

Apríl 2023



Vindorka á hafi

Skýrsla starfshóps



Stjórnarráð Íslands

Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið

Vindorka á hafi Skýrsla starfshóps

Útgefandi:

Umhverfis-, orku og loftslagsráðuneytið
Skuggasundi 1 – 101 Reykjavík
545 8600 – urn@urn.is

Umbrot og textavinnsla:

Umhverfis-, orku og loftslagsráðuneytið

Apríl 2023 | ISBN 978-9935-9705-8-9

©2023 Umhverfis-, orku og loftslagsráðuneytið

stjornarradid.is

Efnisyfirlit

Útdráttur	11
1. Tillögur	14
2. Inngangur	15
2.1 Starfshópur um vindorku á hafi	15
2.2 Samráð og upplýsingaöflun	16
2.3 Aðrir skýrsluhöfundar en fulltrúar starfshópsins	16
3. Regluverk og stefnur	18
3.1 Samantekt um regluverk og stefnur	18
3.2 Hugtök	18
3.3 Afmörkun og eðli hafsvæða	20
3.4 Réttarstaða ríkja innan efnahagslögsögu (utan landhelgi)	21
3.5 Lög og reglur á hafrými umhverfis Ísland	22
3.6 Stefna Íslands í málefnum hafsins	25
3.7 Stefnur og verkefni annarra ríkja	25
3.7.1 Danmörk	25
3.7.2 Skýrsla DNV um fljótandi vindorkugarða í heiminum	29
3.7.3 Umfjöllun um fljótandi vindorku á Artic Circle	30
3.7.4 European Commision, Brussels 19.11.2020	32
3.7.5 ROK Energy	32
4. Jarðfræði hafsbotns og jarðvá	33
4.1 Samantekt um jarðfræði hafsbotns og jarðvá	34
4.2 Sjávardýpi	35
4.3 Botngerð	40
4.4 Setþykkt	42
4.5 Strandgerð og strandhegðun	46
4.6 Landmótun	48
4.7 Jarðvá	49
4.7.1 Eldvirkni	50
4.7.2 Jarðskjálftar	52
4.7.3 Skriður	54
4.8 Auðlindir	57

5. Starfsemi á hafi	60
5.1 Samantekt um starfsemi á hafi	60
5.2 Fiskveiðar	60
5.3 Sjókvíaeldi og skelfiskrækt í sjó	63
5.4 Siglingaleiðir	64
5.5 Sæstrengir í sjó	65
5.6 Flug	67
6. Veðurfar, öldur og hafís	68
6.1 Samantekt um veðurfar, öldur og hafís	68
6.2 Vindur	69
6.3 Öldur	73
6.4 Hafís	76
7. Lífríki	82
7.1 Samantekt um lífríki	82
7.2 Áhrif vindmylla á lífríki	82
7.3 Vernduð svæði á hafi og alþjóðlegar skuldbindingar Íslands í náttúruvernd	84
7.4 Staða þekkingar	86
7.4.1 Fuglar	86
7.4.2 Sjávarspendýr	88
7.4.3 Viðkvæm botnsvæði	90
7.4.4 Útbreiðsla fiskistofna og annarra nytjastofna sjávar	90
7.5 Samlegðaráhrif og aðlögunaraðgerðir fyrir lífríki vegna vindmylla á hafi	93
7.5.1 Niðurstöður	93
7.5.2 Næstu skref	93
8. Vindorkuframleiðsla og hagkvæmni	94
8.1 Vindorka á hafi sem valkostur fyrir orkuskipti og kolefnishlutleysi	94
8.2 Valkostir við orkuöflun vindorku á hafi við Ísland	95
8.3 Framlag orkuöflunar á hafi við Ísland	95
8.3.1 Hagkvæmni valkosta	96
9. Heimildir og tilvísanir	98
10. Viðaukar	107
10.1 Reglugerðir ákvarðaðar af Matvælaráðuneytinu sem skilgreina bannsvæði og tímabil þar sem fiskveiðar eru bannaðar með ákveðnum veiðarfærum	107

10.2 Vegagerðin Minnisblað Vindorka á hafi	107
10.3 Energinet	107
10.4 Port Esbjerg	107
10.5 RWE	107
10.6 Viden om Vind	107
10.7 Floating offshore Wind: The next five years	107
10.8 Potential for ocean energy (Færeyjar – Artic Circle 2022_V3)	107
10.9 Offshore Wind, Accomodating Biodiversity and Stakeholders (Arctic Summit Assembly Rusten)	107
10.10 ROK Energy	107

Myndaskrá

Mynd 1. Grunnlína, landhelgi, aðlægt belti og efnahagslögsaga Íslands. _____	19
Mynd 2. Vindorkugarðar á hafi í rekstri í Danmörku ásamt áformum um nýja garða (Viðauki 10.3). _____	26
Mynd 3. Íhlutir í turna vindmylla á hafnarbakkanum í Esbjerg (Viðauki 10.4). _____	27
Mynd 4. Vindmylluspaðar á hafnarbakkanum í Esbjerg (Viðauki 10.4). _____	27
Mynd 5. Prammi með hluta af vindmylluturnum í höfninni í Esbjerg (Viðauki 10.4). _____	28
Mynd 6. Omø Syd vindorkugarður fyrir sunnan Stórabeltið (Viðauki 10.6). _____	29
Mynd 7. Fyrirhugaður vindorkugarður fyrir utan Nólsoy í Færeyjum (Viðauki 10.8). _____	31
Mynd 8. Staða vindorku á hafi og áætlanir um uppbygginu í NV Evrópu (Viðauki 10.9). _____	32
Mynd 9. Yfirlitsmynd sem sýnir útfærslur á mismunandi tegundum af botnföstum og fljótandi (þrjár lengst til hægri) vindmyllum ([23] Powerfact Book - Wind Power Summary). _____	33
Mynd 10. Dýptarkort af landgrunni Íslands. Svæði sem koma til greina fyrir vindmyllugarða í sjó eru flokkuð í fjögur dýptarbil (sjá skýringar). Auk þess er 50 km viðmiðunarlína frá strönd, sett inn á kortið til sýna þau svæði þar sem vindmyllur myndu mögulega sjást frá landi. _____	36
Mynd 11. Hafdýpi umhverfis Ísland. ([29] NAGTEC gagnagrunnur). _____	37
Mynd 12. Sjávardýpi og helstu örnefni á landgrunni Íslands. _____	37
Mynd 13. Yfirlitskort sem sýnir þau svæði sem fjölgeisladýptarmælingar hafa átt sér stað innan efnahagslögsögu Íslands [27]. _____	39
Mynd 14. Botngerðarkort (botngerð skipt í sjö flokka) af hafsvæðunum umhverfis Ísland. Kortið er hluti af 1:2.000.000 botngerðarkorti EMODnet [26, 27 og 32]. _____	41
Mynd 15. Staðsetning á botnsýnum, borholum og kjörnum til greininga á botngerð [27 og 33]. _____	42
Mynd 16. B Setþykktarkort frá NAGTEC verkefninu. Kortið sýnir almennt litla setþykkt á meginhluta landgrunns, eða minna en 100 m [29]. _____	43
Mynd 17. Myndræn útskýring á tvívíðum hljóðendurvarpsmælingum [37]. _____	44
Mynd 18. Kortið sýnir staðsetningar á mismunandi gerðum hljóðendurvarpsmælinga á hafsbotninum umhverfis landið [27]. _____	45

- Mynd 19.** Dæmi um SBP (sub-bottom profiler) jarðlagasnið sem mælt var af Hafrannsóknastofnun, suðaustur af Vestmannaeyjum (Mynd 18). Á miðju jarðlagasniðinu má sjá tvo hóla sem grafnir eru að hluta í set, austur af þeim er setþykktin um 10-30 m og sést vel í berggrunninn sem liggur þar undir. Fyrir vestan hólana er setþykktin meiri en 60 m en þar ná mælingarnar ekki niður í berggrunninn til að mæla heildar setþykkt á svæðinu. _____ 45
- Mynd 20.** Strandgerðarkort af Reykjaneskaga unnið eftir flokkun og skilgreiningu EMODnet verkefnissins [26 og 32]. _____ 46
- Mynd 21.** Kortið sýnir strandhegðun svæða á síðustu áratugum. Bæði þar sem rof strandar hefur átt sér stað og þar sem strönd hefur gengið fram vegna setmyndunar [26 og 32]. _____ 47
- Mynd 22.** Samanburður á niðurstöðum dýptarmælinga við Landeyjarhöfn (júlí 2004 og maí 2006) sem sýna skýrt hve miklar hreyfingar eru á seti á svæðinu (Mannvit, Vatnaskil og LVRS Consultancy (2020), (byggt á gögnum frá DHIGroup) [40]. _____ 48
- Mynd 23.** Landmótunarkort sem unnið hefur verið sem hluti af EMODnet-verkefninu [26, 27 og 32]. _____ 49
- Mynd 24.** Jarðvákort af landgrunni Íslands [24, 25 og 30]. _____ 50
- Mynd 25.** Jarðfræðikort af Reykjanesi ásamt eldvörpum, hraunjöðrum og höggun úti fyrir ströndinni. Grænar línur sýna gamla hraunjaðra. Rauða línur sýna jaðar Eldvarparhrauns. Rauðar stjörnur eru söguleg neðansjávargos. Frekari kortaskýringar sjá www.jardfraedikort.is [27]. _____ 51
- Mynd 26.** Kortið sýnir hringi utan um eldstöðvar þar sem gjóskufall getur orðið 20 cm eða meira í miklum sprengigosum. Særð hvers hrings ákvarðast af mestu fjarlægð til 20 cm jafnþykktarlínu fyrir stærstu þekkt gos í hverri eldstöð á sögulegum og forsögulegum tíma ([43] Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2008). _____ 52
- Mynd 27.** Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu jarðskjálfta stærri en 4 M, yfir 119 ára tímabil (1900-2019) ([44] Kristján Jónasson o.fl., 2021). _____ 53
- Mynd 28.** Jarðskjálftavirkni á Tjörnesbrotbeltinu yfir 119 ára tímabil (1900-2019). Aðeins eru sýndir skjálftar stærri en 4 M ([44] Kristján Jónasson o.fl., 2021). Á Tjörnesbrotbeltinu eru víða ummerki unglegrar eldvirkni og jarðskorpuhreyfinga, svo sem móbergshryggir, misgengi og sprungur með norður-suður stefnu sem teygja sig langt norður á landgrunnið ([45] Sigríður Magnúsdóttir o.fl. 2015; [32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson, 2018). _____ 54
- Mynd 29.** Skriðufar eftir stóra skriðu sem liggur við landgrunnsbrúnina undan Selvogsbanka, suðvestur af Vestmannaeyjum. Skriðufarið er um 5 km á breidd og yfir 15 km á lengd ([46 og 47] Ögmundur Erlendsson og fl., 2023). _____ 55

Mynd 30. Kortið sýnir kortlagðar skriður á Austfjörðum. Firðirnir eiga það sameiginlegt að þar má sjá greinileg ummerki um neðansjávarskriður og skriður sem fallið hafa af landi og teygt sig langt út í sjó ([46 og 47] Ögmundur Erlendsson og fl., 2023).	56
Mynd 31. Túlkun fjölgeisladýptarmælingum LHG af Seyðisfirði. Horft inn eftir firðinum þar sem sjá má ummerki um fjölda skriðna sem afmarkaðar eru með hvítum punktalínunum. Sethjallar eru áberandi, brúnir þeirra eru afmarkaðar með rauðri punktalínu. Svartar örvar sýna farvegi í hlíðum sethjallanna norðanvert í firðinum ([48] Ögmundur Erlendsson og fl., 2022).	57
Mynd 32. Kortlagðar auðlindir á hafsbotni [26 og 27].	58
Mynd 33. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á hafssvæðunum umhverfis landið. Fyrir hvert veiðarfæri sýnir kortið vísitölu á sókn hvers veiðarfæris, blár litur þýða litla sókn en þar sem svæðin verða gul og jafnvel rauð þeim mun meiri sókn á hverju svæði ([53] og [54]).	61
Mynd 34. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á suðvesturhluta landgrunnsins ([53] og [54]).	61
Mynd 35. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á norðvesturhluta landgrunnsins ([53] og [54]).	62
Mynd 36. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á norðausturhluta landgrunnsins ([53] og [54]).	62
Mynd 37. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á suðausturhluta landgrunnsins ([53] og [54]).	63
Mynd 38. Kortið sýnir þau svæði þar sem sjókvíareldi og skelfiskrækt er stunduð auk þessa svæða sem eru í umsöknaferli fyrir slíka starfsemi (Upplýsingar af kortasjá MAST) [55].	64
Mynd 39. Kortið sýnir skipaferla allra skipa á hafssvæðunum umhverfis landið. Þar sést skýrt hvar ferlar skipa í millilandasiglingum liggja og hvar helstu siglingaferlar umhverfis landið liggja. Gögnin eru fengin frá Norsku strandsvæðastjórnuninni ([56] Kystverket).	65
Mynd 40. Sæstrengir sem lagðir hafa verið á hafsbotninn umhverfis landið og á hafssvæðunum innan efnahagslögsöguna ([57] og [58] FARICE, Míla og Landsnet).	66
Mynd 41. Meðalvindhraði (m/s) (myndin til vinstri) og -vindaflspéttleiki (W/m ²) (myndin til hægri), í 10 m hæð yfir sjávarmáli byggt á Envisat ASAR (e. Advanced SAR) vindagögnum fyrir tímabilið 2005-2012 og klukkustundargildin 11-13 og 20-00. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015).	70
Mynd 42. Meðalvindhraði (m/s) (myndin til vinstri) og -vindaflspéttleiki (W/m ²) (myndin til hægri), í 10 m hæð yfir sjávarmáli byggt á HARMONIE-AROME endurgreiningagögnum fyrir tímabilið 2010-2012 og öll klukkustundargildi. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015).	71

- Mynd 43.** Árlegt meðaltal fyrir vindaflspéttleika (W/m^2) í 50 m hæð yfir yfirborði byggt á leiðréttu WRF reiknilíkaninu (mynd til vinstri) og NORA10 endurgreiningargögnunum (mynd til hægri). ([64] Mynd úr Nawri o.fl. 2013). _____ 72
- Mynd 44.** Öldur á heimshöfunum, ölduhæð með 100 ára endurkomutíma. _____ 73
- Mynd 45.** Öldumældufl við Íslandsstrendur og dæmi um birtingu mælinga fyrir Garðskagadufl. ____ 74
- Mynd 46.** Úrvinnsla ölduspágagna fyrir hafsvæði umhverfis Ísland fyrir tímabilið 1958-2012, 100 ára kennialda. Byggt á ölduspágögnum frá ECMWF með 0,5°upplausn á 6 klst. fresti. _____ 75
- Mynd 47.** Öldukort fyrir utanvert Reykjanes, 100 ára alda (1990-2021) [72]. _____ 76
- Mynd 48.** Meginhafstraumar í yfirborðslögum umhverfis Ísland og lögun hafsbotsins. Sýndar eru þær stöðvar þar sem reglubundnar mælingar sjórannsóknna eru gerðar ásamt nöfnum sniðanna. Rauðar örvar tákna heitan og saltan Atlantssjó, bláleitar örvar seltuminni og kaldari pólsjó eða svalsjó. Tekið úr ([84] Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir 2021 mynd 2.1.1.) _____ 77
- Mynd 49.** Hafís í nágrenni Íslands 1960-1968, frá janúar til júní (mynd til vinstri) og júlí til desember (mynd til hægri). Sjá nánar, ([85] Trausti Jónsson 2016). Athygli er vakin á því að kortin sýna oftast hámarksútbreiðslu mánaðarins fremur en dæmigerða útbreiðslu og enginn munur er gerður á þéttum og gísnum ís. _____ 78
- Mynd 50.** Útbreiðsla hafíss (millj. km^2) frá 1979 til 2017. Árstíðasveiflan fyrstu árin er sýnd með blálituðum línunum en síðustu árin eru brúnlituð. Árin 2012, 2016 og 2017 eru merkt sérstaklega. Litla myndin sýnir þróun árslágmarksins og bláa línan sýnir útjafnaðan feril. Úr skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar ([80] Halldór Björnsson o.fl., 2018, mynd 4.28). _____ 79
- Mynd 51.** Þróun hafísbreiðunnar á Grænlandssundi í apríl frá 1870-2002, meðaltals staðsetning yfir 40 ára tímabil (punktalínur) fyrir þéttan ís (unnið úr upplýsingum frá National Snow and ice Data Center ([] <https://nsidc.org/home>)). Hafísútbreiðslan 23. janúar 2023 (litakóðað) er jafnframt sýnt ([74] <https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts>). _____ 80
- Mynd 52.** Söguleg gögn um hafís á norðurslóðum. Til vinstri sést frávik í mánaðarmeðal útbreiðslu hafíss (milljón km^2) fyrir tímabilið 1979-2019 borið saman við 1979-2008. Til hægri sést hafíspéttleiki á norðurslóðum (%) fyrir mars (þegar hafís er í hámarki) og september (þegar hafís er í lágmarki); Fyrsti dálkur sýnir meðaltalsgildi gervihnattamælinga fyrir tímabilið 1979-1988; Dálkur tvö sýnir meðaltalsgildi gervihnattamælinga fyrir tímabilið 2010-2019; Dálkur þrjú sýnir tölulegan mismun þessara tveggja áratuga (þ.e. (2010-2019) - (1979-1988)); Dálkur fjögur sýnir fjölda reiknilíkana sem sýna

- yfir 15% hafísþéttleika miðað við SSP2-4.5 sviðsmynd fyrir tímabilið 2045-2054. Nánari útskýringar á aðferðarfræði og tilvitnanir er að finna í skýrslu IPCC 2021 kafla 9 og töflu 9.SM.9. Úr skýrslu IPCC (2021) mynd 9.13. Texti á mynd er ekki þýðing gerð af IPCC, heldur er þýðingin gerð af Skrifstofu Loftslagsþjónustu og Aðlögunar. Haft var að leiðarljósi að textinn endurspeglaði sem skýrast upprunalega textann sem birtist í skýrslu IPCC. Þar sem IPCC er hluti af Sameinuðu Þjóðunum (Sp) eru skýrslur IPCC birtar á sex opinberum tungumálum Sp (arabísku, kínversku, ensku, frönsku og rússnesku) og má nálgast þær til niðurlagningar á www.ipcc.ch. Fyrir nánari upplýsingar er bent á að hafa samband við IPCC Secretariat (Heimilisfang: 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, 1211 Geneva 2, Switzerland; e-mail: ipcc-sec@wmo.int). _____ 81
- Mynd 53.** Friðlýst svæði, hrygningasvæði, mikilvæg fuglasvæði og virkar reglugerðir um bann, takmarkanir eða aðra stjórnun á veiðum ásamt drögum um reglugerð vegna viðkvæmra hafsvæða og botnvistkerfa. _____ 85
- Mynd 54.** Dreifing mismunandi hvalategunda í talningarleiðöngurum árið 2016 í mið Norður-Atlantshafi. Stærð hringja táknar fjölda hvala eins og sýnt er á hverri mynd og hvalategundirnar eru: BP-langreyður; BA-hrefna; MN-hnúfubakur; BM-steypireyður; BB-sandreyður; PM-búrhvalur; GM-grindhvalur; HA-andarnefja; LL-hnýðingur; LC-leiftur; L?-ógreindur höfrungur; DD-léttir; OO-háhyrningur; TT-stökkull; PP-hnýsa ([107] Pike ofl. 2019). _____ 89
- Mynd 55.** Skematískar myndir af hrygningarstöðvum (a) þorsks sýnd sem stöðvar (hvítir punktar) í netaralli Hafrannsóknastofnunar á mismunandi svæðum ([112] Valur Bogason ofl. 2022), og (b) íslenskrar sumargotssíldar sem rauðir blettir ([101] Jakob Jakobsson ofl. 1993). _____ 91
- Mynd 56.** Dreifing veiða eftir mismunandi veiðarfærum kringum Ísland samkvæmt afladagbókum yfir árin 2018-2021 ([99] mynd frá ICES 2022a). _____ 92
- Mynd 57.** Tímalína fyrir þróun vindorkuverkefna á hafi ([119] Offshore renewable energy industry outlook). _____ 94
- Mynd 58.** Vindmyllur sem áform eru um að setja upp fyrir utan strendur Japan verða hærri en 250 m og munu spaðarnir snúast í fleti sem er meira en 200 m í þvermál. ([118] TDK Global). _____ 96

Útdráttur

Framlag vindorku á hafi til raforkuframleiðslu við Íslandsstrendur er háð ýmsum óvissuþáttum er lúta að tækni, hagkvæmni, umgjörð laga, áhrifum á náttúru (dýralíf, gróður og vistkerfi), áhrifum á fiskveiðar og ógnum er stafa af náttúruvá.

Ekki er hægt að reikna með raforkuframleiðslu vindorkugarða á hafi vegna orkuskipta og markmiða um kolefnishlutleysi fyrr en í fyrsta lagi á bilinu 2031 til 2035.

Áætlað framlag vegna vindorkugarðs á hafi er á bilinu 1 til 2 TWst á ári fyrir hverja 100 til 200 ferkílómetra af haffleti, eða sem nemur 10 til 20 TWst á ári fyrir hverja 1000 til 2000 ferkílómetra. Til samanburðar er áætluð orkuþörf vegna orkuskipta og kolefnishlutleysis fyrir árið 2040 á bilinu 15 til 24 TWst á ári.

Þrátt fyrir allar þær takmarkanir og fyrirvara sem koma fram í þessari skýrslu er ekki óvarlegt að áætla að hægt verði að finna um 500 til 2.000 ferkílómetra af haffleti fyrir botnfastar vindmyllur (innan þeirra 41.400 ferkílómetra þar sem dýpi er 0-100 metrar), þar sem rannsóknir munu sýna að fórnarkostnaður verði ásættanlegur gagnvart því lögbundna markmiði Íslands að verða kolefnishlutlaust og óháð jarðefnaeldsneyti árið 2040.

Botnfastar vindmyllur gætu orðið raunhæfur valkostur út frá hagkvæmnisjónarmiðum fyrir atvinnulíf og almenning í samanburði við valkosti vegna orkuöflunar á landi eftir árið 2030. Í dag er staðan sú að vindorka sem framleidd er á hafi er umtalsvert dýrari en valkostir á landi.

Fljótandi vindmyllur eru í dag ekki raunhæfur valkostur út frá hagkvæmnisjónarmiðum fyrir almenning og atvinnulíf á Íslandi.

Botnfastar vindmyllur í dag eru almennt á dýpi sem er minna en 100 metrar en miðað við fjórsjáanlega þróun er ekki óvarlegt að áætla að viðmiðunardýpi slíkra mannvirkja verði allt að 100 metrar.

Heildar hafflötur við Íslandsstrendur þar sem botnfastar vindmyllur geta verið á er um 18.100 ferkílómetrar ef miðað er við 0-50 metra dýpi. En ef miðað er við 0-100 metra dýpi verður hafflöturinn um 41.400 ferkílómetrar. Til samanburðar má nefna að umrætt svæði er um 5,7% efnahagslögsögunnar (762.000 ferkílómetrar) eða um 40,2% af stærð Íslands (103.000 ferkílómetrar).

Ef tekið er mið af veðurfari og ölduhæð samkvæmt öldukortum og annarri náttúruvá er líklegt að fýsilegustu svæði til hagnýtingar vegna vindorkugarða á hafi sé að finna á svæði fyrir austan land frá Stokksnesgrunni að Húnaflóa fyrir norðan land og á svæði fyrir vestan land frá Eldeyjarbanka að Breiðafirði.

Allir valkostir við orkuöflun á hafi hafa í för með sér fórnarkostnað gagnvart dýralífi, gróðri, vistkerfum, sýnileika, skipaleiðum og nýtingu fiskistofna við Ísland. Frekari rannsóknir til viðbótar við núverandi þekkingu munu hjálpa okkur að forgangsraða svæðum til uppbyggingar vindorkugarða á hafi og lágmarka slíkan fórnarkostnað.

Umhverfisáhrif vindorkugarða á hafi eru ekki þau sömu í byggingarfasa og í nýtingarfasa. Mikilvægt er að vanda til rannsókna áður en lokaákvörðun er tekin um hvort leyfa skuli byggingu og rekstur slíkra mannvirkja á hafi. Ýmsar mótvægis aðgerðir eru þekktar úr erlendum verkefnum sem nauðsynlegt er að kortleggja í aðdraganda slíkrar uppbyggingar.

Staða þekkingar varðandi dýralíf, gróður, vistkerfi og náttúruvá er almennt mjög góð og aðgengileg. Hins vegar er hún ekki fullnægjandi ef horft er til skammtíma framkvæmda og langtíma nýtingar vindorkugarða á afmörkuðum svæðum. Í þessari skýrslu er að finna yfirlit yfir helstu rannsóknir sem eru aðgengilegar og upplýsingar um hvar þekkingu skortir.

Veiðisvæði nytjategunda gefa góða mynd af dreifingu stofna. Upplýsingar um veiðisvæði eru aðgengilegar í Hafsjá. Einnig er þekking almennt góð á hrygningarsvæðum nytjategunda þó svo að hún hafi ekki verið kortlögð kerfisbundið. Nauðsynlegt er að rannsóknir nái til ólíkra búsvæða fyrir hrygningu, ungvíði og fullorðna fiska nytjastofna.

Vindorkugarðar á hafi munu skarast á við útbreiðslu sjávarspendýra. Staðbundnar rannsóknir þarf til að kanna útbreiðslu þeirra á viðkomandi svæðum sem koma til greina til uppbyggingar og reksturs orkumannvirkja á hafi.

Staðsetning friðlýstra svæða, mikilvægra fuglasvæða og svæði þar sem virkar reglugerðir gilda um verndun eða veiði eru skilgreind og þekkt. Þegar kemur að staðarvali fyrir hugsanlega vindorkugarða á hafi þarf að taka tillit til slíkra svæða og líta til ríkra rannsóknarhagsmuna ef staðarval skarast við slík svæði.

Áhrif af völdum vindorkugarða á hafi á lífríki geta bæði verið bein, s.s. breytingar á farleiðum fugla og spendýra en einnig geta vindorkugarðarnir haft áhrif á botnngerð, sjólag og rafsegulsvið. Þau geta líka valdið hindrunum og haft óbein áhrif innan vistkerfis.

Rannsóknir á veðurfari og náttúruvá gera okkur kleift að útiloka tiltekin svæði sem eru ekki fýsileg fyrir vindorkugarða á hafi. Sem dæmi um slíkar áhættur má nefna eldvirkni, öskufall af völdum eldgosa, skriður, jarðskjálfta, ölduhæð, hafís og fleira.

Einungis ein rannsókn, frá 2015, liggur fyrir um á vindorkugetu úti fyrir ströndum Íslands. Rannsóknin gefur til kynna að vindaflspéttni og meðal vindhraði við Ísland sé ásættanlegur m.t.t. nýtingarhlutfalls og hagkvæmni vindmylla á hafi. Nánari þörf er á slíkum rannsóknum, m.a. með fjölgun ölduduflla og vindmælingum á öldudufllum en einnig þarf að bæta kvörðun gervihnattamælinga við reiknilíkön.

Jarðfræði hafsbotns og botnngerð hefur áhrif á mat og val fyrir staðsetningu botnfastra og fljótandi vindmylla. Þekking á jarðfræði hafsbotnsins mun hafa bein áhrif á tímabundin umhverfisáhrif á framkvæmdatíma, efnisval, hagkvæmni og langtíma áhrif á rekstartíma vindorkugarða á hafi. Helst ber að varast staðsetningar á vindmyllum þar sem eru brattar hlíðar, ummerki eru um neðansjávarskriður, í farvegum gruggstrauma og þar sem eru sigdalir eða sæfjöll.

Auk ofangreindra atriða er ljóst að góð hafnaraðstaða spilar einnig lykilhlutverk við val á staðsetningu á vindorkugörðum á hafi og skilyrði til þess að leggja sæstreng að vindorkugörðunum skiptir líka máli. Bæði hvað varðar aðstöðu í landi og botngerð sjávar á lagnaleið.

Starfsemi á hafi lýtur í mörgum tilvikum öðrum lagalegum viðmiðum og sjónarmiðum heldur en á landi. Almenn viðmið er að því lengra sem dregur frá landi því meira dregur úr heimildum strandríkja til stjórnunar eða takmörkunar á starfsemi.

Lög strandríkja gilda almennt ekki um efnahagslögsöguna nema þess sé sérstaklega getið í lögnum.

Íslensk lög tryggja lögsögu varðandi byggingu og afnot mannvirkja innan efnahagslögsögu Íslands. Einnig gilda raforkulög um vinnslu, flutning, dreifingu og viðskipti með raforku innan efnahagslögsögunnar. Að lokum gilda ákvæði um umhverfismat áætлана og umhverfismat framkvæmda innan efnahagslögsögunnar.

Mikilvægt er að uppfæra ýmis lög og reglugerðir er varða leyfisveitingar og mannvirki vegna vindorkugarða á hafi til að skerpa á valdheimildum og valdmörkum stjórnsýslunnar og má þar nefna lög um leit og rannsóknir á auðlindum í jörðu, öryggismál raforkuvirkja, lög um brunavarnir, og lög um hollustuhætti og mengunarvarnir.

Engin ákvæði eru í lögum varðandi leyfisveitingar og/eða eftirlit með leit og rannsóknum í tengslum við vindorkugarða á hafi.

Í dag eru í rekstri vindorkugarðar sem eru bæði botnfastir og fljótandi í nágrennalöndum okkar og áætlanir eru uppi um sífellt stærri slíka garða. Fyrirtækið DNV gerir ráð fyrir því að 11% raforkuframleiðslu heimsins verði í formi botnfastrar vindorku á hafi og 2% vegna fljótandi vindorku á hafi árið 2050. Uppsett afl vindorku á hafi í Evrópusambandinu var 12GW árið 2020 og hefur sambandið sett það markmið að uppsett afl í vindorku á hafi verði að minnsta kosti 60GW árið 2030 og 300 GW árið 2050.



1. Tillögur

Brýnt er að nýta tímann framundan til rannsókna og undirbúnings sem lið í mótun stefnu um nýtingu vindorku á hafi. Fyrirliggjandi gögn eru ekki nægjanlega ítarleg til að taka afstöðu eða fýsileikamats varðandi val á svæðum.

Taka þarf afstöðu til þess hver rannsakar og hver greiðir kostnað af rannsóknunum. Tveir valmöguleikar eru fyrir hendi, annars vegar að framkvæmdaaðili beri kostnað (sbr. olíuleitarverkefni) og hins vegar aðferðafræði Verndar- og orkunýtingaráætlunar þar sem verkefnisstjórn leggur fram tillögur til samþykktar á Alþingi um svæðisnýtingu og vernd. Óháð leiðinni þarf að tryggja opið aðgengi og varðveislu rannsóknargagna.

Samhliða rannsóknum þarf að gera nauðsynlegar endurbætur á lögum til þess að eyða óvissu um hvernig staðið verður að leyfisveitingum, rannsóknum, skipulagi og eftirliti vegna nýtingar vindorku á hafi.

Ásættanleg áhrif á náttúru vegna nýrra framkvæmda á hafi þurfa að vera í samræmi við stefnumótun stjórnvalda varðandi verndun lífríkis og annarra hagsmuna. Vega þarf saman ávinning vegna loftslags og orkuöryggis og skörun við aðra hagsmuni svo sem fiskveiðar og siglingar.

2. Inngangur

2.1 Starfshópur um vindorku á hafi

Þann 19. ágúst 2022 skipaði Guðlaugur Þór Þórðarson, umhverfis-, orku- og loftslagsráðherra starfshóp um vindorku á hafi í lögsögu Íslands.

Samkvæmt stjórnarsáttmála ríkisstjórnarinnar skal marka stefnu um vindorkugarða á hafi. Áður en sú stefnumótun hefst þarf að liggja fyrir heildrænt yfirlit yfir möguleika til framleiðslu raforku frá vindorkugörðum á hafi. Sú samantekt verði nýtt til undirbúnings stefnumörkunar stjórnvalda um nýtingu vinds á hafi sem liður í gerð uppfærðrar orkuskiptaáætlunar. Sviðsmyndir stöðuskýrslu um stöðu og áskoranir í orkumálum (Grænbókar) sýna fram á mikla þörf fyrir orkuöflun á komandi áratugum og að skoða þarf allar leiðir varðandi nýja orkukosti. Þar koma möguleikar á hafi m.a. til greina. Mikilvægt er að hafa sem besta yfirsýn yfir þróun vindorkunýtingar á hafi og grunnupplýsingar um hagkvæmni orkuframleiðslunnar samanborið við aðra orkukosti. Skoða þarf vandlega hvort og þá hvernig vindorka á hafi verði liður í þeirri orkuskiptaáætlun sem sett verður fram á næstu misserum.

Starfshópnum er ætlað að taka saman upplýsingar um eftirfarandi atriði:

-
- Fýsileika orkuvinnslu á hafi við Ísland.

 - Gróft mat á mögulegri afl- og orkuframleiðslugetu.

 - Hagkvæmni orkuframleiðslu á hafi og mögulega þróun hennar.

 - Hvar sé raunhæft að hafa botnfastar vindmyllur.

 - Hvar sé mögulegt að hafa fljótandi vindmyllur.

 - Hvar séu hagstæð vindskilyrði.

 - Hvar séu óhagstæð skilyrði vegna fiskimiða og siglingaleiða.

 - Hvar séu mögulegar landtengingar.

 - Hvar séu óhagstæð skilyrði vegna farfugla og náttúru.

 - Hvort hætta stafi af hafís eða öðrum náttúruyfyrirbrigðum.

 - Hvað þurfi að hafa sérstaklega í huga varðandi úrbætur á regluverki til að styðja við þróun nýtingar vindorku á hafi.
-



Starfshópurinn er þannig skipaður:

Gestur Pétursson, formaður, skipaður án tilnefningar

Sunna Björk Ragnarsdóttir, tilnefnd af Náttúrufræðistofnun Íslands

Kristján Geirsson, verkefnisstjóri, tilnefndur af Orkustofnun

Steinunn Hauksdóttir, sviðsstjóri, tilnefnd af ÍSOR

Sigrún Karlsdóttir, náttúruvárstjóri, tilnefnd af Veðurstofu Íslands

Erla Sigríður Gestsdóttir, sérfræðingur í umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytinu

2.2 Samráð og upplýsingaöflun

Starfshópurinn fundaði með eftirfarandi aðilum á starfstíma sínum:

Landsvirkjun: Hörður Árnason, Einar Mathiesen, Steinn Ágúst Steinsson, Gerður Björk Kjærnested

Hecate: Paul Turner, Diane Sullivan

Frá Hafrannsóknarstofnun: Guðni Guðbergsson, Hrönn Egilsdóttir, Guðmundur J. Óskarsson, Guðbjörg Ásta Ólafsdóttir

Frá Samorku: Baldur Dýrfjörð

Frá Vegagerðinni: Sigurður Sigurðarson

Frá Skipulagsstofnun og innviðaráðuneyti: Ester Anna Ármannsdóttir og Hólmsfríður Bjarnadóttir

Frá færeyska umhverfis og orkuráðuneytinu: Kári Mannbjörn Mortensen

Verkfræðingur og sérfræðingur á sviði vindorkugarða á hafi: Valgeir Þór Sæmundsson

2.3 Aðrir skýrsluhöfundar en fulltrúar starfshópsins

Frá Íslenskum Orkurannsóknnum (ÍSOR): Ögmundur Erlendsson

Frá Hafrannsóknarstofnun: Guðmundur J. Óskarsson

Frá Hafrannsóknarstofnun: Steinunn Hilma Ólafsdóttir

Frá Verkfræðistofunni Afl og Orka: Erla Björk Þorgeirsdóttir

3. Regluverk og stefnur

Starfsemi á hafi lýtur í mörgum tilvikum öðrum viðmiðunum og sjónarmiðum heldur en á landi. Gildi alþjóðlegra samninga og þjóðréttar fer vaxandi eftir því sem lengra dregur frá landi og sömuleiðis dregur úr heimildum strandríkja til stjórnunar og/eða takmörkunar á starfsemi erlendra ríkja.

Í þessum kafla er tæpt á stöðu regluverks í tengslum við staðarval, rannsóknir, uppsetningu og rekstur vindmylla á hafi utan netlaga og út að ytri mörkum íslenskrar efnahagslögsögu í samræmi við skipunarbréf hópsins. Hér verður því litið framhjá tengdum þáttum, s.s. öryggismálum skipa tengd uppsetningu vindmylla og/eða þjónustu við þær, mengunaráhættu vegna skipaumferðar, leiðarstjórnun og flugöryggi.

3.1 Samantekt um regluverk og stefnur

Starfshópurinn telur mikilvægt að unnið verði að úrbótum á lagaramma varðandi leit, rannsóknir og annan undirbúning fyrir virkjun vindorku utan netlaga og skal þá sérstaklega bent á lög um leit og rannsóknir á auðlindum í jörðu, öryggismál raforkuvirkja á hafi, lög um brunavarnir, lög um hollustuhætti og mengunarvarnir auk laga um verndar og orkunýtingaráætlun. Nauðsynlegt er að skýra gildissviðsákvæði laga og eyða óvissu um valdsvið og lagaheimildir.

Bæði nágrannaríki okkar á norðurlöndum og víðar horfa mjög til nýtingu vindorku á hafi. Í dag eru í rekstri vindorkugarðar sem eru bæði botnfastir og fljótandi og áætlanir eru uppi um sífellt stærri slíka garða. Bandaríkjamenn, Japanir og Kórebúar hyggjast byggja upp fljótandi vindorkugarða. Fyrirtækið DNV gerir ráð fyrir því að 11% raforkuframleiðslu heimsins verði í formi botnfastrar vindorku á hafi og 2% vegna fljótandi vindorku á hafi árið 2050.

Uppsett afl vindorku á hafi í Evrópusambandinu var 12GW árið 2020 og hefur sambandið sett það markmið að uppsett afl í vindorku á hafi verði að minnsta kosti 60GW árið 2030 og 300 GW árið 2050.

Ljóst er að íslenska ríkið hefur fullt vald yfir nýtingu vindorku utan netlaga. Það getur því ákveðið hvort unnið verður að framgangi verkefnisins ellegar sú stefna mörkuð að ekki verði veitt heimild til rannsókna og nýtingar, og sömuleiðis hverra hagsmuna ber að gæta.

3.2 Hugtök

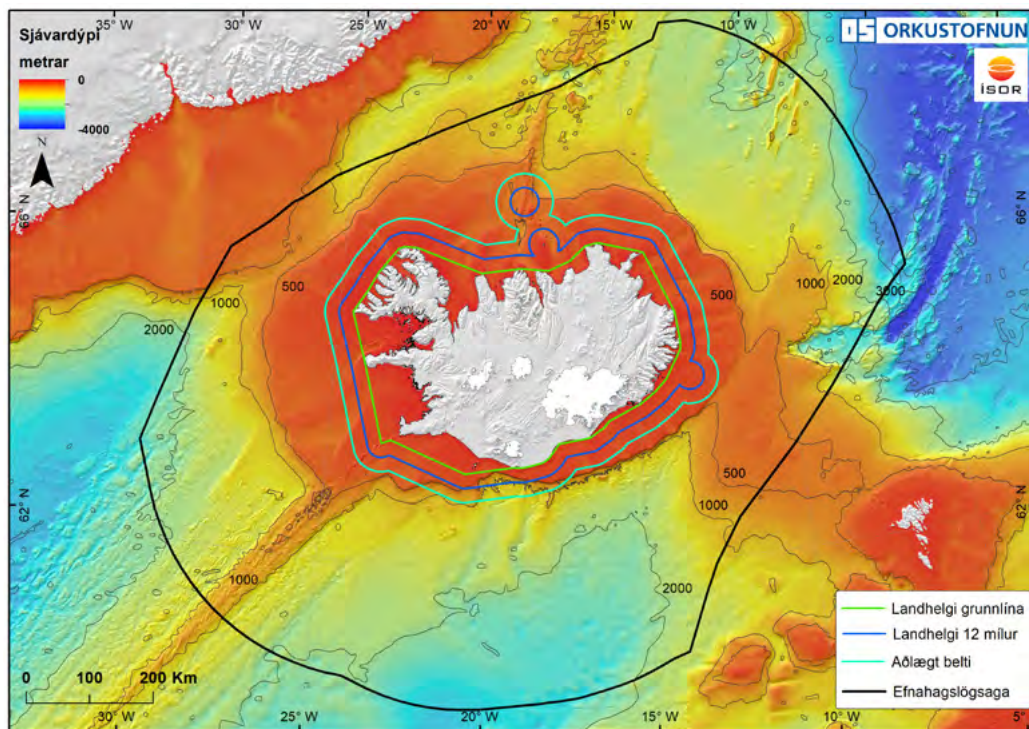
Áður en hafist er handa um umfjöllun um rétt og skyldur á, í og undir hafi, er þó rétt að draga fram og skýra nokkur hugtök.

Stórstraumsfjara: Fjörumörk á stórstreymi. Viðmiðunarpunktur til útreiknings á hafdýpi sjókorta og afmörkun strandar og sjávar. Í hæð getur munað hátt í þremur metrum á strandlínu meðalsjávarmáls (0-punkti landmælinga) annars vegar og stórstraumsfjörumörkum

(0-punkti sjómælinga) hins vegar. Þar sem aðgrunnt er og útfiri mikið getur munað miklu á staðsetningu sjávarmáls á flóði og fjöru. Stórstraumsfjörumörk hafa ekki verið kortlögð svo nokkru nemur hér við land.

Netlög (til sjávar): Hugtakið netlög á uppruna sinn til þjóðveldisaldar og var í 61. kafla Landleigubálks Jónsbókar tilgreint sem sjávarbelti, er nær frá stórstraumsfjöruborði svo langt út í sjó, er selnet, 20 möskva breitt, stendur grunn, og komi flár upp úr sjá ([1] Einar Arnórsson 1948). Vegna ónákvæmni þessarar mælingar voru netlög síðar ákveðin 60 faðma út í sjó en í núgildandi lagatexta er yfirleitt miðað við línu dregna 115 m frá stórstraumsfjörumörkum, sbr. t.d. lög um eignarrétt íslenska ríkisins að auðlindum hafsbotsins, nr. 73/1990. Netlög til sjávar afmarka eignarrétt landeigenda og rétt sveitarfélaga og stofnana þeirra.

Grunnlína landhelgi: Viðmiðunarlína allra fjarlægða og reglna hafréttar. Alla jafna fylgir grunnlína stórstraumsfjöruborði, en í vissum tilfellum hafa ríki rétt á að draga beinar grunnlínur milli skilgreindra grunnlínupunkta. Grunnlína landhelgi Íslands liggur í mörgum tilvikum vel utan stórstraumsfjörumarka, sjá Mynd 1.



Mynd 1. Grunnlína, landhelgi, aðlægt belti og efnahagslögsaga Íslands.

Hafréttarsáttmáli Sameinuðu þjóðanna (HRS) er veigamesta réttarheimild hafréttar og hafa langflest ríki heims staðfest og innleitt sáttmálann. Hefur sáttmálinn öðlast sess á grundvelli venjuréttar (e. customary law) í þjóðarétti. HRS tilgreinir réttindi strandríkja til að setja lög og reglur á, í og undir hafi, þ.m.t. um orkuframleiðslu og um nýtingu auðlinda hafsbotsins.

3.3 Afmörkun og eðli hafsvæða

Út frá reglum hafréttar er hafrýminu við Ísland skipt í 5 hluta þar sem hver um sig umlykur hinn fyrri. Misjafnt er hver eru réttindi (og skyldur) íslenska ríkisins gagnvart öðrum ríkjum eftir því um hvaða hluta er rætt ([2] Björg Thorarensen ofl.). Innri mörk hafs liggja við stórstraumsfjöru líkt og framar greinir. Á svæðinu næst landi milli stórstraumsfjöru og grunnlínu landhelgi, *innsævi*, hefur strandríki allan þann rétt og lögsögu sem á landi væri (fullveldisréttur [3] HRS) nema í ákveðnum undantekningar-tilvikum tengdum siglingum ([4] Björg Thorarensen ofl.).

Utan innsævis hafa ríki rétt til að ákvarða sér *landhelgi* sem getur náð allt að 12 sjómílum frá grunnlínupunktum hennar. Strandríki hefur fullveldisrétt innan landhelginnar, hafsbotsins undir henni og loftrýmisins yfir henni sbr. lög nr. 41/1979 ([5] HRS). Samkvæmt því ræður strandríkið að öllu leyti hvernig háttar um framkvæmd réttarheimilda, þ.m.t. innflytjendamál, tollamál, mengunarvarnir og rannsóknir og nýtingu auðlinda, lífrænna sem ólífrænna ([6] Gunnar G. Schram). Skipan mála innan landhelgi fer almennt eftir því sem kveður á um í lögum viðkomandi strandríkis, kveði ákvæði um gildissvið þeirra ekki sérstaklega á um annað. Sem dæmi um takmörkun á valdi strandríkja innan landhelgi er að öllum er frjáls sigling þar um í friðsamlegum tilgangi.

Ísland hefur nýtt sér rétt skv. 33. gr. HRS og afmarkað *aðlægt belti* utan landhelgi og allt að 24 sjómílum frá grunnlínunum landhelginnar. Um aðlæga beltið gilda almennt séð sömu reglur og innan efnahagslögsögu (sjá hér fyrir aftan) en með þeim viðbótum þó að íslensk stjórnvöld hafa þar heimild til að beita nauðsynlegu valdi til að afstýra brotum á lögum og reglum í tolla-, fjár-, innflytjenda- og heilbrigðismálum á landi eða innan landhelginnar, og refsfa fyrir brot á framangreindum lögum og reglum sem framin eru á landi eða innan landhelginnar. Jafnframt er brottnám muna sem eru fornleifafræðilegs og sögulegs eðlis af hafsbotni innan aðlæga beltisins óheimil án heimildar íslenskra stjórnvalda.

Utan landhelgi hefur strandríki rétt á að marka sér *sérefnahagslögsögu* (e: *Exclusive Economic Zone, EEZ*) sem getur náð allt að 200 sjómílum frá grunnlínunum landhelginnar ([7] Björg Thorarensen ofl.). Innan efnahagslögsögu hefur strandríki afmarkaðan fullveldisrétt, einkum er varðar rannsóknir, hagnýtingu, verndun og stjórnun auðlinda, lífrænna og ólífrænna, svo og aðrar athafnir varðandi efnahagslega nýtingu og rannsóknir, svo sem framleiðslu orku ([8] Björg Thorarensen ofl.). Strandríkið hefur auk þess eitt lögsögu varðandi byggingu mannvirkja og afnot af þeim, vísindalegar rannsóknir og verndun hafsins. Sá grundvallamunur er á efnahagslögsögu strandríkja annars vegar

og landhelgi og innsævi hins vegar, að efnahagslögsagan telst ekki til yfirráðasvæðis þess ([9] Björg Thorarensen ofl.). Þetta sést m.a. á því að réttindi strandríkis í efnahagslögsögu þess eru á tæmandi hátt talin upp í HRS en að öðru leyti fer almennt um réttindi ríkja innan efnahagslögsögu annarra strandríkja sem um úthaf væri. Strandríki hefur því afmarkaðan og um leið takmarkaðan rétt til að skipa til málum, getur stjórnað veiðum og nýtingu auðlinda auk þess sem það hefur rétt til að gera ráðstafanir til að vernda strendur sínar og hafrými fyrir skaðlegum áhrifum vegna mengunar frá skipum innan sinnar efnahagslögsögu.

Landgrunnsréttindi utan landhelgi fylgja ekki sjálfkrafa afmörkun efnahagslögsögu, heldur ber ríkjum að afmarka landgrunn ríkis í samræmi við reglur HRS, sbr. 76. gr. samningsins. Þar sem minna en 400 sjómílar eru milli ríkja ber þeim að semja um mörk landgrunns, og þau mörk þurfa ekki endilega að fylgja mörkum efnahagslögsögunnar, sbr. 78. gr. hans.

Utan efnahagslögsögu ríkja tekur við *úthafið*, svæði sem er utan lögsögu (*res communis*) og ekkert ríki hefur þar rétt til að taka sér ríkisvald ([10] Björg Thorarensen ofl.). Heimildir ríkja til siglinga, hvort sem þau eiga land að sjó eður ei, eru ekki takmörkunum háðar ([11] HRS) en við nýtingu lifandi auðlinda hafsins ber að fara eftir viðeigandi ákvæðum HRS ([12] HRS).

Eins og áður segir fylgir hafsbotninn innan landhelgismarka fullveldisrétti strandríkis. Utan landhelgi heldur strandríki sama rétt til hagnýtingar *landgrunns*, hafi ríkið á annað borð öðlast rétt þar á í samræmi við ákvæði alþjóðalaga. Strandríki geta lýst yfir kröfum til afmörkunar landgrunns utan 200 sjómílna efnahagslögsögu en ekki er ástæða til að rekja það frekar hér. Fullveldisrétturinn nær til rannsókna og hagnýtingar á ólífrænum auðlindum og ákveðnum lífverum á, í og undir hafsbotninum.

3.4 Réttarstaða ríkja innan efnahagslögsögu (utan landhelgi)

Samkvæmt HRS hefur strandríki rétt til að setja reglur um ákveðin atriði sem lúta að rannsóknum, hagnýtingu, verndun og stjórn auðlinda innan efnahagslögsögu sinnar. Réttur ríkja til að setja lög er almennt séð takmarkaður við það sem tilgreint er í 56. gr. HRS. Hér má tilgreina að tollalög, skattalög, hegningarlög o.fl. gilda ekki utan landhelgi strandríkis, nema í ákveðnum tilvikum um borð í skipum sem sigla undir fána þess, sbr. og heimildir innan hins aðlæga beltis. Þannig hafa öll ríki, hvort sem þau eru strandríki eður ei, leyfi til lagningar neðansjárstrengja og leiðslna um efnahagslögsögu annarra ríkja, reyndar að teknu tilhlýðilegu tilliti til réttinda og skyldna strandríkisins, sbr. 58. gr. HRS. Þá gilda lög strandríkja almennt ekki um efnahagslögsöguna nema þess sé sérstaklega getið í lögnum ([13] lög nr. 33/2004, nr. 7/1998, nr. 106/2000 og nr. 61/2013).

Í 1.mgr. 126. gr. EES-samningsins er kveðið á um landfræðilegt gildissvið samningsins. Hvað varðar ESB þá vísar samningurinn til stofnsáttmála ESB með þeim skilmálum

sem þar eru settir. Hins vegar er sérstaklega tilgreint að gagnvart EFTA ríkjunum gildi samningurinn „á yfirráðasvæðum“ þeirra [14 Björg Thorarensen ofl.]. Eins og rakið er hér frammar nær yfirráðasvæði ríkja yfir landsvæði, innsævi og landhelgi en ekki yfir efnahagslögsögu þeirra ([14] Björg Thorarensen ofl.). Af þessu má ráða að landhelgi afmarki landfræðilegt gildissvið EES samningsins gagnvart EFTA ríkjunum, og þar með gildissvið á regluverki ESB. Samningurinn nái því til lands, innsævis og landhelgi, en gildi ekki innan efnahagslögsögu (utan landhelgi).

Ýmsar ESB gerðir hafa óneitanlega áhrif utan landfræðilegs gildissviðs samningsins en hafa þrátt fyrir það verið teknar upp í EES samninginn. Hér má tilgreina tilskipanir um umhverfismat áætlaða ([15] tilskipun 2001/42/EB), umhverfismat framkvæmda ([16] tilskipanir 85/337/EBE, 2011/92/ESB, 2014/52/ESB), og um samræmd starfsleyfisskilyrði og mengunareftirlit ([17] tilskipun 96/61/EB), en í öllum þessum tilvikum er sérstaklega tilgreint í gildissviðsákvæði viðkomandi laga og reglugerða annars vegar að þau gildi í efnahagslögsögu (mengunarlögsögu) og hins vegar að þau séu sett til innleiðingar á viðkomandi ESB gerðum, án efnislegra athugasemda. Rétt er að taka fram að auk EES samnings geta verið um að ræða skuldbindingar Íslands skv. öðrum samningum, þ.m.t. OSPAR samninginn um verndun NA Atlantshafsins og Árósa samninginn um aðgang að upplýsingum, þátttöku almennings í ákvarðanatöku og aðgang að réttlátri málsmeðferð í umhverfismálum.

3.5 Lög og reglur á hafrymi umhverfis Ísland

Eins og tilgreint er hér að framan gilda lög ríkja almennt innan landhelgi þeirra, nema sérstaklega sé um það kveðið í gildisákvæði laganna. Ríki hafa auk þess afmarkaðan rétt til að setja lög og reglur um starfsemi utan landhelgi, innan efnahagslögsögunnar og/eða til hagnýtingar hafsbotsins. Í því efni getur skipt máli hvort eða hvernig ákvæði um landfræðilegt gildissvið eru tilgreind í lögnum. Slík ákvæði eru mikilvæg við beitingu laga, sérstaklega hvað varðar ábyrgð skv. lögum og í sakamálum ([18] Bjarni Már Magnússon ofl.).

Raforkulög, nr. 65/2003, taka til vinnslu, flutnings, dreifingar og viðskipta með raforku á íslensku forráðasvæði án tillits til orkugjafa. Lögin gilda því jafnt til lands, innsævis, landhelgi sem og innan efnahagslögsögu. Orkustofnun er lögbundið stjórnvald varðandi veitingu virkjunarleyfis til raforkuframleiðslu, óháð orkugjafa, þ.m.t. vindorka, sjávarföll, sjávarstraumar og jarðhiti. Stofnunin veitir jafnframt leyfi fyrir flutningskerfum (sbr. 2. mgr. 9. gr.), eða samþykki fyrir kerfisáætlun flutningsfyrirtækis sbr. 9. a. gr.

Raforkulög kveða ekki sérstaklega á um leyfi til leitar að, eða rannsóknum á orkuauðlindum. Í 40. gr. laganna er tilgreint að lög um rannsóknir og nýtingu á auðlindum í jörðu, nr. 57/1998, gildi um leyfi til þess að kanna og rannsaka orkulindir til undirbúnings raforkuvinnslu. Þau lög gilda hins vegar einungis innan netlaga, sbr. 1. mgr. 1. gr. laganna. Lög um eignarrett íslenska ríkisins að auðlindum hafsbotsins, nr. 73/1990 (hafsbotslög), gilda um

leit, rannsóknir og nýtingu á efnum til hagnýtingar á, í eða undir hafsbotninum utan netlaga, en tekur ekki til orkuauðlinda utan hafsbotnsins.

Af framansögðu leiðir að engin ákvæði eru í lögum varðandi leyfisveitingar og/eða eftirlit með leit og rannsóknnum í tengslum við fyrirhugaða orkuframleiðslu, hvort sem viðfangsefnið er vindorka, sjávarföll eða sjávarstraumar utan netlaga, þótt ákvæði hafsbotnslaga nái til leitar, rannsókna og nýtingar jarðhita undir hafsbotni. Að sönnu er kveðið á um vísindalegar rannsóknir 9. og 10. gr. laga um landhelgi, aðlægt belti, efnahagslögsögu og landgrunn, en telja má vafamál að hagsmunir íslenska ríkisins séu nægjanlega tryggðir með þeim ákvæðum sem þar er að finna.

Hvað varðar afmörkun á rammaáætlun, þá er tilgreint í 2. gr. laga um verndar- og orku-nýtingaráætlun, nr. 48/2011, að lögín nái til landsvæða þar sem er að finna virkjunarkosti til orkuvinnslu, jafnt innan eignarlanda sem þjóðlenda. Þá er tekið fram að með eignarlandi sé átt við landsvæði, þ.m.t. innan netlaga í stöðuvötnum og sjó. Lögín eru því ekki hugsuð til beitingar á orkukostum á, í og undir hafi utan netlaga.

Ákvæði um skipulagsmál á hafi er annars vegar að finna í almennum skipulagslögum, nr. 123/2010, og hins vegar í lögum um skipulag haf- og strandsvæða, nr. 88/2018. Engin bein landfræðileg afmörkun er á almennum lögum og með vísan til framanritaðs verður ályktað að þau gildi á landi, innsævi og innan landhelgi. Hins vegar var ákvæðum laganna breytt með samþykkt laga nr. 88/2018, og ákvæði um landsskipulagsstefnu útvíkkuð á þann hátt að samþykkja skuli stefnu um skipulag haf- og strandsvæða.

Lög um skipulag haf- og strandsvæða gilda um stefnu um skipulag haf- og strandsvæða, sem er skilgreint sem svæði frá netlögum að ytri mörkum efnahagslögsögunnar, þar af er strandsvæði tilgreint sem svæði frá netlögum að þeirri viðmiðunarlínu sem tilgreind er í 1. mgr. 5. gr. laga um veiðar í fiskveiðilandhelgi Íslands, nr. 79/1997. Nánar er fjallað um stefnumörkun í málefnum hafsins í kafla 3.6.

Lög um umhverfismat framkvæmda og áætlana, nr. 111/2021, gilda um framkvæmdir og áætlanir á landi, í lofthelgi og í mengunarlögsögu Íslands (sem er skilgreind sem hafsvæðið sem nær yfir innsævi að meðtalinni strönd að efstu flóðmörkum á stórstraumsflóði, landhelgi og efnahagslögsögu, landgrunn Íslands og efstu jarðlög, sbr. lög um landhelgi, aðlægt belti, efnahagslögsögu og landgrunn). Ákvæði um umhverfismat áætlana og umhverfismat framkvæmda gilda því jafnt á landi sem og við endamörk efnahagslögsögunnar. Lögín gilda jafnframt um umhverfismat vegna framkvæmda eða áætlana sem líklegt er að muni hafa umtalsverð umhverfisáhrif í öðru ríki innan Evrópska efnahagssvæðisins.

Lög um mannvirki, nr. 160/2010, gilda um öll mannvirki sem reist eru á landi, ofan jarðar eða neðan, innan landhelginnar og efnahagslögsögunnar, þó að undanskildum höfnum, varnargörðum eða fyrirhleðslum, vegum og öðrum samgöngumannvirkjum, svo sem flugvöllum, jarðgöngum, vegskálum eða brúm. Vekja má athygli á að skv. lögum teljast

mannvirki á eða í hafi, vötnum og ám sem hafa fasta staðsetningu til mannvirkja samkvæmt lögnum og því myndu vindmyllur á hafi falla undir þá skilgreiningu, hvort sem þær eru botnfastar eða fljótandi.

Almennt séð veita byggingarfulltrúar sveitarfélaga byggingarleyfi, sbr. 1. mgr. 9. gr. mannvirkjalaga, en valdsvið þeirra nær einungis út að netlögum til sjávar. Skv. 9. tölul. 5. gr. laganna er Húsnæðis- og mannvirkjastofnun falið að veita byggingarleyfi vegna framkvæmda við mannvirki á hafi utan sveitarfélagamarka.

Lög um öryggi raforkuvirkja, neysluveitna og raffanga, nr. 146/1996, ná einungis til raforkuvirkja og raffanga ([19] Virki, [20] Rafföng) í landi, sbr. 1. mgr. 2. gr. laganna. Ákvæði um öryggismál raforkuvirkja á hafi, þ.m.t. vindmylla og tengivirkja, skortir því í íslenska löggjöf. Eftirlit með öryggi raforkuvirkja er á höndum Mannvirkja- og húsnæðisstofnunar. Líkt og tilgreint var hér að framan hefur strandríki eitt heimild til að setja lög um öryggismál á hafstöðvum innan efnahagslögsögu sinnar og verður af því dregin sú ályktun að heimild sé til að útfæra gildissvið laganna þannig að þau taki til hafstöðva innan sem utan landhelgi ef löggjafinn svo ákveður.

Þá má tilgreina að gildissvið laga um brunavarnir, nr. 75/2000, nær einungis yfir eldvarnir og slökkvistörf vegna eldsvoða og viðbúnað við mengunaróhöppum á landi, sbr. 2. gr. laganna, nema hvað að Húsnæðis- og Mannvirkjastofnun er falið að annast framkvæmd eldvarnaeftirlits vegna mannvirkja til rannsókna og nýtingar kolvetnis á hafi innan efnahagslögsögunnar (13. gr. a). Ákvæðið gildir því hvorki um starfsemi utan netlaga á innsævi eða í landhelgi, og ekki um vindorkugarða.

Ekki er kveðið á um landfræðilegt gildissvið í lögum um aðbúnað, hollustuhætti og öryggi á vinnustöðum, nr. 46/1980, og út frá almennri skilgreiningu um gildissvið ná þau því til starfsemi á landi, innsævi og innan landhelgi. Vinnuverndarákvæði skortir því varðandi verk utan landhelgi. Með vísan til HRS, hefur íslenska ríkið heimild til að setja ákvæði um vinnuvernd og öryggi vegna starfa í vindmyllum og tengdum mannvirkjum. Ákvæði um vinnuvernd um borð í skipum fellur undir alþjóðlega samninga þar að lútandi og lýtur eftirliti fánaríkis viðkomandi skips. Eftirlit með skipum skráðum á Íslandi heyrir undir Samgöngustofu samkvæmt skipalögum nr. 66/2021.

Í lögum um hollustuhætti og mengunarvarnir, nr. 7/1998 er að finna athyglisverða afmörkun landfræðilegs gildissviðs, eða:

Lögin taka til hvers konar starfsemi og framkvæmda hér á landi, í lofthelgi, efnahagslögsögu og farkostum sem ferðast undir íslenskum fána, sem hafa eða geta haft áhrif á þá þætti sem tilgreindir eru í 1. gr., að svo miklu leyti sem önnur lög taka ekki til þeirra. Lögin ná einnig til starfsemi og framkvæmda í efnahagslögsögunni vegna rannsókna og vinnslu kolvetnis.

Þar sem sérstaklega er tilgreind afmörkunin land og lofthelgi er ástæða til að álykta sem svo að lögin gildi hvorki á innsævi utan netlaga, né í landhelgi þar sem lofthelgin er hluti

af landhelgi en er hins vegar sérstaklega tilgreind. Þá má vísa til fyrri umfjöllunar um að hafsbotninn utan landhelgi fylgir ekki sérstaklega með efnahagslögsögunni. Þrátt fyrir framangreint hafa stjórnýsluákvæðanir, s.s. um starfsleyfi mengandi starfsemi, ekki verið felldar úr gildi vegna skorts á valdbærni af úrskurðarnefndum eða fyrir dómstólum.

Við mat á landsvæðum, áætlanir um uppsetningu og tengsl við aðra nýtingu og/eða vernd, ber jafnframt að gæta að ákvæðum laga þar um, s.s. lög um náttúruvernd, nr. 60/2013, og lög um veiðar í fiskveiðilandhelgi Íslands, nr. 79/1997.

3.6 Stefna Íslands í málefnum hafsins

Í almennri stefnu Íslands um málefni hafsins [Umhverfissráðuneytið 2004] er ekkert að finna um orkuvinnslu á, í eða undir hafi. Í Landsskipulagsstefnu 2015-2026 er lagt til að mörkuð verði stefna um svæðisnýtingu fyrir mismunandi starfsemi, þ.m.t. orkuvinnslu.

Í kjölfarið á setningu laga um skipulag haf- og strandsvæða hefur verið unnið að strandsvæðaskipulagi annars vegar fyrir Austfirði og hins vegar Vestfirði og voru þau staðfest af ráðherra þann 6. mars 2023. Strandsvæðaskipulag gildir um firði og flóa frá netlögum og út að viðmiðunarlínu fiskveiðilandhelgi Íslands. Fyrir strandsvæðaskipulag Vestfjarða nær svæðið frá Bjargtöngum í suðri að Straumnesi í norðri, en fyrir Austfirði frá Almenningsflesi í norðri og suður að Hvítungi. Ekki hefur verið unnið að hafskipulagi sem gilda á utan fyrrgreindrar viðmiðunarlínu og út að ytri mörkum efnahagslögsögunnar.

Í strandsvæðaskipulagi Vestfjarða og Austfjarða er lögð áhersla á að nýting vistvænna orkuauðlinda á strandsvæðum verði í sátt við umhverfi og samfélag, þannig að staðinn verði vörður um sérkenni svæðanna og tekið tillit til grenndarhagsmuna og annarrar nýtingar. Hins vegar er bent á að ekki hafi verið mótuð stefna um orkuvinnslu á hafi hér við land af hálfu íslenskra stjórnvalda en að fyrirsjáanlegt sé að kannaðir verði möguleikar á orkuframleiðslu á strandsvæðum í framtíðinni. Á þessu stigi voru því hvorki mótuð stefna um orkuvinnslu né skilgreindir reitir í skipulaginu helgaðir orkuvinnslu. Þess ber þó að geta að ekki er í skipulaginu gert ráð fyrir orkuframleiðslu innan nýtingarflokksins *Umhverfi og náttúra*.

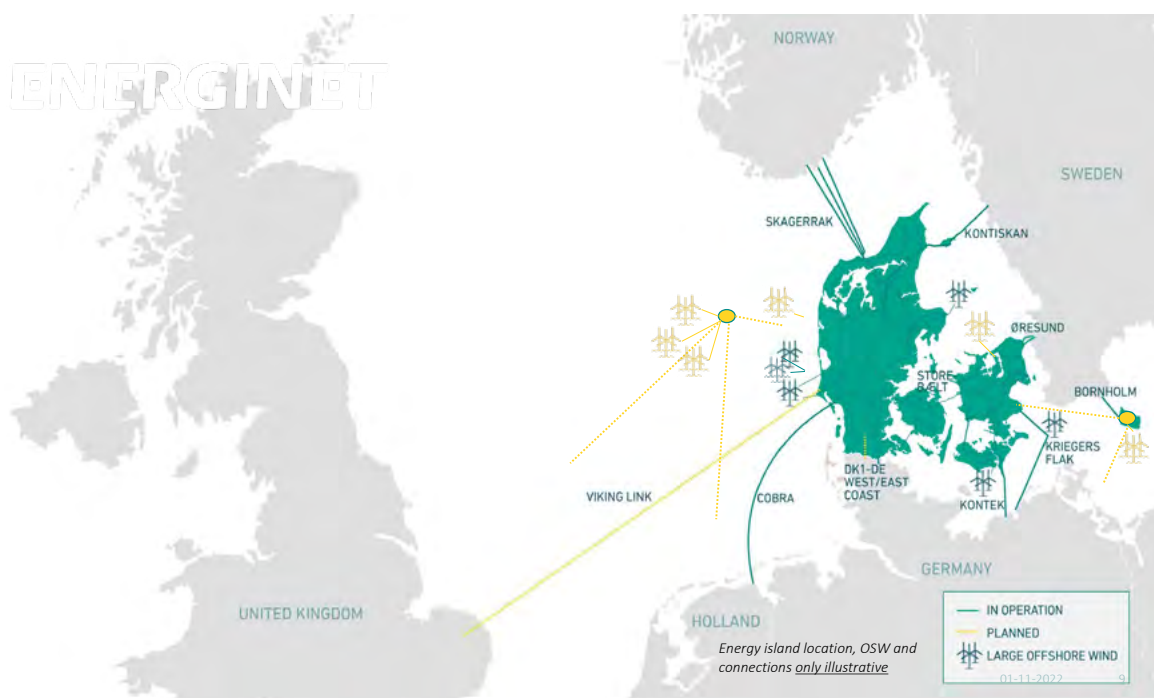
3.7 Stefnur og verkefni annarra ríkja

Fróðlegt er að horfa til þess sem er að gerast í nágrennalöndum okkar og í öðrum heimshlutum varðandi vindorku á hafi.

3.7.1 Danmörk

Í gögnum frá Samorku varðandi Danmörku sem finna má í viðaukum við skýrsluna kemur ýmislegt áhugavert fram. Í viðauka 10.3 er kynning frá Energinet sem samsvarar Landsneti á Íslandi og hefur með höndum það flókna verkefni að byggja upp flutningskerfið í Danmörku þannig að það þjóni þeirra raforkuframleiðslu sem byggir að stórum hluta (47,3% árið 2021) á vindi og sólarorku.

Á glæru 9 í kynningunni má skjá kort af þeim vindorkugröðum á hafi sem eru þegar í rekstri ásamt öðrum sem eru á ætlan. Einnig má sjá á myndinni tengingar frá Danmörku til annarra landa.



Mynd 2. Vindorkugarðar á hafi í rekstri í Danmörku ásamt áformum um nýja garða (Viðauki 10.3).

Í Viðauka 10.4 eru upplýsingar frá höfninni Esbjerg, þar sést að höfnin í Esbjerg hefur miklu hlutverki að gegna og því þarf að skoða staðsetningar á vindorkugörðum hér með það í huga hvar mögulegt er að byggja upp nauðsynlega hafnaraðstöðu og innviði til að þjónusta vindorkugarðana á byggingartíma og á meðan á rekstri stendur.

Íhlutir í vindmyllur eru gríðarlega stórir eins og sjá má á mynd á síðu 7 í kynningunni þar sem sést yfir höfnina í Esbjerg. Mikið magn íhluta í turna fyrir vindmyllur sjást á hafnarbakkanum. Eins og sjá má eru bifreiðarnar á myndinni agnar smáar í samanburði við sívalningana sem fluttir eru um höfnina vegna vindmyllanna.



Mynd 3. Íhlutir í turna vindmylla á hafnarbakkanum í Esbjerg (Viðauki 10.4).

Á mynd á síðu 12 í sama skjali má einnig sjá hversu gríðarlega stórir spaðarnir fyrir vindmyllurnar eru. Vindmyllur fara stækkandi og má vænta þess að bæði turnar og spaðar verði enn stærri og fyrirferðameiri í framtíðinni.



Mynd 4. Vindmylluspaðar á hafnarbakkanum í Esbjerg (Viðauki 10.4).

Á síðu 13 í skjalinu sést flutningaprammi með hluta úr turnum um borð. Það þarf væntanlega að viðra mjög vel og ölduhæð að vera lítil til þess að hægt sé að sigla með svona pramma þangað sem verið er að koma vindmyllunum fyrir.



Mynd 5. Prammi með hluta af vindmylluturnum í höfninni í Esbjerg (Viðauki 10.4).

Höfnin í Esbjerg hyggur á verulega stækkun á aðstöðunni, meðal annars vegna umsvifanna vegna vindorkugarðanna. Það má því ljóst vera að góð hafnaraðstaða er mikilvæg forsenda fyrir vali á staðsetningu á vindmyllugörðum á hafi.

Í viðauka 10.5 má sjá gögn frá RWE sem er fyrirtæki sem sérhæfir sig í Vindorku, sólarorku, rafhlöðum og breytilegri framleiðslu auk vetnisframleiðslu. Fyrirtækið vinnur að undirbúningi Thor vindorkugarðs á hafi. Þessi vindorkugarður verður stærsti vindorkugarðurinn í Danmörku með uppsett afl upp 1000 MW.

Garðurinn verður í 22 km fjarlægð frá strönd og verður helgunarsvæði strengs til tengingar við land um 25 km og tengin frá næsta tengipunkti að strönd verður um 5 km.

Ekki hefur verið ákveðið hversu stórar túrbínurnar verða. Tveimur sviðsmyndum hefur verið stillt upp. Annars vegar 72 túrbínur 14 til 15 MW að stærð og 260 m upp í topp á spaða í hæstu stöðu eða 48 túrbínur upp á 21-23 MW sem væru með 300 metra upp í topp á spaða í hæstu stöðu.

Í viðauka 10.6 sem að mestu fjallar um vind á landi og hversu mikilvægt er að eiga gott samtal við haghafa er stutt umfjöllun um vindorkugarð á hafi sem staðsettur er rétt sunnan við Stórabeltið þar sem heitir Smálandsfarvandet. Þar er ætlunin að reisa vindorkugarð upp á 320 MW sem á að hefja rekstur árið 2024 (Mynd 6).

Hvad er Omø Syd?

- 320 MW havvindmølleprojekt i Smålandsfarvandet
- Projektet vil fra 2024 sikre grøn strøm til mere end 350.000 danske husstande.
- Betydeligt bidrag til 2030-målsætningen med CO2-reduktion på 400.000 tons CO2 årligt
- Smålandsfarvandet siden december 2021 blevet udpeget til Natura 2000-område for ederfugl og gråstrubet lappedykker



Mynd 6. Omø Syd vindorkugarður fyrir sunnan Stórabeltið (Viðauki 10.6).

Reiknað er með að þessi vindorkugarður geti tryggt straum til 350.000 danskra heimila og dregið verulega úr útblæstri.

3.7.2 Skýrsla DNV um fljótandi vindorkugarða í heiminum

Í skýrslunni FLOATING OFFSHORE WIND frá DNV, sem sjá má í viðauka 10.7 er horft til næstu 5 ára frá árinu 2022 eða til ársins 2027. Í skýrslunni er því spáð að árið 2050 verði 82% af raforkuframleiðslu sem tengd er við flutnings- og dreifikerfi frá endurnýjanlegum orkugjöfum. Þar af er reiknað með að 69% verði breytileg raforkuframleiðsla og 33% verði vegna vinds. Reiknað er með að 20% verði vegna vindorku á landi, 11% vegna botnfastrar vindorku á hafi og að 2% verði vegna fljótandi vindorkugarða.

Í skýrslunni kemur fram að stærsta fljótandi vindorkugarður í heiminum í dag er Hywind Tampen sem er með uppsett afl upp á 88 MW. Reiknað er með að á næstu árum muni kostnaður við vindorku falla verulega vegna stærðarhagkvæmni sem muni nást með aukinni framleiðslu.

Vindorkugarðarnir Kigcardine og Hywind við Skotland og WindFloat Atlantic við Portúgal eru í rekstri og eru sönnun þess að þessi vindorkugarðar eru tæknilega fýsileg. Hywind hefur verið í rekstri síðan 2017 og hefur hæstu nýtingu vindorkugarða á hafi fyrir utan

Bretland.

Bent er á að stjórnvöld geta haft mikil áhrif með því að gera fjárfestum á einkamarkaði mögulegt að fjárfesta í vindorkugörðum á hafi. Stjórnvöld geta dregið úr áhættu með því að ýta undir vissu í gegnum stefnumótun og regluverk og með skilyrðum fyrir uppboðum á leigu á svæðum til vindorkuframleiðslu.

Í norður Ameríku er stefnt að því að hefja vindorkuframleiðslu með fljótandi vindorku á hafi um 2030. Um er að ræða svæði fyrir utan Kaliforníu, Oregon, Maine og Massachusetts.

Í Noregi er búið að byggja Hywind demo sem er búið að vera í rekstri síðan 2009 og þeir reka Hywind Tampen upp á 88 MW. Norsk stjórnvöld hafa samþykkt tvö verkefni við strendur landsins Utsira Nord (1,5 GW) og Sørilige Norsjø II (3 GW). Utsira er á 267 m dýpi og hentar því aðeins fyrir fljótandi vindorkugarða en Sørilige er að meðaltali á 60 m dýpi og getur verið hvort heldur sem er með föstum undirstöðum eða fljótandi.

Við Bretland eru tveir fljótandi vindorkugarðar í rekstri, Hywind Scotland og Kincardine, báðir eru staðsettir austan við strönd Skotlands. Bendir allt til þess að fljótandi vindorkugarðar munu verða vaxandi iðnaður. Búið er að úthluta svæðum fyrir vindorkugarða fyrir utan strendur Skotlands upp á 25 GW.

Fyrir utan strendur Japan er mjög aðdjúpt svo reiknað er með að þar verði þróaðir fljótandi vindorkugarðar. Árið 2018 var sett upp regluverk fyrir þróun vindorku á hafi og útboðsferli í tengslum við það. Búið er að bjóða út 16,8 MW og voru 6 fyrirtæki valin til að þróa áfram þessa vindorkuframleiðslu.

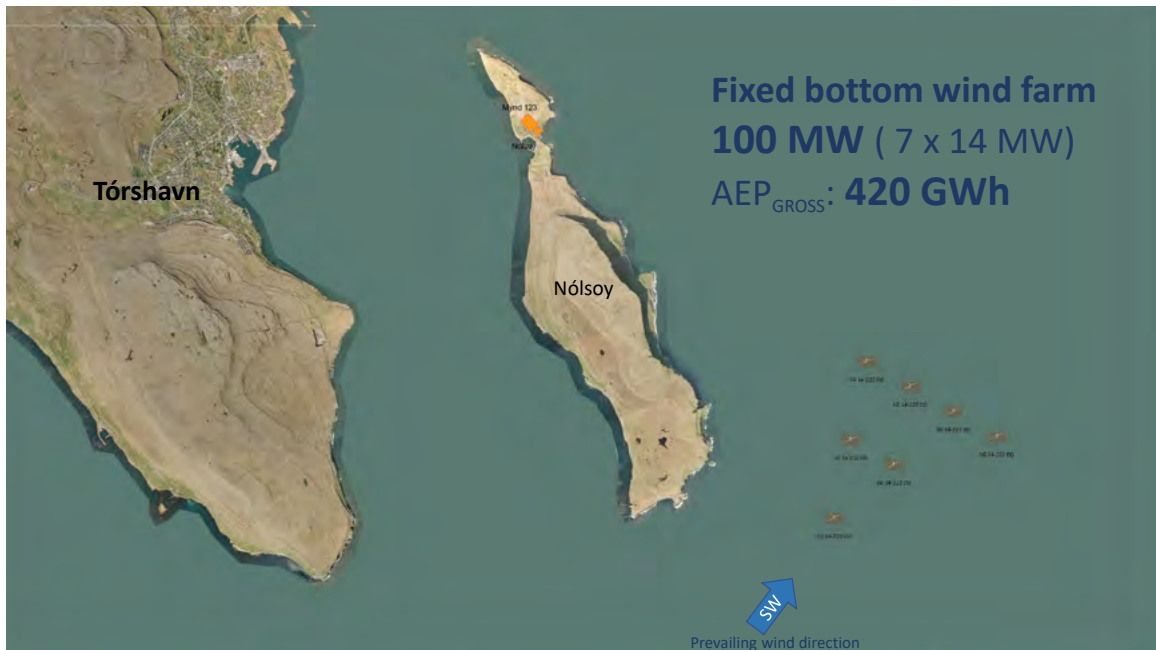
Í Kóreu eru nú þegar 40 svæði fyrir vindorku á hafi til prófunar. Í Ulsan eru sex fyrirtæki staðsett sem vinna að þróun vindorku á hafi. Búið er að skrifa undir viljayfirlýsingar með borginni um 7,5 GW uppsett afl.

Í skýrslu DNV er því spáð að miklir möguleikar séu á raforkuframleiðslu með fljótandi vindorku. Bent er á að fljótandi vindorka muni í framtíðinni færast sífellt fjær landi og kalla á þróun fljótandi aðveitustöðva og gera kröfur til þróunar á strengjum fyrir hærri spennu og meira afl en nú eru í boði. Sama gildir um spennu og rofabúnað og margvíslegan annan búnað.

3.7.3 Umfjöllun um fljótandi vindorku á Artic Circle

Færeyjar

Í viðauka 10.8 er kynning frá Færeyjum þar sem fjallað er um virkjun bæði sjávarorku og vinds. Þar er sýnd hugmynd að 100 MW vindorkugarði með 7x14 MW vindmyllur fyrir utan eyjuna Nólsoy sem er skammt austan við Þórshöfn. Reiknað er með að þessar vindmyllur séu botnfastar en einnig er horft til þess að reisa 2GW fljótandi vindorkugarð lengra úti á hafi.



Mynd 7. Fyrirhugaður vindorkugarður fyrir utan Nólsoy í Færeyjum (Viðauki 10.8).

Í kynningunni eru einnig viðraðar hugmyndir um að tengja slíkan vindgarð mögulega bæði til Skotlands og Hjaltlandseyja (Shetland) og byggir það á hugmyndum úr skýrslunni North Atlantic Energy Network ([21] NAEN) sem var samvinnuverkefni Íslands, Færeyja, Danmerkur, Grænlands og Noregs.

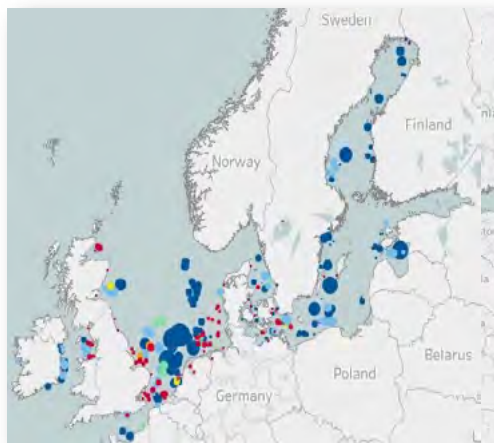
Í skýrslunni er stillt upp þeirri framtíðarsýn að mögulega verði til flutningskerfi raforku í Norður Atlantshafi sem tengi saman vindorkugarða og lönd, allt frá Noregi í Austri til Grænlands í Vestri og frá Íslandi í Norðri til Skotlands í Suðri.

NV Evrópa

Í kynningu Nordic Energy Research (Viðauki 10.9) er fjallað um Vindorku á hafi og lífríki. Þar er mynd af stöðu mála varðandi vindorku fyrir utan strendur NV Evrópu bæði botnfasta vindorkugarða og fljótandi, þá sem eru í rekstri og þá sem eru fyrirhugaðir.

Current situation offshore wind farms

Bottom fixed



Floating



Source: Wind Europe

Mynd 8. Staða vindorku á hafi og áætlanir um uppbyggingu í NV Evrópu (Viðauki 10.9).

