköpunarráðherra um nýjar aðferðir við orkuöflun, útg 2019).

Rétt er að hafa í huga að framangreindir útreikningar miðast við þær sjávarfallavirkjanir sem verið hafa í tilraunakeyrlu, sem eru langflestar stórir skrófuhverflar sem verið hafa lengi í þróun; eru þungir í vöfum og efnismiklir. Allar líkir benda til þess að hinn íslenski hægstraumshverfill sem Valorka ehf vinnur nú að og er að hefja fyrstu prófanir í líkanstærð, muni verða miklum mun ódýrari í þróun, framleiðslu og rekstri. Hann mun því að öllum líkindum verða fljótur á markað og reynast hagkvæmari en hinir.

Svo segir í skýrslu IEA-OES: „Tölur sýna að smærri sjávarfallavirkjanir gætu verið hagkvæmari kostur til raforkuvinnslu þegar til lengdar er litið“.

3.4. Umhverfisáhrif sjávarfallavirkjana

Líkt og öll manna verk hafa raforkuver áhrif á umhverfi og lífríki á einhvern hátt. Þó má fullyrða að engin orkuvinnsluaðferð geti verið skaðlausari í þeim efnum en sjávarfallavirkjun. Það er þó ekki sama hvaða aðferð er notuð. Hér er fyrst rétt að líta til nokkurra orkuvinnsluaðferða:

Brennsla jarðefnaeldsneytis er enn mikið notuð víða um heim, þrátt fyrir að það sé sú aðferð sem óumdeilanlega hefur mest óæskileg áhrif og heimsríki vilja skipta út fyrir hreinni orkugjafa.

Virkjun vatnsfalla er umdeild og ágeng aðferð; einkum vegna spjalla sem lón og mannvirki valda í óspilltri náttúru, en einnig vegna mikillar losunar frá framkvæmdum, bæði vegna véla og steinsteypu.

Virkjun jarðhita er einnig ágeng aðferð við náttúruna vegna mannvirkjagerðar; vega, pípa og bygginga. Auk þess þarf að gæta varúðar til að ekki sé gengið um of á jarðhitageyma.

Vindorkunýting er verulega ágeng orkuvinnsluaðferð í mörgu tilliti. Mikil sjónmengun fylgir möstrum sem staðsett eru á háum ásum og gnæfa allt að 300 metra upp í loftið, Gríðarlegt umhverfisrask fylgir vegalagningu upp á hæstu fjöll, en þangað þarf að koma stærstu flutninga- og hífingartækjum sem fyrirfinnast; og þyngstu vélarpörtum. Þá er einnig mikil losun frá þessum vélum. Mikil losun gróðurhúsalofttegunda fylgir gríðarlegu magni af steinsteypu sem þarf í undirstöður. Vindmyllur hafa mikil áhrif á lífríki, bæði með fælingu alls villilífs á stóru svæði og með fugladrápi í spöðum. Spaðar vindmylla losa mikið magn plastefna og eiturefna.

Síðastnefndar þrjár orkuöflunaraðferðir hafa verið í notkun hérlendis og hagsmunaaðilar þeirra sækja fast á um frekari virkjanir. Þó segja megi að þar sé um „endurnýjanlega orku“ að ræða, þá er hún alls ekki umhverfisvæn, eins og fram hefur komið.

Sjávarfallavirkjanir eru mjög misjafnar í þessu tilliti; eftir því hvaða aðferð er notuð.

Stífluvirkjanir hafa veruleg umhverusáhrif á lífríki, eins og fram kom hér að framan. Mikil röskun verður á lífríki við það að árósar eða firðir eru stíflaðir, auk verulegra sjónrænna áhrifa.

Stórir skrófuhverflar á hafsbotni eða fljóttandi í þröngum straumhörðum sundum hafa allnokkur áhrif á lífríki; bæði fælast lífverur og einnig er vitað til að spaðarnir hafi drepð eða sært t.d. seli. Þá fylgir lagningu þeirra allmikil losun, t.d. vegna vélanotkunar. Minna er vitað enn um drekavirkjanir, en ætla má að þær fæli fisk og önnur sjávardýr í nærumhverfi sínu. Mikið er notað af málmum og plastefnum í þær tilraunavirkjanir skrófuhverfla sem í notkun eru, en framleiðslu þeirra og förgun fylgja ýmis umhverfisáhrif.

Hægstraumshverflar eru hér í sérflokki. Allt bendir til að haga megi framleiðslu og notkun þeirra þannig að þeir verði umhverfisvænsta virkjanaform sem völ er á, sé litið til lífsferilsgreiningar (LCA). Hverflar Valorku ehf hafa frá upphafi verið hannaðir með það fyrir augum að forðast allan skaða á umhverfi, náttúru og lífríki. Sá hverfill sem þróunin beinist nú að er einstakur á heimsvísu; eins strengs hverfill með breytilegum blöðum úr náttúrulegu og endurvinnanlegu efni. Hverfillinn verður algerlega neðan yfirborðs sjávar; á miðdýpi sjávar. Hann veldur því hvorki sjónmengun né hættu fyrir skipaumferð; hann hindrar hvorki botnlíf né botnrek. Snúningshraði hans er mjög hægur, svo engin hætta er á skaða af þeim völdum. Hann verður léttur í meðförum, þrátt fyrir að verða líklega stærsti hverfill heims. Honum má leggja frá tiltölulega litlu skipi; þjónusta hann og endurheimta að fullu á einfaldan og fljótlegan hátt.

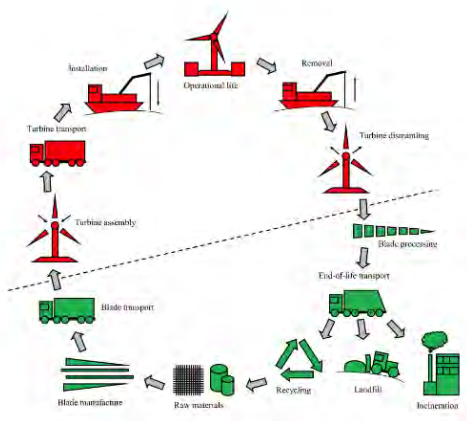
3.5. LCA-greining sjávarfallavirkjana

Lífsferilsgreining (Life Cycle Assessment) er greiningaraðferð sem of lítið er beitt. Það ætti að vera skylda allra seljenda orkuvinnslutækni að leggja fram slíka greiningu áður en hún er boðin til notkunar eða sölu, enda kemur þá í ljós m.a. hver raunveruleg áhrif hennar eru á umhverfið; allt frá upphafi framleiðslu hennar; til endaloka notkunar og ráðstöfunar efnis. Furðu gegnir t.d. að hér skuli ræddir möguleikar á vindmylluvæðingu án þess að lögð séu fram gögn um lífsferilsgreiningar virkjananna.

Sjávarfallahverflar eru af margvíslegum gerðum, og enginn hefur enn komist á endastig prófana eða farið í fjöldaframleiðslu. Því er þess ekki að vænta að LCA greiningar yrðu markvissar og áreiðanlegar. Engu að síður hafa þær verið gerðar á einstökum algengum íhlutum.

Hér verður vikið að ritgerðinni „Comparative Life Cycle Assessment of tidal stream turbine blades“ eftir Stuart R. J. Walker, Philipp R. Thies, og Lars Johanning, sem gefin var út árið 2022. Þar er sjónum beint að þeim blöðum skrófuhverfla sem helst eru notuð á stórar virkjanir sem nú eru í prófun. Flest

eru þau gerð úr styrktu glertrefjaplasi. Ekki er unnt að endurvinna þau, og því fara þau í urðun eða brennslu að lokinni notkun. Athugaður var lífsferill tíu gerða blaða og möguleikar á endurvinnslu þeirra. Niðurstaðan varð sú að stór glertrefjablöð losa 15,5 tn koldíoxíðs og valda umtalsverðum umhverfisáhrifum. Áhrifin myndu aukast um 99% með notkun koltrefja; og um 134% með notkun stáls. Umhverfisáhrif myndu hinsvegar minnka um 26%, væru í stað glertrefja notaðar hörtrefjar í endurvinnanlegi plaststeypu. Slík blöð gætu einnig verið ódýrari, þegar til lengdar lætur. Hinn íslenski hverfill Valorku er annarrar gerðar og mun umhverfisvænni.



