



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Olíublautir fuglar við suðurströndina 2020 – 2022: Greining
reks olíu á yfirborði sjávar og mögulegs uppruna mengunar /
*Oil-covered birds at the south coast of Iceland 2020 – 2022:
Modelled drift trajectories of oil at the sea surface and
possible origins of pollution*

Andreas Macrander

Olíublautir fuglar við suðurströndina 2020 – 2022:
Greining reks olíu á yfirborði sjávar og mögulegs
uppruna mengunar /

*Oil-covered birds at the south coast of Iceland
2020 – 2022: Modelled drift trajectories of oil at
the sea surface and possible origins of pollution*

Andreas Macrander

Skýrslan var unnin fyrir Hafrannsóknastofnun og Umhverfisstofnun

Upplýsingablað

Titill: Olíublautir fuglar við suðurströndina 2020 – 2022: Greining reks olíu á yfirborði sjávar og mögulegs uppruna mengunar / <i>Oil-covered birds at the south coast of Iceland 2020 – 2022: Modelled drift trajectories of oil at the sea surface and possible origins of pollution</i>		
Höfundur: Andreas Macrander		
Skýrsla nr: HV 2023-05	Verkefnisstjóri: Andreas Macrander	Verknúmer: 9287
ISSN 2298-9137	Fjöldi síðna: 20	Útgáfudagur: 15. mars 2023
Unnið fyrir: Hafrannsóknastofnun og Umhverfisstofnun	Dreifing: Opin	Yfirfarið af: Steingrímur Jónsson
Ágrip Árið 2020 og ennþá árið 2022 fundust olíublautir fuglar í Vestmannaeyjum, í Reynisfjöru, í Vík og víða við suðurströndina. Að beiðni Umhverfisstofnunar athugaði Hafrannsóknastofnun gögn frá ýmsum tölvulíkönum og greindi rekferla og möguleg upprunasvæði mengunar. Miðað var við hafstrauma og sjávarfallastrauma, sem og Ekman-rek og Stokes-rek sem tengjast vindi og öldugangi. Niðurstöður benda til þess að rekið á yfirborði hafs ráðist af hafstraumum þegar veðurfar er rólegt, en vindátt skiptir miklu máli í hvassviðri. Við athugun reks var annars vegar reiknað út rek til baka í tíma frá þekktum fundarstöðum olíublautra fugla og hins vegar rek fram í tíma frá tilteknum uppruna mengunarinnar. Reiknaðir rekferlar frá hafsvæði skammt austan við Vestmannaeyjar eru í áberandi samræmi við athuganir, þar sem olíublautir fuglar fundust í Reynisfjöru og í Vík aðallega eftir suðvestan hvassviðri en í Vestmannaeyjum fundust fuglar frekar í austanáttum og hægviðri. Það virðist líklegt að uppruni mengunarinnar sé skipsflak á hafsbotni á svæði um 1 – 12 sjómílur austan eða suðaustan við Vestmannaeyjar. Til þess að greina uppruna með vissu þarf þó að sjást til olíuflekks á yfirborði og rannsaka skipsflök á svæðinu.		
Abstract <i>In 2020, and still in 2022, birds covered in oil were found in Vestmannaeyjar, Reynisfjara, Vík and other places along the south coast of Iceland. At the request of the Environment Agency of Iceland, the Marine and Freshwater Research Institute (MFRI) assessed data from numerical models to estimate drift trajectories and assess possible origins of the pollution. The assessment considered geostrophic surface currents and tidal currents, as well as Ekman drift and Stokes drift which relate to wind and waves. While ocean currents govern the drift in calm weather conditions, wind was found to largely determine the drift direction during storms. In the model, drift trajectories were tracked back in time from locations of known bird finds. Also, forward drift trajectories were</i>		

calculated from possible origins of the pollution, and the results compared with reported dates and locations of bird finds. Modelled oil dispersal from an assumed steady leakage somewhere closely east of Vestmannaeyjar agrees remarkably well with the observations, with birds covered in oil being found at Reynisfjara and Vík mostly after strong southwesterly winds, while in Vestmannaeyjar birds were found at a wider range of meteorological conditions. It appears likely that the pollution originates from a shipwreck in the area 1 – 12 NM to the east or southeast from Vestmannaeyjar. However, to determine the origin with confidence, reports of oil slicks at the surface, and investigation of shipwreck at the seafloor are needed.

Lykilorð: Olíublautir fuglar, Vestmannaeyjar, suðurströnd, mengun, straumlíkan, rekferlar, hafstraumar, Ekman-rek, Stokes-rek

Key words: oil-covered birds, Vestmannaeyjar, south coast of Iceland, pollution, circulation model, drift trajectories, currents, Ekman drift, Stokes drift

Undirskrift verkefnisstjóra:



Undirskrift forstöðumanns sviðs:



Efnisyfirlit

Bls.

Töfluskra.....	i
Myndaskra.....	i
Viðaukar	ii
Inngangur	1
Efniviður og aðferðir.....	1
Athuganir.....	1
Líkön	2
Aðferðir	4
Niðurstöður	6
Fundarstaðir olíublautra fugla	6
Straumar og Stokes-rek	7
Rek aftur á bak frá fundarstöðum	8
Rek fram í tímann frá mögulegum uppruna	11
Umræður	15
Samantekt	17
Þakkarorð	17
Heimildir	18
Viðaukar	19

Töfluskra

Tafla 1. Skipsflök við suðurströndina	16
---	----

Myndaskra

1. mynd. Hafsvæði við suðurströndina, fundarstaðir olíublautra fugla og þekkt skipsflök.	6
2. mynd: Hycom yfirborðsstraumur, ERA5 Stokes-rek og vindhraði þann 1. jan. 2020.....	7
3. mynd: Fylgni milli ERA5 vindhraða (x-ás) og ERA5 Stokes-reks (y-ás).	8
4. mynd: Rekferlar (Hycom og/eða Stokes-rek) aftur á bak í tíma frá fundarstöðum.....	9
5. mynd: Rekferlar (<i>geostrophic</i> straumur, Stokes-rek og CMEMS) aftur á bak í tíma frá fundarstöðum.....	10
6. mynd: Rekferlar fram í tíma frá mögulegum upprunastað við 63° 22' N 19° 51' V	11
7. mynd: Spáð rek (lengdargráður/tími) mengunar frá upprunastað við 63° 22' N 19° 51' V .	12
8. mynd: Spáð rek (lengdargráður/tími) mengunar frá upprunastað við flakið „Kampen“.....	13
9. mynd: Spáð rek skv. Hycom straum + Stokes-rek á völdum dagssetningum	14
10. mynd: Skipsflök við suðurströndina og líklegustu upprunasvæði olíumengunar.....	16

Viðaukar

Viðauki 1. Tilkygningar um olíublauta fugla 1.1. – 30.4.2020.	19
Viðauki 2. Tilkygningar um olíublauta fugla á seinna tímabilinu, 1.5.2020 – 1.3.2022.	20

Inngangur

Árið 2020 og ennþá á árunum 2021 og 2022 fundust olíublautir fuglar víða við suðurströnd landsins. Langflestir þessara olíublautu fugla fundust í Vestmannaeyjum, í Vík og í Reynisfjöru, en tilkynningar höfðu einnig borist frá Síðugrunni, Landeyjum, Þorlákshöfn og jafnvel utan við Snæfellsnes. Algengustu tegundir sem höfðu fundist með olíu í fiðri eru svartfuglar, helst langvíur, sem og æðarfugl.

Samkvæmt efnagreiningu á olíunni sem var á fuglunum var um svartolíu að ræða, sem notuð er sem eldsneyti m.a. í skipum. Uppruni mengunarinnar er enn óþekktur, sé miðað við lok árs 2022 þegar þessi samantekt var gerð. Á tímabilinu 2020 – 2022 hefur ekki borist tilkynning eða verið afspurnir af olíuflekk á yfirborði sjávar á þeim svæðum sem fuglarnir fundust á. Þar sem olíublautu fuglarnir fundust oftast á sama svæði á tímabilinu er talið líklegt að olían leki úr óþekktu skipsflaki á hafsbotni en að lekinn sé stöðugur og frekar lítill.

Hér verður skoðað á hvaða hafsvæðum uppruni mengunar er líklega til kominn, með því að herma eftir reki olíu með tölvulíkönum. Horft er á áhrif hafstrauma, sjávarfallastrauma, Stokes-reks og vinda.

Skýrsla þessi er unnin að beiðni Umhverfisstofnunar og byggist hún m.a. á fyrirliggjandi tilkynningum um olíublautu fugla sem borist hafa til Umhverfisstofnunar og upplýsingum um skipsflök frá Landhelgisgæslu Íslands. Við úrvinnslu var notast við tölvulíkön fyrir hafstrauma og vindafar sem hýst eru hjá Veðurstofu Íslands og í opinberum gagnabönkum.

Kafli 2 lýsir undirliggjandi gögnum og einnig er fjallað um aðferðafræði sem skiptist í útreikning reks aftur á bak frá þekktum fundarstöðum olíublautra fugla annars vegar og rek fram í tíma frá mögulegu upprunasvæði hins vegar. Í 3. kafla eru kynntar niðurstöður úr greiningu og þar á eftir má finna umræður og samantekt helstu niðurstaðna í 4. kafla.

Efniviður og aðferðir

Greining byggist á tilkynningum um olíublautu fugla, straum- og veðurlíkönunum, auk upplýsinga um skipsflök sem vitað er til að liggi á hafsbotni svæðanna.

Athuganir

a) Tilkynningar um olíublautu fugla

Í greiningunni var notast við upplýsingar frá Umhverfisstofnun þar sem fyrir lágu tilkynningar um fleiri en 89 olíublautu fugla, sem fundust á tímabilinu 28.1.2020 – 17.4.2020. Í tilkynningum til Umhverfisstofnunar sem unnið er út frá, er að finna upplýsingar um dagsetningar, fundarstaði og fjölda fugla. Flestir fuglar fundust í Vestmannaeyjum, í

Reynisfjöru og í Vík (1. mynd). Vegna óvissu í tilkynningum um fjölda fugla miða útreikningar í skýrslunni við 94 fugla (sjá viðauki 1).