3.7.4 European Commission, Brussels 19.11.2020

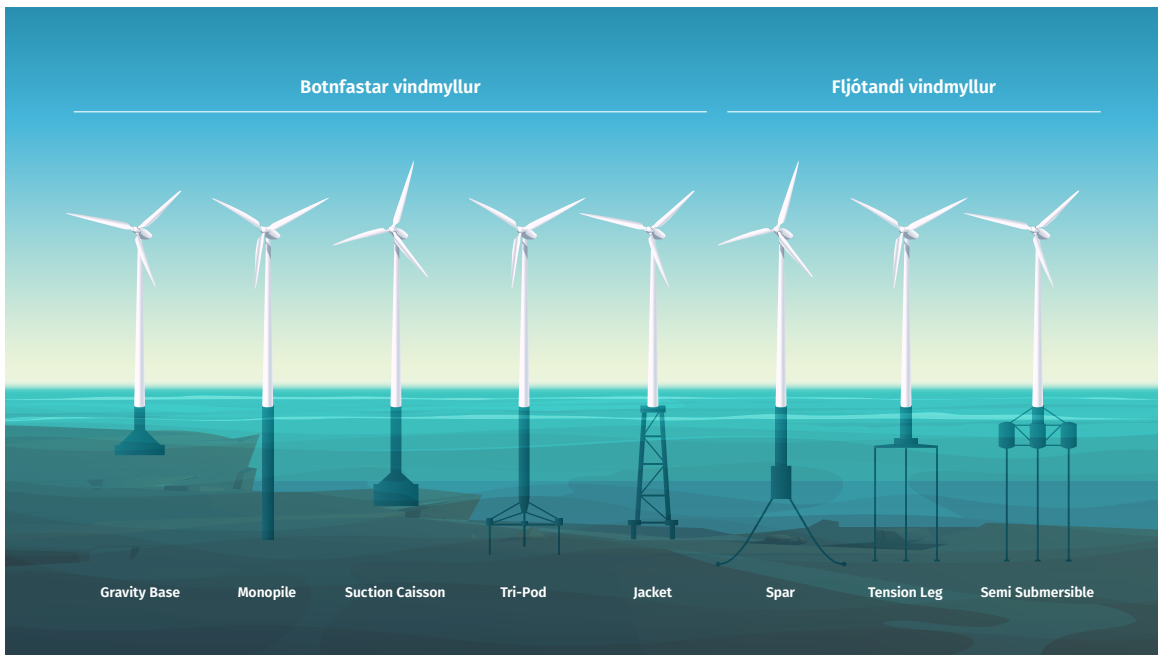
Samkvæmt skýrslu frá Evrópusambandinu ([22] European Commission, Brussels 19.11.2020) segir að uppsett afl vindorku á hafi sé 12GW árið 2020 og það sé mat þeirra að stefna skuli að uppsettu afli upp á að minnsta kosti 60GW af vindorku á hafi fyrir árið 2030, með það að markmiði að ná uppsettu afli í vindi á hafi upp í 300 GW árið 2050.

3.7.5 ROK Energy

Ef við lítum okur nær er áhugavert að nú þegar er á teikniborðinu verkefni sem ber yfirskriftina ROK Energy (Viðauki 10.10). Verkefnið gengur út á að þróa og byggja allt að 20 MW af fljótandi vindorku fjarri ströndum við suðaustur Ísland. Fyrirtækið Hectae Wind leiðir verkefnið.

4. Jarðfræði hafsbotns og jarðvá

Upplýsingar um jarðfræðilegar aðstæður og náttúruvá eru mikilvægar til grundvallar á vali eða mati á staðsetningu mögulegra vindorkukosta, jafnt fyrir botnfastar og fljótandi vindmyllur (Mynd 9). Í þessum kafla er farið yfir helstu flokka jarðfræðilegra þátta sem varða mat á skilyrðum fyrir vindmyllur, rætt um gögnin, umfang þeirra og mikilvægi auk þess að í hverjum undirkafla er ítarlegri umfjöllun og bent sérstaklega á hvar eru göt í gagnasöfnum. Samantekt felur í sér punkta um helstu niðurstöður og ábendingar um næstu skref. Þá er þekking á jarðfræði og umhverfi hafsbotnsins grundvöllur kortlagningar og nýtingar auðlinda á hafsbotni t.d. byggingarefna, málma, jarðhita, olíu- eða gaslinda og vindorku.



Mynd 9. Yfirlitsmynd sem sýnir útfærslur á mismunandi tegundum af botnföstum og fljótandi (þrjár lengst til hægri) vindmyllum ([23] Powerfact Book - Wind Power Summary).

Vísindalegar hafsbotnsrannsóknir á Íslandi, sér í lagi dýptarmælingar, hafa á liðnum áratugum verið skipulagðar til að styðja við rannsóknir á lífríki sjávar og útgáfu sjókorta fyrir sjófarendur. Þar eru gagnasöfn Hafrannsóknarstofnunar [24] og sjómælingasviðs Landhelgisgæslunnar [25] mikilvæg og eru ekki síður grundvöllur þess að meta og skilja jarðfræði hafsbotnsins umhverfis Ísland.

ÍSOR hefur verið hluti af European Marine Observation and Data Network (EMODNET) verkefninu frá árinu 2012. Verkefnið er evrópskt samvinnuverkefni og er fjármagnað af Evrópusambandinu. Því er ætlað að greiða aðgang að gögnum og upplýsingum um

hafsvæði þátttökulandanna, samræma þau og setja á veraldarvefinn. Sjö fagsvið eru skilgreind: Sjósmælingar, jarðfræði hafsbotsins, eðlisfræði, efnafræði, líffræði, búsvæði lífvera og umsvif manna. ÍSOR sinnir jarðfræðinni en önnur svið hafa ekki íslenska þátttakendur. Á kortsjám EMODnet verkefnisins [26] og ÍSOR [27] má nú þegar sjá fjölbreytt safn korta (s.s botngerðarkort, strandgerðarkort, jarðvárkort, jarðfræðikort, auðlindakort og landmótunarkort) ásamt upplýsingum um rannsóknargögn. Verkefnið hefur stuðlað að miklum framförum í jarðfræðikortlagningu hafsbotsins umhverfis Ísland á síðastliðnum árum.

Verkefni á vegum íslenskra stjórnvalda hafa einnig leitt til öflunar og túlkunar á jarðvísindalegum gögnum um hafsbottinn; hafréttarverkefni um kröfu Íslands um afmörkun landgrunns Íslands til landgrunnsnefndar Sameinuðu þjóðanna og hins vegar rannsóknarleyfi til olíuleitar á Drekasvæði. Í þessum verkefnum hefur mikilvægum og verðmætum gögnum verið aflað frá erlendum og innlendum rannsóknaraðilum. Þau eru varðveitt hjá Orkustofnun og ÍSOR, sem hafa sinnt úrvinnslu á gögnum fyrir stjórnvöld. Ýmsir rannsóknaraðilar, innlendir og erlendir, hafa einnig staðið fyrir mælingum og gagnasöfnun af hafsbotni, er þar mest um akademískar rannsóknir að ræða sem beinst hafa að áhuga-verðri jarðsögu hafsbotsins umhverfis Ísland, s.s. sambandi rekhryggja og heits reits.

4.1 Samantekt um jarðfræði hafsbots og jarðvá

-
- Nákvæm dýptarkort eru mjög mikilvæg þegar huga skal að staðsetningu vindmylla á hafi og þau gefa líka upplýsingar um landslag og landmótun hafsbotsins sem er mikilvægt við staðarval.
-
- Dýptarviðmið vindmylluframleiðanda fyrir botnfastar vindmyllur er í dag innan við 100 m og fyrir dýpri svæði eru miðað við að nota fljótandi vindmyllur. Þróun vindmylla er hröð og breytast þessi viðmið ört með árunum. Í þessari skýrslu var ákveðið skoða sérstaklega hafssvæði þar sem sjávardýpi er 200 m og minna, en alls ná þau yfir 112.547 km².
-
- Upplýsingar um botngerð eru mikilvægar við val á hentugu svæði fyrir botnfastar eða fljótandi vindmyllur. Útfærslur og hönnun á festingum fyrir vindmyllur eru mismunandi eftir botngerð, bæði botnfastar og akkeri fyrir fljótandi vindmyllur. Auk þess skiptir botngerðin máli þegar huga þarf að lagningu sæstrengja að vindmyllusvæði.
-
- Á landgrunni Íslands er setþykktin almennt lítil og gera má ráð fyrir að hún sé oftast innan við 100 m að þykkt og stór svæði þar sem setþykktin er jafnvel innan við 10 metrar. Botnfastar vindmyllur eru í flestum tilfellum festar niður með því að reka niður staura eða grafa niður festingar í setlög og hversu djúpt slíkar festingar ná fer eftir stærð vindmylla og hönnun á þeim festingum sem eru notaðar.
-

-
- Kort sem sýna helstu drög landslags og landmótunar á hafsbotni hjálpa til við að afmarka hentug svæði fyrir vindmyllur í sjó. Þau landmótunarform sem huga þarf að og helst ber að varast við staðarval fyrir vindmyllur eru brattar hlíðar, þar sem eru ummerki um neðansjávarskriður, farvegir gruggstrauma og jökulhlaupa, sigdalir og sæfjöll.
-
- Mikilvægt er að skipuleggja og staðsetja vindmyllusvæði á hafi með tilliti til kortlagningar á jarðvá hafsbotnsins. Varast þarf hafsvæði sem þekkt eru fyrir gos- og skjálftavirkni og þar sem neðansjávarskriður eru algengar.
-
- Hugsa þar að öðrum auðlindum hafsbotnsins við skipulagningu svæða undir vindmyllur til að koma í veg fyrir hagsmunaárekstra. Þetta á bæði við um þekktar kortlagðar auðlindir sem og svæði sem rannsóknar- eða nýtingarleyfi hafa verið gefin út fyrir mögulega nýtingu.
-
- Strandsvæði þar sem örar breytingar eiga sér stað eru krefjandi fyrir sæstrengi og mannvirki sem tengjast uppbyggingu á vindmyllugörðum á hafi.
-

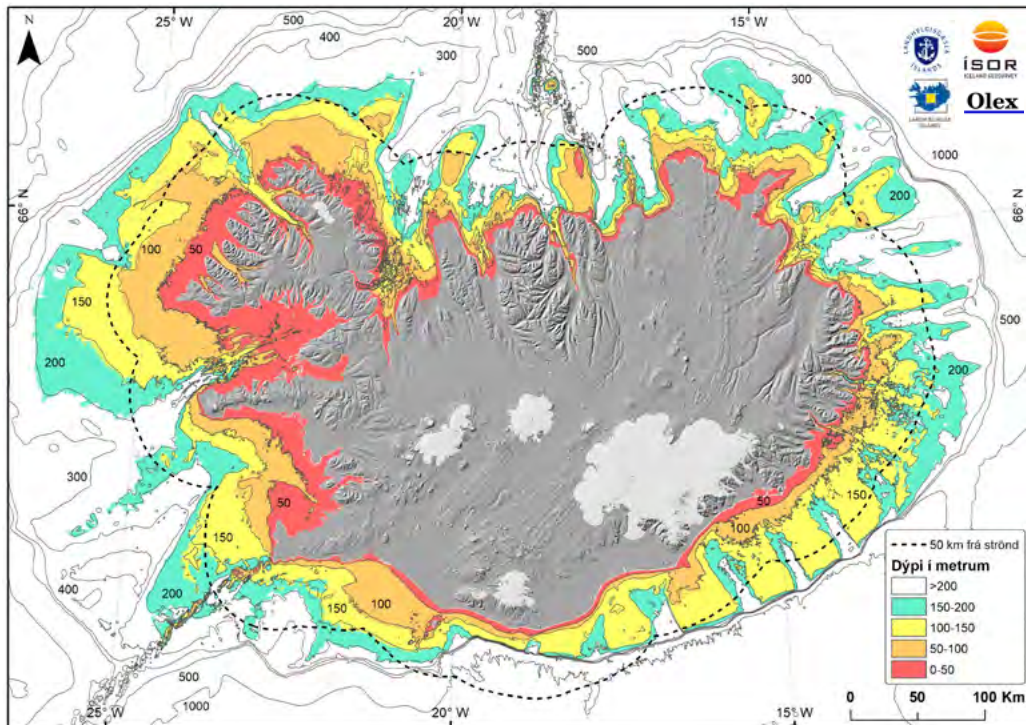
4.2 Sjávardýpi

Nákvæm dýptarkort eru mikilvæg þegar huga skal að staðsetningu vindmylla á hafi auk þess að vera grundvöllur samtúlkunar með öðrum jarðvísindalegum gögnum. Með dýptarkortum getum við flokkað hafsvæði eftir dýptarbilum og áætlað þannig stærð þeirra svæða sem koma til greina fyrir botnfastar og fljótandi vindmyllur. Nákvæm dýptarkort gefa líka upplýsingar um landslag og landmótun hafsbotnsins sem er mikilvægt við staðarval, þ.e. hvort hafsbotninn er sléttur eða með hólum og hæðum, bröttum hlíðum, úfnum hraunum, misgengisstöllum eða djúpum skurðum, svo eitthvað sé nefnt.

Dýptarmiðvið vindmylluframleiðanda fyrir botnfastar vindmyllur er í dag innan við 100 m og fyrir dýpri svæði eru miðað við að nota fljótandi vindmyllur. Þróun vindmylla er hröð og breytast þessi viðmið ört. Í þessari skýrslu var ákveðið skoða sérstaklega þau hafsvæði þar sem sjávardýpi er 200 m og minna. Mynd 10 sýnir dýptarkort af landgrunni Íslands þar sem sjávardýpi hefur verið flokkað í fjögur dýptarbil frá 0-200 m og stærð svæðanna reiknað í ferkílómetrum, en alls eru þau 112.547 km².

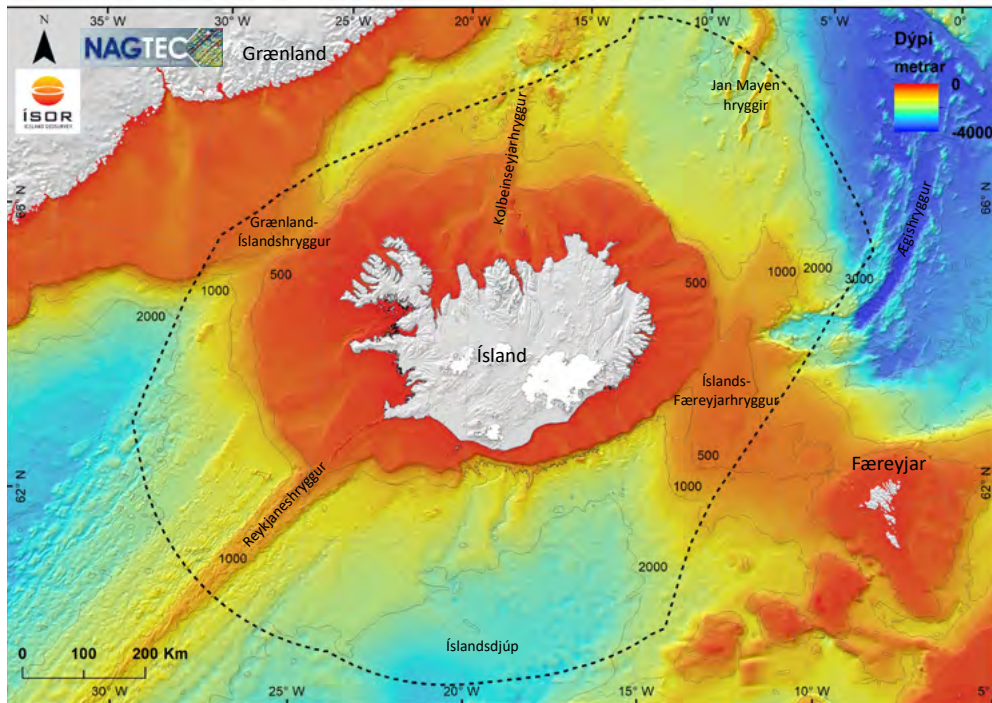
-
- 0-50 m dýpi er 18.105 km²
-
- 50-100 m dýpi er 25.342 km²
-
- 100-150 m dýpi er 35.729 km²
-
- 150-200 m dýpi er 33.371 km²
-

Auk þess var sett inn 50 km viðmiðunarlína frá strandlengju landsins til að sýna það svæði þar sem vindmyllur gætu mögulega sést frá landi (Mynd 10).

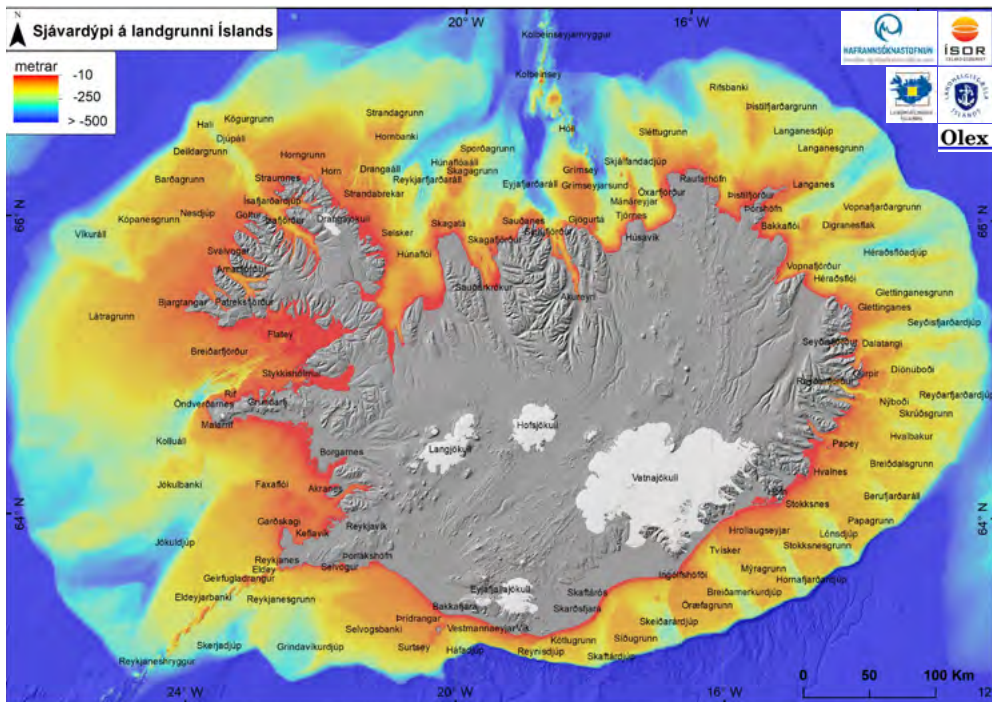


Mynd 10. Dýptarkort af landgrunni Íslands. Svæði sem koma til greina fyrir vindmyllugarða í sjó eru flokkuð í fjögur dýptarbil (sjá skýringar). Auk þess er 50 km viðmiðunarlína frá strönd, sett inn á kortið til sýna þau svæði þar sem vindmyllur myndu mögulega sjást frá landi.

Landsvæði Íslands er alls um 103.000 km² en hafsvæðið frá ströndu út að ytri mörkum efnahagslögsögunnar er um 762.000 km². Umhverfis landið er landgrunn sem þekur alls um 189.000 km² og er jarðfræðilega vel afmarkað við landgrunnsbrún á 300-500 m dýpi. Þar utan við eykst hafdýpi hratt og myndar brattar hlíðar. Landgrunnið er mótað af ísaldarjökli með jökulsorfin djúp sem flest eru í beinu framhaldi af fjörðum og flóum. Mið-Atlantshafshryggurinn sést vel afmarkaður á hafsbotni innan efnahagslögsögu landsins, hann nefnist Reykjaneshryggur suðvestur af landinu og Kolbeinseyjarhryggur liggur norður af landinu. Íslands-Færeyjarhryggur er suðaustan við landið og Grænlands-Íslandshryggur er til norðvesturs. Beint suður af landinu er stórt hafsvæði með miklu dýpi sem kallast Íslandsdjúp og norðaustur af landinu er að finna Jan Mayen hryggina sem eru leifar af gamalli meginlandsskorpu sem klofnaði frá austurströnd Grænlands við opnun Norður-Atlantshafsins (Mynd 11, Mynd 12).



Mynd 11. Hafdýpi umhverfis Ísland. ([29] NAGTEC gagnagrunnur).



Mynd 12. Sjárdýpi og helstu örnefni á landgrunni Íslands.



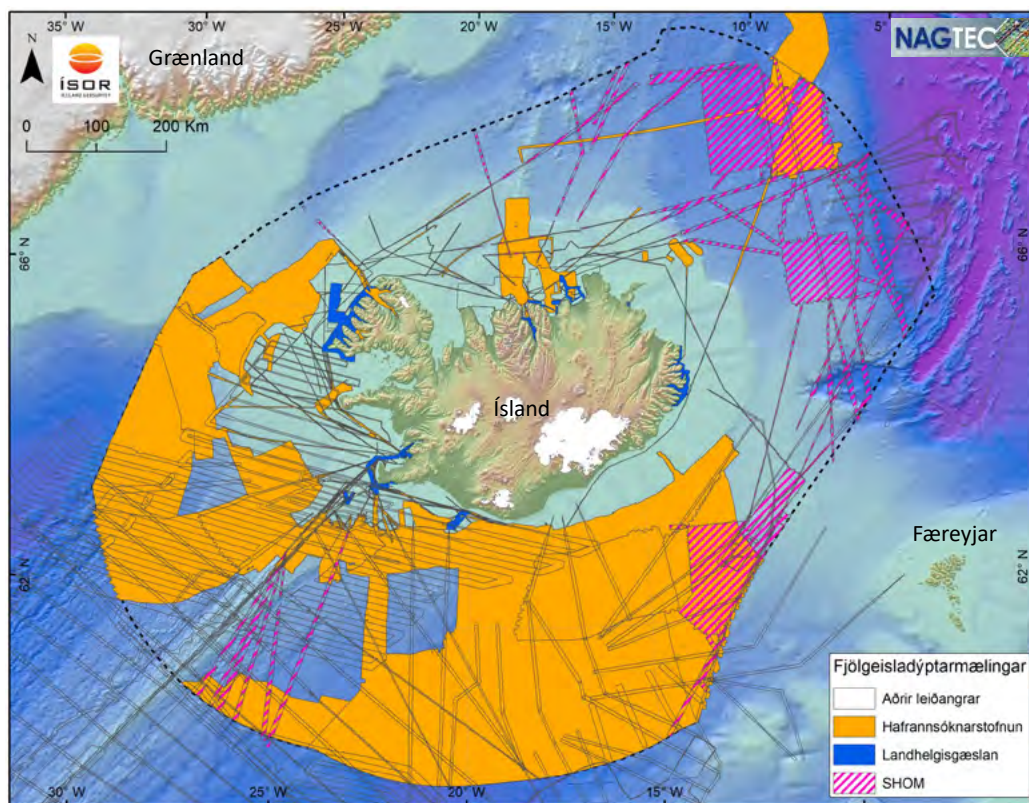
Nokkur fjöldi erlendra dýptarkorta af Norður-Atlantshafinu, og gagnasafna þeim tengd, eru aðgengileg. Ber þar helst að nefna International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), Earth TOPOgraphy (ETOPO), General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), GEOphysical DATA System (GEODAS), European Marine Observation and Data Network (EMODNET) [28] og Northeast Atlantic Geoscience Tectonostratigraphic Atlas (NAGTEC) [29]. Gagnasöfnin byggja að stórum hluta á sömu mælingunum og flest eru kortin í 200-500 m reitun og nýtast vel sem yfirlitskort fyrir stór hafsvæði. Mörg þessara gagnasafna eru reglulega uppfærð með nýjum nákvæmum mælingum þannig að kortin verða nákvæmari með tímanum. Flestir dýptargrunnarnir eru aðgengilegir almenningi á kortasjám og er EMODnet-kortasjáin fyrir dýptarmælingar dæmi um það [28].

Hafrannsóknastofnun og Sjósmælingasvið Landhelgisgæslu Íslands hafa sinnt fjölgeisla-dýptarmælingum við Ísland. Sjósmælingabáturinn Baldur sem Landhelgisgæslan rekur sér um að mæla strandsvæði, innan 100 metra dýpis, en hafrannsóknaskipið Árni Friðriksson sem Hafrannsóknastofnun rekur sér um að mæla hafsvæðin sem liggja dýpra. Á hverju sumri er farið í mælingarleiðangra og hefur tæplega helmingur af flatarmáli efnahagslögsögu landsins verið dýptarmældur með fjölgeislamæli síðan mælingar hófust. Auk þess hefur fjöldi erlendra rannsóknaskipa stundað mælingar með fjölgeislamæli á hafsvæðum landsins á síðustu áratugum (Mynd 13).

Dýptarmælingar með fjölgeislamæli snúast í stuttu máli um að mæla fartíma hljóðbylgju sem endurvarpast af hafsbotni. Þessi fartími er svo umreiknaður í dýpi með aðstoð mælinga á hljóðhraða í sjó á mælingasvæðinu. Fjölgeislamælir sendir frá sér marga hljóðgeisla samtímis undir mismunandi horni. Þannig er hægt að mæla breitt svæði á hverri siglingarlínu. Vegna gríðarlegs fjölda hljóðgeisla sem mælirinn sendir út næst mjög nákvæm mæling á sjávardýpi og lögun hafsbotnsins en það gerir okkur kleift

að kortleggja landslag/landmótun og jarðfræði og meta jarðvá hafsbotnsins. Slíkar mælingar safna einnig upplýsingum um endurvarpsstyrk frá hafsbotni sem gefur góða vísbendingu um botngerð hans.

Í gagnagrunni ÍSOR er varðveitt safn fjölgeisladyptarmælinga sem hefur að geyma gögn frá bæði innlendum og erlendum rannsóknarleiðöngrum. Stærstu gagnasöfnin eru frá Hafrannsóknastofnun, Landhelgisgæslu Íslands og SHOM (Franska sjómælingastofnunin) (Mynd 13). Gæði og upplausn fjölgeisla mælinga í gagnagrunninum er mismunandi en þau geta verið frá 1-2 metrum og upp í 50 metra.



Mynd 13. Yfirlitskort sem sýnir þau svæði sem fjölgeisladyptarmælingar hafa átt sér stað innan efnahagslögsögu Íslands [27].

Enn er nokkuð í land með að til séu nákvæm dýptarkort af öllum hafsvæðum umhverfis landið en eins og sjá má á mynd 13 þá er þéttleiki fjölgeisla mælinganna mestur suður og vestur af landinu. En til að fá sem skýrasta mynd af hafdýpi og lögun landsgrunnins þá hefur verið stuðst við OLEX dýptarmælingagrunninn til að fylla upp í eyðurnar.

OLEX er norskur dýptarmælingabúnaður sem er algengur í fiskiskipum á Íslandi. Það sem gerir OLEX búnaðinn sérstakan er að hann safnar og varðveitir allar dýptarnælingar frá fiskiskipunum í gagnagrunni. Með tímanum verður til mjög þétt net af eingeisla dýptarmælingum og allir sem hafa búnaðinn hafa aðgang að þessum dýptargrunni [30]. ÍSOR ásamt öðrum rannsóknastofnunum hér á landi fengu aðgang að dýptargrunninum í um 100 m upplausn árið 2016 til að nota í vísindalegum tilgangi. ÍSOR hefur notast við OLEX gögnin til að kortleggja jarðfræðifyrirbrigði og landmótun á landgrunni landsins. OLEX dýptargrunnurinn er ekki gallalaus en hann er þó besti heildstæði dýptarmælingagrunnurinn sem til er af landgrunni Íslands.

Af heildarflatarmáli hafsbotsins innan efnahagslögsögu landsins, ~762.000 km², eru ~113.000 km² á innan við 200m dýpi sem gerir um 15 % lögsögunnar. Þessi grunnu hafsvæði eru þau svæði sem helst koma til greina fyrir vindmyllugarða í náinni framtíð með tilliti til hafdýpis. Það þarf þó að huga að ótal þáttum í umhverfinu og lífríkinu þegar velja á svæði fyrir slíka starfsemi sem nánar er rætt um í öðrum köflum.

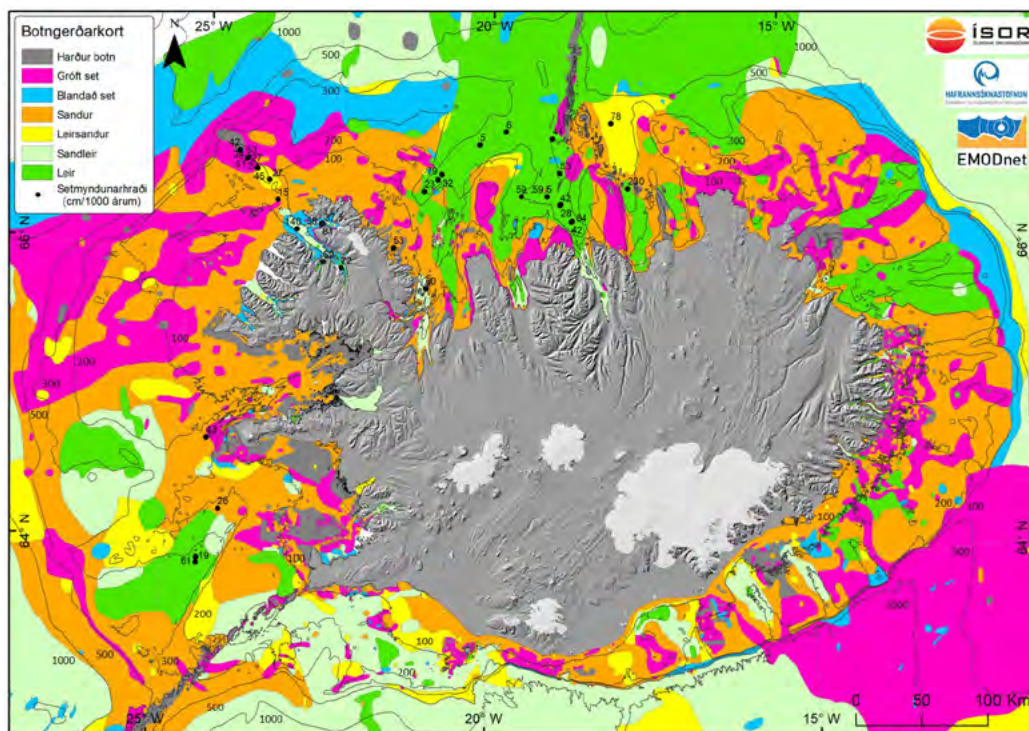
4.3 Botngerð

Við val á hentugu svæði fyrir botnfestar og fljótandi vindmyllur er afar mikilvægt að hafa upplýsingar um botngerð svæðisins þ.e. hvort leir, sandur, mól, stórgrýti eða jafnvel ber klöpp sé á svæðinu. Útfærslur og hönnun á festingum fyrir vindmyllur er mismunandi eftir botngerð bæði til að festa niður botnfestar vindmyllur og til að festa akkeri fyrir fljótandi vindmyllur. Auk þess skiptir botngerðin máli þegar huga þarf að lagningu sæstrengja á og að vindmyllusvæði. Sæstrengir er annaðhvort grafnir ofan í setið eða lagðir á hafsbotninn í tengslum við slíkar framkvæmdir.

Á Mynd 14 má sjá fyrsta heildstæða botngerðarkortið af hafsbotninum umhverfis Ísland ([31] Ögmundur Erlendsson o.fl., 2015; [32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson, 2018; [33] Ögmundur Erlendsson o.fl., 2022). Hafsbotsjarðfræðingar á ÍSOR hafa unnið að kortinu í tengslum við EMODnet-verkefnið í samtarfi við Hafrannsóknastofnun. Áður höfðu fá kort og mjög takmörkuð verið birt af botngerð hafsbotsins, ber þar helst að nefna kort fyrir Faxaflóa ([34] Kjartan Thors, 1978) og Breiðarmerkurdjúp ([35] Boulton og fl., 1988). Kortið sýnir efnisgerð hafsbotsins og kornastærð setsins í sjö botngerðarflokkum (FOLK-setflokkunarkerfið) en miðar einungis við efstu 30 sentimetrana.

Landgrunn Íslands liggur landfræðilega hátt miðað við úthafsbotninn og er víðast hvar þakið setlögum. Efnisgerðin þar er grófare en gerist á úthafsbotninum og eru umtalsverð svæði þakin mól og sandi. Víða eru berar klappir, einkum nærri ströndum og á hinum unga berggrunni á Reykjanes- og Kolbeinseyjarhrygg. Á landgrunninu eru jökulsorfin djúp sem sum eru í beinu framhaldi af fjörðum og flóum. Þessi svæði einkennast af fínu efni s.s leir, eðju eða fínsandi á botngerðarkortinu (Mynd 14). Sterkir sjávarstraumar og vatnsmiklar jökulár hafa einnig haft mikil áhrif á botngerðina á stórum svæðum. Til dæmis er sandur meðfram allri suðurströndinni þótt almennt sé harður botn eða

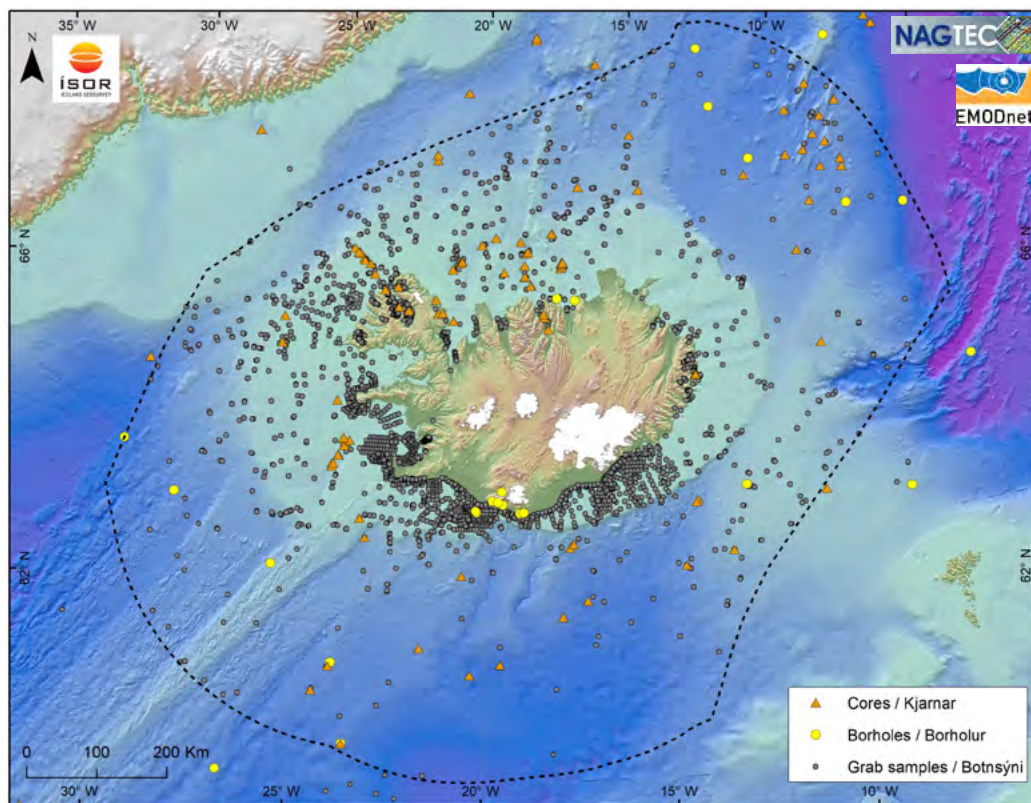
gróft efni grunnt með landinu víðast annars staðar þar sem það liggur fyrir opnu hafi. Á úthafsbotninum utan landgrunnnsins suður og norður af landinu er almennt að finna fínt set en á Grænlands-Íslandshryggnum og á Íslands-Færeyjahryggnum er gróft efni allsráðandi. Það gæti stafað af því að svæðið liggur hátt miðað við úthafsbotninn, botnstraumar hafa þar meiri áhrif en annars staðar og því minna framboð á fínu seti en norðan og sunnan landsins.



Mynd 14. Botngerðarkort (botngerð skipt í sjö flokka) af hafsvæðunum umhverfis Ísland. Kortið er hluti af 1:2.000.000 botngerðarkorti EMOdnet [26, 27 og 32].

Mikilvægt er að hafa í huga þegar botngerðarkortið er skoðað að dreifing, þéttleiki og gæði gagna eru mjög mismunandi eftir svæðum. Rannsóknir á botngerð og sýnataka hafa verið stundaðar allt frá upphafi skipulagðra hafrannsóknna við Ísland og eru skráð um 3300 botngerðarsýni í gagnagrunni ÍSOR (Mynd 15). Við úrvinnslu gagna fyrir botngerðarkort hafði aðeins um helmingur sýnanna verið kornastærðarmæld. Af hinum helmingi sýnanna eru aðeins til lýsingar og ljósmyndir. Auk þess var notast við vídeó upptökur af hafsbotninum til að greina botngerð á tilteknum svæðum. Við túlkun og

vinnslu botngerðarkortsins var einnig stuðst við fjölgeisladyptarmælingar, botnhörku-mælingar, veiðilagskort og fleira til að ákvarða umfang og útlínur mismunandi botn-gerðasvæða.



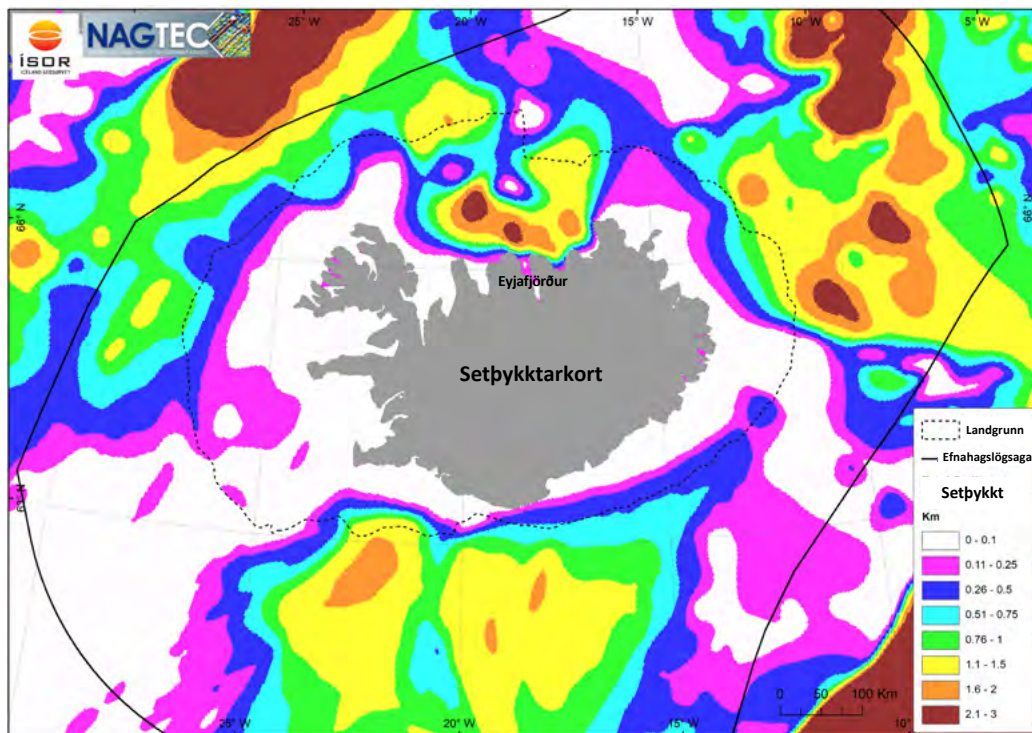
Mynd 15. Staðsetning á botnsýnum, borholum og kjörnum til greininga á botngerð [27 og 33].

4.4 Setþykkt

Botnfestar vindmyllur eru í flestum tilfellum festar niður með því að reka niður staura eða grafa festingar í setlög sem liggja á hafsbotninum (Mynd 9). Hversu djúpt slíkar festingar ná fer allt eftir stærð vindmylla og hönnun á þeim festingum sem eru notaðar.

Á landgrunni Íslands er setþykktin almennt mjög lítil og gera má ráð fyrir að hún sé oftast innan við 100 m og stór svæði þar sem setþykktin er jafnvel innan við 10 metrar (Mynd 16). Vísbendingar eru um meiri setþykkt utar á landgrunninu við landgrunnsbrúnina umhverfis landið en þörf er til að kortleggja það nánar. Norður af Eyja-

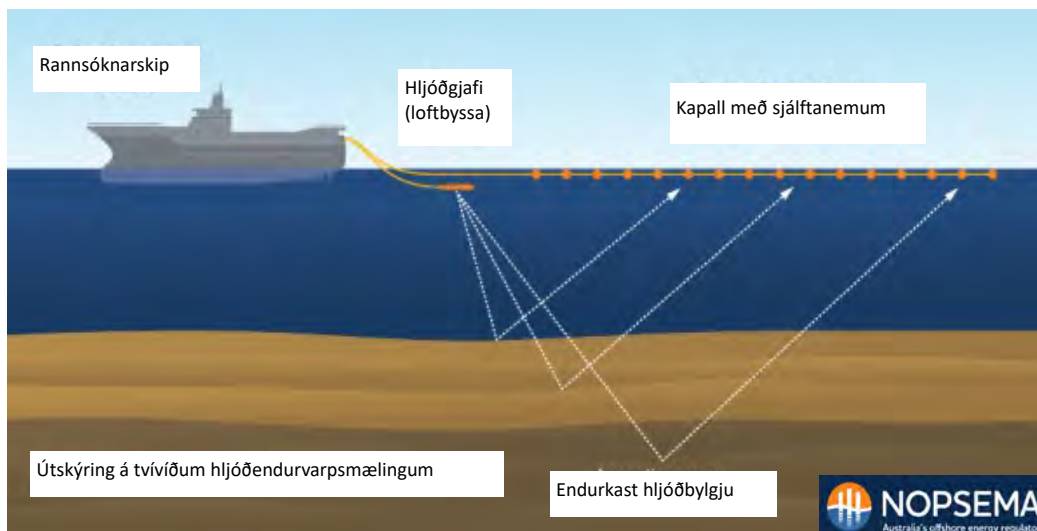
firði er gliðnunarbeltið Eyjafjarðaráll, sem tengist Húsavíkur-Flateyjarmisgenginu í suðri en Kolbeinseyjarhrygg í norðri. Eyjafjarðaráll er þekktur sigdalur sem stafar af gliðnun jarðskorpunnar án eldvirkni sem fyllir í lægðina. Þar af leiðandi hefur set safnast upp og myndar efnismikinn setlagabunka sem er 3-4 km þykkur þar sem mest er ([34] Karl Gunnarsson, 1998). Það er því mikilvægt að huga að frekari rannsóknum sem mæla setþykkt þegar skoða á tiltekin svæði með tilliti til botnfastra vindmylla.



Mynd 16. Setþykktarkort frá NAGTEC verkefninu. Kortið sýnir almennt litla setþykkt á meginhluta landgrunns, eða minna en 100 m [29].

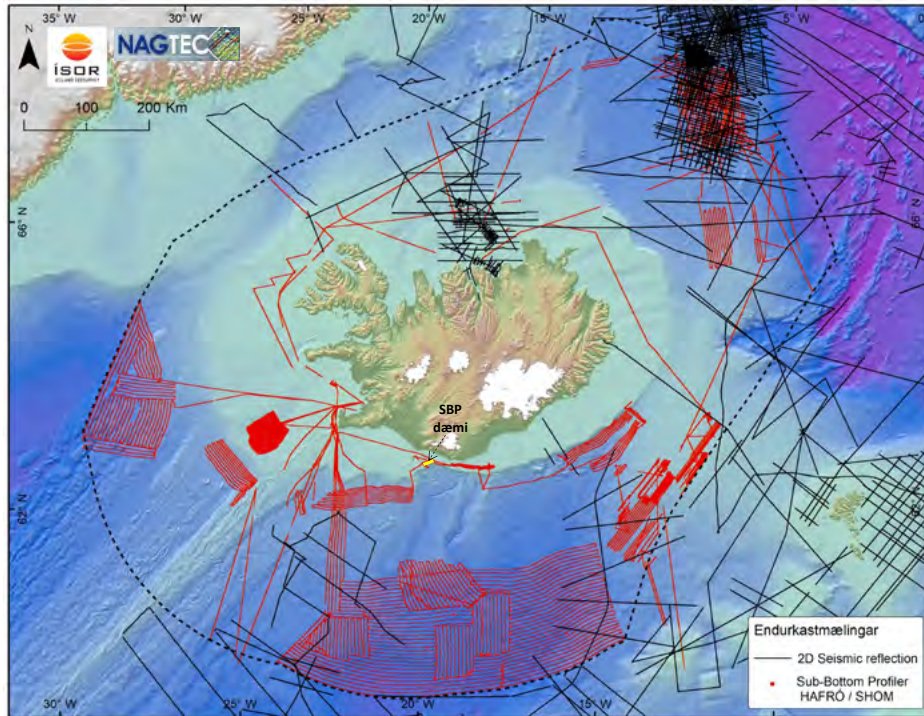
Upplýsingar um setþykkt fást með hljóðendurvarpsmælingum sem eru stundum kallaðar endurkastsmælingar eða jarðlagamælingar. Útbúnaður og mælitæki til að afla slíkra mælinga eru mjög mismunandi eftir tilgangi og umfangi mælinganna. Það er hvort mæla eigi setlög sem eru margir kílómetrar eða aðeins nokkrir tugir metrar að þykkt og svo hefur sjávardýpið einnig áhrif. Til að kortleggja svæði með mikla setþykkt þarf að notast við tvívíðar hljóðendurvarpsmælingar með öflugan hljóðgjafa (loftbyssu) til að hljóðbylgjur nái að ferðast niður í setlögin. Endurvarp hljóðbylgjunnar á sér svo stað

á jarðlagaskilum vegna eðlismuns setlaganna sem orsakast af mismunandi þéttleika og setgerð. Endurvarpið er svo mælt með skjálftanemum sem eru fastir á kapli sem dreginn er á eftir rannsóknarskipinu (Mynd 17). Úrvinnsla á þessum mælingum gefur upp mynd sem sýnir þversnið af jarðlögum á svæðinu sem var mælt. Slíkar mælingar eru dýrar í framkvæmd og hafa aðallega átt sér stað innan íslenskra hafsvæða í tengslum við kolvetnisleit á Jan Mayen hryggnum (Drekasvæðinu) og fyrir norðan landið í Eyjarfjarðarál (Mynd 18). Auk þess hefur slíkra mælinga verið aflað í hafréttarlegum tilgangi á Íslands-Færeyjarhrygg og í Íslandsdjúpi.

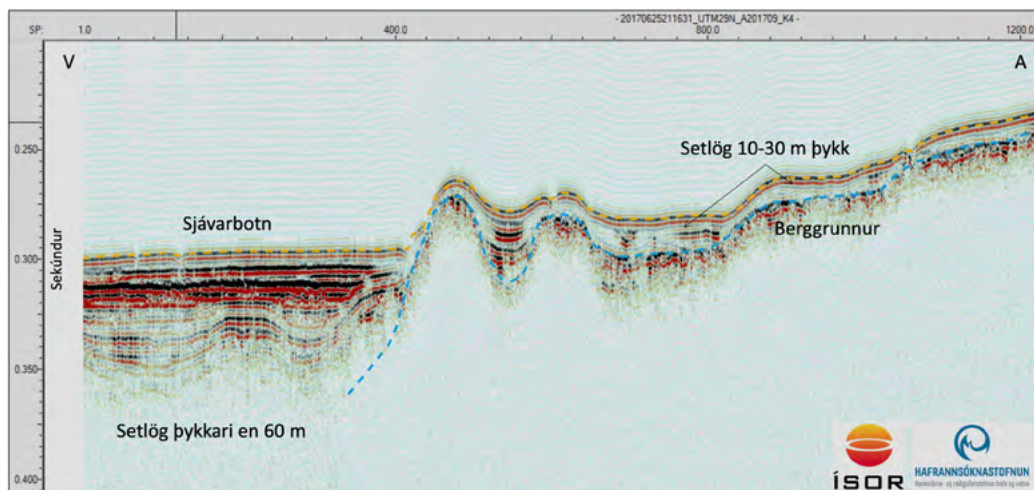


Mynd 17. Myndræn útskýring á tvívíðum hljóðendurvarpsmælingum [37].

Í gegnum árin hefur ÍSOR varðveitt og byggt upp gagnagrunn með mismunandi gerð hljóðendurvarpsmælinga sem aflað hefur verið á hafsvæðunum umhverfis landið. Á mynd 18 má sjá staðsetningu tvívíðra endurvarpsmælingasem aflað hefur verið af erlendum rannsóknarskipum á síðustu áratugum og svo jarðlagamælingar (Sub-bottom profiler - SBP) sem Hafrannsóknastofnun og SHOM (Franska sjómælingastofnunin) hefur mælt samhliða fjölgeisladyptarmælingum. SBP jarðlagamælingar gefa upplýsingar um uppbyggingu jarðlaga nokkra tugi metra ofan í setlögin. Slíkar mælingar duga því oft til kortleggja setþykkt á landgrunni Íslands eða til að staðfesta að þykk setlög séu til staðar. Dæmi um SBP jarðlagamælingu suðaustur af Vestmannaeyjum má sjá á mynd 19.



Mynd 18. Kortið sýnir staðsetningar á mismunandi gerðum hljóðendurvarpsmælinga á hafsbotninum umhverfis landið [27].

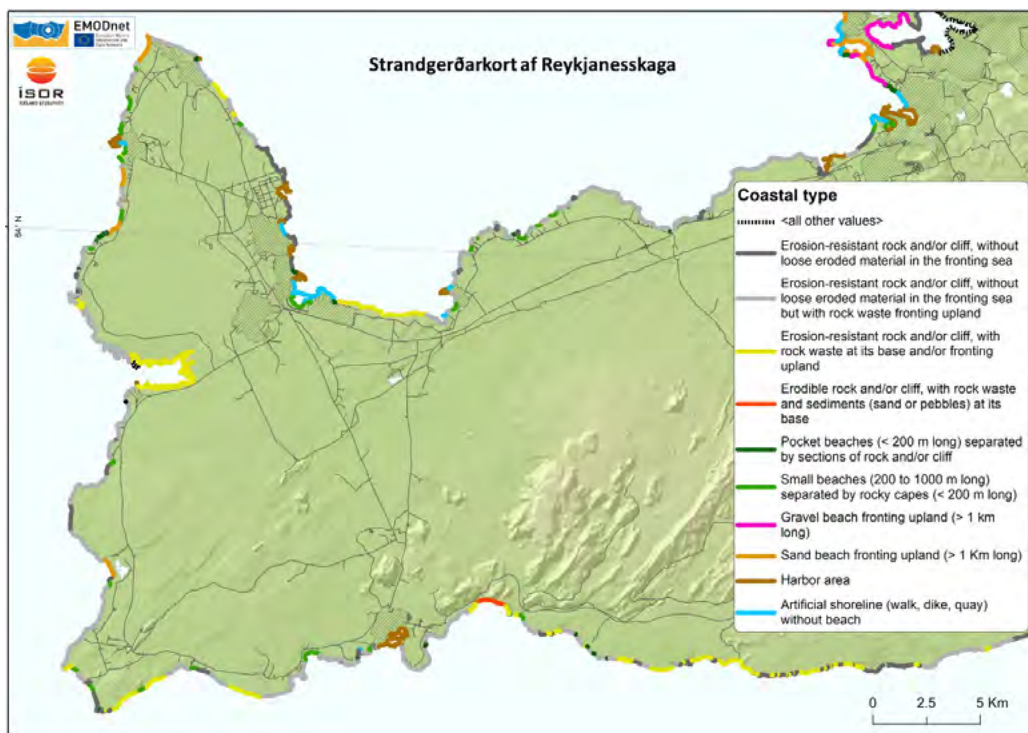


Mynd 19. Dæmi um SBP (sub-bottom profiler) jarðlagasnið sem mælt var af Hafrannsóknastofnun, suðaustur af Vestmannaeyjum (Mynd 18). Á miðju jarðlagasniðinu má sjá tvo hóla sem grafnir eru að hluta í set, austur af þeim er setþykktin um 10-30 m og sést vel í berggrunninn sem liggur þar undir. Fyrir vestan hólana er setþykktin meiri en 60 m en þar ná mælingarnar ekki niður í berggrunninn til að mæla heildar setþykkt á svæðinu.

4.5 Strandgerð og strandhegðun

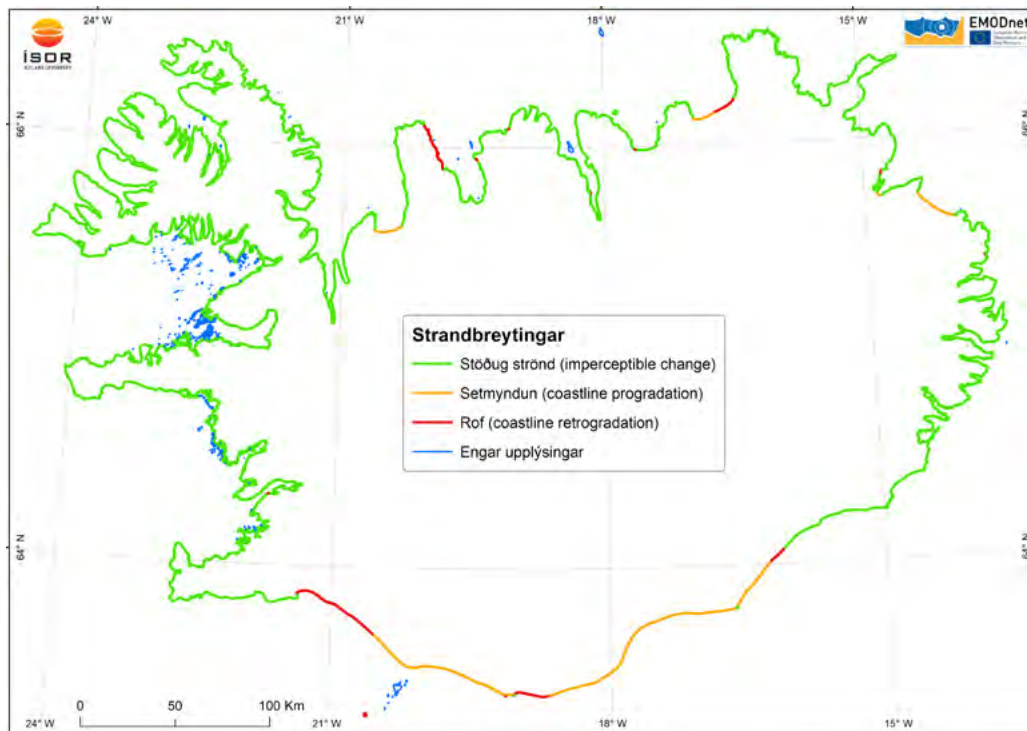
Kortlagning á strandgerð og strandbreytingum hefur mikla þýðingu fyrir öryggi sjófaranda og skipulag vegna framkvæmda við lagningu sæstrengja og annarra mannvirkja sem fylgja vindmyllum á hafi.

Strandgerðarkort sýna efnisgerð strandarinnar, t.d. hvort þar er sandströnd, malarströnd eða klettaströnd. Strandgerðarkort hafa verið unnin fyrir hluta landsins eftir skilgreiningum og leiðbeiningum EMODnet-verkefnisins. Strandgerðarkort eru einnig útbúin með lífríki og vistkerfi í huga. Í því sambandi ber að nefna kort Nátturufræðistofnunar Íslands yfir fjöruvistgerðir umhverfis landið [36]. Ekki er til heildstætt strandgerðarkort af Íslandi en dæmi um svæði þar sem strandgerð hefur verið kortlögð að hluta er Reykjaneskagi (Mynd 20). Úrvinnsla strandgerðarkorta fer að mestu leyti fram með túlkun ljósmynda og loftmynda.



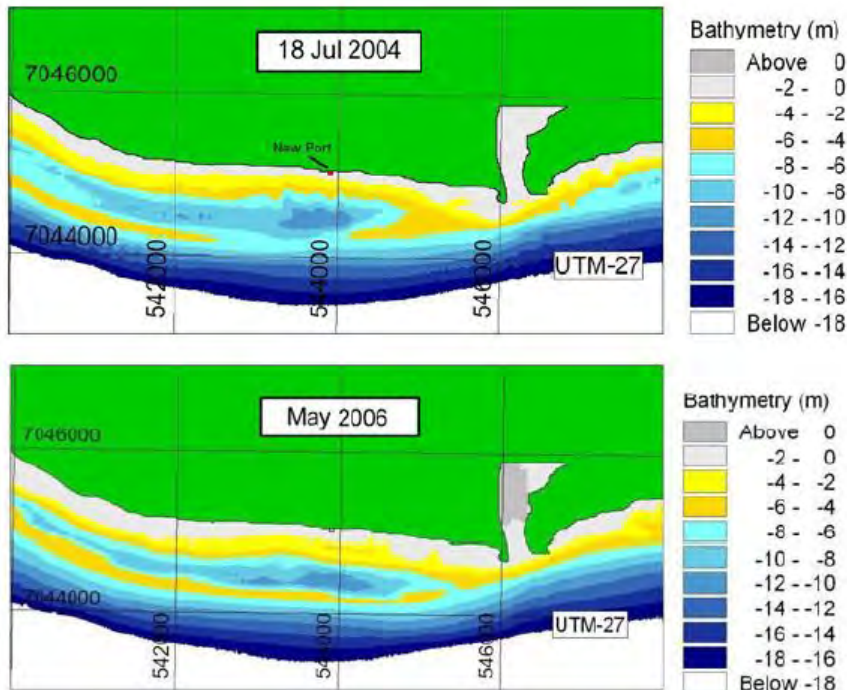
Mynd 20. Strandgerðir á Reykjaneskaga unnið eftir flokkun og skilgreiningu EMODnet verkefnisins [26 og 32].

Strandhegðunarkort sýnir stöðuleika og breytingar á ströndum yfir ákveðið tímabil, s.s. ár eða áratugi. Á Mynd 21 sjást þau svæði þar sem framgangur eða rof hefur átt sér stað á strandsvæðum á síðastliðnum áratugum á öllu landinu ([39] Skúli Víkingsson, 2016). Svæði þar sem mikla breytingar eiga sér stað á frekar stuttum tíma gætu reynst óhentug fyrir sæstrengi og önnur mannvirki sem tengjast uppbyggingu á vindmyllugörðum á hafi.



Mynd 21. Kortið sýnir strandhegðun svæða á síðustu áratugum. Bæði þar sem rof strandar hefur átt sér stað og þar sem strönd hefur gengið fram vegna setmyndunar [26 og 32].

Hafsvæði undan suðurströnd Íslands er nærtækt dæmi þar sem stórfelldur flutningur á seti raskar undirlaginu (Mynd 22). Sandflutningur utan við Landeyjahöfn og setmyndun við hana er viðvarandi vandamál sem kallar eftir dýpkunarþörf um ókomin ár fyrir höfnina. Fyrri rannsóknir vanmátu verulega setmyndunina þar og dýpkunarþörf á svæðinu auk þess að komið hefur í ljós að gæta þarf að aðstæðum við lagningu strengja. Í ljósi þessa er líklegt að uppbygging vindmyllugarðs sunnan við land, þar sem setmyndun er mikil, yrði dýrari og áhættumeiri en þar sem sjávarbotn er stöðugur. Ljóst er að leggja þyrfti í umfangsmiklar rannsóknir áður en farið væri í slíkar framkvæmdir við suðurströndina.

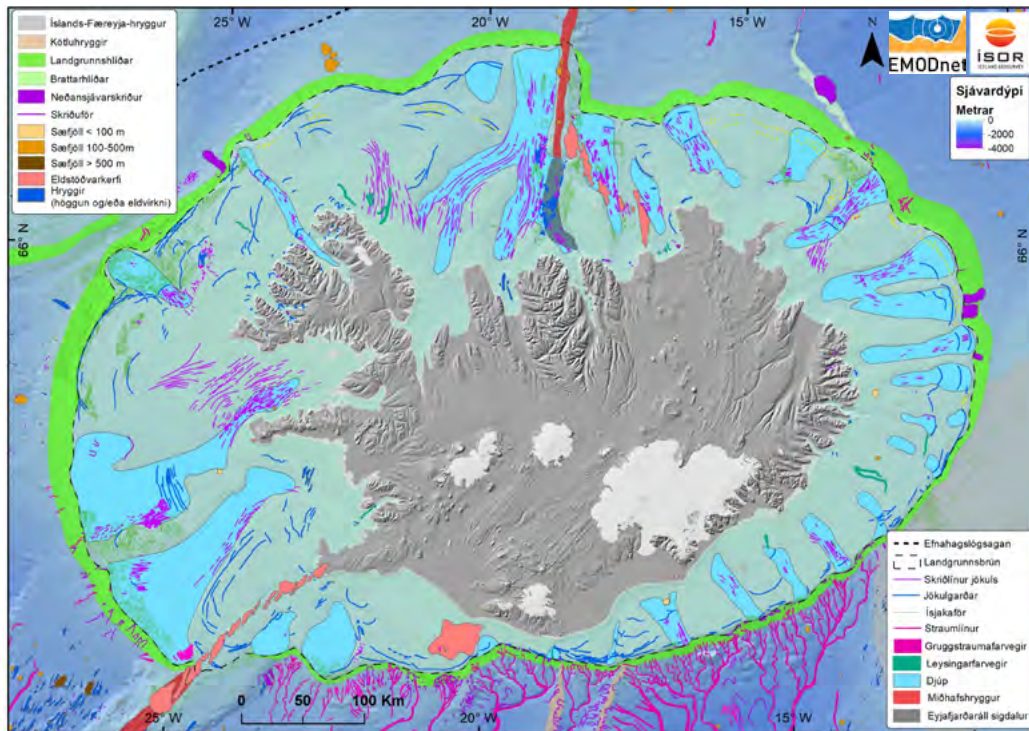


Mynd 22. Samanburður á niðurstöðum dýptarmælinga við Landeyjarhöfn (júlí 2004 og maí 2006) sem sýna skýrt hve miklar hreyfingar eru á seti á svæðinu (Mannvit, Vatnaskil og LVRS Consultancy (2020), (byggt á gögnum frá DHLgroup) [40].

4.6 Landmótun

Kort sem sýna helstu drætti landslags og landmótunar á hafsbotni hjálpa til við að afmarka hentug svæði fyrir vindmyllur í sjó. Þau landmótunarform sem huga þarf að og helst ber að varast eru brattar hlíðar, þar sem eru ummerki um neðansjávarskriður, farvegir gruggstrauma og jökulhlaupa, sigdalir og sæfjöll.

Landgrunn Íslands er breiðast vestur af landinu, um 160 km en mjóst við suðurströndina suður af Mýrdalsjökli, um 15 km. Svæðið liggur landfræðilega hátt miðað við úthafsbotninn og er víðast hvar þakið setlögum. Á landgrunninu eru jökulsorfin djúp sem sum eru í beinu framhaldi af fjörðum og flóum og víða má sjá ummerki um straumlínur og jökulgarða sem ísaldarjökullinn hefur mótað (Mynd 12). Eldstöðvakerfi neðansjávar og virki Mið-Atlantshafshryggurinn eru merkt á kortið ásamt sigdalnum Eyjafjarðarál. Brattar og háar hlíðar liggja út af landgrunnsbrúninni og víða er þar að finna ummerki um neðansjávarskriður og virka gruggstraumafarvegi (Mynd 23).

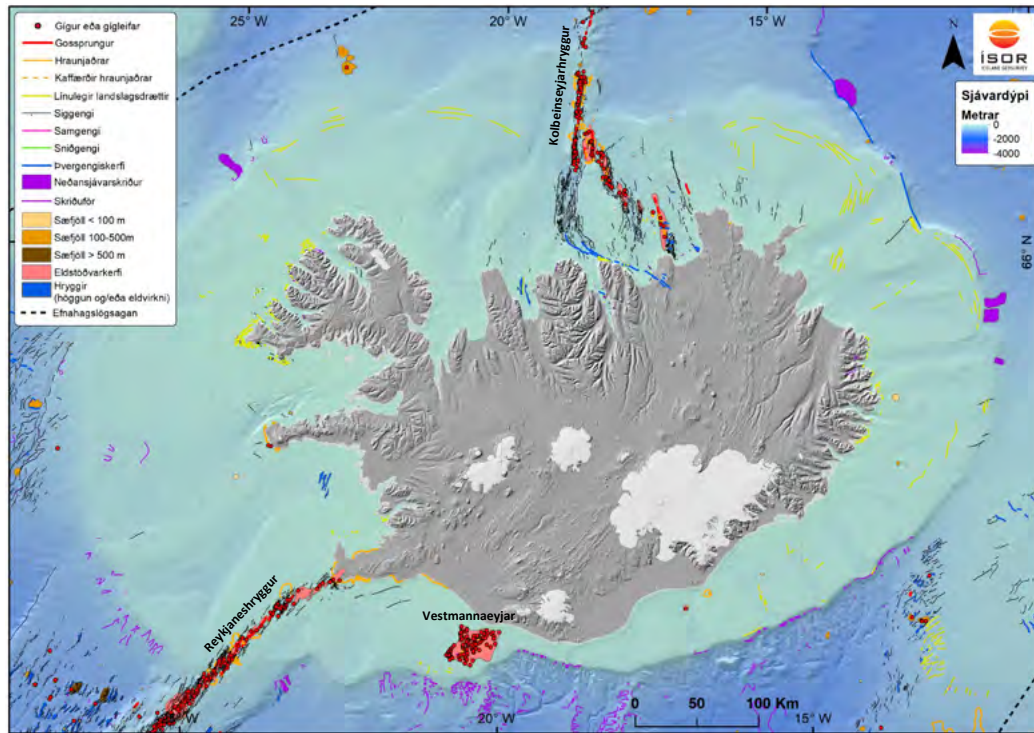


Mynd 23. Landmótunarkort sem unnið hefur verið sem hluti af EMODnet-verkefninu [26, 27 og 32].

4.7 Jarðvá

Mikilvægt er að skipuleggja og staðsetja vindmyllusvæði á hafi með tilliti til jarðvár á hafsbotsins. Þau hafsvæði sem liggja í grennd við svæði sem eru þekkt fyrir eldvirkni, öfluga jarðskjálfta og neðansjávarskriður, verða að teljast varasamur kostur fyrir vindmyllugarða

Jarðfræðileg könnun hafsbotsins með fjölgeisla mælingum hefur gert mögulegt að kortleggja ýmis jarðfræðileg fyrirbrigði sem hjálpa til við mati á jarðvá. Stór hluti landgrunnins er þó ókortlagður með tilliti til nákvæmra fjölgeisla mælinga og endurspeglast það í kortlögðum svæðum. Jarðfræðileg fyrirbrigði sem hafa verið kortlögð og finna má á jarðvarkorti ÍSOR (Mynd 24) eru eldstöðvarkerfi, gossprungur og aðrir gígar (frá sögulegum og forsögulegum tíma), höggun, hraunjaðrar í sjó, neðansjávarskriður, berghlaup (bæði hlaup með upptök neðansjávar og þau sem hlaupið hafa af landi og út í sjó) og skjálftavirkni ([32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson, 2018).



Mynd 24. Jarðvákort af landgrunni Íslands [24, 25 og 30].

4.7.1 Eldvirkni

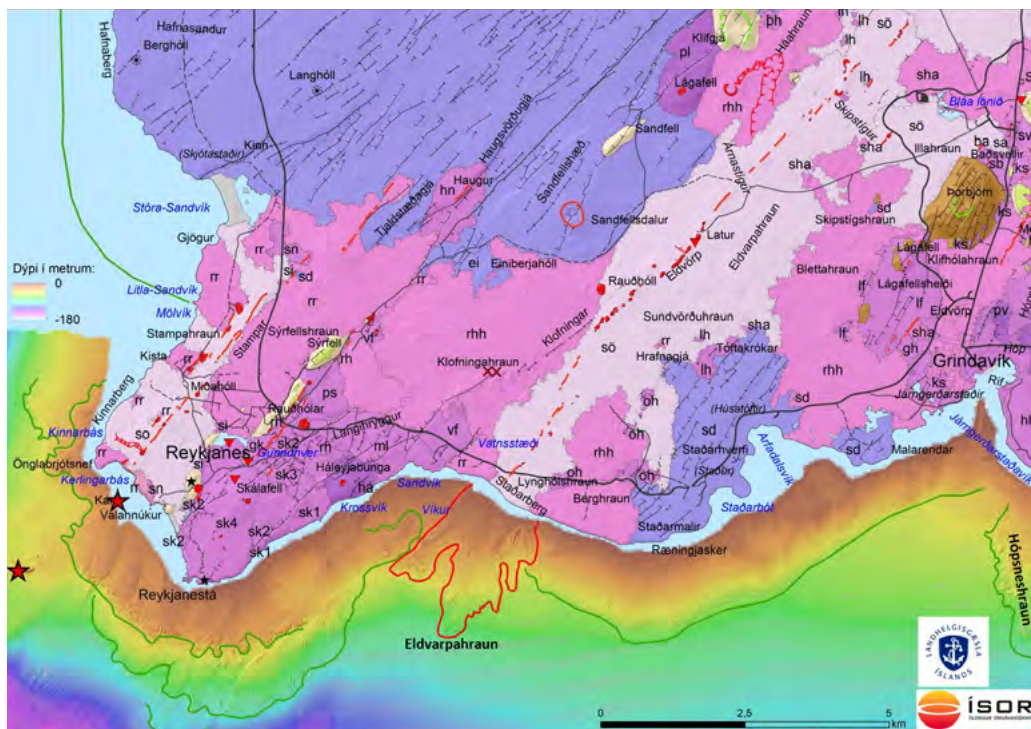
Gosstöðvum er skipt í tvennt eftir aldri þ.e. frá sögulegum eða forsögulegum tíma. Vitað er um 16 gos í sjó síðan um 1200 e.Kr., flest út af Reykjanesi, og tekist hefur að staðsetja þau flest ([41] Sigurður Þórarinnsson, 1965, [42] Ármann Höskuldsson o.fl. 2013). Ekki verður komið tölu á forsögulegu gosin. Um 650 gígar og 250 gossprungur hafa auk þess verið kortlögð. Gígarnir eru flestir tengdir suðurenda eystra gosbeltisins sem liggur í sjó við Vestmannaeyjar, Reykjanesrýgg og Kolbeinseyjarhrygg. “Ungleg sæfjöll og gígar finnast einnig langt frá flekamótum og eru hugsanlega vitnisburður um svokallaða innflekavirkni. Hraunjaðrar í sjó eru tvenns konar, þ.e. hraun sem hafa runnið af landi í sjó fram og svo hraunjaðrar sem myndast hafa við neðansjávareldgos ([32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson, 2018).

Sem dæmi má nefna að snemma á 13. öld urðu neðansjávargos úti fyrir Reykjanesi og hraun runnu á landi bæði á Reykjanesi og við Svartsengi, þ.e. Reykjaneseldar 1210-1240. Eitt þessara hrauna var Eldvarpahraunið vestan Grindavíkur. Eldvörpin ná þar nánast

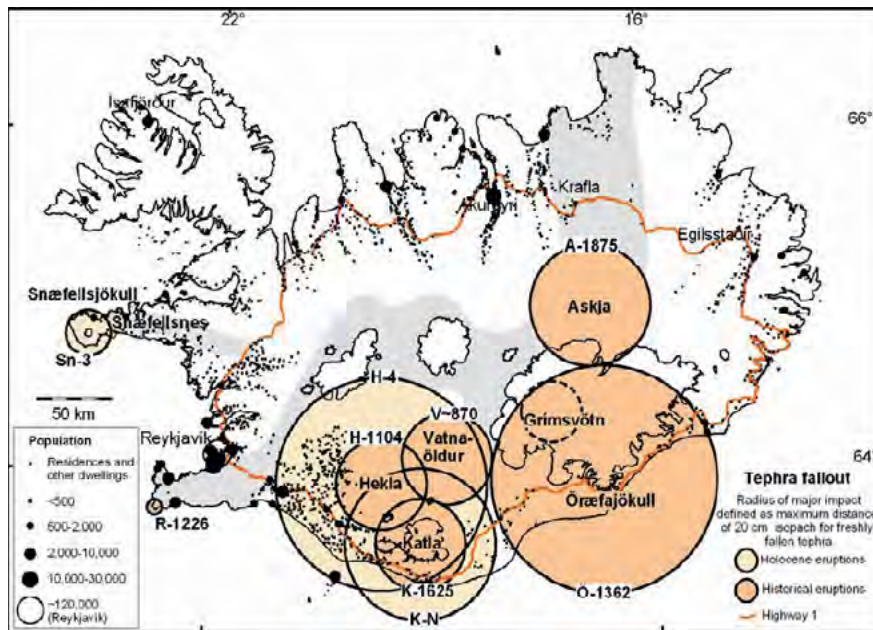


alveg suður að ströndinni við Staðarberg og þar rann hraun í sjó. Á fjölgeisladyptarmælingum Landhelgisgæslunnar sést að hraunið hefur ekki numið staðar við ströndina heldur runnið 2,7 km neðansjávar og myndar þar greinilegar tungur úr úfnu hrauni allt niður á 90 m dýpi (Mynd 25). Annar þáttur sem mikilvægt er að hafa í huga er áhrif gjóskufalls og möguleg útbreiðsla á gjósku frá helstu megineldstöðvum landsins og vegna eldgosa í sjó (Mynd 26).

Það er því mikilvægt að huga vel að jarðvá áður en lagt er í framkvæmdir við strendur og í sjó á eldvirkum svæðum.



Mynd 25. Jarðfræðikort af Reykjanesi ásamt eldvörpum, hraunjöðrum og höggun úti fyrir ströndinni. Grænar línur sýna gamla hraunjaðra. Rauða línan sýnir jaðar Eldvarparhrauns. Rauðar stjörnur eru söguleg neðansjávargos. Frekari kortaskýringar sjá www.jardfraedikort.is [27].



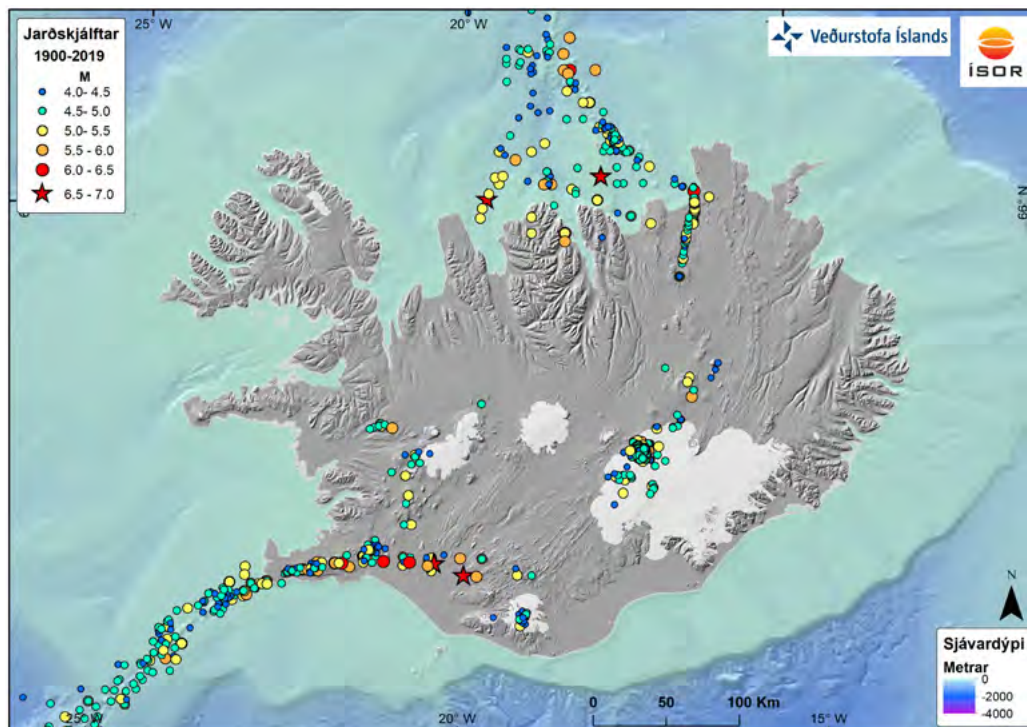
Mynd 26. Kortið sýnir hringi utan um eldstöðvar þar sem gjöskufall getur orðið 20 cm eða meira í miklum sprengigösum. Stærð hvers hringar ákvarðast af mestu fjarlægð til 20 cm jafnþykktarlínu fyrir stærstu þekkt gos í hverri eldstöð á sögulegum og forsögulegum tíma ([43] Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2008).

4.7.2 Jarðskjálftar

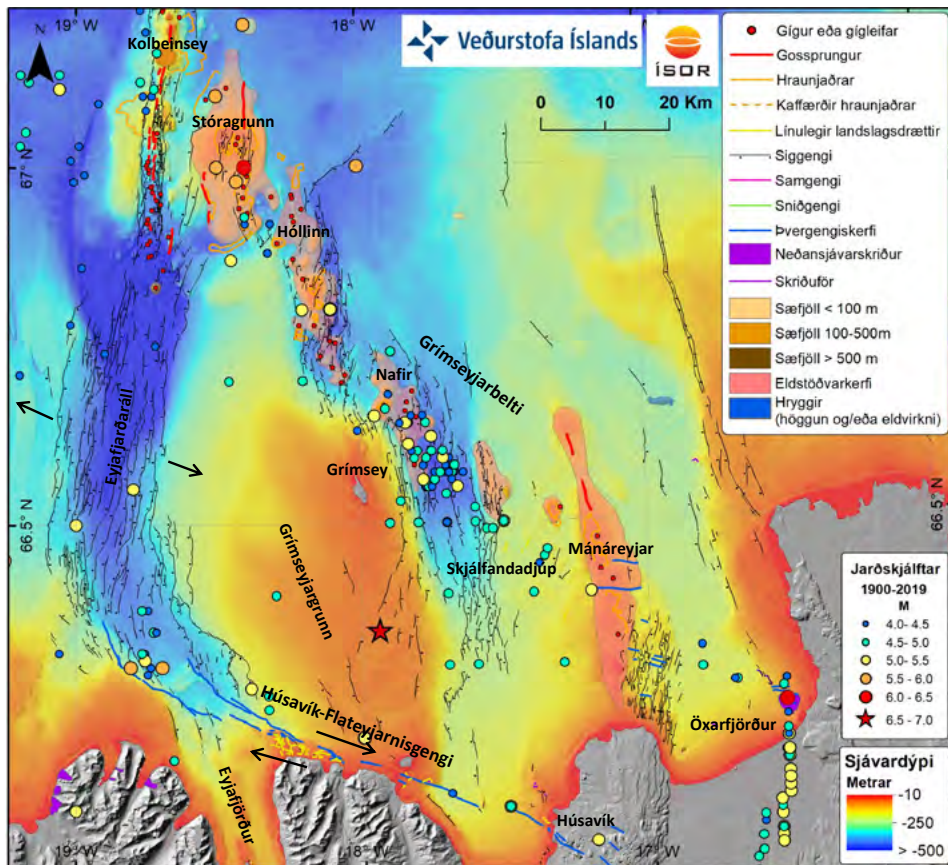
Jarðskjálftavirkni á Íslandi skýrist af legu landsins á virka Mið-Atlantshafshryggnum. Hryggurinn markar flekaskil þar sem tveir jarðskorpuflekar reka í sundur hvor frá öðrum, Ameríkuflekinn annars vegar og Evrasíuflekinn hins vegar. Um hrygginn á sér stað gliðnun sem nemur um það bil 2 cm á ári. Á Mynd 27 sést vel hvernig jarðskjálftar dreifast í megindráttum eftir flekaskilunum. Þar sem Reykjaneshryggur kemur inn á land við Reykjnestá, þaðan sem hann hliðrast til austurs um gosbelti Reykjanesskagans að Hengilsvæðinu. Þar er þrípunktur, þ.e. hluti gosbeltisins kvíslast til norðausturs og kallast þar vestra gosbeltið en annar angur þess liggur til austur um Suðurlandsbrotabeltið að eystra gosbeltinu og fer þaðan þvert yfir landið með sveigju innundir vesturhluta Vatnajökuls, norður í Kelduhverfi við Öxarfjörð. Þaðan hliðrast gosbeltið um Tjörnesbrotabeltið, sem er svo kallað þverbrotabelti og samanstendur í meginatriðum af Grímseyjar gos- og rekbeltinu og Húsavíkur-Flateyjar misgenginu, til norðvesturs að Kolbeinseyjarhrygg (Mynd 28).



Á meginhluta flekaskilanna, þar sem opnun eða gliðnun er ríkjandi hreyfing, eru eldvirk svæði. Jarðskjálftar eru þar algengir en þeir fara sjaldan yfir stærðina 5,5. Þar sem hryggurinn hliðrast til, eins og á þvergengissvæðunum á Suðurlandi og Norðurlandi, eru jarðskjálftar tíðari en á gliðnunarsvæðunum og geta orðið stærri, náð stærðinni 7 og jafnvel ríflega það. Undir norðvestanverðum Vatnajökli er möttulstrókur og marka kröftugar jökulhuldar eldstöðvar á svæðinu miðju heita reitsins.



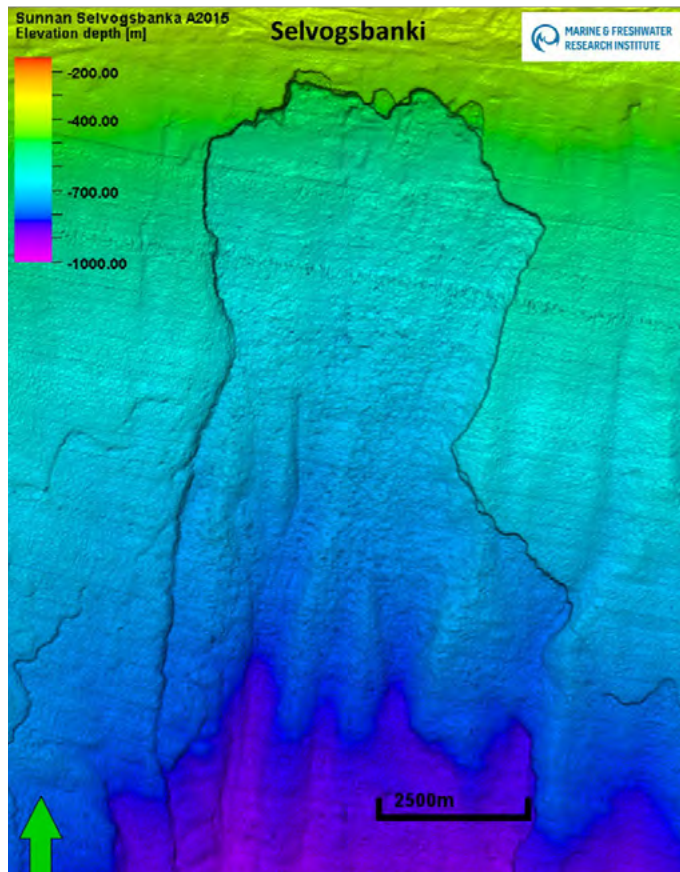
Mynd 27. Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu jarðskjálfta stærri en 4 M, yfir 119 ára tímabil (1900-2019) ([44] Kristján Jónasson o.fl., 2021).