4. Stefnumótun og þróun eftirspurnar

4.1. Stefnumótun ríkja

Langflest þróuð ríki heims, sem eiga land að sjó, hafa markað sér áætlanir, stefnu og regluverk sem miða að hagnýtingu sjávarorku. Ísland er þar í sérflokki, því héraendis hafa stjórnvöld nánast enga tilburði haft í þá átt. Alþjóða-orkumálastofnunin, IEA, telur að virkjun sjávarorku muni verða veigamikill þáttur í orkuskiptum á næstu áratugum. Hún áttar að um 2050 verði uppsett afl sjávarvirkjana a.m.k. 300 GW; um 680 þúsund störf hafi skapast í geininni; að hún leggi til verðmæti að upphæð um 340 milljarða bandaríkjadala; og minnki losun um 500 milljón tn.

Hér verður litið stuttlega yfir sviðið, og m.a. byggt á skýrslum IEA-OES.

Evrópusambandið stefnir að því að árið 2050 hafi sjávarfallahverflar með samanlagt afl 40 GW hafið framleiðslu raforku inn á neyslunet.

Árið 2019 kynnti Evrópusambandið aðgerðaáætlunina „Green Deal“, sem er metnaðarfull áætlun um framleiðslu grænnar orku; m.a. sjávarfallaorku.

Evrópusambandið telur raunhæft að árið 2025 verði uppsett afl raforku úr sjávarföllum og öldu 100 MW; 1 GW árið 2030 og 100 GW árið 2050. Þá hafi greinin skapað um hálf milljón starfa.

Sérfræðingar við „Ocean Energy Europe“ telja að fyrirhugaðir styrkir á þessu sviði muni hrinda af stað verkefnum til framleiðslu á 14 MW. Frekari stuðningur gæti kallað fram 700 MW framleiðslugetu fyrir árið 2028.

Bretland stefnir að því að árið 2029 verði uppsett afl sjávarstraumavera 130 MW, en árið 2030 skulu 95% raforkunnar koma frá endurnýjanlegum orkulindum. Bretland er leiðandi á heimsvísu og þar eru nú öflugustu innviðirnir til þróunar. Bretar hafa tekið upp nokkurskonar uppboðs- eða samkeppniskerfi varðandi niðurgreiðslur raforku frá sjávarorkuverum; svonefnda CfD-samninga; (Contracts for Difference).

Bretland hefur tekið upp athyglisverða hvataleið til að hraða þróun sjávarorkunýtingar og vindorkunýtingar. Áætlunin hófst 2014 og nefnist „Contract for Difference“ (CfD) og er nokkurskonar ríkisstyrkt niðurgreiðsluleið fyrir verkefni í virkjun sjávarfallaorku. Fyrst var úthlutað til sjávarorkuverkefna árið 2022; í fjórða útboði (allocation round) áætlunarinnar. Þá hlutu styrki Orbital Marine með 7,2 MW verkefni; Simec Atlantis með 28 MW og Magellanes með 5,6 MW verkefni. Í fimmta útboði 2023 fengu 11 sjávarorkuverkefni styrki; samtals til 53 MW verkefna. Í sjötta útboði (AR6) árið 2024 var styrkur veittur til samtals 130 MW verkefna á sviði sjávarfallaorku. Þá fengu styrki m.a. HydroWing (10MW); MeyGen (9MW); Seastar (4 MW); Magellanes (3MW) og Ocean Star Tidal (2MW). Styrkt verkefni á Skotlandi voru 83MW og í Wales 38 MW.

Breska sjávarorkuráðið (UK Marine Energy Council – MEC) áttar í skýrslu sinni 2024 að árið 2035 verði uppsett afl sjávarorkuvera við Bretland a.m.k. 1 GW. Á allra næstu árum muni meira en 90 MW verða tiltækt frá sjávarfallavirkjunum samkvæmt verkefnasamningum sem í gildi eru í Skotlandi og Wales. Áætlað er að kostnaður fari úr £ 259/MWst niður í £ 50/MWst, m.a. vegna tækninýjunga.

Bresk stjórnvöld bjóða þróunaraðilum sjávarfallavirkjana sem keyrðar eru í tilraunaskyni inn á net nokkurskonar afleiðusamninga; svonefnda CfD-samninga (Contracts for Difference), samkvæmt útboðsáætlunum (Allocation Rounds). Þróunaraðilar sem fengu úthlutun í áætlun AR4 þurfa að lækka framleiðslukostnað raforku niður fyrir £ 178,54/MWst fyrir árið 2027. Það gæti reynst veruleg

áskorun fyrir marga, t.d. stóru botnfestu hverflana, en e.t.v. léttbærara fyrir fljótandi hverfla. T.d. er sá kostnaður nú líklega um eða undir £ 200/MWst hjá fljótandi O2-hverfli Orbital Marine.

Mikill þrýstingur er því á sjávarstraumsvirkjanir að lækka sinn framleiðslukostnað. Til þess eru nokkrar leiðir sýnilegar. Ein er stærðarhagkvæmnin. Þannig tókst Orbital Marine að lækka kostnað verulega með því að stækka SR250 hverfil sinn upp í O2 hverfilinn; úr 250kW í 2 MW. Hagkvæmni af reynslu (learning rate) hefur einnig reynst dýrmætur þáttur; metinn til 7% lækkunar. Miklar framfarir hafa orðið í hönnun blaða fyrir skrúfuhverfla. Enn skortir þó stöðlun; einkum varðandi stærri blöð (um 28 m löng) sem mun þurfa fyrir 3 MW skrúfuhvefla. Framfarir hafa orðið varðandi botnfestingar (borun í stað þyngdar), neðansjávartengingar, orkustýringar o.fl.

Í nýlegri skýrslu sérfræðinga við háskólann í Plymouth er áætlað að virkjun sjávarfallastrauma með skrúfuhverflum gæti mætt allt að 11% af raforkuþörf Bretlands; eða jafngildi 34 TWst/ári. Ýmsir fyrirvarar eru þó á því hafðir; einkum varðandi óstöðugleika strauma á nokkrum virkjanasvæðum, t.d. nærri annesjum og eyjum.

Frakkland er annað Evrópuríki leiðandi í sjávarorkunýtingu; með nokkur stór verkefni eins og að framan er getið. Þar er unnið að sérstakri stefnumörkun í þessum málaflökki.

Bandaríkin eru leiðandi í sjávarorkuþróun utan Evrópu, með 10,9 MW uppsett afl frá 2010 til 2024. Bandarísk stjórnvöld hafa aukið árlegan stuðning þrjú ár í röð, en hann nam 520 milljónum dala síðasta fimm ára tímabil. Árið 2023 birtu stjórnvöld „Ocean Climate Action Plan“ (OCAP), sem er vegvísir til kolefnishlutlausrar framtíðar. Þar eru ýmsar aðgerðaáætlanir, m.a. í málefnum sjávarorku. T.d. um stóraukið rannsóknar- og þróunarstarf. Það ár varð Kalifornía fyrsta ríki Bandaríkjanna til að setja löggjöf um sjávarorku. M.a. skuldbindur hún orkustofnun ríkisins til að vinna með stofnunum og hagsmunaaðilum við matsgerðir varðandi sjávarorku; og greiningar á virj-kjanamöguleikum.

Kanada. Sett var á fót stofnunin „Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE)“ til að halda utan um rannsóknir og nýtingu á helsta sjávarstraumasvæði Kanada, sem er Fundy-flói og nágrenni hans. Einnig hafa stjórnvöld komið að verkefnum með háskólum og öðrum, s.s. „Pacific Regional Institute for Marine Energy Discovery’s (PRIMED)“ með Victoríuháskóla. Stjórnvöld hafa á ýmsan hátt tekið tillit til sjávarorkunýtingar í stefnumótun sinni og lagasetningu. Meðal stuðningsaðgerða stjórnvalda er skattaívilnun til fjárfesta í sjávarorkufyrirtækjum, og vegna tækjakaupa á því sviði.