Einnig liggja fyrir upplýsingar frá Náttúrustofu Suðurlands um vöktun Landeyjasands á tímabilinu 11.7.2020 – 18.12.2021, en á þeim tíma fundust níu olíublautir fuglar. Þá eru tilkynningar um fund nokkurra olíublautra fugla á tímabilinu janúar til febrúar 2022 í Vestmannaeyjum og í Reynisfjöru (viðauki 2).

b) Skipsflök

Umhverfisstofnun fékk upplýsingar um skipsflök frá Landhelgisgæslu Íslands. Einnig var horft til skipsflaka í sjókortum við úrvinnsluna í skýrslunni. Það liggja nokkur flök á hafsbotni sunnan við land (2. mynd). Þekktasta flakið við suðurströndina er mögulega skipið „Kampen“, sem liggur SA við Vík, en það finnast fleiri skipsflök austan og sunnan við Vestmannaeyjar (1. mynd). Einnig var haft samband við Dr. Ragnar Edvardsson (persónuleg samskipti, 8.5.2020) sem hefur skráð allmörg skipsflök við Íslandsstrendur frá árunum 1118 – 1920. Skráningu skipsflaka frá síðari árum er hins vegar ólokið. Ragnar benti þó á að svartolía hafi ekki verið notuð í eldri skipum og gerir hann ráð fyrir að uppruni mengunar ætti að vera úr skipi sem sökk eftir síðari heimsstyrjöldina, þ.e. eftir 1945.

c) Vindmælingar

Gögn um vindmælingar á einnar klukkustundar fresti frá Surtsey, Stórhöfða, Vatnsskarðs-hólum og Skarðsfjöruvita fengust frá Veðurstofu Íslands. Mæligögnin notast til samanburðar og staðfestingar ERA5 gagna um vind, öldur og Stokes-rek.

Líkön

Gögn ýmissa reiknilíkana voru notuð í greiningunni og eru þau eftirfarandi:

a) Hycom-CICE straumlíkan: yfirborðsstraumur

Hycom-CICE¹ (Madsen o.fl., 2016) er straumlíkan dönsku veðurstofunnar DMI, en líkanið er hýst hjá Veðurstofu Íslands. Líkanið er keyrt í rauntíma og er matað með mælingum og líkanaspám af ýmsu tagi, m.a. veðurspár ECMWF.

Yfirborðsstraumur í Hycom líkaninu tekur mið af geostrophic straumum, vinddrifnum straumum (Ekman-straumur) og sjávarföllum. Upplausnin Hycom er um 10 km og í greiningunni eru notuð gögn sem tekin eru á einnar klukkustundar fresti. Úttak af Hycom líkanagögnum fengust frá Veðurstofu Íslands.

¹ HYCOM, <http://ocean.dmi.dk/anim/index.php>.

b) ERA5 reanalysis: vindur, öldur, Stokes-rek

ERA5 reanalysis² (Hersbach o.fl., 2018) tekur til ýmissa mæligagna og hermir ástand veðurs og hafs í nær rauntíma. Í líkaninu er notast við gögn um vindhraða og -stefnu, ölduhæð og Stokes-rek á einnar klukkustundar fresti. Upplausn líkansins er um 12 – 25 km.

Stokes-rek er mikilvægur þáttur við rek hluta (olía, rekaviður) á yfirborði sjávar (Yang Yiqiu o.fl., 2021; Tamtare o.fl., 2022). Þó hreyfing sjávaragna í bylgjum sé nánast hringlaga, er hreyfingin meiri á yfirborði og er nettóstreymi agna á yfirborði í sömu átt og öldugangur (Unnsteinn Stefánsson, 1994). Rekið er meira í stærri öldum og á grunnnum svæðum.

Vindhraði og -stefna úr ERA5 eru einnig notuð til samanburðar við vindmælingar á Stórhöfða og annars staðar.

Ávallt skal hafa í huga að raunaðstæður eru alla jafna flóknari en tölvulíkon gera ráð fyrir. Til þess að geta lagt betra mat á mögulegu óvissu í líkanaspám var því einnig horft til gagna frá öðrum mælingum og líkönum, sem eru eftirfarandi:

c) Altimetry / Sea Surface Height (SSH): „geostrophic“ straumar

Um er að ræða ratsjarmælingar frá gervihnöttum á yfirborðshæð sjávar (e. sea surface height, SSH)³. Mismunur á SSH milli staða tengist straumhraða og straumstefnu af völdum þrýstifallandakrafts og jarðsvigskrafts (Coriolis krafts) (e. geostrophic current) (Unnsteinn Stefánsson, 1994). Á norðurhveli jarðar er hærra SSH ávallt til hægri þegar horft er með straumnum. Geostrophic straumur tekur ekki mið af vindstraum (Ekman-straum) og er því aðeins hluti yfirborðsstrauma í hafinu. Upplausn gagnasetts er um 12 km og tímaskref 24 klst.

d) TPXO sjávarfallalíkan: sjávarfallastraumar

TPXO sjávarfallalíkanið⁴ (Egbert and Erofeeva, 2002) var notað til samanburðar við strauma í Hycom-CICE líkaninu (sem er einnig með sjávarföll). TPXO líkanið er í 1/30° upplausn, samsvarandi um 3 km x 1,5 km við Ísland. Það þarf að taka fram að sjávarfallastraumar færa sjóinn aðallega fram og til baka og rekið vegna sjávarfalla er yfirleitt frekar staðbundið og nær ekki lengra en nokkra km.

² ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>, <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>

³ SEALEVEL_EUR_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_060, <https://resources.marine.copernicus.eu/>, <https://doi.org/10.48670/moi-00142>

⁴ TPXO9 tidal atlas, 1/30° resolution, <https://www.tpxo.net/global/tpxo9-atlas>

e) CMEMS Arctic Ocean: Yfirborðsstraumar

Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS) Arctic Ocean Physics Analysis and Forecast⁵ (Sakov o.fl., 2012; Melsom o.fl., 2012) er annað straumlíkan sem er með opið aðgengi í gegnum ESB-verkefnið Copernicus. Gögnin fást í 12 km upplausn á einnar klukkustundar fresti og notast hér til samanburðar við rekútreikninga í Hycom.

Aðferðir

Dreifing olíu á yfirborði hafs er háð ýmsum þáttum. Helstu áhrifaþættir eru t.d. hafstraumar, öldur, vindur sem og iðustreymi, blöndun, tegund olíunnar og niðurbrot hennar með tímanum, svo fátt eitt sé nefnt (Keramea o.fl., 2021). Fjöldi tölvulíkana eru til sem herma eftir dreifingu olíu á yfirborði sjávar.

Þær upplýsingar sem liggja fyrir eru þó eingöngu um fundarstaði olíublautra fugla. Því hefur verið farin einfaldari leið og hermt eftir rekinu í straumlíkönunum og eingöngu tekið tillit til hafstrauma og Stokes-reks. Greining reks byggist aðallega á hafstraumum frá Hycom-CICE og Stokes-reki frá ERA5 reanalysis. Til samanburðar var einnig reiknað með Altimetry/SSH, TPXO sjávarfallastraumum og CMEMS. Þá er ERA5 vindhraði borinn saman við vindmæligögn frá Stórhöfða og öðrum stöðum á Suðurlandi.

Í greiningunni er gert ráð fyrir að olían reki á yfirborði hafs frá (óþekktum) uppruna að fundarstöðum olíublautra fugla. Rekið á yfirborði ræðst af hafstraumum og Stokes-reki vegna öldugangs:

$$\text{Rek} = \text{yfirborðsstraumur (Hycom)} + \text{Stokes-rek (ERA5)}$$

Yfirborðsstraumur samanstendur af eftirfarandi þáttum⁶:

- a) „geostrophic“ straumur ræðst af hæðarmismun yfirborðs sjávar og snúningi jarðar.
- b) Ekman-straumur á efstu tugum metra ræðst af núningi vinda við yfirborð sjávar og snúning jarðar. Mesti straumhraði er á yfirborði, en á norðurhveli jarðar snýr straumátt aðeins til hægri þegar horft er í vindátt. Áhrif vinda er mest þegar blæs lengi úr sömu átt og sérstaklega í stormum.
- c) Sjávarfallastraumar tengjast sjávarföllum. Rek hluta á yfirborði vegna sjávarfallastrauma er þó yfirleitt ekki meira en nokkra kílómetra fram og til baka á 12 klst. 50 mín fresti.

⁵ Arctic Ocean Physics Analysis and Forecast, CMEMS / TOPAZ4 / HYCOM, <https://resources.marine.copernicus.eu/>, <https://doi.org/10.48670/moi-00001>

⁶ sjá einnig umræður um „geostrophic“ hafstrauma, Ekman vindstrauma og sjávarföll hjá Unnsteini Stefánssýni (1994)

Straumlíkön eins og Hycom eða CMEMS taka mið af *geostrophic* straum, Ekman-straum og sjávarfallastraumum, en hins vegar ekki af Stokes-reki sem var því fengið úr ERA5 gagnasetti. *Stokes-rek* er nettóstreymi sjávaragna við bylgjuhreyfingu á yfirborði, og fer rekhraðinn hækkandi með ölduhæð (Unnsteinn Stefánsson, 1994). Á svæðum þar sem ERA5 er ekki með gildi fyrir Stokes-rek er miðað við nálgun reks sem byggir á vindhraða (3. mynd).

Vindur er aðallega talinn að hafa áhrif á slétta olúflekki (Keramea o.fl., 2021) en árið 2020 virðist magn olíu hafa verið frekar lítið því aldrei sást til olúflekks á yfirborði sjávar. Því var valið að reikna með straumum og Stokes-reki eingöngu. Ekki er tekið tillit til niðurbrots olíunnar, en gert er ráð fyrir að líkur á að fuglar blotni af olíu minnki með tíma reks frá uppsprettu olíunnar.