Mynd 28. Jarðskjálftavirkni á Tjörnesbrotbeltinu yfir 119 ára tímabil (1900–2019). Aðeins eru sýndir skjálftar stærri en 4 M ([44] Kristján Jónasson o.fl., 2021). Á Tjörnesbrotbeltinu eru víða ummerki unglegrar eldvirkni og jarðskorpuhreyfinga, svo sem móbergshryggir, misgengi og sprungur með norður-suður stefnu sem teygja sig langt norður á landgrunnið ([45] Sigríður Magnúsdóttir o.fl. 2015; [32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson, 2018).

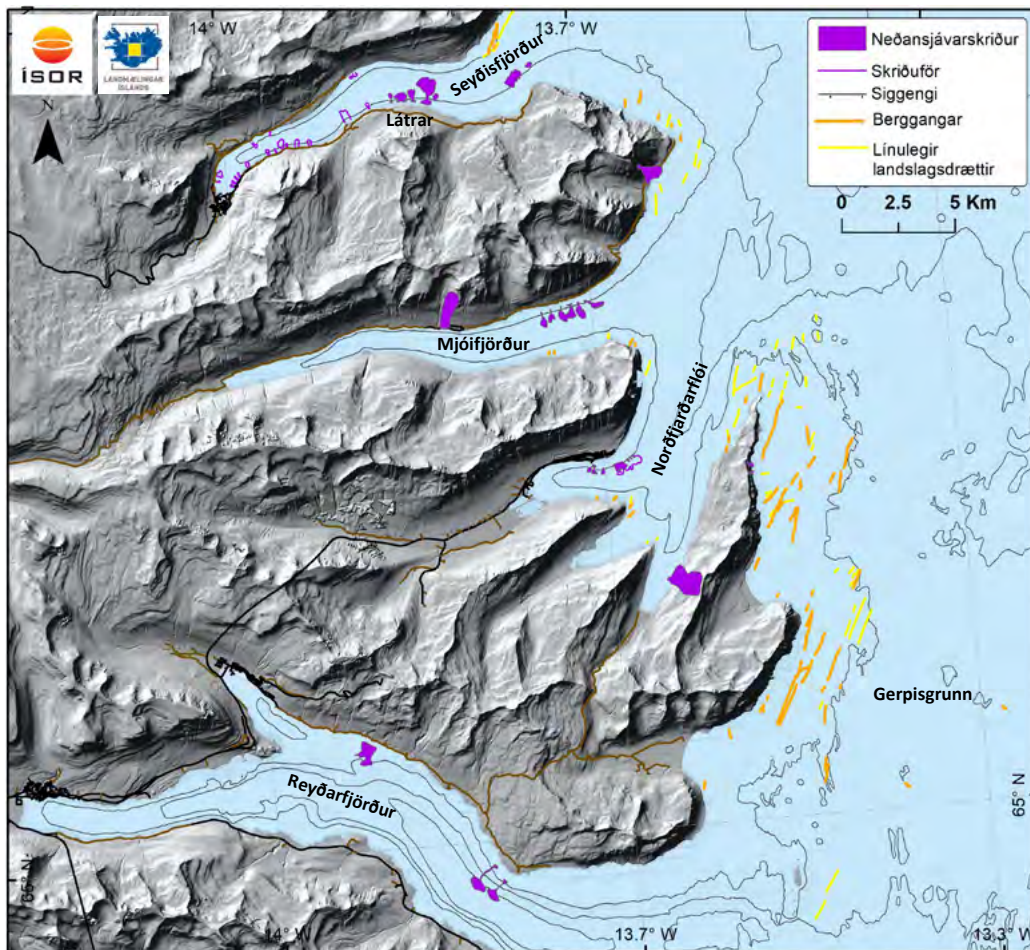
4.7.3 Skriður

Litlar rannsóknir hafa verið gerðar á neðansjávarskríðum umhverfis Ísland en slíkar skriður hafa orðið inni í fjörðum, í landgrunnshlíðunum og út á Íslands-Færeyjahryggnum. Stærstu skriðurnar er að finna í landgrunnshlíðunum úti fyrir Suður- og Austurlandi. Þar hafa miklar efnisfullur losnað og skriðið hátt í 20 km frá upptökum sínum og þekja yfir 100 km² svæði (Mynd 29).

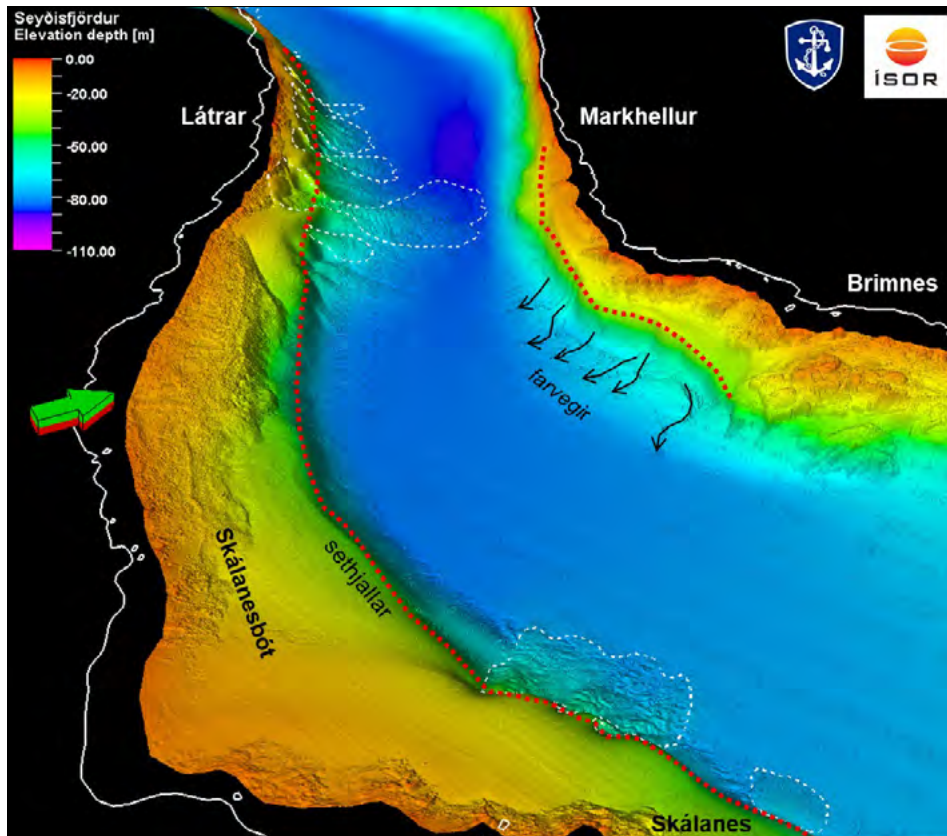


Mynd 29. Skriðufar eftir stóra skriðu sem liggur við landgrunnsbrúnina undan Selvogsbanka, suðvestur af Vestmannaeyjum. Skriðufarið er um 5 km á breidd og yfir 15 km á lengd ([46 og 47] Ögmundur Erlendsson og fl., 2023).

Í mörgum fjörðum víða um land má sjá greinileg ummerki um neðansjávarskriður (Mynd 30). Heimildir eru þó ekki fyrir hendi um að slíkir atburðir hafi gerst á sögulegum tíma. Vel þekkt er að skriður sem þessar geta komið af stað flóðbylgjum (tsunami) sem ferðast geta langar vegalengdir, valdið miklu tjóni þar sem þær skella á landi og hættu fyrir sjófarendur ([48] Ögmundur Erlendsson o.fl., 2022). Þar sem neðansjávarskriður hafa fallið í fjörðum er ákveðin vísbending um óstöðugar hlíðar og er hugsanlegt að slíkir atburðir geti endurtekið sig, með mögulegri hættu á flóðbylgju. Skriðurnar skiptast í tvo flokka, þ.e. skriður sem fallið hafa af landi í sjó fram og skriður sem fallið hafa úr óstöðugum sethjölum neðansjávar (Mynd 31).



Mynd 30. Kortið sýnir kortlagðar skriður á Austfjörðum. Firðirnir eiga það sameiginlegt að þar má sjá greinileg ummerki um neðansjávarskriður og skriður sem fallið hafa af landi og teygt sig langt út í sjó ([46 og 47] Ögmundur Erlendsson og fl., 2023).



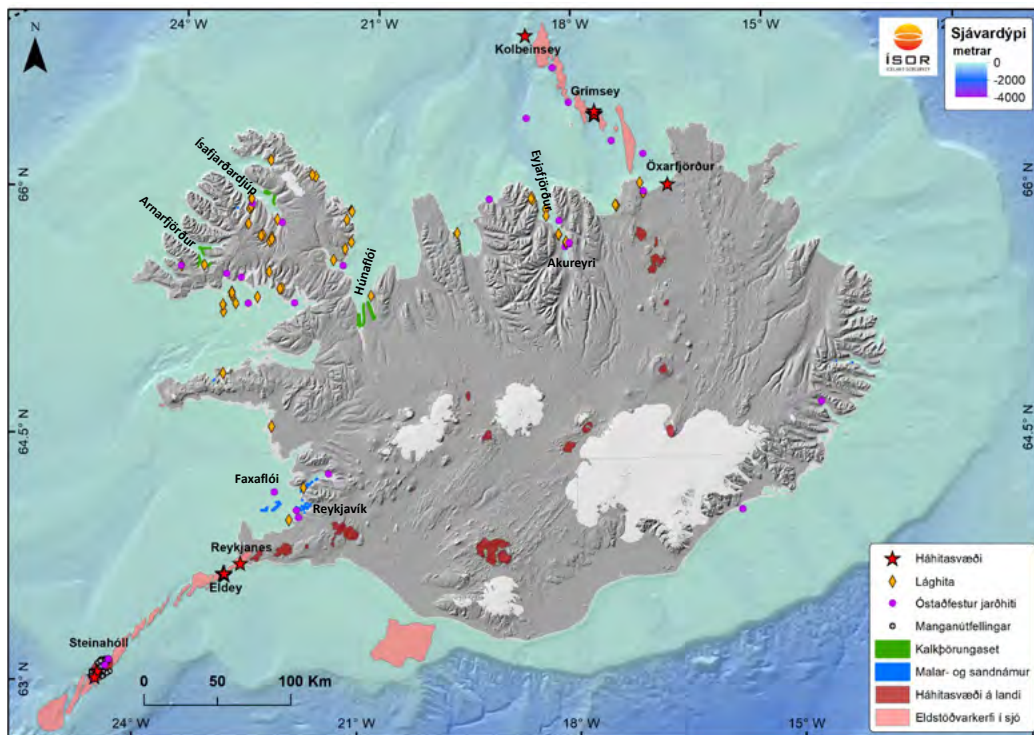
Mynd 31. Túlkun fjölgeisladyptarmælingum LHG af Seyðisfirði. Horft inn eftir firðinum þar sem sjá má ummerki um fjölda skriðna sem afmarkaðar eru með hvítum punktalínu. Sethjallar eru áberandi, brúnir þeirra eru afmarkaðar með rauðri punktalínu. Svartar örvar sýna farvegi í hlíðum sethjallanna norðanvert í firðinum ([48] Ögmundur Erlendsson og fl., 2022).

4.8 Auðlindir

Mikilvægt er að huga að auðlindum hafsbotnsins við skipulagningu svæða undir vindmyllur til að koma í veg fyrir hagsmunaárekstra. Þetta á við um þekktar kortlagðar auðlindir sem og svæði sem rannsóknar- eða nýtingarleyfi hafa verið gefin út fyrir.

Þekking á auðlindum hafsbotnsins umhverfis landið er takmörkuð og þörf er á frekari rannsóknum og ítarlegri kortlagningu. Hafsbotninn hefur að geyma marga jarðhitastaði og mikið magn af lausum jarðefnum sem verða mikilvægari í framtíðinni. Á Mynd 32 eru

kortlagðar þekktar auðlindir á hafsbotni landsins. Þar eru merktir inn jarðhitastaðir í sjó, bæði háhita- og lághitastaðir ([49] Jón Benjamínsson, 1988; [50] Árni Hjartarson og fl., 2020). Í tengslum við efnistöku á hafsbotni eru merktar inn virkar malar- og sandnámur og þau svæði sem hafa verið skoðuð með tilliti til efnistöku á kalkþörungaseti. Mest hefur efnistakan í sjó verið í Faxaflóa og nágrenni þar sem skelja-sandur, sandur og mól hefur verið dælt upp til margvíslegra nota, m.a. í hafnargerð, landfyllingar, bygginga- og efnaiðnað, gatna- og vegagerð, landbúnað og garðrækt ([51] Bryndís Róbertsdóttir og fl., 2010). Á síðustu tveimur áratugum hefur efnistaka á kalkþörungaseti af hafsbotni aukist mikið. Í mörgum fjörðum landsins vex kalkþörungur í stórum breiðum á hafsbotni. Lifandi er hann fjólublár á litinn og myndar 5 cm lag ofan á botninum en við dauða hans hverfur liturinn og eftir situr hvít kalkgrind ([52] Kjartan Thors, 2018). Þessum leifum þörungisins er dælt upp af sjávarbotninum og úr honum er framleiddur áburður, dýrafóður, hráefni í matvæla- og bætiefnavinnslu og hráefni til vatnshreinsunar.



Mynd 32. Kortlagðar auðlindir á hafsbotni [26 og 27].

Mynd 32 sýnir marga þekkta jarðhitastaði á strand- og hafsvæðum umhverfis landið, bæði lághita- og háhitasvæði. Víðast hvar eru það hverir og laugar sem liggja við ströndina og í eyjum og skerjum við landið. Lítil not hafa verið af þessum jarðhita en á stöku stað hefur hann verið nýttur til baða. Með nákvæmari og betri hafsbotsrannsóknnum í seinni tíð hafa fleiri jarðhitastaðir fundist fjær ströndinni og úti á landgrunninu. Þar á meðal eru jarðhitastrýturnar í Eyjafirði sem kenndar eru við Arnarnes og Ystu-Vík og svo háhita- staðirnir við Kolbeinsey, Grímsey, Eldey og Steinahól ([32] Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson 2018). Líklegt er að enn eigi eftir finnast jarðhitasvæði eftir því sem rannsóknnum vindur fram. Virk og kulnuð háhitasvæði á hafsbotni hafa mögulega að geyma nokkurt magn af verðmætum málmum í bergi og seti. Ætla má að lífríkið umhverfis jarðhitastaði á hafsbotni sé einstakt og fjölbreytt og mikilvægur staður fyrir vöxt og viðgang ákveðinna sjávarlífvera.

5. Starfsemi á hafi

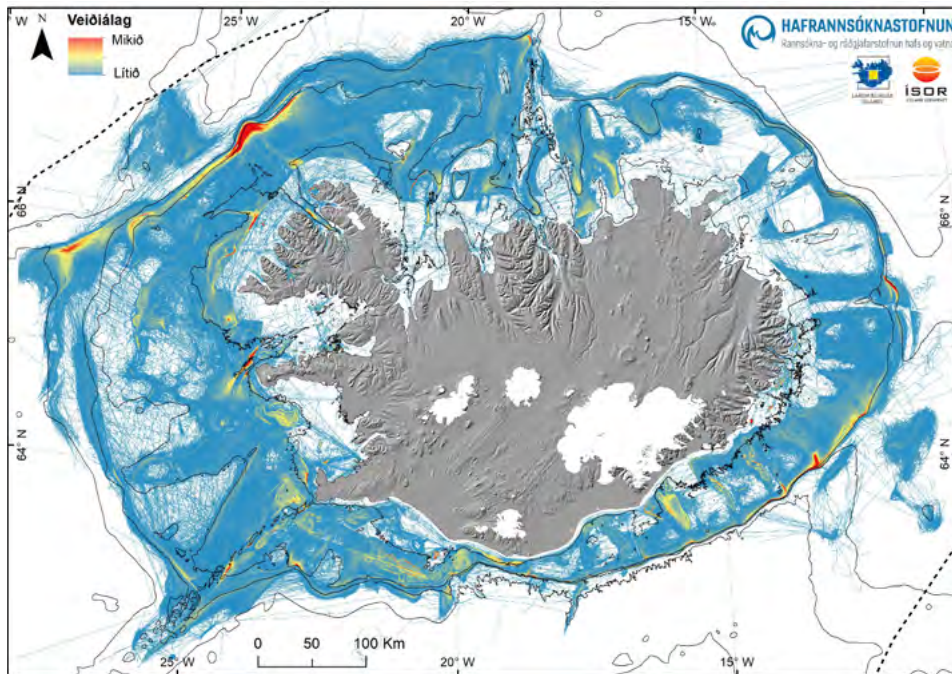
5.1 Samantekt um starfsemi á hafi

Taka þarf tillit til starfsemi sem þegar er til staðar á hafi þegar hugað er að hentugum svæðum fyrir vindorkugarða:

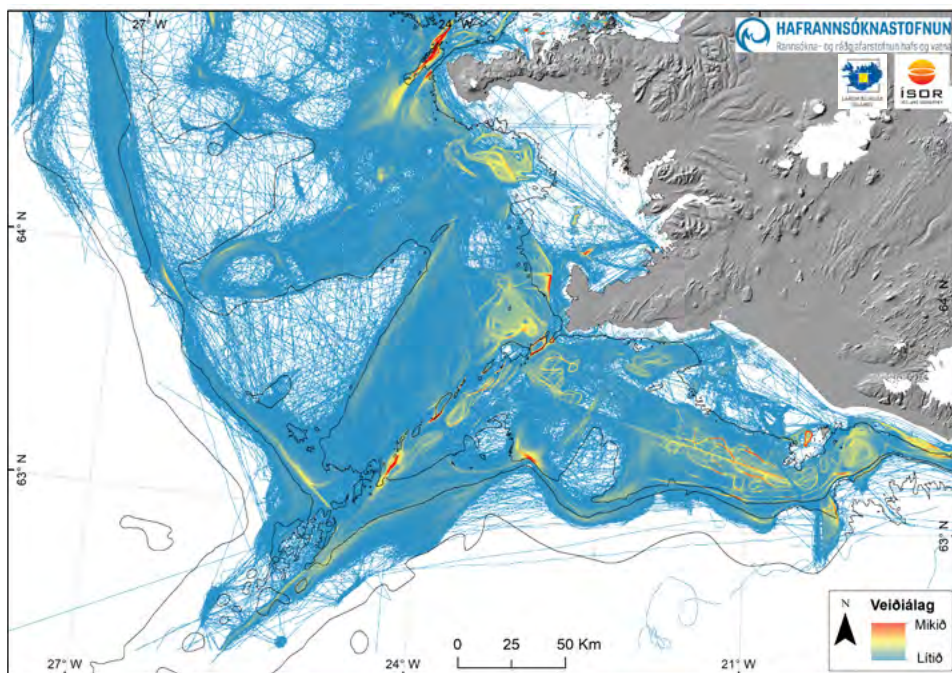
- Taka þarf tillit til mikilvægra veiðisvæða á landgrunninu og eru gögn um afla og ferðir fiskiskipa notuð til að varpa ljósi á helstu svæði sem ekki henta fyrir vindorkugarða.
- Staðsetning á þegar úthlutuðum og fyrirhuguðum svæðum til eldis á fiski og öðru sjávarfangi, s.s. skelfiski.
- Skilgreina þarf siglingaleiðir samhliða uppbyggingu á ýmiss konar starfsemi á strand-svæðum landsins sem geta haft áhrif á skipulag og notkun svæða. Óæskilegt er að staðsetja vindmyllusvæði á hafi þar sem þau hafa áhrif á siglingu skipa milli svæða (siglingaleiða) þannig að skipin þurfi að leggja á sig auka siglingu með tilheyrandi eldsneytiskostnaði og aukinni losun gróðurhúsalofttegunda.
- Æskilegt er að hafa aðgengilegar nákvæmar upplýsingar um staðsetningu og helgunar-svæði sæstrengja þegar hugað er að skipulagningu og staðsetningu vindorkugarða.
- Vindmyllugarðar á hafi geta haft áhrif á flugleiðir og flugöryggi. Þar er um að ræða mögulega truflun vindmylla á aðflug, áhrif á uppstreymi og ókyrrð í lofti, skugga-flökt og glampaáhrif og áhrif á búnað sem notaður er við flugleiðsöguþjónustu.

5.2 Fiskveiðar

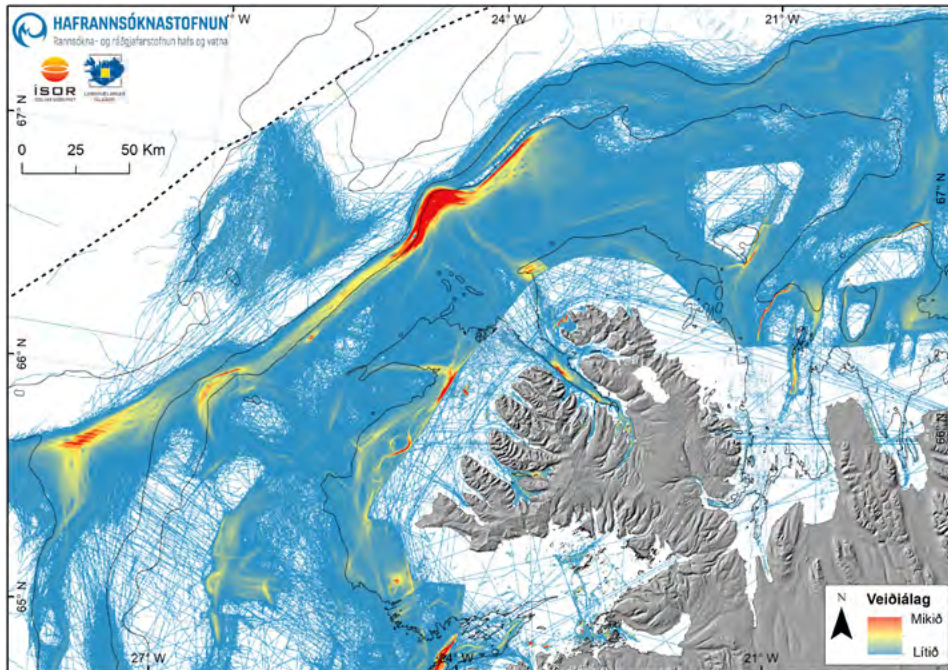
Hafrannsóknastofnun hefur byggt upp vefsíða sem sýnir veiðiálag eftir mismunandi veiðafærum. Vefsíðin ber nafnið Veiðarfærasjá [51]. Þar eru notuð gögn frá fiskiskipum til að meta útbreiðslu veiða og afla á sóknareiningu. Með tilkomu rafrænna afladagbóka og VMS/AIS-merkja er hægt að kortleggja veiðiálag eftir svæðum mun nákvæmar en áður var hægt. Myndir 33-37 sýna veiðiálag allra gerða veiðafæra á hafssvæðunum umhverfis landið. Kortin eru byggð á samþættingu gagna úr afladagbókum skipstjóra og upplýsingum um staðsetningu fiskiskipa samkvæmt Vaktstöð siglinga fyrir árin 2008-2018. Fyrir hvert veiðarfæri sýnir kortið vísitölu á sókn hvers veiðarfæris, blár litur þýðir litla sókn en þar sem svæðin verða gul og jafnvel rauð þeim mun meiri sókn á hverju svæði. Upplausn gagnanna er u.þ.b. 150 metrar.



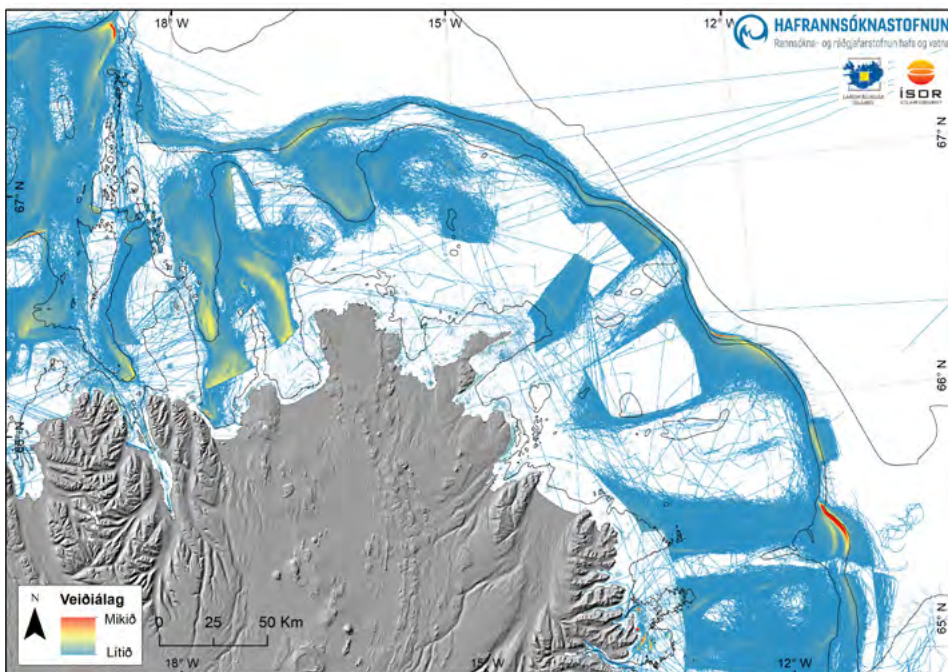
Mynd 33. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á hafssvæðunum umhverfis landið. Fyrir hvert veiðarfæri sýnir kortið vísitölu á sókn hvers veiðarfæris, blár litur þýða litla sókn en þar sem svæðin verða gul og jafnvel rauð þeim mun meiri sókn á hverju svæði ([53] og [54]).



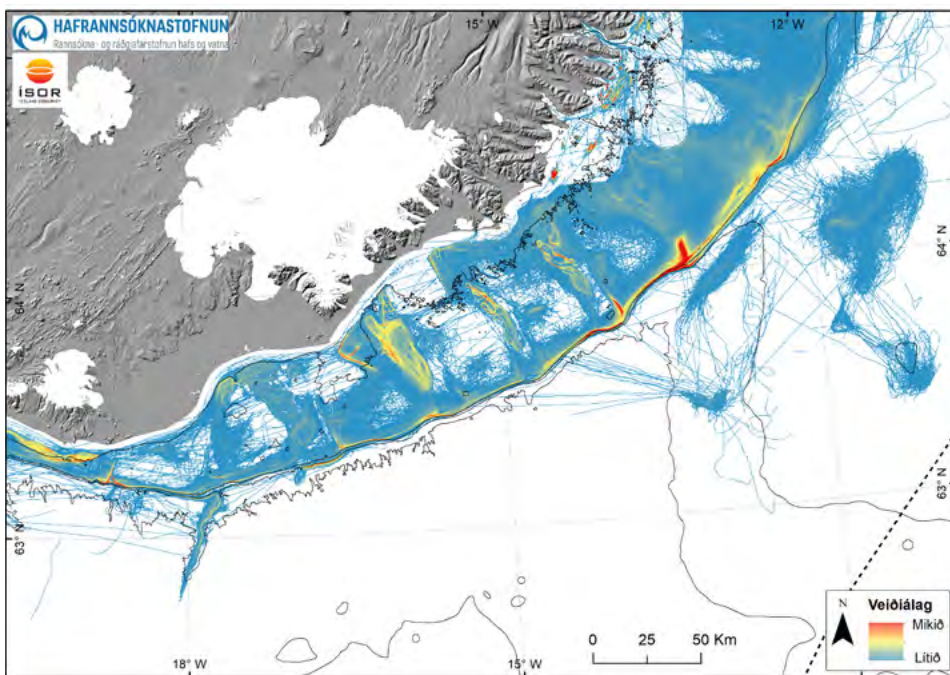
Mynd 34. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á suðvesturhluta landgrunnins ([53] og [54]).



Mynd 35. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á norðvesturhluta landgrunnins ([53] og [54]).



Mynd 36. Kortið sýnir veiðiálag allra veiðifæra á norðausturhluta landgrunnins ([53] og [54]).

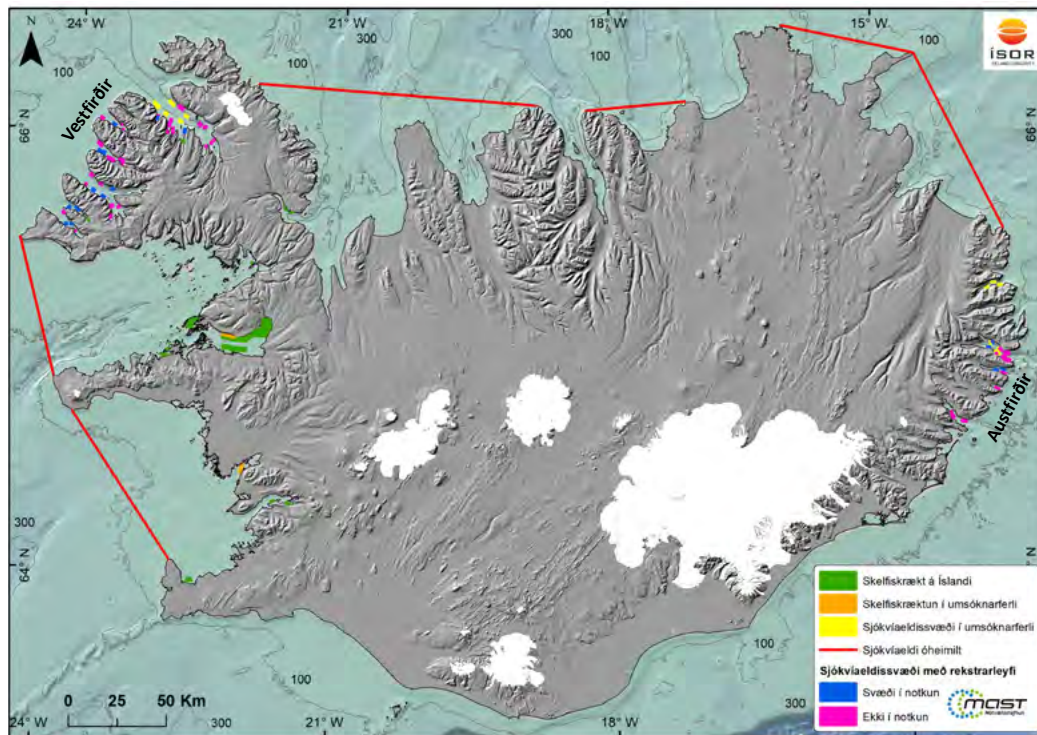


Mynd 37. Kortið sýnir veiðilág allra veiðifæra á suðausturluta landgrunnins ([53] og [54]).

5.3 Sjókvíaeldi og skelfiskrækt í sjó

Í mörgum fjörðum landsins er stunduð ræktun á eldisfisk í sjókvíum og á skelfiski á þar til gerðum ræktunarlínum. Allt sjókvíaeldi er staðsett á Vestfjörðum og Austfjörðum meðan skelfiskræktun fer að mestu leiti fram í Breiðafirði og Hvammsfirði. Nauðsynlegt er að huga að staðsetningu þessarar starfsemi þegar skoða á hentug svæði fyrir vindmyllur á hafi og landtengingar með sæstreng þeim tengdum.

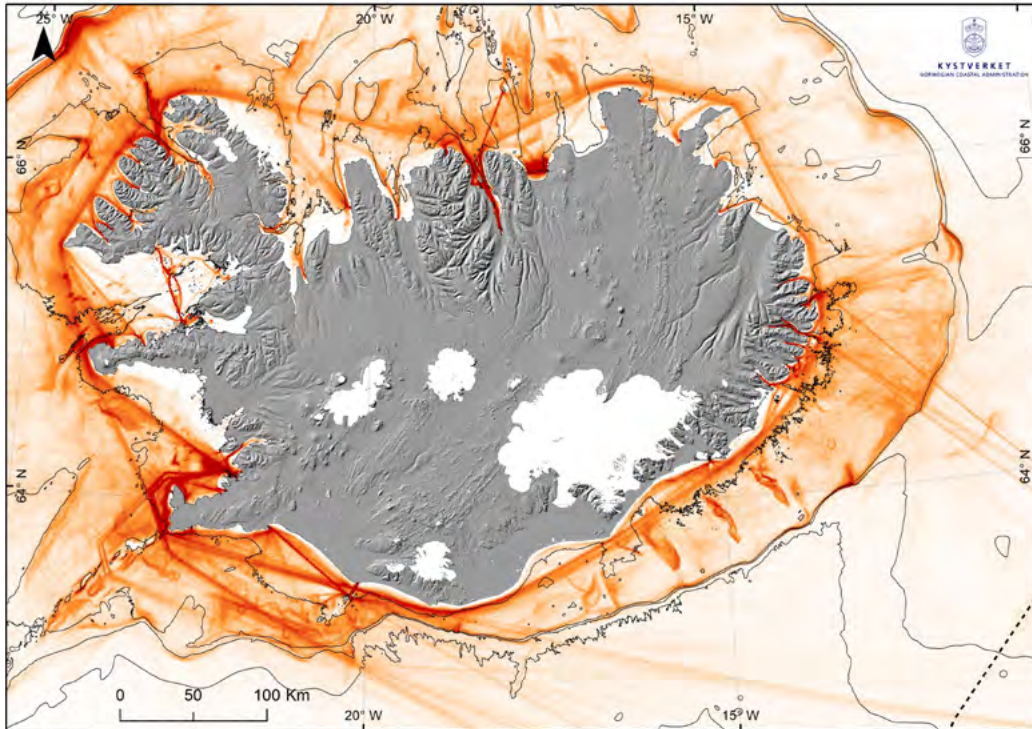
Mynd 38 sýnir þau svæði þar sem rekstrarleyfi til sjókvíaeldis og skelfiskrækt hefur verið gefið út. Aðeins hluti af útgefnum svæðum fyrir sjókvíaeldi er í notkun eins og sést á kortinu. Auk þess sýnir kortið þau svæði sem eru í umsóknarferli fyrir bæði sjókvíaeldi og skelfiskrækt sem og bannsvæði fyrir sjókvíaeldi.



Mynd 38. Kortið sýnir þau svæði þar sem sjökviældi og skelfiskrækt er stunduð auk þessa svæða sem eru í umsóknarferli fyrir slíka starfsemi (Upplýsingar af kortasjá MAST) [55].

5.4 Siglingaleiðir

Sérstakar siglingaleiðir hafa ekki verið ákvarðaðar við Íslandstrendur, að undanteknum aðskildum stórsiglingaleiðum úti fyrir Reykjanesi og inn í Faxaflóa. Ætla má að þörf fyrir skilgreindar siglingaleiðir aukist samhliða frekari uppbyggingu á ýmskonar starfsemi á strandsvæðum landsins (s.s. fiskeldi, vindmyllur og fl.) en þær geta haft áhrif á skipulag og notkun svæða. Mynd 39 sýnir umferð skipa til og frá og umhverfis landið. Mikilvægt er að hafa þessa siglingaferla í huga þegar skoða á hentug svæði fyrir vindmyllur á hafi. Óæskilegt er að staðsetja vindmyllusvæði á hafi þar sem þau hafa áhrif á siglingu skipa milli svæða þannig að skipin þurfi að leggja á sig auka siglingu með tilheyrandi eldsneytiskostnaði og aukinni losun gróðurhúsalofttegunda.



Mynd 39. Kortið sýnir skipaferla allra skipa á hafsvæðunum umhverfis landið. Þar sést skýrt hvar ferlar skipa í millilandasiglingum liggja og hvar helstu siglingaferlar umhverfis landið liggja. Gögnin eru fengin frá norsku strandsvæðastjórnuninni ([56] Kystverket).

5.5 Sæstrengir í sjó

Mikilvægt er að hafa allar upplýsingar um staðsetningu sæstrengja aðgengilega þegar huga skal að skipulagningu og staðsetningu svæða fyrir vindmyllur á hafi. Sæstrengir við Íslandsstrendur eru fyrst og fremst fjarskiptastrengir (s.s ljósleiðarar og símalínur) en auk þess eru rafmagnsstrengir einnig lagðir á hafsbotni t.d. til Vestmannaeyja og Viðeyjar og yfir Fossvoginn og víðar (Mynd 40).

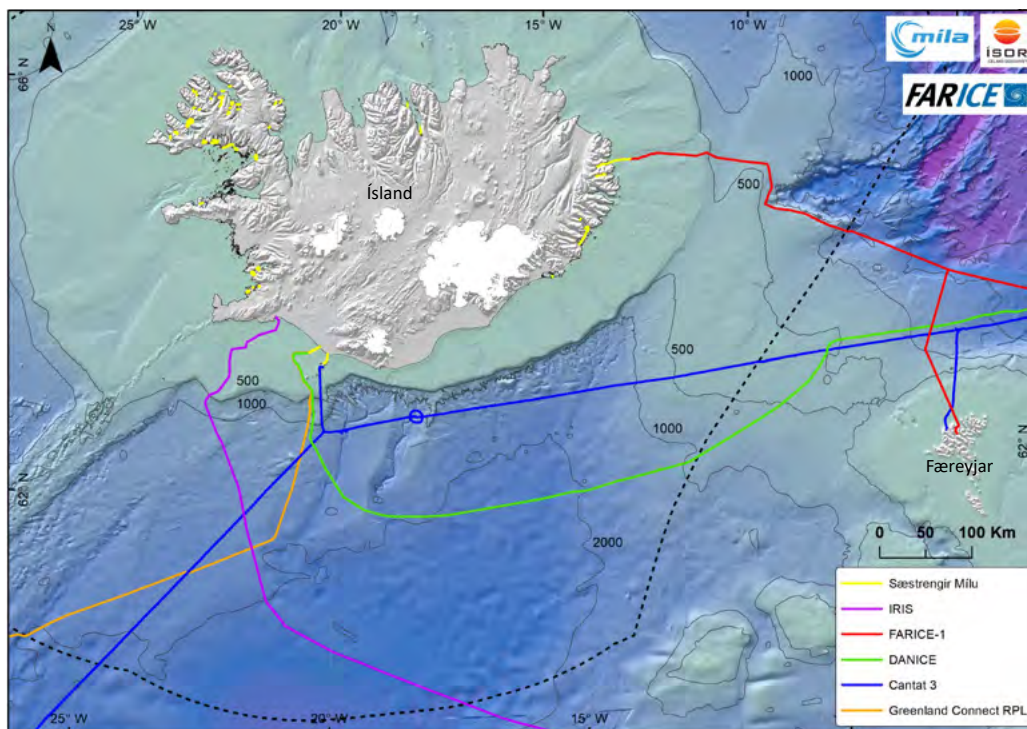
Alls eru fimm sæstrengir sem liggja til landsins frá meginlandinu. Þeir heita Cantat-3, FARICE-1, DANICE, Greenland Connect og IRIS (Mynd 40). Fyrirtækið FARICE á og/eða rekur fjarskiptastrengina í samstarfi við eigendur þeirra. Upplýsingar um strengina eru fengnar af vefsíðu FARICE, <https://farice.is/is>.

Cantat-3 strengurinn var starfræktur á árunum 1994-2010. Hann var fyrsti og jafnframt síðasti atlantshafsstrengurinn sem notaði tækni með rafmögnum á leiðinni í stað ljósmagnara sem eru nú allsráðandi í slíkum sæstrengjum. Í dag hefur Cantat-3 strengurinn fengið nýtt hlutverk og þjónustar olíuborpalla í Norðursjó.

Árið 2004 var FARICE-1 strengurinn formlega opnaður og fylgdu honum mikla framfarir í fjarskiptaþjónustu landsins. FARICE-1 var lagður frá Seyðisfirði til Dunnet Bay í Skotlandi með aukagrein til Funningsfjarðar í Færeyjum.

Árið 2009 var DANICE strengurinn tekin í notkun. Hann liggur frá Blåbjerg í Danmörku til suðurstrandar Íslands, rétt vestan við Vestmannaeyjar við Landeyjarsand. Landtengingin var vandlega valin í samstarfi við jarðvísindamenn og útgerðafélög. Sama ár og DANICE strengurinn var lagður var Greenland Connect strengurinn lagður frá Íslandi til Grænlands og þaðan til Kanada. DANICE strengurinn er einskonar framlenging á Greenland Connect til Evrópu og samnýta strengirnir sömu kapallendingarstöð við Landeyjarsand.

Nýjasti sæstrengurinn til landsins er IRIS strengurinn sem lagður var sumarið 2022. Hann liggur frá Galway á vesturstönd Írlands og kemur á land við Þorlákshöfn. Áætlað er að taka strenginn í notkun í mars 2023.



Mynd 40. Sæstrengir sem lagðir hafa verið á hafsbotninn umhverfis landið og á hafs-
svæðunum innan efnahagslögsöguna ([57] og [58] FARICE, Míla og Landsnet).

5.6 Flug

Í umfjöllun um vindorkukosti á landi hafa komið fram nokkur atriði sem þörf er á að hafa í huga vegna áhrifa á flugumferð, flugstarfsemi og flugöryggi. Þar er um að ræða mögulega truflun vindmylla á aðflugi, áhrif á uppstreymi og ókyrrð í lofti, skuggaflökt og glampaáhrif og áhrif á búnað sem notaður er við flugleiðsöguþjónustu (t.d. [59] Samgöngustofa, 2019; [60] VSÓ ráðgjöf, 2020 og [61] Skipulagsstofnun, 2021).

Í þessari samantekt er gert er ráð fyrir að flest þeirra eigi einnig að einhverju leyti við þegar fjallað er um vindorkugarða á strandsvæðum, sérstaklega á áhrifasvæðum flugvalla, en ekki dregið fram sérstaklega hvar slíkar takmarkanir eru. Þar sem vindmyllur eru há mannvirki þarf að skoða hvort uppsetning vindmylla hafi áhrif á flugleiðir um þetta svæði og greina möguleg áhrif í samræmi við lög nr. 60/1998, um loftferðir, og reglugerð nr. 464/2007 um flugvelli. Skoða þarf þessi mál í samráði við Samgöngustofu, sem hefur það hlutverk að gæta að flugöryggi. Samgöngustofa fjallar sérstaklega um þætti þar sem lögð er áhersla á að við fyrirhugað skipulag verði tekið tillit til reglugerðar nr. 75/2016 um kröfur og stjórnslumeðferð er varða flugvelli samkvæmt reglugerð Evrópuþings og ráðsins (EB) nr. 216/2008, en sú reglugerð innleiðir reglugerð framkvæmdastjórnarinnar (ESB) nr. 139/2014. Stuðst er við ákvörðun Samgöngustofu nr. 1/2019 þar sem settar eru fram lágmarkskröfur um lýsingu og merkingu hindrana utan áhrifasvæða flugvalla í því skyni draga úr áhættu á flugslysum og óhöppum tengdu flugi. Aðflugsleiðir eru skilgreindar sem þær flugleiðir sem flognar eru inn til landingar (og í brottflugi) frá öllum flugbrautum flugvallar, bæði í sjónflugi og sem skilgreindir flugferlar í blindflugi (Ákvörðun Samgöngustofu nr. 1/2019).

6. Veðurfar, öldur og hafís

6.1 Samantekt um veðurfar, öldur og hafís

Vindur

- Vindaflspéttni er um 700-1000 W/m² austur og suðvestur af landinu og um 500-700 W/m² norður og suðaustur af landinu skv. gervihnattamælingum.
 - Hagstæðasta svæðið fyrir aflandsvindorkuframleiðslu, ef einungis er litið til meðalvindhraða, er suðvestan við landið. Hæsta vindaflspéttni er á Grænlandssundi en þar kunna veðuraðstæður og hafís að gera rekstur vindorkugarða erfiðan.
 - Landslag Íslands hefur áhrif á vindáttir og vindhraða, einkum þegar vindur blæs af landi eða samhliða því og hefur það áhrif á vindorkuframleiðslu.
 - Nánari rannsókn er þörf á vindorkugetu úti fyrir ströndum Íslands, en einungis ein rannsókn frá 2015 liggur fyrir. Kanna þarf nánar nokkra óvissuþætti í tengslum við úrvinnslu gervihnattagagna, auk þess sem þróun hefur átt sér stað í reiknilíkönum þar sem upplausn hefur aukist auk þess hafa tímaraðir gagna lengst frá síðustu rannsókn. Þetta eru þættir sem bætt geta upplýsingar um mögulega vindorkuframleiðslu úti fyrir ströndum Íslands.
 - Æskilegt er að koma upp vindmælingum á öldudufllum á hafsvæðinu í kringum Ísland. Markmið slíkra mælinga yrði að afla nánari upplýsinga um vindauðlinda auk þess að bæta kvörðun gervihnattamælinga og reiknilíkana.
-

Öldur

- Hafsvæðið umhverfis Ísland er með mest útsettu hafsvæðum heims gagnvart ölduhæð og ölduorku.
 - Þann 9. janúar 1990 var eitt versta sjóveður við Suður- og Suðvesturland á 20. öldinni. Þá mældist kennialda hæst við Garðskagavita um 14 m með hæstu stakri öldu rúmir 25 m. Á Surtseyjarduflinu varð kennialda hæst 16,7 m og með hæstu stöku öldu 23 m. Á tímabili voru þetta hæst mældu öldur í heiminum. Aftur mældust kenniöldur við Suðvesturland milli 16 og 18 m í febrúar 2022.
 - Hæstu öldur mælast suður- og suðvestur af landinu.
 - Gera þarf ráð fyrir að hæstu stakar öldur geti orðið yfir 25 m allt í kringum landið.
 - Neðansjávar jarðskjálftar og skriður og skriður í sjó fram geta myndað öldur. Úti á hafi þar sem dýpi er mikið eru slíkar öldur hins vegar það lágar að þær eru ekki taldar hafa áhrif á hönnunarforsendur mannvirkja á hafi.
-

-
- Upplýsingar um öldufar fást með mælingum með öldudufnum og ölduspám úr reiknilíkönunum. Margs konar upplýsingar eru síðan fengnar með líkindafræðilegri úrvinnslu tímaraða mæli- og spágagna, sem nýst geta við hönnun vindmylla sem mögulega yrði komið upp á hafsvæðinu í kringum Ísland.
-

Hafís

- Hafís hefur dregist saman undanfarna áratugi vegna hlýnunar á norðurhveli. Samdrátturinn er mestur á sumrin en minni á veturna.
 - Hafís berst inn á Íslandsmið einkum með Austur-Grænlandsstraumnum, en einnig getur hann borist beint úr norðri. Hann er sjaldan eða aldrei úti fyrir ströndum suðvestan- og vestanlands.
 - Hlýnandi veðurfar getur leitt af sér aukningu borgarísjaka sem berast inn á Íslandsmið.
 - Lagnaðarís í fjörðum getur myndast á köldum vetrum.
 - Mjög líklegt er að hafísútbreiðsla á norðurhveli haldi áfram að dragast saman næstu áratuginu vegna áhrifa loftslagsbreytinga og ísinn þynnast.
-

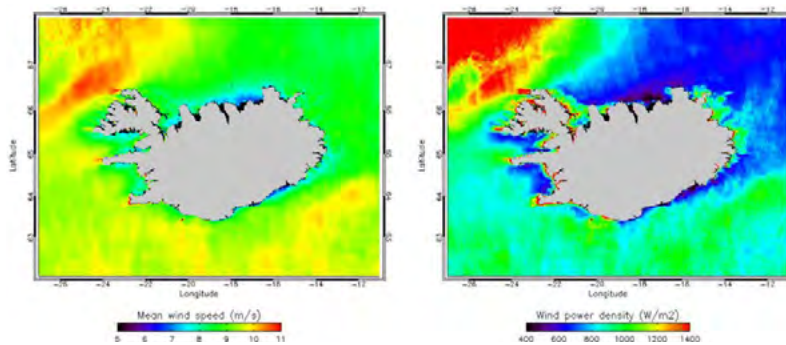
6.2 Vindur

Veðurfar á Íslandi og umhverfis landið einkennist af legu þess, austur af Grænlandi, og nálægð við Norður Atlantshafs lægðabrautina og íshafsskilin. Vindafar á svæðinu ræðst að miklu leyti af þeim veðrakerfum sem fara yfir eða nálægt landinu. Vindafarinu má lýsa sem breytilegu bæði í vindhraða og vindáttum sem og breytilegu í tíma.

Rannsóknir á mögulegri vindorkuframleiðslu á hafsvæðinu í kringum Ísland eru af skornum skammti. Þó liggja fyrir niðurstöður rannsókna frá 2015, þar sem vindmælingar frá gervihnöttum og endurgreining frá veðurreiknilíkani voru nýtt til að kanna mögulega vindafloppþétti úti fyrir ströndum Íslands ([63] Hasager o.fl., 2015). Svæðið 62°-68°N og 11°-27°V var kannað og gervihnattagögn og endurgreining fyrir tímabilið 2005 til 2012 skoðuð. Markmið rannsóknarinnar var að meta gæði gervihnattamælingar (Mynd 41), frá SAR (e. Satellite synthetic aperture radar) sem gefur upplýsingar í 1x1 km upplausn, fyrir hafsvæðið við Ísland. Niðurstöður voru bornar saman við mælingar á nokkrum stöðum í kringum landið og við niðurstöður veðurreiknilíkansins HARMONIE-AROME (2,5 km möskvastærð) sem byggði á NORA10 endurgreiningunni fyrir vind og öldur ([61] e. Norwegian Reanalysis of wind and waves, sjá heimildir í Hasager o.fl., 2015).

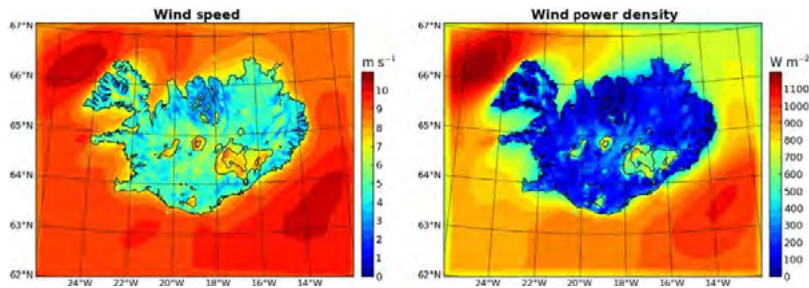
Gervihnattamælingar á tímabilinu 2005-2012 (Mynd 41) sýna að meðalaflandsvindhraði í kringum Ísland er um 5-10 m/s og meðalvindafloppþétti um 700-1000 W/m² austur og

suðvestur af landinu. Hæstu gildin eru næst landi en þeim ber að taka með fyrirvara því þau endurspeglar að öllum líkindum galla í myndvinnslu. Lægstu gildin, 500-700 W/m² eru við norður- og suðausturströndina og einnig eru lág gildi skammt vestur af landinu með undantekningu við Vestfirði en þau gildi má rekja til galla í myndvinnslu og eru varla marktæk. Mjög há gildi fyrir vindaflspéttleika sjást á Grænlandssundi. Þetta svæði er ekki talið æskileg staðsetning fyrir vindorkuframleiðslu, m.a. vegna hafíss og því var það svæði ekki kannað nánar í rannsókn Hasager o.fl.



Mynd 41. Meðalvindhraði (m/s) (myndin til vinstri) og -vindaflspéttleiki (W/m²) (myndin til hægri), í 10 m hæð yfir sjávarmáli byggt á Envisat ASAR (e. Advanced SAR) vindagögnum fyrir tímabilið 2005-2012 og klukkustundargildin 11-13 og 20-00. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015).

Góð samsvörun er á milli gervihnattamælinganna og niðurstaða reiknilíkansins HARMONIE-AROME. Á Mynd 42 má sjá að meðalvindhraði í líkanreikningunum er lægstur, um 5-7 m/s, norður og suðaustur af landinu en hæsti meðalvindhraði, um 10 m/s, er við annes vestur af landinu. Eins og fyrir gervihnattagögnin sýnir reiknilíkanið lága vindaflspéttni skammt norður og suðaustur af landinu, um 500 W/m². Hins vegar sýnir reiknilíkanið ekki jafnhá gildi og gervihnattagögnin nálægt suðvestur- og austurströndinni. Þetta gæti hugsanlega verið vegna mismunandi þéttleika gervihnattagönganna og HARMONIE-AROME reikninetsins. Heilt á litið er vindaflþéttni byggð á gervihnattagögnum lægri með norður- og austurströndinni sem bendir til meiri breytileika í vindhraða með tíma í gervihnattagögnunum en í reiknilíkaninu. Gervihnattamælingarnar og endurgreiningin hafa kosti og galla, sambland þessara tveggja aðferða gefur því bestu niðurstöðu við að greina aflands vindauðlindina í kringum Ísland ([62] Hasager o.fl., 2015).



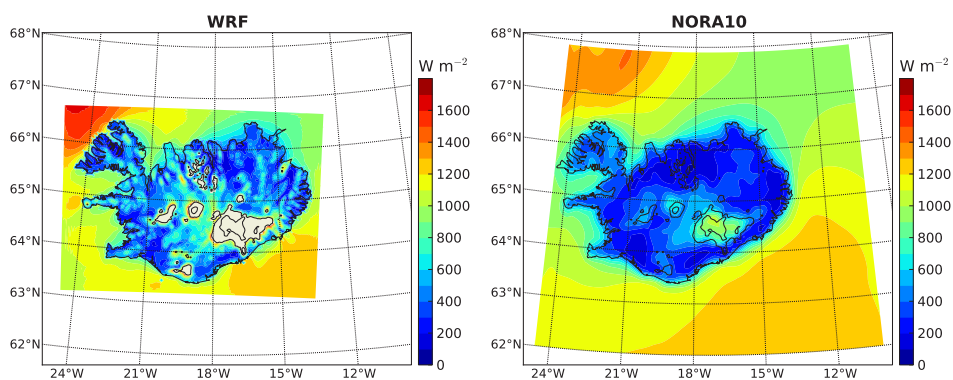
Mynd 42. Meðalvindhraði (m/s) (myndin til vinstri) og -vindaflspéttleiki (W/m^2) (myndin til hægri), í 10 m hæð yfir sjávarmáli byggt á HARMONIE-AROME endurgreiningagögnum fyrir tímabilið 2010-2012 og öll klukkustundargildi. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015).

Hvort sem skoðað er reiknað vindafar eða niðurstöður vindmælinga má yfirleitt lýsa dreifingu vindhraða með svokallaðri Weibull dreifingu. Þessi dreifing er háð tveimur stikum, skölunarstíkanum A sem lýsir tíðniútslagi dreifingarinnar og hefur einingarnar vindhraða, og einingarlausu lögunarstíkanum k sem lýsir lögun dreifingarinnar og með því hversu mikill munur er á mesta vindi og meðalvindi [65].

Rannsókn Hasager o.fl. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015), bendir til að hagstæðasta svæðið til vindorku framleiðslu sé suðvestur af landinu, með árlegri meðalvindaflspéttni um $700-1000 W/m^2$ og Weibull stuðul 2, sem gefur til kynna að vindafar svæðisins sé stöðugra en annars staðar þar sem Weibull stuðullinn reiknast sem 1,5. Svæðið suðaustur, austur og vestur af landinu verður fyrir miklum áhrifum frá landslagi Íslands þar sem áhrifa fjallaþylgna og þyngdarafslþylgna gætir langt út fyrir landssteinana. Gervihnattamælingar sýna að áhrifanna gætir allt að 200 km út fyrir strönd landsins ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015). Hafís og ystu annes og eyjar geta ofmetið vindaáhrifin og ber því að taka niðurstöðurnar fyrir norðvestan land sem sýna gildi hærri en $1200 W/m^2$ með fyrirvara.

Fyrir um áratug síðan var gerð könnun á mögulegri vindorku framleiðslu á Íslandi, með notkun á veðurreiknilíkaninu WRF – Weather Research and Forecasting og NORA10 vind- og öldu- endurgreiningunni ([64] Narwi o.fl., 2013). Þrátt fyrir að áhersla verkefnisins hafi verið á möguleika vindorkuframleiðslu á landi má sjá niðurstöður á strandsvæðum í kringum Ísland (sjá [67] Vindatlas Veðurstofu Íslands: vindatlas.vedur.is). Mynd 43 sýnir góða samsvörun á milli vindaflþéttni reiknilíkansins WRF og endurgreiningar NORA10 í 50 m hæð yfir sjávarmáli. Jafnframt sést að vindorka suðvestur af landinu er á milli $1000 - 1200 W/m^2$ og suðaustur af landinu allt að $1300 W/m^2$. Hins vegar eru meiri sveiflur í vindstyrk á því svæði sem rekja má til landslags og gætir allt að því 200 km út fyrir

strönd landsins sem fyrr greinir. Hár vindafþéttleiki sést norðvestur af landinu, sem ber að taka með fyrirvara þar sem hafísinn hefur áhrif á útreikninga. Góð samsvörun er á milli þessarar rannsóknar og rannsóknar Hasager o.fl. ([63] Mynd úr Hasager o.fl. 2015). Niðurstöður þessarar rannsóknar gefa til kynna að hafsvæði við Íslandsstrendur séu með svipaðri eða meiri vindafþéttni en t.d. Norðursjórinn ([63] New European Wind Atlas).



Mynd 43. Árlegt meðaltal fyrir vindafþéttleika (W/m^2) í 50 m hæð yfir yfirborði byggt á leiðréttu WRF reiknilíkaninu (mynd til vinstri) og NORA10 endurgreiningargögnum (mynd til hægri). ([64] Mynd úr Nawri o.fl. 2013).

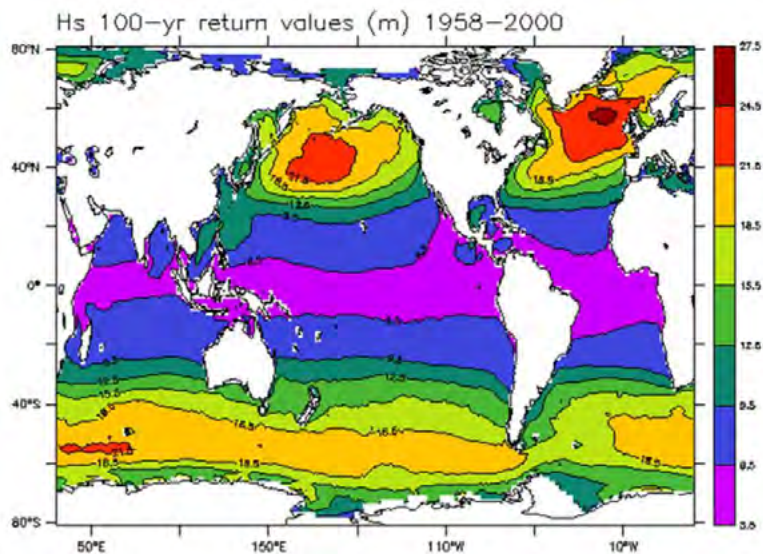
Frekari rannsókn er þörf á aflandsvindauðlindinni í kringum Ísland. Kanna þarf nánar óvissupætti í gervihnattamælingum sem geta haft áhrif á niðurstöður auk þess er æskilegt að taka fyrir lengri gagnaraðir og mögulega frá öðrum tækjum, sem safnast hafa síðan þessi rannsókn var gerð. Sífelld þróun er í veðurreikningum og með auknum tölvukrafti er hægt að reikna veður í þéttara möskvaneti. Síðan þessi rannsókn var gerð hefur t.d. verið gerð endurgreining byggð á HARMONIE-AROME fyrir norðurslóðir (e. Copernicus Arctic Regional Analysis, CARRA) í 2,5 km möskvaneti ([66] Yang o.fl. 2021). Nýta ætti slíkar nýjar og jafnvel lengri endurgreiningar við mat á vindafþéttni.

Æskilegt er að koma upp vindmælingum á ölduduflum á hafsvæðinu í kringum Ísland. Markmið slíkra mælinga yrði að afla nánari upplýsinga um vindauðlindina auk þess að bæta kvörðun gervihnattamælinga og reiknilíkana. Á árunum 2007-2009 var veðurdufl fyrir norðan land, á Drekasvæðinu. Mælingar þess dufls gáfu góða mynd af veðurfari á svæðinu, ekki síst vindafari ([66] Guðrún Nína Petersen, 2017), en voru einnig notuð gögn til að meta gæði vindagagna úr endurgreiningu og frá gervitunglum ([62] Dukhovskoy o.fl. 2017).

6.3 Öldur

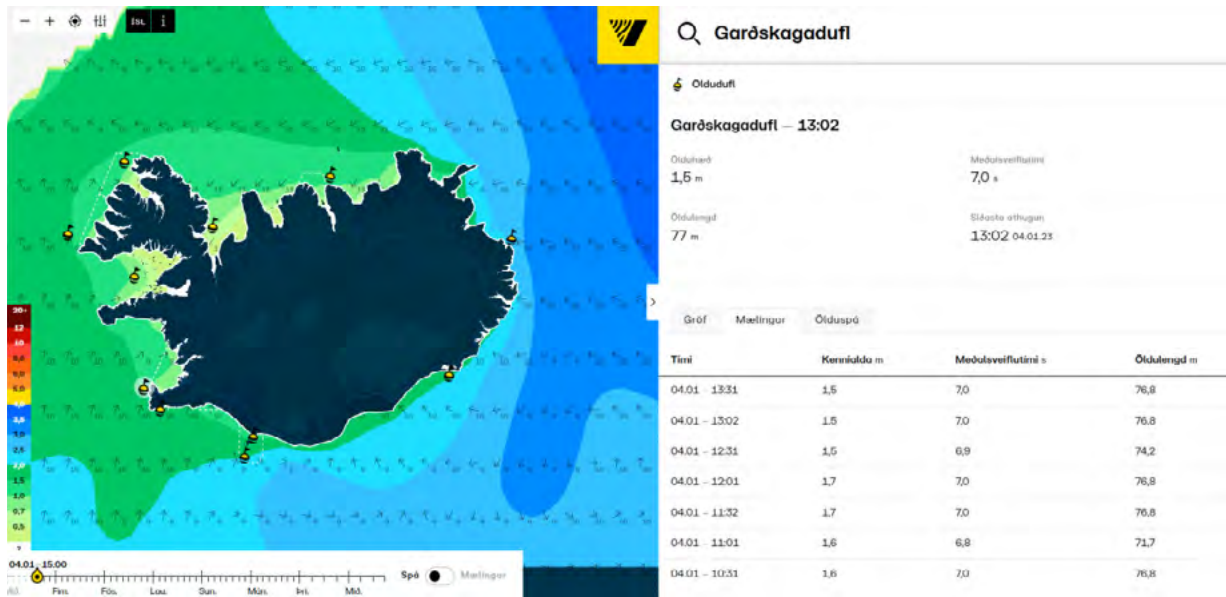
Starfshópurinn fundaði með fulltrúa Vegagerðarinnar og fékk í kjölfarið minnisblað sem eftirfarandi upplýsingar byggja á. Minnisblaðið má sjá í heild sinni í viðauka skýrslunnar (Viðauka 10.2).

Hafsvæðið umhverfis Ísland er með mest útsettu hafsvæðum heims gagnvart ölduhæð og ölduorku, sjá Mynd 44. Upplýsingar um öldufar á hafsvæðinu umhverfis Ísland fást úr mælingum með ölduduflum Vegagerðarinnar annars vegar og ölduspám frá Reikni-miðstöð evrópskra veðurstofa (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecast) hins vegar. Þær ölduspár eru síðan fluttar inn á grunnslóð, firði og flóa með reiknilíkönum Vegagerðarinnar. Margs konar upplýsingar eru síðan fengnar með líkinda-fræðilegri úrvinnslu tímaraða mæli- og spágagna. Neðansjávar jarðskjálftar og skriður og skriður í sjó fram geta myndað öldur. Úti á hafi þar sem dýpi er mikið eru þær hins vegar það lágar að þær eru ekki taldar hafa áhrif á hönnunarforsendur mannvirkja á hafi.



Mynd 44. Öldur á heimshöfunum, ölduhæð með 100 ára endurkomutíma.

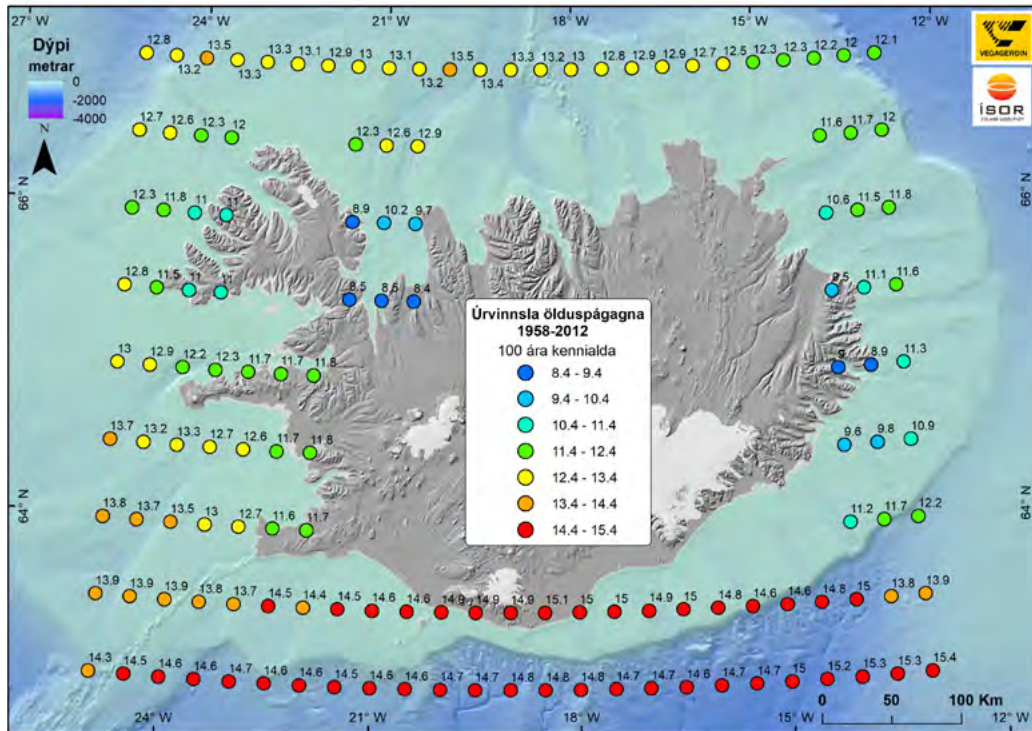
Öldumælingar eru gerðar með ölduduflum og mæla þau ölduhæð og sveiflutíma öldu. Auk þess mælir Landeyjarhafnarduflíð öldustefnu. Í byrjun árs 2023 eru ellefu öldudufl staðsett hringinn í kringum landið (Mynd 45).



Mynd 45. Öldumældidúfl við Íslandsstrendur og dæmi um birtingu mælinga fyrir Garðskagadúfl.

Gögn frá duflunum eru birt jafn óðum á vef Vegagerðarinnar (www.sjolog.is), þau eru vistuð í gagnagrunni Vegagerðarinnar og tölfræðileg greining unnin úr tímaröðum. Á Garðskaga- og Surtseyjarduflum mældust mjög háar öldur í miklu óveðri þann 9. janúar 1990. Þá mældist kennialda hæst við Garðskaga um 14 m með hæstu stakri öldu rúmir 25 m. Á Surtseyjarduflinu varð kennialda hæst 16,7 m og með hæstu stöku öldu 23 m. Það var eitt versta sjóveður við Suður- og Suðvesturland á 20. öldinni og voru á tímabili hæst mældu öldur í heiminum. Aftur mældust kenniöldur við Suðvesturland milli 16 og 18 m í febrúar 2022.

Ölduspá ([69] ölduhæð, sveiflutími og öldustefna) er aðgengileg á vef Vegagerðarinnar og á vef Veðurstofu Íslands og byggja þær á reiknilíkani ECMWF. Ölduspágögn ECMWF eru aðgengileg á Norður Atlandshafi frá 1958 og hefur Vegagerðin unnið að margvíslegri úrvinnslu þessara gagna s.l. 25 ár. Líkindafræðileg úrvinnsla ölduspágagna yfir 55 ára tímabil (1958 -2012) sýndi meðal annars að búast má við 14 – 15 m hárrí 100 ára kenniöldu úti fyrir Suðurlandi og um 13 m hárrí fyrir Norðurlandi (Mynd 46). Þessi úrvinnsla byggir á eldri gögnum frá ECMWF, þ.e. með 0,5° þéttleika og á sex klst. fresti. Nú fást gögn í enn betri upplausn eða í 0,2° þéttleika og á eins klst. fresti. Fleiri dæmi um úrvinnslu ölduspágagna er gerð öldurósa, gröf með hlutfalli gilda undir gefinni ölduhæð í hverjum mánuði og gröf með hámarksölduhæðum eftir árum og mánuðum.

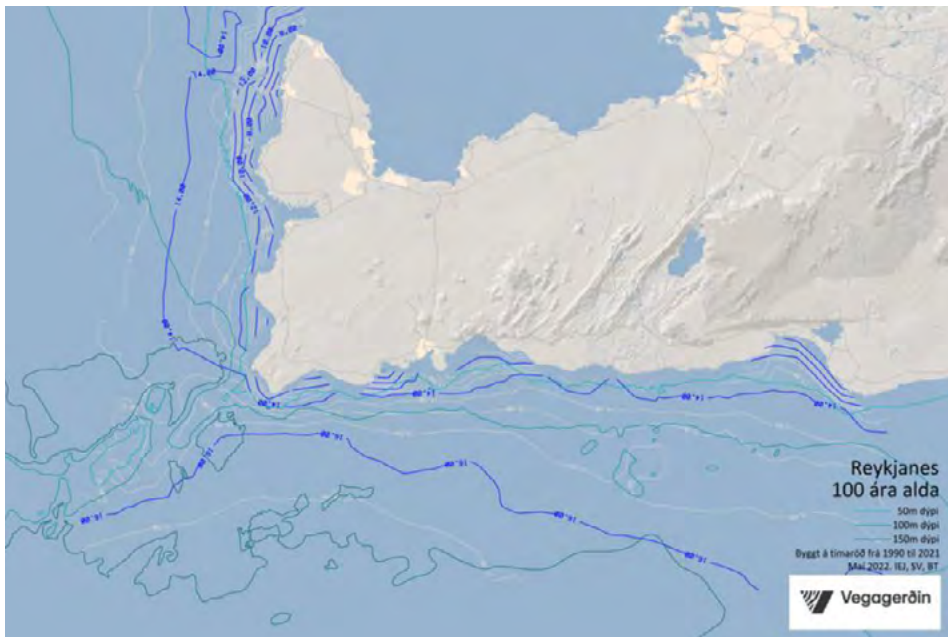


Mynd 46. Úrvinnsla ölduspágagna fyrir hafsvæði umhverfis Ísland fyrir tímabilið 1958-2012, 100 ára kennialda. Byggt á ölduspágögnum frá ECMWF með 0,5° upplausn á 6 klst. fresti.

Vegagerðin reiknar ölduspár fyrir grunnslóð fyrir átta staði á landinu ([70], [71] skv. upplýsingum í byrjun árs 2023). Ölduspá á grunnslóð gildir á svæðum þar sem sjávardýpi hefur áhrif á útbreiðslu öldunnar. Notuð eru reiknilíkön sem taka mið af botni og öldufari á djúpsævi auk vinds. Ölduspár frá ECMWF, sem gilda fyrir djúpsævi eru þannig yfirfærðar á hafsvæði upp við ströndina.

Vegagerðin reiknar jafnframt svokölluð öldukort og hafa slík kort verið gerð fyrir allmörg hafsvæði hringinn í kringum landið. Þau hafa verið nýtt á marga vegu, eins og við hönnun hafnarmannvirkja, mat á siglingaleiðum farþegaskipa og hönnun fiskeldiskvía. Við gerð öldukorta eru yfirlit 10 – 30 ára langra tímaraða ölduhæða keyrðar á jaðri reiknilíkans yfir ákveðið svæði. Síðan er gerð líkindafræðileg úrvinnsla úr niðurstöðum öldufarsreikninganna í þéttu neti punkta á svæðinu og gerð kort með jafnhæðalínum ölduhæða fyrir 1, 10 og 100 ára endurkomutíma og með 90% tíðni. Öldukort eru nú til fyrir Faxaflóa, Breiðafjörð, norðanverða Vestfirði, Skjálfanda, Breiðdalsgrunn, fyrir austan- og vestanverða suðurströndina, siglingaleiðina milli Vestmannaeyja og Landeyjahafnar og

utan við Reykjanesið sunnan og vestanvert. Nokkuð er mismunandi hvað langt tímabil er lagt til grundvallar líkindafræðilegu úrvinnslunni, en yfirleitt er það á bilinu 10 til 30 ár. Dæmi um öldukort fyrir utanvert Reykjanes með 100 ára endurkomutíma öldu má sjá á Mynd 47.

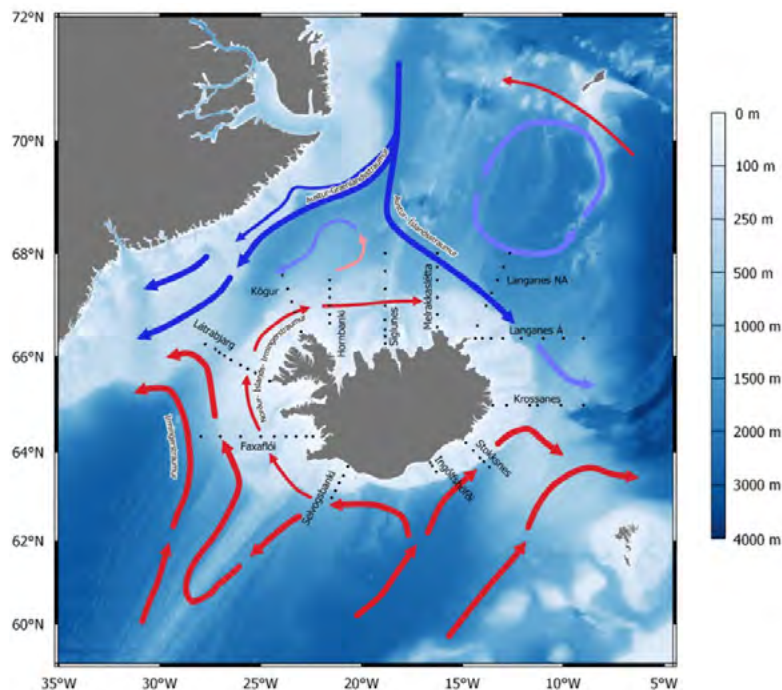


Mynd 47. Öldukort fyrir utanvert Reykjanes, 100 ára alda (1990-2021) [72].

6.4 Hafís

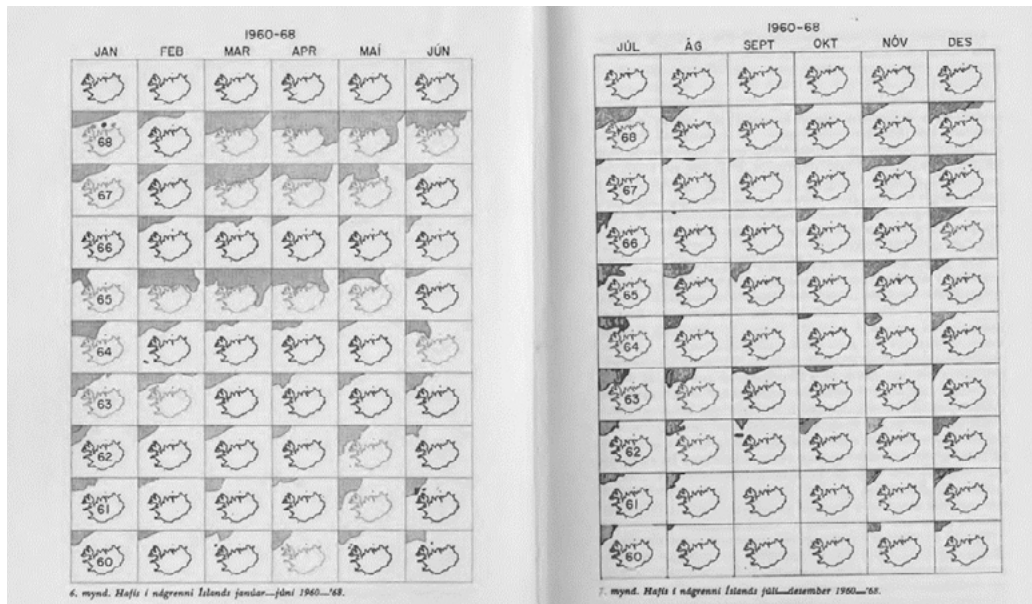
Hafís, frosinn sjór, berst inn í lögsögu Íslands með Austur-Grænlandsstraumnum, sem liggur frá Norður-Íshafi um Framsund og suður með endilöngu Austur-Grænlandi. Hafísinn getur borist beint frá norðri að norðausturhorni landsins en í flestum tilfellum berst hann með hafstraumum vestan úr Grænlandssundi inn á hafsvæðið norðvestur af landinu ([78] Halldór Björnsson 2007, [87, 88] Þór Jakobsson 2006 a,b). Þaðan getur hann svo borist austur með norðurströnd landsins og austur fyrir landið og suður með austurströndinni með hafstraumunum (Mynd 48). Ríkjandi vindátt hefur einnig mikið að segja og getur haft áhrif á dreifingu hafísins. Hafís er sjaldan eða aldrei úti fyrir ströndum suðvestan- og vestanlands ([73] Cabedo-Sanz o.fl. 2016, [83] Ogilvie 1992, [82] Jennings o.fl. 2011) enda þarf hann til þess að ferðast réttisælis í kringum nær allt landið. Það eru þrír megin þættir sem hafa áhrif á hvort hafíss verði vart við strendur landsins; í fyrsta lagi ísmagn í Grænlandssundi, í öðru lagi ástand sjávar í Íslandshafi, þ.e. hita,

seltu og lagskiptingu efst í sjónum og í þriðja lagi almenn loftringrás yfir norðurhveli þ.e.a.s. þrýstifar, lægðagangur, veldi Grænlandshæðar eða myndun kyrrstöðuhæðar yfir Atlantshafi. Tiltekin skilyrði þessara þriggja þátta verða að vera uppfyllt svo að hafís verði vart við strendur Íslands ([87], [88] Þór Jakobsson 2006 a,b).



Mynd 48. Meginhafstraumar í yfirborðslögum umhverfis Ísland og lögun hafsbotsins. Sýndar eru þær stöðvar þar sem reglubundnar mælingar sjórannsóknna eru gerðar ásamt nöfnum sniðanna. Rauðar örvar tákna heitan og saltan Atlantssjó, bláleitar örvar seltuminni og kaldari pólsjó eða svalsjó. Tekið úr ([84] Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir 2021 mynd 2.1.1.)

Það tekur ísinn nokkra mánuði að reka frá Framsundi suður að 66°N þannig að venjulega er ekki mikill hafís undan ströndum Norðurlands fyrr en nokkuð er liðið á veturinn. Á þessu geta þó verið undantekningar. Á hafísárunum á 7. áratug liðinnar aldar varð til dæmis vart við hafís norðan við landið á tímabilinu október til nóvember. En þessi ár voru heldur engin meðalár og hörfaði hafísinn ekki alla leið aftur að Framsundi á sumrin og haustin ([78] Halldór Björnsson, 2007). Á Mynd 49 má sá útbreiðslu hafíss í nágrenni Íslands fyrir árin 1960-1968. Þar sést að hafís náði austur fyrir landið í mars og apríl 1965 og mars til maí 1968. Í Veðráttunni maí 1968 ([86] Veðráttan, maí 1968) kemur fram ítarleg lýsing á hafísinum við landið. Þar segir m.a. að margir firðir austanlands hafi verið fullir af ís eða lokaðir, og einnig að ísinn hafi náð vestur að Svínafellsósi.



Mynd 49. Hafís í nágrenni Íslands 1960-1968, frá janúar til júní (mynd til vinstri) og júl til desember (mynd til hægri). Sjá nánar, ([85] Trausti Jónsson 2016). Athygli er vakin á því að kortin sýna oftast hámarksútbreiðslu mánaðarins fremur en dæmigerða útbreiðslu og enginn munur er gerður á þéttum og gisnum ís.

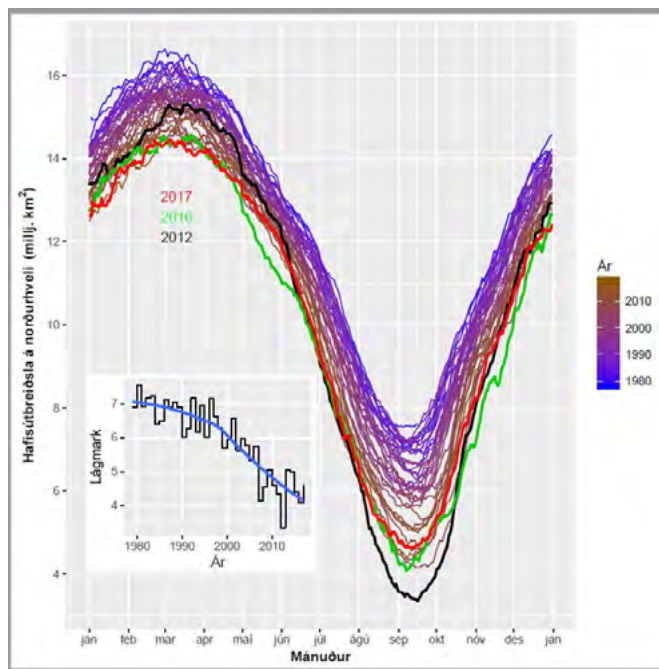
Undanfarna áratugi hefur hafís dregist saman á norðurhveli vegna hlýnunar, sjá Mynd 50 ([80] Halldór Björnsson o.fl., 2018) og Mynd 51. Samdrátturinn er mestur síðsumars og í byrjun hausts en minni á veturna. Mælingar sýna að meðaltal hafísútbreiðslu frá ágúst til október fyrir tímabilið 2010-2019 er um 2 milljón km² (u.þ.b. 25%) minni borið saman við tímabilið 1979-1988 ([81] IPCC, 2021). Talið er mjög líklegt að hafísútbreiðsla á norðurhveli muni halda áfram að dragast saman og ísinn þynnast ([80] Halldór Björnsson o.fl., 2018). Sviðsmyndir loftslagsbreytinga og áhrifa þeirra á hafís benda til að Norðurheimskautssvæðið verði nánast íslaut í lok sumars á síðari hluta aldarinnar en minni áhrifa gæti að vetrarlagi, sjá Mynd 52 ([80] Halldór Björnsson o.fl., 2018, [81] IPCC, 2021).