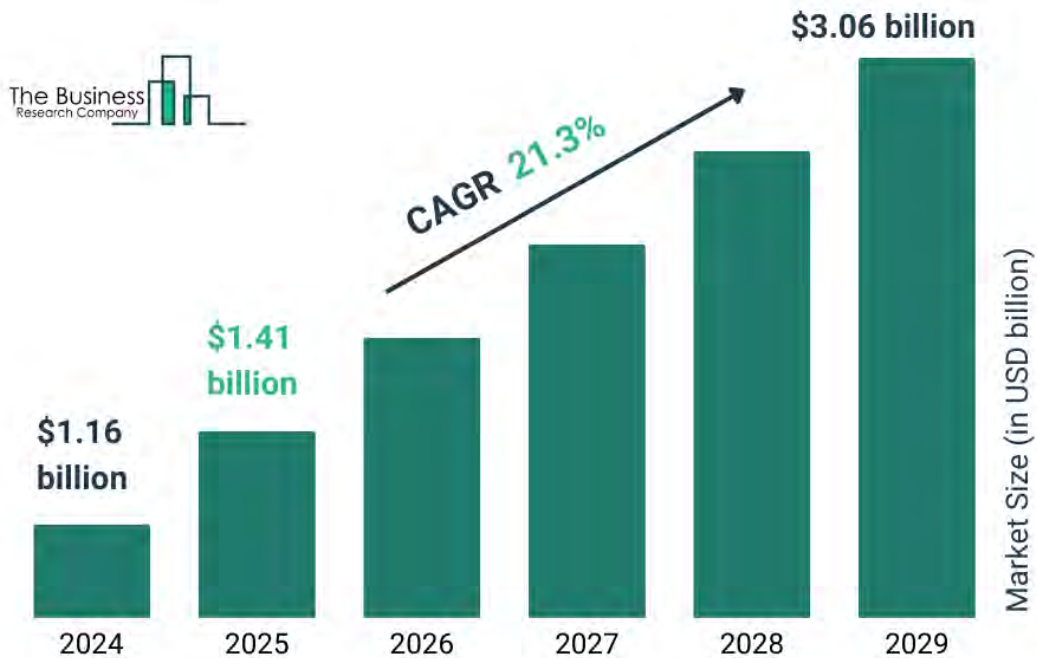
Ástralía. Ríkisstjórnin hefur mótað sér stefnu; „Sustainable Ocean Plan for Australia“, til ársins 2040. Mótuð hafa verið ýmis úrræði til stuðnings við tækniþróun; m.a. sérstakir byggðasjóðir sem styðja staðbundin úrræði í orkuöflun.

Indland býr yfir mikill sjávarorku; með sína 7500 km löngu strandlengju. Þar eru mörg verkefni í gangi og unnið er að málefnum þessa sviðs á vegum Þjóðarstofnunar sjávarorku (NIOT). Ráðuneyti nýrra endurnýjanlegra orkukosta (MNRE) býður ýmis stuðningsúrræði og vinnur að stefnumótun.

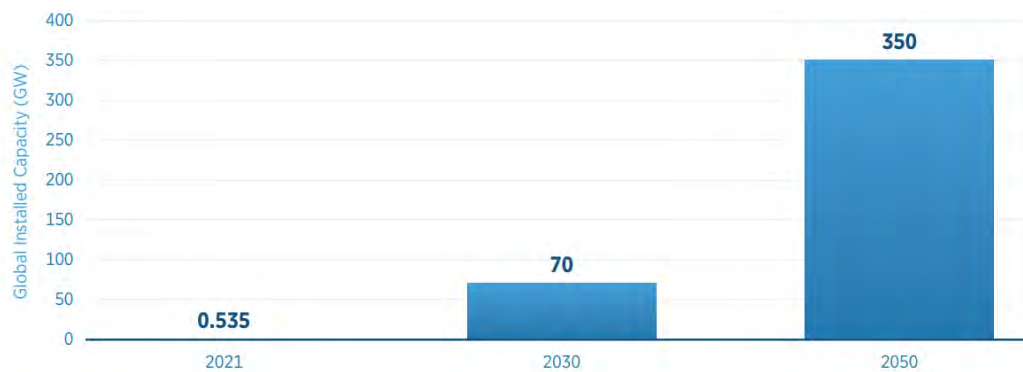
Kína. Kínastjórn hefur sett sér markmið um minnkun á losun kolefnislofttegunda. Liður í því er margháttður stuðningur við þróun sjávarorkutækni á öllum stigum. Árið 2023 samþykkti umbótaráð þróunarmála (NDRC) aðgerðaáætlun í málefnum grænnar orku, sem m.a. tekur til sjávarfallaorku. Kína hefur formlega lýst yfir „stórfelldri aukningu í framleiðslugetu sjávarorkuvera“ í fimm ára áætlun sinni.

Suður-Kórea fylgir stefnu sem sett hefur verið; „Ocean Energy Development Plan“ um hagnýtingu sjávarorku. Meginhlutar hennar eru öflugt rannsóknar- og þróunarstarf og uppsetning prófunarstöðva; uppsetning sjávarorkuvera í stórum stíl; aðild að heimsmarkaði og hlutdeild í innanlandsmarkaði raforku; og að komið verði á fót upprunavottun og stuðningsúrræðum.

4.2. Þróun markaðar og eftirspurnar sjávarorku



Áætluð markaðspróun sjávarorku í \$ 2024-2029, samkvæmt álitni „The Business Research Company. Meðalaukning á ári (Compound annual growth rate) er 21,3 %. Ætla má þó að aukningin verði hraðari, í ljósi sívaxandi eftirspurnar grænorku.



Source: IRENA (2022).

Áætlað uppsett afl sjávarvirkjana árin 2030 og 2050, að mati IRENA.

5. Staðan hérlendis

5.1. Umfang sjávarfallaorku við Ísland

Hér framar var í 1.kafla fjallað um umfang sjávarfallaorku á heimsvísu. Heildarorkan er áætluð um 3 TW, en nýtanlegur hluti er mun minni og háður tæknilegum möguleikum hverju sinni. Þar sem tiltekinn massi sjávar þarf ítrekað að ferðast um sömu slóðir er unnt er að reikna út, í grófum dráttum, hvaða heildarorka er á hverjum stað í heimshöfunum; sé tekið tillit til annarra þekktu breytna s.s. straumahegðun, dýpi, strandlöggun o.fl. þátta.

Slíkt sjávarfallalíkan fyrir hafsvæðið kringum Ísland liggur fyrir; unnið á vegum Verfræðistofnunar HÍ og VST (nú Verkís). Það er keyrt daglega hjá Vegagerðinni og segir fyrir um sjávarhæð, sjávarstrauma og áhlaðanda fimm daga fram í tímann. Þó líkanið sé all nákvæmt er þó nauðsynlegt að beita mælingum til að fá nákvæma mynd af straumahegðun fyrir hvern stað, t.d. með tilliti til virkjanamöguleika. Líkanið er einungis tvívítt, en þrívíða mynd þarf til að ákvarða virkjanamöguleika.