Greiningin hér skiptist í tvær aðferðir:

a) Rek aftur á bak í tíma frá fundarstað fugla

Rekið reiknað aftur á bak frá viðkomandi fundarstað sem sýnir hvaðan fuglinn og þar með mengunin hefur líklega komið. Hafsvæði þar sem margir rekferlar skarast má túlka sem líklegan uppruna mengunar en hafsvæði þar sem aðeins fáir rekferlar skarast má telja sem ólíklegan uppruna mengunar.

b) Rek fram í tíma frá tilteknum upprunastaðum

Hér er skoðað hvert mengunin berst frá tilteknum upprunastað. Í greiningunni er gert ráð fyrir að agnir (olía) losist á sex klukkustunda fresti og rekferlar reiknast uns þeir ná í land einhversstaðar. Til samanburðar er skoðað hvar og hvenær olíublautir fuglar fundust. Ef samræmi milli spáa og tilkynninga um olíublauta fugla (dagsetning og fundarstaður) er gott má telja að viðkomandi svæði sé frekar líklegt upprunasvæði.

Gera verður eftirfarandi fyrirvara við túlkun niðurstaðna:

- Líkanaspám um straumhraða og Stokes-rek fylgir ávallt ákveðin óvissa. Hafstraumar eru síbreytilegir og ekki má búast við að líkön hermi nákvæmlega eftir sveiflum og hvirflum hverju sinni, enda er upplausn líkananna takmörkuð.
- Ekki er nákvæmlega vitað hver eru hlutfallsleg áhrif strauma, Stokes-reks og vinda á rek olíu eða fugla. Til þess er horft á (a) straum eingöngu, (b) Stokes-rek eingöngu og (c) straum + Stokes-rek, en samt er ekki útilokað að áhrif vinda og Stokes-reks séu vanmetin eða ofmetin.
- Ekki er miðað við bein áhrif vinds á rek fugla þó þeir séu oftast á yfirborði sjávar.
- Ekki er vitað hvað olíublautir fuglar hafa flogið eða synt lengi frá olíubletti á hafi að fundarstað. Hér er eingöngu gert ráð fyrir reki olíunnar eða (dauðra) fugla.

- Ekki er vitað hvað fuglarnir hafa verið marga daga á viðkomandi fundarstað áður en tilkynning barst. Við útreikninga aftur á bak í tíma er gert ráð fyrir reki frá þeim degi sem tilkynning barst.
- Flestar tilkynningar bárust frá Vestmannaeyjum, Reynisfjöru og Vík sem eru fjölfarnir ferðamannastaðir. Ekki er þó útilokað að fleiri fugla hafi rekið í land á fáförnum ströndum án þess að tilkynningar um þá hafi borist. Það gæti leitt til skekkju í útreikningum þegar flestir tilkynningar eru frá fáeinum stöðum.

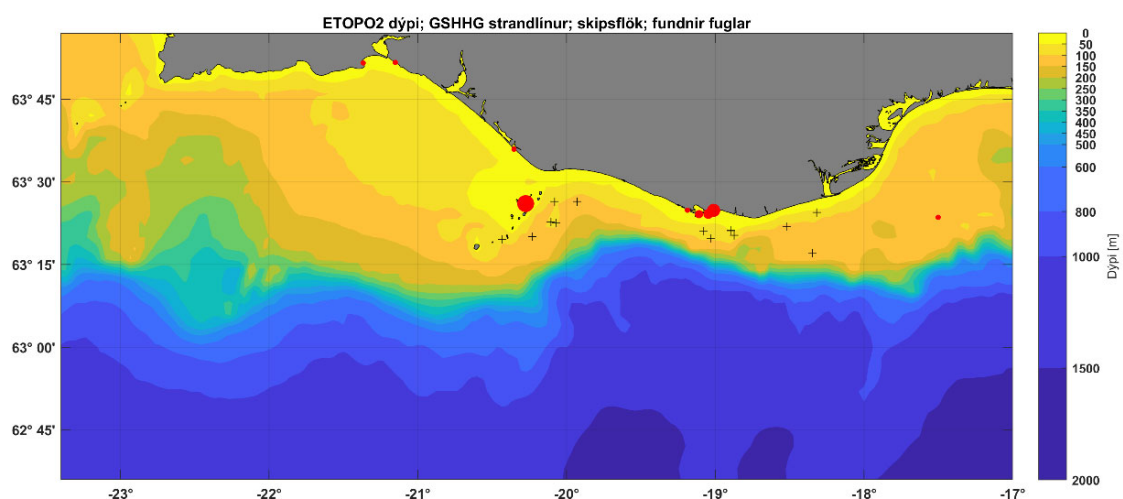
Óvissuþættirnir gera það að verkum að ómögulegt er að skilgreina ákveðið skipsflak sem uppruna. Útreikningar gefa þó vísbendingar um hvaða hafsvæði megi telja líklegri sem uppruna mengunar en önnur svæði.

Niðurstöður

Fundarstaðir olíublautra fugla

Flestir olíublautir fuglar fundust í Vestmannaeyjum, í Reynisfjöru og Vík, sem eru fjölfarnir ferðamannastaðir. Stakar tilkynningar bárust víðar frá, allt frá Síðugrunni að austan til Þorlákshafnar og Snæfellsness að vestan (1. mynd). Alls fundust yfir 90 olíublautir fuglar á tímabilinu 1. janúar – 17. apríl 2020.

Það er áberandi að tíðni atvika er lotukennd (sjá einnig 5. mynd og töflu í viðauka). Mynstrið er að oft fannst fjölda olíublautra fugla innan fárra daga á tilteknum stað og ekki fyrr en nokkrum dögum seinna fannst fjöldi slíkra fugla á öðrum stað.



1. mynd. Hafsvæði við suðurströndina, fundarstaðir olíublautra fugla og þekkt skipsflök. Rauðar doppur merkja fundarstaði, en stærð doppa fer eftir fjölda fundinna olíublautra fugla. Staðsetning skipsflaka er sýnd með svörtu plústákni. Botndýpi skv. ETOPO2 gagnasetti en ath. að litakvarðinn er ekki línulegur.

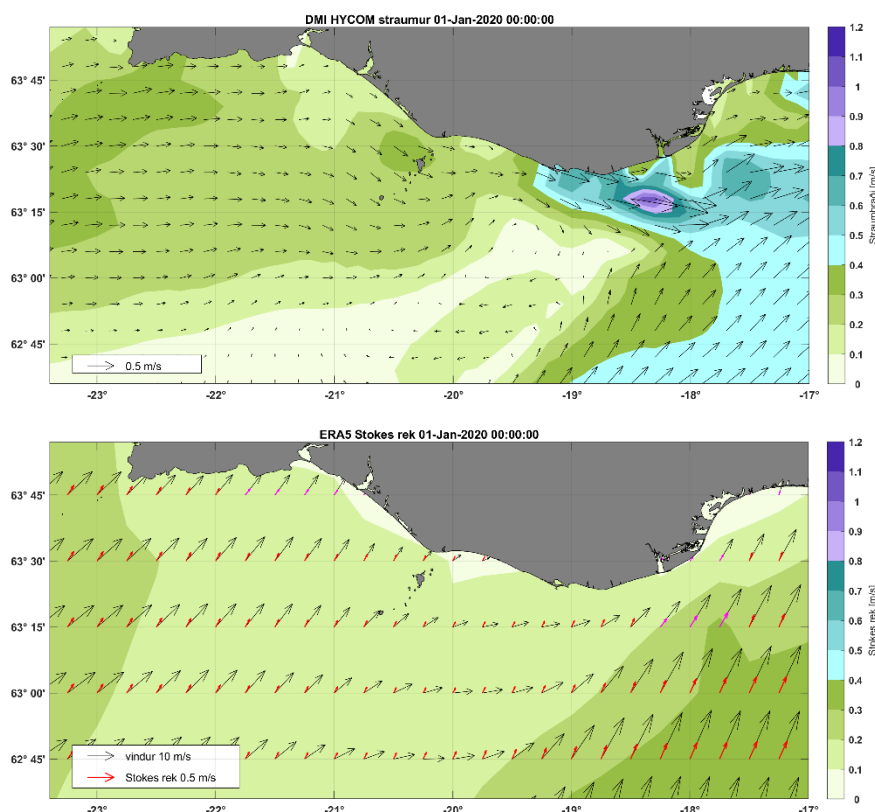
Figure 1: Bathymetry map of area south of Iceland, and places where oil-polluted birds have been found. Red dots indicate the locations of bird finds, and the dot size correlates with the number of birds found at each place. Known shipwrecks are marked by black plus signs. Bathymetry according to ETOPO2 data set, note nonlinear color scale.

Straumar og Stokes-rek

Þó straumátt við suðurströndina sé yfirleitt til vesturs (Héðinn Valdimarsson og Svend-Aage Malmberg, 1999), eru hafstraumar síbreytilegir og má búast við að vindáttir og öldur hafi einnig áhrif á rek olíu eða fugla.

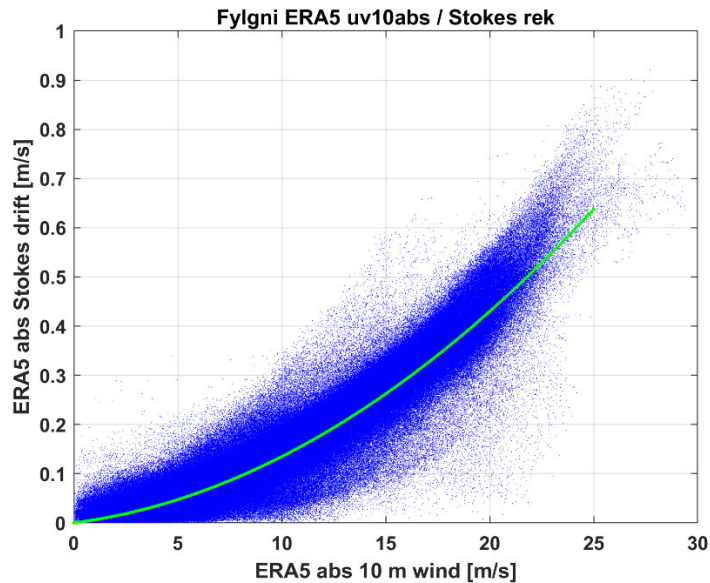
Líkanagögn sýna einmitt að straumáttir og rek á yfirborði við Vestmannaeyjar eru breytileg og geta verið bæði í austur- og vesturátt. Dæmi má sjá á 2. mynd. Straumhraði sunnan við Ísland er oftast innan við $0,4 \text{ m s}^{-1}$, en getur farið umfram 1 m s^{-1} suma daga, sérstaklega í stormum.