Borgarís myndast þegar brotnar úr jöklum sem skríða í sjó fram, liggja meðfram strönd eða á henni. Borgarísjakar frá jöklum Grænlands geta verið hundruð metra á þykkt og einstaka eru mjög víðfeðmir. Borgarísjakar á íslenskum hafsvæðum eiga allir uppruna sinn á Grænlandi og því ræðst fjöldi þeirra af fjölda og stærðardreifingu þeirra jaka sem brotna frá skriðjöklum Grænlands. Borgaríss getur orðið vart á öllum árstímum einkum eru þeir áberandi á haustin ([78] Halldór Björnsson 2007, [87], [88] Þór Jakobsson 2006

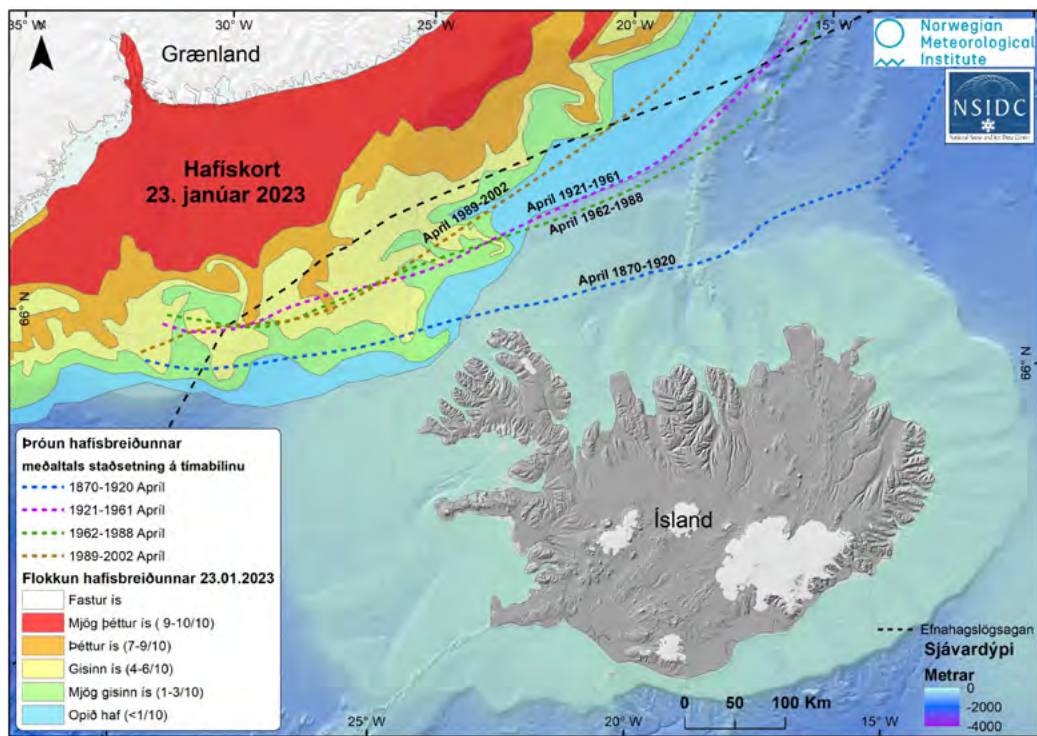
a,b). Í skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar frá 2008 ([79] Halldór Björnsson o.fl., 2008), kemur fram að talið er að hlýnun og bráðnun jökla hafi aukið skriðhraða á jöklum sem kelfa í sjó fram frá Grænlandi. Borgarís sem myndast við norðurhluta Grænlands getur jafnframt átt greiðari leið á haf út þegar hafísþekja minnkar. Hlýnandi veðurfar getur því leitt af sér aukningu borgarísjaka sem berast inn á Íslandsmið.

Lagnaðarís myndast þegar sjór frýs í fjórðum á köldum vetrum. Hann hverfur þegar hlýna tekur á vorin ([88] Þór Jakobsson 2006 b). Þrátt fyrir hlýnandi loftslags vegna loftslagsbreytinga geta slíkar aðstæður haldið áfram að myndast.

Hafískort eru gerð reglubundið og má nálgast kort Veðurstofu Íslands á vef stofnunarinnar ([77] Hafískort frá Veðurstofu Íslands) og kort frá norsku ísþjónustunni ([74] Cryo, 2023) á hafsjá Hafrannsóknastofnunar ([76] Hafískort frá Hafrannsóknarstofnun). Einnig gerir danska veðurstofan hafískort fyrir svæðið ([75] Danska veðurstofan, 2023).



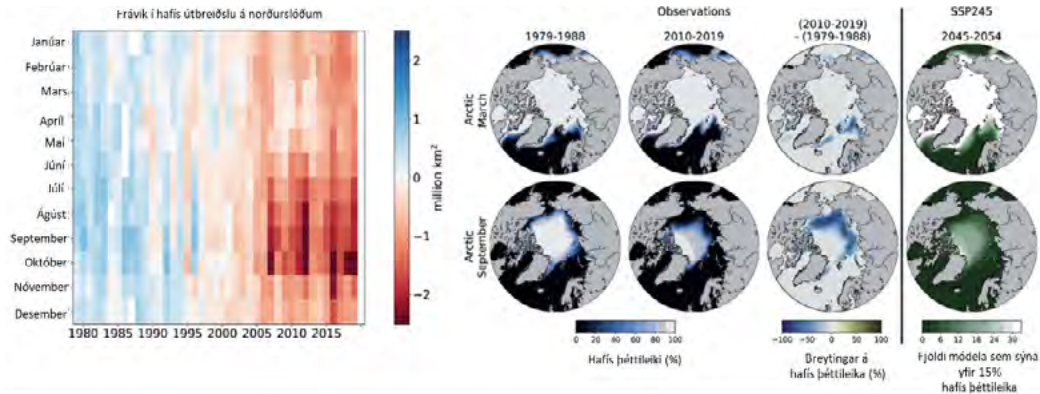
Mynd 50. Útbreiðsla hafíss (millj. km²) frá 1979 til 2017. Árstíðasveiflan fyrstu árin er sýnd með blálituðum línunum en síðustu árin eru brúnlituð. Árin 2012, 2016 og 2017 eru merkt sérstaklega. Litla myndin sýnir þróun árslágmárgámsins og bláa línun sýnir útjafnaðan feril. Úr skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar ([80] Halldór Björnsson o.fl., 2018, mynd 4.28).



Mynd 51. Þróun hafísbreiðunnar á Grænlandssundi í apríl frá 1870-2002, meðaltals staðsetning yfir 40 ára tímabil (punktalínur) fyrir þéttan ís (unnið úr upplýsingum frá National Snow and ice Data Center ([1] <https://nsidc.org/home>)). Hafísútbreiðslan 23. janúar 2023 (litakóðað) er jafnframt sýnt ([74] <https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts>).

Söguleg gögn um hafis á norðurslóðum og CMIP6 sviðsmyndir

Frávika tímaraðir, kort af árstíðarbundnum hafis þéttleika og SSP2-4.5 sviðsmynd um hafís



Mynd 52. Söguleg gögn um hafis á norðurslóðum. Til vinstri sést frávik í mánaðarmeðal útbreiðslu hafiss (milljón km²) fyrir tímabilið 1979-2019 borið saman við 1979-2008. Til hægri sést hafisþéttleiki á norðurslóðum (%) fyrir mars (þegar hafís er í hámarki) og september (þegar hafís er í lágmarki); Fyrsti dálkur sýnir meðaltalsgildi gervihnattamælinga fyrir tímabilið 1979-1988; Dálkur tvö sýnir meðaltalsgildi gervihnattamælinga fyrir tímabilið 2010-2019; Dálkur þrjú sýnir tölulegan mismun þessara tveggja áratuga (þ.e. (2010-2019) - (1979-1988)); Dálkur fjögur sýnir fjölda reiknilíkana sem sýna yfir 15% hafisþéttleika miðað við SSP2-4.5 sviðsmynd fyrir tímabilið 2045-2054. Nánari útskýringar á aðferðarfræði og tilvitnanir er að finna í skýrslu IPCC 2021 kafla 9 og töflu 9.SM.9. Úr skýrslu IPCC (2021) mynd 9.13. Texti á mynd er ekki þýðing gerð af IPCC, heldur er þýðingin gerð af Skrifstofu Loftslagsþjónustu og Aðlögunar. Haft var að leiðarljósi að textinn endurspeglaði sem skýrast upp-
runalega textann sem birtist í skýrslu IPCC. Þar sem IPCC er hluti af Sameinuðu Þjóðunum (Sp) eru skýrslur IPCC birtar á sex opinberum tungumálum Sp (arabísku, kínversku, ensku, frönsku og rússnesku) og má nálgast þær til niðurhalningar á www.ipcc.ch. Fyrir nánari upplýsingar er bent á að hafa samband við IPCC Secretariat (Heimilisfang: 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, 1211 Geneva 2, Switzerland; e-mail: ipcc-sec@wmo.int).

7. Lífríki

7.1 Samantekt um lífríki

- Innan lögsögu Íslands eru fá vernduð svæði í hafi og ná þau einungis yfir lítinn hluta þeirra svæða sem verndargildi hafa.
- Margir af stærstu fuglastofnum Íslands reiða sig á hafið sem fæðuöflunarsvæði, farsvæði eða vetrarbúsvæði. Nýting fugla á íslenskum hafsvæðum er að miklu leyti enn óþekkt.
- Vindmyllur á hafi munu alltaf skarast á við útbreiðslu sjávarspendýra en staðbundnar rannsóknir þarf til að kanna útbreiðslu sjávarspendýra á stórum landfræðilegum skala til að hægt sé að meta áhrif orkuframleiðslu á hafi á þau.
- Kortleggja þarf vel útbreiðslu botnvistkerfa og meta verndargildi og mikilvægi þeirra fyrir lífríki sjávar þar sem þau eru grunnur að fjölbreytileika lífríkis sjávar.
- Fiskistofnar reiða sig á ólík búsvæði fyrir hrygningu, ungvíði og fullorðna fiska sem kortleggja þarf vel.
- Áhrif af völdum vindmylla á hafi á lífríki geta bæði verið bein, s.s. breytingar á farleiðum, botngerð, sjólagi, rafseglulsvíði eða hindranir og óbein s.s. fæðuvefsbreytingar og samlegðaráhrif.
- Ljóst er að bæta þarf verulega í vöktun, grunnrannsóknir og kortlagningu á lífríki hafs til þess að hægt sé að meta staðbundin áhrif vindmylla á hafi á lífríki sjávar og þar með meta fýsileika framkvæmda fyrir ákveðin svæði.

7.2 Áhrif vindmylla á lífríki

Vindmyllur á hafi geta haft ýmiskonar áhrif á umhverfi sitt, á lífríki, á líffræðilegan fjölbreytileika og á nýtingu annarra náttúrulegra auðlinda hafsins.

Áhrif af völdum vindorkugarða á hafi geta verið margvísleg og ekki endilega þau sömu í uppbyggingarfasa og síðan á nýtingarfasa orkuframleiðslunnar. Tegundir og lífveruþópar geta verið misviðkvæm fyrir raski og geta áhrif verið bæði tímabundin en einnig langvarandi. Erfitt getur verið að leggja mat á samlegðaráhrif vindorkugarða á hafi á lífríki og búsvæði því slík áhrif geta tekið mörg ár að koma í ljós. Því er mikilvægt að undanfari slíkra framkvæmda séu vandaðar langtímarannsóknir og að þeim sé síðan fylgt eftir allan líftíma orkugarðsins.

Uppsetning vindmylla á hafi kallar á breytingar á botngerð innan framkvæmdasvæðis. Slétta þarf botninn fyrir undirstöður og botnfestur sem getur leitt af sér tímabundna gruggmyndun sem getur sest yfir viðkvæm búsvæði á botni og þannig breytt eðli þeirra

og nýtingarmöguleika lífvera. Framkvæmdir geta haft áhrif á samsetningu botnsets, sé undirlagið ekki heppilegt fyrir undirstöður fyrir vindmyllur þarf að þetta sjávarbotninn staðbundið sem getur þar með breytt eiginleikum hans. Eftir að undirstöður eða botnfestur hafa verið byggðar þarf að vernda þær með grjóthleðslum. Slíkar hleðslur eru einnig settar við kapla og leiðslur sem tengja túrbínur saman og flytja rafmagn í land. Þessar hleðslur geta valdið mikilli staðbundinni breytingu á botngerð, sérstaklega á mjúkum botni. Í slíkum tilvikum þarf að gera ráð fyrir að nýjar lífverur flytji inn á svæðið (tegundir sem lifa á harðari botni). Undirstöður og turnar eru einnig hart undirlag sem gefur nýjum tegundum möguleika á að nema svæði sem annars væru þeim óbyggileg. Hafa ber því í huga að nýju lífverurnar nýta sér svæðisbundnar auðlindir, næringarefni, súrefni og fæðu og geta myndað samkeppni við þær tegundir sem fyrir voru með afleiðingum sem erfitt getur verið að spá fyrir um. Bent hefur verið á að uppsetning vindmylla í hafi geti þannig auðveldað ágengum tegundum að nema ný svæði, sem svo dregur úr líffræðilegum fjölbreytileika ([100] ICES 2022b).

Hljóðmengun við framkvæmdir getur verið töluverð, m.a. þegar sprengja þarf fyrir undirstöðum eða berja þær niður. Sýnt hefur verið fram á að mikil neðansjávar hljóðmengun hefur mikil og langvarandi áhrif á sjávarspendýr, s.s. heyrnarleysi, rifnum sundmaga fiska og fiskidauða ([92] Dähne et al. 2013, [98] Govoni o.fl. 2008, [104] Lewis 2006).

Vindmyllur geta sömuleiðis verið hindrun á náttúrulegum farleiðum dýra, bæði neðan yfirborðs sem og ofan þess. Þessar hindranir er erfitt að meta og geta tekið breytingum í tíma og rúmi. Kerfi botnfesta og turna getur hindrað sjávarlífverur, t.d. hvali, á sínum farleiðum og túrbínur og blöð þeirra geta hindrað fugla á sínum farleiðum. Þessar farleiðir eru í fæstum tilvikum þekktar og ráðast þarf í umfangmiklar rannsóknir til að meta þessa áhættu.

Hættan sem fuglum stafar af vindmyllum á hafi er aðallega af því að þær valda hindrunum á farleiðum, breytingum á búsvæðum og valda árekstrum ([95] Fox & Petersen 2019). Rannsóknir hafa sýnt að flestar af stærri og algengari fuglategundum forðast vindmyllugarða á hafi. Ekki er talið að þessi forðunarhegðun hafi mikil áhrif á fugla í farflugi en hvort forðunarferli hafi áhrif á svæðisbundnar ferðir varpfugla og fugla á vetrarstöðvum eða í fæðuleit hefur lítið verið rannsakað ([95] Fox & Petersen 2019).

Sýnt hefur verið fram á að rafsegulsvið umhverfis flutningstrengi í sjó getur haft áhrif á suma lífveruhópa. Margar sjávarlífverur skynja segulsvið og nota þá skynjun m.a. til fæðuöflunar ([97] Gill o.fl. 2009). Þetta er þekkt t.d. hjá hákörllum og eru dæmi þess að þeir hafi bitið í smærri strengi og jafnvel tekið þá í sundur ([96] Gill o.fl. 2005). Þá er talið að rafsegulsvið vegna flutningstrengja geti haft áhrif á ratvísi lífvera en talið er að sumar þeirra skynji segulsvið og noti til það til að rata ([90] Bailey o.fl. 2014).

Ekki er allt neikvætt við breytingar sem leiða af uppsetningu vindmylla á hafi. Svæði sem tekin eru frá fyrir vindmyllur í hafi geta að vissu leyti haft svipuð áhrif og verndarsvæði í sjó, þar sem á slíkum svæðum dregur úr annarri auðlindanýtingu og fiskar og

aðrar nytjalífverur hafa þar skjól og vernd, m.a. frá veiðum. Mikilvægt er þó að hafa í huga að lokun svæða umhverfis vindmyllur getur leitt til aukins þrýstings um nýtingu á öðrum svæðum og því mikilvægt að horft sé á heildrænan og yfirgripsmikinn hátt á skipulagningu og nýtingu hafsvæða.

7.3 Vernduð svæði á hafi og alþjóðlegar skuldbindingar Íslands í náttúruvernd

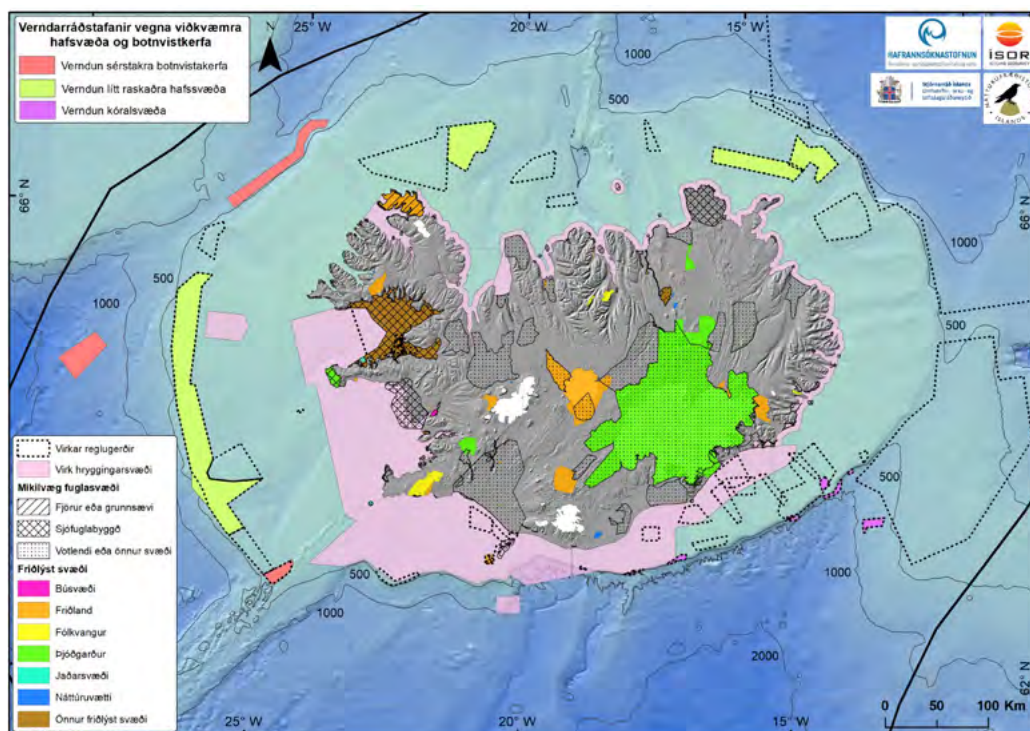
Ísland er aðildarríki að ýmsum alþjóðasamningum sem hafa það að leiðarljósi að vernda hafsvæði og/eða lífríki. Þar má nefnda, samning um verndun NA-Atlantshafsins (Convention for the Protection of the Marine Environment, OSPAR), Ramsarsamningurinn um votlendi, Bernarsamninginn um verndun villtra dýra, plantna og búsvæða í Evrópu, samning SP um líffræðilega fjölbreytni (Convention on Biological Diversity, CBD) og samning um vernd votlendisfarfugla og búsvæði þeirra (African-Eurasian Waterbird Agreement, AEWA).

Aðildarríki OSPAR og CBD samninganna hafa sett sér það metnaðarfulla markmið að vernda 30% hafsvæða sem samningarnir ná til fyrir 2030, þekkt sem 30x30 markmiðið sem samþykkt var á fundi aðildarríkja CBS í [desember 2022](#) og á fundi aðildarríkja OSPAR í [október 2021](#). Ísland hefur tilkynnt 14 svæði sem verndarsvæði á skrá OSPAR samningsins, 10 þessara svæða voru verndun á viðkvæmum búsvæðum (kóralsvæði), á grundvelli laga um veiðar í fiskveiðilandhelgi Íslands (nr. 79/1997, 9 gr.). Fjögur svæði voru vernduð skv. lögum um náttúruvernd (nr. 60/2013, 48. og 49. gr.). Af þeim eru tvö verndun á hverastrýtum í sjó, auk verndunar á Surtsey og Eldey og hafinu í kringum þær (<https://carto.mpa.ospar.org/en/1/ospar.map>). Ramsarsamningurinn hefur það að markmiði að stuðla að verndun búsvæða vaðfugla, héraendis eru sex svæði sem eru á lista samningsins og ná tvö þeirra til strandsvæða, [Andakíll í Borgarfirði og Grunnafjörður](#). AEWA samningurinn nær til flestra fuglategunda sem verpa eða hafa viðkomu á Íslandi og metur stöðu einstakra stofna og hvort grípa þurfi til verndaraðgerða fari fuglastofn hnignandi.

Á Íslandi hafa verið skilgreind [121 svæði](#) sem teljast alþjóðlega mikilvæg fyrir varpfugla (e. Important Bird Areas, IBA) og reglulega fargesti samkvæmt viðmiðum Alþjóðlegu fuglaverndarsamtakanna (e. Birdlife International). Af skilgreindum svæðum eru 70 þeirra sjófuglabyggðir og 25 svæði fjörur eða grunnsævi. Í tilgreindum sjófuglabyggðum verpir meirihluti af stofnum 15 af 24 íslenskum sjófuglategundum og fjöru- og grunnsævi eru sérstaklega mikilvægt fyrir farfugla, sem vetrardvalar- og fjaðrafellistaðir ([103] Kristinn H. Skarphéðinsson o.fl. 2016). Mikilvæg svæði fyrir sjófugla eru öll nema eitt skilgreind fyrir varpsvæði þeirra og því er eftir að skilgreina svæði fyrir aðra þætti, s.s. vetrarsvæði. Hafa beri í huga að útlínur þessara svæða sem nú eru sýnd í [kortasjá](#) Náttúrufræðistofnunar Íslands eru lauslega dregnar og mörg svæðanna þurfa mun stærra helgunarsvæði til verndunar þeim fuglastofnum sem þar halda til. Í fjölríti Náttúrufræðistofnunar Íslands nr. 55 um mikilvæg fuglasvæði á Íslandi má sjá

skilgreind mikilvæg svæði fyrir allar tegundir sem teknar voru til greina og hvaða alþjóðlegu verndar viðmiðum tegundin náði fyrir hvert svæði ([103] Kristinn H. Skarphéðinsson o.fl. 2016).

Nokkur friðlýst svæði hérlandis hafa mikla þýðingu fyrir strand- og sjófugla, þar helst að nefna, Eldey, Látrabjarg, Hornstrandir og Skrúð þar sem stórar sjófuglabyggðir er að finna. Breiðafjörðurinn nýtur verndar með lögum nr. 54/1995 um vernd Breiðafjarðar en þar má finna mjög fjölskrúðugt fuglalíf og háan árstíðabundinn þéttleika ýmissa fuglategunda á strandsvæðum og grunnsævi (Mynd 53).



Mynd 53. Friðlýst svæði, hrygningarsvæði, mikilvæg fuglasvæði og virkar reglugerðir um bann, takmarkanir eða aðra stjórnun á veiðum ásamt drögum um reglugerð vegna viðkvæmra hafsvæða og botnvistkerfa.

Í vinnslu er reglugerð um verndarráðstafanir vegna viðkvæmra hafsvæða og botnvistkerfa sem hafa það að markmiði að tryggja nauðsynlegar verndarráðstafanir vegna varðveislu viðkvæmra hafsvæða og botnvistkerfa með tilliti til fiskveiða og verndunar vist-



kerfa og varúðarnálgunar. Áformað er að taka frá svæði þar sem allar veiðar nema á upp-sjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru óheimilar. Skilgreind eru fimm svæði til að vernda lítt röskuð hafsvæði, 10 svæði til verndunar kóralsvæða og þrjú svæði til verndunar sérstakra botnvistkerfa á hafsbotni. Þetta eru mikilvægt skref í verndun hafsvæða en ljóst er að enn er mikið óunnið verk til þess að heilstæð vernd náist um mikilvæg hafsvæði hérlandis. Nær öruggt er að fleiri svæði en nefnd eru í reglugerðardrögum þurfi á friðun eða verndunaraðgerðum að halda sé horft til fleiri þátta en viðkvæmra botnsvæða. Þar má nefna grunnsævisvæði, mikilvæg fæðuöflunarsvæði sjófugla og sjávarspendýra og farleiðir ýmissa tegunda. Hafa skal í huga að þær ýmsu reglugerðir sem til eru sem banna fiskveiðar með tilteknum veiðarfærum eru ekki bann við allri nýtingu á svæðinu (Mynd 53, Tafla 10.1 í viðauka) en mikilvægt er að önnur nýting skerði ekki verndargildi svæðisins.

7.4 Staða þekkingar

Þrátt fyrir margvíslegar vísindarannsóknir á lífríki á og við Ísland er staða þekkingar misjöfn eftir dýrahópum og eðli þeirra. Eftirfarandi samantekt miðar að því að draga saman stöðu þekkingar um fugla, sjávarspendýr, botnsvæði, og útbreiðslu fiskistofna og annarra nytjategunda. Dregið er fram hvar þekkingu skortir helst og til greiningar á þeim rannsóknum sem frekast þarf við mat á áhrifum uppsetningar vindorkugarða á hafi.

7.4.1 Fuglar

Búsvæðanýting fugla er breytileg eftir lífsháttum þeirra og árstíma. Flokka má mikilvægi strand- og hafsvæða eftir því hvort sé um að ræða varpstöðvar, fæðusvæði,

vetrarstöðvar, fellisvæði, tímabundin hvíldar- og fæðusvæði (e. stopover sites) eða farleiðir. Ólíkar rannsóknaaðferðir þarf að nota til að meta mikilvægi hvers búsvæðis. Þannig þarf að nota nákvæman staðsetningabúnað eða radarmælingar til þess að leggja mat á farleiðir og fæðusvæði, ónákvæmur staðsetningarbúnaður (t.d. dægurrítar) getur dugað til að leggja mat á vetrarstöðvar og beinar talningar þarf til þess að leggja mat á stærð varpstofna.

Ýmsar rannsóknir hafa verið gerðar hérlendis á stökum fuglategundum þar sem staðsetningabúnaður hefur verið notaður. Ekkert heildstætt, nýlegt yfirlit er til yfir íslenskar rannsóknir sem nýta sér staðsetningabúnað. Erlendis hafa verið sett staðsetningartæki á fugla sem fara um Ísland eða lögsögu þess, s.s. helsingjar á Bretlandseyjum sem stoppa við á Íslandi á leið sinni til Grænlands. Ekkert heildstætt yfirlit er til yfir slíkar rannsóknir, eignarhald eða aðgengi að gögnum. Sérstakt átak hefur verið undanfarin ár í notkun GPS-GSM leiðarrita til að kanna far og lífshætti nokkurra tegunda hérlendis, m.a. hafarna, grágæsa, helsingja og nokkurra mófuglategunda. Niðurstöður fyrir hafarni, grágæsir og helsingja hafa ekki verið birtar opinberlega en gögn eru aðgengileg til greininga. Séu skilyrði til orkuframleiðslu á hafi skoðuð svæðisbundið fyrir landið þarf að horfa til þess að vetrarstöðvar ýmissa tegunda dreifast ólíkt eftir tíma árs og uppruna fugla ([89] Amélineau o.fl. 2021, [94] Fauchald o.fl. 2021, [105] Merkel o.fl. 2021). Það sama gildir um bæði varpstöðvar og svæðisbundna nýtingu svæða að slíkt er breytilegt bæði eftir tegundum en einnig í tíma og rúmi. Mikilvægt er að rannsóknir sem miða að því að meta áhrif af völdum mannglegra umsvifa nái til allra stofna fugla sem nýta sér íslensk strand- og hafsvæði á ólíkum tímum árs og lífsferla.

Dreifing og fjöldi fugla að vetrarlagi við strendur er tiltölulega vel þekkt fyrir mörg svæði hérlendis vegna vetrarfuglatalninga Náttúrufræðistofnunar Íslands þar sem fuglar á strandsvæðum hafa verið taldir með stöðluðum hætti síðan 1952. Vöktunin er þó ekki dekkandi fyrir allt landið og því er svæðanýting við strönd ekki að fullu þekkt. Einnig þarf að huga að því að vöktunin nær einungis eins langt út á haf og hægt er að greina fugla með góðu móti af ströndu með kíkí. Varpstofnar bjargfugla á Íslandi eru einnig vaktaðir árlega í stærstu fuglabjörgum landsins og þá eru varpfuglar í öllum íslenskum fuglabjörgum taldir á 10-12 ára fresti til þess að túlka megi vísitölur árlegra stofnbreytinga. Árlega er lagt mat á stofnstærð bæði dílaskarfa og toppskarfa með flugtalningum og viðkoma og nýliðun dílaskarfa metin. Varpstofn súlu er metinn á um það bil fimm ára fresti með talningum af loftmyndum til að meta stofnbreytingar. Þannig eru stofnstærðir best þekktar fyrir ýmsar tegundir sem verpa í þéttum, vel afmörkuðum byggðum en minni og sundurleitari upplýsingar eru til fyrir tegundir með dreifða varpútbreiðslu og holufugla, einna minnstu upplýsingar um stofnstærð eru til fyrir kjóa, silfurmaf, svartbak, kríu, teistu, stormsvölu og skúm ([103] Kristinn H. Skarphéðinsson o.fl. 2016).

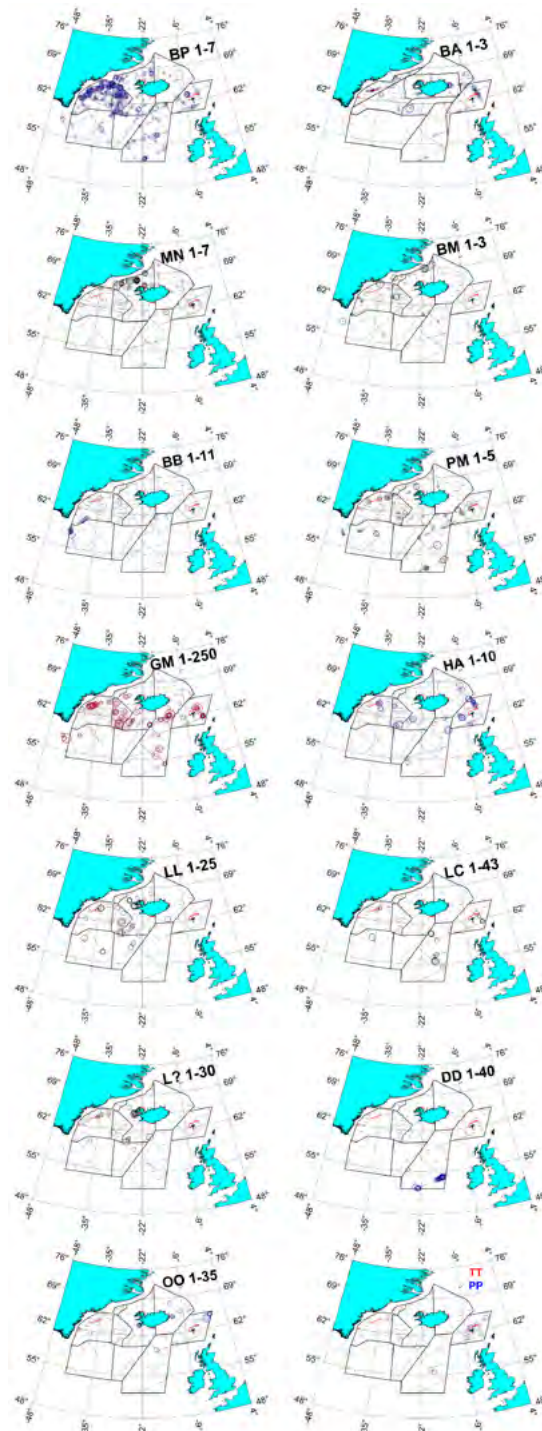
Margir stofnar sjófugla eru nú þegar undir álagi vegna loftlagsbreytinga og annarra umhverfispáttá og eru margar tegundir skilgreindar í hættu eða yfirvofandi hættu á válista. Allar fuglategundirnar 14 sem flokkast sem tegundir í bráðri hættu (CR) eða í hættu (EN) á válista Náttúrufræðistofnunar Íslands frá árinu 2018 nýta sér strand- eða hafsvæði að

einhverju leyti sem fæðustöðvar, varpstöðvar, vetrarstöðvar eða farleiðir. Þannig er t.d. lundí flokkaður í bráðri hættu (CR) á valista fyrir Ísland, í hættu (EN) fyrir Evrópu og í nokkurri hættu (VR) á heimsválista.

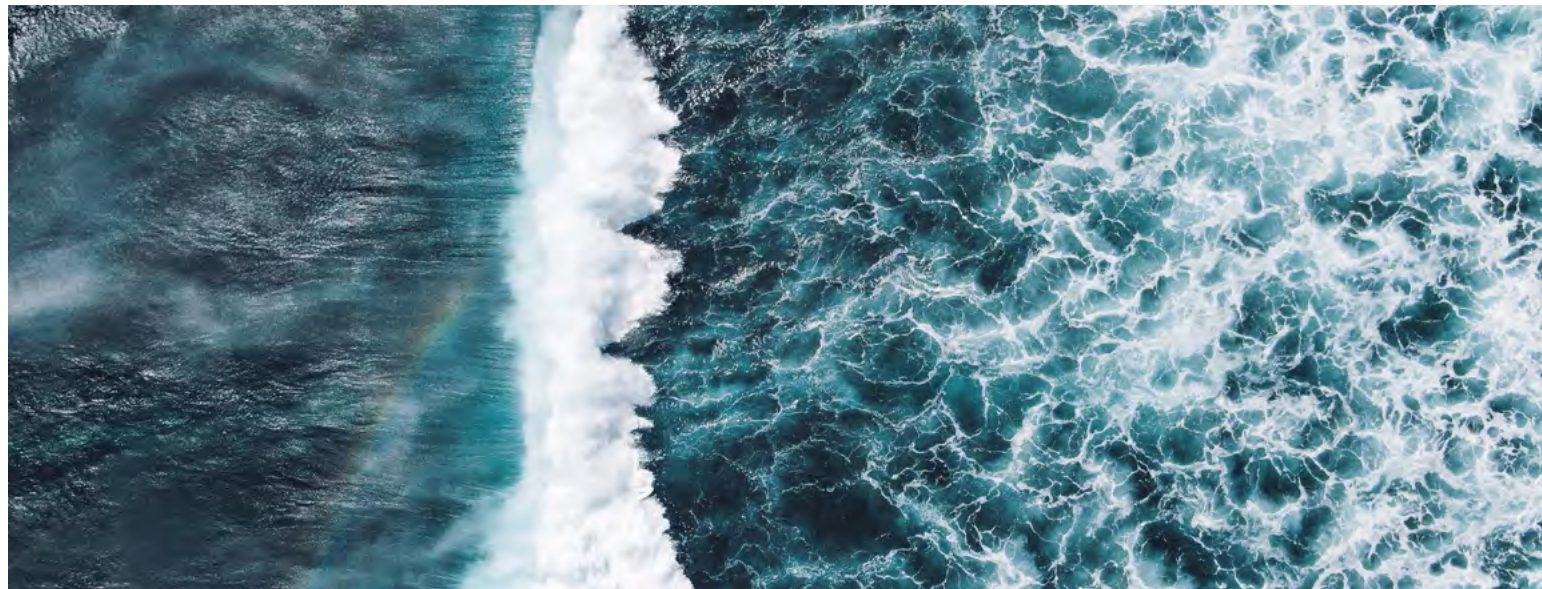
Mikilvægt er að meta það aukna álag sem vindmyllugarðar geta haft á fuglastofna og hver samlegðaráhrifin geta verið við aðra álagsvalda til að tryggja sjálfbærni tegunda og árangur verndunar- eða mildunaraðgerða ([91] Croll o.fl. 2022). Fyrir margar tegundir fugla hafa engar rannsóknir með staðsetningabúnaði, radarmælingum eða beinar talningar farið fram sem varpað gæti ljósi á hafsvæðanýtingu þeirra. Einnig eru þær rannsóknir sem gerðar hafa verið mismiklar að umfangi. Fyrir flestar þær fuglategundir sem nýta sér strand- og hafsvæði við Ísland þarf að bæta verulega við þann þekkingargrunn sem er til staðar, einkanlega um farleiðir, fæðustöðvar og vetrardvöl til þess að hægt sé að leggja heildstætt mat á hvaða hafsvæði eru óhagstæð til orkuframleiðslu sé horft til fuglastofna.

7.4.2 Sjávarspendýr

Sjávarspendýr eru ýmist staðbundin við landið eða stunda árstímabundið far og koma á íslensk hafsvæði til fæðuöflunar á sumrin og þá einkum stórhvelin. Dreifing sjávarspendýra í hafinu í tíma og rúmi stjórnast af fjölmörgum þáttum, svo sem fæðuframbóði, tímgun, atferlisfræðilegum þáttum og fari þeirra. Upplýsingum um dreifingu hvala kringum Ísland hefur verið safnað á kerfisbundinn hátt í alþjóðlegum talningarleiðangrum sem farið hefur verið í sex sinnum á árabílinu 1987-2015 ([107] Pike o.fl. 2019). Jafnframt liggja fyrir upplýsingar um dreifingu hvala frá öðrum leiðöngrum Hafrannsóknastofnunar og öðrum hagaðilum (t.d. hvalaskoðunarfyrirtækjum) sem jafnan hefur ekki verið safnað á kerfisbundinn hátt en meira tilfallandi hátt (e. opportunistic). Stórhveli og djúphvalir (andarnefja og búrhvalur) eru gjarnan að finna í mestum þéttleika við landgrunnshalla og við sjávarhryggi þar sem er uppstreymi og framleiðnin er mikil (Mynd 54), en einnig inni á landgrunninu. Höfrungar, háhyrningar og grindhvalur eru meira inn á landgrunninu en utan við það. Landselir og útselir eru meira bundnir við strendur allt í kringum landið en einnig á grunnsævi og landgrunninu. Gögn um dreifingu þeirra og fjölda byggja að mestu leyti á flugtalningum. Í þeim eru selir taldir meðan að þeir eru uppi á landi á kæpingartíma ([108] Sandra M. Granquist 2021; [109] Sandra M. Granquist og Erlingur Hauksson 2019). Upplýsingar um dreifingu þeirra í sjó eru hins vegar takmarkaðar, og eru þá ýmist sem skráningar á meðafla í veiðarfæri eða tilfallandi ókerfisbundnar skráningar. Til viðbótar við landsel og útsel sem eru árið um kring við Ísland eru nokkrar aðrar tegundir sela sem finnast við Ísland. eru það aðallega norrænar tegundir, svo sem vöðuselur og blöðruselur, sem eru algengir flækningar við norðanvert landið og þá oft í námunda við hafís. Að framansögðu má gera ráð fyrir að útbreiðsla sjávarspendýra skarist við vindmyllur í sjó hvar sem þær eru settar niður. Rannsóknir á útbreiðslu þeirra á stærri landfræðilegum skala eru nauðsynlegar þegar fýsileiki einstakra svæða með tilliti til vindmyllugarða verður skoðaður. Þá þarf að rýna betur í niðurstöður rannsókna erlendis frá um áhrif vindmylla á sjávarspendýr og meðal annars að móta rannsóknir og vaktanir út frá þeim.



Mynd 54. Dreifing mismunandi hvalategunda í talningarleiðöngrum árið 2016 í mið Norður-Atlantshafi. Stærð hringja tákna fjölda hvala eins og sýnt er á hverri mynd og hvalategundirnar eru: BP-langreyður; BA-hrefna; MN-hnúfubakur; BM-steypireyður; BB-sandreyður; PM-búrhvalur; GM-grindhvalur; HA-andarnefja; LL-hnýðingur; LC-leiftur; L?-ógreindur höfrungur; DD-léttir; OO-háhyrningur; TT-stökkull; PP-hnýsa ([107] Pike ofl. 2019).



7.4.3 Viðkvæm botnsvæði

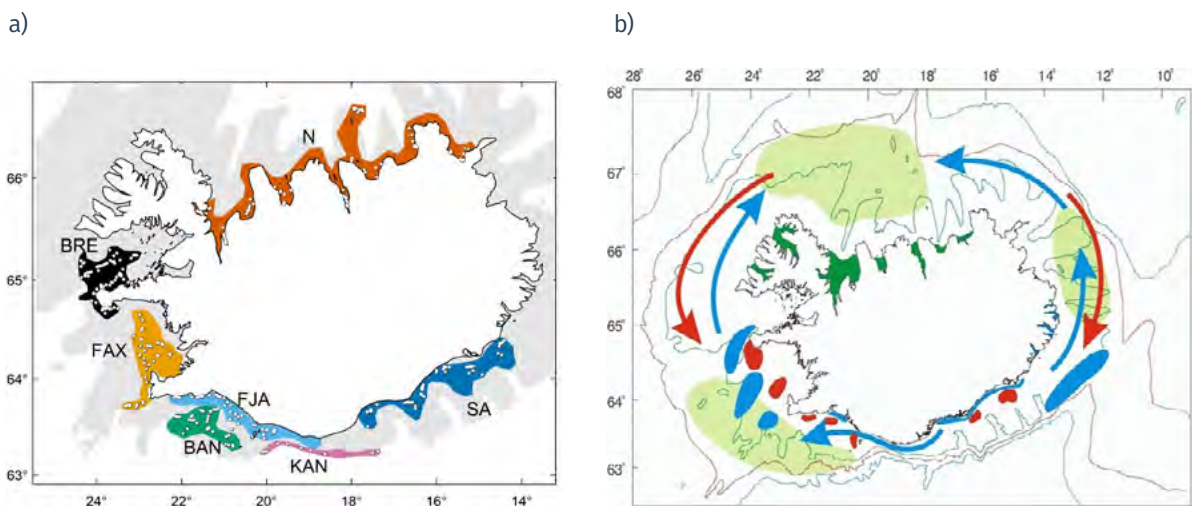
Flest svæði á hafsbotni eru á einhvern hátt mikilvæg. Þau geta verið búsvæði lífvera ýmist til lengri eða skemmri tíma, fæðuslóðir, uppeldis- og hrygningarsvæði, fóstrað fjölbreytt dýralíf og sum þeirra eru mikilvæg manningum. Þau svæði eru oft nýtt, meðal annars sem veiðisvæði, efnistökusvæði, fiskeldissvæði o.fl. Það er mikilvægt að umgangast búsvæði hafsbotnsins á ábyrgan hátt og kortleggja vel útbreiðslu búsvæða innan fyrirhugaðra framkvæmdasvæða. Í sumum tilfellum þarf að beita sértækum verndar eða friðunarákvæðum til að gæta þess að ákveðin búsvæði eða vistkerfi verði ekki fyrir neikvæðum áhrifum. Ákveðin búsvæði /vistkerfi hafa verið skilgreind sérstaklega vegna þess hve viðkvæm þau eru vegna áhrifa mannsins ([93] FAO 2009; [106] OSPAR 2008). Alþjóðlegum verndarsvæðum hefur verið komið á, auk verndarsvæða innan lögsögu margra nágrannaríkja okkar. Kóralsvæði, svampabyrpingar og hverastrýtur eru dæmi um slík svæði. Kóralsvæði við Ísland eru helst við landgrunnsbrún og í kantinum frá Reykjaneshrygg að Íslands-Færeyjahrygg en geta náð allt að Víkurál ([111] Steinunn H] Steinunn Ólafsdóttir o.fl. 2020, [110] Sigmar A. Steingrímsson og Sólmundur T. Einarsson 2004). Hverastrýtur eru í Eyjafirði og hafa þær verið friðaðar, hverastrýtur eru einnig á 200 m dýpi við Steinahól á Reykjaneshrygg og svampabyrpingar eru víða, meðal annars í Grænlandssundi ([111] Steinunn Ólafsdóttir o.fl. 2021). Á grunnsævi er einnig að finna kóralsvæði, en það eru afar viðkvæm búsvæði sem eru mynduð af kalkmyndandi þörungum. Útbreiðsla þessara svæða er mest á Vestfjörðum ([102] Kjartan Thors 2018) en að öðru leyti er lítið vitað um þau. Nú er í gangi rannsóknaverkefni styrkt af Rannís á frekari kortlagningu þessara svæða.

Nauðsynlegt er að kanna hafsbotninn á og við svæði þar sem áform eru uppi um uppsetningu vindmylla, bæði hvað varðar gerð hans og einkenni, þ.m.t. sem búsvæði og vistþjónustu þeirra.

7.4.4 Útbreiðsla fiskistofna og annarra nytjastofna sjávar

Margar af helstu fisktegundum við Ísland hrygna á grunnsævi og þá einkum í hlýsjónum sunnan og vestanlands. Þorskfiskar (t.d. þorskur, ýsa og ufsi) hrygna niður við botn en egg þeirra liggja ekki á botninum heldur fljóta upp að lokinni hrygningu og berast með straumum. Loðna og síld hrygna einnig við botninn og límast egg þeirra við undirlagið sem gjarnan er malarbotn. Þegar lirfur þeirra klekjast úr eggjunum berast þær með straumum líkt og egg og lirfur þorskfiska. Allmörg afmörkuð hrygningarsvæði

nytjategunda eru þekkt þótt þau hafi ekki nema að litlu leyti verið kortlögð á kerfisbundinn hátt. Niðurstöður netralls Hafrannsóknastofnunar gefa ágætis mynd af dreifingu þorsks á hrygningartíma ([112] Valur Bogason og fl. 2022) (mynd 55a) Nokkur hrygningarsvæði síldar og loðnu eru einnig þekkt þótt fullkomin mynd af þeim liggi ekki fyrir (mynd 55b). Þá hrygnir stór hluti steinbítsstofnsins á Látragrunni en einnig víðsvegar kringum landið. Jafnan eru hrygningarsvæði nytjastofna einnig þekkt veiðisvæði þeirra frá fornu fari.

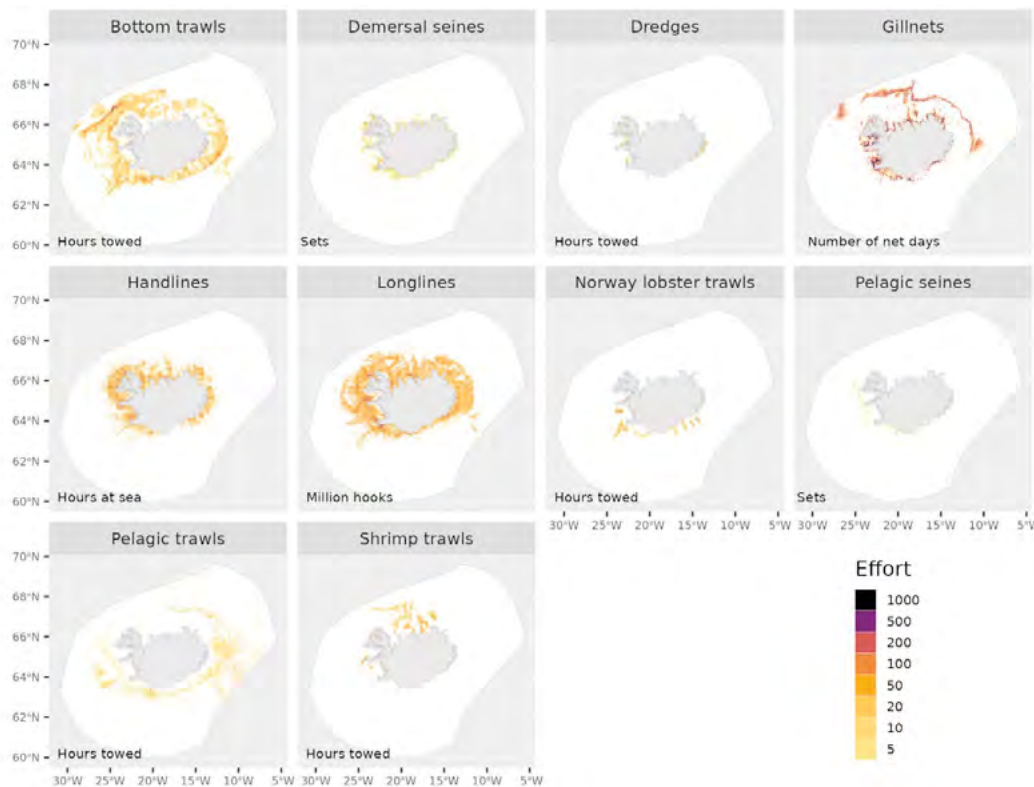


Mynd 55. Skematískar myndir af hrygningarstöðvum (a) þorsks sýnd sem stöðvar (hvítir punktar) í netaralli Hafrannsóknastofnunar á mismunandi svæðum ([112] Valur Bogason ofl. 2022), og (b) íslenskrar sumargotssíldar sem rauðir blettir ([101] Jakob Jakobsson ofl. 1993).

Uppeldissvæði nytjastofna eru einkum í fjörðum og flóum en einnig á öðrum grunnsævisvæðum. Ungviði flestra nytjastofna, bæði fiska og krabbadýra, byggja afkomu sína á framleiðni í efri lögum sjávar fyrsta sumarið. Eftir það leita margar tegundir botns og eru mikið til botnlæg restina af lífsferlinum (t.d. þorskfiskar og krabbar) meðan að uppsjávarfiskar stunda lóðrétt far í vatnssúlu hafsins. Egg og lirlfur reka jafnan með hafstraumum og því eru uppeildissvæði margra tegunda norðvestan og norðan við landið.

Veiðisvæði nytjategunda gefa jafnan góða mynd af dreifingu stofna í tíma og rúmi. Helstu veiðisvæði eftir veiðarfærum má skoða á Hafsjá (<https://atlas.lmi.is/mapview/?application=haf>). Veiðisvæði botnfiska og hryggleysingja er að einhverju leyti háð veiðarfærum og árstíma en eru oft á sömu afmörkuðu svæðum ár eftir ár (Mynd 56). Handfæra- og línuveiðar eru mun dreifðari en veiðar með togveiðarfærum. Helgast þetta af þáttum eins og framleiðni svæðanna, botn- og búsvæðagerð. Meiri breytileiki, og minni regla, getur verið á veiðisvæðum uppsjávarfiska þar sem dreifing þeirra er minna háð t.d.

botnlagi. Þannig eru flotvörpuveiðar á síld, makríl, loðnu og kolmunna stundaðar á allstórum svæðum utan við 12 mílna viðmiðunarlínu úti fyrir norðaustur-, austur-, suður-, og suðvesturlandi (Mynd 56). Að sama skapi eru nótaveiðar á loðnu og síld stundaðar víða grunnt með suður- og vesturströnd landsins.



Mynd 56. Dreifing veiða eftir mismunandi veiðarfærum kringum Ísland samkvæmt afladagbókum yfir árin 2018-2021 ([99] mynd frá ICES 2022a).

Áhrif vindmyllugarða í hafi á fiskistofna hefur verið rannsökuð víða erlendis ([100] ICES 2022b). Niðurstöður af slíkum rannsóknum þyrfti að rýna með skipulögðum hætti ef meta á áhrif vindmyllugarða á hvert einstakt hafsvæði kringum Ísland. Jafnframt þarf að nota slíkar niðurstöður til að kortleggja hvaða frekari rannsóknir þurfi að ráðast í hér við land í tengslum við mögulega vindmyllugarða á hafi. Áhrif vindmylla á fiskistofna geta verið með beinum hætti með breytingum á dreifingu og fari, og magni vegna vindmyllana sjálfra eða breytinga á straumum, sjólagi, lagskiptingu sjávar og setmyndun af vindmyllunum ([100] ICES 2022b). Eins geta áhrifin verið óbein í gegnum breytingar á fæðuvef og búsvæðum.

7.5 Samlegðaráhrif og aðlögunaraðgerðir fyrir lífríki vegna vindmylla á hafi

Aðlögunaraðgerðir fyrir lífríki vegna orkunýtingar á hafi þurfa að horfa bæði til þess lífríkis sem verður fyrir áhrifum sem og búsvæða þeirra. Fyrst og fremst þarf að horfa til þess hvert náttúrulegt ástand svæðis er fyrir framkvæmdir og miða aðlögunaraðgerðir að því.

Þannig þurfa aðgerðir sem ætlaðar eru til að milda áhrif að vera sértækar fyrir bæði svæðið sem um ræðir og taka heildrænt tillit til verndarstöðu lífríkis og vistkerfa á botni, fiskistofna, svíflægs lífríkis, fugla og sjávarspendýra. Slíkar aðgerðir geta falið í sér allt frá því að færa til vindorkugarða innan framkvæmdasvæðis, nota viðunandi búnað, breyta lögun og stærð orkugarða yfir í að hætta við framkvæmdir ef rannsóknir benda til þess að áhrif séu óásættanleg miðað við stefnu stjórnvalda og ekki standi til boða aðlögunaraðgerðir sem geti mildað áhrifin.

7.5.1 Niðurstöður

Ljóst er að horfa þarf til margra þátta ef forgangsraða á hafsvæðum til orkuvinnslu. Líta verður jafnt til áhrifa á framkvæmdartíma og hugsanlegra breytinga á botngerð vegna þeirra annars vegar og hins vegar áhrifa af rekstri orkuveranna, þ.m.t. segulsvið og hávaða. Horfa þarf til mikilvægis svæða út frá ólíkum lífveruhópum, búsvæðum og lífsferlum. Núverandi friðlýst svæði duga skammt til að setja afmarkanir fyrir vindorkunýtingu enn sem komið er, þar sem þau ná ekki nema að litlum hluta yfir þau haf- og strandsvæði sem mikið verndargildi hafa. Bæta þarf úr þekkingarskorti varðandi flesta þætti lífríkis í hafi til þess að hægt sé að leggja mat á áhrif vindmylla á hafi og forgangsraða svæðum bæði til nýtingar en einnig til verndunar.

7.5.2 Næstu skref

Margar af nágrannabjóðum Íslands eru mun lengra á veg komnar við að meta áhrif vindmylla á hafi á lífríki sjávar, sérstaklega sjávarspendýr og sjófugla. Mikilvægt er að nýta sér þann þekkingargrunn sem er til staðar erlendis og samnýta þannig gögn, aðferðarfræði og mannauð sem best. Bera þarf kennsl á fyrir hvaða tegundir eða tegundahópa helst vantar grunnkögn, forgangsraða út frá fyrirliggjandi upplýsingum um hvaða tegundir verða fyrir mestum áhrifum af völdum vindmylla. Í því efni þarf jafnframt að hafa í huga sérstöðu Íslands og hafsvæðisins í kringum landið, sbr. t.a.m. botngerð, setþykktir, landfræðilega stöðu og veðurfar, eins og rakið er í öðrum köflum þessarar skýrslu. Einnig þarf að safna upplýsingum staðbundið út frá verndargildi og mikilvægi svæðisins, s.s. hvort um sé að ræða mikilvægt fæðusvæði, vetrarsvæði eða önnur svæði sem lífverur byggja afkomu sína á.

Útfæra þarf svæðis- og tegundabundið áhættumat. Leggja þarf mat á áreiðanleika fyrirliggjandi gagna og rannsókna til þess að meta megi hvar þarf að bæta við grunnrannsóknum. Meta þarf með raunhæfum hætti áhrif vindorkuvinnslu á hafi á lífríki á heildstæðan hátt þar sem tekið er tillit til óvissuþátta, samlegðaráhrifa og áhrif mildunaraðgerða.



Fyrir Ísland leggst að auki við sá tími sem það mun taka að marka skýra stefnu af hálfu stjórnvalda og setja upp ramma fyrir úthlutanir rannsóknar- og nýtingarleyfa áður hægt er að hleypa slíkum verkefnum af stað.

Miðað við erlendar fyrirmyndir og forsendur má áætla að fyrsti vindorkugarðurinn á hafi við Íslandsstrendur mun í fyrsta lagi vera farinn að framleiða raforku í kringum árin 2031 til 2035.

Þetta þýðir að vindorka á hafi er ekki raunhæfur valkostur fyrir orkuöflun á Íslandi vegna markmiða um samdrátt í samfélagslosun og orkuskipti fyrir árið 2030. Hins vegar vegna markmiða um kolefnishlutleysi Íslands árið 2040 er ljóst að vindorka á hafi er valkostur fyrir hluta þeirrar orkuöflunar sem nauðsynleg er til að slíku markmiði verði náð.

8.2 Valkostir við orkuöflun vindorku á hafi við Ísland

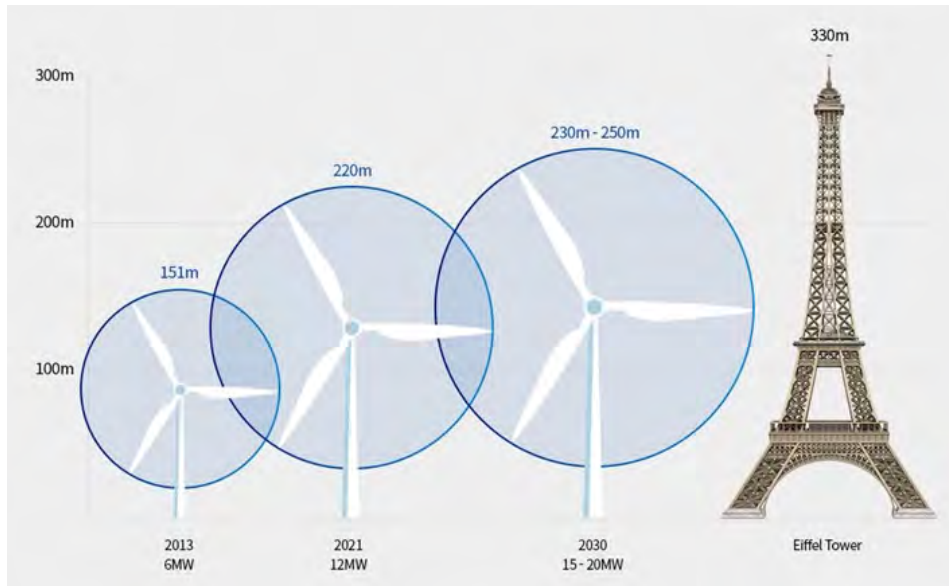
Valkostir við orkuöflun vindorku á hafi í dag eru tveir. Í fyrsta lagi botnfastar vindmyllur og hins vegar fljótandi vindmyllur sem festar eru með ankerum við hafsbotninn.

Í megindráttum er munurinn á botnföstum og fljótandi vindmyllum sá að fljótandi vindmyllur eru festar við hafsbotninn með ankerum á meðan botnfastar vindmyllur eru festar við hafsbotninn með mannvirki sem er að öllu leyti neðansjávar sem vindmyllan stendur á.

Miðað við núverandi tækni og fyrirsjáanlega tækniþróun er hægt að áætla að botnfastar vindmyllur geti verið á haffleti þar sem dýpi er allt að 100 [112] metrar á meðan fljótandi vindmyllur geti verið á dýpi sem er allt að 100 til 200 metrar. Sjá mynd 9.

8.3 Framlag orkuöflunar á hafi við Ísland

Möguleikar á framlagi vegna orkuöflunar frá vindorkugörðum á hafi hefur jafnt og þétt verið að aukast undanfarin ár frá því að vera um 6 MW fyrir hverja vindmyllu árið 2013 upp í 12 MW í dag. Árið 2030 er reiknað með að uppsett afl hvorrar vindmyllu verði orðin á bilinu 15-20 MW. Samhliða þessari þróun hafa vindmyllur sem mannvirki verið að stækka og vegna sýnileika áhrifa er mikilvægt að hafa það í huga þegar kemur að stefnu-mörkun og ákvörðunartöku.



Mynd 58. Vindmyllur sem áform eru um að setja upp fyrir utan strendur Japan verða hærri en 250 m og munu spaðarnir snúast í fleti sem er meira en 200 m í þvermál. ([118] TDK Global).

Hvað varðar mögulegt framlag orku á ársgrundvelli vegna vindorkugarða á hafi má áætla að nýtingarhlutfall við Íslandsstrendur sé 50% eða hærra ([115] Hornsea Three offshore windfarm, [116] Denmark's largest offshore windfarm, [117] Thor Offshore Wind Farm). Nýtingarhlutfall er það hlutfall heildartíma á ári sem vindur blæs með þeim hætti að vindmyllan framleiði raforku. Ef tekið er mið af hönnun erlendra vindorkugarða á hafi ([115] Hornsea Three offshore windfarm, [116] Denmark's largest offshore windfarm, [117] Thor Offshore Wind Farm) stærð vindmylla í MW og áætlaðs nýtingarhlutfalls við Íslandsstrendur er ekki óvarlegt að áætla að fyrir hverja 100 til 200 ferkílómetra af hafleti sé hægt að reikna með um 1 til 2 TWst af raforku á ári (um 10 til 20 TWst fyrir hverja 1000 til 2000 ferkílómetra af haffleti).

Til samanburðar að þá kemur fram í grænbók um stöðu og áskoranir í orkumálum, sem gefin var út í mars 2022, að orkuþörf vegna orkuskipta og kolefnishlutleysis til ársins 2040 sé á bilinu 15 til 24 TWst.

8.3.1 Hagkvæmni valkosta

Þegar kemur að hagkvæmni valkosta út frá sjónarmiði kostnaðar neytenda er mikilvægt að horfa á nústöðu, þá þróun sem hefur átt sér stað og fyrirsjáanlega þróun næstu 5-10 árin.

Botnfastar vindmyllur eru í dag dýrari kostur en aðrir valkostir við orkuöflun á landi. Hins vegar hefur það bil minnkað hratt undanfarin ár og ekki er óvarlegt að það bil minnki enn fremur á næstu 5- 10 árum. Með slíkri þróun má áætla raforka sem framleidd er með botnföstum vindmyllum á hafi verði samkeppnishæfur valkostur eftir árið 2030, ef tekið er mið af þróun kostnaðar við orkuöflunar á landi undanfarin ár.

Fljótandi vindmyllur eru í dag mun dýrari valkostur en botnfastar vindmyllur og miðað við fyrirsjáanlega þróun er mjög ólíklegt að slík tækni verði samkeppnishæfur valkostur fyrir neytendur fyrir árið 2040. Þessi ályktun byggir á því að þær fljótandi vindmyllur sem framleiða raforku í dag eru tilraunaverkefni af smáum skala og áætlað er að fyrsti stóri vindorkugarðurinn í heiminum með fljótandi vindmyllum líti ekki dagsins ljós fyrr en í fyrsta lagi árið 2032.

	Meðal verð Landsvirkjunar til stórnotenda án flutnings árið 2021***	Meðal verð Landsvirkjunar til stórnotenda án flutnings árið 2022****	CfD samningur** - Hornsea Three án flutnings - Botnfastar vindmyllur*****	CfD samningur - Hexicon vindgarður án flutnings - Fljótandi vindmyllur*****	CfD samningur - Morlais án flutnings - Sjávarfallavirkjun *****
Verð (USD/MWh)*	32,7	42,9	44,8	104,8	220,1

*Miðað við gengi 1. mars 2023

** Contract-for-Differences samningar eru m.a. notaðir af opinberum aðilum við innkaup á raforku sem er framleidd með endurnýjanlegum orkugjöfum

*** Ársskýrsla Landsvirkjunar fyrir árið 2021 bls. 57 (https://www.landsvirkjun.is/api/get-pdf?id=5260cd51-3f9e-4e7b-a81d-f5d780dbf422_LV_Arsskyrsla_2021_V22.pdf&name=LV_Arsskyrsla_2021_V22.pdf)

**** Ársskýrsla Landsvirkjunar fyrir árið 2022 bls. 37 (https://www.landsvirkjun.is/api/get-pdf?id=117fe054-47d6-4b00-bdf0-cf1ce-7978ba2_LV_Arsskyrsla_2022.pdf&name=LV_Arsskyrsla_2022.pdf)

*****https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1103022/contracts-for-difference-allocation-round-4-results.pdf

9. Heimildir og tilvísanir

- 1 Einar Arnórsson 1948: Rekalög Jónsbókar. *Úlfjótur*, 11. árg. 1948. 2. tbl. bls. 3-4.
- 2 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson 2011: *Þjóðaréttur*. Reykjavík, bls. 39-40.
- 3 Hafréttarsamningur Sameinuðu þjóðanna (HRS), 1982, C 7/1985, 1. mgr. 8. gr.
- 4 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 83
- 5 2. gr. HRS, sbr. 2. gr. laga nr. 41/1979, um landhelgi, efnahagslögsögu og landgrunn.
- 6 Gunnar G. Schram 2001: *Hafréttur*. Reykjavík 2001, bls. 46.
- 7 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 89-90.
- 8 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 90.
- 9 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 132.
- 10 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 49.
- 11 87. gr. HRS
- 12 Sjá 116-120. gr. HRS
- 13 Sjá t.d. gildissvið kolvetnislaga, laga nr. 33/2004, um varnir gegn mengun hafs og stranda, nr. 7/1998, um hollustuhætti og mengunarvarnir, nr. 106/2000, um mat á umhverfisáhrifum, og efnalög nr. 61/2013.
- 14 Björg Thorarensen og Pétur Dam Leifsson: *Þjóðaréttur*, bls. 132.
- 15 Tilskipun 2001/42/EB, um mat á áhrifum tiltekinna skipulags- og framkvæmda-áætlana á umhverfið, innleidd með lögum nr. 111/2021 um umhverfismat framkvæmda og áætlana.
- 16 Upphaflega tilskipun 85/337/EBE, nú tilskipun 2011/92/ESB um mat á áhrifum sem tilteknar framkvæmdir á vegum hins opinbera eða einkaaðila kunna að hafa á umhverfið, með breytingum sbr. tilskipun 2014/52/ESB, innleidd með lögum nr. 111/2021 um umhverfismat framkvæmda og áætlana.
- 17 Tilskipun 96/61/EB, um samþættar mengunarvarnir og eftirlit með mengun, innleidd með lögum nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir, sbr. og reglugerðir nr. 785/1999 um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun og nr. 786/1999 um mengunareftirlit.
- 18 Bjarni Már Magnússon og Arnar Þór Jónsson 2017: Gildissviðsgatasigti, *Tímarit Lögréttu*, 1. tbl. 2017, bls. 238.
- 19 Virki eru í lögnum skilgreind sem „Samheiti fyrir raforkuvirki og neysluveitur“ og Rafföng sem „Hvers konar hlutur sem kemur að gagni við nýtingu rafmagns“

- 20** Umhverfiráðuneytið 2004: Hafið: Stefna Íslenskra stjórnvalda. Reykjavík 2004.
- 21** North Atlantic Energy Network, <https://orkustofnun.is/gogn/Skyrslur/OS-2016/North-Atlantic-Energy-Network-Report.pdf>
- 22** European Commission, Brussels 19.11.2020 COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS.
- 23** Powerfact Book – Wind Power Summary – Part 2, Powerfact Book - Wind Power Summary, sótt á vef 23.3.2023
- 24** Hafrannsóknarstofnun <https://www.hafogvatn.is/>
- 25** Sjómælingarsvið Landhelgisgæslu Íslands <https://www.lhg.is/>
- 26** EMODnet Geology <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>
- 27** Hafsbotskortasjá ÍSOR <https://arcgisserver.isor.is/ocean>
- 28** EMODnet Bathymetry <https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry>
- 29** NAGTEC - The Tectonostratigraphic Atlas of the Northeast Atlantic Region. Edited by G. Péron-Pinvidic, J.R. Hopper, M.S. Stoker, C. Gaina, J.C. Doornenbal, T. Funck and U.E. Ártung. NAGTEC database <https://nagtec.org/database/>
- 30** OLEX https://olex.no/depthcharts_en.html
- 31** Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Guðrún Helgadóttir, Jónas Páll Jónasson, Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Julian M. Burgos (2015). Botngerð og laus jarðlög á landgrunni Íslands. Hausráðstefna Jarðfræðifélags Íslands 2015. Ágrip.
- 32** Árni Hjartarson og Ögmundur Erlendsson (2018). The Geology of Iceland's Insular Shelf and Adjacent Deep Ocean: The Contribution of Iceland GeoSurvey to EMODnet. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR 2018/027, 125 bls., snið, kort, myndir.
- 33** Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Anett Blischke og Guðmundur B. Agnarsson (2022). Kortlagning á jarðfræði og jarðvá hafsbotsins í Seyðisfirði og Norðfirði. Neðansjávarskriður, botngerð og strandgerð. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2022/014. 30 s. + 4 kort. Unnið fyrir Vegagerðina.
- 34** Kjartan Thors 1978. The sea-bed of the southern part of Faxaflói, Iceland. (Botngerð í sunnanverðum Faxaflóa). Jökull 28, 42-52.
- 35** Boulton, G.S., Jarvis, J., Thors, K., 1988. Dispersal of glacially derived sediment over part of the continental shelf of south Iceland and the geometry of the resultant sediment bodies. Marine Geology 83, 193-223.

36 Karl Gunnarsson (1998). Sedimentary basins of the N-Iceland shelf: draft version for discussion (April-May 1998). Orkustofnun. OS-98014.

37 NOPSEMA <https://www.nopsema.gov.au/offshore-industry/environmental-management/marine-seismic-surveys>

38 NÍ <https://www.ni.is/is/dyr/fuglar/mikilvaeg-fuglasvaedi/fjorur-og-grunnsaevi>

39 Skúli Víkingsson (2016). Notes on Coastal Behavior in Iceland. Iceland GeoSurvey, ÍSOR-2016/001.

40 Mannvit, Vatnaskil og LVRS Consultancy (2020). Landeyjahöfn harbour preliminary independent evaluation Data review and assessment of harbour utilization Prepared for the Ministry of Transport and Local Government, Vatnaskil report no. 20.07, LVRS-Consultancy report no. 2020-L-I. https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Landeyjahofn_harbour_preliminary_independent_evaluation.pdf

41 Sigurður Þórarinnsson (1965). Neðansjávargos við Ísland. Náttúrufræðingurinn, 35, 49–74.

42 Ármann Höskuldsson, Einar Kjartansson, Árni Þór Vésteinsson, Sigurður Steinþórsson & Oddur Sigurðsson (2013). Eldstöðvar í sjó. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.). Náttúruvá á Íslandi — Eldgos og jarðskjálftar. Reykjavík: Viðlagatrygging Íslands/ Háskólaútgáfan

43 Magnús Tumi Guðmundsson, Guðrún Larsen, Ármann Höskuldsson & Ágúst Gunnar Gylfason. 2008. Volcanic hazards in Iceland. Jökull 58: 251-268.

44 Kristján Jónasson, Bjarni Bessason, Ásdís Helgadóttir, Páll Einarsson, Gunnar B. Guðmundsson, Bryndís Brandsdóttir, Kristín S. Vogfjörd og Kristín Jónsdóttir (2021). A harmonised instrumental earthquake catalogue for Iceland and the northern Mid-Atlantic Ridge. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(7), 2197-2214. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2197-2021>

45 Sigríður Magnúsdóttir, Bryndís Brandsdóttir, N. Driscoll, R. Detrick (2015). Postglacial tectonic activity within the Skjálfandadjúp Basin, Tjörnes Fracture Zone, offshore Northern Iceland, based on high resolution seismic stratigraphy. *Marine Geology*. Volume 367. Pages 159-170.

46 Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Anett Blischke og Guðmundur B. Agnarsson (2023). Neðansjávarskriður. Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands. 10 mars.

47 Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Anett Blischke, Steinunn Hauksdóttir, Davíð Þór Óðinsson & Árni Vésteinsson, 2023. Hafsbotsjarðræði á landgrunni Íslands. Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands. 10 mars.

48 Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, Anett Blischke og Guðmundur B. Agnarsson (2022). Kortlagning á jarðfræði og jarðvá hafsbotsins í Seyðisfirði og Norðfirði.

Neðansjávarskriður, botngerð og strandgerð. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2022/014. 30 s. + 4 kort. Unnið fyrir Vegagerðina.

49 Jón Benjamínsson (1988). Jarðhiti í sjó og flæðarmáli við Ísland. Náttúrufræðingurinn, 58, 153–169.

50 Árni Hjartarson, Ögmundur Erlendsson, Gylfi Páll Hersir, Bjarni Richter, Geir Hagalínsson og Davíð Þór Óðinsson (2020). Exploring Offshore Geothermal Fields around Iceland. Proceedings World Geothermal Congress 2020. Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020

51 Bryndís G. Róbertsdóttir, Valborg Steingrímsdóttir, og Guðni A. Jóhannesson (2010). Mól og Sandur á Hafsbotni - Takmörkuð Gæði. Árbók VFÍ/TFÍ, 58, 301–317.

52 Kjartan Thors (2018). Útbreiðsla og magn kalkþörungasetts á Vestfjörðum og í Húnaflóa. Náttúrufræðingurinn :, 88((3-4)), 115–124.

53 Veiðarfærásjá <https://www.hafogvatn.is/is/rannsoknir/veidarfaerasja>

54 Hafsjá, kortasjá LMÍ og Hafrannsóknarstofnunar <https://atlas.lmi.is/mapview/?application=haf>

55 Kortasjá MAST <https://landupplysingar.mast.is/>

56 Kystverket (Norwegian coastal administration). <https://www.kystverket.no/en/>

57 FARICE <https://farice.is/is/um-farice/saga-fyrirtaekisins/>

58 MÍLA <https://www.mila.is/framkvaemdir/landstrengir-saestrengir/saestrengir>

59 Samgöngustofa (2019). Ákvörðun Samgöngustofu nr. 1/2019 um lýsingu og merkingu hindrana. <https://www.samgongustofa.is/media/log-og-reglur-i-flugmalum/akv1a209.pdf>

60 VSÓ ráðgjöf (2020). Vindmyllur á Grjóthálsi. Tillaga að matsáætlun. <https://www.skipulag.is/media/attachments/Umhverfismat/1511/202001083-Grj%C3%B3th%C3%A1ls.pdf>

61 Skipulagsstofnun 2021. Ákvörðun um matsáætlun. Allt að 200 MW vindorkugarður á Mosfellsheiði. Skipulagsstofnun 202004099. <https://www.skipulag.is/media/attachments/Umhverfismat/1584/202004099-Vindorkugar%C3%B0ur%20%C3%A1%20Mosfellshei%C3%B0i.pdf>

62 Dukhovskoy, Dmitry S., M.A. Bourassa, G.N. Petersen and J. Steffen, Comparison of the ocean surface vector winds from atmospheric reanalysis and scatterometer-based wind products over the Nordic Seas and the northern North Atlantic and their application for ocean modeling, J. Geophys. Res. Oceans, 122, 1943– 1973, 2017.

63 Hasager Charlotte Bay, M. Badger, N. Narwi, B.R. Furevik, G.N. Petersen, H. Björnsson, N-E. Clausen, Mapping Offshore Winds Around Iceland Using Satellite Synthetic Aperture Radar and mesoscale Model Simulations, IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, Vol. 8. No. 12, p. 5541-5552, 2015.

- 64** Nawri Nikolai, G.N. Petersen, H. Björnsson, A.N. Hafmann, K. Jónasson, C.B. Hasager, N-E. Clausen, The wind energy potential of Iceland, Renewable Energy Vol. 69, p. 290-299, 2013.
- 65** New European Wind Atlas - <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/> (sótt á vefinn 20.01.2023)
- 66** Guðrún Nína Petersen, Meteorological buoy measurements in the Iceland Sea, 2007–2009, Earth Syst. Sci. Data, 9, 779-798, 2017.
- 67** Vindatlas – vefsjá - <https://vindatlas.vedur.is/> (sótt á vefinn 11.01.2023) og Vindatlas fyrir Ísland - <https://www.vedur.is/vedur/vedurfar/vindorka/gogn/> (sótt á vefinn 27. mars 2023))
- 68** Yang X., Schyberg H., Palmason B., Bojarova J., Box J., Pagh Nielsen K., Amstrup B., Peralta C., Høyer J., Nielsen Englyst P., Homleid M. Køltzow M.A.Ø., Randriamampianina R., Dahlgren P., Støylen E., Valkonen T., Thorsteinsson S., Kornich H., Lindskog M. & Mankoff K. 2020. C3S Arctic regional reanalysis—full system documentation. Accessed on the internet at <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-carra-single-levels?tab=doc> on 1 November 2021
- 69** Ölduspá (ölduhæð, sveiflutími og öldustefna):
- 70** sótt á vef Vegagerðarinnar - <https://sjolag.is/> - s sótt á vefinn 17. janúar 2023
- 71** sótt á vef Veðurstofunnar - <https://www.vedur.is/vedur/sjovedur/djup/#teg=oldur> – sótt á vefinn 17. janúar 2023
- 72** Öldukort - <https://www.vegagerdin.is/siglingar/oldukort/> - sótt á vefinn 24. janúar 2023
- 73** Cabedo-Sanz, P., Belt, S.T., Jennings, A.E., Andrews, J.T. og Geirsdóttir, A. 2016. Variability in drift ice export from the Arctic Ocean to the North Icelandic Shelf over the last 8000 years: A multi-proxy evaluation. Quaternary Science Reviews 146, 99-115.
- 74** Cryo - <https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts> (sótt á vefinn 25.01.2023)
- 75** Danska veðurstofan - https://ocean.dmi.dk/arctic/icecharts_gl_southeast.php (sótt á vefinn 25.01.2023)
- 76** Hafískort frá Hafrannsóknastofnun - <https://atlas.lmi.is/mapview/?application=haf> (sótt á vefinn 12.12.2022)
- 77** Hafískort frá Veðurstofu Íslands - <https://www.vedur.is/hafis/tilkynningar> (sótt á vefinn 12.12.2022)
- 78** Halldór Björnsson, fróðleiksgrein á vef Veðurstofu Íslands (2007) – Endalok hafis-breiddunar á norðurhveli <https://www.vedur.is/hafis/frodleikur/nr/1062> (sótt á vefinn 09.12.2022)

79 Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson, Gísli Viggósson, Jóhann Sigurjónsson, Snorri Baldursson, Sólveig Þorvaldsdóttir og Trausti Jónsson. 2008. Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. Umhverfissráðuneytið.

80 Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson, Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Veðurstofa Íslands.

81 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Sixth Assessment Report 2021, kafli 9 – Ocean, Cryosphere and Sea Level Change Chapter 9 Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, 2021: Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, doi:10.1017/9781009157896.011.

82 Jennings, A.E. Hagen, S., Hardardóttir, J., Stein, R., Ogilvie, A.E.J. og Jonsdóttir, I. 2001. Oceanographic change and terrestrial human impacts in a post A.D. 1400 sediment record from the southwest Iceland shelf. *Climatic Change* 48, 83-100.

83 Ogilvie, A. E. J. 1992. Documentary evidence for changes in the climate of Iceland, A. D. 1500 to 1800. I R.S. Bradley & P. D. Jones. *Climate since A.D. 1500*. Routledge. London & New York, 92-117.

84 Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir, 2021, Umhverfissbreytingar í hafinu við Ísland. Í Guðmundur J. Óskarsson (ritstj.) Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2021-14.