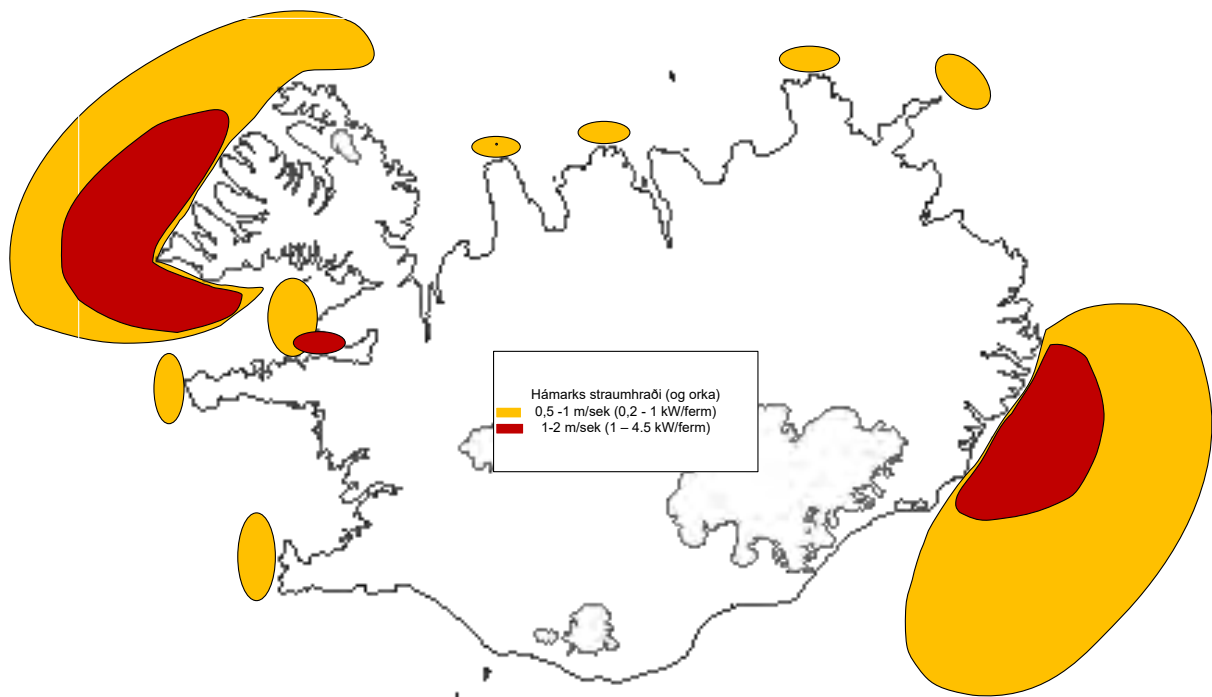
Engar rannsóknir hafa enn farið fram á heildarumfangi sjávarfallaorku við Ísland, þrátt fyrir þingsályktun Alþingis þar um árið 2014, sem vikið verður að hér á eftir. Þrátt fyrir það er unnt að áætla umfangið gróflega með einföldum samanburði við önnur þau eyríki sem búa við keimlíkt straumafar. Þannig má með nokkurri sanngirni bera aðstæður hérlendis saman við aðstæður í Írlandi og Stóra-Bretlandi, þar sem ítarlegri rannsóknarniðurstöður liggja fyrir.

Nýtanleg sjávarfallaorka Stóra-Bretlands, að undanskildum mögulegum stífluvirkjunum, er nú áætluð vera 34 TWst/ári. Er þá horft til getu þeirra skráfuhverfla sem nú eru í tilraunakeyrsly, en þeir geta ekki nýtt að marki straumhraða undir 2,5 m/sek. Fræðimenn teljs, eins og vikið var að hér framar, að sjöfalda megi þá tölu með tilkomu annarrar og þriðju kynslóðar sjávarfallahverfla. Nýtanleg sjávarorka Bretlands er því á bilinu 34 – 238 TWst/ári, eftir því hvaða tækni veður tiltæk. Bretland er vissulega stærri eyja en Ísland; 209.331 km² á móti 103.000 km² Íslands.

Séu tölurnar yfirferðar til Íslands eftir hlutfalli flatarmáls má ætla að hérlendis sé nýtanleg sjávarfallaorka á bilinu 16 til 117 TWst/ári. Síðari talan er nýtanlegt umfang sjávarfallaorku hér við land eftir tilkomu þriðju kynslóðar sjávarfallahverfla; en svo vill til að af þeirri kynslóð er hinn íslenski hverfill Valorku ehf, sem vikið verður að hér á eftir.

Öll núverandi raforkuframléiðsla hérlendis er um 20 TWst/ári. Má því áætla að með fullnýtingu sjávarfallaorku hér við land megi nær sjöfalda núverandi raforkuframléiðslu. Ólíkt núverandi orkuöflun vatnsfalla- og gufuorkuvera sem að langmestu leyti er í einum landshluta; yrði sjávarfallaorku aflað í straumaröstum allt í kringum landið. Slíkt gæfi landsbyggðarsvæðum verulega uppbyggingamöguleika. Ekki síst í ljósi þess að upphitun vatns er mjög hagkvæmur nýtingarmáti sjávarfallaorku.

Fleiri samanburðaraðferðir má nota til að áætla gróflega umfang hérlendrar sjávarfallaorku. Sjávarorka við Írland hefur verið rannsökuð all ítarlega. Í skýrslu sem írski hreinorkustofnunin SEAI gaf út árið 2010, kemur fram að heildarumfang sjávarfallaorku þar við land er áætlað um 240 TWst/ári. Er þá miðað við svæðið frá 10 m dýpi til 4 mílna landfirðar; að undanskildum verndarsvæðum. Þar sem Írland er um 70% minna en Ísland að flatarmáli má gróflega ætla að hérlendis sé heildarorkan um 343 TWst/ári. Nýtanlegur hluti hennar er auðvitað miklu minni, en gæti þó verið í takti við ofangreindan samanburð við Bretland.

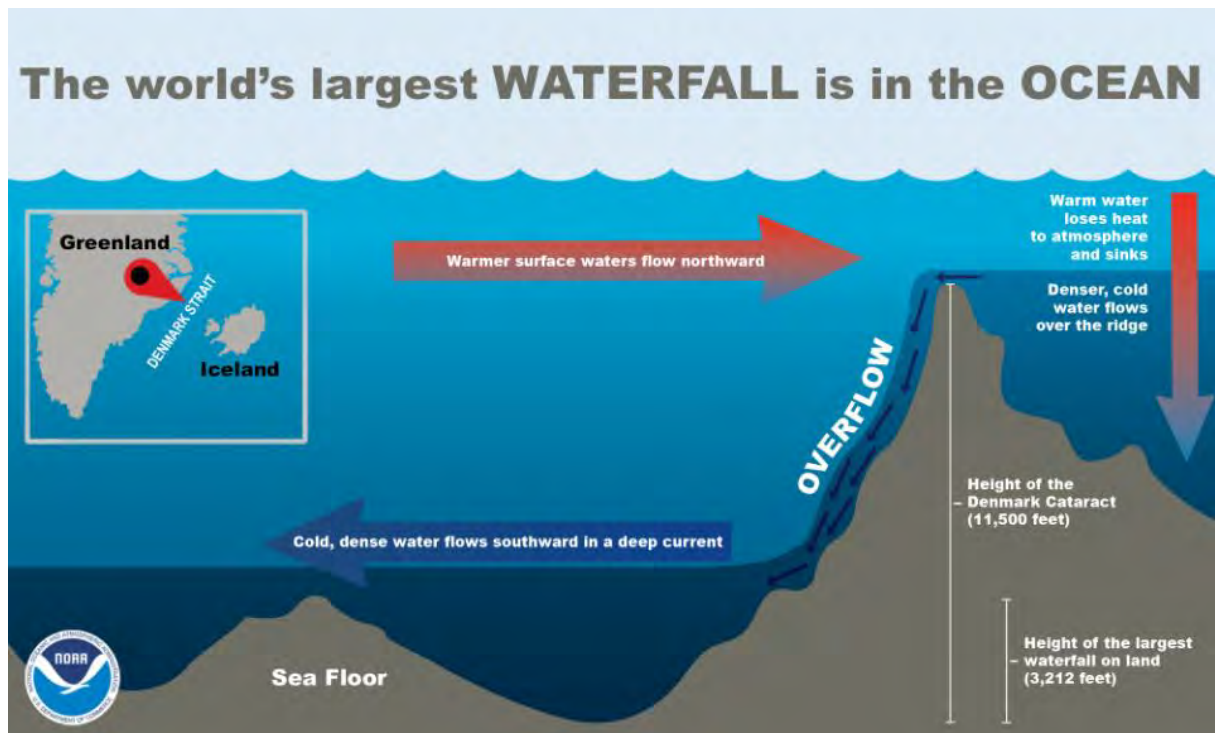


Hér hafa verið teiknuð inn á Íslandskort þau svæði við landið sem ríkust eru af sjávarfallaorku. Byggt er að mestu á hinu reiknaða sjávarfallalíkani sem birt er á vef Vegagerðarinnar, en einnig á reynslu sjómanna, m.a. eigin reynslu skýrsluhöfundar. Rauður litur merkir svæði þar sem hámarks straumhraði verður um eða yfir 2 m/sek, en þar er orkuþéttni 1 til 4,5 kW á fermetra í þversniði sjávar. Gulur litur táknar svæði þar sem straumhraði verður að hámarki 0,5 til 1 m/sek, og orkuþéttni um 0,2 til 1 kW/m².