Stokes-rek fylgir ölduhæð sem tengist vindhraða að nokkru leyti (3. mynd). Stokes-rek er oftast minna en $0,3 \text{ m s}^{-1}$, en við 20 m s^{-1} vindhraða þegar ölduhæð er meira en 7 m nær Stokes-rek allt að $0,55 \text{ m s}^{-1}$. Það er að segja sérstaklega í stormum skiptir Stokes-rek máli og er heildarrek á vindasömum dögum meira eða minna í sömu átt og öldur og vindur.



2. mynd: Hycom yfirborðsstraumur, ERA5 Stokes-rek og vindhraði þann 1. jan. 2020 kl. 00:00. Efri myndin sýnir yfirborðsstraumhraða (bakgrunnslitir) og -stefnu (örvar). Neðri myndin sýnir Stokes-rek (rauðar örvar og bakgrunnslitir) og vindhraða (svartar örvar).

Figure 2: Hycom surface currents, ERA5 Stokes drift and wind on 01 Jan 2020 at 00:00 UTC. The upper panel shows surface current velocity (background colors) and direction (arrows). The lower panel shows Stokes drift (background colors and red arrows), and wind (black arrows).



3. mynd: Fylgni milli ERA5 vindhraða (x-ás) og ERA5 Stokes-reks (y-ás). Frávik er vegna þess að Stokes-rek er ekki beint fall af vindhraða, heldur ölduhæð. Grænn ferill er nálgun reks frá vindi sem notast var við á svæðum þar sem Stokes-rek eða ölduhæð eru ekki tiltæk í ERA5.

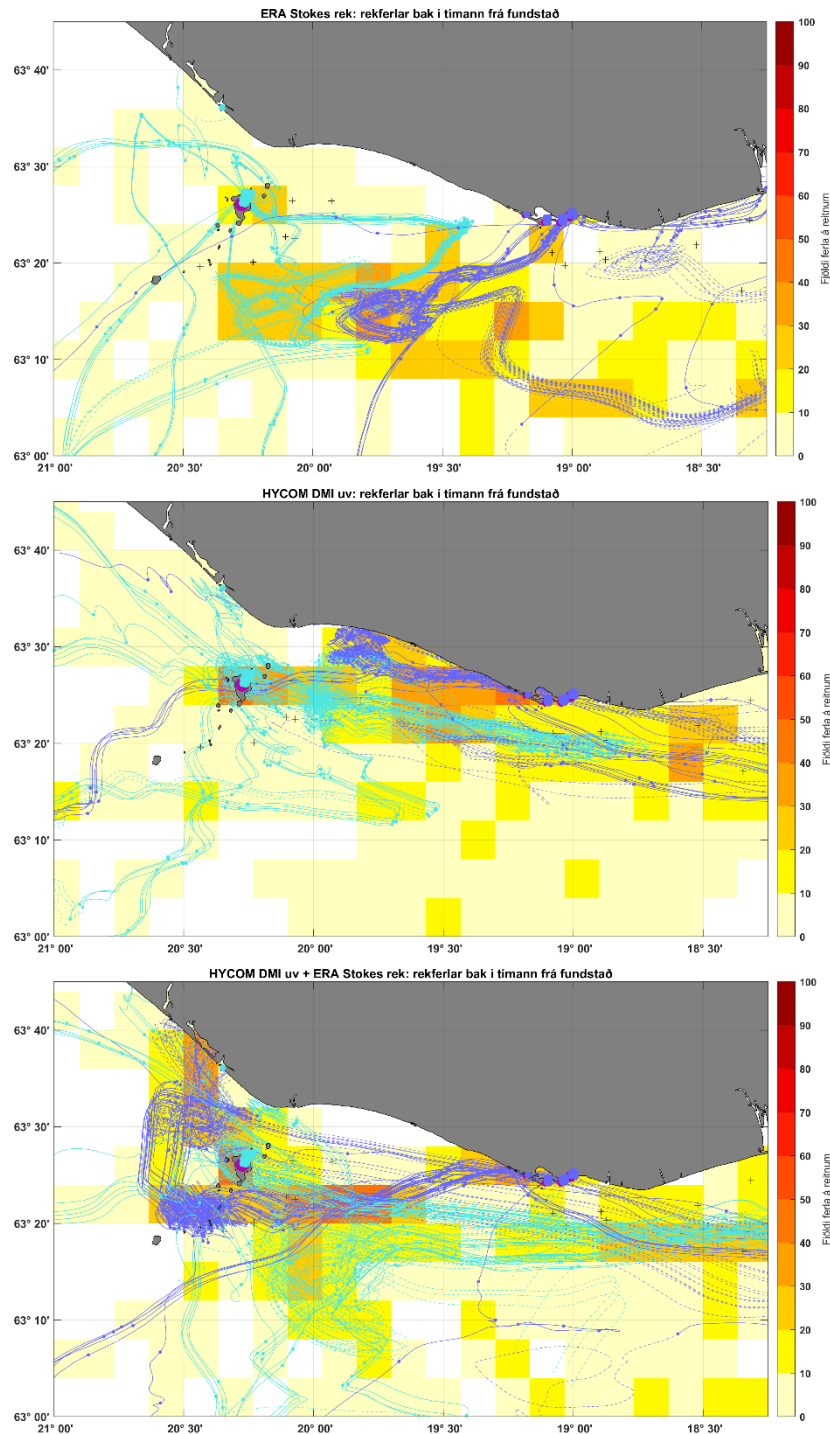
Figure 3: Correlation between ERA5 wind speed (x axis) and ERA5 Stokes drift (y axis). Note that the correlation is compromised by the fact that here, wind speed is used as a proxy for wave height. The green line shows the empirical relation that was applied in areas where no Stokes drift or wave height data is available from ERA5.

Rek aftur á bak frá fundarstöðum

Reikningar aftur á bak í tíma frá fundarstöðum olíublautra fugla bendir til þess að flestir rekferlar skarist á hafsvæði í grennd við Vestmannaeyjar (4. mynd). Þegar horft er á Hycom-straum án Stokes-reks eingöngu (4. mynd, efst), virðast líklegustu upprunasvæði olíu vera beint austur af Vestmannaeyjum eða undir Eyjafjöllum. Rekið yrði yfirleitt í austur-vesturátt með straumum vegna þess að hafstraumar eru aðallega meðfram ströndinni en ekki upp að landi.

Með hliðsjón af Stokes-reki eingöngu (4. mynd, miðja) er svæðið þar sem flestir rekferlar frá bæði Vík og Vestmannaeyjum skarast frekar sunnarlega, við $63^{\circ} 15' \text{ N } 19^{\circ} 45' \text{ V}$. Þar má sjá áhrif vinda en flestir ferlar frá Vík (bláir ferlar) koma úr suðvestri, en ferlar frá Vestmannaeyjum (ljósgrænir ferlar) koma flestir úr austri, þ.e. flestir fuglar í Vík finnast í suðvestanáttum, en fuglar í Eyjum í austanáttum. Við þessa athugun vantar þó áhrif strauma.

Ef litið er til bæði Hycom-strauma og Stokes-rek (4. mynd, neðst) er það svæði þar sem flestir ferlar skarast við aðra ferla frá bæði Vík og Vestmannaeyjum nálægt $63^{\circ} 20' - 63^{\circ} 25' \text{ N } 20^{\circ} 00' \text{ V} - 19^{\circ} 45' \text{ V}$, og skarast 55% allra ferla við þetta svæði. Önnur svæði skarast hins vegar nánast eingöngu við ferla frá Vík eða frá Vestmannaeyjum, en ekki frá báðum stöðum.