85 Trausti Jónsson, fróðleiksgrein á vef Veðurstofunnar (2016) – Útbreiðsla íss 1877 til 1968 <https://www.vedur.is/hafis/frodleikur/nr/3321> (sótt á vefinn 26.01.2023)

86 Veðráttan Maí 1968, 45. árgangur 1968 - Tímarit.is <https://timarit.is/page/3129494#page/n1/mode/2up> - (sótt á vefinn 25.01.2023)

87 Þór Jakobsson, fróðleiksgrein á vef Veðurstofu Íslands (2006 a) – Myndun hafíss <https://www.vedur.is/hafis/frodleikur/nr/452> (sótt á vefinn 09.12.2022)

88 Þór Jakobsson, fróðleiksgrein á vef Veðurstofu Íslands (2006 b) – Hafís við Ísland <https://www.vedur.is/hafis/frodleikur/nr/453> (sótt á vefinn 09.12.2022)

- 89** Amélineau, F., Merkel, B., Tarroux, A., Descamps, S., Anker-Nilssen, T., Bjørnstad, O., ... & Strøm, H. (2021). Six pelagic seabird species of the North Atlantic engage in a fly-and-forage strategy during their migratory movements. *Marine Ecology Progress Series*, 676, 127-144.
- 90** Bailey H, Brookes KL, Thompson PM, (2014) "Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future" *Aquatic Biosystems*, 10:8.
- 91** Croll, D. A., Ellis, A. A., Adams, J., Cook, A. S., Garthe, S., Goodale, M. W., ... & Zilliacus, K. 2022. Framework for assessing and mitigating the impacts of offshore wind energy development on marine birds. *Biological Conservation*, 276, 109795.
- 92** Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K. et al. (2013). Effects of Pile Driving on Harbour Porpoises (*Phocoena Phocoena*) at the First Offshore Windfarm in Germany. *Environmental Research Letter* 8:025002.
- 93** FAO. (2009). International guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas. Food; Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 73 bls.
- 94** Fauchald, P., Tarroux, A., Amélineau, F., Bråthen, V. S., Descamps, S., Ekker, M., ... & Strøm, H. (2021). Year-round distribution of Northeast Atlantic seabird populations: applications for population management and marine spatial planning. *Marine Ecology Progress Series*, 676, 255-276.
- 95** Fox, A. D., & Petersen, I. K. 2019. Offshore wind farms and their effects on birds. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift*, 113, 86-101.
- 96** Gill, A. B., Gloyne-Phillips, I., Neal, K. J., & Kimber, J. A. (2005). The potential effects of electromagnetic fields generated by sub-sea power cables associated with offshore wind farm developments on electrically and magnetically sensitive marine organisms—a review. *Final report*.
- 97** Gill, A. B., Huang, Y., Gloyne-Phillips, I., Metcalfe, J., Quayle, V., Spencer, J., & Wearmouth, V. (2009). EMF-sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. *Commissioned by Cowrie Ltd*, 68.
- 98** Govoni, J. J., West, M. A., Settle, L. R., Lynch, R. T., & Greene, M. D. (2008). Effects of underwater explosions on larval fish: implications for a coastal engineering project. *Journal of Coastal Research*, (24 (10024)), 228-233.
- 99** ICES 2022a. Icelandic Waters ecoregion – Fisheries overview. ICES Advice: Fisheries Overviews. Report. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.21487635.v1>.
- 100** ICES. 2022b. Working Group on Offshore Wind Development and Fisheries (WGOWDF). ICES Scientific Reports. 4:98. 18 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.21750458>

- 101** Jakobsson, J., Á. Guðmundsdóttir & G. Stefánsson 1993. Stock-related changes in biological parameters of the Icelandic summer-spawning herring. *Fish. Oceanogr.*, 2:3/4, 260-277.
- 102** Kjartan Thors. (2018). Útbreiðsla og magn kalkþörungasetts á Vestfjörðum og í Húnaflóa. Náttúrufræðingurinn 88 (3-4), bls. 115-124.
- 103** Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Borgný Katrínardóttir, Guðmundur A. Guðmundsson og Svenja N.V. Auhage 2016. Mikilvæg fuglasvæði á Íslandi. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar Nr. 55. 295 s
- 104** Lewis, J. A. (1996). *Effects of underwater explosions on life in the sea*. Defence science and technology organization canberra (australia).
- 105** Merkel, B., Descamps, S., Yoccoz, N. G., Grémillet, D., Fauchald, P., Danielsen, J., ... & Strøm, H. (2021). Strong migratory connectivity across meta-populations of sympatric North Atlantic seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 676, 173-188
- 106** OSPAR. (2008). OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. Reference number 2008-6. http://www.ospar.org/documents/dbase/decrecs/agreements/0806e_ospar%20list%20species%20and%20habitats.doc.
- 107** Pike, D.G., Gunnlaugsson, T., Mikkelsen, B., Halldórsson, S.D. & Víkingsson, G.A. 2019. Estimates of the Abundance of Cetaceans in the Central North Atlantic Based on the NASS Icelandic and Faroese Shipboard Surveys Conducted in 2015. NAMMCO Scientific Publications 11. <https://doi.org/10.7557/3.4941>
- 108** Sandra M. Granquist 2021. The Icelandic harbour seal (*Phoca vitulina*): Population estimate in 2020, summary of trends and the current status. HV 2021-53. <https://www.hafogvatn.is/static/research/files/1637049019-hv2021-53.pdf>
- 109** Sandra M. Granquist og Erlingur Hauksson 2019. Aerial census of the Icelandic grey seal (*Halichoerus grypus*) population in 2017: Pup production, population estimate, trends and current status HV 2019-02. <https://www.hafogvatn.is/static/research/files/1549015805-hv2019-02.pdf>.
- 110** Sigmar A. Steingrímsson, Sólmundur T. Einarsson (2004). *Kóralsvæði á Íslandsmiðum: Mat á ástandi og tillaga um aðgerðir til verndar þeim*. Fjölrit no. 110. Marine Research Institute, Reykjavík.
- 111** Steinunn H. Ólafsdóttir, Julian M. Burgos, Stefán Áki Ragnarsson og Hjalti Karlsson. *Kóralsvæði við Ísland. Rannsóknir 2009-2012 lýsing – útbreiðsla – verndun*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2020-31
- 112** Valur Bogason, Jón Sólmundsson, Höskuldur Björnsson, Ásgeir Gunnarsson, Hlynur Pétursson, Ingibjörg G. Jónsdóttir, Magnús Thorlacius og Svandís Eva Aradóttir 2022. Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum (SMN) 2022. Haf- og vatnarannsóknir 2022-26 (<https://www.hafogvatn.is/static/research/files/hv2022-26.pdf>). 37 s.

113 Vantar heimild vegna myndar 49.

114 OffshoreWind.biz, Norwegians Developing Monopile Foundation for 100-Metre Depths | Offshore Wind, sótt á vef 23.3.2023.

115 Hornsea Three offshore wind farm, <https://hornseaproject3.co.uk/about-the-project?fbclid=IwAR3m4OtZAJgey3BR-wmajFc58D3VUUc8mBuvH0yxvREh1iSc9ypemITs8eQ>

116 Denmarks largest offshore wind farm, https://thor.rwe.com/thor-news/23-01-12-rwe-selects-siemens-gamesa-as-preferred-supplier?fbclid=IwAR0v7_rJolHomWpmoTbNpEt-0gjKDBPZ4UhQcgKw3vIFv1nRPfzBLQ5OziVI, sótt á vef 23.3.2023

117 Thor Offshore Wind Farm, https://thor.rwe.com/thor-news/23-01-12-rwe-selects-siemens-gamesa-as-preferred-supplier?fbclid=IwAR0v7_rJolHomWpmoTbNpEt0gjKDB-PZ4UhQcgKw3vIFv1nRPfzBLQ5OziVI, sótt á vef 23.3.2023

118 TDK Global, Carbon Neutrality is Supported by Offshore Wind Power. Discover the Component that Defines its Performance. | TDK, https://www.tdk.com/en/featured_stories/entry_039.html, sótt á vef 23.3.2023

119 Offshore renewable energy industry outlook - until 2030, Interreg VB North Sea Region Programme.

10. Viðaukar

10.1 Reglugerðir ákvarðaðar af Matvælaráðuneytinu sem skilgreina bannsvæði og tímabil þar sem fiskveiðar eru bannaðar með ákveðnum veiðarfærum

10.2 Vegagerðin Minnisblað Vindorka á hafi

10.3 Energinet

10.4 Port Esbjerg

10.5 RWE

10.6 Viden om Vind

10.7 Floating offshore Wind: The next five years

10.8 Potential for ocean energy (Færejar – Artic Circle 2022_V3)

10.9 Offshore Wind, Accomodating Biodiversity and Stakeholders (Arctic Summit Assembly Rusten)

10.10 ROK Energy



Viðauki 10. 1 Reglugerðir ákvarðaðar af Matvælaráðuneytinu sem skilgreina bannsvæði og tímabil þar sem fiskveiðar eru bannaðar með ákveðnum veiðarfærum.

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
0	961/2019	Veiðar með línu eru óheimilar allt árið
1	961/2019 10.gr	Veiðar með línu eru óheimilar allt árið
2	766/2004	Bann við rækjuveiðum
3	696/2005	Reglugerð um bann við veiðum án meðaflaskilju
4	50/2006	Bann við veiðum umhverfis Surtsey vegna friðunar eyjunnar.
5	959/2019 gr. 3	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar
6	959/2019 gr. 2	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar
7	959/2019 gr. 4	Veiðar með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
8	959/2019 gr. 6	Veiðar með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
9	942/2016 - E	Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
10	942/2016 - F	Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
11	942/2016 - B	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
12	942/2016 - C	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
13	942/2016 - A	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
14	942/2016 - D	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
15	942/2016 - G	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
16	942/2016 - H	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
17	942/2016 - I	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
18	942/2016 - J	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
19	431/2013	Reglugerð um stjórn djúpsjávartegunda á samningssvæði NEAFC.
20	733/2018	Bann við veiðum á sæbjúgum í Breiðafirði
21	960/2019 2. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
22	960/2019 3. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
23	960/2019 4. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
24	960/2019 5. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið á svæði
25	960-961/2019 6. og 2. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. mars til og með 17. ágúst
26	960-961/2019 7. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið.
27	960-961/2019 8. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið.
28	960-961/2019 9. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið
29	960-961/2019 10. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið
30	960/2019 11. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
31	960/2019 14. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
32	960/2019 15. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
33	960/2019 16. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
34	960/2019 17. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. júní til og með 31. október.
35	961/2019	Veiðar með línu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. ágúst til og með 31. desember
36	959/2019 gr. 5	Allar veiða með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar
37	765/2020	Eingöngu skipum sem fengið hafa leyfi til veiða á ígulkerum er heimilt að veiða
38	890/2020 1.gr (1)	Veiðisvæði hörpudisks
39	890/2020 1.gr (2)	Veiðisvæði hörpudisks
40	1200-1-2/2021 loðna	Flottrollsveiðar á loðnu heimilar
41	961/2019 8.gr	Bann við veiðum með línu allt árið
42	961/2019 11.gr	Bann við veiðum með línu 1. ágúst - 31. desember
43	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024
44	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024
45	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024
46	468/2011	Bann við veiðum vegna friðunar eyjunnar.

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
47	732/1997	Frá og með 1. janúar 1998 eru veiðar með öllum veiðarfærum bannaðar á svæði þar sem vatnsleiðsla og rafstrengur liggja
48	1459/2022	Frá og með 23. desember 2022 til og með 31. desember 2023 eru allar veiðar með fiskibotnvörpu bannaðar
49	961/2019	Bann við veiðum með línu.
50	961/2019 10.gr	Bann við veiðum með línu.
51	766/2004	Bann við rækjuveiðum
52	696/2005	Reglugerð um bann við veiðum án meðaflaskilju
53	50/2006	Bann við veiðum
54	959/2019 gr. 3	Allar veiða með fiskibotnvörpu eru óheimilar
55	959/2019 gr. 2	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar
56	959/2019 gr. 4	Allar veiða með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar
57	959/2019 gr. 6	Veiðar með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
58	942/2016 - E	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
59	942/2016 - F	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
60	942/2016 - B	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
61	942/2016 - C	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
62	942/2016 - A	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
63	942/2016 - D	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
64	942/2016 - G	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
65	942/2016 - H	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
66	942/2016 - I	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
67	942/2016 - J	Verndun kóralsvæða. Allar veiðar nema veiðar á uppsjávarfiski með flotvörpu og hringnót eru bannaðar
68	431/2013	Reglugerð um stjórn djúpsjávartegunda á samningssvæði NEAFC.
69	733/2018	Bann við veiðum á sæbjúgum
70	960/2019 2. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
71	960/2019 3. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar
72	960/2019 4. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
73	960/2019 5. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
74	960-961/2019 6. og 2. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. mars til og með 17. ágúst
75	960-961/2019 7. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið.
76	960-961/2019 8. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið.
77	960-961/2019 9. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið
78	960-961/2019 10. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu og línu eru óheimilar allt árið
79	960/2019 11. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
80	960/2019 14. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið

Auðkenni	Reglugerð	Verndun
81	960/2019 15. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
82	960/2019 16. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar allt árið
83	960/2019 17. gr	Veiðar með fiskibotnvörpu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. júní til og með 31. október
84	961/2019	Veiðar með línu eru óheimilar á tímabilinu frá og með 1. ágúst til og með 31. desember
85	959/2019 gr. 5	Allar veiðar með línu og fiskibotnvörpu eru óheimilar á svæði
86	765/2020	Eingöngu skipum sem fengið hafa leyfi til veiða á ígulkerum er heimilt að veiða
87	890/2020 1.gr (1)	Veiðisvæði hörpudisks
88	890/2020 1.gr (2)	Veiðisvæði hörpudisks
89	1200-1-2/2021	Flottrollsveiðar á loðnu heimilar
90	961/2019 8.gr	Bann við veiðum með línu allt árið
91	961/2019 11.gr	Bann við veiðum með línu 1. ágúst - 31. desember
92	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024
93	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024
94	186/2020	Allar veiðar með fiskibotnvörpu eru bannaðar á veiðisvæðum humars frá og með 16. mars 2022 til og með 15. mars 2024

Tafla 1 Reglugerðir sem banna fiskveiðar með tilteknum veiðarfærum



MINNISBLAÐ

Verk:

Málefni: Vindorka á hafi

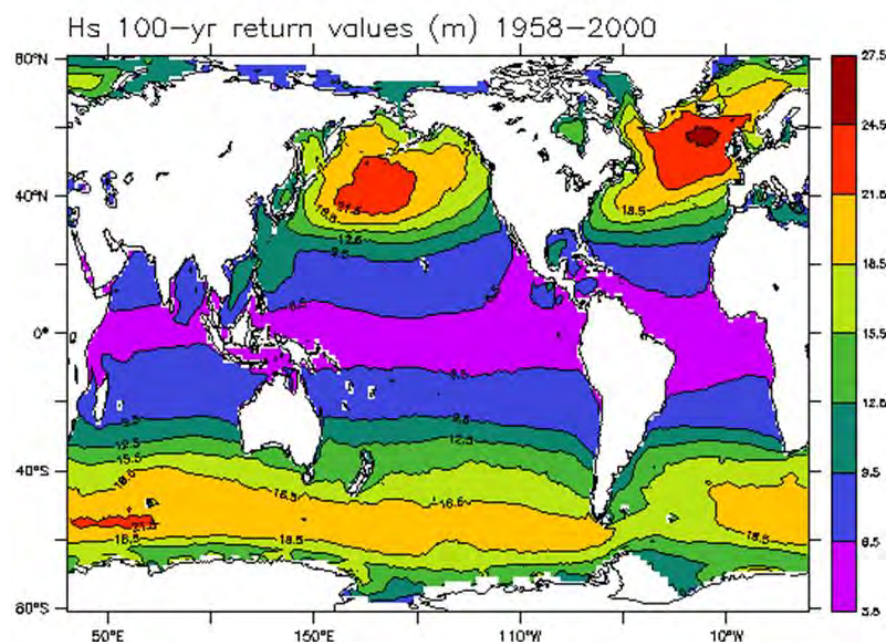
Dags: 17.1. 2023

Frá: Hafnadeild, Ingunn Erna Jónsdóttir og Sigurður Sigurðarson

Dreifing: Opið

Að beiðni starfshóps um vindorku á hafi innan lögsögu Íslands, hefur hafnadeild Vegagerðarinnar tekið saman minnisblað um þau gögn sem til eru um ölduhæð umhverfis landið.

Hafsvæðið umhverfis Ísland er með mest útsettu hafsvæðum heims gagnvart ölduhæð og ölduorku, Mynd 1. Upplýsingar um öldufar á hafsvæðinu umhverfis Ísland fást úr mælingum með öldumæliduflum Vegagerðarinnar annars vegar og ölduspám frá evrópsku Veðurstofunni (ECMWF) hins vegar. Margs konar upplýsingar eru síðan fengnar með líkindafræðilegri úrvinnslu tímaraða mæli- og spágagna. Hér á eftir er stiklað á stóru um helstu gögn sem fyrirleggjandi eru.

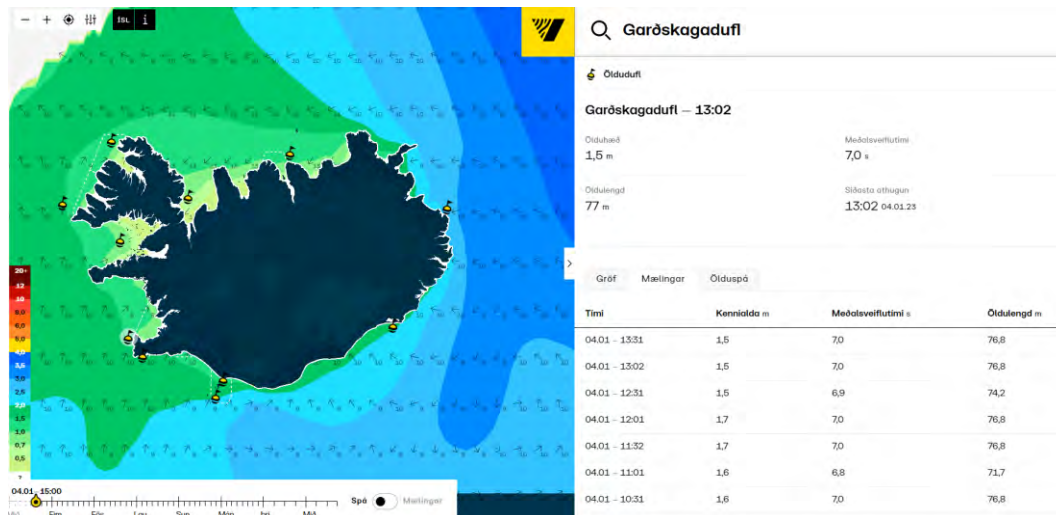


Öldur á heimshöfunum, ölduhæð með 100 ára endurkomutíma.

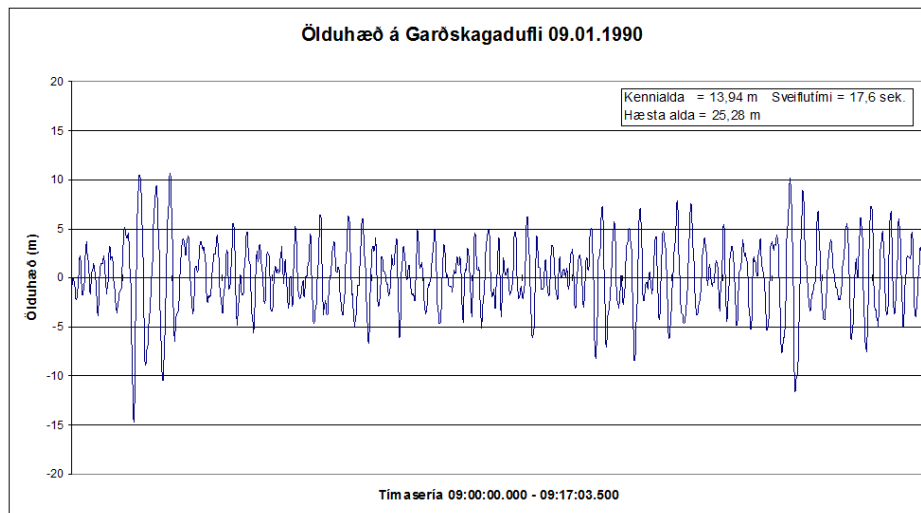
Öldumælingar

Um þessar mundir eru ellefu öldumælidufl staðsett hringinn í kringum landið (Mynd 2). Þau mæla ölduhæð og sveiflutíma öldu og eitt þeirra, Landeyjarhafnarduflið, mælir enn fremur öldustefnu. Misjafnt er hve lengi duflin hafa mælt á hverjum stað og hve samfelldar tímaraðirnar eru frá upphafi mælinga. Gögn frá duflunum eru birt jafn óðum á vef Vegagerðarinnar, sjolag.is, og eru þau vistuð í gagnagrunni Vegagerðarinnar, Mynd 2.

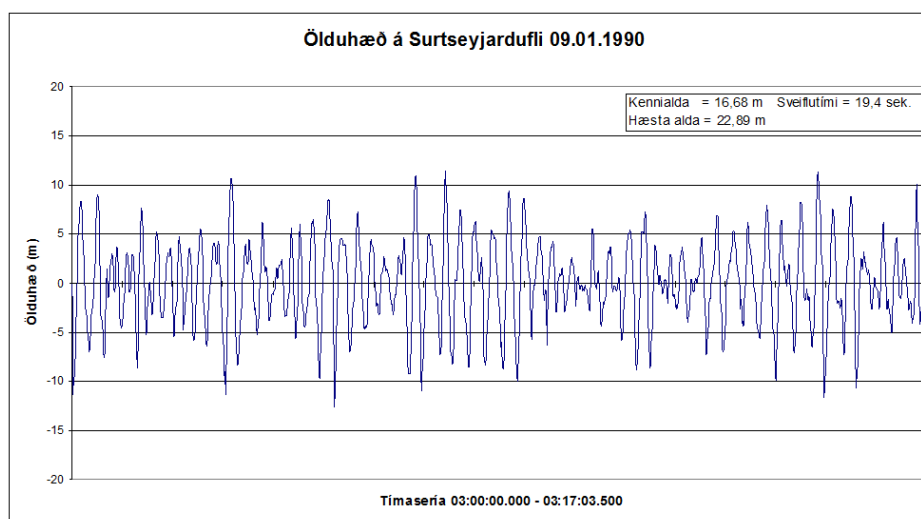
Mynd 3 og Mynd 4 sýna tímaraðir fyrir mjög háar mælingar á Garðskaga- og Surtseyjarduflum þann 9. janúar 1990. Þá mældist kennialda hæst við Garðskaga um 14 m með hæstu stakri öldu rúmir 25 m. Á Surtseyjarduflinu varð kennialda hæst 16,7 m og með hæstu stöku öldu 23 m. Það var eitt versta sjóveður við Suður- og Suðvesturland á 20. öldinni og voru á tímabili hæst mældu öldur í heiminum.



Mynd 2 Öldumælidufl við Íslandsstrendur og dæmi um birtingu mælinga fyrir Garðskagadufli.

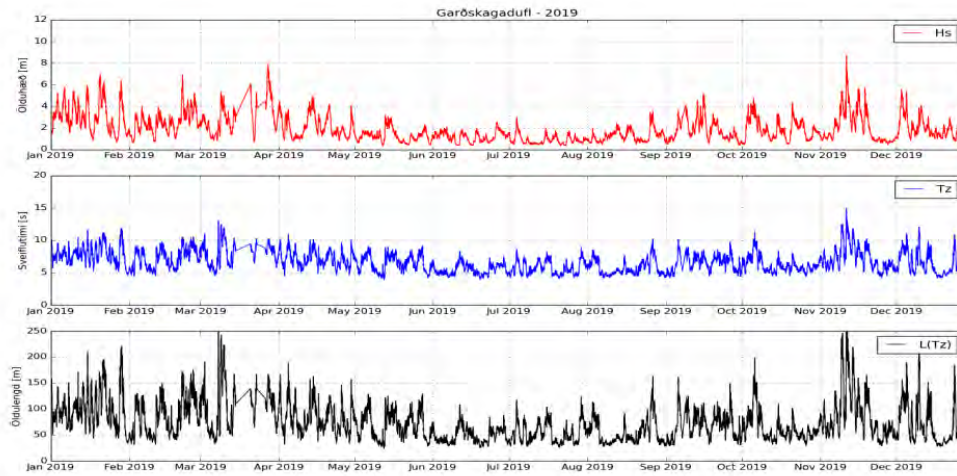


Mynd 3 Tímaröð mælinga úr Garðskagadufli frá janúar 1990.



Mynd 4 Tímaröð mælinga úr Surtseyjardufli frá janúar 1990.

Unnið hefur verið úr öldumælingum dufla á ýmsa vegu. Mynd 5 sýnir framsetningu á yfirliti eins árs mælinga fyrir Garðskagadufli og Mynd 6 sýnir líkindafræðilega greiningu kenniöldu fyrir 20 ára tímabil.



	Meðal	25%	Miðgildi	75%	Lágmark	Hámark
Kennialda Hs [m]	1.86	1.00	1.52	2.45	0.33	8.71
Meðalsveiflutími Tz [s]	6.63	5.35	6.38	7.60	3.93	14.97
Meðal öldulengd L(Tz) [m]	72.37	44.65	63.58	90.20	24.11	349.69
Fjöldi villa: 65	Hlutfall villa: 0.750%					
Fjöldi gilda sem vantar: 360	Hlutfall gilda sem vantar: 4.155%					

Mynd 5 Dæmi um tölfræðilega úrvinnslu ölduhæðamælinga fyrir Garðskagadufli fyrir 2019.

Garðskagadufli 1990-2019

	Meðal	25%	Miðgildi	75%	Lágmark	Hámark
Kennialda Hs [m]	2.12	1.17	1.80	2.70	0.10	11.91
Meðalsveiflutími Tz [s]	6.51	5.29	6.30	7.55	2.61	15.88
Meðal öldulengd L(Tz) [m]	69.98	43.69	61.96	88.86	10.59	393.39

Endurkomutími fyrir tímabilið 1990-2019, alpha = 0.8

Endurkomutími [ár]	Kennialda Hs [m]	Tp [s]	Rs _q
1	6.711	11.993	0.973
5	7.917	12.942	0.973
10	8.470	13.308	0.973
50	9.816	14.088	0.973

Endurkomutími fyrir tímabilið 1990-2019, alpha = 1.3

Endurkomutími [ár]	Kennialda Hs [m]	Tp [s]	Rs _q
1	7.097	11.993	0.997
5	8.264	12.942	0.997
10	8.739	13.308	0.997
50	9.794	14.088	0.997

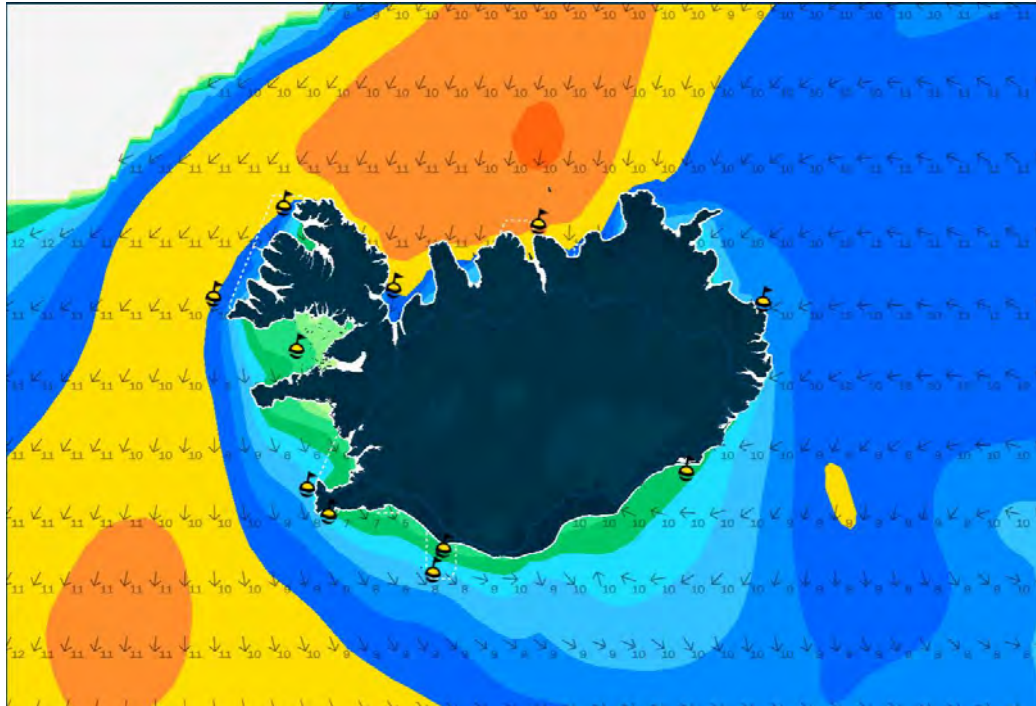
Fjöldi villa: 18060	Hlutfall villa: 6.870%
Fjöldi gilda sem vantar: 54575	Hlutfall gilda sem vantar: 20.761%

Mynd 6 Dæmi um líkindafræðilega greiningu kenniöldu fyrir 20 ára tímabil við Garðskagadufli.

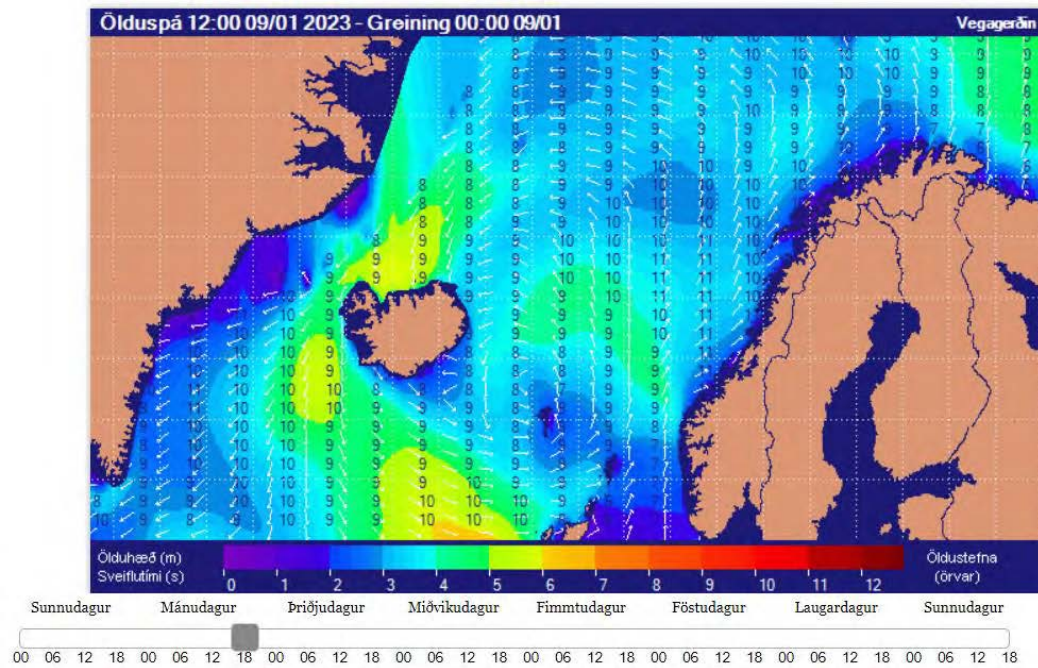


Ölduspá á hafi

Vegagerðin hefur aðgang að ölduspágögnum ECMWF á N-Atlantshafi frá 1958. Þessi gögn eru m.a. notuð í myndrænni framsetningu í *sjolag.is* (áður Veður og sjólag), þar sem spáð er um öldufar sjö daga fram í tímann og er spáin uppfærð tvisvar á sólarhring (Mynd 7).



Mynd 7 Ölduspá umhverfis Ísland. (*sjolag.is*).



Mynd 8 Ölduspá fyrir N-Atlantshaf í eldri útgáfu *sjolag.is*.



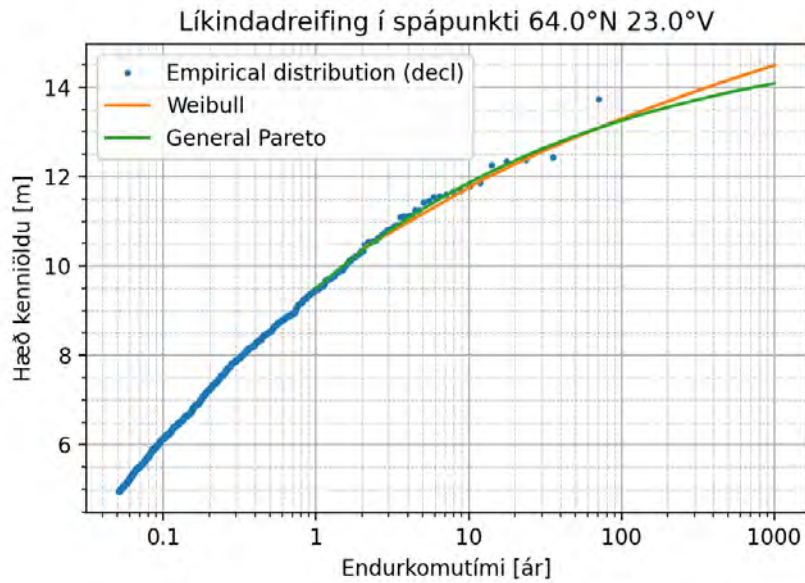
Margvísleg úrvinnsla ölduspágagna frá ECMWF hefur verið gerð s.l. 25 ár. Fyrst voru gögnin á 0,5° þéttleika og á sex tíma fresti, en nú fást gögn á 0,2° neti og á eins klukkustunda fresti.

Líkindafræðileg úrvinnsla ölduspágagna yfir 55 ára tímabil (1958 -2012) sýndi meðal annars að búast má við 14 – 15 m hárra 100 ára kenniöldu úti fyrir Suðurlandi og um 13 m hárra fyrir Norðurlandi (Mynd 9). Það skal tekið fram þessi úrvinnsla byggir á eldri gögnum frá ECMWF. Væntanlega byggja nýrri gögn á betri ölduspálíkönunum.

		25,0°V	24,5°V	24,0°V	23,5°V	23,0°V	22,5°V	22,0°V	21,5°V	21,0°V	20,5°V	20,0°V	19,5°V	19,0°V	18,5°V	18,0°V	17,5°V	17,0°V	16,5°V	16,0°V	15,5°V	15,0°V	14,5°V	14,0°V	13,5°V	13,0°V					
67,0°N	H ₁₉₅₈	6,5	6,5	6,6	6,6	6,5	6,5	6,4	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2	6,1	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	6,0	5,8	5,9	6,0	5,8	5,9	67,0°N		
	H ₁₉₆₁	8,2	8,2	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,2	8,2	8,2	8,1	8,1	8,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	7,4	7,5	7,8	7,4			7,5
	H ₁₉₆₄	10,4	10,6	10,9	10,9	11,0	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,8	10,7	10,6	10,5	10,4	10,4	10,3	10,1	10,1	10,1	10,0	9,7	9,8	10,0	9,7			9,8
	H ₁₉₆₇	12,8	13,2	13,5	13,3	13,3	13,1	12,9	13,0	13,1	13,2	13,5	13,4	13,3	13,2	13,0	12,8	12,9	12,9	12,7	12,5	12,3	12,3	12,2	12,0	12,1	12,2	12,0			12,1
	H ₁₉₇₀	15,2	16,0	16,0	15,6	15,5	15,0	14,6	15,0	15,2	15,4	15,9	15,9	15,7	15,5	15,3	15,0	15,3	15,3	15,1	14,8	14,5	14,4	14,3	14,2	14,5	14,0	14,5			14,5
66,5°N	H ₁₉₅₈	6,8	6,6	6,4	6,3				5,2	5,1	5,0																			66,5°N	
	H ₁₉₆₁	8,5	8,3	8,2	8,0				7,0	6,7																					
	H ₁₉₆₄	10,6	10,4	10,3	10,0				9,8	9,8	9,8																				
	H ₁₉₆₇	12,7	12,6	12,3	12,0				12,3	12,6	12,9																				
	H ₁₉₇₀	14,8	15,0	14,3	13,8				14,8	15,2	15,8																				
66,0°N	H ₁₉₅₈	12,1	12,2	12,0	11,5				11,6	12,1	12,5																			66,0°N	
	H ₁₉₆₁	6,6	6,3	5,9	5,8				3,9	4,3	3,9																				
	H ₁₉₆₄	8,4	8,0	7,7	7,5				5,3	5,8	5,2																				
	H ₁₉₆₇	10,4	10,0	9,5	9,5				7,3	8,3	7,4																				
	H ₁₉₇₀	12,3	11,8	11,0	11,0				8,9	10,2	9,7																				
65,5°N	H ₁₉₅₈	14,1	13,5	12,4	12,5				10,4	11,9	12,0																			65,5°N	
	H ₁₉₆₁	11,7	11,1	10,4	10,4				8,4	9,5	9,3																				
	H ₁₉₆₄	6,5	6,1	5,8	5,8				3,8	3,8	3,6																				
	H ₁₉₆₇	8,5	7,9	7,5	7,5				5,0	5,0	4,8																				
	H ₁₉₇₀	10,8	9,9	9,5	9,5				6,9	6,9	6,8																				
65,0°N	H ₁₉₅₈	12,8	11,5	11,0	11,0				8,5	8,5	8,4																			65,0°N	
	H ₁₉₆₁	14,8	13,0	12,5	12,5				10,0	10,0	10,0																				
	H ₁₉₆₄	12,1	10,2	10,4	10,4				7,6	7,6	7,6																				
	H ₁₉₆₇	6,7	6,5	6,4	6,3	5,9	5,9	6,0																							
	H ₁₉₇₀	8,7	8,5	8,4	8,2	7,7	7,7	7,9																							
64,5°N	H ₁₉₅₈	11,0	10,9	10,5	10,5	10,0	10,0	10,1																						64,5°N	
	H ₁₉₆₁	13,0	12,9	12,2	12,3	11,7	11,7	11,8																							
	H ₁₉₆₄	14,8	14,8	13,6	13,8	13,3	13,3	13,2																							
	H ₁₉₆₇	13,0	12,8	12,7	12,7	12,1	12,1	12,1																							
	H ₁₉₇₀	6,9	6,8	6,7	6,4	6,3	6,0	6,0																							
64,0°N	H ₁₉₅₈	9,1	9,0	8,9	8,6	8,4	7,9	7,9																						64,0°N	
	H ₁₉₆₁	11,6	11,3	11,3	10,8	10,8	10,1	10,1																							
	H ₁₉₆₄	13,7	13,2	13,3	12,7	12,6	11,7	11,8																							
	H ₁₉₆₇	15,6	15,0	15,2	14,3	14,3	13,1	13,3																							
	H ₁₉₇₀	13,8	13,2	13,2	12,5	12,3	12,1	12,1																							
63,5°N	H ₁₉₅₈	7,0	7,0	6,9	6,8	6,6	6,2	5,9																						63,5°N	
	H ₁₉₆₁	9,4	9,3	9,2	9,0	8,8	8,2	7,7																							
	H ₁₉₆₄	11,8	11,6	11,5	11,2	10,9	10,1	10,0																							
	H ₁₉₆₇	13,8	13,7	13,5	13,0	12,7	11,6	11,7																							
	H ₁₉₇₀	15,7	15,5	15,3	14,7	14,4	13,0	13,2																							
63,0°N	H ₁₉₅₈	14,0	13,6	13,2	13,0	12,9	12,1	12,1																						63,0°N	
	H ₁₉₆₁	7,3	7,3	7,2	7,2	7,1	7,4	7,4	7,2	7,2	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	6,9	6,9	7,0	7,0	7,0	7,1	7,2	7,2	7,4	6,8	6,9	7,4	6,8	6,9		
	H ₁₉₆₄	9,6	9,6	9,5	9,4	9,3	9,7	9,6	9,3	9,3	9,2	8,9	8,9	9,0	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,9	9,1	9,1	9,2	9,4	8,6	8,7	9,4	8,6	8,7		
	H ₁₉₆₇	12,0	11,9	11,9	11,7	11,7	12,1	12,1	11,8	11,8	11,8	11,5	11,5	11,6	11,5	11,4	11,4	11,4	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	12,0	11,0	11,2	12,0	11,0	11,2		
	H ₁₉₇₀	13,9	13,9	13,9	13,8	13,7	14,5	14,4	14,5	14,6	14,6	14,9	14,9	15,1	15,0	15,0	14,9	15,0	14,8	14,6	14,6	14,8	15,0	13,8	13,9	15,0	13,8	13,9			

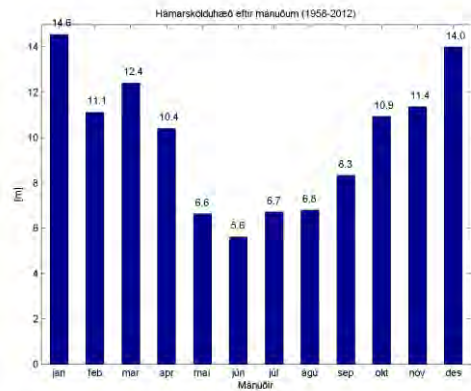
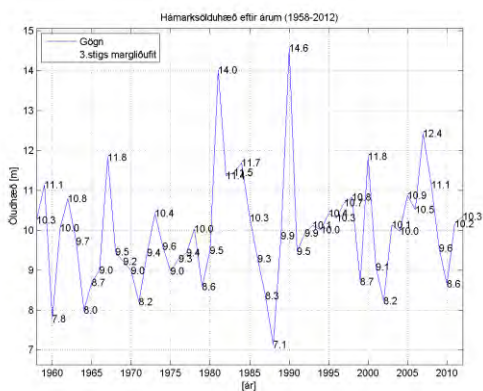
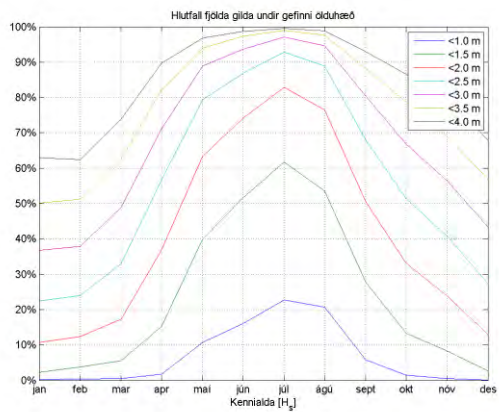
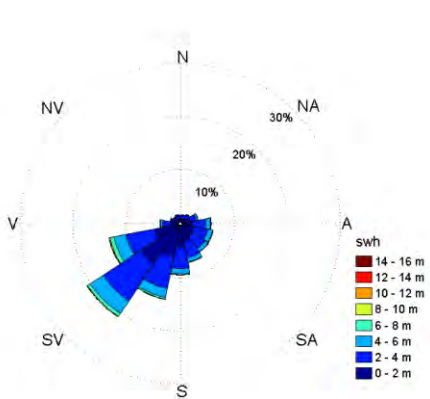
Mynd 9 Úrvinnsla 6 klst. ölduspágagna fyrir hafsvæði umhverfis Ísland fyrir tímabilið 1958 – 2012.

Mynd 10 sýnir líkindafræðilega úrvinnslu ölduhæða í einum spápunkti frá ECMDF þar sem gögnin eru nálgðu annars vegar með Weibull dreifingu og hins vegar með General Pareto dreifingu. Dæmi um úrvinnslu ölduspágagna er gerð öldurósa, gröf með hlutfalli gilda undir gefinni ölduhæð í hverjum mánuði og gröf með hámarksölduhæðum eftir árum og mánuðum (Mynd 11).



Mynd 10 Dæmi um líkindadreifingu kenniöldu í ölduspápunkti.

Öldurós fyrir allt árið (1958-2012)

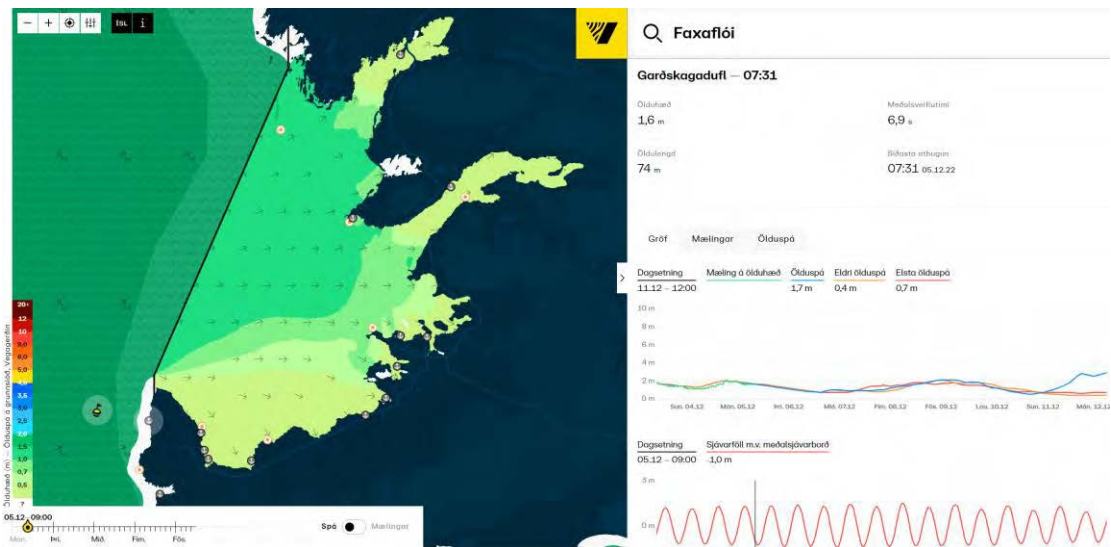


Mynd 11 Dæmi um úrvinnslu ECMWF ölduspágagna í punkti 63,5°N 21,0°V fyrir tímabilið 1958 – 2012.

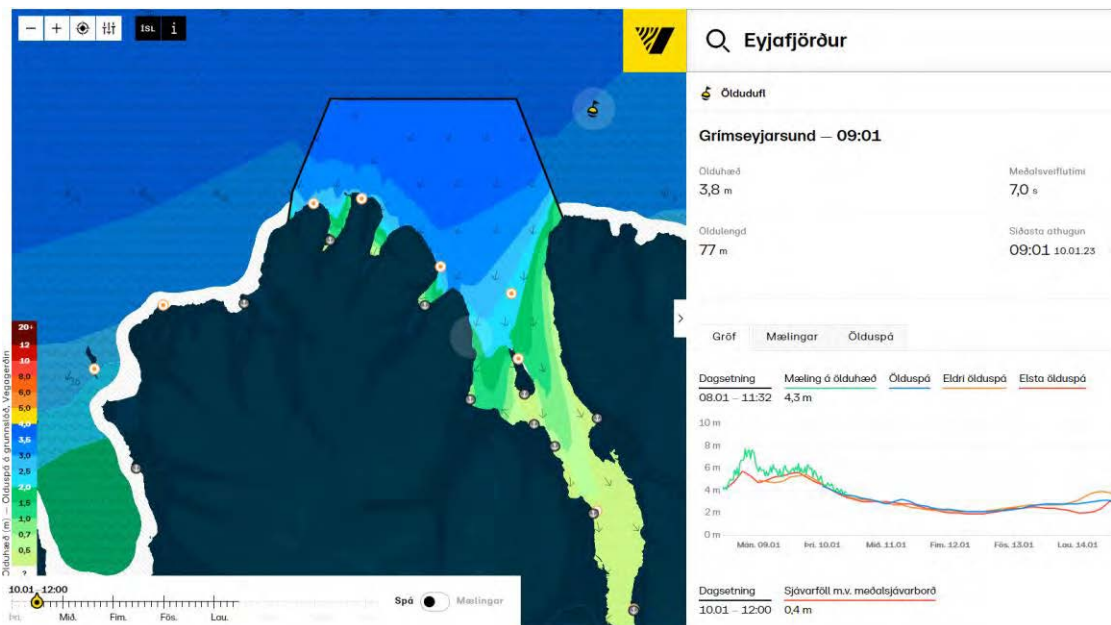


Ölduspá á grunnslóð – reiknilíkön

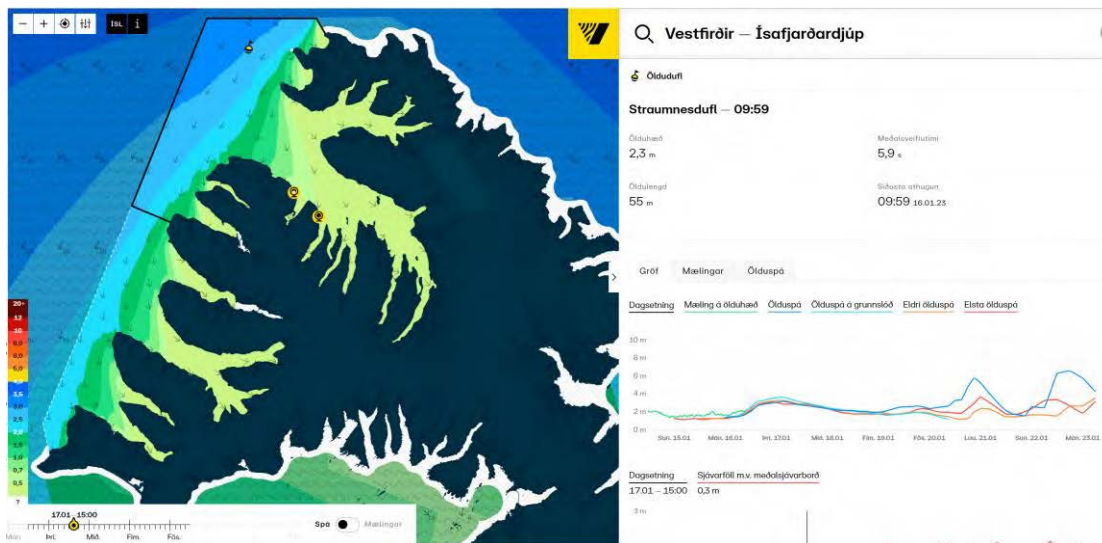
Ölduspá á grunnslóð gildir á svæðum þar sem sjávardýpi hefur áhrif á útbreiðslu öldunnar. Notuð eru reiknilíkön sem taka mið af botni og öldufari á djúpsævi auk vinds. Ölduspár frá evrópsku veðurstofunni (ECMWF) sem gilda fyrir djúpsævi eru þannig yfirfærðar á hafsvæði upp við ströndina. Þessi reiknilíkön eru keyrð tvisvar á sólarhring. Í nýrri útgáfu *sjolag.is* eru öldur á átta svæðum reiknuð á þennan hátt upp að ströndinni, sjá Mynd 12 fyrir Faxaflóa, Mynd 13 fyrir Eyjafjörð og Mynd 14 fyrir Vestfirði.



Mynd 12 Ölduspá á grunnslóð fyrir Faxaflóa.



Mynd 13 Ölduspá á grunnslóð fyrir Eyjafjörð.

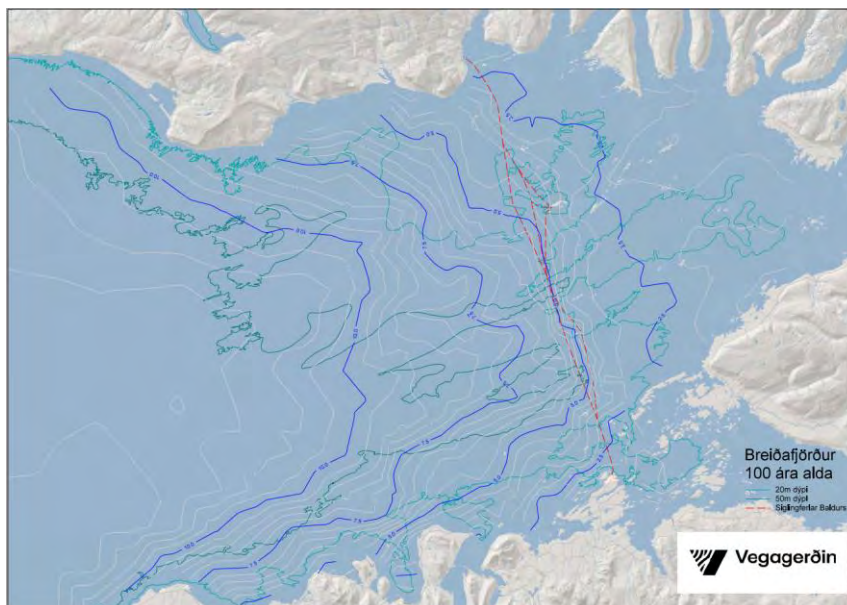


Mynd 14 Ölduspá á grunnslóð fyrir Vestfirði.

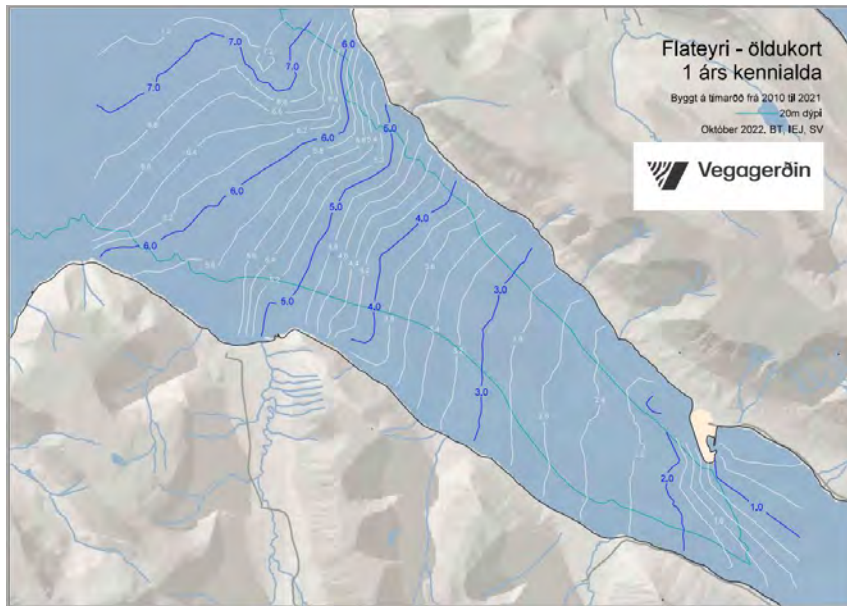
Öldukort

Svokölluð öldukort hafa verið gerð fyrir allmörg hafsvæði hringinn í kringum landið. Þau hafa verið nýtt á marga vegu, eins og við hönnun hafnarmannvirkja, mat á siglingaleiðum farþegaskipa og hönnun fiskeldiskvía. Við gerð öldukorta eru 10 – 30 ára langar tímaraðir ölduhæða keyrðar á jaðri reiknilíkans yfir ákveðið svæði. Síðan er gerð líkindafræðileg úrvinnsla úr niðurstöðum öldufarsreikninganna í þétta neti punkta á svæðinu og gerð kort með jafnhæðalínunum ölduhæða fyrir 1, 10 og 100 ára endurkomutíma og með 90% tíðni.

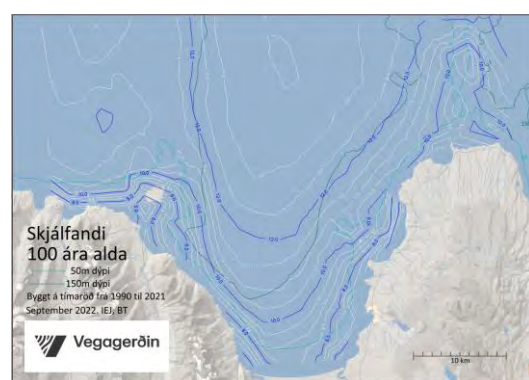
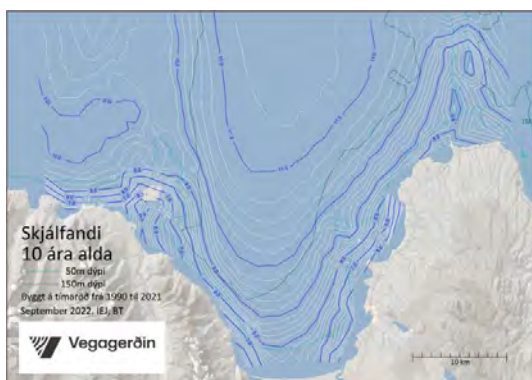
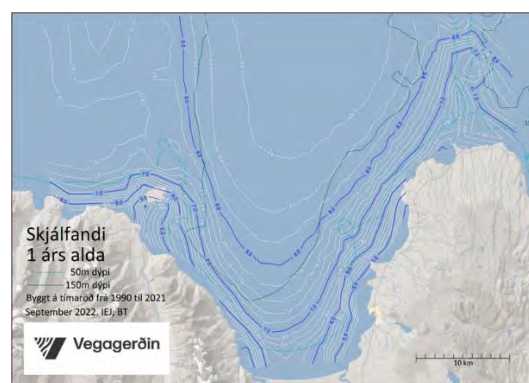
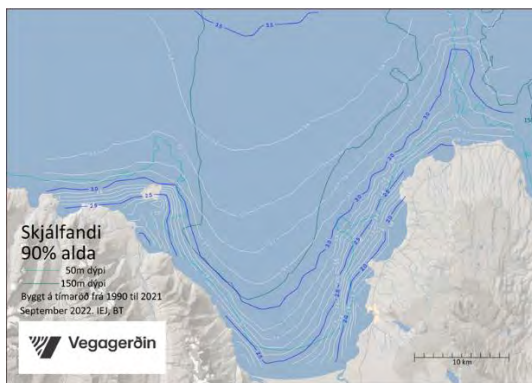
Öldukort eru nú til fyrir Faxaflóa, Breiðafjörð (Mynd 15), norðanverða Vestfirði (Mynd 16), Skjálfanda (Mynd 17), Breiðdalsgrunn (Mynd 18), fyrir austan- og vestanverða suðurströndina (Mynd 19), siglingaleiðina milli Vestmannaeyja og Landeyjahafnar og utan við Reykjanesið sunnan og vestanvert (Mynd 20). Nokkuð er mismunandi hvað langt tímabil er lagt til grundvallar líkindafræðilegu úrvinnslunni, en yfirleitt er það á bilinu 10 til 30 ár.



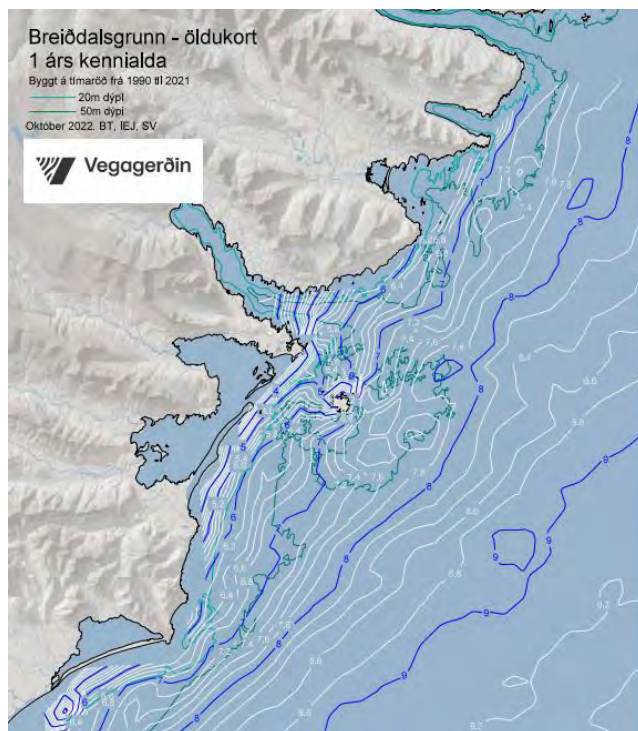
Mynd 15 Öldukort fyrir Breiðafjörð, 100 ára alda (1990 -2021).



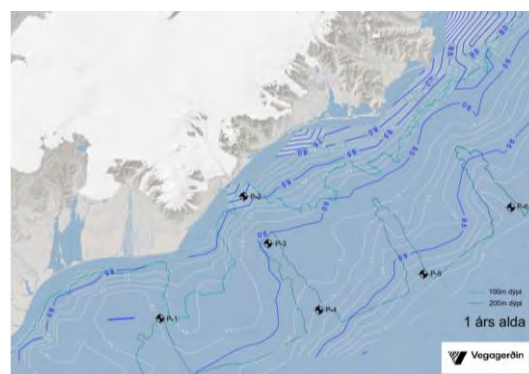
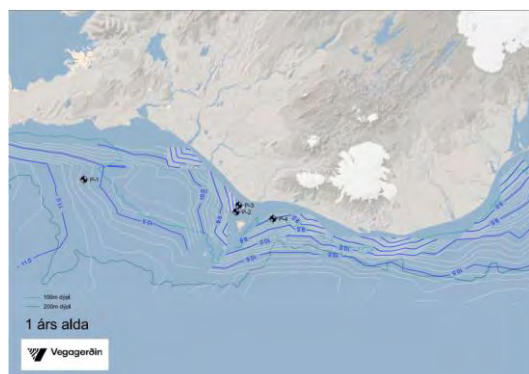
Mynd 16 Öldukort fyrir Önundarfjörð, 1 árs alda (2010 - 2021).



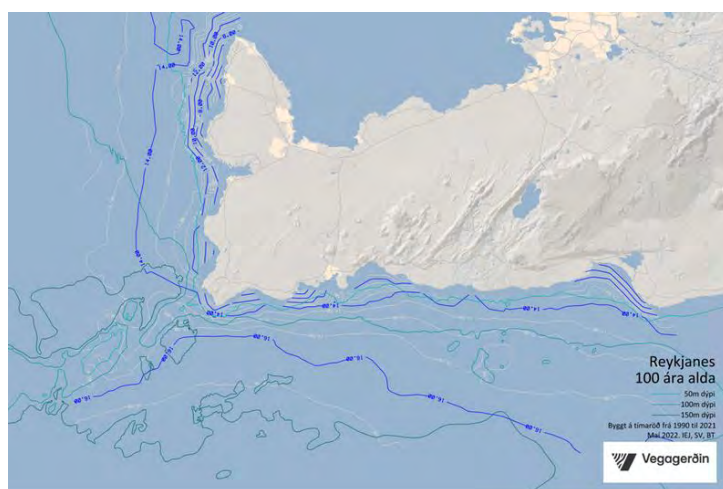
Mynd 17 Öldukort fyrir Skjálfanda (1990 -2021).



Mynd 18 Öldukort fyrir Breiðdalsgrunn 1 árs alda (1990 -2021).



Mynd 19 Öldukort fyrir Suðurströndina, 1 árs alda (2002 – 2020).



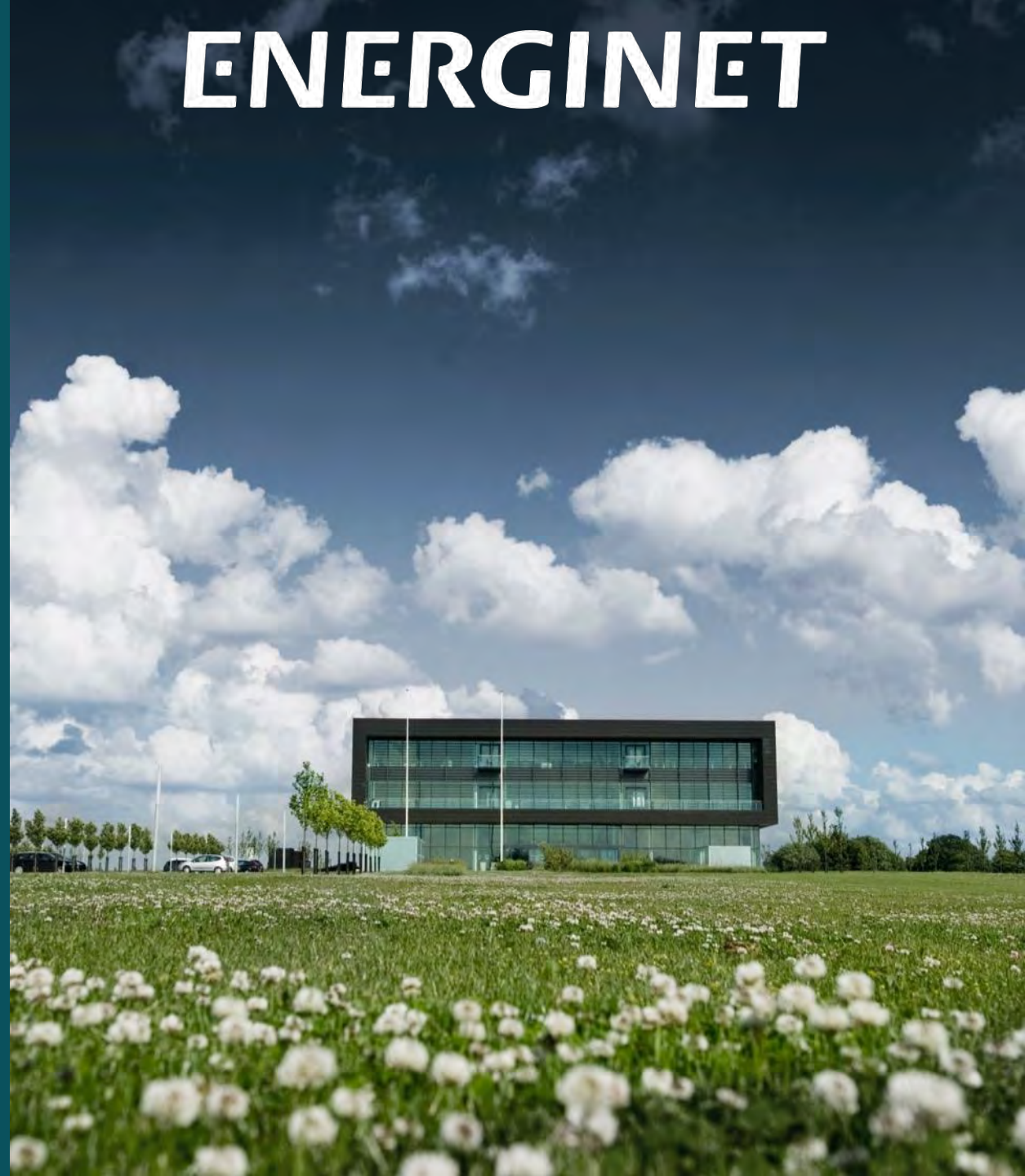
Mynd 20 Öldukort fyrir utan vert Reykjanes, 100 ára alda (1990 -2021).

ENERGINET

INTEGRATION OF RENEWABLES

25. Oktober 2022

*Fridrik Karl Fridriksson, Senior gridplanner
FKF@energinet.dk*



AGENDA

- **Introduction to the transmission system**
 - Overview of the grid and interconnectors
 - Green transition, status and targets
 - Security of supply and electricity prices
- **Danish Energimix – Wind, hydro, solar**
 - Thoughts on current and future energimix
- **Renewable energi - the past and the future**
 - Historical and future expansion of renewables
 - What are we dealing with today
- **Challenges and possible solutions**
 - Solutions and ideas of handling the big amount of renewables. Capacity map, tariffs customer portal etc.



INTRODUCTION

To the transmission system

ENERGINET

THE ENERGY BACKBONE

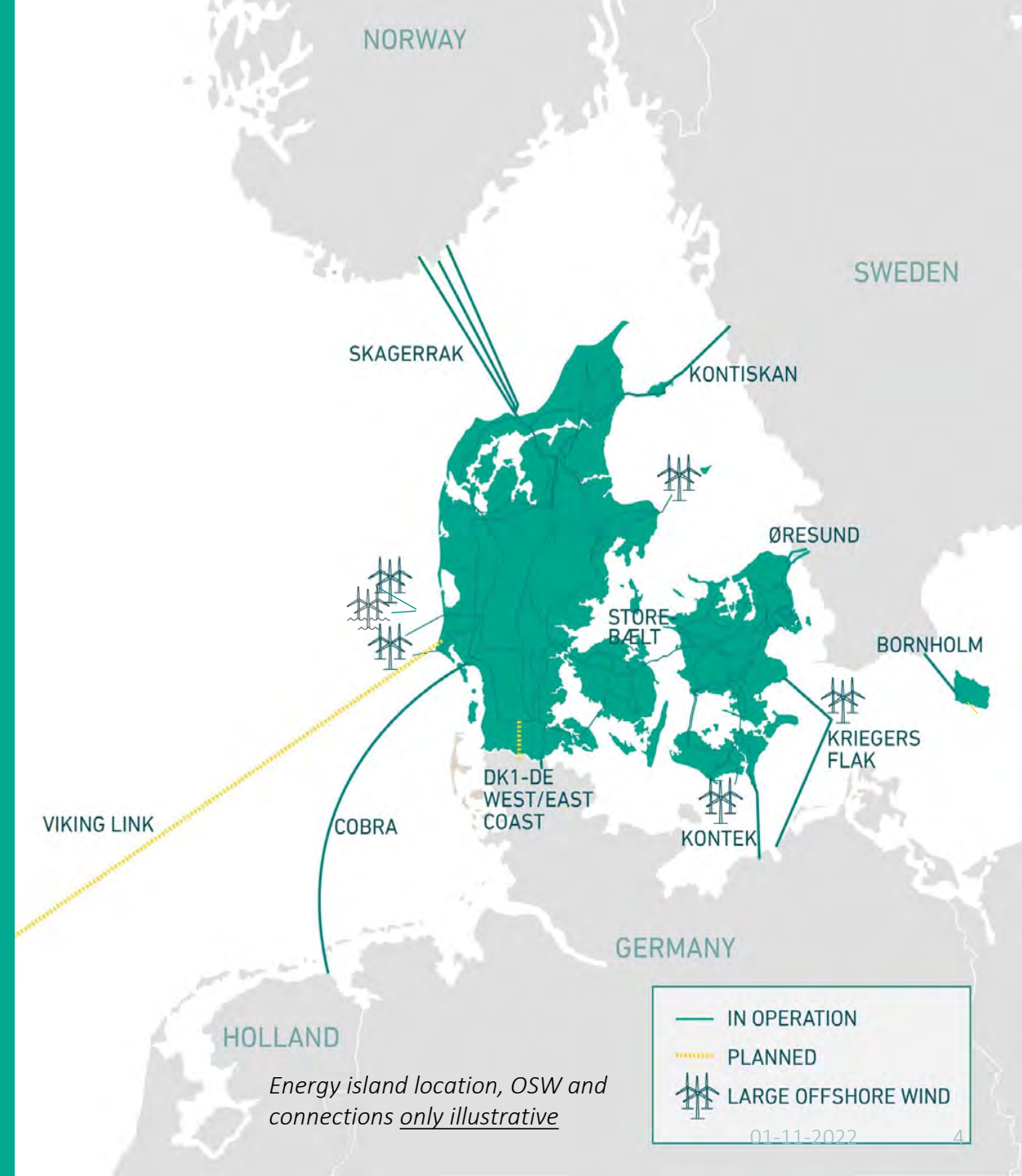
We operate and develop the transmission grids and gas pipelines in Denmark.

ENSURE BALANCE

We have the day-to-day and long-term responsibility for the overall electricity and gas system in Denmark.

WORKING FOR THE SOCIETY

Owned by the Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities we safeguard society's interests as we move to a 100% green energy system.





AMBITION

STATUS 2021:

47.3% wind and solar
power (2021)

2030 TARGET:

70 % reduced
emissions

2050 TARGET:

DK=climate neutral
100 % green energy

OUTAGE MINUTES IN EUROPE

VERY HIGH SECURITY OF SUPPLY IN DENMARK IN PERIOD
WITH INCREASING SHARE OF RENEWABLES – 99,996%



SECURITY OF SUPPLY AND VARIABLE RE

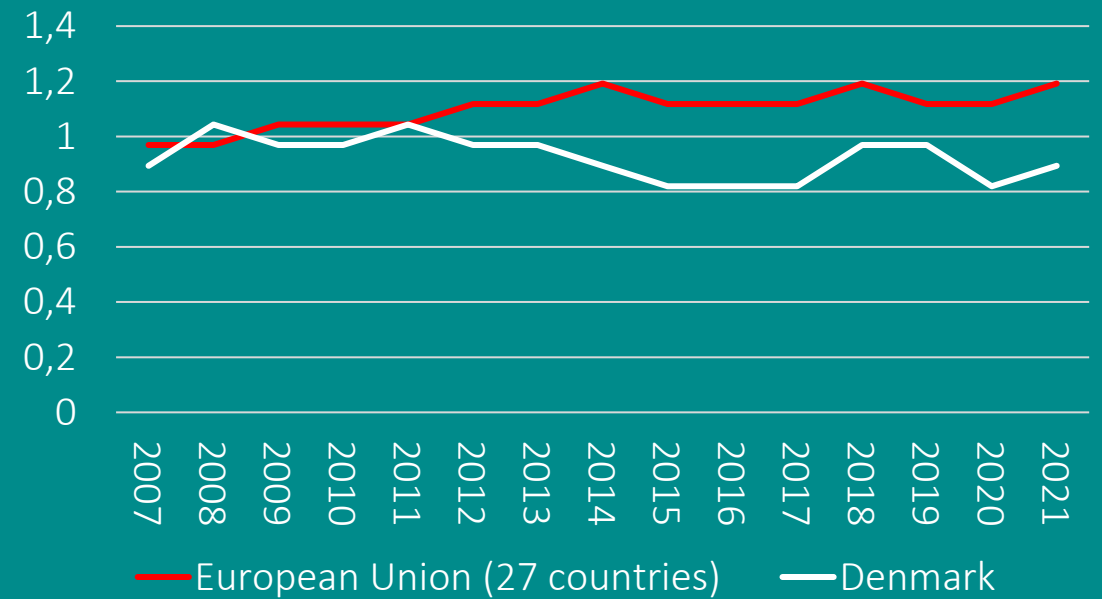
Increasing share of variable renewable energy (VRE) does **not** jeopardize security of supply

- In 2020 security of supply was 99,996%
- Forecast for 2030 is below target of 35 outage minutes (99,993%)

HISTORICALLY DANISH RETAIL PRICE REDUCED RELATIVE TO EU AVERAGE

EFFICIENT ELECTRICITY MARKETS
IMPORTANT TOOL FOR AFFORDABLE
ELECTRICITY PRICES

Electricity price, DKK/kWh (market price +
DSO/TSO tarif, excl. VAT and taxes,
DKK/kWh)

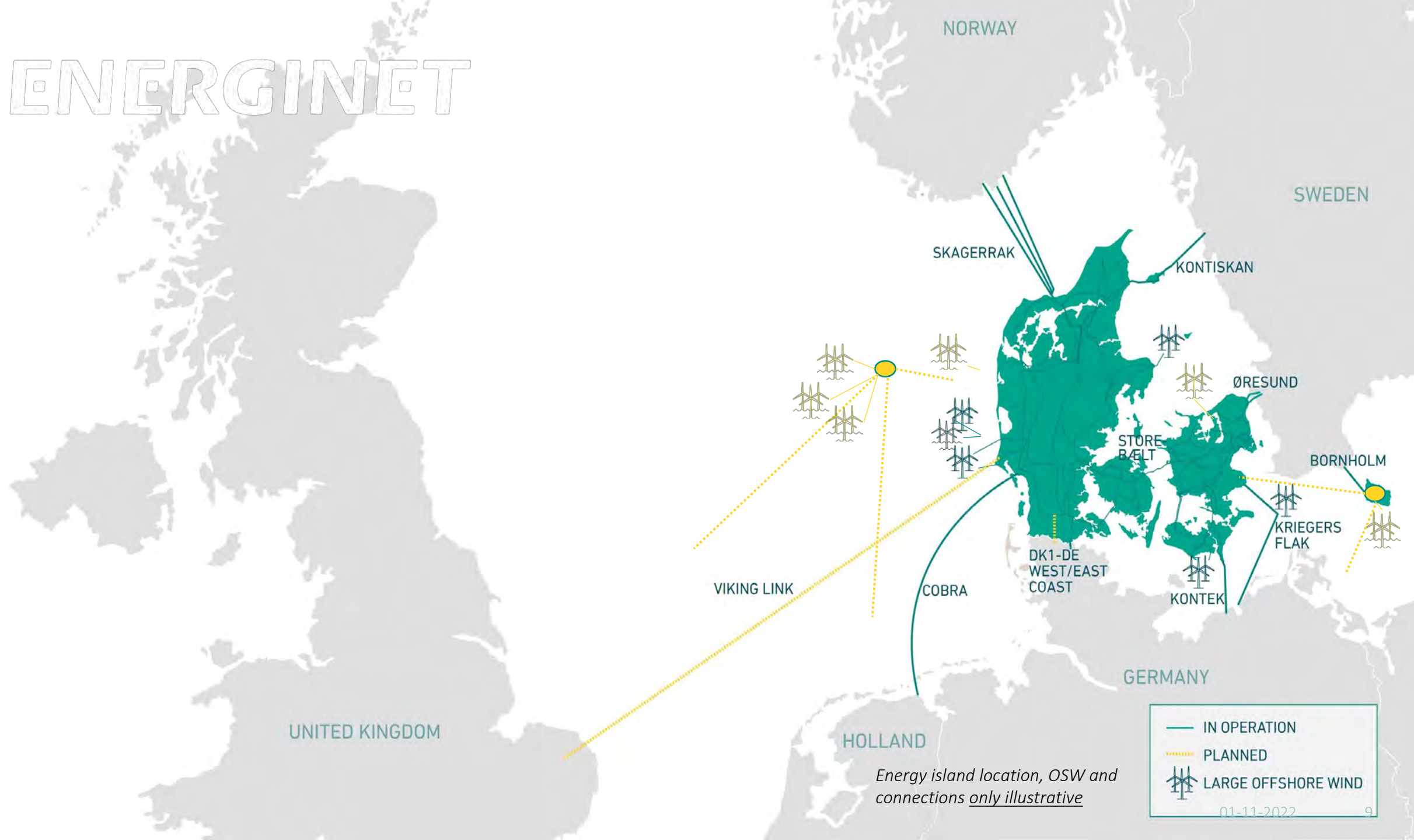


Source: Eurostat

DANISH ENERGIMIX

Wind, hydro, solar

ENERGINET



NORWAY

SWEDEN

SKAGERRAK

KONTISKAN

ØRESUND

BORNHOLM

STORE BÆLT

DK1-DE WEST/EAST COAST

KRIEGER FLAK

KONTEK

COBRA

VIKING LINK

UNITED KINGDOM

HOLLAND

GERMANY

Energy island location, OSW and connections only illustrative

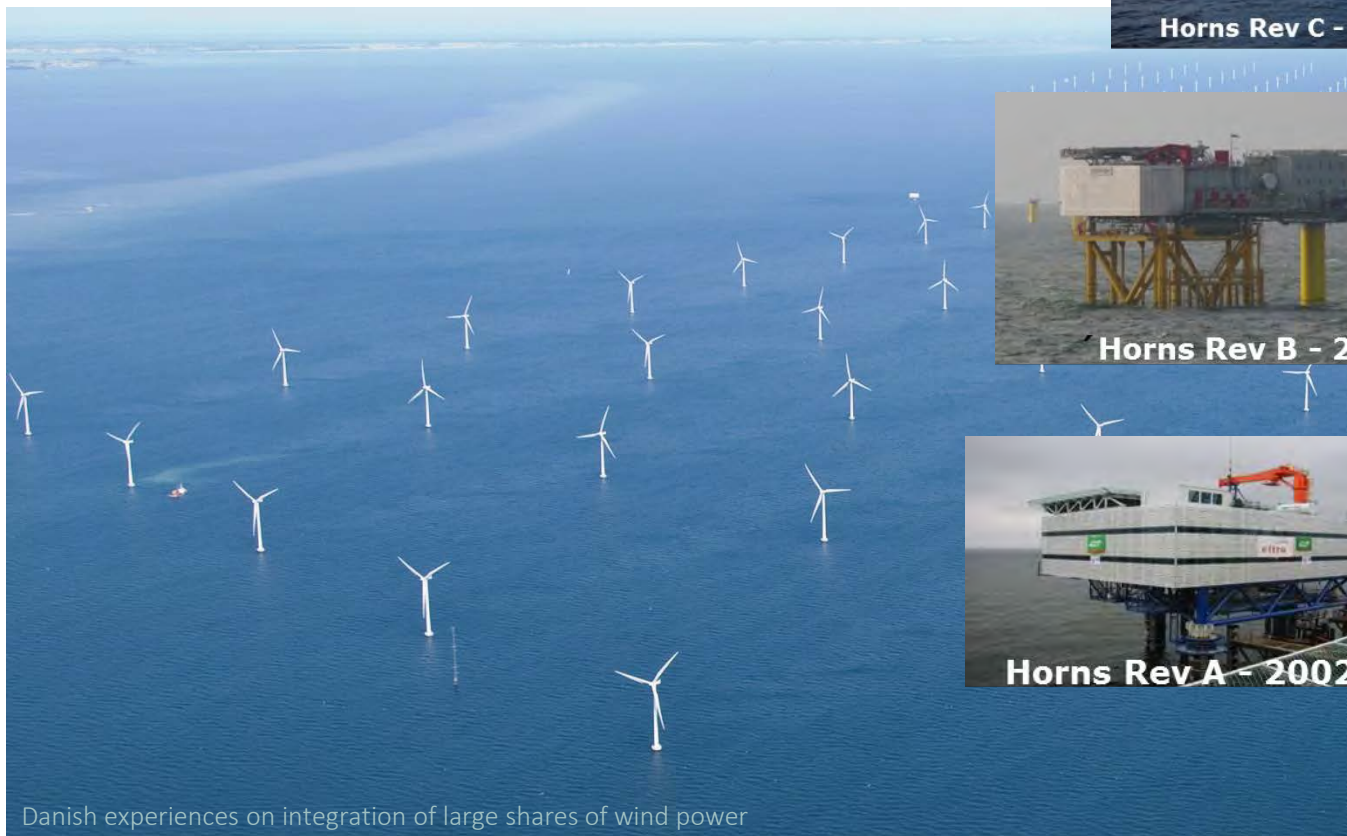
— IN OPERATION
- - - PLANNED
⚙️ LARGE OFFSHORE WIND

RENEWABLE ENERGY

Past and the future

WIND

Onshore and offshore



Horns Rev C - 2016



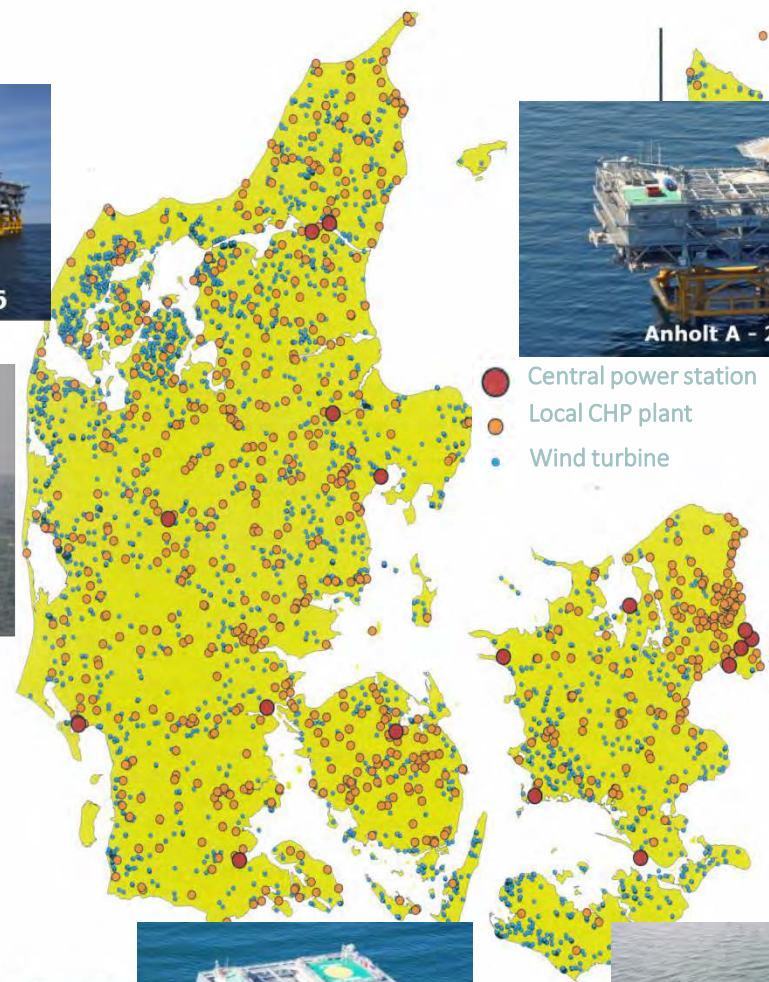
Anholt A - 2012



Horns Rev B - 2009



Horns Rev A - 2002



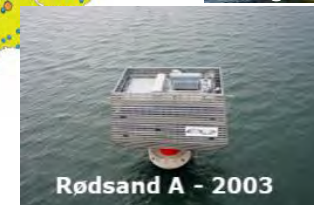
- Central power station
- Local CHP plant
- Wind turbine