Langstærstu og orkuríkustu svæðin eru við Vestfirði og Austfirði, þar sem sterkir virkjanlegir straumar ná allt að 100 km út frá ströndinni til hafs. Sterkir straumar eru við hvert annes á Vestfjörðum; t.d. Straumnesröst við norðanverða Vestfirði, og Látraröst syðst. Látraröst er öflugasta annesjaröst landsins og sérlega áhugaverð til virkjunar þar sem hún liggur með sveigjulausum og jöfnum straumi sunnan Bjartanga. Athugun var gerð á fýsileika virkjunar þar, sem hér verður lýst síðar. Sömuleiðis er straumasvæðið mjög öflugt og umfangsmikið við Austfirði sunnanverða. Sterkar annesjarastir eru við Langanes, Reykjanes og Snæfellsnes. Svo er einnig við mörg önnur nes landsins, en rannsóknir skortir. Víða í Breiðafirði eru straumhörd sund, og hraðasta sjávarfallaröst landsins er Röst í mynni Hvammsfjarðar. Þar hafa verið gerðar allmiklar rannsóknir á vegum félagsins Sjávarorku ehf. Víðar í Breiðafirði eru öflugir straumar í eyjasundum, s.s. Kolkistustraumur við Skógarströnd. Ætla má að þeir virkjanakostir verði nýttir að verulegu marki í framtíðinni.

Orka á þessum merktu svæðum á kortinu verður nýtanleg með hverflum Valorku ehf, en þeir eru hannaðir til orkuvinnslu strauma á bilinu 0,5 – 2 m/sek. Hinsvegar er líklega óvísu hagkvæmt að virkja með skrúfuhverflum, sm flestir þurfa yfir 2,5 m/sek.

5.2. Fossinn mikli



Rétt er að nefna hér stuttlega mesta einstaka orkukost sem finnst í íslenskri efnahagslögsögu. Það er hinn mikli neðansjávarfoss í Grænlandssundi sem alþjóðlega er nefndur „the Denmark Strait Cataract“. Skýrsluhöfundur hefur stungið upp á nafninu „Blakkfoss“, sem bæði vísar til þess að eitt næsta fastaland við fossinn er Blakknes milli Kollsvíkur og Patreksfjarðar; og þess að fossinn er niðri í myrkum sjávardjúpum. Fossinum og uppruna hans var einna fyrst lýst af íslensku haffræðingunum Steingrími Jónssyni og Héðni Valdimarssyni. Hér er um langstærsta foss jarðar að ræða. Eftir hafsbotni á Grænlandssundi rennur gríðarmikill kaldur hafstraumur til suðurs; undir hlýrri og eðlisléttari sjó sem er á norðurleið. Þegar straumurinn kemst yfir hrygginn milli Íslands og Grænlands steypist hann niður í hafdjúpið sunnanvið; yfir 2000 metra fall. Hann er því meira en tvöfalt hærri en hæsti foss heims ofansjávar; Englafoss í Venezuela, sem er ekki nema 979 metra hár. Breidd fossins er 15-20 km þar sem hraðinn er mestur; nær 0,5 m/sek. Meðalrennsli sjávar í fossinum er 3,4 milljón rúmmetra á sekúndu, en til samanburðar er rennsli vatnsmeista fljóts heims; Nílar, 1,584 m³/sek og meðalrennsli Þjórsár 363 m³/sek. Hér er því um gríðarmikla orkulind að ræða; e.t.v. þá langstærstu í íslenskri lögsögu, en fossinn er íslandsmegin við miðlínu milli Grænlands og Íslands.

„Blakkfoss“ er að öllu leyti neðansjávar; undir hafstraumi sem gengur í gagnstæða átt. Hafdjúpið niður á fossbrúnina er meira en 600 metrar og fjarlægðin til fasts lands (Íslands) töluvert yfir 100 km. Í fljótu bragði gæti fossinn því vírst óaðgengilegur kostur til orkuöflunar. Engu að síður er mjög líklegt að þessi gríðarmikla orka verði hagnýtt innan tiltölulega skamms tíma, og rétt er að íslensk stjórnvöld fari tafarlaust að huga að réttarstöðu sinni og möguleikum í því efni.

Hinn íslenski hverfill Valorku er líklega vænlegasta tæknilausnin til slíkrar virkjunar, af þeim sem nú eru í þróun. Þá yrði notaður færibandshverfill með einum snúningsás; enda liggur straumurinn einatt í sömu átt. Orkuna mætti leiða upp í hleðslustöð, skammt undir yfirborði sjávar, og flytja til lands með sérstökum skipum eða nýta til að knýja skip á leið milli landa, m.a. yfir Norðurpólinn.

5.3. Þingsályktun um sjávarorku

Eins og fram kemur hér síðar hefur áhugi stjórnvalda verið lítil á sjávarorku gegnum tíðina. Þó brá svo við, í kjölfar þess að þingmenn fengu skýrslu Valorku ehf í hendur árið 2011, að nokkrir öflugir og framsýnir þingmenn fengu áhuga á málinu. Í samráði við skýrsluhöfund sömdu þeir þingsályktunartillögu sem miðaði að því að hefja rannsóknir á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku hér við land. Vel gekk að afla stuðnings við tillöguna á þingi, og fór svo að hún var lögð fram af öllum flokkum sem þá áttu þingsæti. Eins og verða vill um slík mál, dróst afgreiðsla tillögunnar úr hófi. Þó fór svo að hún var tekin til afgreiðslu á vorþingi 2014; og samþykkt samhljóða. „Þingsályktun um rannsóknir á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku“, eins og hún nefndist, hljóðar þannig:

„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 hagkvæmstu 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“.

Starfshópur var skipaður í kjölfarið. Í honum áttu sæti fulltrúar Orkustofnunar; Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands; Hafrannsóknastofnunar; verkfræðistofunnar Verkís; Vegagerðarinnar; Samorku og atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytis. Ekkert samráð var við málshefjanda, sem þó stóð að eina þróunarverkefni sjávarorkutækni hérlendis og bjó yfir verulegri þekkingu á málaflokknum. Starfshópurinn skilaði skýrslu til ráðherra í apríl 2015, undir nafninu „Greinargerð starfshóps til iðnaðar- og viðskiptaráðherra um mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku“. Sumar niðurstöður skýrslunnar bera keim af kreddum og hagsmunum fortíðar. En margt annað er þar vel rökstutt og rökrétt; þar á meðal sumar tillagnanna. Meðal niðurstaðna í skýrslunni eru þessar:

1. Viðurkenning á að sjávarorka sé kostur til sjálfbærrar endurnýjanlegrar orkuframleiðslu.
2. Skýrsluhöfundar telja ólíklegt að virkjun sjávarorku verði arðbær í náinni framtíð. Það álit byggir á lágu þáverandi orkuverði hérlendis og háu verði frá tilraunakeysrlu fárra dýrra erlendra sjávarfallavirkjana. Augljóslega haldlaus rök þegar til framtíðar er litið.
3. Lagt er til að rannsóknir verði hafnar í völdum straumsterkum sjávarröstum landsins. Þar verði umfang og straumur kortlagt með staumsjarmælingum, fjölgeislamælingum á dýpi og sjávarfallalíkani með nákæmri upplausn.
4. Ekki er talin þörf á mælingum vegna ölduorku að svo stöddu.
5. Skilið verði milli grunnupplýsinga um sjávarorkuauðlindina og sérhæfðari rannsókna í þágu virkjanaaðila.
6. Skýrsluhöfundar telja að vegna mikils sveiflutengds breytileika í orkuframleiðslu sjávarvirkjana verði rekstur þeirra að tengjast annarri grunnframleiðslu, t.d. vatnsaflsvirkjun. Sú fullyrðing er röng. Unnt er að beita öðrum jöfnunaraðferðum, eins og annarsstaðar er hér vikið að, auk þess sem unnt er að nýta hina sveiflukenndu orku til beinnar hitunar vatns, sem þá er jöfnunarmiðill.
7. Skýrsluhöfundar fullyrða að „tengingar sjávarorkuvirkjana við flutnings- og dreifikerfi landsins um sæstreng verði mun kostnaðarsamari en tenging virkjanakosta á landi, þar sem leggja þurfi sæstrengi og síðan tengingar á land að næsta mögulegum tengipunkti“. Þessi alhæfing er þó tilhæfulaus, enda eru tengingar hinna ýmsu annarra orkukosta mjög misdýrar.
8. Lagt er til að Orkustofnun verði falið að varðveita í gagnagrunni upplýsingar um sjávarorku.
9. Vinna þurfi að löggjöf vegna nýtingar sjávarorku, vindorku á hafi og jarðvarma á hafsbotni. Auk þess þurfi löggjöf fyrir tengingu þessara virkjunarkosta við land um sæstreng. Mikilvægt

sé að stjórnvöld séu undir það búin að taka við umsóknum um rannsókn- og nýtingarleyfi vegna sjávarorku í framtíðinni.