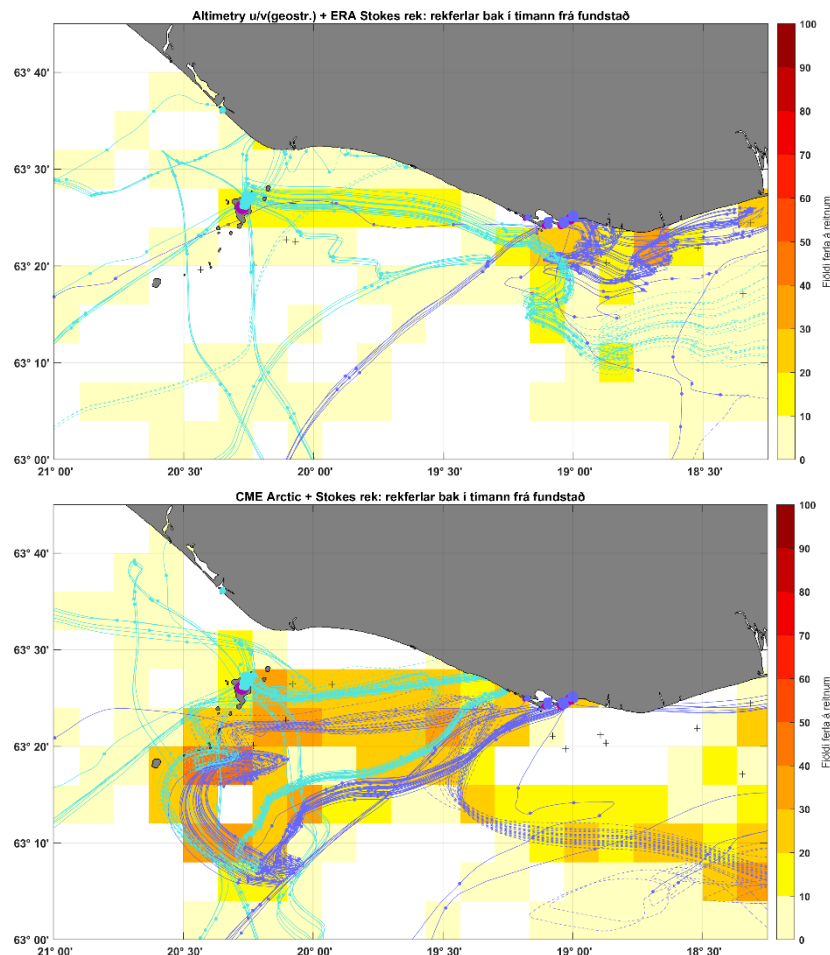
4. mynd: Rekferlar (Hycom og/eða Stokes-rek) aftur á bak í tíma frá fundarstöðum. Bláir ferlar eru frá Reynisfjöru, Vík og austar, ljósgrænir frá Vestmannaeyjum og fjóluþláir frá Ölfusi og vestar. Doppur á rekferlum eru á 1 sólarhrings millibili. Heilar línur tákna síðustu 7 daga að fundarstað, doppóttar línur 7 til 14 daga, en ferlar enda 14 daga fyrir fundarstað. Bakgrunnslitir tákna fjölda mismunandi fugla á viðkomandi svæði, hámarksfjöldinn er 94 fuglar. Lituð svæði sem skarast ekki við neina ferla eru svæði þaðan sem rek að fundarstað tekur lengri tíma en 14 daga. Líklegustu upprunasvæði olíunnar má telja þau svæði þar sem flestir ferlar skarast (bæði bláir og grænir). Efst: Stokes-rek eingöngu. Miðja: Hycom straumur eingöngu. Neðst: Hycom straumur + Stokes-rek.

Figure 4: Drift trajectories tracked backward from find locations. Blue lines connect finds from Reynisfjara, Vík and further east, green from Vestmannaeyjar, purple from Ölfus and further west. Dots on the trajectories are spaced 24 hrs apart. The last 7 days before the find are shown with continuous lines, 7 – 14 days before the find with dotted lines. Trajectories end 14 days before the find. Background colors indicate the number of different birds that passed through each square, the maximum possible number is 94 birds. Colored areas without trajectories are areas where the drift took longer than 14 days. Areas where most trajectories, both blue and green ones, intersect, may be considered as most likely origin of the pollution. Top panel: Stokes drift only. Middle panel: Hycom current only. Bottom panel: Hycom current and Stokes drift combined.

Þegar horft er á SSH (Altimetry) eða CMEMS færast líklegustu upprunasvæði aðeins til. Altimetry + Stokes-rek (5. mynd, efst) bendir á hafsvæði fyrir utan Vík og Kötlutanga, en það þarf að hafa í huga að SSH sýnir aðeins hluta yfirborðsstrauma og því er ekki hægt að greina Ekman-straum frá SSH.

CMEMS-líkan + Stokes-rek (5. mynd, neðst) er hins vegar sambærilegt við niðurstöður úr Hycom+Stokes-rek (4. mynd neðst). Svæði þar sem flestir ferlar frá bæði Vestmannaeyjum og Vík skarast eru austan við Vestmannaeyjar, þó aðeins nærri Eyjum en í Hycom + Stokes-rek spám. Þá sýna spár CMEMS + Stokes-rek auknar líkur einnig á svæði nálægt Súlnaskeri, sunnan við Vestmannaeyjar og austan við Surtsey, en 49% allra ferla skarast þar.

Hafa þarf í huga að nákvæm staðsetning viðkomandi svæðis gæti færst til ef vind- og Stokes-rek hafa verið vanmetin eða ofmetin.



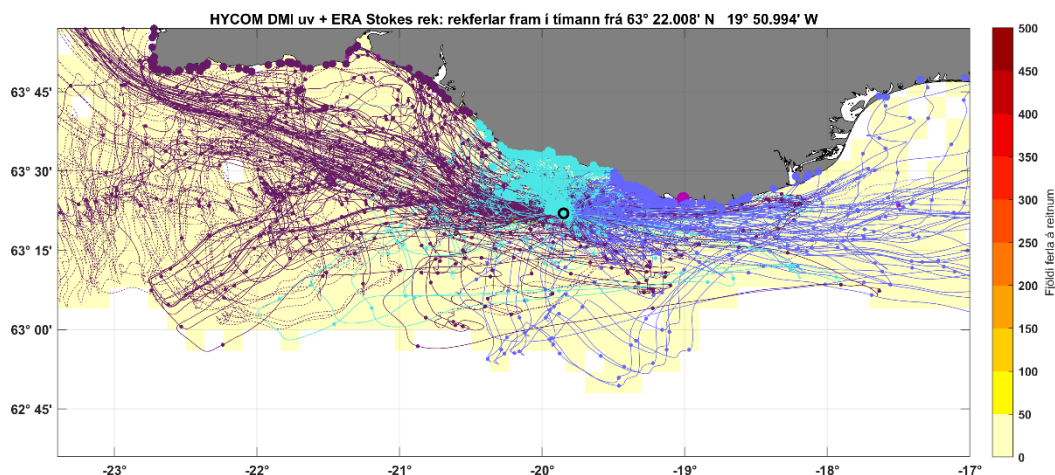
5. mynd: Rekferlar (geostrophic straumur, Stokes-rek og CMEMS) aftur á bak í tíma frá fundarstöðum. Efst: Geostrophic straumur og Stokes-rek. Neðst: CMEMS straumur + Stokes-rek. Fyrir skýringar, sjá 4. mynd.

Figure 5: Drift trajectories tracked backward from find locations. Top panel: Geostrophic current from altimetry and Stokes drift combined. Bottom panel: CMEMS current and Stokes drift combined. For explanations, see figure caption 4.

Rek fram í tímann frá mögulegum uppruna

Reiknuð var dreifing mengunar frá tilteknum uppruna fram í tímann. Í útreikningum er gert ráð fyrir stöðugri olíulosun á sex klst. fresti og þannig fást 484 rekferlar frá 1. janúar – 30. apríl 2020.

6. mynd sýnir niðurstöður þegar $63^{\circ} 22' N$ $19^{\circ} 51' V$ er valið sem upprunastaður olíumengunar sem er innan líklegs svæðis í aftur-á-bak útreikningum fyrir Hycom straum + Stokes-rek.



6. mynd: Rekferlar fram í tíma frá mögulegum upprunastað við $63^{\circ} 22' N$ $19^{\circ} 51' V$ (svartur hringur). Hycom straumar + ERA5 Stokes-rek. 484 rekferlar sem byrja frá upprunastað á 6 klst. fresti milli 1. jan. og 1. maí 2020. Bláir ferlar enda í Dýrhólasveit, Vík og austar. Ljósgrænir ferlar enda í Vestmannaeyjum, undir Eyjafjöllum og í Landeyjum. Fjólubláir ferlar enda vestar, m.a. við Ölfus, Reykjanes og víðar. Doppur á rekferlum merkja hvern sólarhring. Heilar línur tákna rek á fyrstu 7 dögum, doppóttar línur sýna rekið frá degi 7 til dags 14. Ferlar enda eftir 14 daga eða við strandstað sem er merktur með stærri doppu.

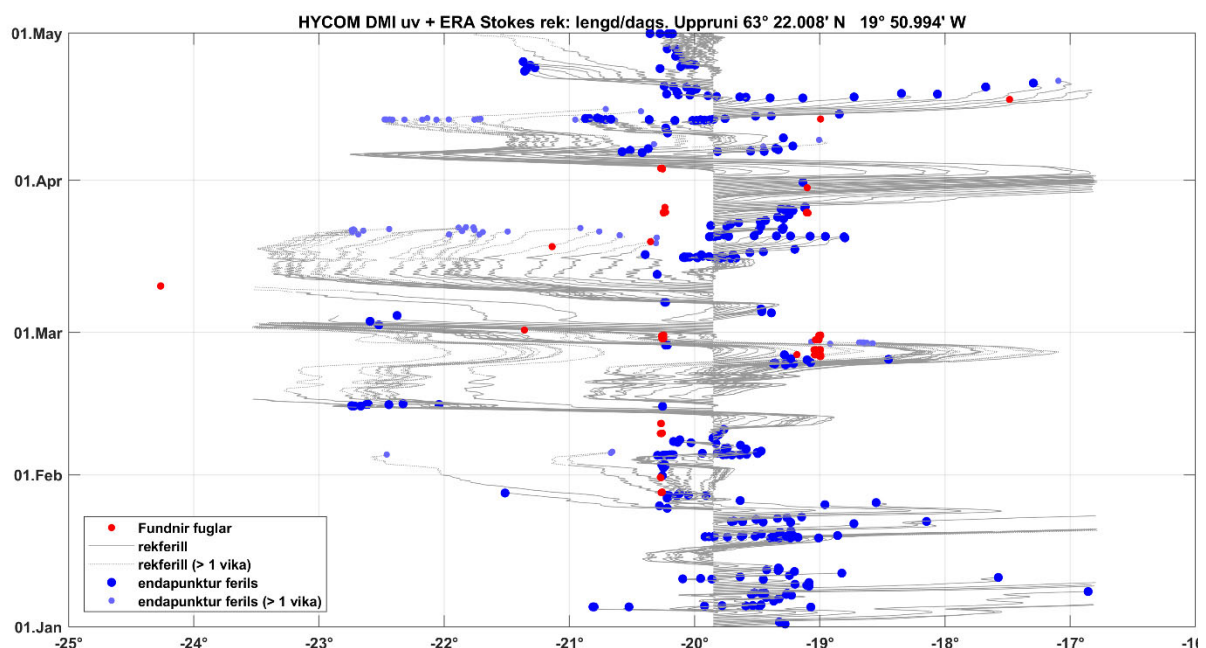
Figure 6: Drift trajectories tracked forward from possible origin at $63^{\circ} 22' N$ $19^{\circ} 51' W$ (black circle); Hycom currents and ERA5 Stokes drift. 484 trajectories starting from origin at 6 hours intervals between 01 Jan and 01 May, 2020. Blue trajectories end in Dýrhólasveit, Vík and further east. Light green trajectories end in Vestmannaeyjar, Eyjafjöll and Landeyjar, purple lines terminate further west, including Ölfus and Reykjanes. Dots on trajectories are spaced 24 hrs. apart. Continuous lines indicate the first 7 days of drift, dotted lines from day 7 to 14. Trajectories terminate after 14 days, or at the coast (marked with a larger dot).