Kriegers Flak 2020



Rødsand B - 2010



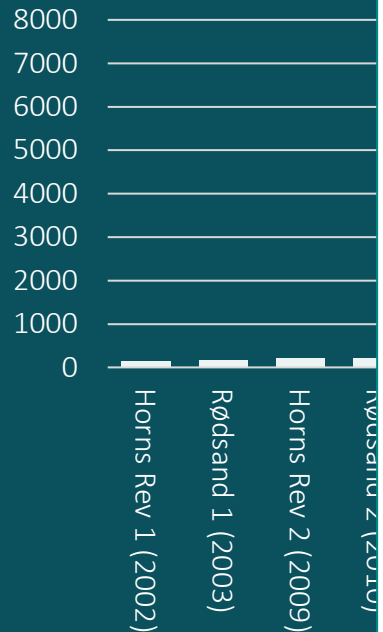
Rødsand A - 2003

KILDE: ENERGISTYRELSEN, EN
VINDMØLLEKOORDINATER, KG

<http://www.sout>

DANISH OSW EXPERIENCE AND DEVELOPMENT

Capacity large OSW in D



Political decision



Så stor er verdens største vindmølle

Siemens Gamesa SG 14-222 DD kan producere op til 14 megawatt.
Det er strøm til 18.000 gennemsnitlige EU-husstande om året

Storebæltsbroen
254 m
(Pylonerne)



Vindmøllen
271,4 m
(fra bund til vingespids)



Kilde: Siemens Gamesa Grafik: Morten Fogde Christensen

NORWAY

SWEDEN

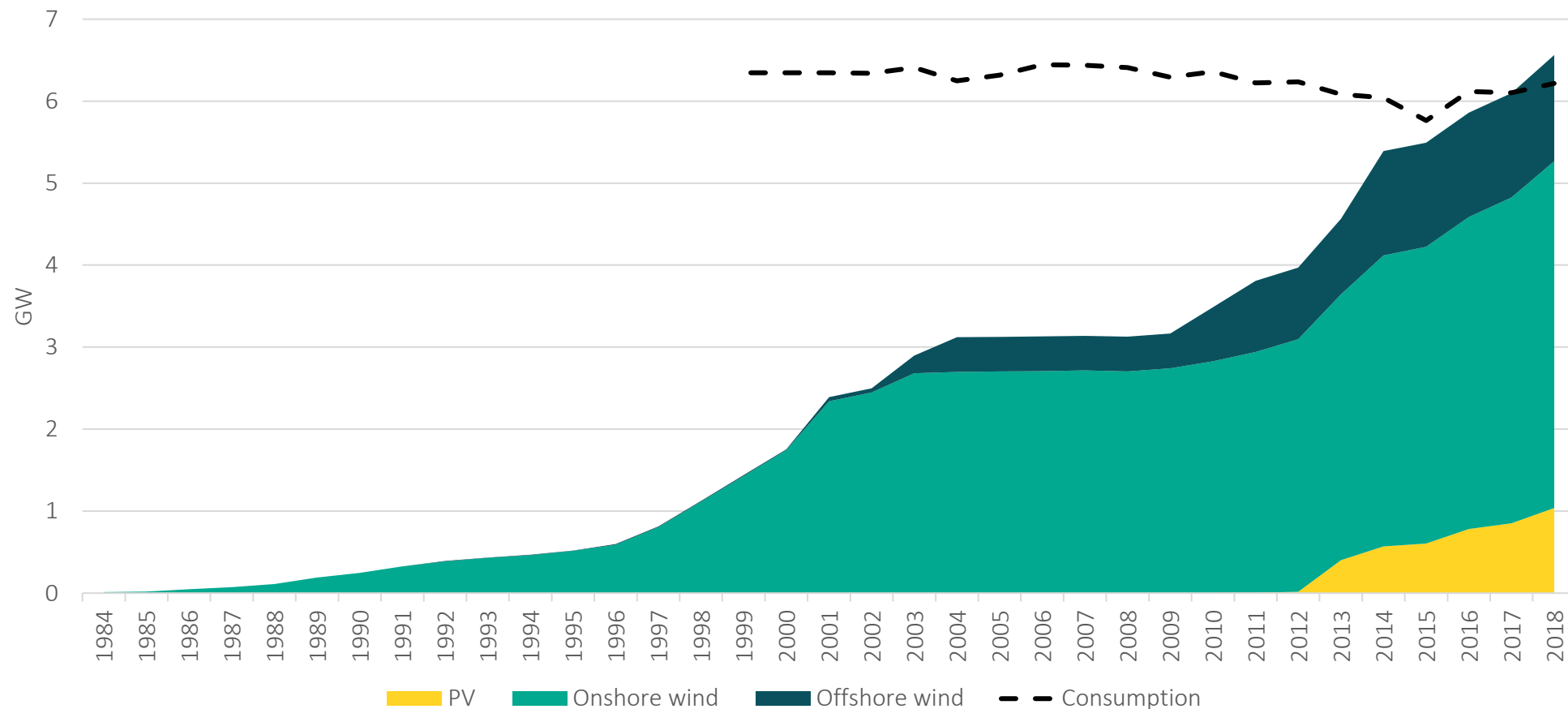


ation, OSW and illustrative

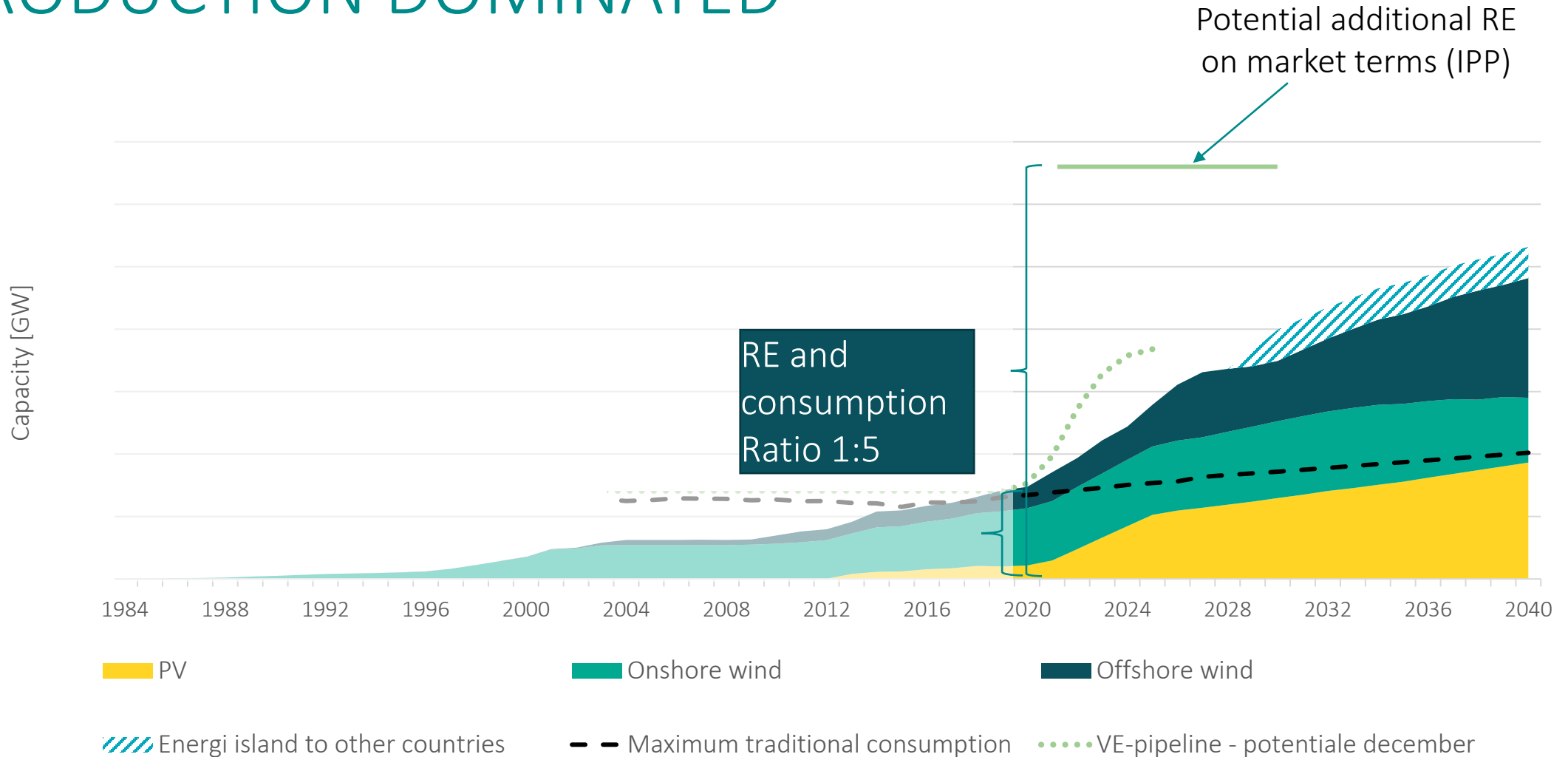
01-11-2022

HISTORICAL GROWTH IN RENEWABLE

RE-potentiale + long term base case development

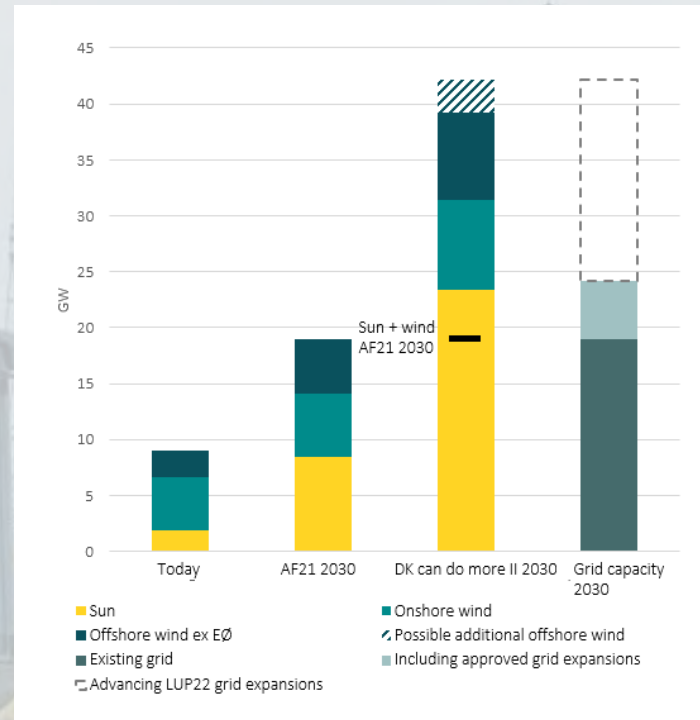


FROM CONSUMPTION DOMINATED TO PRODUCTION DOMINATED



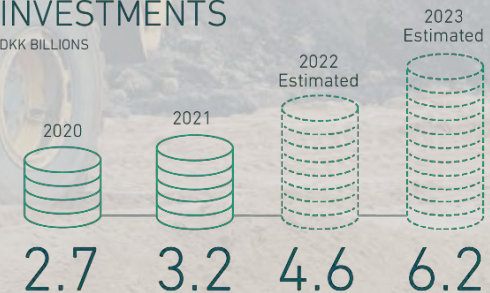
OVER THE NEXT 5 YEARS
ENERGINET WILL INVEST
DKK 25 BILLION IN THE EXPANSION
OF THE POWER GRID

CONSTRUCTION BOOM IN THE POWER GRID



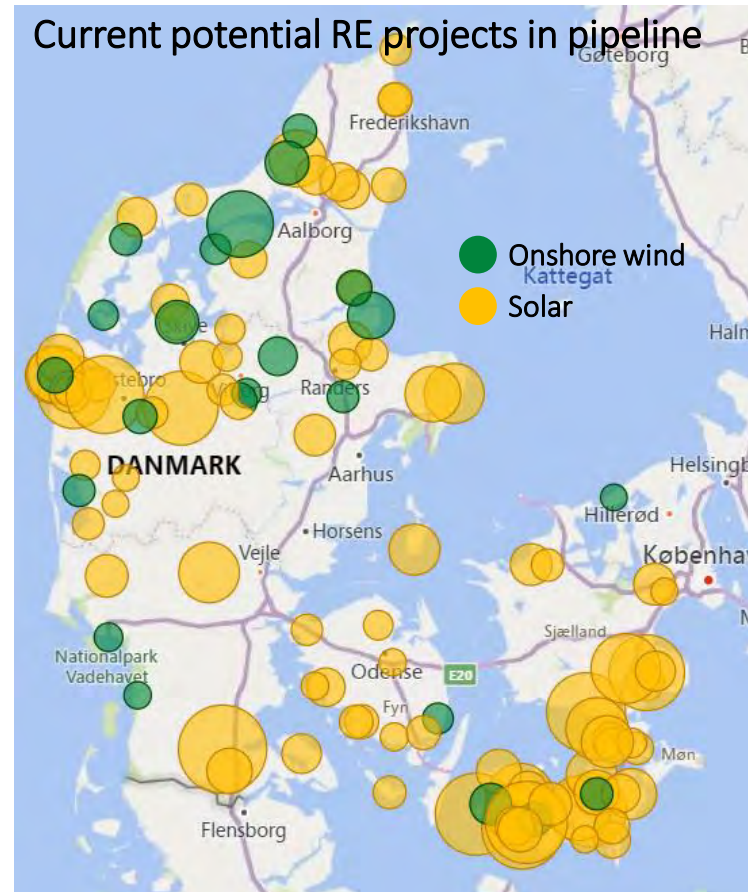
INVESTMENTS

DKK BILLIONS



LACK OF INCENTIVES FOR OPTIMAL GRID LOCATION

- Obligated to connect
- (Obligated to compensate)
- Not true cost of connection



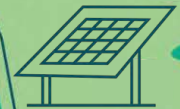
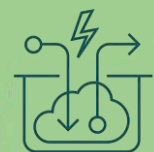
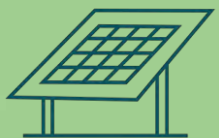
CHANGE IN PLANNING PERSPECTIVE

The North Sea:
3 GW offshore wind by
2030, later 10 GW.

- Massive amounts of PV (and offshore wind) on market terms are coming in fast
- New consumption is unknown
- From consumption dominated to RE production dominated
- Many reinvestments necessary

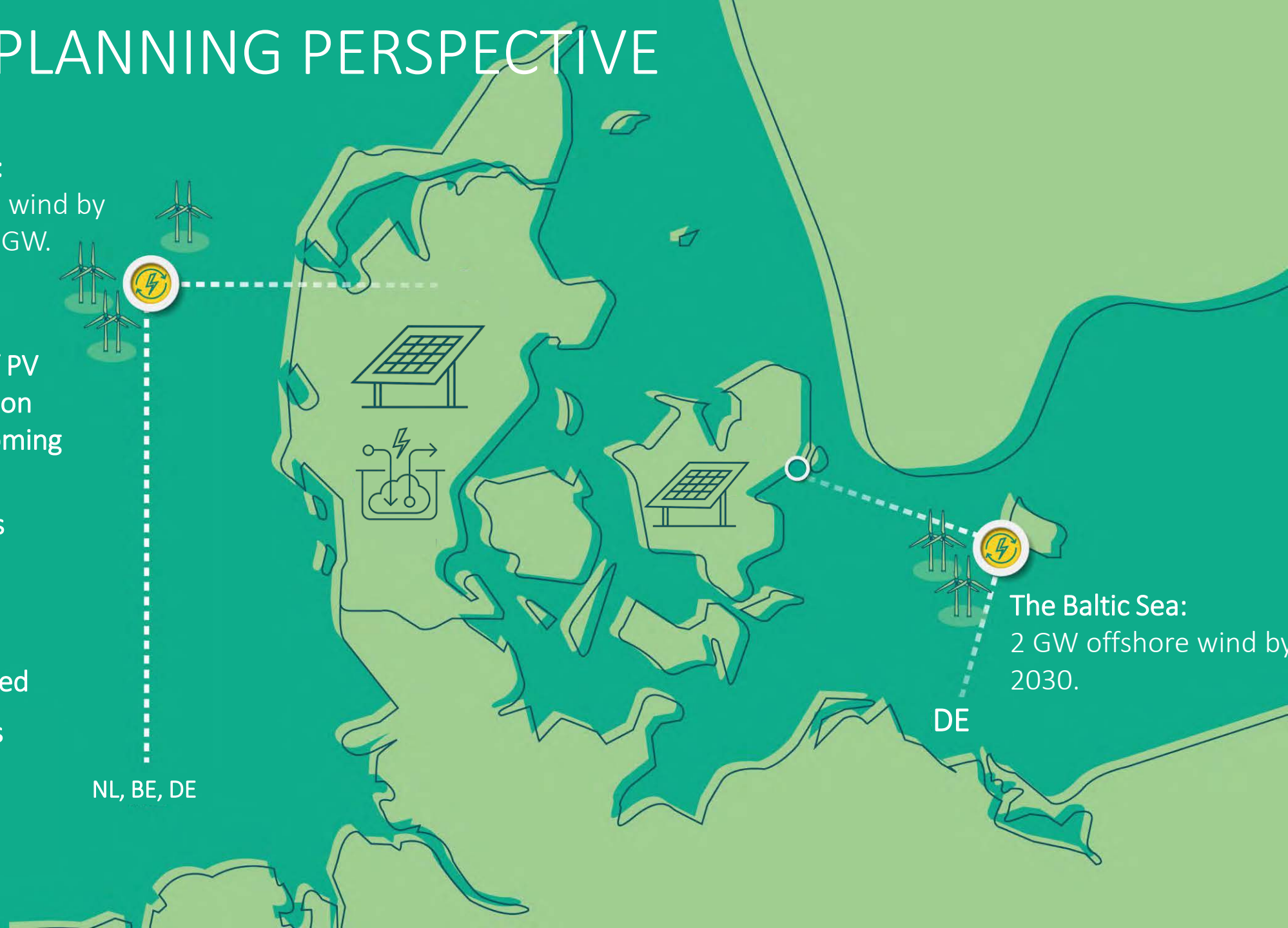


NL, BE, DE



The Baltic Sea:
2 GW offshore wind by
2030.

DE



CHALLENGES AND POSSIBLE SOLUTIONS

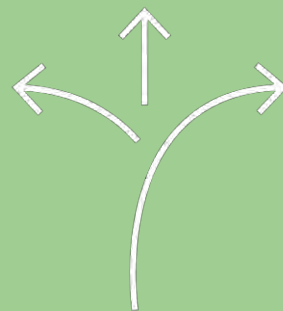
ALTERNATIVE SOLUTIONS CAN REDUCE OR POSTPONE NEED FOR GRID EXPANSIONS

Together with authorities and market players Energinet continuously investigate other types of solutions besides grid expansions

INCENTIVES FOR CO-LOCATION
OF PRODUCTION AND
CONSUMPTION



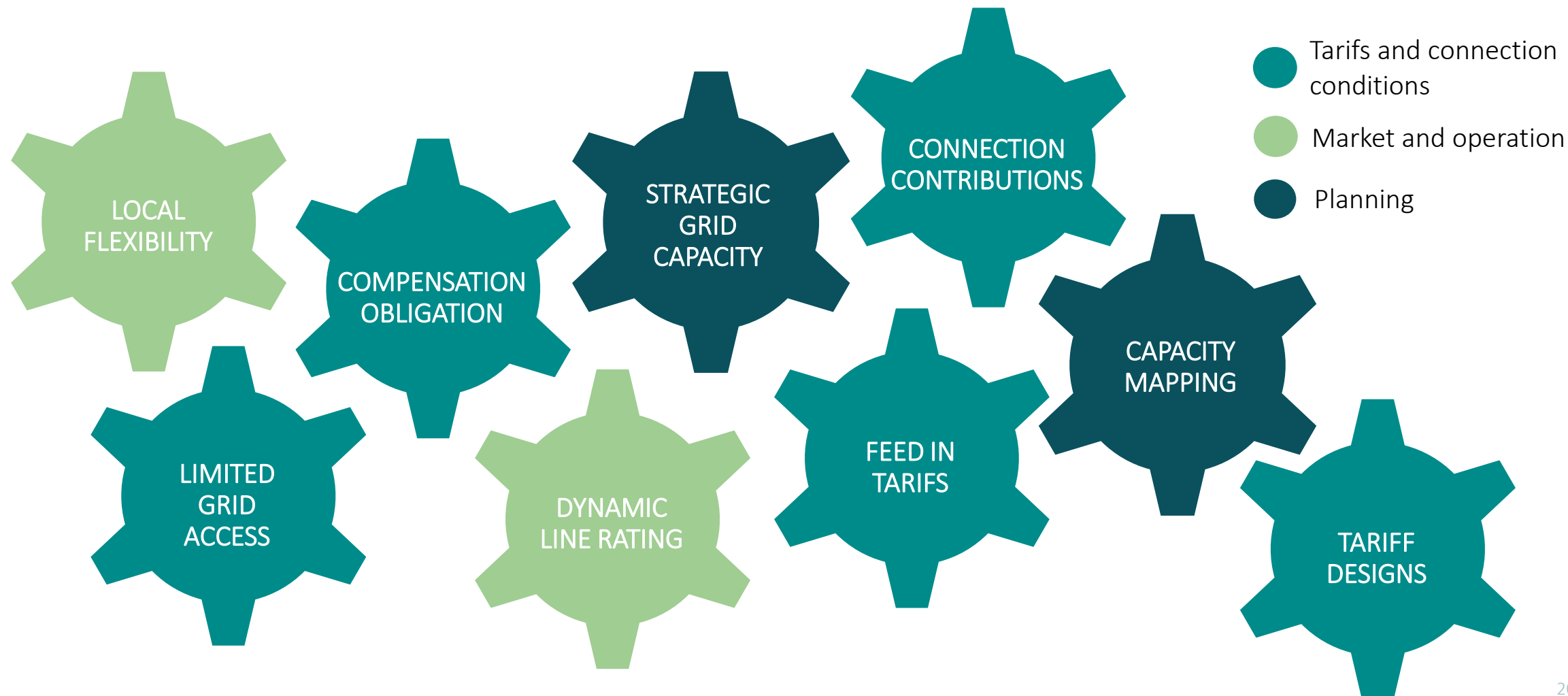
INCENTIVES FOR (LOCAL)
FLEXIBILITY IN PRODUCTION
AND CONSUMPTION



OPTIMISED UTILISATION OF
EXISTING GRID

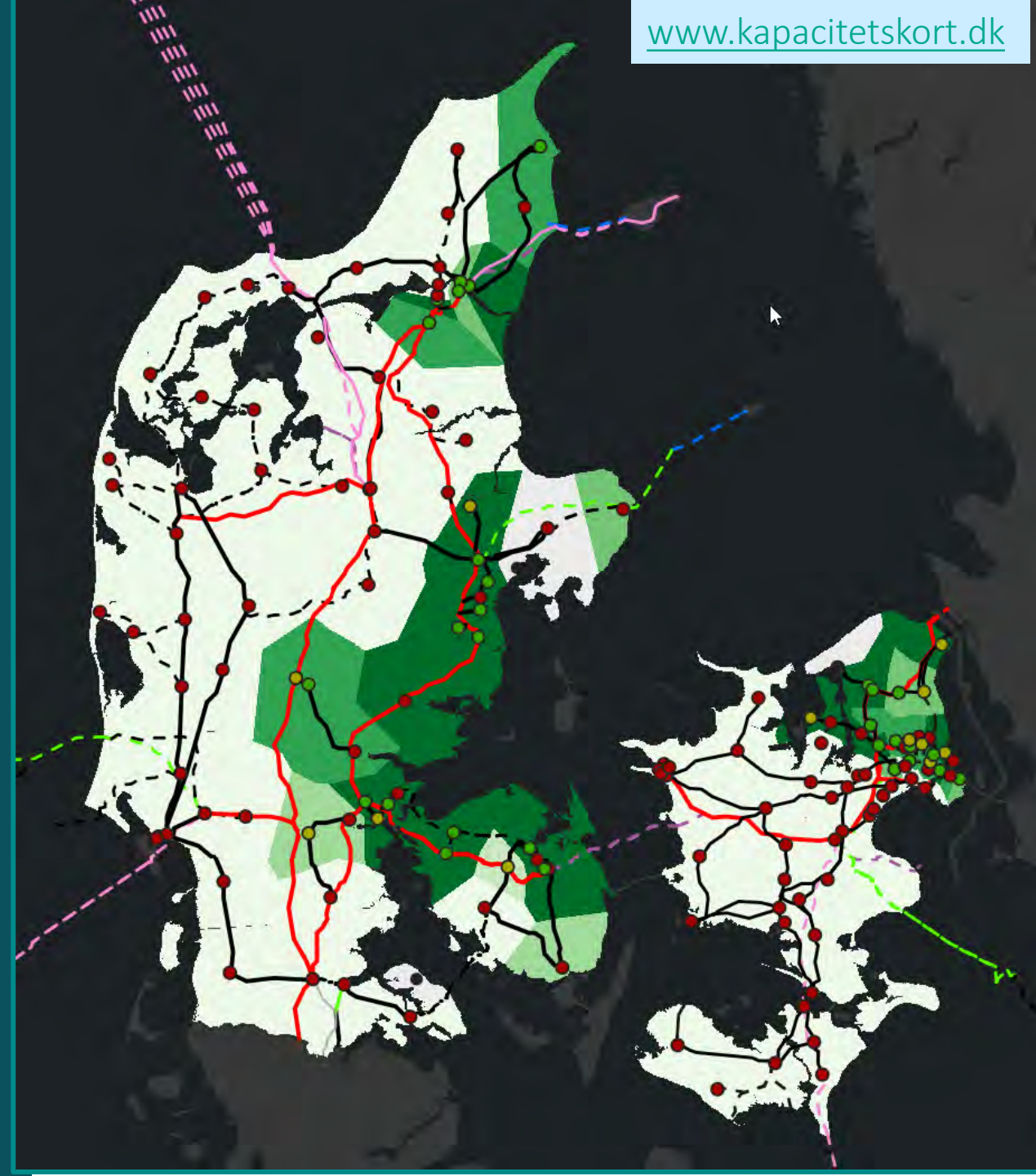


NEW INITIATIVES WITH INCREASING SHARE OF RE

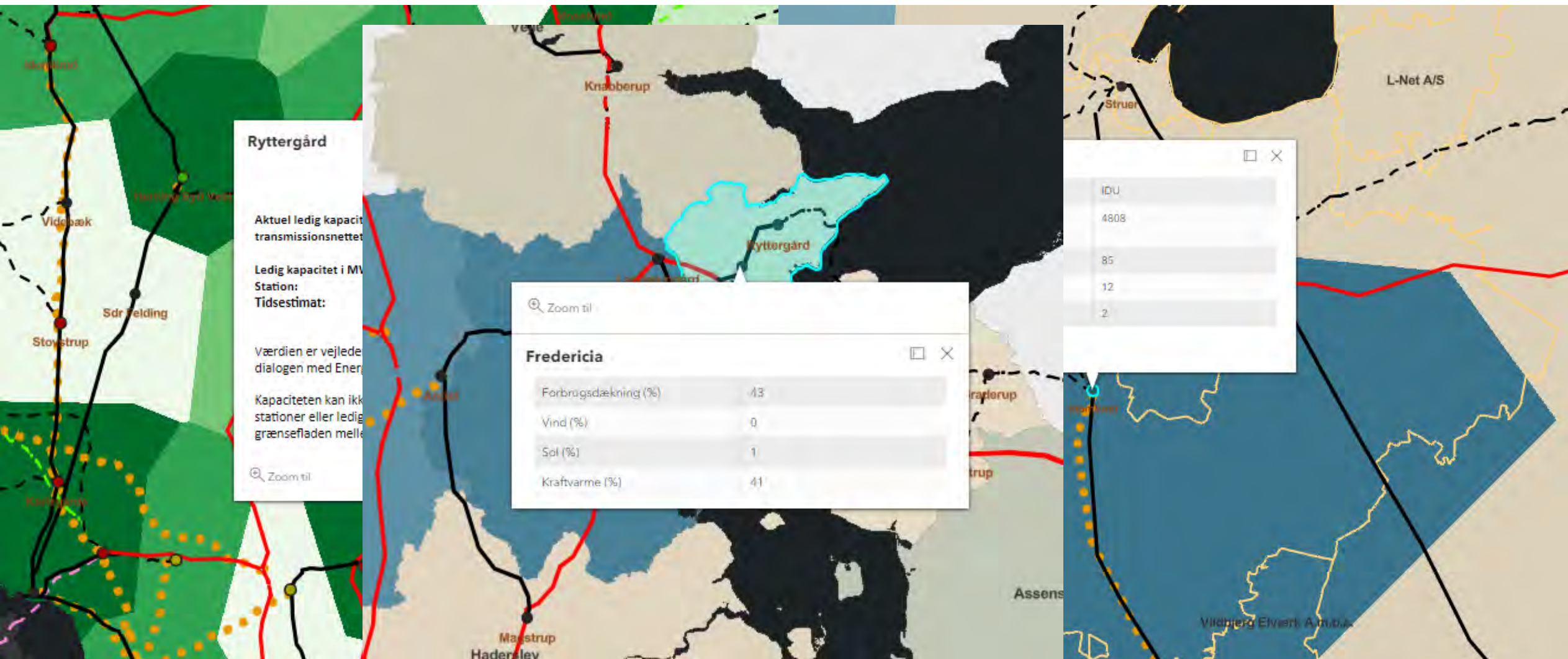


CAPACITY MAP 2021

- Early stage information about available capacity in 50-60 kV and 132/150 kV stations.
- Connection is possible in all locations – time and cost vary
- Guide for the stakeholder in the connection process and useful links – help to self-help
- Concrete projects are studied in detail after IPP inquiry to grid company
- Capacity map is a cooperation between TSO and DSO companies via Danish Energy
- Examples on next page

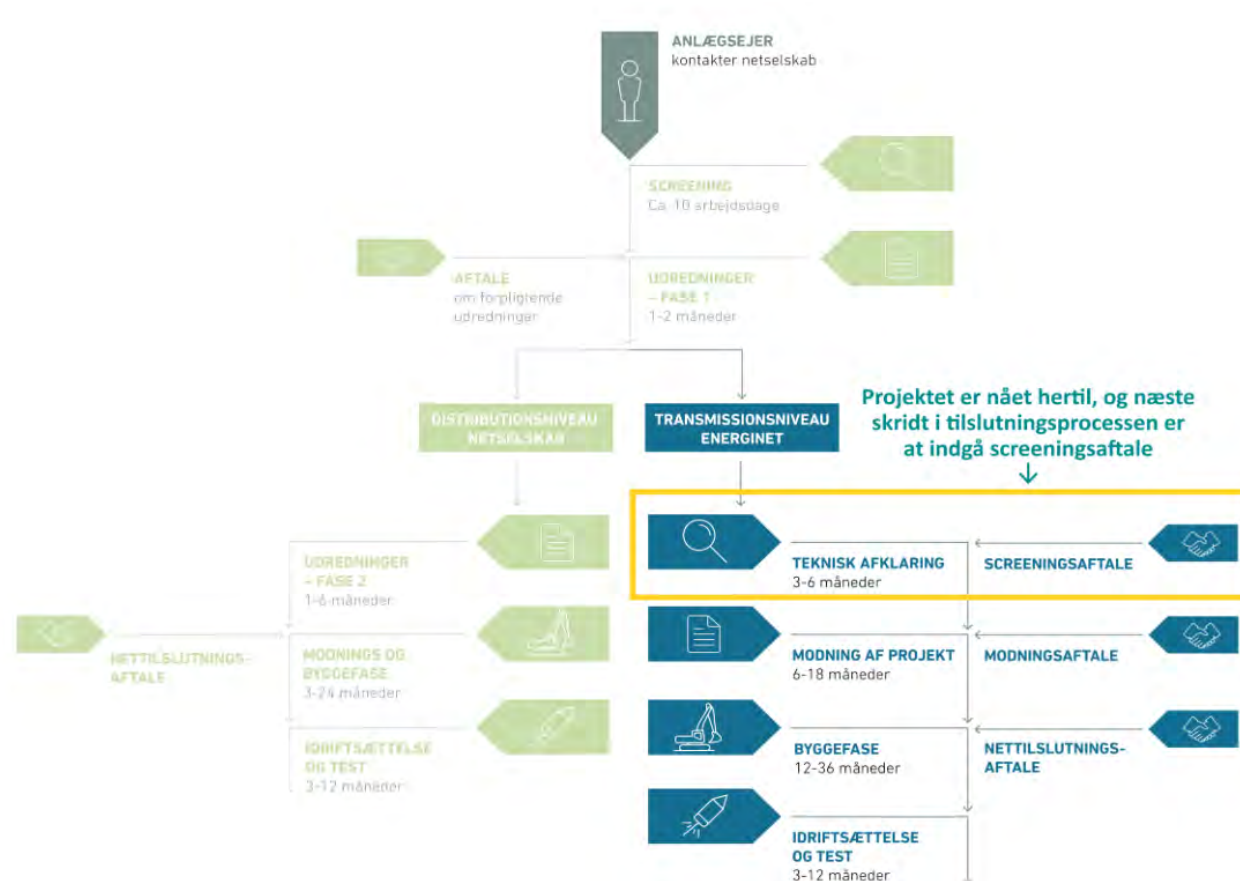


KAPACITETSKORT.DK



PORTAL FOR HANDLING 3RD PARTY GRID CONNECTIONS

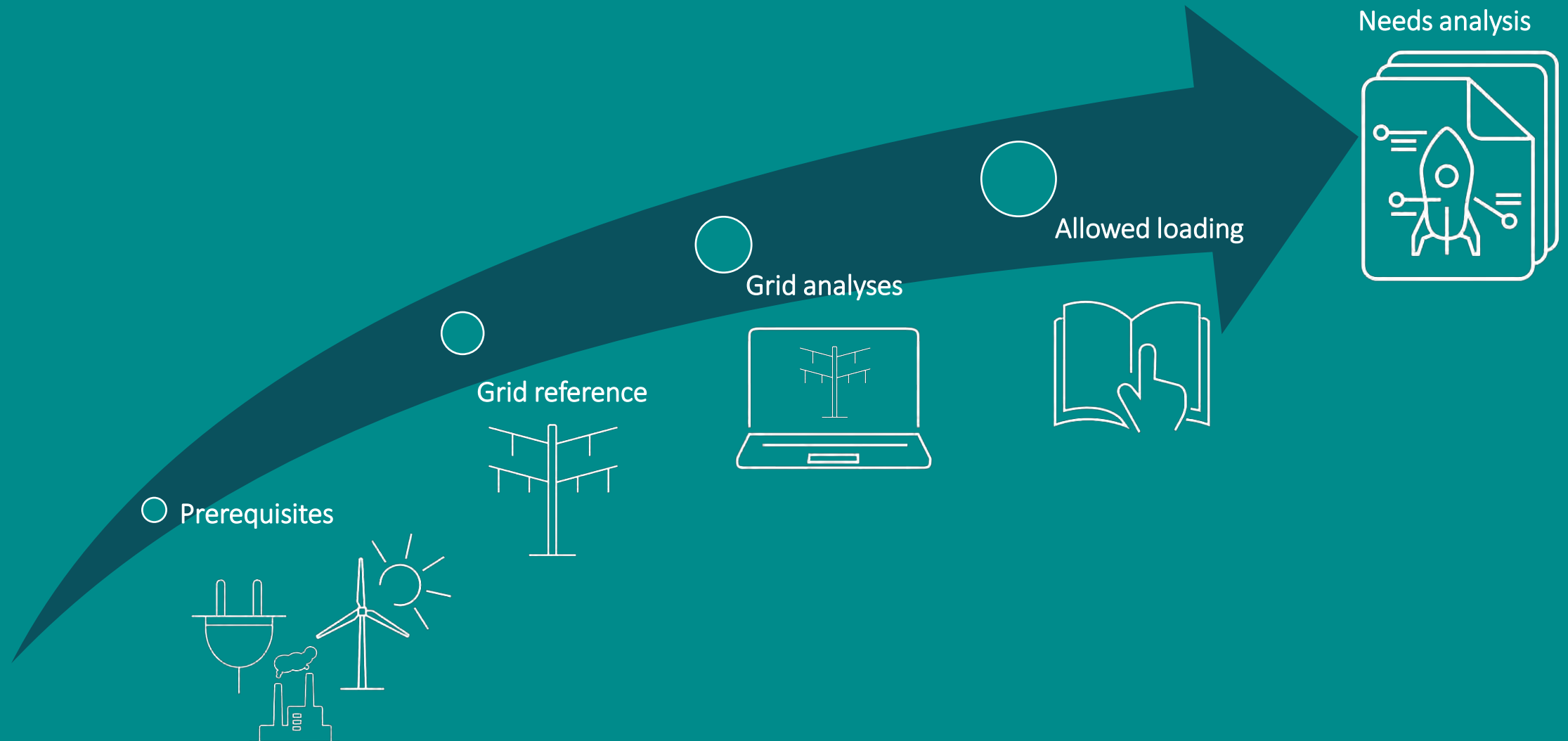
Customer Service Portal - Customer Support (service-now.com)



QUESTIONS

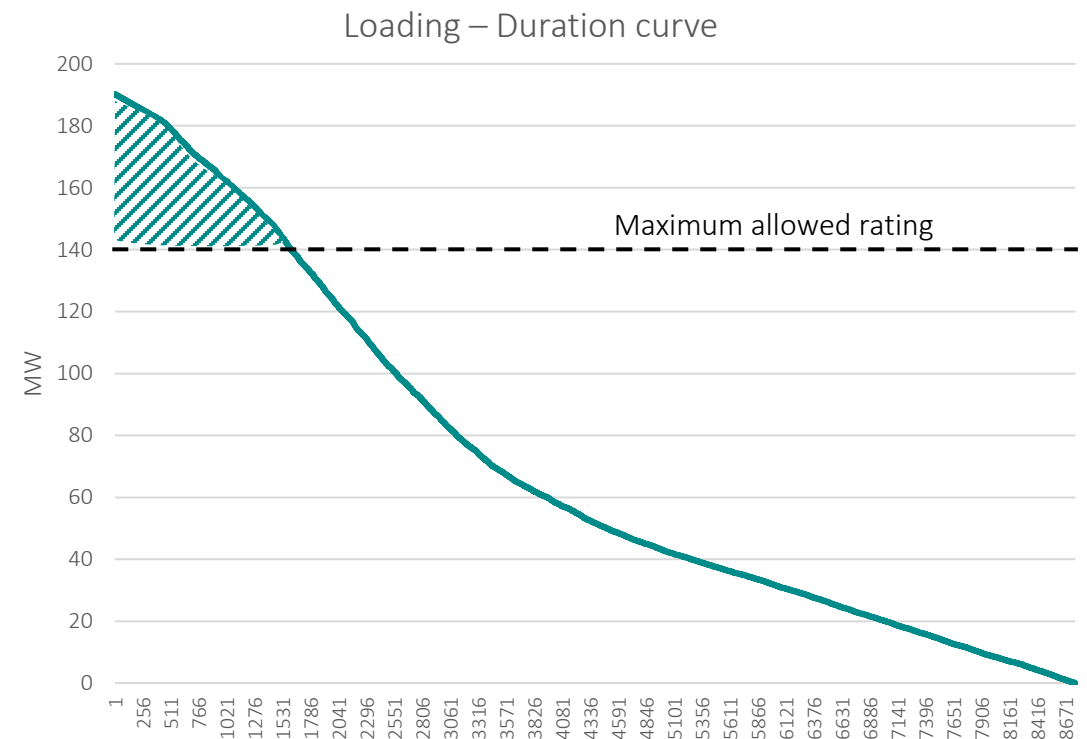


IDENTIFICATION OF NEEDS FOR NEW MEASSURES



GRID ANALYSIS AND ALLOWED LOADING

- Load flow analysis performed for each hour each analyzed year
 - Account for RE-profiles, consumption profiles, electricity prices etc.
- Both infrastructure and market solutions can be considered

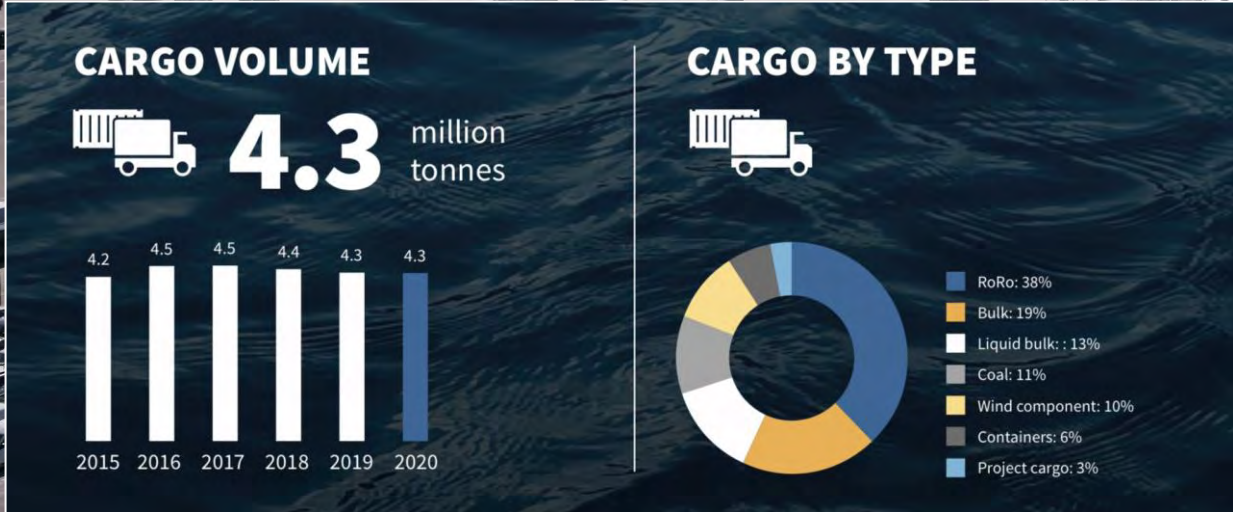
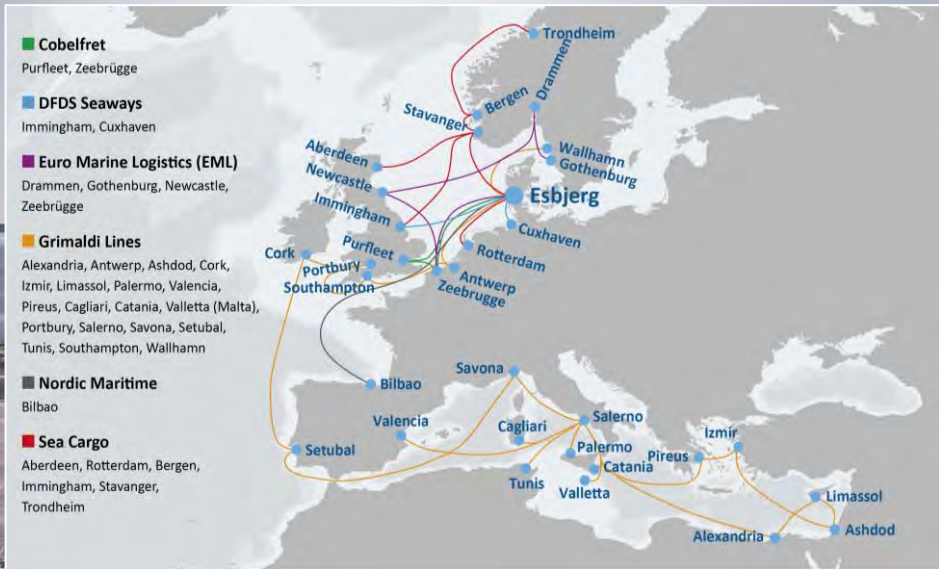


OFFSHORE WIND HUB

PORT ESBJERG – OFFSHORE WIND HUB

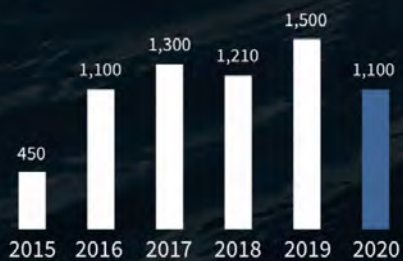


PORT **ESBJERG**





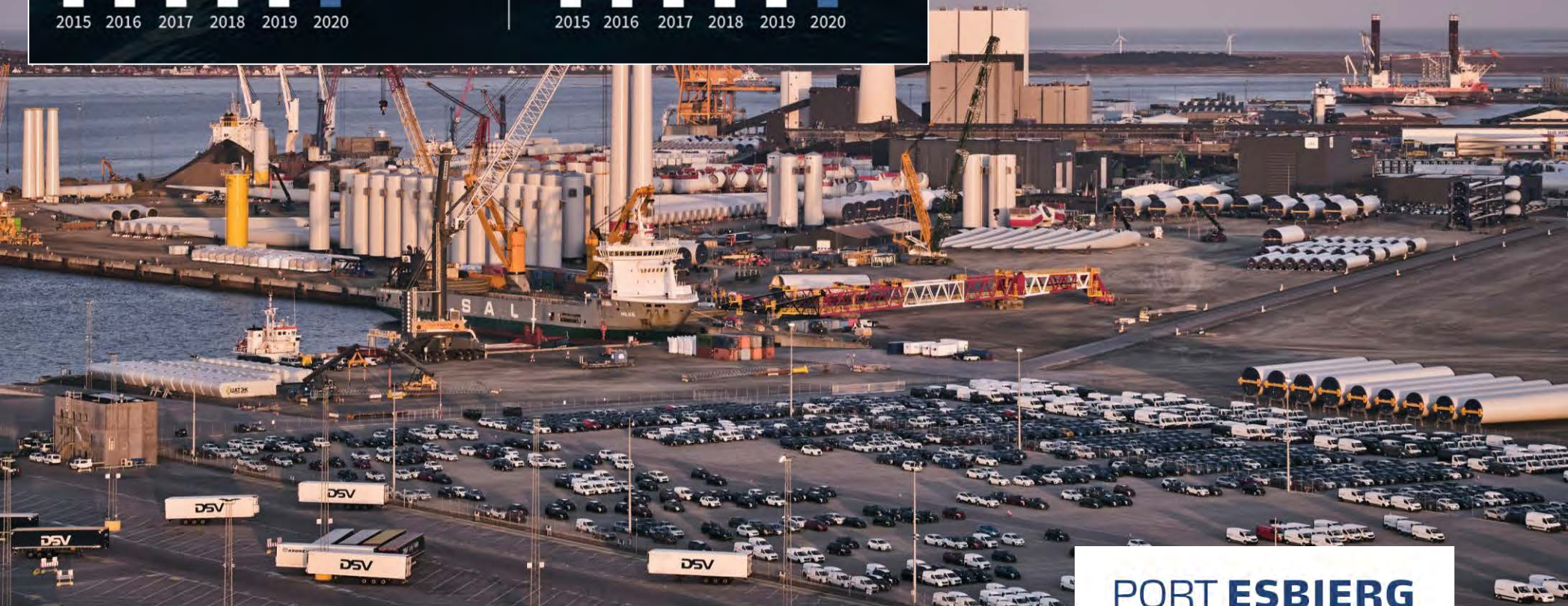
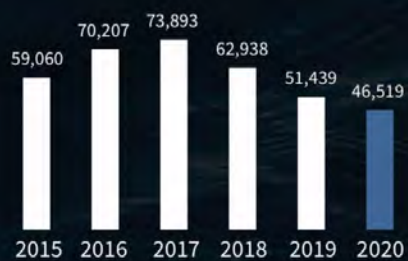
OFFSHORE WIND SHIPPED

 **1,100** MW



CARS

 **46,519**



PORT ESBJERG




Size	4,500,000 m²
Quay length	14 km
Water depth	10.5 m MLWS
Tidal range	1.3 – 1.5 m
Project Sites	10 simultaneously
Calls per year	>100 Installation Vessels > 2,000 Crew Transfer Vessels

PORT HISTORY

1873 - 2007

Fishing port



Uniquely positioned in the North Sea for fishing industry and transport to the UK

1972 →

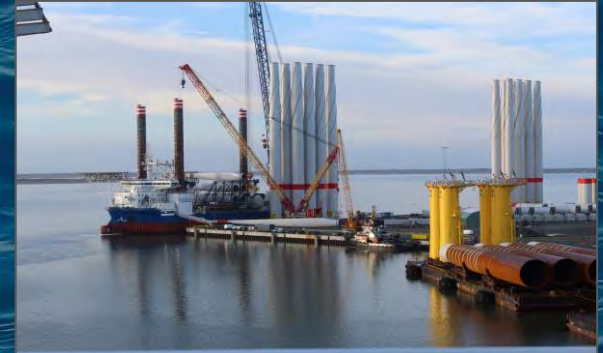
Service hub for Danish oil & gas production



Uniquely positioned for oil/gas exploration and production in the Danish North Sea sector

2000 →

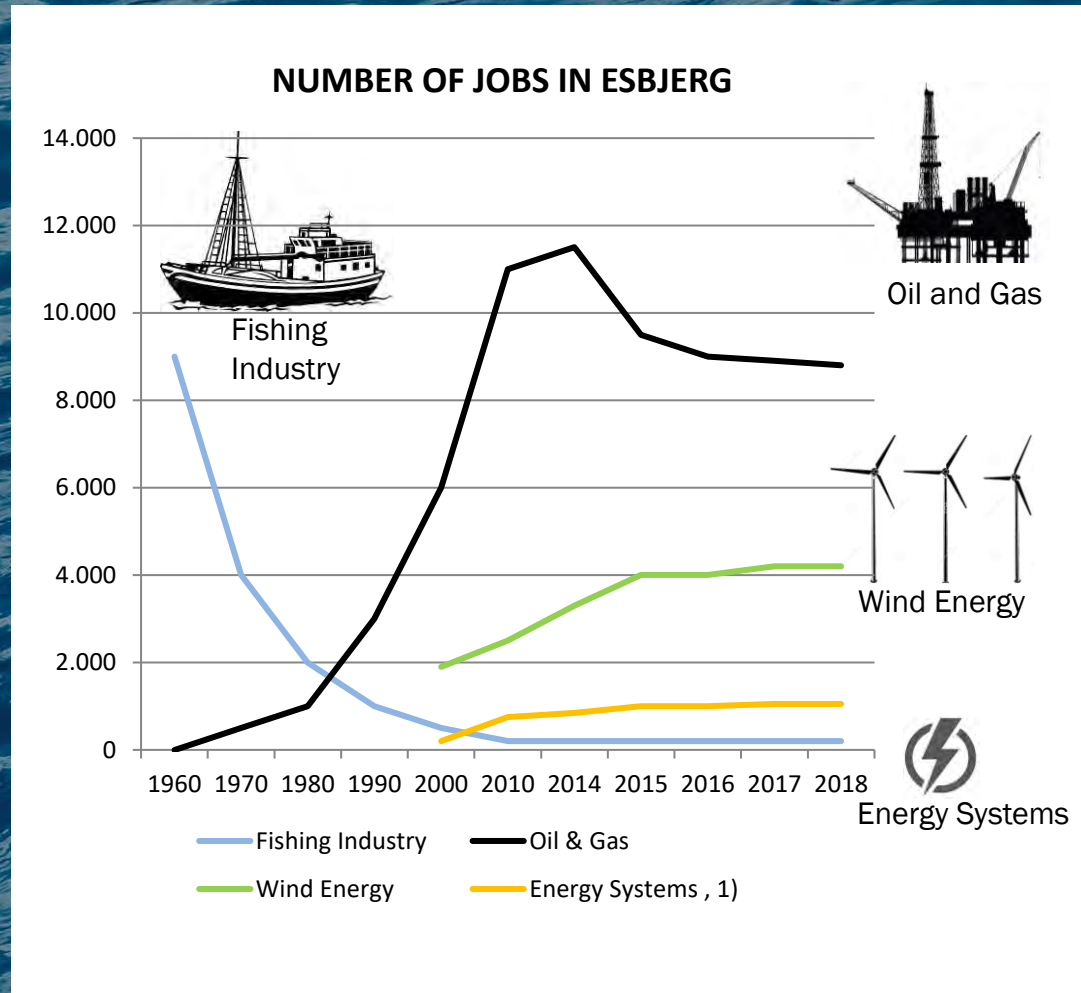
Installation/service hub for North Sea offshore wind farms



Uniquely positioned for North Sea wind farms and for wind turbine production

1868 → : Import/export - Intermodal Logistics

THE TRANSFORMATION – from fish to energy



Jobs in the Esbjerg area 2020:

Oil and gas	8,800 jobs
Wind energy	4,250 jobs
Energy systems	1,100 jobs

There are approx. 60,000 jobs within the municipality. 25 % of all jobs in the municipality are energy-related.

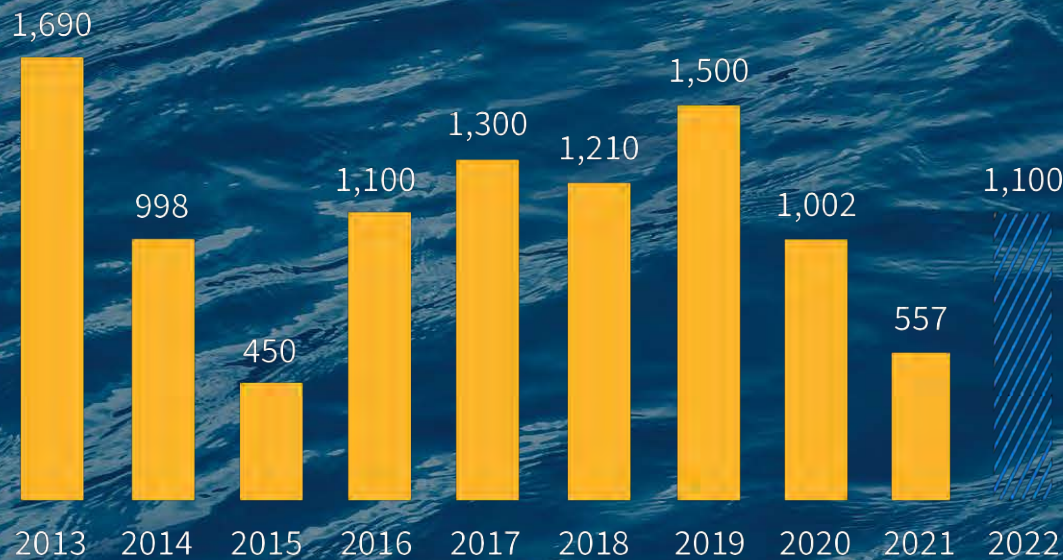
There are approx. 10,000 jobs within the Port area.