10. Nýtingu sjávarorkukosta þurfi að skoða í ljósi landsskipulagsstefnu, umhverfismála, áhrifa virkjana og tenginga þeirra á lífríki og aðra starfsemi sem byggir nýtingu auðlinda hafsins.

5.4. Aðgerðaleysi framkvæmdavaldsins

Þrátt fyrir hið skýra orðalag þingsályktunarinnar um að ráðherra skuli „hefja vinnu við mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku við strendur Íslands“ hefur engin slík vinna farið af stað, að frátaldri skýrslugerðinni árið eftir. Fyrmæli Alþingis í þingsályktuninni hafa verið sniðgengin í eftirfarandi atriðum:

- Ráðherra var uppálagt að „hefja vinnu við mat á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku við strendur Íslands, með það að markmiði að greina hagkvæmustu nýtingarkosti til framtíðar“. Engin slík vinna er ennþá hafin.
- Ráðherra skyldi „leggja drög að uppbyggingu gagnagrunns um nýtingu sjávarorku“. Enginn slíkur gagnagrunnur hefur verið byggður upp, að frátöldum þeim sem Valorka ehf hefur byggt upp að eigin frumkvæði.
- Ráðherra skyldi „kanna með hvaða hætti Ísland geti orðið aðili að alþjóðlegu samstarfi um nýtingu sjávarorku“. Ísland stendur enn utan helstu samtaka á þessu sviði.

Ráðherra hefur því aðeins framkvæmt eitt af fjórum framkvæmdaatriðum þingsályktunarinnar; að láta gera skýrslu þá sem lýst var. En ráðherra hefur einnig vanrækt að fara að niðurstöðum og ráðleggingum skýrslunnar, þar sem tekið er undir öll atriði þingsályktunarinnar.

Þó þingsályktunartillögur hafi ekki lagagildi, þá eru þær eigi að síður bindandi fyrir framkvæmdavaldið. Fyrmæli þingsályktunar til ráðherra fynrast heldur ekki.

Skýrsla staðfestir aðgerðarleysið. Á síðasta ári, í apríl 2024, skilaði ráðherraskipaður starfshópur skýrslu til umhverfis- orku- og loftslagsráðherra, undir nafninu „bætt orkunýtni og ný tækifæri til orkuöflunar“. Þar er m.a. fjallað um sjávarorku og komist að þeim niðurstöðum að:

- miklir og „nánast óendanlegir“ möguleikar á beislun sjávarorku séu til staðar við Ísland
- raunhæft sé að ætla að nýting sjávarorku verði að veruleika á næstu árum
- stefna ætti að því að árið 2040 verði árleg sjávarorkuframleiðsla orðin 200 GWst/ári
- eðlilegt sé að Ísland horfi til sjávarorku sem einnar af framtíðarlausnum í orkuöflun
- áður nefndri þingsályktun um sjávarorku frá 2014 hafi ekki verið framfylgt
- Valorka ehf þrói núna þriðju kynslóðar hverfla til hagkvæmrar nýtingar sjávarfallaorku
- mikilvægt sé að móta stefnu um virkjun sjávarfalla
- nauðsynlegt sé að styðja við nýsköpunarverkefni á sviði sjávarorku hérlendis

Ljóst er að framkvæmdavaldð hefur því algerlega brugðist í því að fara að vilja löggjafarvaldsins. Hinum skýru fyrmælum Alþingis hefur verið „stungið undir stól“. Ekki þó fyrir slysi eða gleymsku heldur af ásettu ráði, eins og sjá má af því að framkvæmdastjóri Valorku ehf hefur ítrekað minnt ráðherra á skyldur sínar í þessum efnum. Skýrslan á síðasta ári staðfestir aðgerðarleysið.

Ný ríkisstjórn tók við í byrjun þessa árs. Hún þarf strax að átta sig á stöðunni og hefja aðgerðir í þessum efnum án frekari tafa. Þjóðin vill nýta nýja orkukosti sem ekki spilla umhverfi og náttúru.

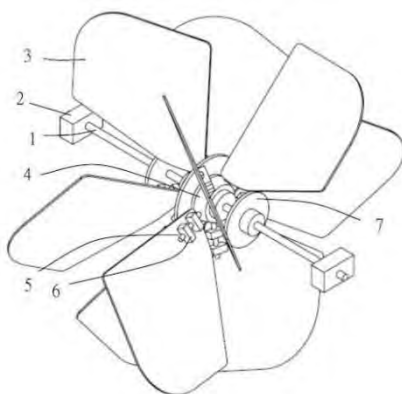
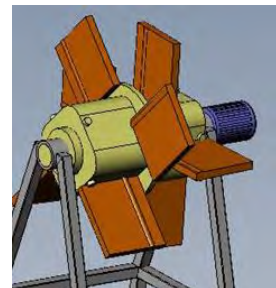
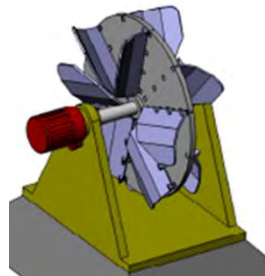
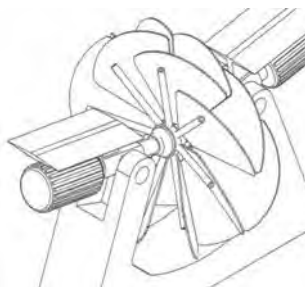
6. Starf Valorku ehf á sviði sjávarorku

6.1 Upphaf Valorku

Valorka ehf var stofnuð árið 2009, einkum til að þróa hverfla til nýtingar á sjávarfallaorku af þeim straumhraða sem víða má finna, bæði hér við land og um heim allan. Skýrsluhöfundur og stofnandi Valorku fékk snemma áhuga á lausnum til nýtingar þessara gríðarmiklu orkulinda. Má e.t.v. rekja það til þess reynslu af róðrum á smábátum í straumþungum röstum syðst á Vestfjörðum; og síðar sjómennsku á stærri bátum víða við landið. Þessa miklu orku hlyti að vera unnt að hagnýta. Eftir að hafa fylgst grannt með tækniþróun í þeim efnum í áratugi fóru að myndast hugmyndir um eigin hönnun, sem líklega væri hentugri til að „safna“ hinni dreifðu orku hægra strauma. Hugmyndirnar tóku á sig skýrari mynd með tímanum; sumum lausnum var ýtt til hliðar en haldið áfram að útfæra aðrar. Líkön voru smíðuð við eldhúsborðið og prófuð í lækjum. Það var svo árið 2008 að skýrsluhöfundur varð atvinnulaus, og ákvað þá að einbeita sér að þróuninni.

6.2 Íslensk hverflapróun; einása hverflar

Þróunarvinnan eflist við það að styrkur fengust úr þáverandi Orkusjóði, og síðar úr fleiri áttum. Frumkvöðullinn flutti til Keflavíkur, fékk þar verkstæðisaðstöðu og afnot buðust af straumkeri til prófana, sem þá var í Fjölbrautaskóla Suðurnesja en var síðar flutt til Grindavíkur. Bráðlega fékkst stærri verkefnisstyrkur frá Tækniþróunarsjóði sem nýttist vel þau fáu ár sem hans naut við. Margar gerðir þróuðust af hverflinum, sem í byrjun var einása, með ásinn þvert á straumstefnu og breytilegt áfallshorn blaða. Hér eru nokkur sýnishorn líkana og teikninga:

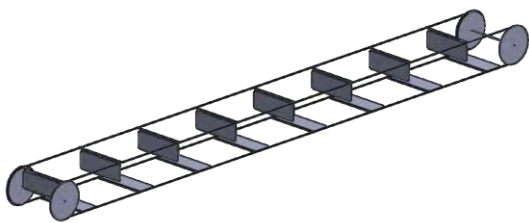


Af þessum einása hverfilgerðum náði þróunin lengst í þeirri sem hér er til vinstri, nefnd V-5. Þessi hverfill er mjög einfaldur að allri gerð. Straumur opnar blöðin í fremstu stöðu; ýtir þeim flötum aftar; skilast auðveldlega af og leggur þau með jaðar móti straumi á gagnstæðri hlið. Sótt var um einkaleyfi fyrir þessari gerð og reyndist hverfillinn algerlega einstakur. Þetta var fyrsta og eina einkaleyfið fyrir íslenskum hverfli. Hverfillinn var valinn besta uppfinning heims í flokki uppfinninga á sviði umhverfis og orku árið 2011, af IFIA; Alþjóðasamtökum hugvitsfélaga.

Árið 2013 var ráðist í smíði stærra líkans af þessum hverfli, og prófanir þess í sjó. Eftir nokkrar rannsóknir var Hornafjörður valinn sem ákjósanlegasti staðurinn til prófana. Hinum einstæðu aðstæðum þar er lýst nokkuð hér að framan. Þetta voru fyrstu sjóprófanir íslenskrar sjávarorkutækni og fyrsto íslenski hverfillinn sem prófaður hefur verið við raunverulegar aðstæður. Prófanirnar gengu vel, en ekki tókst að ljúka þeim, þar sem Tækniþróunarsjóður synjaði um frekari stuðning.

6.3. Tvíása hverflar Valorku

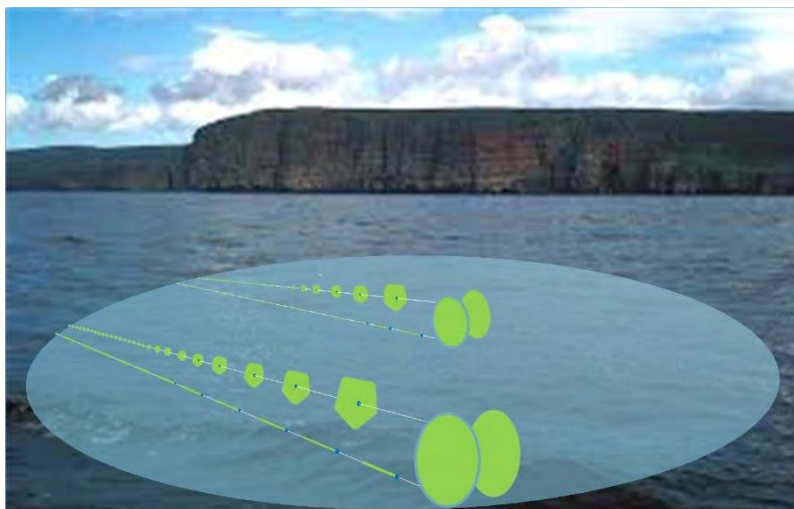
Verkefnið lá niðri um hríð þar sem ekki fékkst stuðningur. Hugmyndavinna hélt þó áfram, og leiddi til þróunar nýrra gerða, sem þó byggðu um sumt á hinum fyrri. Þrátt fyrir að einása hverflarnir hefðu sannað ágæti sitt þá var fyrir séð að tiltekin vandkvæði yrðu á notkun þeirra í fullri stærð. Þannig hagar yfirleitt til í annesjaröstum að þar er dýpi fremur lítið. Virkjanir þurfa að vera undir yfirborðsóróa en ofan straumleysis við botninn. En um leið þarf hverfillinn að hafa verulega stórt samanlagt flatarmál blaða. Til að ná þessum markmiðum var þróaður tvíása hverfill; nokkurs konar færiband með tveimur meginásam. Með honum má ná auknu flatarmáli blaða án þess að dýpt hverfilsins aukist verulega. Ýmsar úgáfur hverfilsins voru prófaðar í straumkeri, sem að sumu leyti byggðu á fyrri þróun. Á þessum tíma hrökk Tækniþróunarsjóður aftur í gang, um stundarsakir. Það gaf færi á að hefja smíði stórs líkans tvíása hverfilsins til prófana í sjó. En þá þraut TPS örendið aftur; hætti stuðningi við þróunarstarfið árið 2018, og hefur síðan synjað umsóknum um frekari stuðning.



Hverfillinn sem þróaður var á þessum tíma er tvíása með tveimur strengjum sem blöðin eru fest á. Blöðin eru flöt fyrir straumi á annarri hlið hverfilsins, en snúast jaðri í straum er þau ganga gegn honum á hinni hliðinni. Við breytta straumstefnu eru blöðin opin á gagnstæðri hlið, en snúningsátt breytist ekki.

Þróunarstarfið lagðist í nokkurn dvala eftir þetta, enda fengust ekki styrkir og breytingar urðu á persónulegum aðstæðum. Áfram hélt þó hugmyndavinna.

Í ársbyrjun 2025 var hafin vinna við nýja og einfaldari gerð tvíása hverfils. Þessi nýi hverfill er einungis með einum streng milli snúningsása, og er blöðunum raðað á hann. Möguleiki er á að þróa hann þannig að ásinn sé aðeins einn, en það kann að henta vissum aðstæðum. Prófað hefur verið 6 metra langt líkan, sem gefið hefur góða raun. Hverfillinn hefur mikla stækkunarmöguleika, og vegna einfaldleika síns verður hann ódýr; bæði í stofnkostnaði og öllum meðföllum. Þannig er líklegt að leggja megi allt að 1 km löngum hverfli með tiltölulega litlu skipi, undir 100 tonn, og lágmarksmannskap; þjónusta hann og endurheimta að fullu og öllu á einni dagstund. Hverfillinn má framleiða að öllu leyti úr náttúrulegum og endurvinnanlegum efnum og honum fylgja engin fyrir séð umhverfisspjöll.



Kjöraðstæður fyrir hverfillinn væri líklega straumasvæði þar sem straumur, um 0,8 – 2 m/sek hraður, liggur um tiltölulega sléttan botn á minnst 30-40 m dýpi, í beina stefnu á nokkurra km vegalengd.

6.5. Bætt úr vanþekkingu á sjávarorku

Þegar Valorka ehf hóf virkt þróunarstarf sinna hverfla árið 2009 varð fljótt ljóst að um leið þyrfti að byggja frá grunni allt umhverfi slíkrar þróunar; ætti hún að geta orðið hér að veruleika. Sjávarorku hafði sáralítill gaumur verið gefinn, að því fráskildu að hópur áhugamanna vildi kanna möguleika á virkjun Rastar í Hvammsfirði. Stjórnvöld, með Landsvirkjun í broddi fylkingar, höfðu minna en engan áhuga á sjávarorkunýtingu. Engin fræðsla um sjávarorku var heldur innbyggð í skólakerfið. Sama lexía var innrætt skólabörnum og verið hafði frá upphafi rafvæðningar; að nýtanlegar orkuauðlindir Íslands væru vatnsföll og jarðhiti; e.t.v. að viðbætti vindorku á síðari árum. Í takti við þá innrætingu var þekking almennings.

Það hefur því orðið hlutskipti höfundar þessarar samantektar, samhliða þróun nýrra hverfla, að kynna orkuauðlindir Íslands í formi sjávarorku og nýtingarmöguleika þeirra. Kynningin hefur farið fram með ýmsu móti. Fjöldi skýrslna hefur verið tekinn saman og sendur hinum ýmsu stjórnvöldum; alþingismönnum, ráðherrum, stofnunum og fleirum í stjórnkerfinu. Kynningarefni hefur einnig verið tekið saman og fyrirlestrar haldnir; í grunnskólum, framhaldsskólum og árlegir gestafyrirlestrar á auðlindasviði Háskóla Íslands. Einnig hafa ýmsir aðilar og félög óskað eftir kynningum og fyrirlestrum. Þá hefur fjöldi einstakra nemenda verið veitt aðstoð, sem hafa viljað bæta þekkingu sína á þessu sviði; t.d. með svörun fyrirspurna á rafrænu formi. Nokkrir háskólanemar hafa valið sér þætti í þróunarstarfi Valorku sem ritgerðarefni og fengið aðstoð við það. Ótalinn er sá fjöldi blaðagreina og fjölmiðlaviðtala sem skýrsluhöfundur hefur skrifað og komið að, til kynningar á sjávarfallaorku.

6.6. Þjóðin vill nýta sjávarorku; stjórnvöld skortir stefnu

Öllum er kunnug sú viðleitni íslenskra orkufyrirtækja að leggja ofuráherslu á þau virkjanaform sem þau sjálf nota og byggja afkomu sína á. Landsvirkjun er langstærsti orkuframleiðandinn hérlendis og hefur varið miklum fjárhæðum í jákvæða kynningu á sínum orkuframleiðsluaðferðum; einkum vatnsfallavirkjunum en á síðari árum vindorku, eftir að fyrirtækið tók ákvörðun um stórvirkjanir á því sviði. Orkufyrirtækin hafa mikil ítök í stjórnkerfinu og í raun hafa opinberar stofnanir verið þjónustustornanir í þágu þeirra; og á það einnig við um ráðuneyti orkumála. Þessi „öfuga stjórnsýsla“ er líklega helsta skýringin á tregðu íslenskra stjórnvalda til að móta stefnu á sviði sjávarorku, þrátt fyrir að hún sé augljóslega langstærsta orkuauðlindin hérlendis. Þetta er einnig ástæða fyrir ýmsum erfiðleikum og skilningsleysi sem Valorka ehf hefur mætt í þróunarstarfi sínu. Ekki aðeins í samskiptum sínum við stjórnvöld, heldur einnig hjá ýmsum fagstéttum sem eru háðar stóru orkufyrirtækjunum á einn eða annan hátt.

Til þessa viðhorfs stjórnvalda og fagstétta má vafalaust rekja fordóma í sjóðakerfinu; t.d. síendurtekna synjanir Tækniþróunarsjóðs án rösktuðnings, sem staðið hafa þróunarstarfinu fyrir þrifum í áraraðir. Þannig synjaði Tækniþróunarsjóður síðustu umsókn á þeim forsendum að „markaðskannanir skorti“, þó vitað sé að enginn markaður hefur enn myndast fyrir þessa tækni sem enn er ekki komin í fjöldaframleiðslu og sölu.

En annað viðhorf er hjá þjóðinn sjálfri. Í skoðanakönnun sem Maskína gerði árið 2022 voru landsmenn spurðir hvaða orkukost þeir myndu helst vilja sjá nýttan til að mæta aukinni orkuveftirspurn á næstu árum. Niðurstaðan varð sú að um 71% vildu að það yrði sjávarfallaorka, en mun færri vildu frekari vatnsfallaorku. Aðeins 59% vildu vindorku; þrátt fyrir gríðarlegan áróður fyrir henni, bæði frá hagsmunaaðilum og stjórnvöldum.

Þessi niðurstaða er vissulega ánægjuleg, en einnig athyglisverð í ljósi þess að skýrsluhöfundur hefur nánast verið einn um kynningar á sjávarfallaorku hérlendis, eins og áður segir. En hver er ástæða þess að alþingismenn og ráðherrar hlusta ekki á vilja þjóðarinnar og sniðganga stærstu auðlind hennar?

Samantekt

Við Íslendingar stöndum núna frammi fyrir einstöku tækifæri. Ekki einungis til stóraukinnar umhverfissvænnar orkuvinnslu; heldur einnig til forystu í tækniþróun á því sviði.

Straumhraði undir 2,5 m/sek er langsamlega algengastur á landgrunni. Þó hefur furðu lítil þróun átt sér stað til nýtingar hans. Skýrist það líklega af því að straumurinn er mun orkurýrari en hraðstraumur, og aðrar aðferðir þarf til „söfnunar“ slíkrar orku. Sú aðferð sem lengst er komin á heimsvísu er íslensk; þróuð af Valorku ehf. Sú gerð sem nú er í þróun er tvíása hverfill með einum streng sem blöðum er fest á. Hverfillinn er mjög einfaldur að gerð og í notkun, og hefur því mikla markaðsmöguleika. Með honum gætu Íslendingar tekið forystu í hægstraumanýtingu sjávarfalla.

Sjávarfallaorka er mjög umfangsmikil en vannýtt endurnýjanleg orkuauðlind á heimsvísu. Hún hefur þá sérstöðu að fylgja reglulegri göngu tungls og er því útreiknanleg um langa framtíð; ólíkt veðurfarsháðum orkulindum eins og vindorku, sólarorku og vatnsfallaorku.

Umfang nýtanlegrar sjávarfallaorku er háð tæknilegri getu á hverjum tíma. Tækniþróun hefur fleytt fram af sívaxandi þunga í seinni tíð; studd af stefnumótun framsýnna ríkisstjórna sem flestar átta sig á mikilvægi hennar. Nokkrir stórir sjávarfallahverflar eru þegar farnir að skila sjávarfallaorku inn á neyslunet í tilraunaskyni, og þó enginn þeirra sé enn kominn á stig fjöldaframleiðslu stýttist óðum í það. Nærtækasta dæmið eru hverflar Minesto, sem nú skila síaukinni orku til færeyskra heimila.

Nær allir þeir sjávarfallahverflar sem komnir eru lengst í þróun eru skrúfuhverflar, sem líkjast í útliti vindmyllum á landi og henta ágætlega til orkuvinnslu úr mjög hröðum straumi. Þar er orkubéttni mest, enda eykst orka straumsins í þriðja veldi við aukningu straumhraða. Þeir hafa hinsvegar ekki getu til orkuvinnslu hægra strauma, sem eru langtum algengari m.a. hér við land. Raforkuframleiðsla sjávarfalla með stífluvirkjunum er mjög ágeng við umhverfi. Hún fellur því að mestu utan þessarar samantektar og kemur vart til álita hérlendis.

Það sem einkum hefur staðið í vegi þróunar er annars vegar starfsumhverfið, en meðferð tækja neðansjávar er allajafna vandasamari en þeirra sem eru ofansjávar. Tæknilausnir hafa þar þróast. Hitt atriðið eru sveiflur í orkuframleiðslu vegna eðlis sjávarfalla. Einnig þar eru nú í boði ýmsar lausnir, enda eru sveiflur sjávarfalla fyrirsjáanlegri og viðráðanlegri en sveiflur í vindorkuframleiðslu. Víða um heim eru komin af stað stórverkefni til nýtingar á sjávarfallaorku, og gert er ráð fyrir verulegri nýtingu innan fárra ára t.d. í Bretlandi. Langflest heimsríki sem búa að nýtanlegri sjávarfallaorku hafa mótað sér stefnu á þessu sviði, að frátöldu Íslandi.

En íslensk stjórnvöld hafa algerlega sofið á verðinum gagnvart möguleikum til nýtingar sjávarfallaorku. Engin stefna hefur verið mótuð, hvorki um rannsóknir né þróun. Þróunarstarf Valorku hefur ekki notið skilnings; hvorki hjá stjórnvöldum né stuðningsumhverfi nýsköpunar. Tækniþróunarsjóður veitti byrjunarstuðning, en hætti honum án skýringa þegar verkefnið var komið á góðan rexpöl.

Kynning og hvatning skýrsluhöfundar varð til þess að árið 2014 samþykkti Alþingi samhljóða þingsályktun um „rannsóknir á umfangi og nýtingarmöguleikum sjávarorku“. Framkvæmdavaldið fór þó ekki að þeim samþykktum löggjafarvaldsins, og engin atriði þeirra hafa komið til framkvæmda.

Engin von er til þess að þjóðin fái notið sinna miklu auðlinda sjávarfallaorku fyrr en kjörnir fulltrúar fara að hinum skýra vilja meira en 70% þjóðarinnar sem staðfestur hefur verið; og sjái til þess að hérlendis verði án tafar mótuð skýr stefna um rannsóknir og nýtingu sjávarfallaorku, og stutt við íslenska tækniþróun á þessu sviði.