Til að athuga nánar hvort spáð rek sé í samræmi við staðsetningar og dagsetningar tilkynntra fugla má horfa á 7. mynd, sem sýnir lengdargráðu (x-ás) á móti tíma (y-ás). Þar má sjá að mengunin rekst ýmist til austurs eða til vesturs (gráir ferlar), en stundum helst mengunin úti á sjó lengur en viku áður en líkanið spáir að „fugla“ reki á land á stuttum tíma (bláar doppur). Algengt er að margi „fugla“ reki þá á land á sama stað, en stundum dreifast þeir langt út með ströndinni til austurs eða vesturs.

Það er áberandi að flestar tilkynningar um olíublauta fugla (rauðar doppur) berast frá sambærilegum slóðum og á sama tíma og líkanið spáir fuglareki á viðkomandi svæði.

Sem dæmi má nefna að nokkrir fuglar fundust í Vík í lok febrúar 2020, á sama tíma og líkanið spáði fjölda fugla þar. Það sama gerðist í lok mars, en í miðjum apríl spáði líkanið fuglum við strönd jafnvel frekar austarlega þegar tilkynning um olíublautan fugl barst frá Síðugrunni. Tilkynningar frá Landeyjum og allt að Þorlákshöfn passa yfirleitt við rek til vesturs skv. líkanaútreikningum.

Það sama gildir yfirleitt fyrir Vestmannaeyjar, þó ekki sé útilokað að olíublautir fuglar sem fundust í Klettsvík í Vestmannaeyjum hafi orðið fyrir staðbundinni mengun í höfninni. Fuglar finnast aðallega í Vestmannaeyjum þegar rekið er til vesturs (í austanáttum), en einnig þegar rekið er til norðurs (í sunnanáttum). Það bendir til þess að uppruni mengunar gæti verið frekar nálægt Vestmannaeyjum þannig að olíublautir fuglar nái til Eyja í mismunandi áttum.

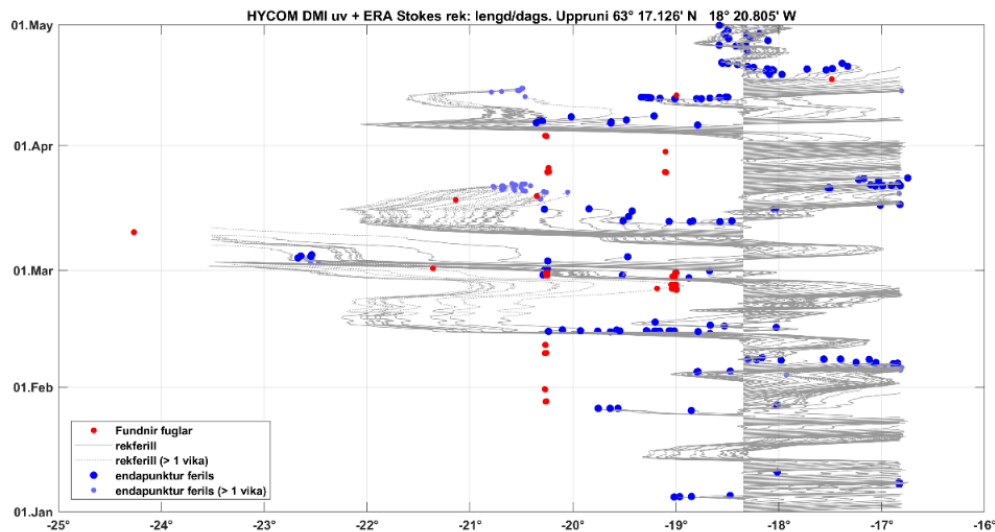


7. mynd: Spáð rek (lengdargráður/tími) mengunar frá upprunastað við 63° 22' N 19° 51' V. Hycom straumur + ERA5 Stokes-rek. y-ás er tími, frá 1. jan – 1. maí 2020, en x-ás táknar lengd (°W). Rekferlar byrja við uppruna á 6 klst. fresti en reiknast til endapunkts við strönd (bláar dopper). Ferlar án doppu fara lengra en á Síðugrunn að austan eða Reykjanes að vestan. Sverar línur og doppur tákna strand innan við 7 daga, grennri línur og doppur tákna strand eftir meira en 7 daga rek. Rauðar doppur sýna tilkynningar um olíublautu fugla. Athugið að Vík er við 19° V, Vestmannaeyjar við 20° 20' V, Þorlákshöfn við 21° 20' V. Ekki var reiknað rek allan leið að fundarstað vestan við Öndverðarnes (24,25°V) þann 10. mars, en það er talsvert rek framhjá Reykjanesi í byrjun mars.

Figure 7: Calculated drift from assumed origin at 63° 22' N 19° 51' W, using Hycom currents and ERA5 Stokes drift. The y axis is time from 01 Jan to 01 May 2020, the x axis relates to geographical length (°W). Trajectories start at 6 hours intervals at origin, and terminate when reaching the coast (blue dot). Trajectories without dots extend beyond Síðugrunn in the east, or Reykjanes in the west. Trajectories ending at the coast within 7 days are shown with heavy lines and dots; light lines and dots depict drift lasting longer than 7 days. Red dots show actual bird finds reported to the Environmental Authority. Note that Vík is at 19°W, Vestmannaeyjar at 20° 20' W, and Þorlákshöfn at 21° 20' W. Drift to the bird find off Öndverðarnes (24.25°W) on 10 March 2020 was not calculated, but the model predicts several trajectories extending beyond Reykjanes a few days earlier.

Einnig var skoðað rek fram í tímann frá öðrum stöðum, en samræmi við tilkynningar var yfirleitt minna en í tilfelli uppruna austan við Vestmannaeyjar. Sem dæmi má sjá rek frá flaki

Kampen sem liggur SA við Vík (8. mynd). Dreifing mengunar frá Kampen samræmist þó illa tilkynningum um olíublaut fugla í Vík (19° V) og í Vestmannaeyjum ($20^\circ 20'$ V), t.d. í lok mars þegar spár gerðu ráð fyrir reki til austurs.



8. mynd: Spáð rek (lengdargráður/tími) mengunar frá upprunastað við flakið „Kampen“. Skýringar eins og við 7. mynd.
Figure 8: Calculated drift from assumed origin at wreck „Kampen“. For explanations, see figure 7.

Þegar horft er á spáð rek frá mögulegum uppruna við $63^\circ 22' N$ $19^\circ 51' V$ í myndböndum sést vel hvernig mengunin berst í mismunandi áttir með hafstraumum og vindi. Athyglisvert er að spáð mengun getur verið lengi nálægt upprunastað í rólegu veðri. En þegar blæs nær rekhraði allt að 1 m s^{-1} og í suðvestan- eða sunnanáttum nær mengunin landi á stuttum tíma, annaðhvort við Vík, í Vestmannaeyjum eða vestar, allt eftir ráðandi vindátt hverju sinni. Nokkur dæmi frá völdum dögum má sjá á 9. mynd.

- Dæmi frá dags. 31.1.2020 sýnir frekar staðbundið rek í NV til Vestmannaeyja. Það má telja ólíklegt að mengunin frá t.d. flaki Kampen (SA við Vík) nái til Eyja án þess að fugla ræki í land við Vík.
- Þann 25.2.2020 beindist rekið í NA-átt til Víkur og þá fundust alls 30 olíublautir fuglar í Vík og í Reynisfjöru á tímabilinu dags. 25. – 28.2.2020.
- Þann 2.3.2020 var suðaustan stormur og líkön spá hröðu reki (meira en 1 m s^{-1}) til VNV vegna áhrifa stormsins og strauma. Á sama tíma fannst olíublautur fugl við Þorlákshöfn og átta dögum síðar þann 10.3.2020 barst tilkynning um olíublautan fugla á svæði utan við Snæfellsnes sem samsvarar rekhraða um $0,2 \text{ m s}^{-1}$ á þessum 150 km kafla frá Reykjanesi til Öndverðarness.
- Þann 17.4.2020 var rekið hins vegar til austurs. Engar tilkynningar bárust frá Vík, en ein tilkynning barst frá Síðugrunni sem er í samræmi við spár frá Hycom + ERA5-Stokes. (CMEMS + ERA5 spá hins vegar ekki reki svona langt til austurs).

	31.1.2020 kl. 11:00 Tilkynning um olíublauta fugla frá Vestmannaeyjum barst UST. Hægviðri, spáð rek síðustu sjö daga á undan aðallega í grennd við Vestmannaeyjar.
	25.2.2020 kl. 16:00 Nokkrar tilkynningar um olíublauta fugla bárust frá Reynisfjöru og Vík. Spáð rek til aust-norð-austurs dagana á undan.
	2.3.2020 kl. 07:00 Ein tilkynning um olíublauta fugla við Þorlákshöfn og átta dögum síðar barst tilkynning frá Öndverðarnesi. Suðaustanhvassviðri, hröðu reki spáð við Reykjanes og lengra vestur dagana á undan.
	17.4.2020 kl. 21:00 Ein tilkynning um olíublautan fugl frá Síðugrunni. Hægu reki spáð til norðausturs og lengra austur dagana á undan.