PORT ESBJERG
~~~~~

# TRACK RECORD PORT OF ESBJERG

## MW offshore wind shipped from Port of Esbjerg

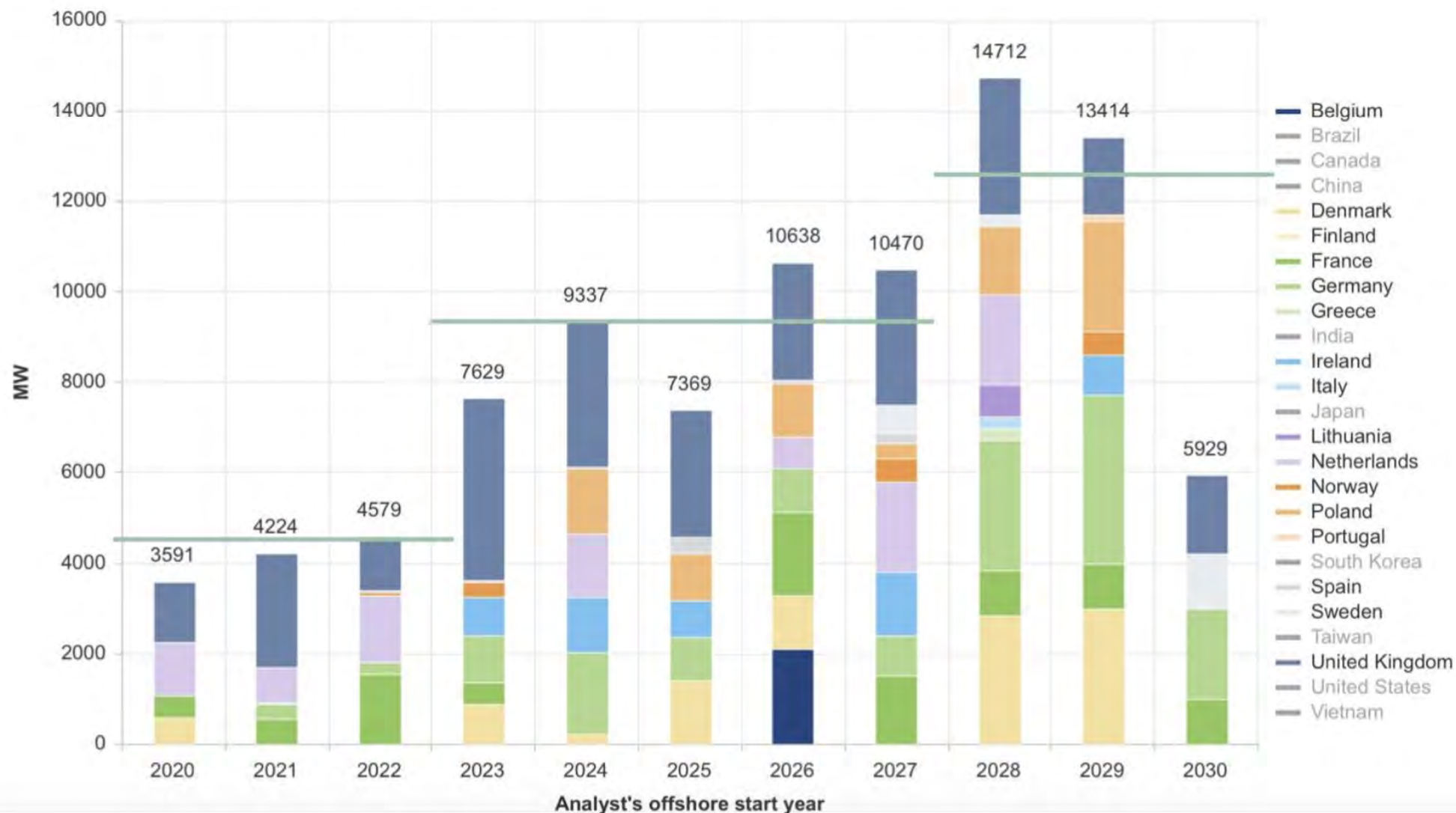


## PORT OF ESBJERG PROJECT INVOLVEMENT

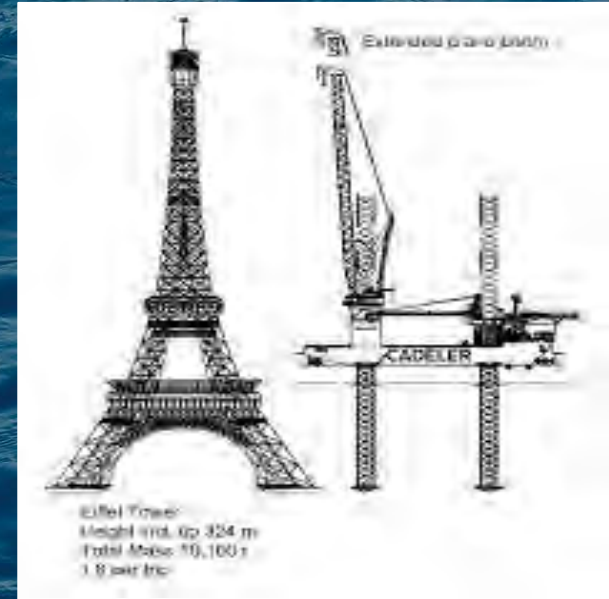
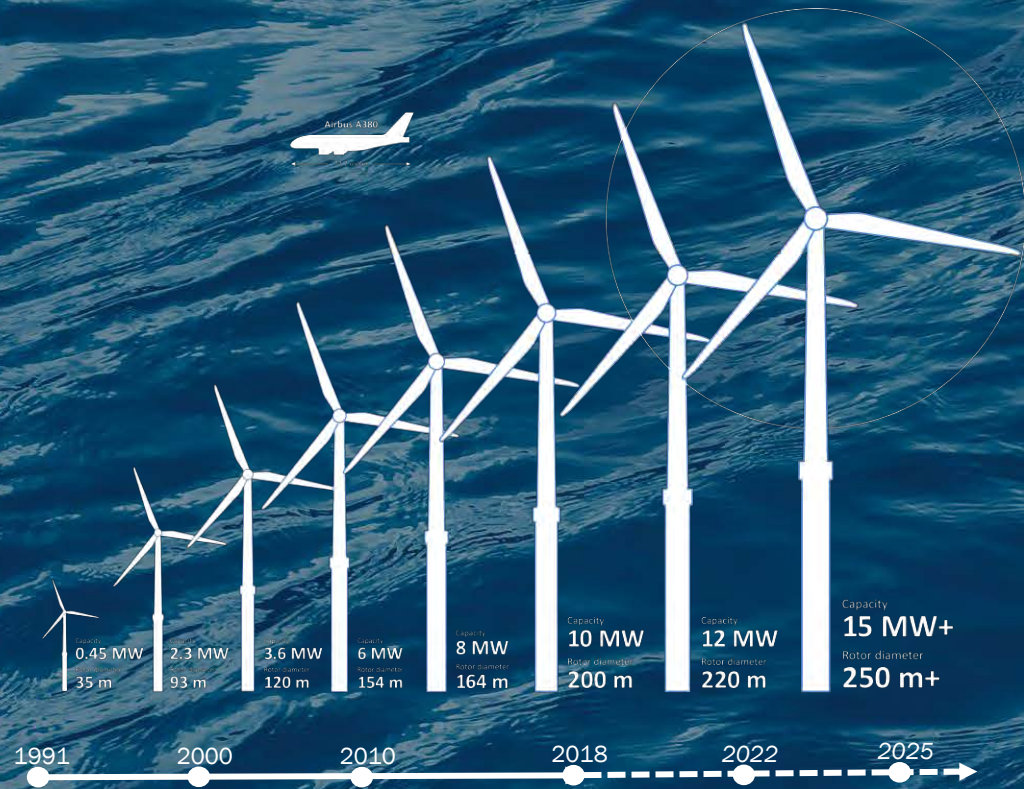
- **59 PROJECTS**
- **23.6 GW**
- **+4,150 OFFSHORE TURBINES**

\*INCL. PIPELINE

# EUROPEAN OFFSHORE WIND PIPELINE



# IMMATURE MARKET





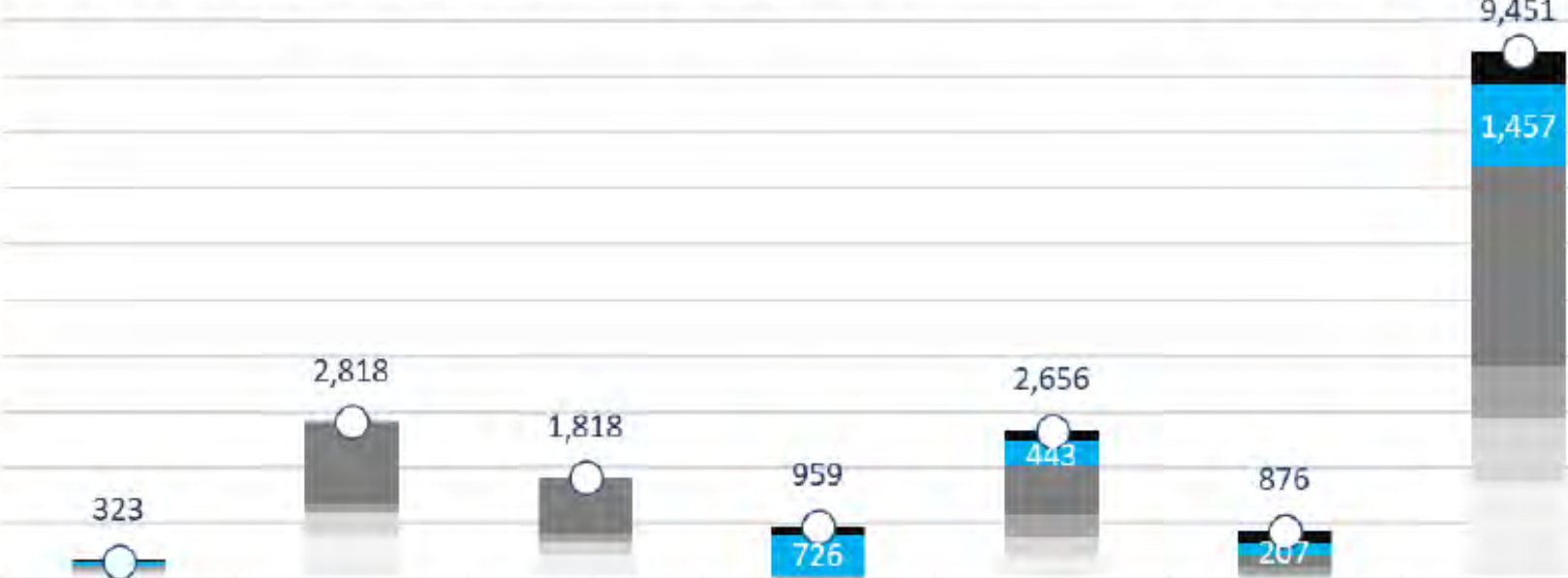
# 1 GW



Σ

9,451

10,000  
9,000  
8,000  
7,000  
6,000  
5,000  
4,000  
3,000  
2,000  
1,000  
0



|                         | P1 - Development | P2A - Wind turbines | P2B - Balance of plant | P3 - Installation | P4 - O&M     | P5 - Decommissioning | Total        |
|-------------------------|------------------|---------------------|------------------------|-------------------|--------------|----------------------|--------------|
| ■ Operators             | 7                | 0                   | 0                      | 155               | 177          | 248                  | 587          |
| ■ Ship crews            | 82               | 0                   | 0                      | 726               | 443          | 207                  | 1,457        |
| ■ Workers + technicians | 6                | 1,479               | 1,005                  | 2                 | 885          | 216                  | 3,593        |
| ■ Engineers             | 76               | 134                 | 143                    | 37                | 413          | 130                  | 934          |
| ■ Outdoor experts       | 64               | 402                 | 244                    | 20                | 333          | 75                   | 1,137        |
| ■ Indoor experts        | 88               | 803                 | 427                    | 20                | 405          | 0                    | 1,743        |
| <b>O Total</b>          | <b>323</b>       | <b>2,818</b>        | <b>1,818</b>           | <b>959</b>        | <b>2,656</b> | <b>876</b>           | <b>9,451</b> |

4,959 / 52 %

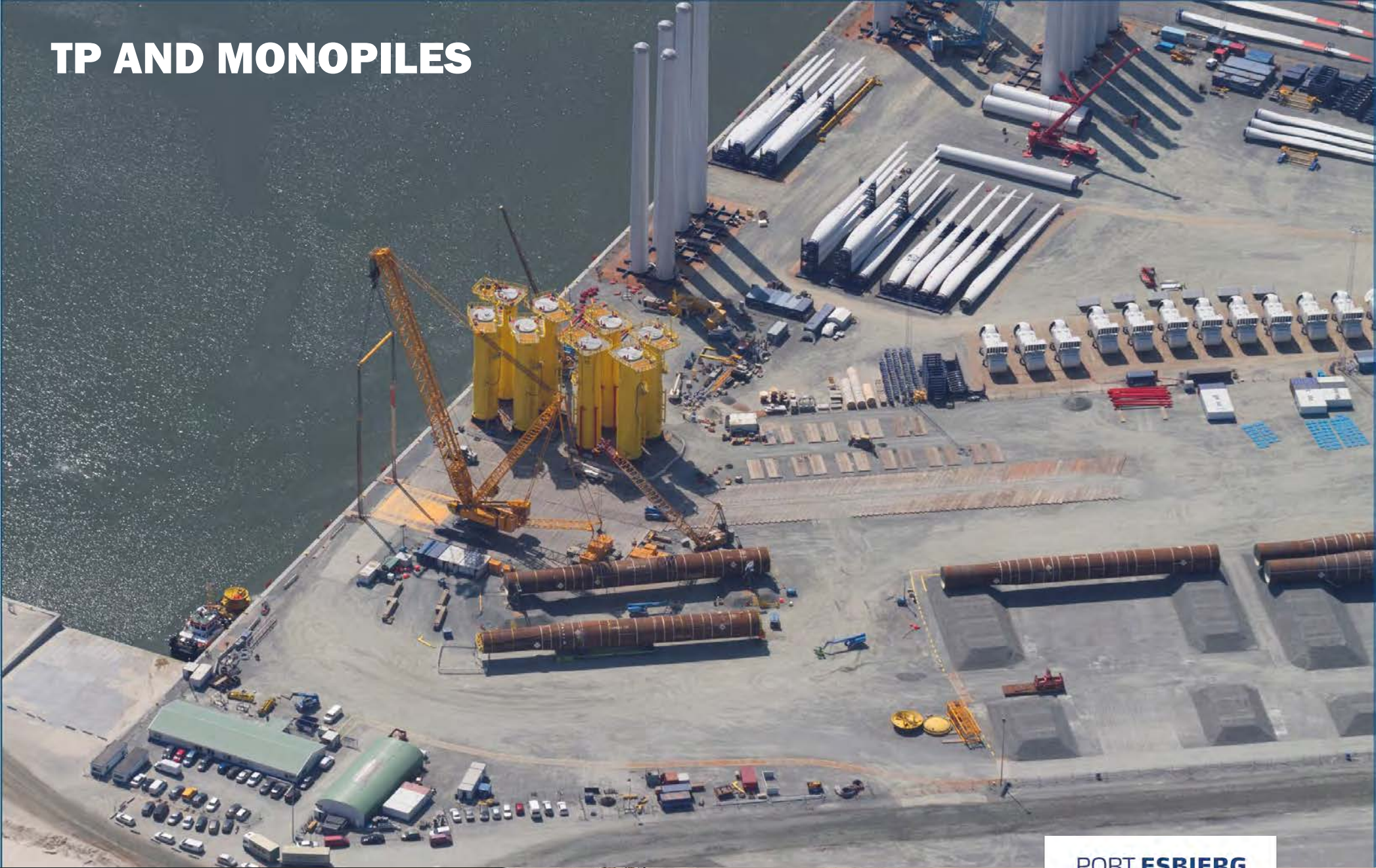
4,492 / 48 %



# PREASSEMBLY / PROJECT INSTALLATION



# TP AND MONOPILES





# PORT EXPANSION - 750,000 M2



# VESSEL SERVICE

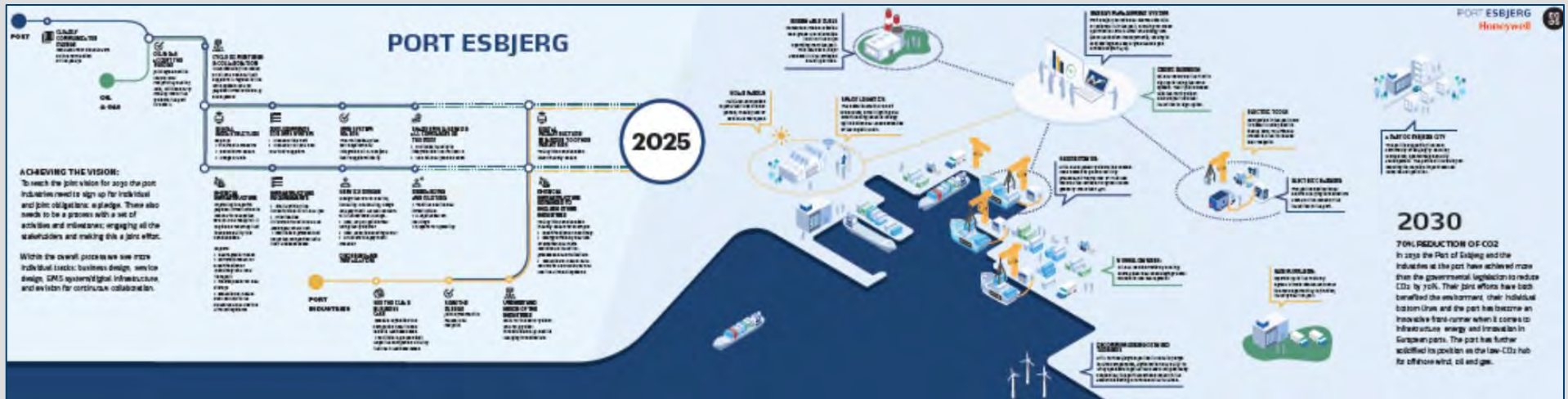


# TRAINING, EDUCATION, SKILLS, CERTIFICATES

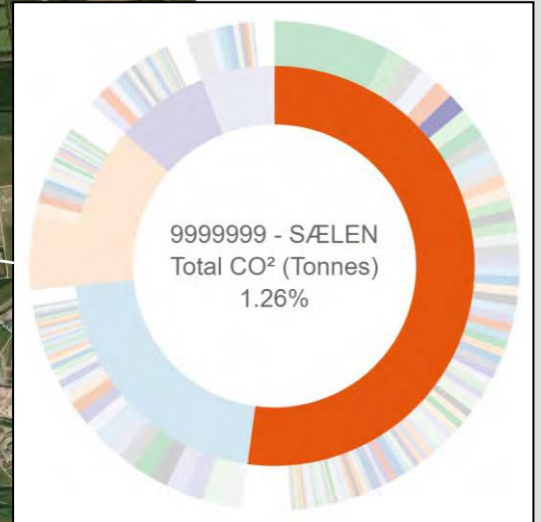
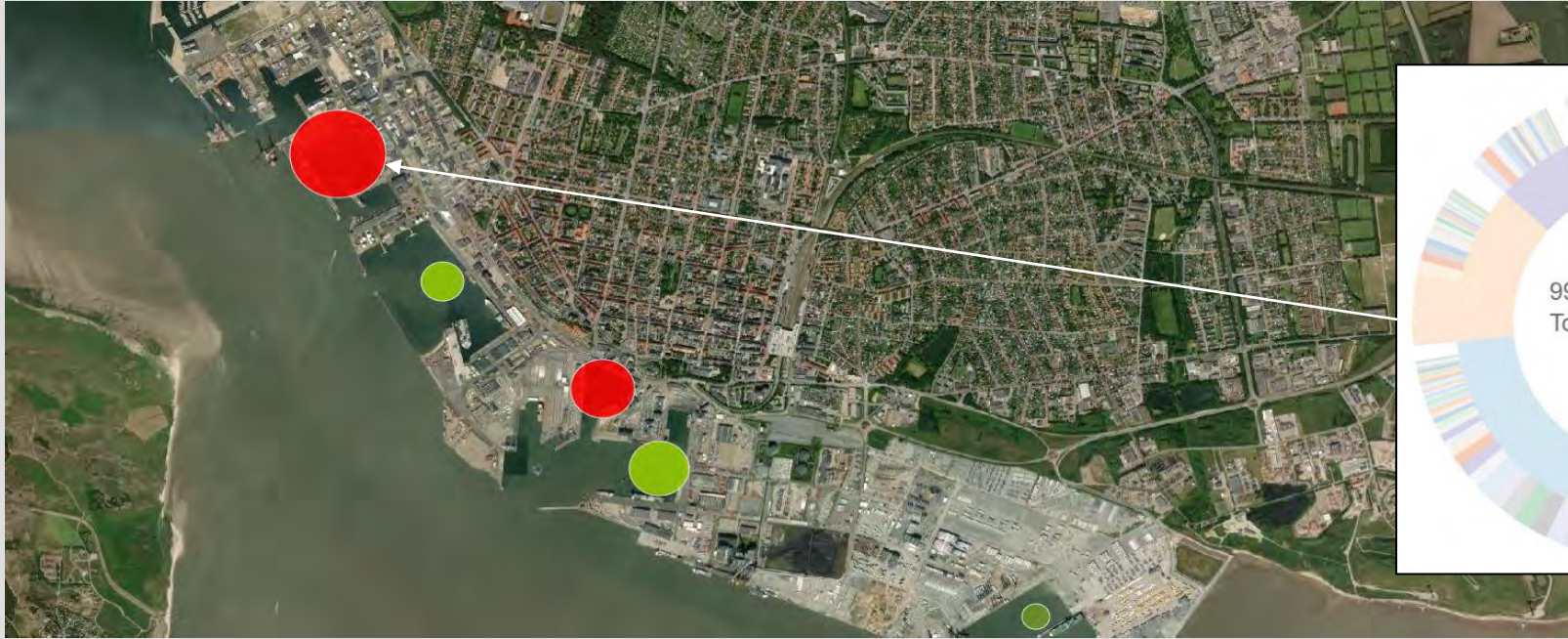




# WIND ENERGY – SHORE POWER – FUEL CELLS POWER2X – EXCESS HEAT – CITY HEATING - ALTERNATIVE VESSEL FUELS - E-VESSELS – GREEN BUNKERING - E-CARS - BIOMASS - HEAT PUMPS – SOLAR POWER – LNG – HYDROGEN

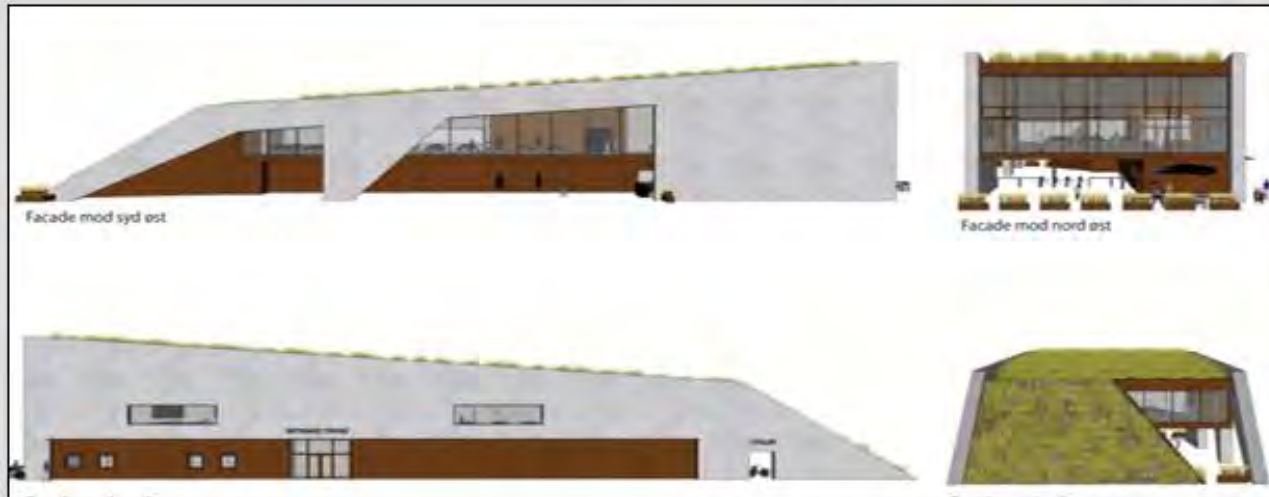


# PORT ENERGY MANAGEMENT SYSTEM



# EMISSION FREE PORT INFRASTRUCTURE

- OPS (Onshore power supply)
- ELV (Electrical vehicles)
- ELC (Electrical cranes)
- Green Buildings



# WASTE HANDLING



# New Sustainable Fishing Center



- 1. Service centre fishery (ice, cleaning)
- 2. Waste handling hazardous waste
- 3. Waste handling station fishery
- 4. Fish handling area (cranes, cover roof)
- 5. Water surface waste-collecting
- 6. Renewable shore power and water supply
- 7. Pontons for easy and secure access
- 8. Bunker fuel centre
- 9. Fishing net handling area
- 10. Fiskernes Hus



# VISIT:

[HTTPS://WINDEUROPE.ORG/WINDFLIX/VIDEOS/WORLD-OF-WIND-INTERVIEW-WITH-JESPER-BANK-PORT-OF-ESBJERG/](https://windeurope.org/windflix/videos/world-of-wind-interview-with-jesper-bank-port-of-esbjerg/)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=SWNAR4TNQYE&T=125](https://www.youtube.com/watch?v=SWNAR4TNQYE&T=125)

[HTTPS://WWW.SEBROCHURE.DK/PORT-ESBJERG/WEBVIEW/](https://www.sebrochure.dk/port-esbjerg/webview/)

The RWE logo is displayed in a bold, dark blue, sans-serif font at the top center of the slide. The background of the entire slide is a clear, light blue sky. In the lower right portion, several white wind turbines with three blades each are visible. The blades have red and white striped tips. The turbines are arranged in a line, receding into the distance. On the right side, there are decorative teal-colored lines that form a grid pattern, suggesting a field or a specific layout.

# Thor Offshore windpark

**Meeting with Islandic delegation 24. October 2022**

Pia Lanken

# Hvem er RWE?

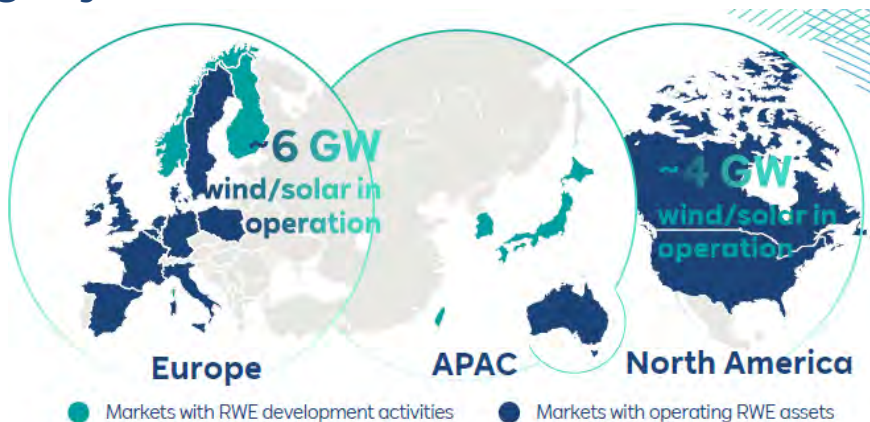


**RWE is one of the world's leading  
renewable energy companies.**



# Our core business is leading the way to a green energy world – while responsible phasing out our legacy business

- **Profile & Main activities** A leading **green energy** player supplemented by energy trading
- **HQ Location** Essen/Germany
- **Employees** ~18,200
- **Track record** ~**20 years** in the renewables business  
**#2** offshore player globally  
**#2** gas fleet in Europe  
**>55 GW** development pipeline



## Core business

**Offshore Wind**

Strongest growth in Europe, significant potential in global markets

**Onshore Wind/Solar**

Biden Plan and European Green Deal accelerate growth momentum in US and Europe

**Batteries & Flexible Generation**

RWE's European core markets require new, low-carbon flexible capacities

**Hydrogen**

Hydrogen is quickly gaining traction with Europe at the forefront

**Commercial Solutions**

Decarbonisation of industry drives demand for tailored solutions

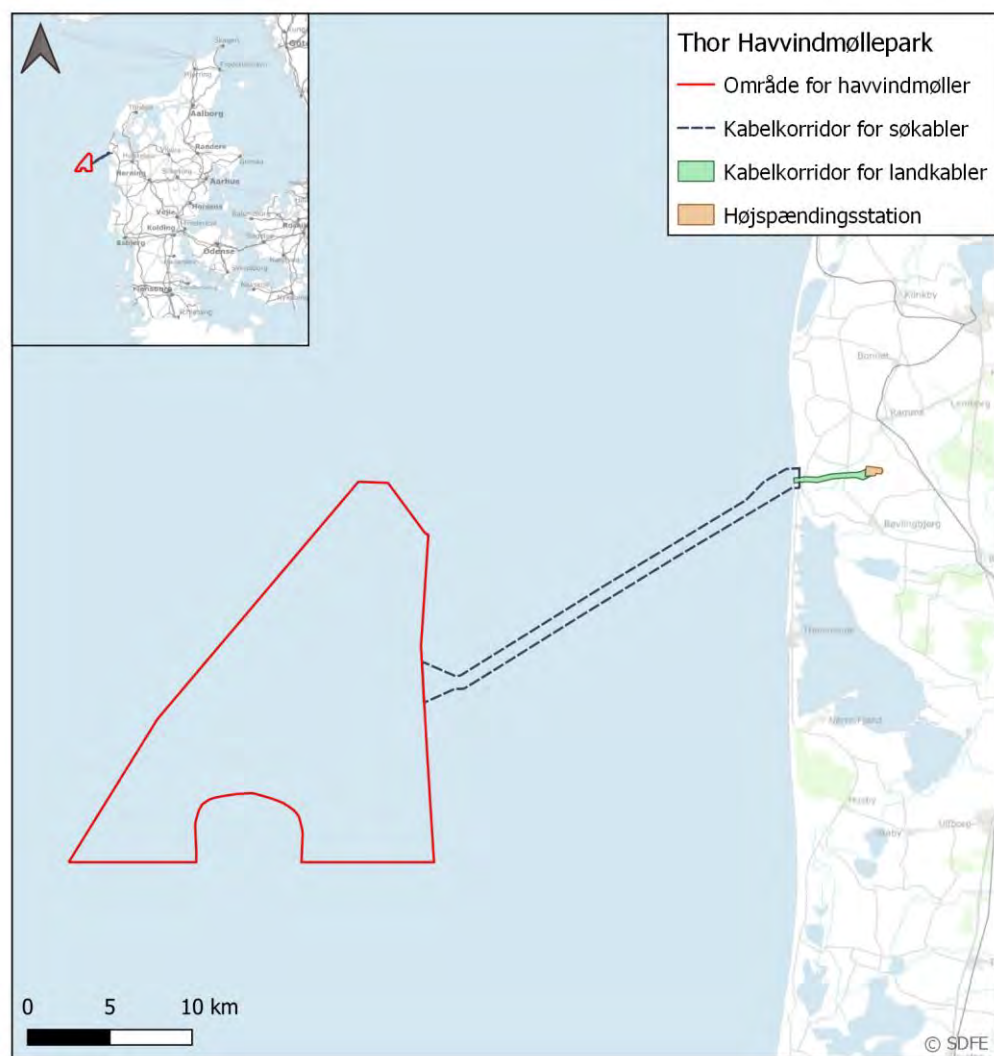
## Legacy business

**Coal / Nuclear**

Responsible and socially acceptable phase-out of coal/nuclear and secure efficient dismantling

# Thor Offshore windfarm

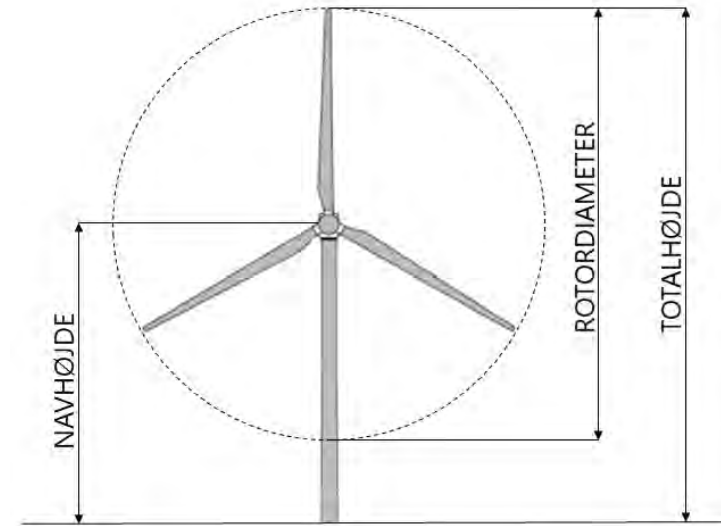
- Largest offshore wind farm in Denmark
- Capacity: 1.000 MW
- Project area for entire wind farm (286 km<sup>2</sup>)
- Service port will be in Thorsminde Harbor
- Distance to the coastline (22 km)
- Export cable corridor at sea (~25 km)
- Export cable corridor at land (~5 km)



# Thor offshore windfarm








## Two scenarios

|                                 | Scenarie 1 | Scenarie 2         |
|---------------------------------|------------|--------------------|
| Turbines                        | 14-15 MW   | 21-23 MW           |
| Number of turbines              | 72         | 48                 |
| Total height (m)                | 260        | 300                |
| Rotor diameter (m)              | 236        | 280                |
| Hub height (m)                  | 140        | 160                |
| Number of transformer platforms | 1          | 0                  |
| Number of export cables         | 2          | 1-5                |
| Foundation type                 | Monopæl    | Monopæl el. jacket |



# Thor Offshore windpark

## TIMEPLAN

| 2019                                                                                                       | 2020                                                                         | 2021                                                                                                                                          | 2022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2023                                                                                                                                                                           | 2024                                                                                                                                                                | 2026                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | [...]                                                                                                                                                      | 2062 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Feb: Site accepted</li> <li>★ Oct: DEA market dialogue</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Q1 - tender announcement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Q3 - final tender conditions</li> <li>★ Q4 - Deadline for offer</li> <li>★ RWE win tender</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>  RWE procurement process is initiated           </li> <li>  Enviromental impact assessment of marine fascilities           </li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>  First "borgermøde" org. by DEA           </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>  Construction on sea           </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>  Thor in operation           </li> <li>  Operation and maintenance           </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>  Takedown           </li> </ul> |      |

# Dialog with key-stakeholders

- Municipalities (Holstebro/Lemvig)
- Danish Energy Agency & Energinet
- Fishers & fishing associations
- Danish Armed Forces
- Local population
- Thorsminde Harbor
- National & local industry associations
- Education & local schools
- Cultural History Museum in Holstebro (incl. Strandingsmuseet)



# Wind turbine planning in DK - incentives, challenges:

tourism, climate, biodiversity & nature.

By Anton Gammelgaard, VidenOmVind



# Who is VidenOmVind?

(KnowledgeAboutWind)

Goal:

*To contribute to new wind turbine projects in the municipalities on a well informed basis in order to promote a good neighborhood to the wind turbines.*

*The purpose is to create a good dialogue both locally and nationally with neighbors, citizens, politicians, officials and journalists.*



# A few historical touches.....



- ▶ 1973: The oil crisis - a goal in DK to become independent of imported oil
- ▶ 1882: The Danish wind turbine industry has 17 members and goes from handwritten minutes to typewritten. The turnover in the industry has increased in one year from DKK 14 million to DKK 51 million.
- ▶ 1984: Financial support for the installation of wind turbines (33%) - and support for the production of electricity.
- ▶ 1987: International political support for wind power from the Brundtland report.
- ▶ 1993: Lawyer to a farmer's widow's finds a loophole that allows the widow to keep her windturbine, despite she no longer lives on the farm on whose land the windmill is erected. Previously prevented by the "residence requirement". The famous "dentist from Gentofte" is launched!

# WIND TURBINE PLANNING IN DENMARK

## - the short version

### ➤ Government law

The state has the overall responsibility for setting and informing about governmental objectives.

### ➤ Municipal planning

Is responsible for the planning - and creating a dialogue about the concrete planning for the concrete project.

The owners are responsible for communication about the current project.

# Government law

## The wind turbine act of 2015:

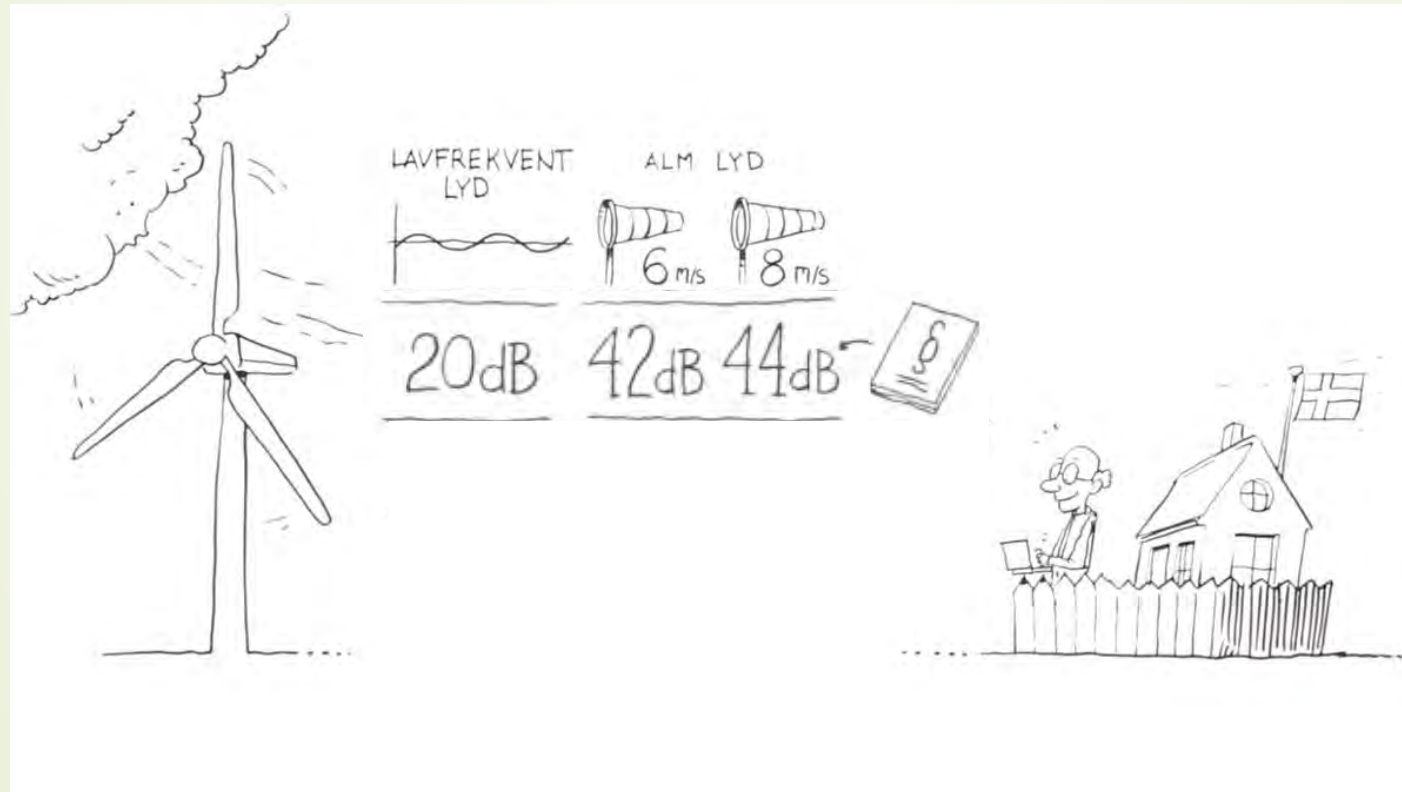
- Requirements for wind turbines
- Supervision and commands of noise measurements, distance, etc
- Complaint and Punishment

# Distance requirements

- The distance requirement is 4 x the total height of the turbine to the nearest residence.




# Noise limits



# Measurements vs calculations





## Traffic sound – in comparison

The limits for traffic noise, are only indicative

The noise limits for wind turbines are ultimate – with no exemption options.

- Approx. 723,000 homes in Denmark are exposed to noise above the recommended noise limit of 58 dB.
- Of these are 141,000 are heavily stressed, corresponding to an impact of over 68 dB.

# Noise measurements

- in real life

8 m/s = 44 dB







# Government laws

The VE schemes: to promote renewable energy and the local acceptance to the expansion of onshore and near-shore wind turbines:

1. Taxfree bonus to neighbours – max. 6000 dkr pr year
2. Program for loss of value - property
3. A sales option for residential properties in the neighborhood
4. Green fund for municipal incentives

The Plan Act:

Ensure social interests in land use, safeguard nature & environment, development on sustainable basis. Describe the planning process in the municipalities.



# Green fund for municipal incentives

- ▶ The Green Fund shall increase the municipalities' incentive to set up wind turbines
- ▶ The Green Fund is created and managed by the municipalities
- ▶ The owners of the wind turbines pays 125.000 dkr pr. MW to the municipality
- ▶ The fund should primarily support projects applied by close neighbors as well as green initiatives in the municipality.
- ▶ Example:  
With 6 turbines á 5 MW the municipality will receive app. 3.750 mio dkr.  
A 200 MW x 165.000 pr MW coastal project generates app. 33 mio dkr.



## Extra: Local deals

- vary from project to project, from kommune to kommune

- Local fund – local associations can apply
- Money up-front to kommune or local association / fund
- X-dkr pr. turbine pr. year
- A yearly check
- Percentage of surplus
- "Guidelines" from kommune: "local ownership counts", up to 40 pct. in local ownership
- Etc.

# Municipal planning

Ensure social interests in land use, safeguard nature and environment, development on sustainable basis.



How do we get from idea to the specific project

# Municipal planning

The municipality is responsible for organizing the specific planning process

- Overall planning for RE in the kommune
- The idea phase – regarding project proposal
- Planning & publicity phase – incl. VVM/ EIA & Environmental report – and public hearing
- The city council decides on the project

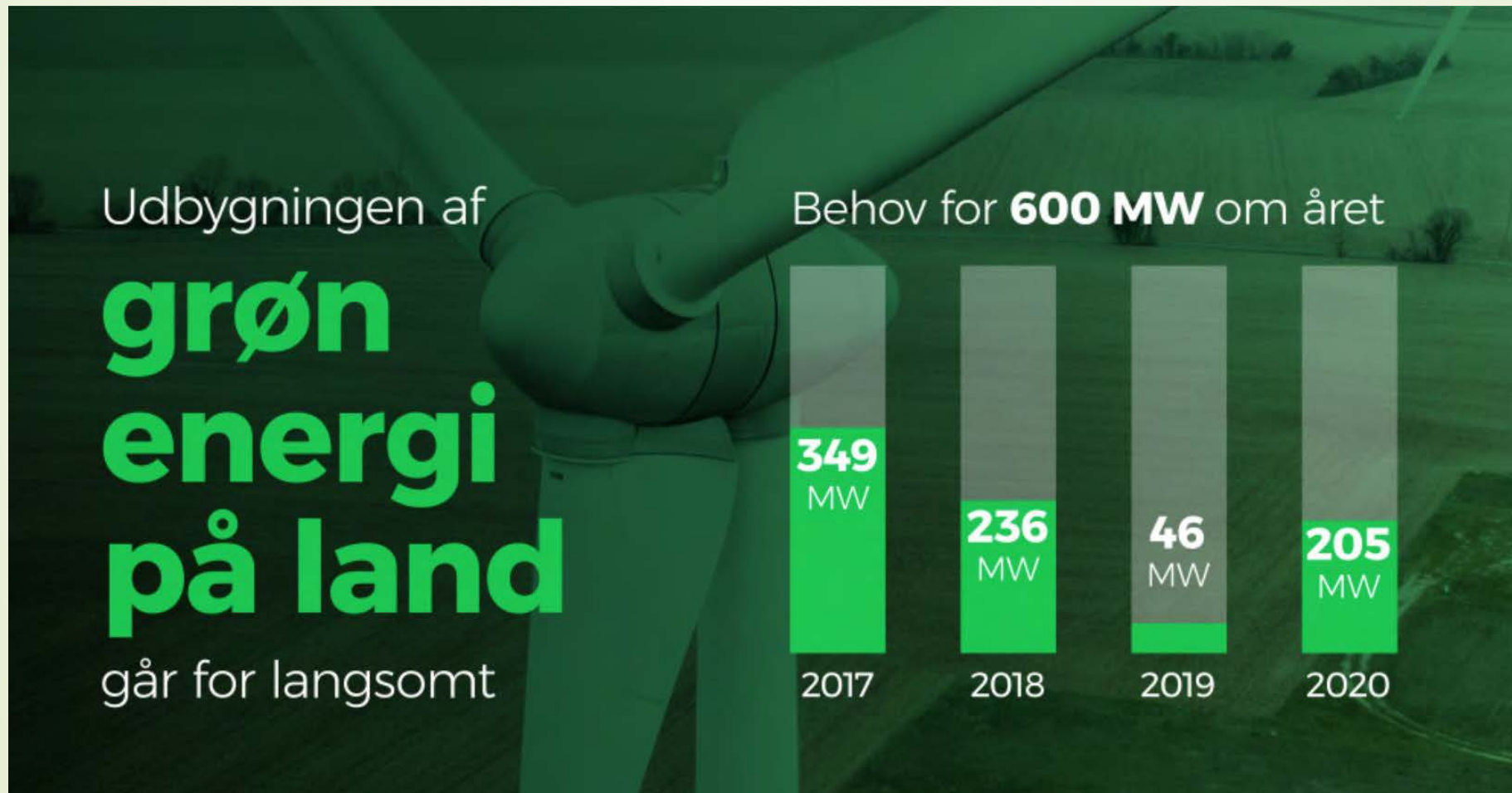
If not approved a new application must be prepared for a possible new project.



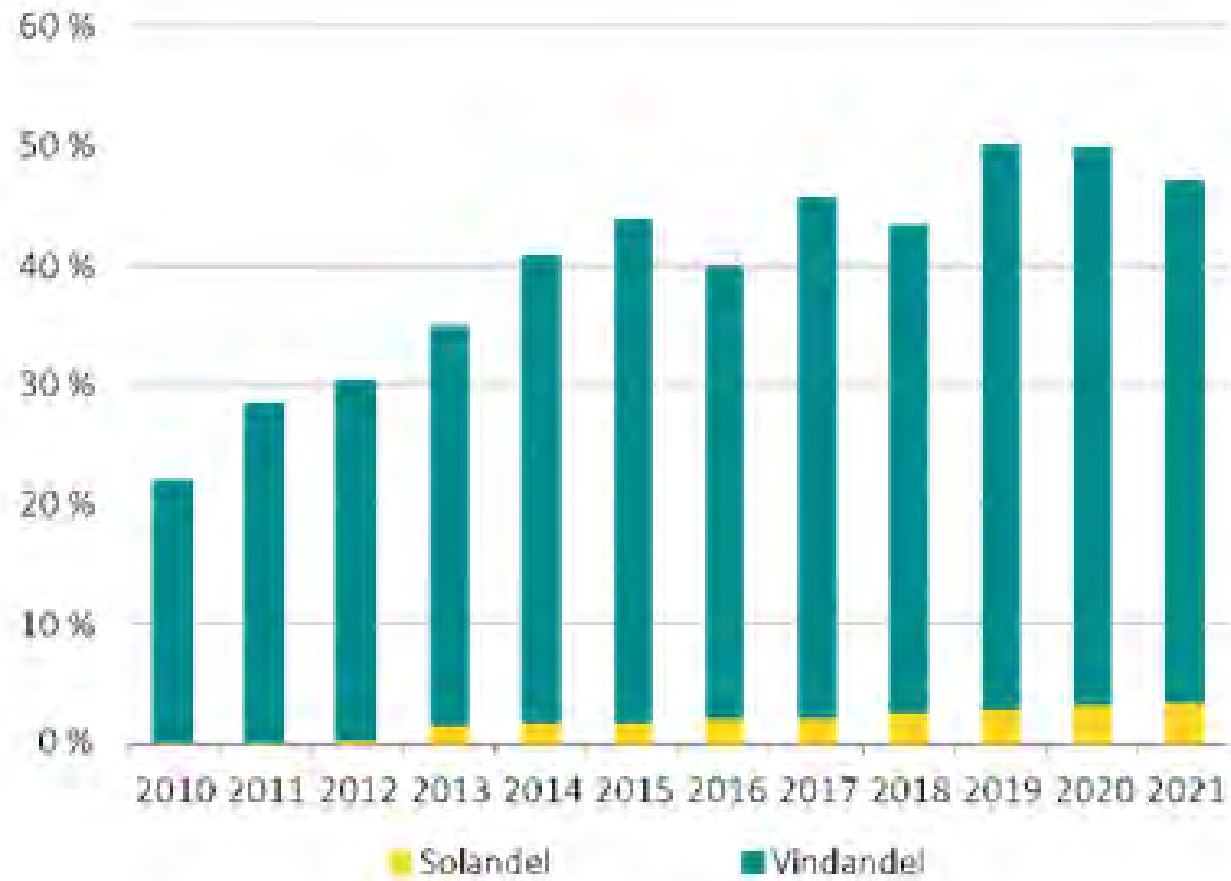
And how is it going.....



If 2030 goals are to be achieved  
- need for new capacity of wind and solar on land



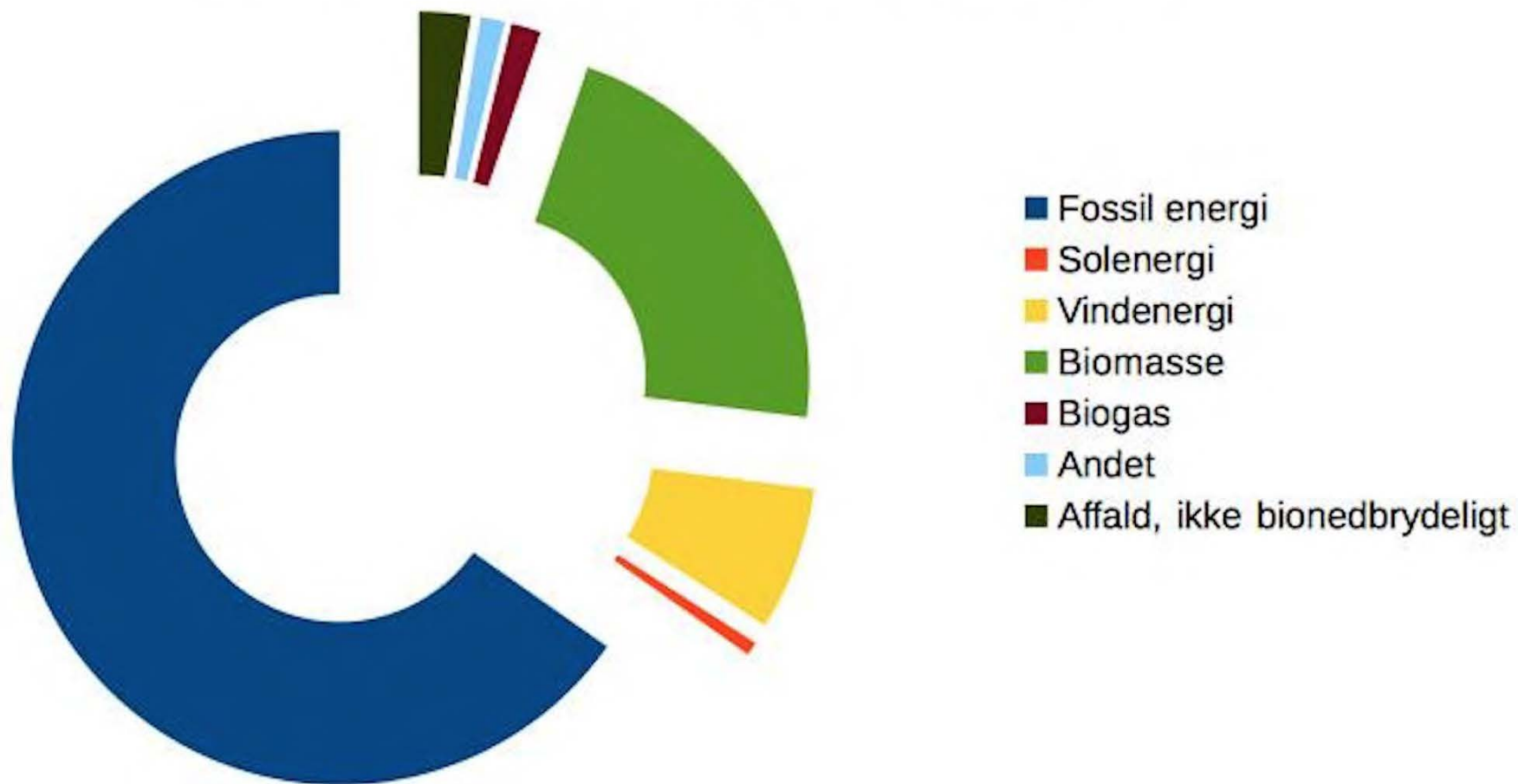
# Hvor langt er vi nået? - vind i elforbruget





# Vedvarende energi af HELE energiforbruget

Danmarks faktiske energiforbrug 2017 (PJ)





**HOUSTON  
WE HAVE A  
PROBLEM**

*What's your crazy story?*



# Issues....pros & cons

## Cons

- Health
- Tourism
- Nature / animals & birds
- Biodiversity
- Tarifs

## Pros

- Climate
- Security of supply
- Part of local district heating

# The health study

A nationwide case-crossover study from Denmark

In 2013, the Danish Cancer Society initiated a study which, based on register information, aims to elucidate whether noise from wind turbines can cause:

- high blood pressure
- diabetes
- influence on birth weight
- cardiovascular disorders
- depression – not yet published
- sleep disorders – not yet published

# The survey

- ▶ The survey includes all wind turbines in Denmark that were operational during the period 1982-2013
- ▶ The noise was calculated hour by hour from all wind turbines within a radius of 6 km
- ▶ A total of 553,000 Danish dwellings / households were included in the study



## Wind turbine noise and health effects Conclusion

- ▶ When reviewing the scientific literature, the Danish Health Authority has found no evidence for a connection between noise from wind turbines and negative health effects.
- ▶ A smaller proportion report noise in connection with wind turbines, but surveys also points out the fact that factors other than wind turbine noise are important for experienced nuisance. Sleep disorder is reported in some but not all studies. The few studies available of lifequality, have shown conflicting results.
- ▶ The results of the new Danish registry survey of wind turbine noise and health effects that is carried out by researchers at the Danish Cancer Society, does not give rise to a change to this assessment.



# Wind Farms & Tourism Trends in Scotland:

## Evidence from 44 Wind Farms

Research Published: 2021

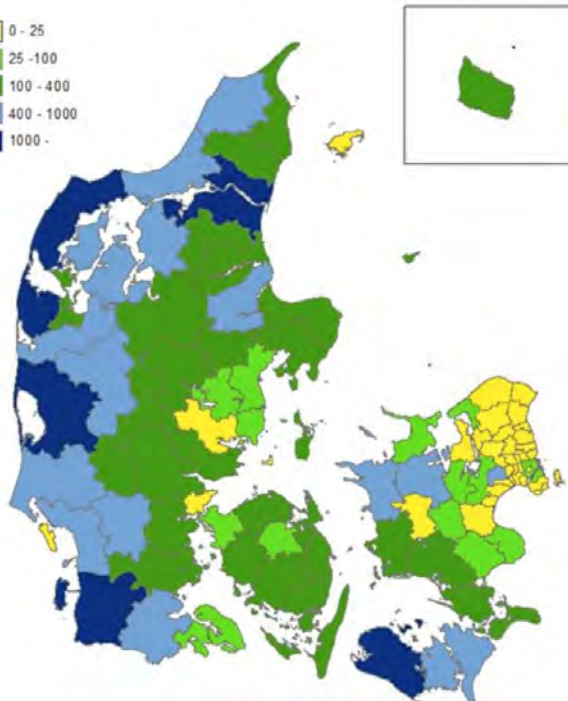
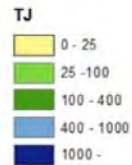
- Wind turbines do not deter tourists, on the contrary, 3 out of 4 tourists believe that wind turbines have a neutral or positive effect on the landscape.
- In 15 of the 18 wind turbine locations employment in sustainable tourism has subsequently increased by more than the Scottish average – despite the presence of the turbines.
- “Puts to bed the myth” that the sight of turbines on the horizon damages tourism.

Source:



# New capacity 2012 to 2020

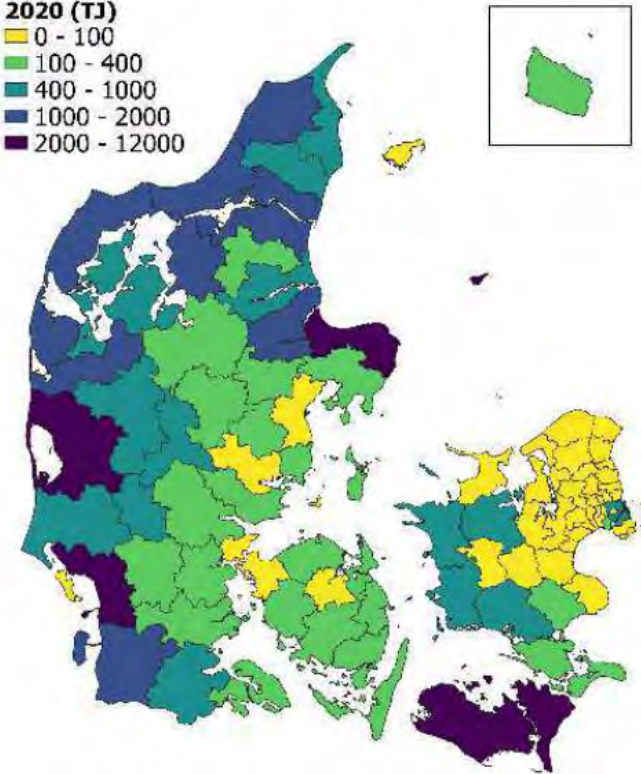
## Vindkraft på land fordelt på kommuner 2012



ENERGI

15

## Vindkraft på land fordelt på kommuner



2020



## Wind turbines, nature & biodiversity

- decisions in the appeal boards with reference to Natura 2000, lack of protection of bats, birds and Annex IV species

➤ From 2013 to September, 2022

19 cases - all but four demand/accommodate to some extent bird and bat protection and either stop/remove, revoke permits or demand restrictions on the turbines' operation.

# The red kite & wind turbines...

- In DK & Germany red kite stop wind turbines (data from 18 years back) .

Red kites dieing because of wind turbines is an extremely rare event, really extremely rare, says Dr. Rainer Rabb, lead researcher on a new major EU research project that focuses on human-caused killing of birds of prey.

Man-made causes of red kite death - listed in priority order:

- traffic,
- Poisoning
- power lines,
- illegal hunting
- collisions with trains.
- Wind turbines are in seventh place as a documented cause of death



- Dr. Rabb emphasizes wind turbines are not a threat to the population of red glens. In Germany, the number of breeding red terns has developed positively, while almost 30,000 wind turbines have been set up.

# Appeal boards since the outbreak of war late February 2022

## Klager der er imødekommet / har stoppet projekter i Nævnenes Hus:

|                       |                    |          |
|-----------------------|--------------------|----------|
| Bogø <u>Indæmning</u> | 8 møller á 4 MW =  | 32 MW    |
| Ilbro / Høgsted       | 6 møller á 3,6 MW  | 21       |
| Ulkær Mose            | 11 møller a 4,5 MS | 49,5 MW  |
| Blåhøj Øst            | 3 møller á 6 MW    | 18,0 MW  |
| I alt                 |                    | 120,5 MW |

## Klager der ikke har stoppet projekter i Nævnenes Hus (projekterne realiseres):

|               |                      |         |
|---------------|----------------------|---------|
| Nr. Økse Sø   | 11 møller á 3,6 MW = | 39,6 MW |
| Karstoft Ådal | 3 møller á 5 MW =    | 15 MW   |
| Hallendrup    | 3 møller á ca. 4 MW  | 12 MW   |
| I alt         |                      | 66,6 MW |

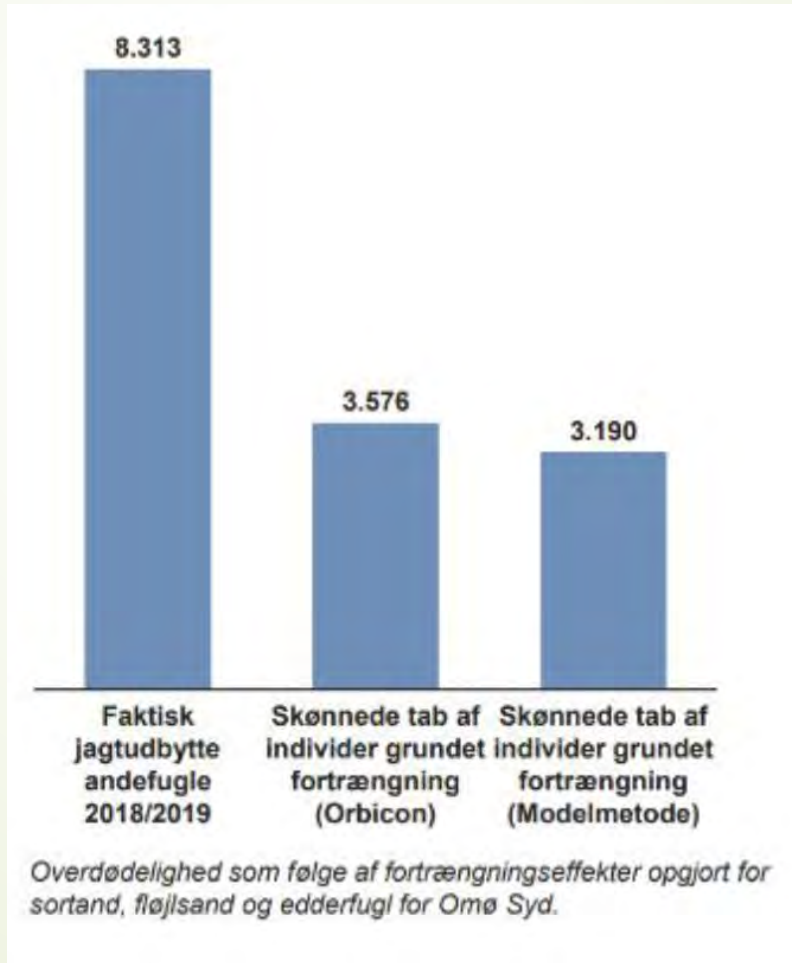
# Hvad er Omø Syd?

- 320 MW havvindmølleprojekt i Smålandsfarvandet
- Projektet vil fra 2024 sikre grøn strøm til mere end 350.000 danske husstande.
- Betydeligt bidrag til 2030-målsætningen med CO2-reduktion på 400.000 tons CO2 årligt
- Smålandsfarvandet siden december 2021 blevet udpeget til Natura 2000-område for ederfugl og gråstrubet lappedykker



# Killed ducks on Omø Syd

- by hunting and estimated losses by displacement due to offshore wind turbines in the area



# Wind turbines, nature & biodiversity

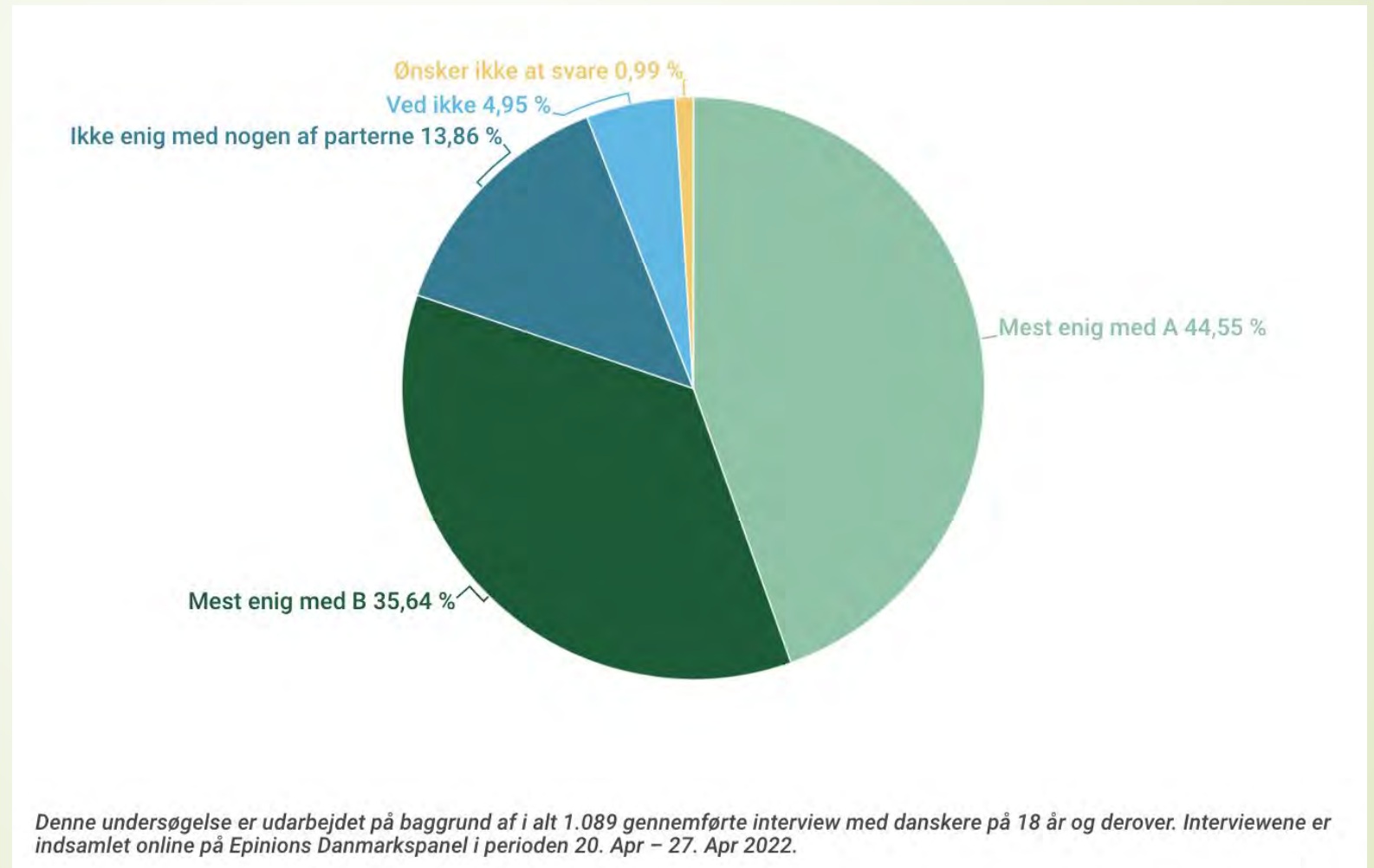
- Green energy versus environmental considerations

## ► Light Green:

"We should not build wind turbines and solar cells if they damage nature and the environment where they are built"

## ► Dark Green:

"New wind turbines and solar cells are so important that we should build them - even if they damage nature and the environment where they are built"





# Climate & nature conservation

- It is a conflict that will only grow as we change to a climate-neutral economy
- "Therefore, I also think many people underestimate how big a conflict there may be in the next 20 years between climate and nature conservation."

Martin Vinæs Larsen Lecturer in political science, Aarhus University





From a "Wind turbines no thanks" page:

"We need to bomb people and politicians with information and rumors. It is rumors and gossip that make headlines.

Shout out loud and repeat over and over. It doesn't matter that it's not facts.

Use Facebook, newspapers and direct emails, seek out politicians in their office and privately.

We know it works! "

# Hunting spices.....against vind turbines

## Miljøinteresser står centralt hos modstandere af grøn energi

[redacted] et link.  
9. juli kl. 14.04

Når I går turer i området så hold øje med arter nævnt i vedhæftede. Ser I nogle af dem så dokumenter det med foto der kan stedbestemmes og giv gerne besked om fundet til [Borgergruppemodenergiparkaalborg@protonmail.com](mailto:borgergruppemodenergiparkaalborg@protonmail.com)

Men fortæl ikke i tråden her eller andre steder om hvad eller hvor I finder fredede arter. Ikke alle i gruppen har samme hensigter så hold kortene tæt til kroppen.

Go sommer i vores skønne natur og held med at finde de fredede arter 😊

[redacted]

Alle de fuglearter I kan opspore og evt. indsende billeder af, skal der laves en indsigelse på. Er der nogen der laver det?

Synes godt om · Svar · Del · 12 |

[redacted]

Hvis I kan filme de svaner og gæs, som trækker frem og tilbage, så ville det være super. Send indsigelse ind på dette. Kan I ikke nå at filme det, så bare beskriv det. Send det også til Ornitologisk Forening, så kan det være de reagerer på det.

[redacted] g  
11. juli kl. 10.12

Angående FLAGERMUS, FREDEDE FUGLE, PADDER OG PLANTER

Til jer som observerer flagermus, fredede fuglearter, padder og planter inden for området. Tag video og billeder der kan stedfæstes, og send materialet til [borgergruppemodenergiparkaalborg@protonmail.com](mailto:borgergruppemodenergiparkaalborg@protonmail.com)

Styregruppen samler alt materiale ang. fredede dyrearter, så ser du fredede fugle, padder, planter mv. så tage billeder og video. Vi får brug for det DU kan bidrage med.

På forhånd tak for din hjælp 🙏

16 · 3 delinger

[redacted]  
taget ude i hennedal sidste år



Synes godt om · Svar · Del · 8 |

[redacted]

Et godt råd.. 🙏. Det kan bekræftes der er flere berørte, der i planlægningsprocessen for landvindmøller oplever levesteder for fredede arter ødelægges eller træet med ynglende og fredede rovfugle fældes.. Hvem der står bag, må man tænke sig til..

Synes godt om · Svar · Del · 6 u. · Redigeret

[redacted]

Vi har også flagermus i Stae. Vi ser dem tit sommer aftener. Har ingen ide om hvilken slags eller hvor de hører til.

# Facts

"Everyone is entitled to his own opinion, but not to his own **facts**."

Daniel Patrick Moynihan, former US-Senator



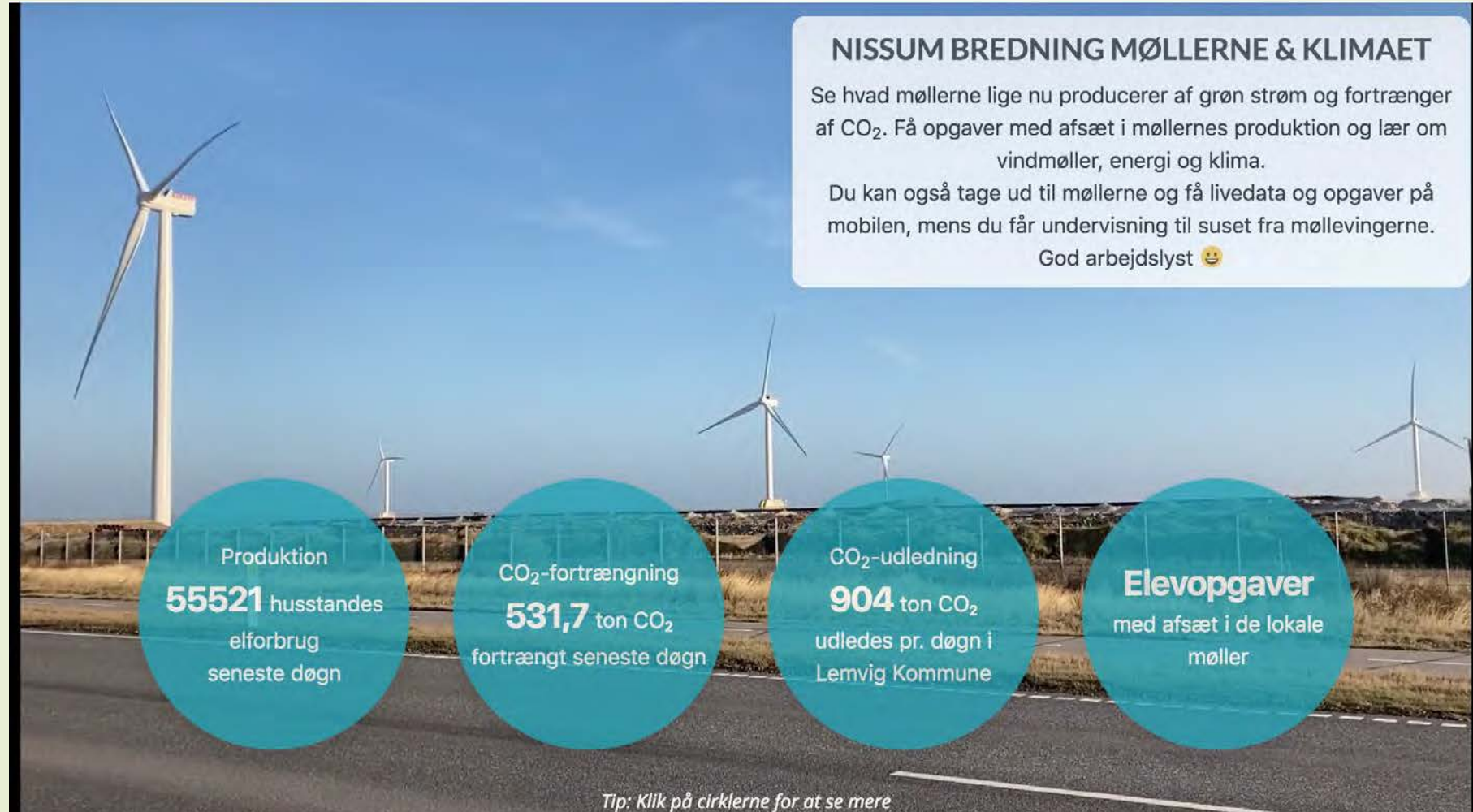
# CO-ex lab

► A new laboratory:

- must help to ensure better coexistence between wind turbines, solar cells and nature
- through research and testing of new solutions that enable both biodiversity and a green transition.
- examining existing data on the environmental impacts of local areas where wind and solar plants have been established, and partly the regulatory processes or lack thereof that support co-existence.
- The laboratory is open to all interested actors, and the analysis will be prepared by an independent body.

# Vind turbines & climate

- teaching in energy and climate based on the local turbines



Thank you

# Floating Wind Turbines: *State of the art*



Professor **Trond Kvamsdal**  
Department of Mathematical Sciences, NTNU  
Coordinator NTNU Energy Team Wind

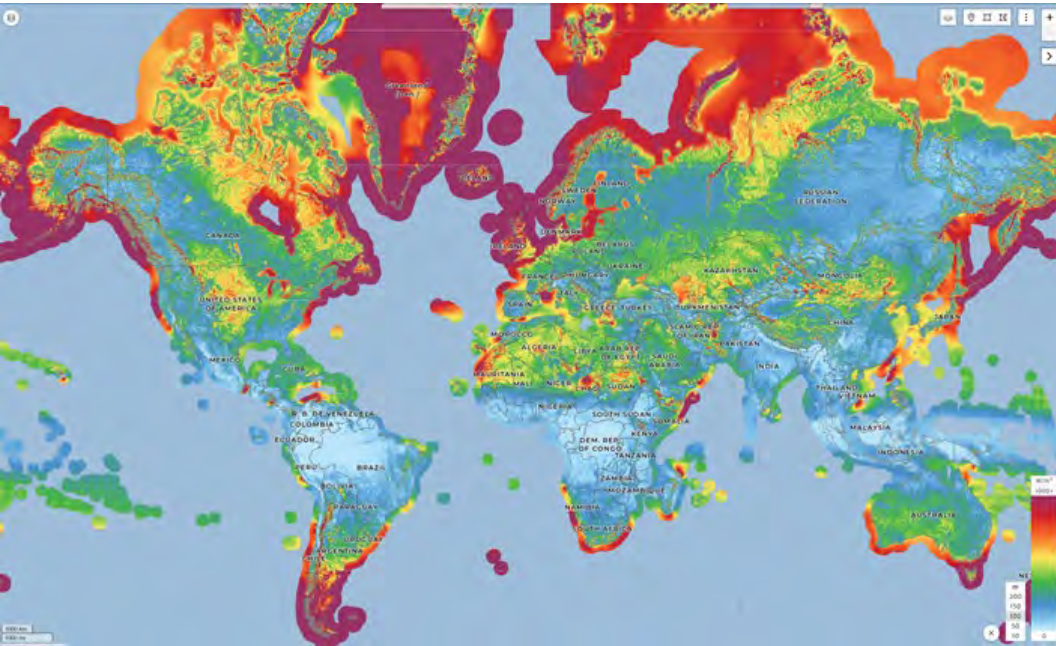
Professor **Erin Bachynski-Polić**  
Department of Marine Technology, NTNU

Web-page: <https://www.ntnu.edu/energy/wind-power>



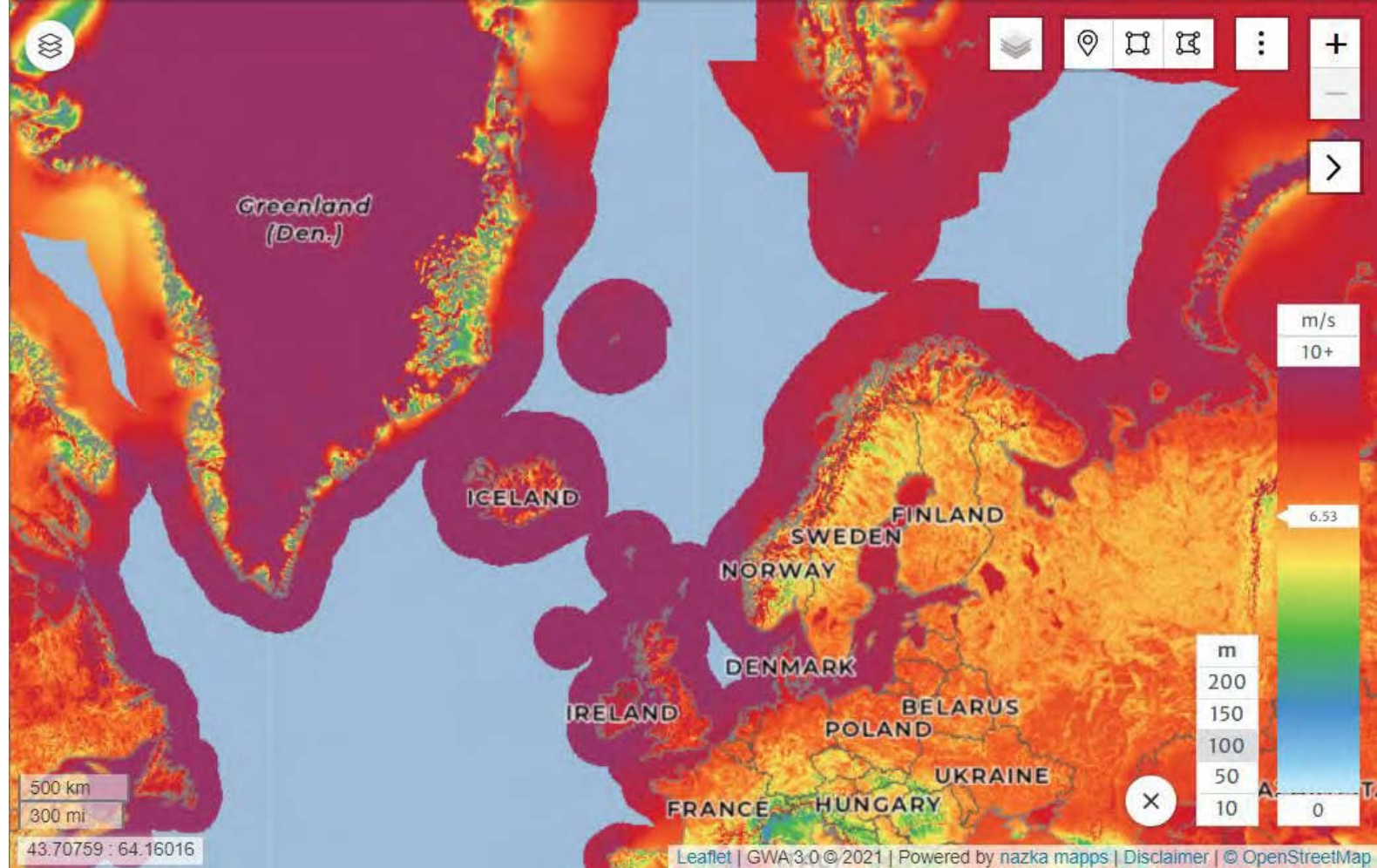
# Offshore wind sites

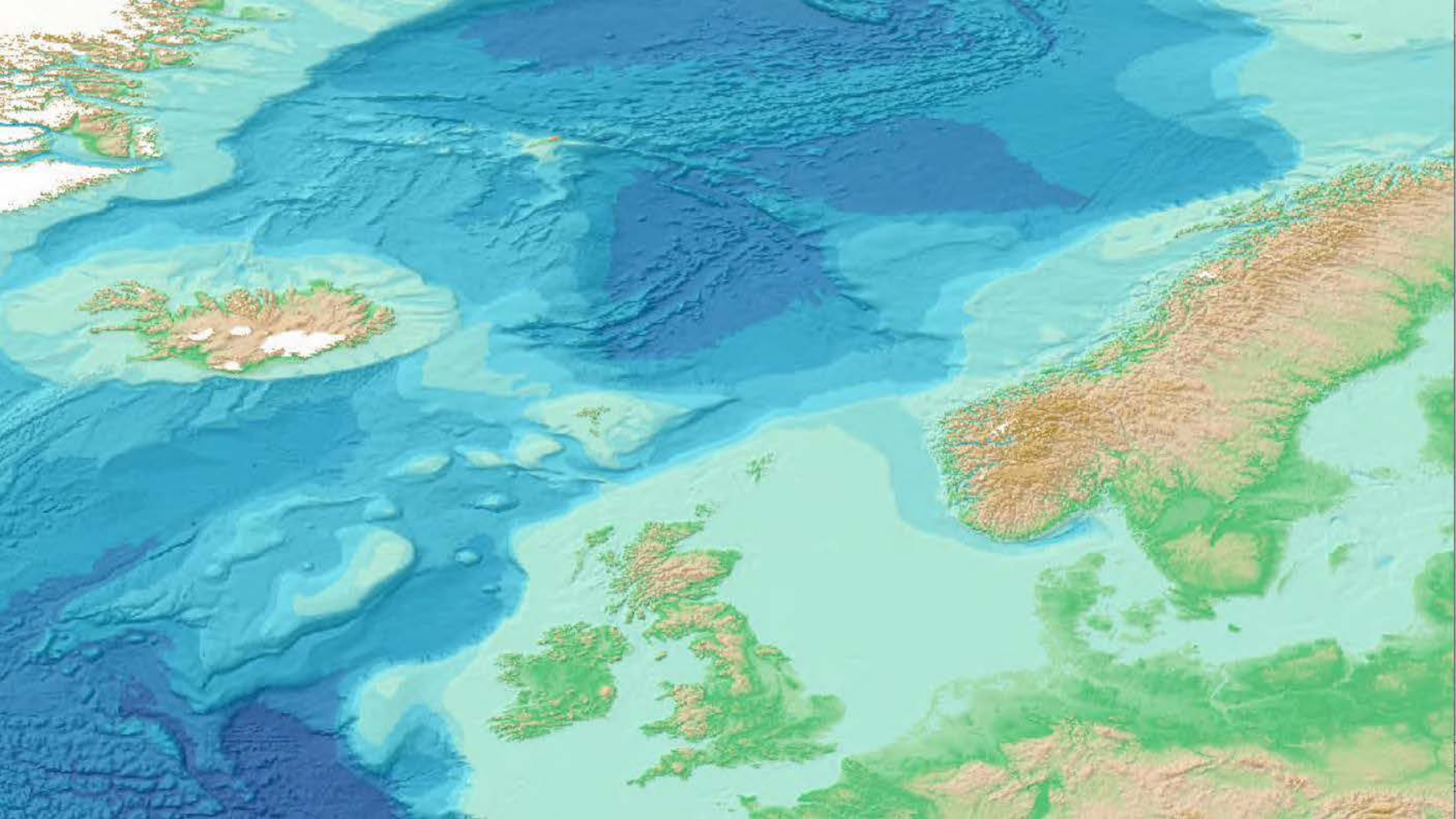
Global Wind Atlas (3.0)





# North Atlantic





# Iceland

Offshore wind technical potential:

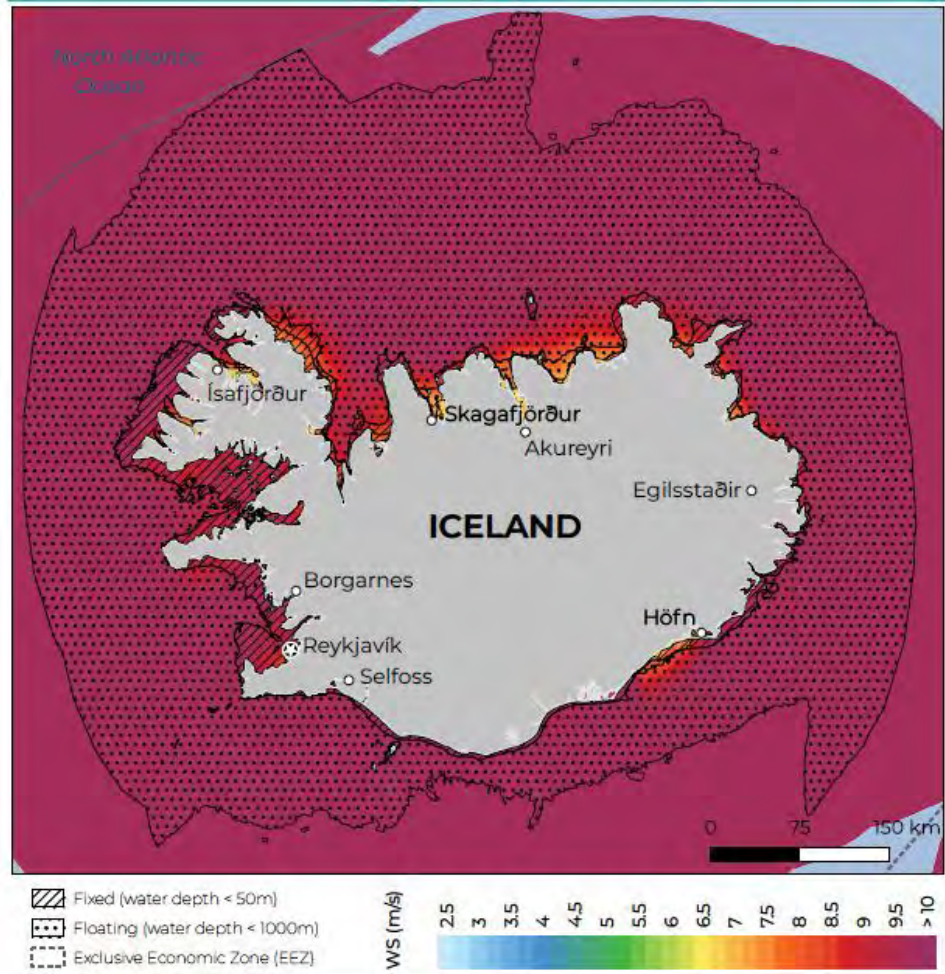
- Bottom fixed: 54 GW
- Floating: 793 GW
- Total: 847 GW

The potential for floating wind are **15 times** the potential for bottom fixed!

HIP Atlantic project idea:

Southeast of Iceland connected to UK

Ref: [offshoreWIND.biz](http://offshoreWIND.biz)

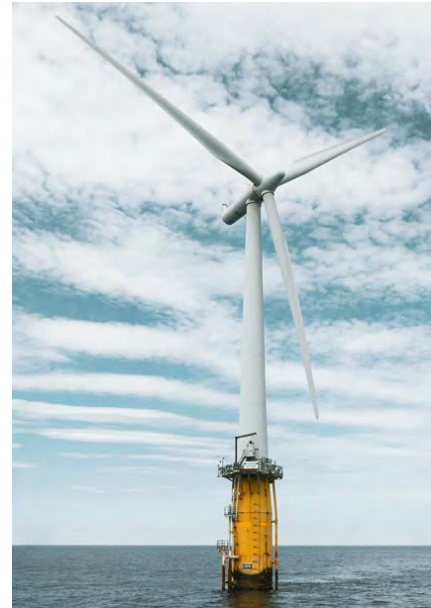


# Pioneering Floating Wind Turbines

Deep-drafted spar vs.  
semi-submersible

| Hywind Demo | WindFloat 1      |
|-------------|------------------|
| Norway      | Portugal         |
| Spar        | Semi-submersible |
| 2009        | 2011             |
| 2.3 MW      | 2 MW             |
| 210 m depth | 45 m depth       |

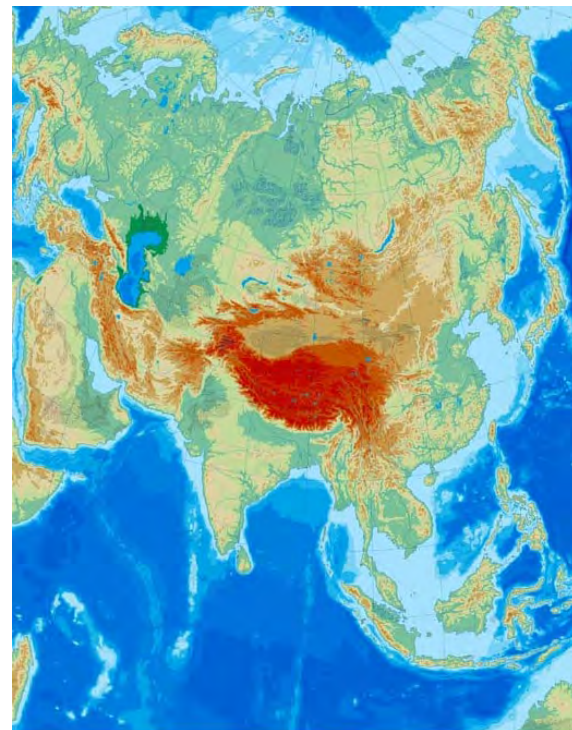
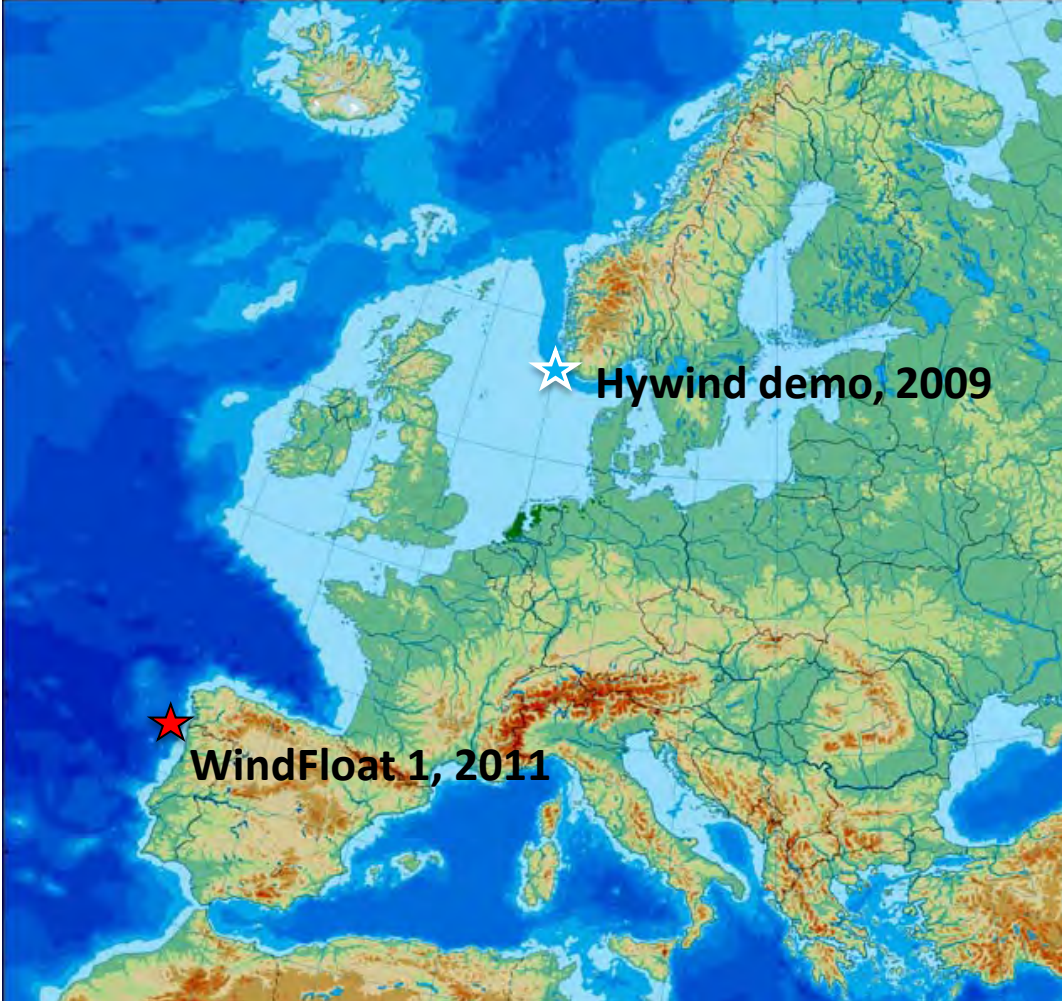
Hywind Demo

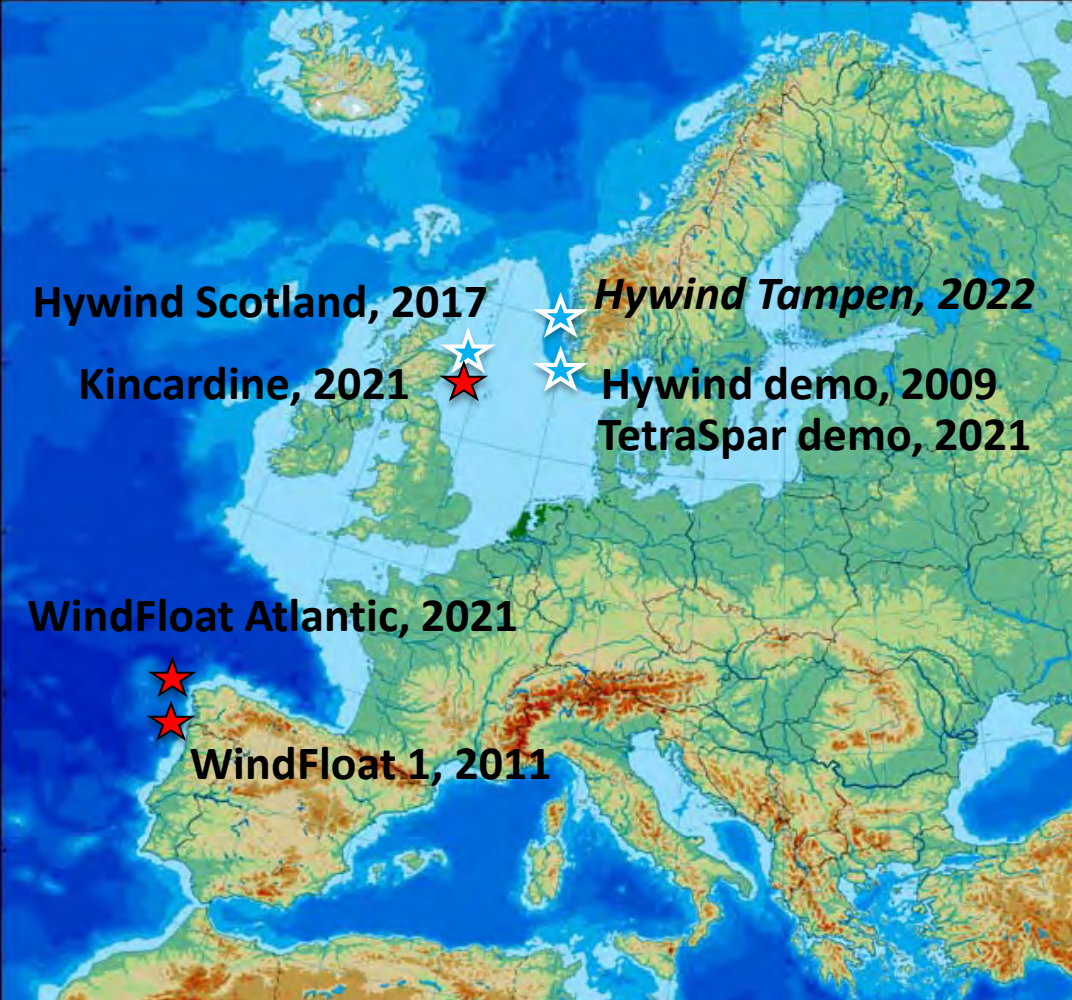


WindFloat 1

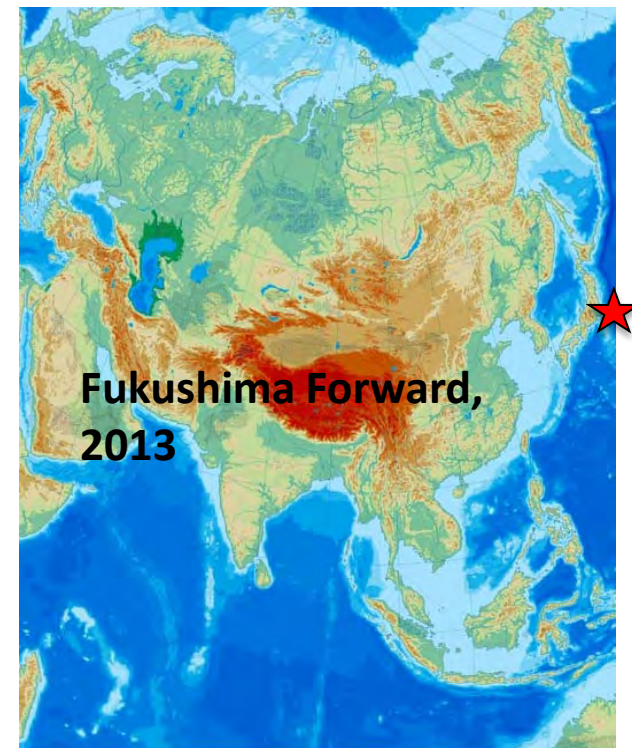


# The start





# Today



# Growth of Hywind and WindFloat

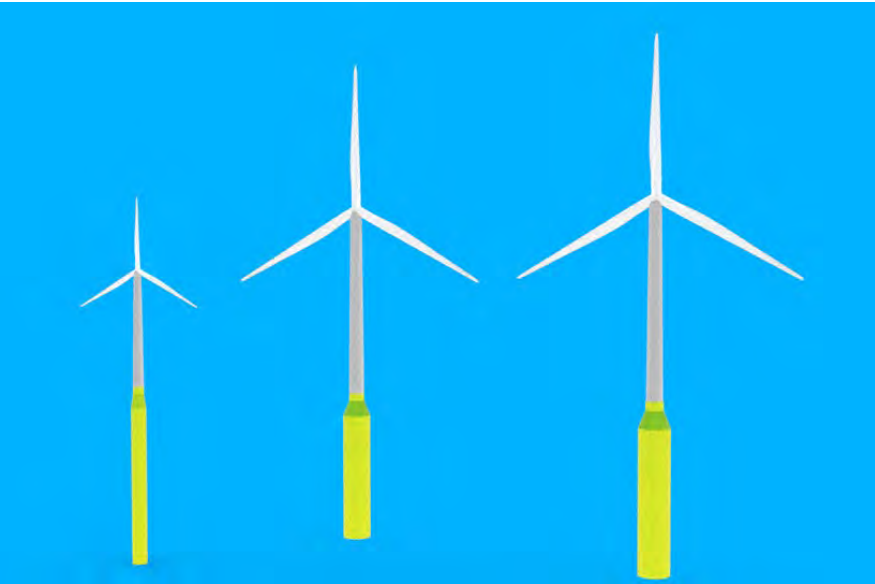
Demo,  
2.3 MW

Scotland,  
6 MW

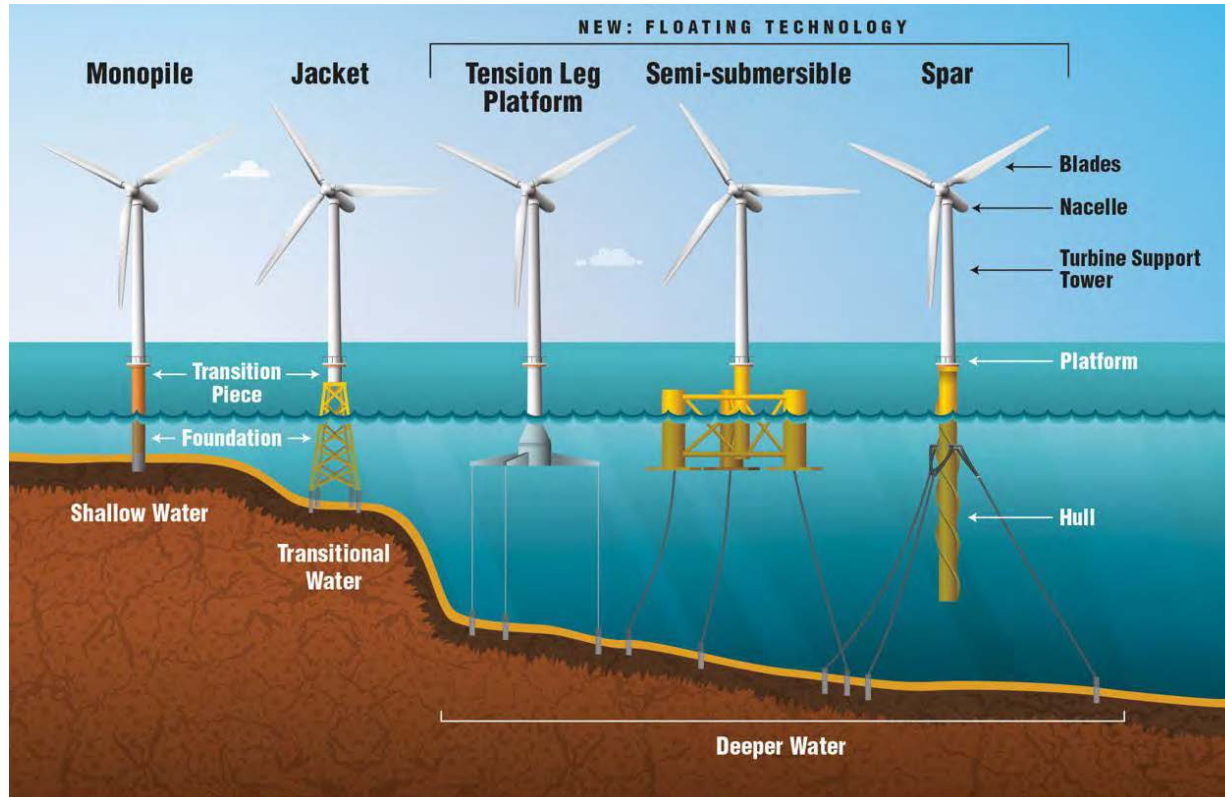
Tampen,  
8,6 MW

WindFloat 1,  
2 MW

WindFloat Kincardine,  
9,5 MW



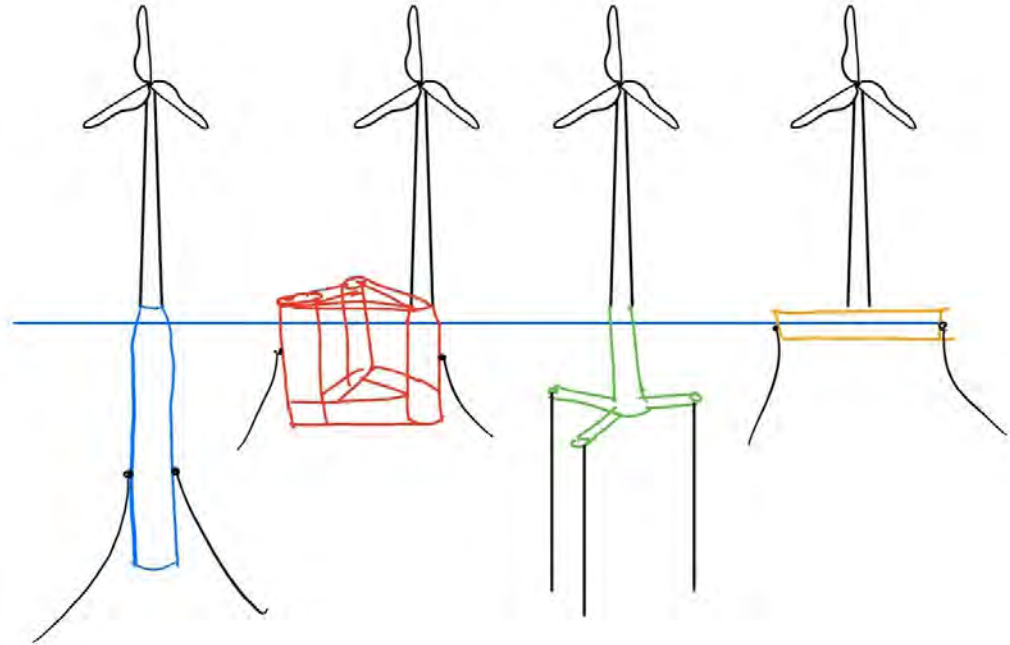
# From bottom fixed to floating





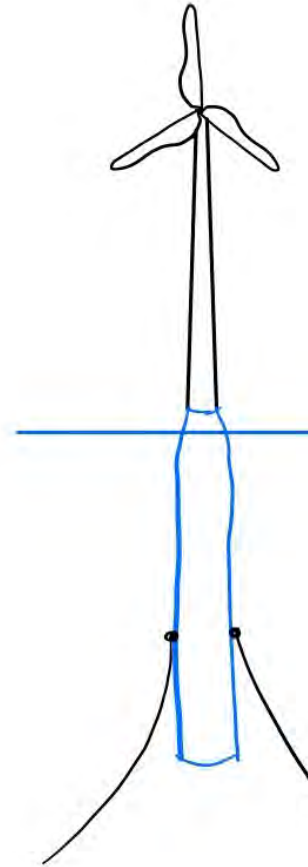
# Floating Wind Turbine Concepts

- Spar
- Semi-submersible
- Tension leg platform (TLP)
- Barge



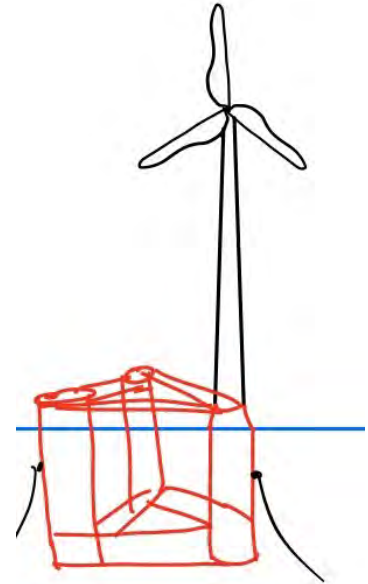
# Spar

- *Deep draft, small waterplane area*
- Straight forward installation (+)
- Simple components to manufacture (+)
- Requires large water depth (-)



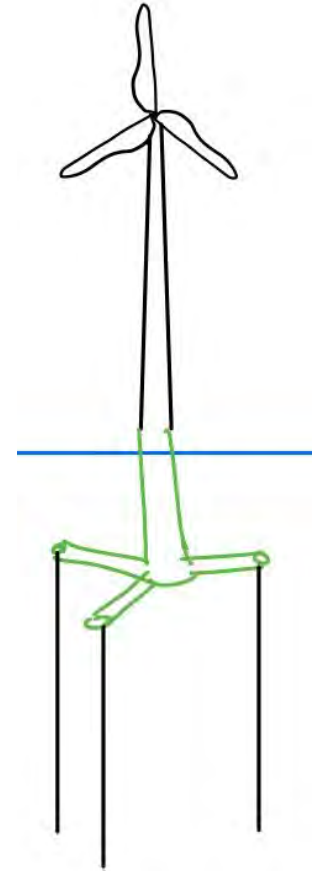
# Semi-submersible

- *Spread columns*
- Relative large wave-induced motions(-)
- Straight forward installation (+)
- Flexible w.r.t. water depth (+)



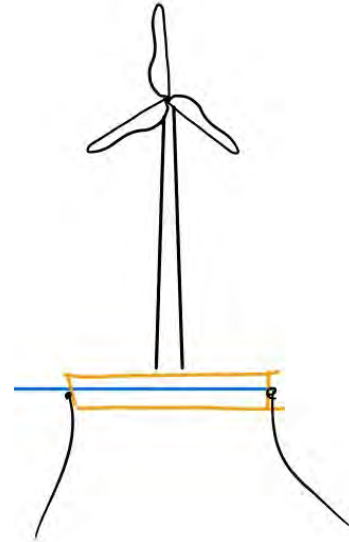
# Tension leg platform (TLP)

- *Vertical pre-tensioned tendons*
- Small motions (+)
- Challenging installation (-)
- Expensive mooring (-)
- Flexible w.r.t. water depth (+)
- Smaller steel weight (+)
- Small footprint area on seabed (+)

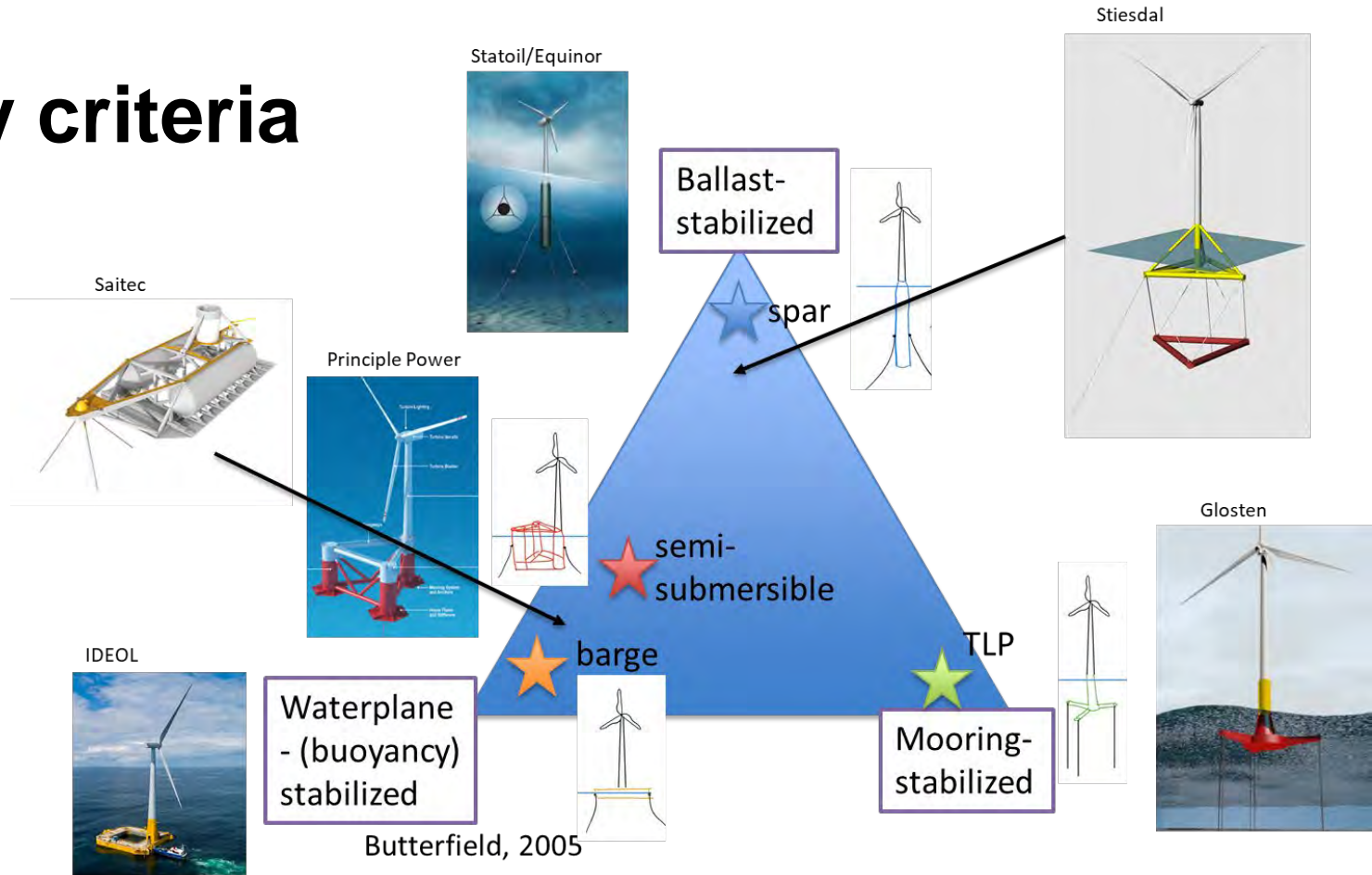


# Barge

- *Simple, shallow-drafted structure*
- Easy construction (+)
- Flexible w.r.t. water depth (+)
- Large wave-induced motions (-)

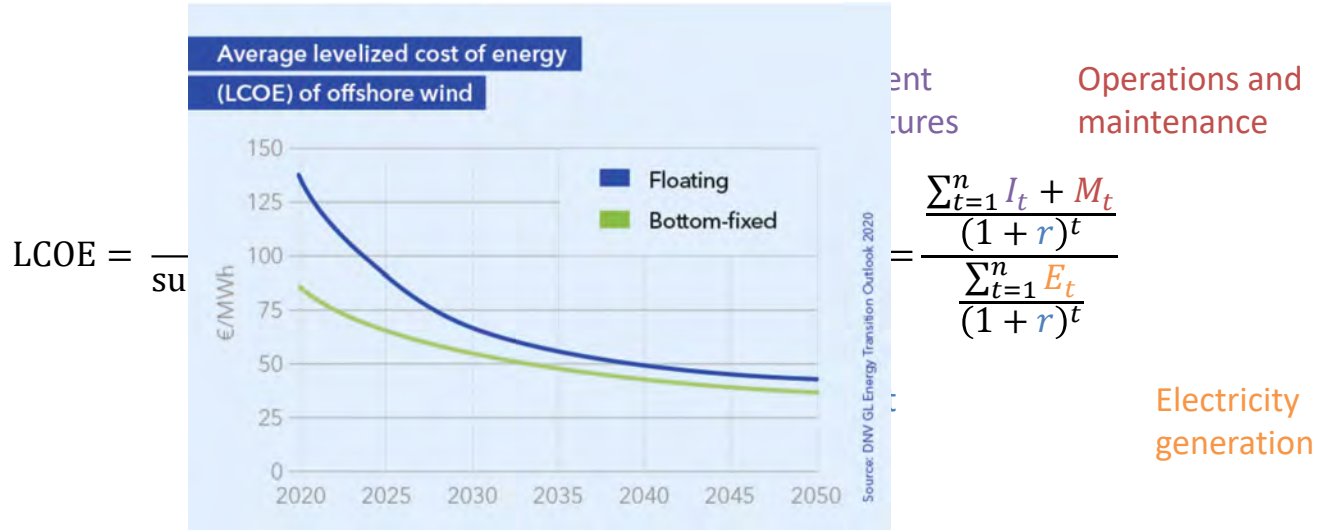


# Stability criteria



# The current challenge in offshore wind?

- Minimize LCOE while maintaining safety



- -> Upscaling and optimization!

# The real challenge? **Beyond LCOE**

- LCOE doesn't tell us everything
  - Non-dispatchable and intermittent vs. continuous electricity generation
  - Ignores economic and environmental externalities
  - Can't really compare new and existing generation

<https://www.eerajpwind.eu/events/setwind-workshop-beyond-lcoe-towards-better-metrics-for-evaluating-impact-of-rd-based-solutions-for-energy-systems/>

Benes, K.J.; Augustin, C. Beyond LCOE: A simplified framework for assessing the full cost of electricity, *The Electricity Journal*, Volume 29, Issue 8, 2016, Pages 48-54, ISSN 1040-6190, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2016.09.013>.



# Challenges in FWT design optimization

- Defining the objective and constraints
- Parametrizing the design space
- Evaluating candidate designs efficiently



OC4



GustoMSC



Saitec



Nautilus



IBERDROLA-LIFES50+



OOSTAR - LIFES50+



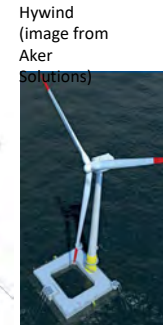
VolturnUS



WINDMOOR



WindFloat

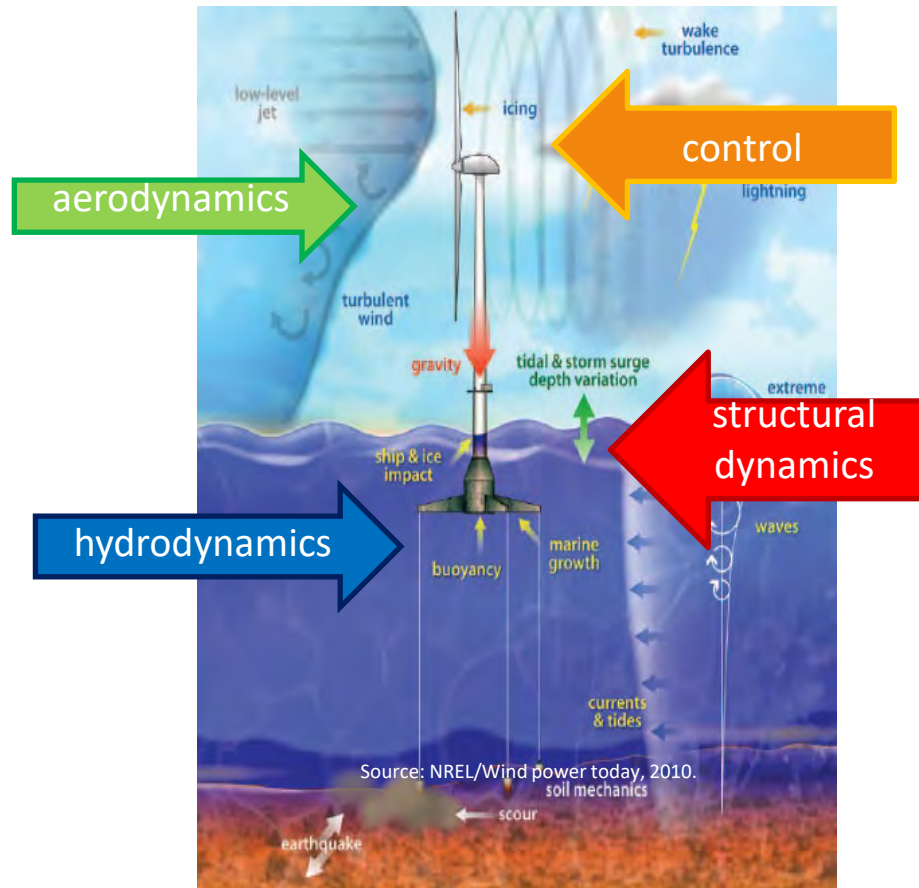


Hywind (image from Aker solutions)



WINDCRETE

# Integrated aero-hydro-servo-elastic analysis



## Challenges

- Complexity
- Tight coupling
- Nonlinear
- Range of important time scales

# New Concepts

Floating Island



Vertical Axis Wind (VAW) Turbine farms



# Challenges ahead

Vestas V236-15 MW (bottom fixed)

- Rotor diameter: 236 m
- 80 GWh pr year
- 20 000 household

Norway aims to allocate areas for 30 GW within 2040

- Assuming on average 20 MW pr turbine
- This means:  $30\ 000\ \text{MW} / 20\ \text{MW} = 1500$  turbines
- Most of them will be **floating wind turbines!**



# OO-Star

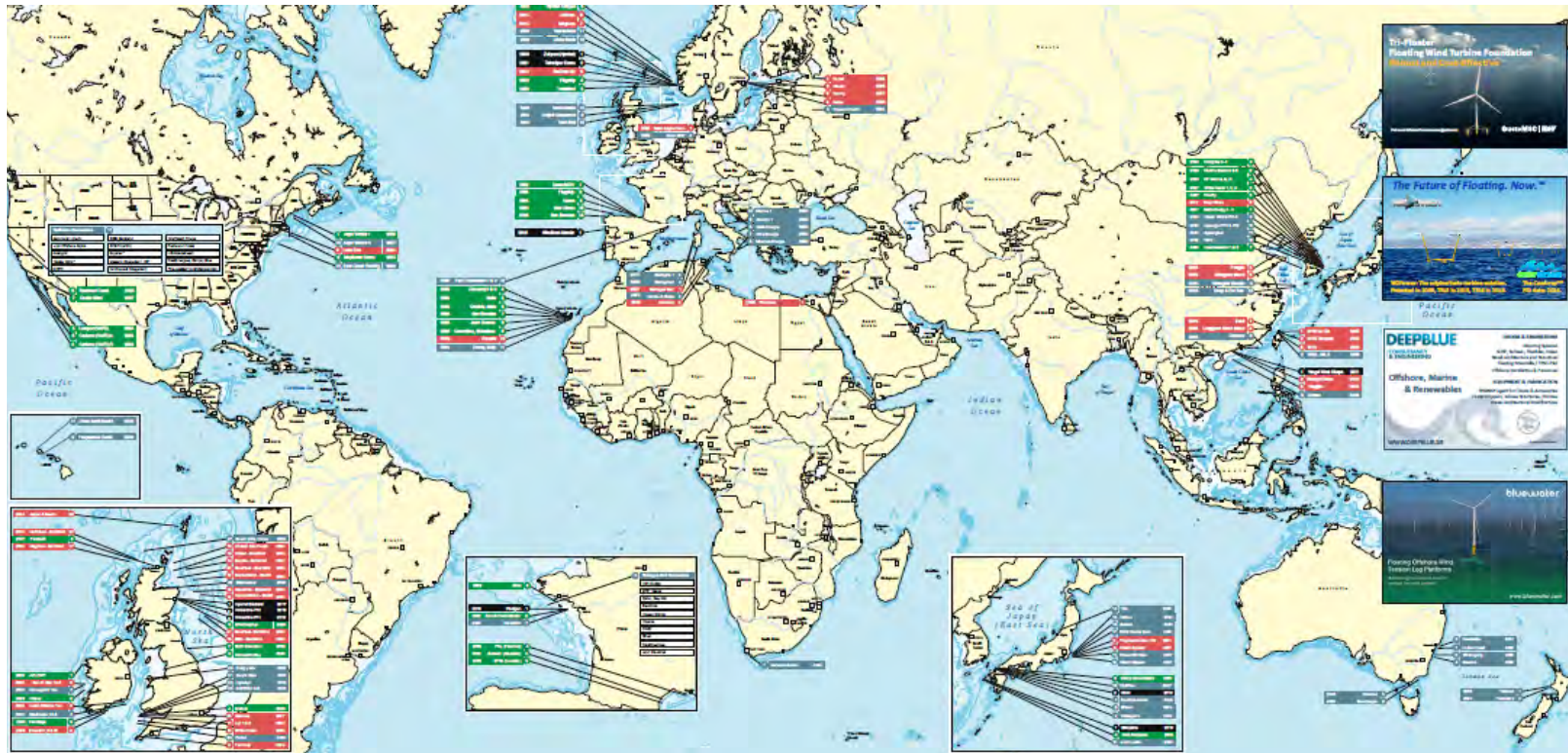
The OO-Star concept

- May handle up to 15 MW turbines
  - Semi-submersible
  - Concrete substructure
- 
- Developed by Dr. Techn Olav Olsen
  - IPR owned by Floating Wind Solutions



# Initiatives around the world

Source: Quest FWE



# Research centres addressing floating wind



[www.northwindresearch.no](http://www.northwindresearch.no)



SFI **BLUES**

[www.sfiblues.no](http://www.sfiblues.no)

# Faroe Islands Potential for ocean energy

October 2022



**Terji Nielsen**  
Head of R&D department  
Dipl.Ing.E.E. / MBA Renewables



A satellite view of the Earth showing the North Atlantic region. The Faroe Islands are labeled in the upper left, and Shetland is labeled in the lower right. The image shows the blue of the oceans and the brown and green of the continents.

Faroe Islands

## Facts

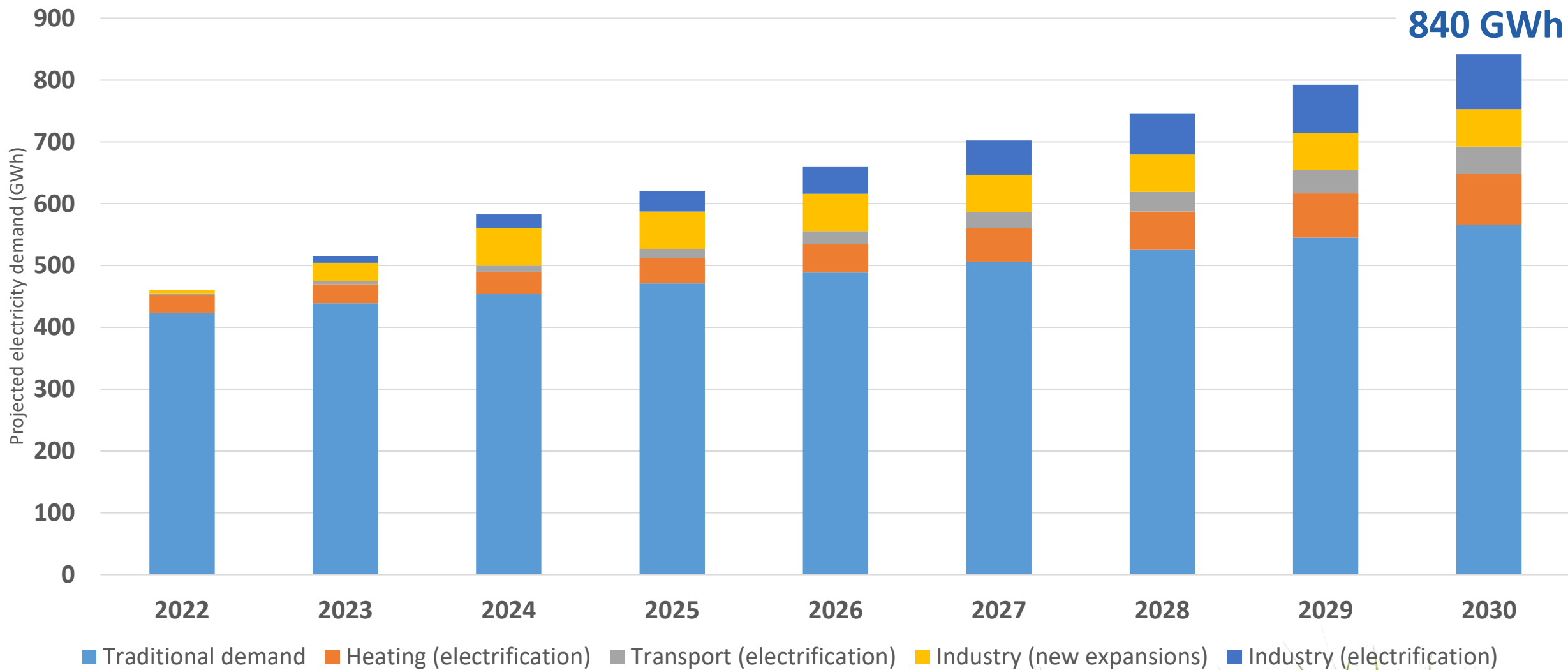
- 18 islands (17 are populated)
- 54.000 inhabitants
- Area of 1.399 km<sup>2</sup> / 260.995 km<sup>2</sup> (EEZ)
- Electrically isolated

## Renewable energy targets:

- 100% green electricity by 2030
- Carbon neutrality by 2050

Shetland

**Faroe Islands**

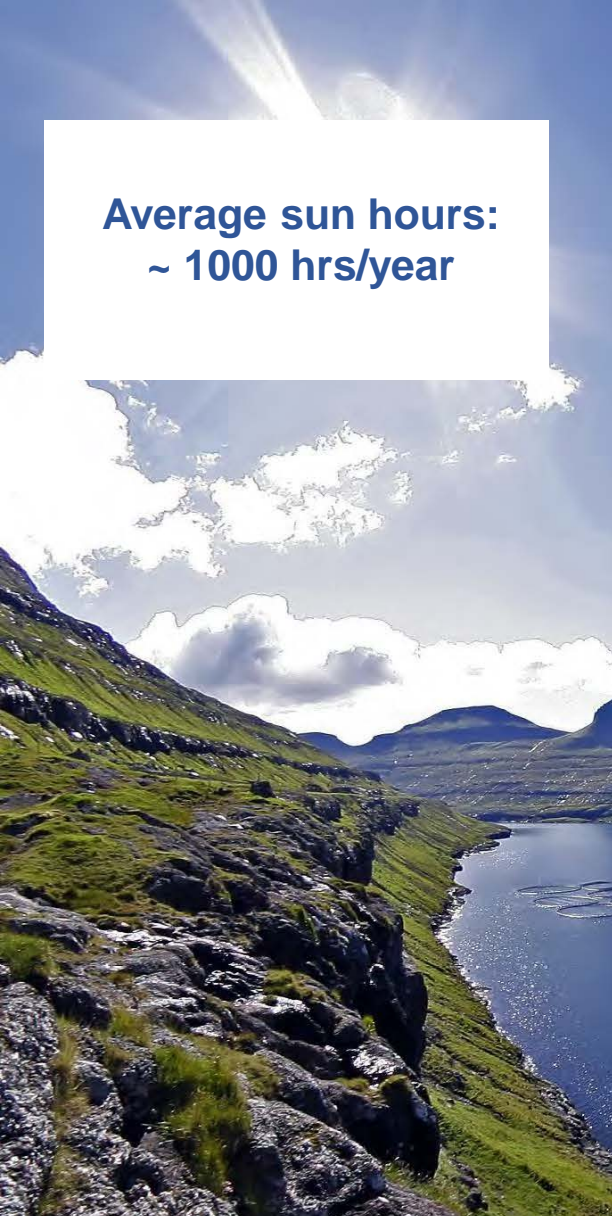


## Projected electricity consumption 2022 - 2030

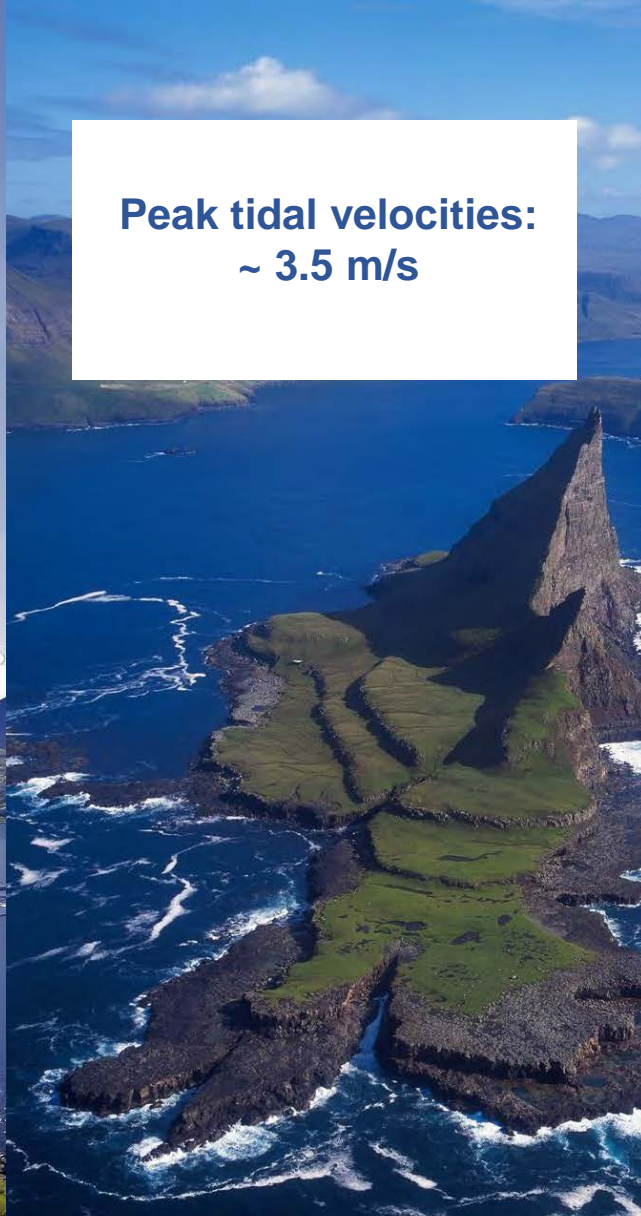
**Average wind speed:  
> 10m/s**



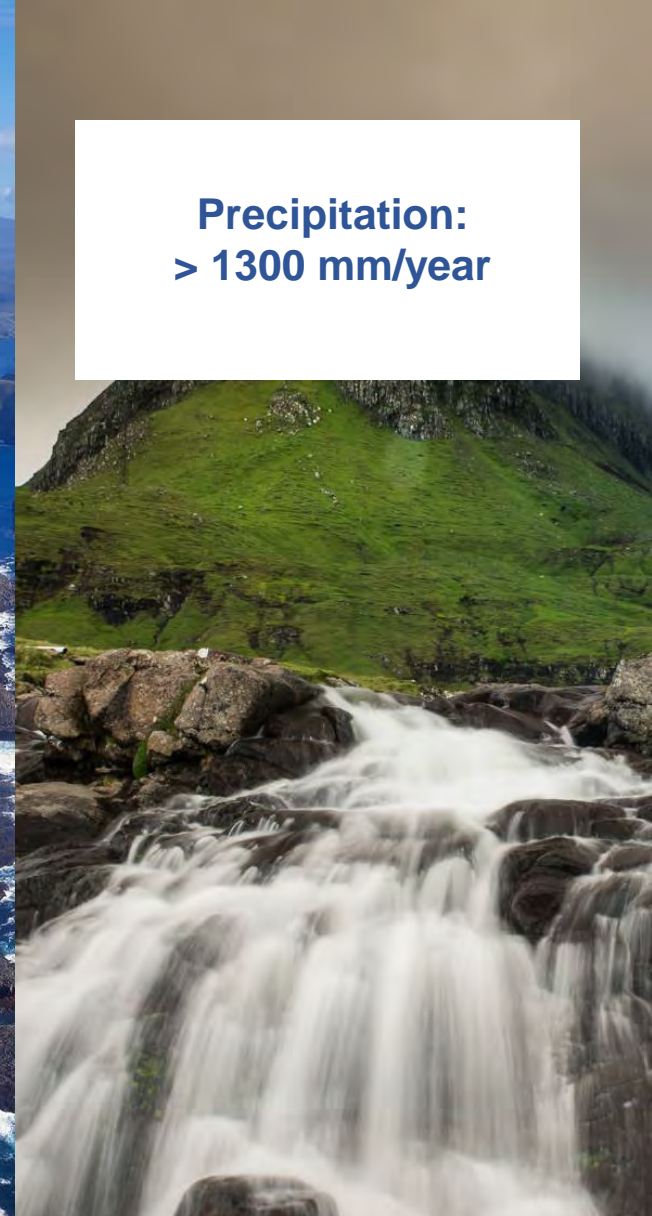
**Average sun hours:  
~ 1000 hrs/year**



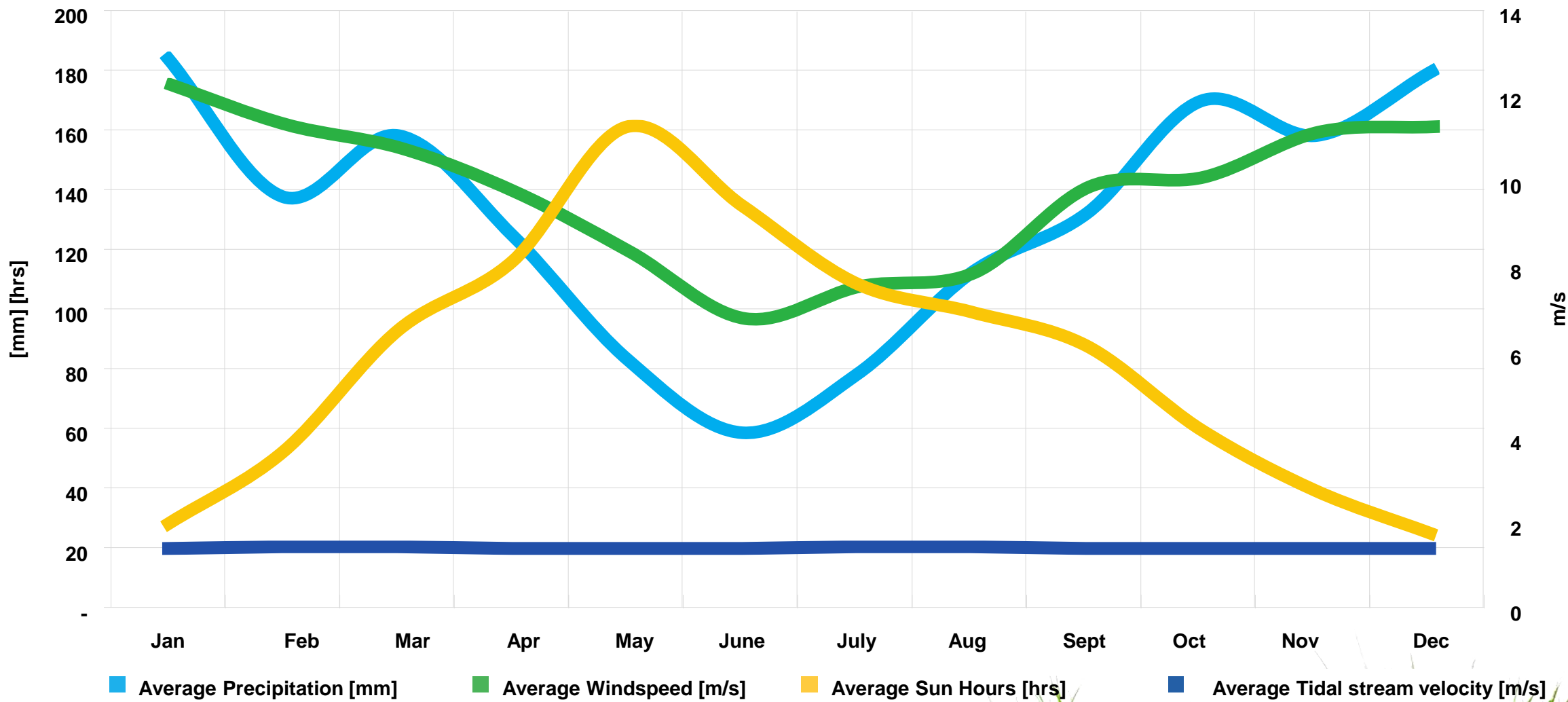
**Peak tidal velocities:  
~ 3.5 m/s**



**Precipitation:  
> 1300 mm/year**



## Renewable resources

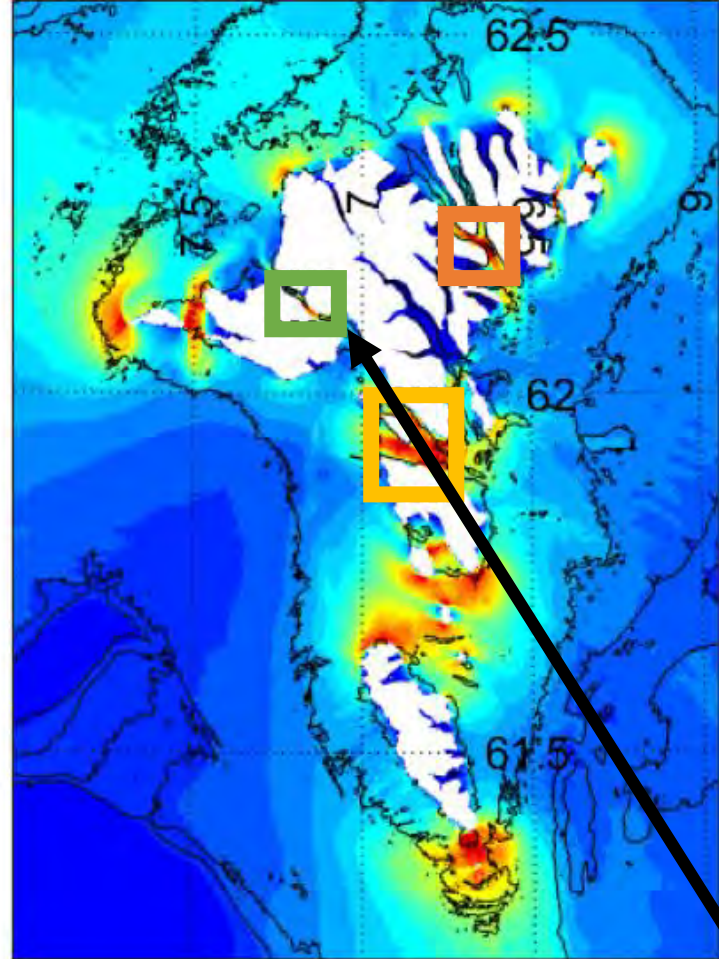


# Resource complementarity

# Tidal energy

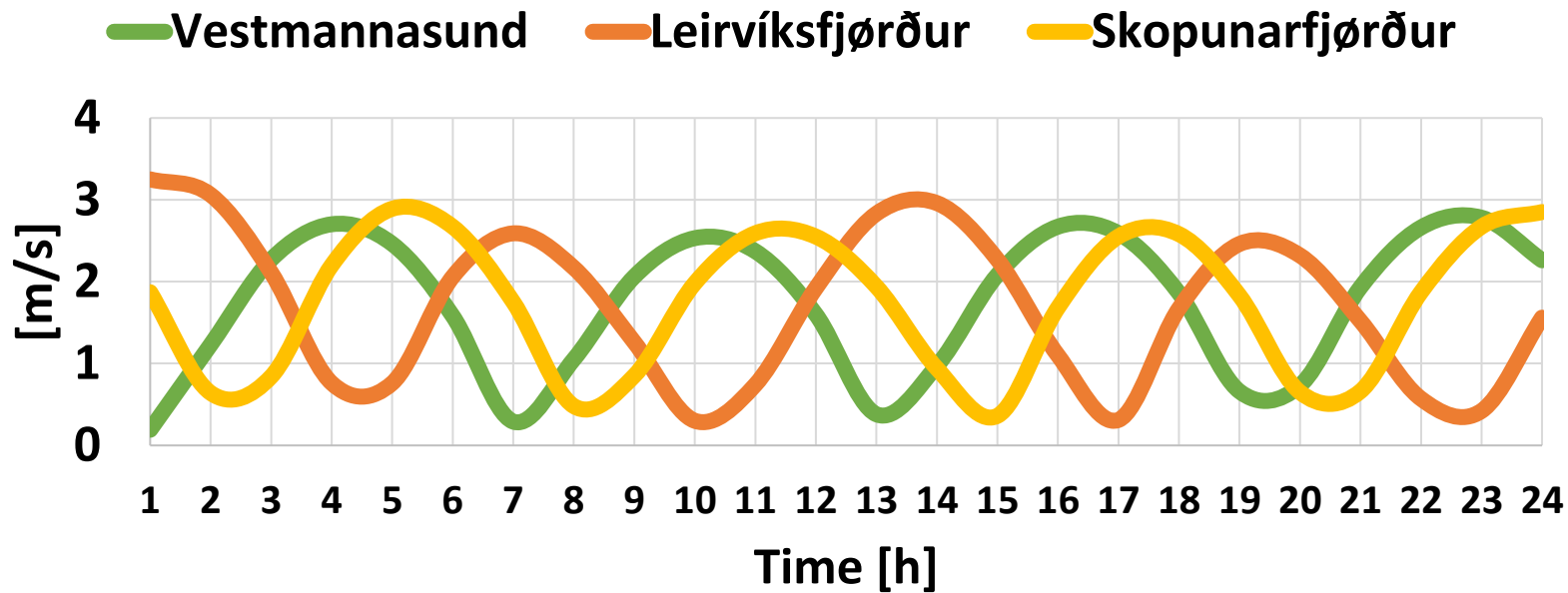
*Potential base load generation*





0 1 2 3  
Maximum tidal current speed [m/s]

# Tidal energy



# The power of speed in water



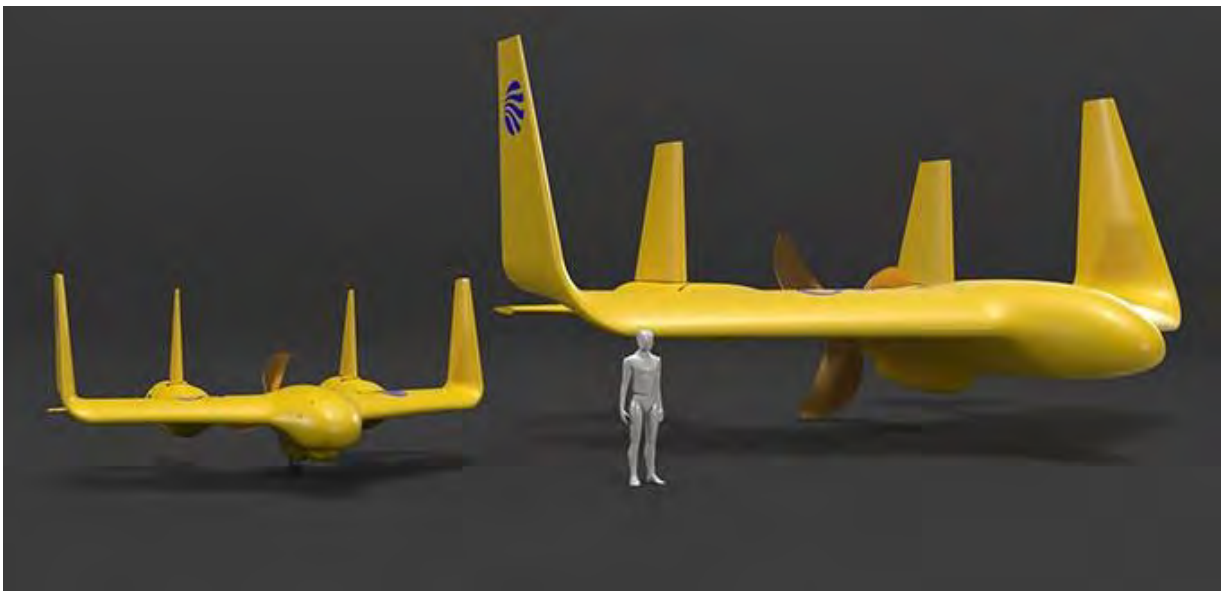
Sea water is 832 times heavier than air  
Substantially higher kinetic energy content



Power is proportional to the speed cubed ( $v^3$ )  
The wing multiplies the stream flow through the turbine

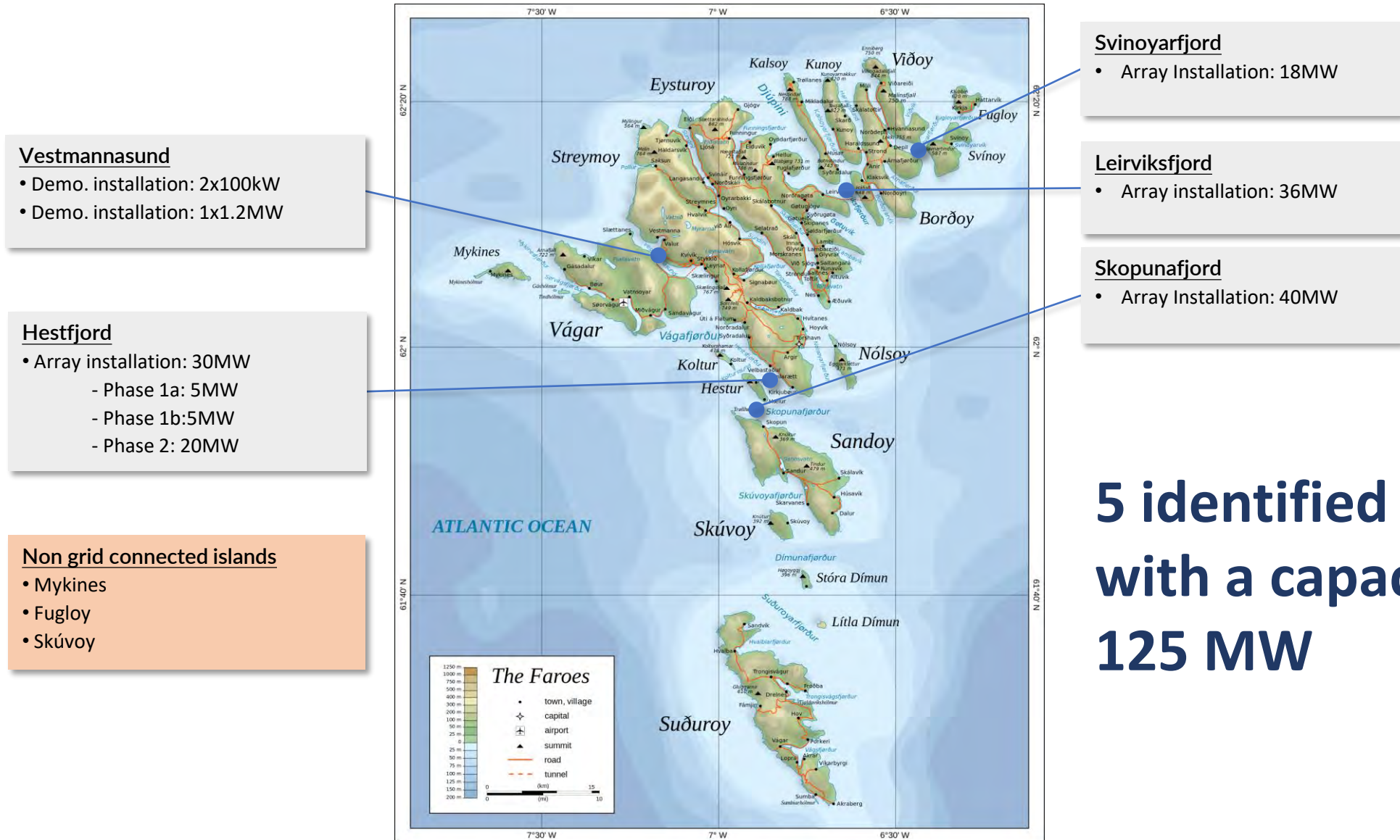


Cost-effective exploitation of a so far untapped energy source  
Commercially viable electricity generation with small and lightweight systems





# Potential for Tidal energy build out in Faroe Islands



**5 identified sites  
with a capacity of  
125 MW**



# Offshore Wind Farm

---

100 MW





Tórshavn

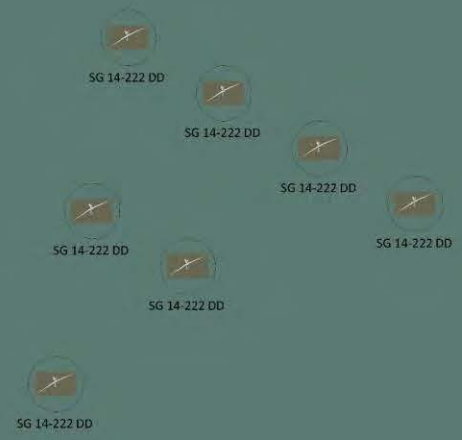


Mynd 123

Nólsoy

Nólsoy

Fixed bottom wind farm  
**100 MW ( 7 x 14 MW)**  
**AEP<sub>GROSS</sub>: 420 GWh**



Prevailing wind direction



Grásteinnur



# Exploring new horizons

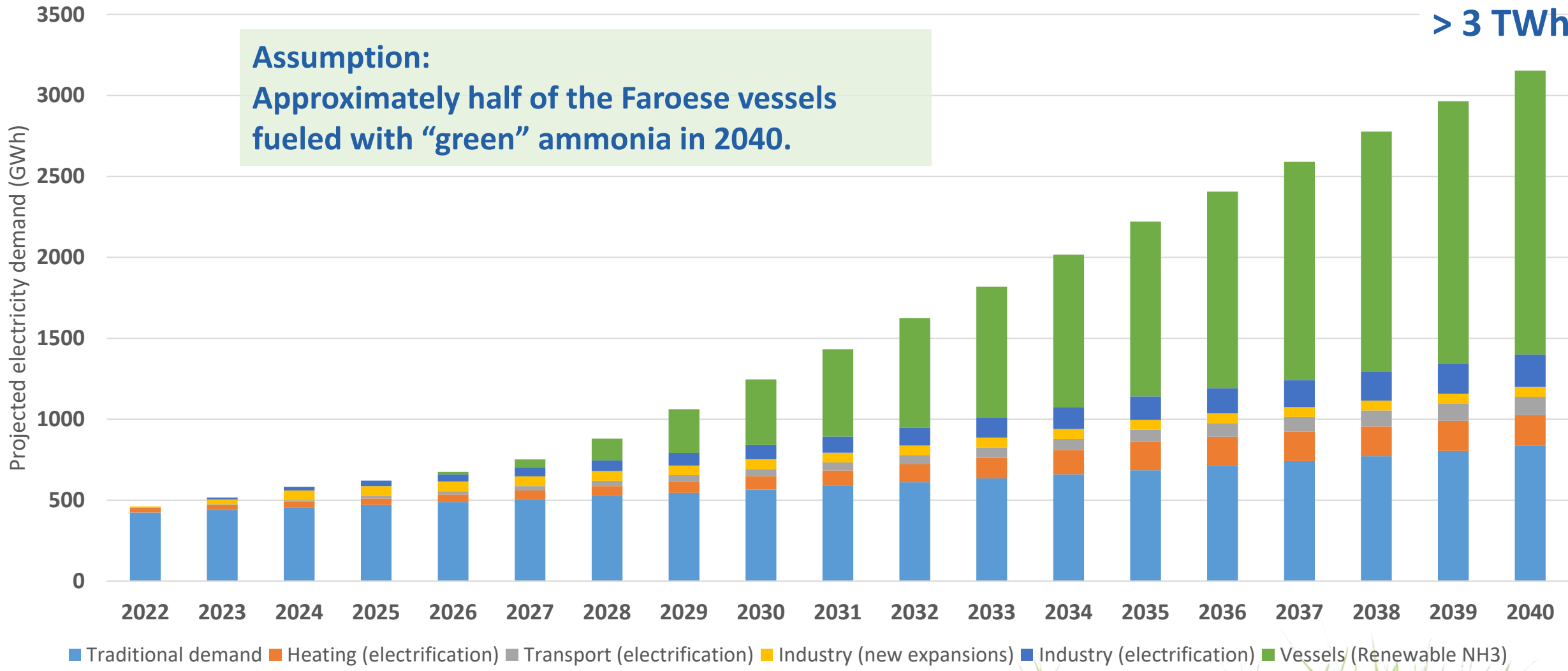
---

2030 - 2040



> 3 TWh

**Assumption:**  
Approximately half of the Faroese vessels fueled with "green" ammonia in 2040.



# Projected electricity consumption 2040

**Faroe Islands**



*Exclusive economic zone*

**Shetland**





Torshavn



Streymoy

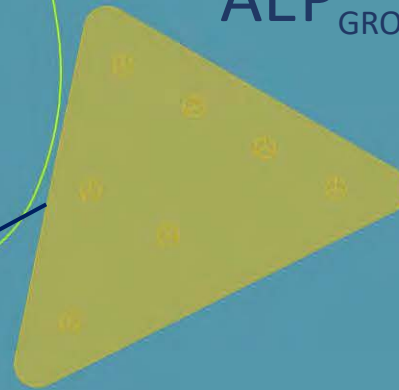
Torshavn

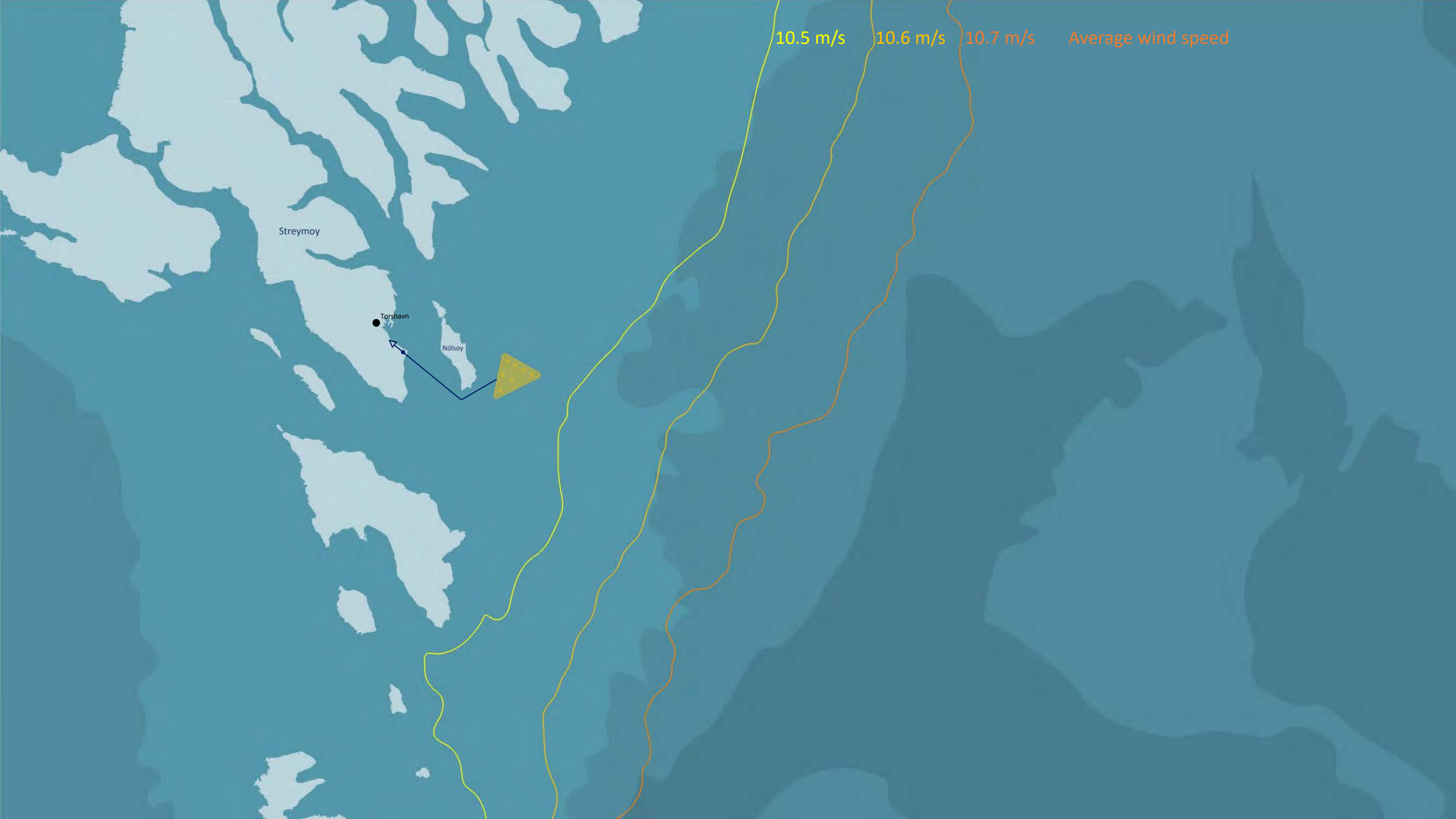
Nólsoy

Substation

60 kV

**Fixed bottom wind farm**  
**100 MW ( 7 x 14 MW)**  
**AEP<sub>GROSS</sub>: 420 GWh**





10.5 m/s 10.6 m/s 10.7 m/s Average wind speed

Streymoy



Torshavn

Nólsoy

HVDC Converter Station

275 KVAC

275/132 KVAC



**Floating wind farm**  
**2 GW** (ex 140 x 15 MW)  
**AEP<sub>GROSS</sub>: 12 TWh**

*Turbine spacing: 10D/8D*  
*Average wind speed: 10.6 m/s*  
*Depth: 100-200m*  
*Occupied area: 440 km<sup>2</sup> (< 0.2% of EEZ)*



Prevailing wind direction

Faroe Islands

Floating wind turbines  
2 GW ( 140 x 15 MW)  
AEP<sub>GROSS</sub>: 12 TWh

Export potential  
8-10 TWh/y

# Faroe Islands offshore wind, part of a future Nordic Renewable Energy Hub

MT HVDC  
offshore substation

525 kV HVDC  
215 km

100 km

180 km

200 km

Scotland

Shetland

Tórshavn

Lerwick

Exclusive economic zone

**North Atlantic Energy Network**  
January 2016

JARDFEINGI ORKUSTOFNUN RAMBÓLL

The Greenland Innovation Centre

Orkuofnun (OS) - National Energy Authority of Iceland  
Norges Arktiske Universitet (LUT) - The Arctic University of Norway  
Energy Skyline - Danish Energy Agency  
Jardfeingi - Faroese Earth and Energy Directorate  
Shetland Islands Council - Economic Development Service  
Greenland Innovation Centre

Faroe Islands

Floating wind turbines

2 GW ( 140 x 15 MW)

AEP<sub>GROSS</sub>: 12 TWh

Exclusive economic zone

The next five years we expect<sup>1</sup>:

- Significant technology developments due to innovation and optimization.
  - More than 40 different concepts are currently under development
- Reduced cost due to scaling
  - 25 GW by 2035 and 260 GW by 2050

Shetland

## How can the Faroe islands become attractive in offshore wind?

- Simple permitting and licensing processes
  - Already now start to identify “go-to” areas
  - Single point of contact for all permitting procedures
- 125 years of shipbuilding knowledge transferred into building floating substructures
- Interconnector(s) are a precondition!

# Thank you



**Terji Nielsen**, Head of R&D department,  
Dipl.Ing. E.E., MBA





# Offshore Wind: Accommodating Biodiversity and Stakeholders

Arctic Circle Assembly 2022

# Accommodating Biodiversity in Nordic Offshore Wind Projects



Co-existence with nature,  
industries and other sea-  
users when developing  
offshore wind in the  
Nordics





## OFFSHORE WIND TURBINES

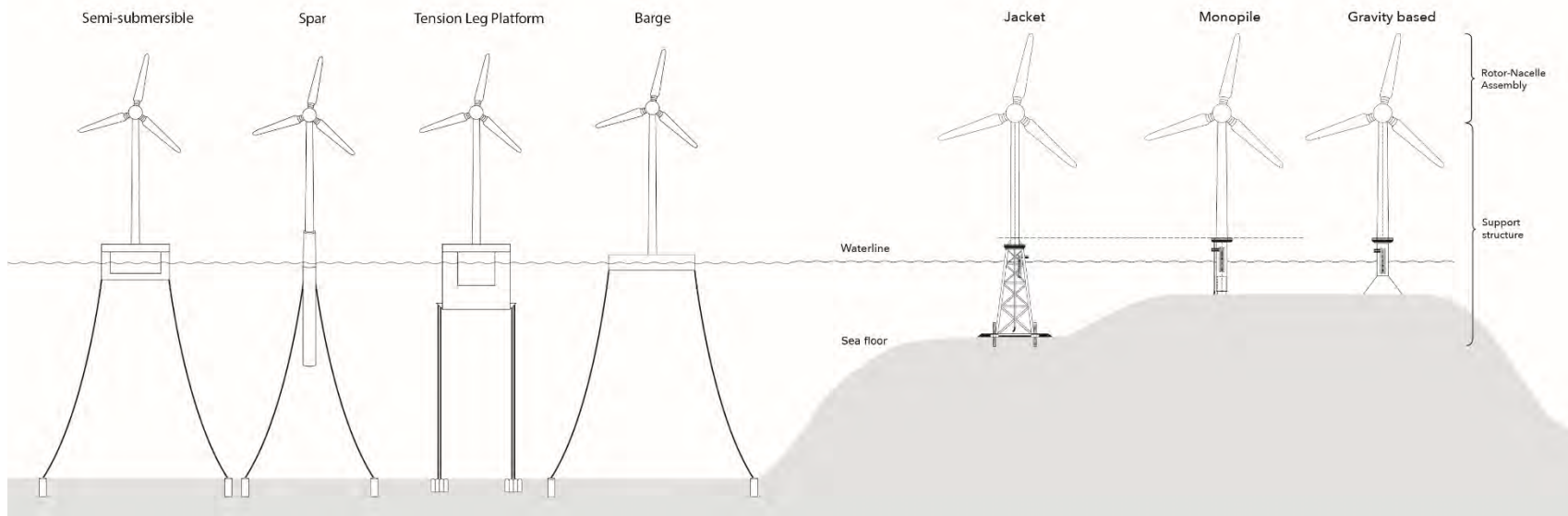


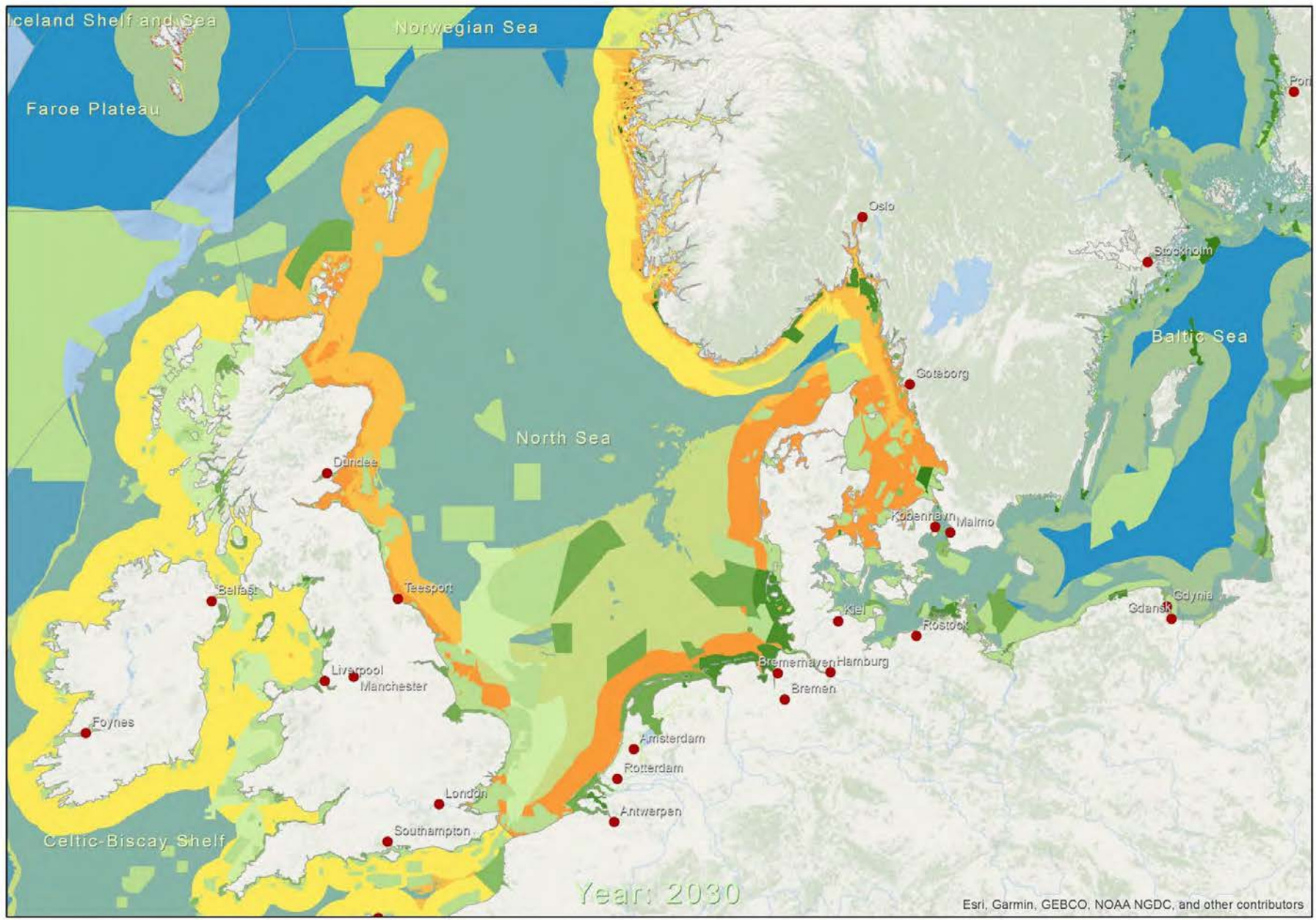
Illustration by DNV



WHEN TRUST MATTERS



Embracing Opportunities - Ocean Multi-Use Action Plan



- Marine Protected Areas (IUCN category)
  - Strict Nature Reserve
  - Wilderness Area
  - National Park
  - Natural Monument or Feature
  - Habitat/Species Management Area
  - Protected Seascape
  - Protected area with sustainable use of natural resources
  - Not Reported
  - Not Assigned
  - Not Applicable

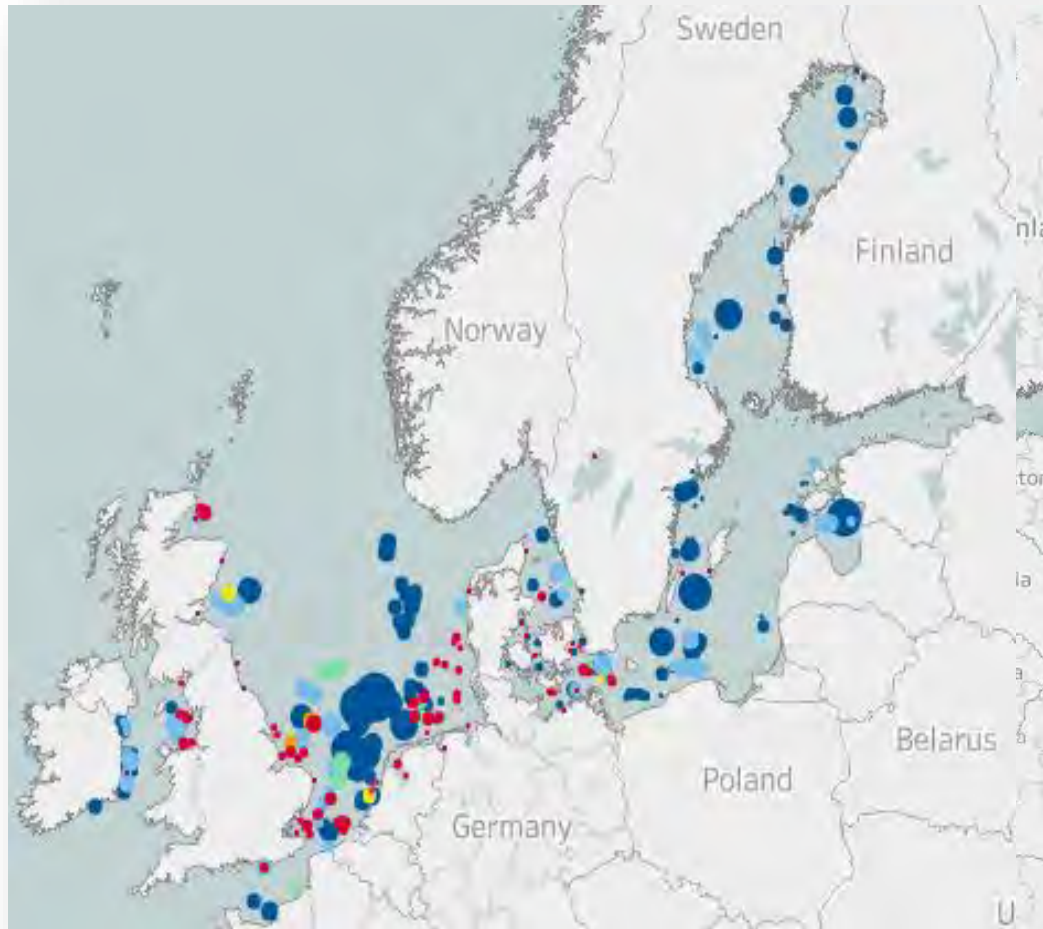
- Spatial Competition Index (SCI)
  - 1.2
  - 1.1
  - 1.0
  - 0.9
  - 0.8
  - 0.7
  - 0.6
  - 0.5
  - 0.4
  - 0.3
  - 0.2
  - 0.1



Contact: [oivin.arnes@dnv.com](mailto:oivin.arnes@dnv.com)

# Current situation offshore wind farms

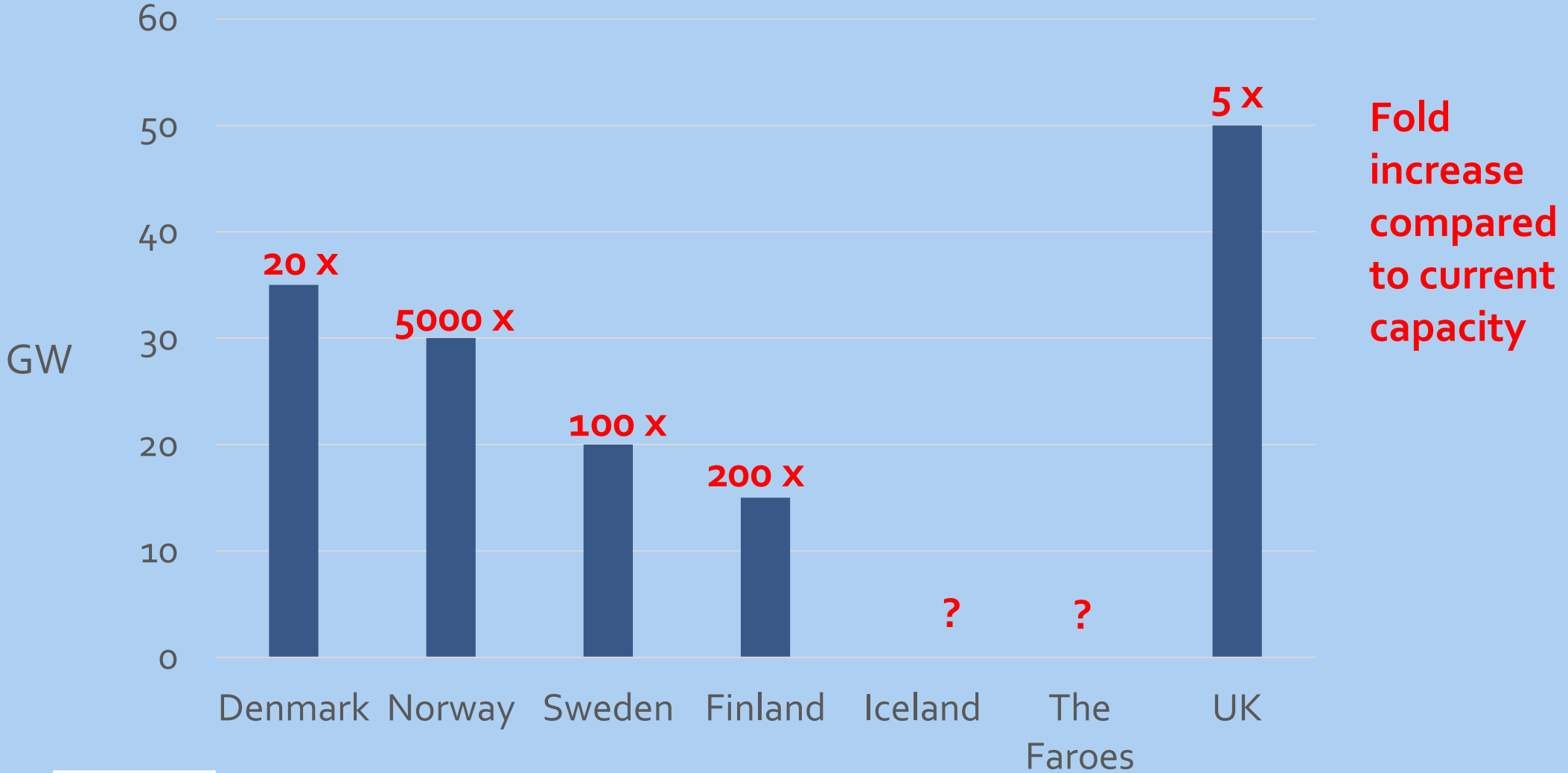
Bottom fixed



Floating



# Connected capacity in 2050



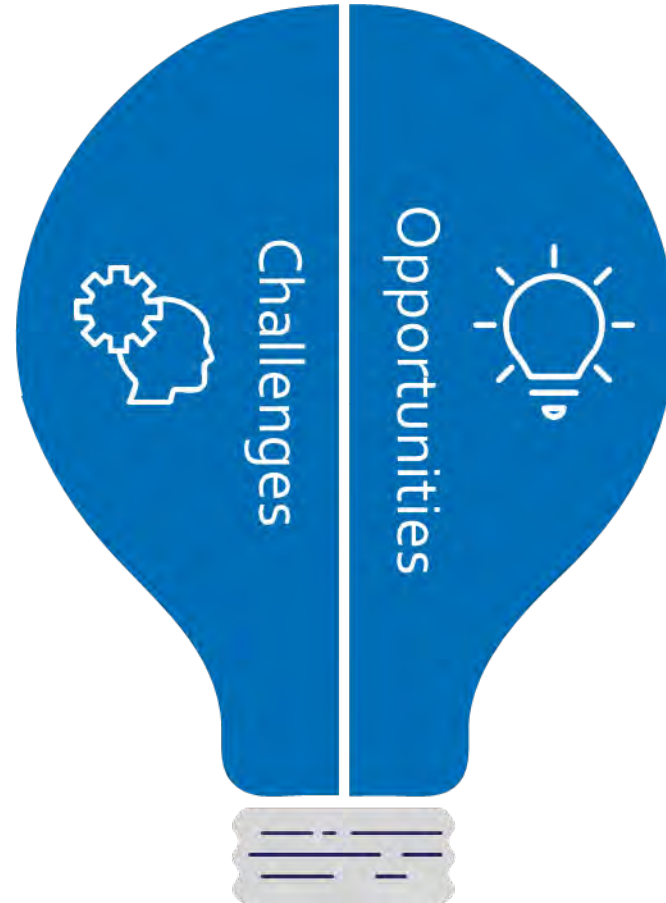
# Expansions entail challenges & opportunities

Additional pressure on ecosystems

Lack of data on ecosystems and impact

Conflicts for space (fisheries)

Complex stakeholder engagement processes



Knowledge-base increasing

Certain flexibility for siting

Opportunities for co-existence

Ecosystem restoration/enhancement

Significant offshore experience

Leverage existing collaboration frameworks

# Biodiversity impacts



## Indirect

Conserve biodiversity by reducing GHG emissions

## Direct

Physical changes (habitats, barriers, hydrodynamics)

Underwater noise (disturbance)

Electromagnetic fields (disturbance?)

## Cumulative

Total impact arising from all activities in an area over time

## Accommodating Biodiversity in Nordic Offshore Wind Projects



### Aim

Identify key elements and recommend actions to accommodate biodiversity and stakeholder engagement for further offshore wind developments in the Nordics

Illustrate key elements by case studies (as a Nordic complement to the IUCN guidelines)

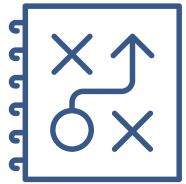
### Process

Review of authoritative literature

Discussions with stakeholders: manufacturers, regulators, scientific institutions, and NGOs



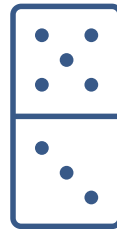
# Key elements to accommodate biodiversity and stakeholders



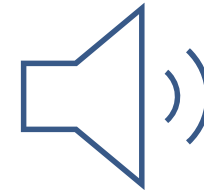
Strategic  
planning



Environmental  
data



Cumulative  
impacts



Underwater  
noise



Stakeholder  
engagement

# Case studies

| Strategic planning process                                                                                                              | Environmental data | Cumulative impacts                                       | Underwater noise |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|------------------|
| Stakeholder engagement                                                                                                                  |                    |                                                          |                  |
| Danish Process of Opening Areas<br>Continuous stakeholder process                                                                       |                    |                                                          |                  |
| Hywind Scotland Pilot Park<br>Continuous stakeholder process                                                                            |                    | Sound Mitigation by Bubble Curtains<br>Stakeholder trust |                  |
| Coordinated Environmental Monitoring : Examples from Belgium and O&G in Norway<br>Stakeholder involvement, transparency of data , trust |                    |                                                          |                  |
| Research on Cumulative Effects: CEF (Scotland) and MARCIS (2021-2025) (Norway)<br>Stakeholder trust                                     |                    |                                                          |                  |



# Co-existence with nature, industries and other sea-users when developing offshore wind in the Nordics

## Aim :

To investigate instruments in the allocation and tendering process to facilitate successful co-existence and nature inclusive design in offshore wind development in the Nordics

## Result:

A catalogue of instruments to support Nordic governments when deciding on criteria for opening areas, prequalification, site allocation and licence award.



# Definitions

## **Co-existence:**

- ✓ Between industries, other sea users and nature
- ✓ Include spatial competition and co-use of the same area

## **Nature inclusive design:**

Refers to options that can be integrated in, or added to, the design of an anthropogenic structure with the aim to enhance ecological functioning

(Hermans et al 2020)

## 2 workshops



1. Identify instruments in the allocation and tendering process, for successful co-existence and nature inclusive design when developing offshore wind in the Nordics
2. Identify required partnerships and dialogue (arenas/process) to facilitate successful co-existence (20.October)

# Participants



## Key questions

- Why is co-existence important for you and for society?
- What are the opportunities and constraints?
- What are the needs and incentives to succeed ?
- What are suitable instruments and non-price criteria?
- Identify 3 most important instruments for governments to ensure successful co-existence?



# Stakeholder views



Conflict for space (fishing activities and spawning areas), there is lack of data on distribution and impact of OWF on pelagic species and confusion around area requirements for planned OWF.



Most of the planned development will happen in coastal, nature rich areas. These ecosystems are under pressure, and it is not known how much additional pressures these ecosystems can sustain, at a local and regional level, taking cumulative impacts into account.



Higher focus on nature enhancement than on co-existence, spatial efficiency resulting from co-existence can be a way to combine investments and serve as a platform for negotiation and compensation



# Opportunities

- Establish industry development, circular economy and energy transition.
- Get co-existence not to be a risk
- Develop operational factors that are not hindering co-existence with fisheries and develop technology for fishing methods compatible with OWF
- Coordination and collection of environmental data by leveraging increased number of installations in the water

# Challenges

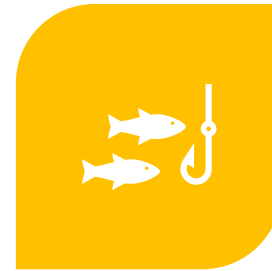
---



PRIORITIZATION OF ENVIRONMENTAL FACTORS AND HOW TO MEASURE VALUE OF NATURE VS ENERGY



LACK OF CLEAR FRAMING OF WHAT PROBLEMS CO-EXISTENCE SHOULD SOLVE



LACK OF UNDERSTANDING BETWEEN STAKEHOLDERS (FISHERIES AND RENEWABLE SECTOR)



KNOWLEDGE GAPS AND LACK OF UNDERSTANDING NATURE AT A HIGH, GENERAL AND SYSTEM LEVEL

# Suggested governmental instruments to facilitate successful co-existence (preliminary findings)

Opportunities for co-existence should be a part of the process of opening areas and integrated in Marine Spatial Planning (MSP).

Apply transparent platforms and roundtables for processes and sharing information to secure transparent processes and trustworthy flow of data/information.

Apply consenting criteria/solutions that enforces co-existence solutions on the developer before they construct.

Set non-price criteria with transparent and robust evaluation criteria to be evaluated by an expert committee

Consider combining requirements for energy production with production of food or other products to ensure collaboration in the design phase

Permits should include requirements to accept new stakeholders in the licencing area if public authorities could balance operators' interest against newcomers

# Concluding remarks

Large planned expansion in the Nordics entails challenges and opportunities

Significant offshore and stakeholder interaction experience to build upon

Important to leverage existing Nordic frameworks for data collection and cumulative impact assessments

Important to establish arenas for dialogue and partnerships to understand and accommodate biodiversity and stakeholders



# Thank you for your attention!



Marte Rusten  
Principal Consultant at DNV  
marte.rusten@dnv.com  
+47 99224198



Nordic Energy  
Research  
[nordicenergy.org](http://nordicenergy.org)



# **ROK ENERGY**

## **Clean wind energy from Icelandic waters**

---

**Paul Turner, Ph.D.  
CEO, Hecate Wind LLC  
pturner@hecateenergy.com**



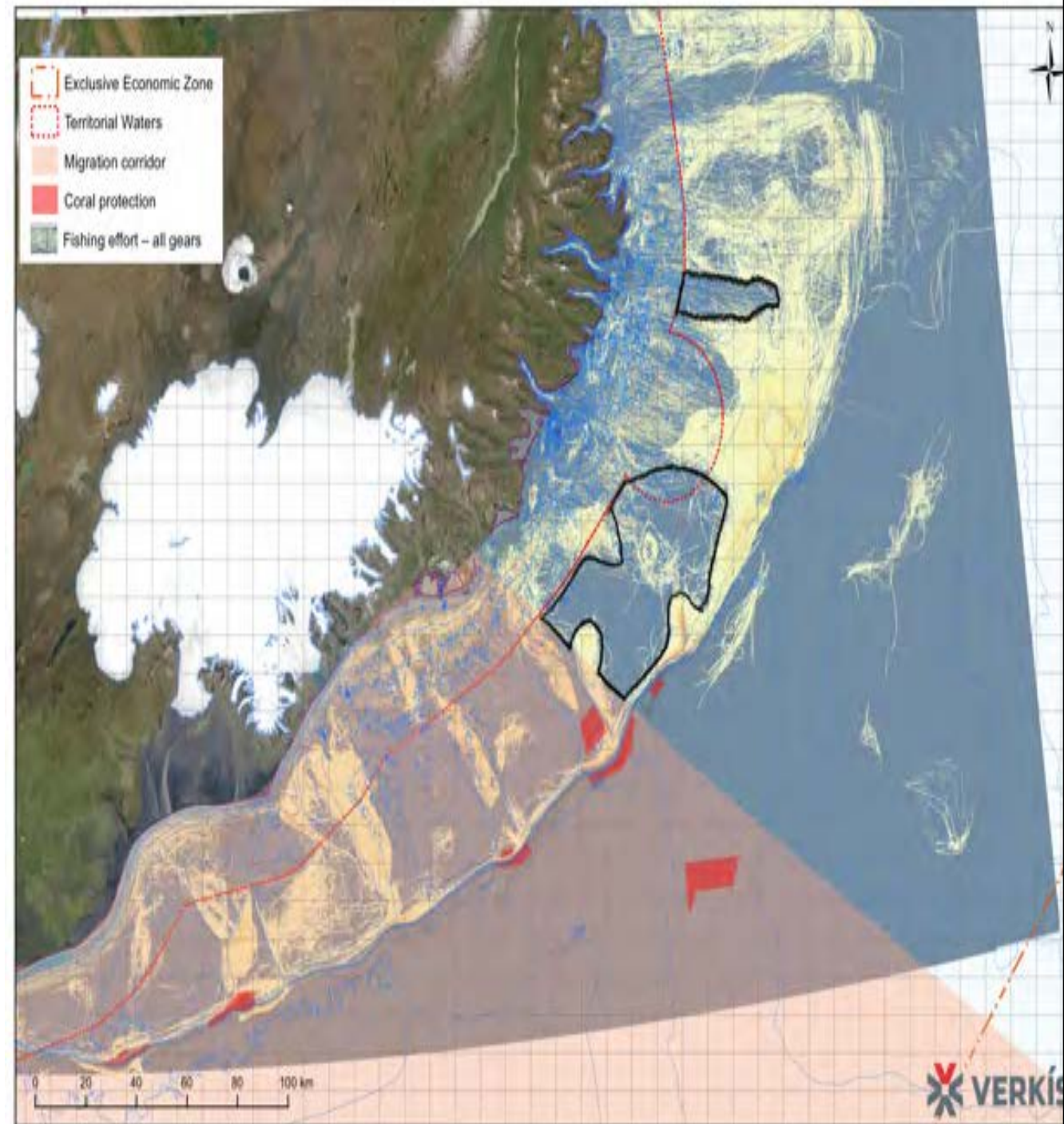
# Rok

- Phase I of the **Rok** project involves developing and constructing up to one hundred (100) 20 MW wind turbines totalling 2,000 MW in the ocean far off the coast of southeastern / eastern Iceland.
- Technology currently would allow either fixed or floating wind turbines.
- Leading the development is Hecate Wind LLC, which is a wholly-owned subsidiary of Hecate Holdings LLC, a Chicago-based renewable energy development company.
- The Rok project **would be connected** to various points on the Iceland national transmission grid where the power is needed.



# Target Location

- As provided by the Marine and Freshwater Research Institute, the yellow lines show the path of all fishing boats and all methods in 2018.
- Both of areas outlined in black represent the target research area for the Rok Energy project, whose wind turbines would be located 20 to 40 km from shore.
- Phase 1 (2 GW) of the Rok Energy project area could be located in either research area.
- The beige area represents the seasonal bird migration route between Iceland and the UK.
- The project would be located outside of territorial waters (red line) but inside the Exclusive Economic Zone.







# Benefits

---

- **24 billion ISK (\$170 million)** to Iceland for Phase 1 which is equal to that currently being paid by offshore wind projects in the UK and the US. Can be paid as either a one-time up front payment or spread across the project's life of 40 years. Any additional phases (e.g., 2 GW each) would pay an additional 24 billion ISK.
- **Investment** in Iceland through construction, supplies and services will be considerable and continual, such as tower assembly and economic activity linked to the installation and on going maintenance and maritime activity.
- The project will **increase diversity** of the Icelandic economy, strengthen the infrastructure and increase export revenues.
- **Helicopters** would be permanent in eastern Iceland and be used to transport workers and equipment. The helicopters would also be available for SAR and medical emergencies.
- A **fiber-optic cable** could also be laid along with undersea cable and allow greater data connectivity across Iceland (e.g., Reykjavik to eastern Iceland).
- **High paying jobs** totaling over 300 during construction and 400 permanent direct jobs (80% in eastern Iceland).

# How does an offshore wind farm work?

- Phase I of the Rok windfarm will consist of up to one hundred (100) 20 MW wind turbine generators which will be spaced 1 to 2 km apart.
- Undersea AC transmission cables will be brought to an off-shore substation which is in turn connected to an offshore HVDC converter station.
- An HVDC undersea transmission cable can then run to end-users / customers located in places such as Reydarfjörður, Höfn and Reykjavik.