9. mynd: Spáð rek skv. Hycom straum + Stokes-rek á völdum dagssetningum auk tilkynninga um fundna olíublauta fugla. Bláar doppur sýna mengun (olíu) á reki, með þriggja daga „hala“ (þunnar línur) til þess að meta rekátt og hraða. Bláar stjörnur tákna reiknað strand fugla, en rauðar stjörnur tákna tilkynningar um olíublauta fugla. Bakgrunnslitir og svörtu örvarnar tákna rekhraða, litlu örvarnar yfirborðs-strauma (blá) og Stokes-rek (rauð). Stærri örin við Stórhöfða sýnir vindhraða skv. mælingum (blá) og ERA5 (fjólublá).

Figure 9: Selected snapshots of drift trajectories with Hycom currents and Stokes drift. Blue dots show position of drifting oil/birds, with a 3 days „tail“ (thin lines) to indicate drift direction and velocity. Blue stars indicate calculated beachings of birds; red stars show reported bird findings. Background colors indicate drift velocity, blue arrows show surface current, and red arrows Stokes drift. The larger arrows at Stórhöfði show wind speed according to observations (blue) and ERA5 (red), respectively.

Umræður

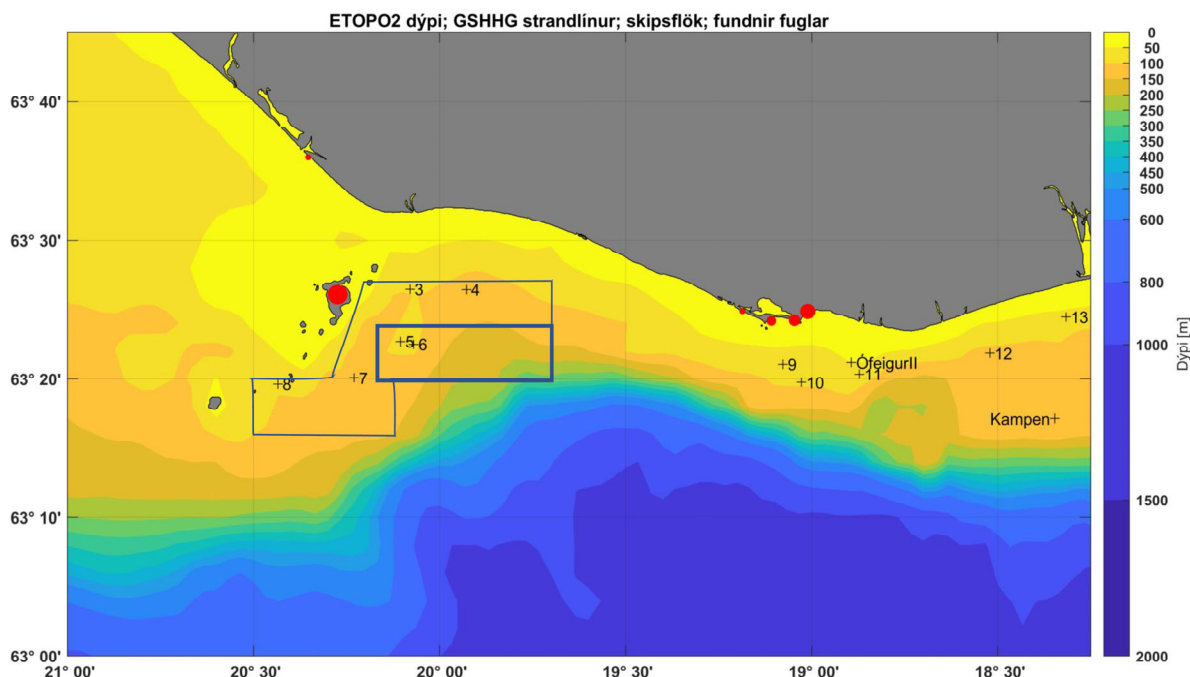
Útreikningar benda til þess að flest tilfelli fuglareks á suðurströndinni eigi sér stað þegar vindur hefur blásið úr SA, S eða SV áttum og Stokes-rek (öldugangur) vísar að landi. Þegar bæði straumhraði og vindhraði er lítill berst mengunin hins vegar aðallega á haf út og þá má búast við tiltölulega færri fuglum sem reka að landi, nema e.t.v. til Vestmannaeyja.

Líklegasta upprunasvæði mengunar má telja hafsvæðið um 3 til 12 sjómílur austan og suðaustan við Vestmannaeyjar (10. mynd), við $63^{\circ} 20' - 63^{\circ} 25' \text{ N } 20^{\circ} 00' \text{ V} - 19^{\circ} 45' \text{ V}$. Á þessu svæði skarast flestir rekferlar, bæði frá Vík og frá Vestmannaeyjum. Spár sem byggja á Hycom + Stokes-reki telja líkur á að uppruni sé á þessu svæði vera 55%, en 30% ef horft er á CMEMS + Stokes-rek.

Svo má telja að einhverjar líkur séu á að uppruni olíumengunar sé innan stærra svæðis um 1 til 12 sjómílur beint austan við Vestmannaeyjar (við $63^{\circ} 20' \text{ N} - 63^{\circ} 28' \text{ N } 20^{\circ} 10' \text{ V} - 19^{\circ} 45' \text{ V}$) eða nálægt Súlnaskeri (við $63^{\circ} 16' \text{ N} - 63^{\circ} 20' \text{ N } 20^{\circ} 30' \text{ V} - 20^{\circ} 15' \text{ V}$). Líkur á að uppruni sé innan þessa stærra svæðis eru um 80% samkvæmt Hycom + Stokes-rek spám, en 66% þegar litið er til CMEMS + Stokes-rek.

Það eru nokkur þekkt skipsflök á þessum svæðum, sum þeirra má telja líklegri en önnur sem uppruni megnunarinnar (tafla 1) þó ekki sé hægt að greina ákveðið flak sem uppruna. Hins vegar má telja heldur minni líkur á að uppruni olíumengunar sé á svæði í grennd við Vík eða SA frá Vík (t.d. frá Kampen) – reiknað rek frá þessum slóðum samræmist ekki eins vel við tilkynnta fundarstaði og dagsetningar olíublautra fugla.

Það þarf að taka fram að vegna óvissu í líkanagögnum sem og mögulegs vanmats eða ofmats rekhraða er ekki útilokað að uppruni sé utan þessa svæðis.



10. mynd: Skipsflök við suðurströndina og líklegustu upprunasvæði olíumengunar. Rammi afmarkaður með þykkum línur tákna líklegasta upprunasvæði mengunar (*frekar líklegt*), en stærra svæðið afmarkað með finni línu má telja *heldur líklegt*. Önnur svæði utan við rammanna teljast *ólíklegt*. Plús-tákn sýna þekkt skipsflök, en númer og heiti vísa í töflu 1.

Figure 10: Most likely origin of the pollution. The heavy frame indicates the area with highest probability, the lighter frame shows extended area with somewhat higher probability. Black plus signs indicate known shipwreck. Shipwreck numbers and names refer to table 1.

Tafla 1. Skipsflök við suðurströndina, skv. upplýsingum úr sjókortum og frá Landhelgisgæslu. Síðasti dálkur segir til um líkur á að viðkomandi flakið sé mögulega uppruni mengunar, skv. rekútreikningum. Líkur flokkast í „ólíklegt“ (0–20%), „heldur líklegt“ (20–45%) og „frekar líklegt“ (>45%) annaðhvort í Hycom + Stokes-rek eða CMES + Stokes-rek greiningum. Staðsetninga skipsflaka má sjá á 10. mynd.

Table 1: Shipwreck off South Iceland, according to nautical charts and information from the Icelandic Coast Guard. The last column comments on the likelihood of each wreck as source of the observed pollution, according to the drift estimates of this study. Estimated probabilities are classified as „unlikely“ („ólíklegt“, <20%), „likely“ („heldur líklegt“, 20–45%), or „quite likely“ („frekar líklegt“, >45%), based on Hycom + Stokes drift, or CMES + Stokes drift estimates. Wreck positions are shown in figure 10.

Nr.	Breidd	Lengd	Staður	Athugasemdir	Metnar líkur á uppruni mengunar
1	63° 17.126' N	018° 20.805' W	12M SA Kötlutanga	Kampen	ólíklegt
2	63° 21.200' N	018° 53.600' W	5M SA Vík	Ófeigur II VE324 skv. TTS 11-12-01	ólíklegt
3	63° 26.460' N	020° 04.764' W	4M A Vestmannaeyjar	sjókort	heldur líklegt
4	63° 26.424' N	019° 55.686' W	8M A Vestmannaeyjar	sjókort	heldur líklegt
5	63° 22.722' N	020° 06.300' W	4M SA Vestmannaeyjar	sjókort	frekar líklegt
6	63° 22.518' N	020° 04.188' W	6M SA Vestmannaeyjar	sjókort	frekar líklegt
7	63° 20.082' N	020° 13.776' W	5M A Súlnasker	sjókort	heldur líklegt
8	63° 19.614' N	020° 26.058' W	1M V Súlnasker	sjókort	heldur líklegt
9	63° 21.066' N	019° 04.614' W	3M S Reynisfjöru	sjókort, engar uppl. hjá LHG	ólíklegt
10	63° 19.746' N	019° 01.644' W	5M S Reynisfjöru	sjókort, engar uppl. hjá LHG	ólíklegt
11	63° 20.346' N	018° 52.296' W	6M SA Vík	sjókort, engar uppl. hjá LHG	ólíklegt
12	63° 21.870' N	018° 31.254' W	5M ASA Kötlutanga	sjókort, engar uppl. hjá LHG	ólíklegt
13	63° 24.444' N	018° 19.002' W	2M S Alviðruhamrar	sjókort	ólíklegt

Samantekt

Á árunum 2020 – 2022 fundust olíublautir fuglar víða við suðurströndina. Reynt var að greina möguleg upprunasvæði olíumengunar með því að reikna rek aftur á bak í tíma frá þekktum fundarstöðum og reikna rek fram í tíma frá tilteknum upprunastöðum. Reiknað rek með hafstraumum úr Hycom-líkani og Stokes-rek frá ERA5 samræmist nokkuð vel dagsetningum og fundarstöðum olíublautra fugla í Vestmannaeyjum, Reynisfjöru, Vík og víðar með suðurströndinni. Útreikningar benda til þess að uppruni olíumengunar sé á hafsvæði um 1 til 12 sjómílur austan eða suðaustan við Vestmannaeyjar.

Hægt er að uppfæra útreikninga með nýjum gögnum fyrir árin 2021 og 2022 til þess að skilgreina upprunasvæðið betur, þó má ekki búast við því að hægt sé að staðfesta að mengun berist úr ákveðnu skipsflaki með líkanareikningum eingöngu. Ákjósanlegt væri að skipverjar sem verða varir við olíuflekki á sjó tilkynni dagsetningu og fundarstað (GPS-hnit) til Umhverfisstofnunar. Til þess að koma í veg fyrir frekari mengun þarf að rannsaka viðkomandi svæði og skipsflök nánar og fara í aðgerðir þegar uppruni mengunar hefur verið staðfestur.

Þakkarorð

Sigurros Friðriksdóttir (Umhverfisstofnun) útvegaði tilkynningar um fundarstaði og dagsetningar olíublautra fugla. Angel Ruiz-Angulo (Háskóli Íslands, þá starfandi hjá Veðurstofu Íslands), útvegaði gögn frá Hycom líkani. Vindmæligögn fengust frá Halldóri Björnssyni hjá Veðurstofu Íslands.

ERA5 gögn um vind, öldur og Stokes-rek fengin frá Copernicus Climate Change Service, <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>. Gögn um sjávarhæð (SSH) fengin frá E.U. Copernicus Marine Service Information, <https://doi.org/10.48670/moi-00142>. Gögn frá CMEMS straumlíkani fengin frá E.U. Copernicus Marine Service Information, <https://doi.org/10.48670/moi-00001>. Sjávarfallalíkanið OSU-TPXO fengið frá <https://www.tpxo.net/global/tpxo9-atlas>.

Rakel Guðmundsdóttir, Sigurros Friðriksdóttir, Angel Ruiz-Angulo og Steingrímur Jónsson lásu yfir skýrsluna.

Heimildir

Egbert, G. D., og Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., og Thépaut, J.-N. (2018). *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on 15-May-2020), 10.24381/cds.adbb2d47

Héðinn Valdimarsson og Svend-Aage Malmberg. (1999). *Near-surface circulation in Icelandic waters derived from satellite tracked drifters*. *Rit fiskideildar* 16 (1999), 23-39.

Keramea, P., Spanoudaki, K., Zodiatis, G., Gikas, G., og Sylaios, G. (2021). Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 181, doi.org/10.3390/jmse9020181

Madsen, K.S., Rasmussen, T.A.S., Ribergaard, M.H., og Ringgaard, I.M. (2016). High resolution sea ice modelling and validation of the Arctic with focus on south Greenland waters, 2004-2013. *Polarforschung*, 85 (2), 101-105, doi:10.2312/polfor.2016.006

Melsom, A., Counillon, F., LaCasce, J. H. og Bertino, L. (2012): Forecasting search areas using ensemble ocean circulation modeling. *Ocean Dyn.*, 62(8), 1245–1257, doi:10.1007/s10236-012-0561-5

Sakov, P., Counillon, F., Bertino, L., Lisæter, K. A., Oke, P. R. og Korabely, A. (2012). TOPAZ4: an ocean-sea ice data assimilation system for the North Atlantic and Arctic. *Ocean Sci.*, 8(4), 633–656, doi:10.5194/os-8-633-2012

Tamtare, T., Dumont, D., og Chavanne, C. (2022) The Stokes drift in ocean surface drift prediction. *Journal of Operational Oceanography*, 15:3, 156-168, DOI:10.1080/1755876X.2021.1872229

Unnsteinn Stefánsson. (1994). *Haffræði II*. Háskóli Íslands, Háskólaútgáfan, 1994.

Yang Yiqiu, Li Yan, Li Juan, Liu Jingui, Gao Zhiyi, Guo Kaixuan og Yu Han. (2021). The influence of Stokes drift on oil spills: Sanchi oil spill case. *Acta Oceanologica Sinica*, 40(10): 30–37, doi: 10.1007/s13131-021-1889-9

Viðaukar

Viðauki 1. Tilkynningar um olíublauta fugla 1.1. – 30.4.2020. Taflan er samantekt úr upplýsingum frá Umhverfisstofnun og er notuð við greiningu í þessari skýrslu.

Appendix 1: Reported finds of oil-polluted birds 01 Jan – 30 Apr 2020. The table is based on information from the Environment Agency of Iceland and serves as data basis of this report.

Dagsetning	Staðsetning	Fjöldi fugla	Tegund	Hver tilkynnti	Athugasemdir
2020					
28.1.2020	Vestmannaeyjar	15		Uppl. frá Sea Life Trust	Fyrstu fuglarnir sem fundust í Eyjum komu til Sea Life Trust 28. janúar, svo 31. janúar, 9. og 11. febrúar, einn eða fleiri í hvert sinn. Ath frá DFJ: 15 er lágmarkstala, í mars var uppsöfnuð tala fugla í meðhöndlun komin yfir 20 frá áramótum.
25.2.2020	Reynisfjara	3		Fuglavernd	Landvörður náði einum fugli sem fór til Sea Life Trust
25.2.2020	Víkurfjara	11		Mýrdalshreppur	Einn fugl slapp út í sjó
25.2.2020	Dyrhólahverfi	1		Mýrdalshreppur	
26.2.2020	Reynisfjara	5		Mýrdalshreppur	Tveir fuglar náðust ekki
26.2.2020	Víkurfjara	5		Mýrdalshreppur	
26.2.2020	Víkurhverfi	1		Mýrdalshreppur	
26.2.2020	Reynisfjara	2	Langvíur	Einstaklingur	
28.2.2020	„Black sand beach of Vík“/Reynisfjara	1		Ferðamaður	Sama fugl og fyrir neðan?
28.2.2020	Víkurfjara	1	Langvía	Landvernd	
29.2.2020 – 1.3.2020	Í Löngunni (undir Heimakletti, við höfnina) og aðrir 10 í Brimurð	20		Náttúrustofa Suðurlands	
lok feb 2020	Vík	5	Langvíur		Fréttist af fuglum í meðhöndlun í Vík
1.3.2020	Við Þorlákshöfn	1	Langvía	Gönguhópur	
10.3.2020	Um 10 sjómílur NNV af Öndverðarnesi N.64.58.00 W.24.00.00	2	Súlur	Bátur	
18.3.2020	Eyrarbakka fjara	1	Langvía	Á Facebook (Fuglafréttir úr Árnessýslu)	Náðist ekki þrátt fyrir tilraunir
19.3.2020	Landeyjar	1	Æðarbliki	Starfsmaður UST	Blautur fugl á varnargarði Landeyjahafnar
25.3.2020	Við Dyrhólaey	5	Langvíur	Landeigandi	Fjórar náðust og fuglum komið í húsdýragarðinn. Drápust allar.
25.3.2020	Vestmanneyjar (Brimurð)	5	1 æðarbliki og 4 langvíur	Náttúrustofa Suðurlands	
26.3.2020	Vestmanneyjar (Brimurð)	1	Æðarbliki	Náttúrustofa Suðurlands	
30.3.2020	Dyrhólaey	1	Langvía	Starfsmaður UST	Stakur blautur fugl sást í fjörunni, austan við Dyrhólaey
3.4.2020	Vestmannaeyjar	(5)		Facebook síða Náttúrustofu Suðurlands	Olíublautir fuglar í Löngu. Fjöldi ekki þekktur, en hér er miðað við 5 fuglar.
13.4.2020	Vík	1	Skarfur	Einstaklingur	Landvörður leitaði fuglsins en fann ekki
17.4.2020	Síðugrunn	1	Lundi	Bátur	Farið með til Sea Life Trust til hreinsunar

Viðauki 2. Tilkynningar um olíublauta fugla á seinna tímabilinu, 1.5.2020 – 1.3.2022. Taflan er samantekt úr upplýsingum frá Náttúrustofu Suðurlands (2021) og Umhverfisstofnun (2022).

Appendix 2: Reported finds of oil-polluted birds in the later period from 01 May 2020 – 01 March 2022. The table has been compiled based on information from Náttúrustofa Suðurlands (2021) and the Environment Agency of Iceland (2022).

Dagsetning	Staðsetning	Fjöldi fugla	Tegund	Hver tilkynnti	Athugasemdir
2020					
11.7.2020	Landeyjahöfn-Hólsá	1		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
24.8.2020	Landeyjahöfn-Affall	4		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
17.12.2020	Markarfljót-Skipagerðisós	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
2021					
18.2.2021	Landeyjahöfn-Hólsá	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
24.3.2021	Landeyjahöfn-Hólsá	1		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
26.5.2021	Landeyjahöfn-Affall	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
10.7.2021	Landeyjahöfn-Affall	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
mið júl.21(?)	Bjarnarey + úteyjar	nokkrir		Náttúrustofa Suðurlands	útataðir fuglar
11.8.2021	Landeyjahöfn-Hólsá	2		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
9.9.2021	Landeyjahöfn-Affall	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
13.10.2021	Landeyjahöfn-Affall	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
11.11.2021	Landeyjahöfn-Affall	1		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
18.12.2021	Landeyjahöfn-Affall	0		Náttúrustofu Suðurlands	vöktun
2022					
jan. 2022	Vestmannaeyjar	nokkrir			
28.1.2022	Klauf, Vestm.	1	Æðarfugl	Facebook	
29.1.2022	Klettsvík, Vestm.	1	Langvía	Facebook	
3.2.2022	Reynisfjara	1	Langvía	til UST	



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna