NÁTTÚRUSTOFA VESTFJARÐA

Aðalstræti 12
415 Bolungarvík
nave@nave.is

Marhálmur í Þorskafirði Djúpafirði og Gufufirði

Vegagerð á milli Bjarkalundar og Skálaness í Reykhólahreppi

Hulda Birna Albertsdóttir

Maí 2025

NV nr. 14-25

<table>
<tr><td colspan="2">NÁTTÚRUSTOFA VESTFJARÐA</td><td>Dagsetning Mán/ár:
Maí 2025</td></tr>
<tr><td>Skýrsla nr.:
NV nr. 14-25</td><td>Verknúmer:
583</td><td rowspan="2">Dreifing:
☒ Opin
☐ Lokuð til:
☐ Háð leyfi verkkaupa</td></tr>
<tr><td>Upplag:</td><td>Verkstig:
LOKASKÝRSLA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Heiti skýrslu:
Marhálmur í Þorskafirði, Gufufirði og Djúpafirði. Vegagerð á milli Bjarkalundar og Skálaness í Reykhólahreppi.</td><td>Unnið fyrir:
Vegagerðina</td></tr>
<tr><td colspan="2">Höfundur:
Hulda Birna Albertsdóttir</td><td>Verkefnastjóri:
Hulda Birna Albertsdóttir</td></tr>
<tr><td colspan="2">Lykilorð:
Marhálmur, fjara, Þorskafjörður, Gufufjörður, Djúpifjörður, Vegagerð, framkvæmdir.</td><td>Keywords:
Seagrass, seashore, Þorskafjörður, Gufufjörður, Djúpifjörður, Road construction, construction.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Undirskrift verkefnastjóra:
Hulda Birna Albertsdóttir</td><td>Yfirfarið af:
Sigurður Halldór Árnason</td></tr>
</table>

ÚTDRÁTTUR

Vegagerðin hefur fengið framkvæmdaleyfi vegna vegagerðar um Vestfjarðaveg (60) milli Bjarkalundar og Skálaness. Áður en framkvæmdir og vöktun samhliða þeim hófust, voru grunngögnum aflað um lífríki svæðisins og endurheimtaraðgerðir skilgreindar. Þessi skýrsla fjallar um mælingar á þekju marhálms í Þorskafirði, Djúpafirði og Gufufirði 2021-2023 og samanburðir við þekju marhálms á sama svæði 2015-2016. Einnig er borið saman þekja marhálms árin 2021-2023, innan og utan við fyrirhugaðar þverannir.

Úttektarsvæði voru byggð á kortlagningu á þekju marhálms í Þorskafirði, Djúpafirði og Gufufirði sem framkvæmd var 2015-2016. Markmið þessarar úttektar var að kanna frekari þekju marhálms í Gufufirði, Djúpafirði og Þorskafirði til að afla grunnupplýsinga um þéttleika og útbreiðslu hans til vöktunar á svæðinu eftir framkvæmdir og til að freista þess að áætla langtímaáhrif fjarðaþveranna á útbreiðslu marhálms í fjörðunum. Athuganir voru gerðar árin 2020-2021 og loftdrónamyndatökur 2021 og 2023 og var kortlagning marhálms árið 2015- 2016 notuð til samanburðar. Voru sett niður þrjú snið á hverju svæði, ljósmyndir teknar og þekjumælingar framkvæmdar. Teknar voru loftdrónamyndir og kortlögð þekja mismunandi hópa eftir myndunum og út frá vettvangsferðum.

Í Þorskafirði var farið á tólf svæði þar sem mælingar sýndu að meðalþekja og hæð marhálms var svipuð milli innanverðs og utanverðs Þorskafjarðar. Kortlagning sýndi töluverða þekju og útbreiðslu marhálms á úttektarsvæðunum, bæði í marhálmsgræðum og innan um aðrar fjörugerðir. Útbreiðsluþekja marhálms í botni Þorskafjarðar reyndist meiri en kortlögð var í árið 2015-2016.

Í Djúpafirði var farið á tíu svæði þar sem mælingar sýndu að meðalþekja marhálms var marktækt meiri í innanverðum firðinum en utanverðum, en hæð var marktækt hærri í utanverðum firðinum en í innri hlutanum. Þekja botnþörunga og rauðþörunga var einnig meiri í utanverðum firðinum.

Í Gufufirði var farið á sjö svæði sem sýndu að meðalþekja marhálms var marktækt meiri í utanverðum firðinum heldur en innanverðum. Meðalþekja brúnþörunga mældist mest vestan megin í innanverðum firðinum og meðalþekja rauðþörunga mest á veglínunni.

Sjávargrös, t.d. marhálmur, hafa oft verið notuð sem umhverfisvísar við mat á heilbrigði sjávarvistkerfa, til að meta breytingar í kjölfar mengunar og til langtímavöktunar vatnshlota. Þau stuðla af kolefnisbindingu í seti en kolefnismagn í sjávargróðurkerfum getur verið mjög breytilegt. Sjávargróðurkerfi eru hins vegar talin eitt af viðkvæmustu vistkerfum í heiminum og eru þau talin lykilþáttur í þjónustu vistkerfa á strandsvæðum. Umhverfisvöktun, sérstaklega á þessu svæði, er því mjög mikilvæg en með því er hægt að nota breytingar á útbreiðslu marhálms á svæðunum sem vísi fyrir breytingar í vistkerfinu, en sýnt hefur verið marhálmur er viðkvæmur fyrir umhverfisbreytingum á t.d. seltustigi, blaðgrænu, kornastærð, sjóndýpi/tærleika, hitastigi, vatnsskiptum og straumi.

EFNISYFIRLIT

Útdráttur ... 3
Efnisyfirlit ... 4
1. Inngangur ... 5
1.1 Staðhættir ... 5
1.2 Um sjávargrös ... 5
2. Markmið og aðferðir ... 7
2.1 Úrvinnsla ... 8
3. Niðurstöður ... 10
3.1 Þorskafjörður ... 10
3.1.1 Kortlagning valinna svæða í Þorskafirði eftir dróna og lágflugsmyndum ... 11
3.2 Djúpifjörður ... 19
3.2.1 Kortlagning valinna svæða í Djúpafirði eftir drónamyndum ... 20
3.3 Gufufjörður ... 27
3.3.1 Kortlagning valinna svæða í Gufufirði ... 28
Umræður ... 32
Heimildir ... 34
Viðauki I ... 39

1. INNGANGUR

Vegagerðin hefur fengið framkvæmdaleyfi vegna vegagerðar um Vestfjarðaveg (60) milli Bjarkalundar og Skálaness og setur Reykhólahreppur Vegagerðinni skilmála varðandi framkvæmd, vöktun og frágang (Reykhólahreppur, 2020). Eitt af þeim skilyrðum að vakta og gera úttektir skv. 8. Kafla Matsskýrslu (Helga Aðalgeirsdóttir og fl., 2017). Áður en framkvæmdir hófust var grunnþekkingu aflað á lífríkinu og fjallar þessi skýrsla um mælingar á þekju marhálms í Þorskafirði, Djúpafirði og Gufufirði með það að markmiði að geta kannað áhrif þveranna á útbreiðslu marhálms síðar meir. Staðsetningar úttektarsvæða byggðust á kortlagningu á þekju marhálms í Þorskafirði, Djúpafirði og Gufufirði sem framkvæmd var 2015-2016 (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016). Þær þekjuskráningar voru notaðar til hliðsjónar við val á staðsetningu á úttektarsvæðum þessara rannsóknar.

1.1 Staðhættir

Ytri hluti allra fjarða sem um ræðir er hluti af vatnshloti 101-1393-C (Breiðafjörður – friðland) sem er 1977 km^2, opin strönd sem snýr í suður með fullsaltaðan sjór (tæknigerð CS2152). Vatnshlotið er innan verndarsvæðis Breiðafjarðar, en á þeim svæðum gilda lög nr. 54/1995 um vernd Breiðafjarðar.

Vatnshlot Þorskafjarðar (101-1271-C) er 5 km^2 og er flokkað sem skjólsæl strönd sem er opin í suðurátt (tæknigerð CS2352). Í vatnshlotið rennur Múlá (101-50-R), Þorskafjarðará (101-509-R), og Músará (101-350-R) en hún tengist í Þorskafjarðará. Vatnshlot Djúpafjarðar (101-1272-C) er 6 km^2 og rennur Djúpadalsá (101-47-R) í það. Vatnshlot Gufufjarðar (101-1273-C) er 2,8 km^2 og í það rennur Gufudalsá (101-347-R) sem Álftadalsá (101-45-R) sameinast í. Vatnshlot Djúpafjarðar og Gufufjarðar eru einnig flokkuð sem skjólsælar strandir, opnar í suðurátt (tæknigerð CS2352). Vistfræðileg og efnafræðileg umhverfismarkmið allra vatnshlota sem um ræðir eru samkvæmt vatnavefsjá stjórn vatnamála, skilgreind sem *„gott“*, en ástand allra vatnshlotana er ennþá flokkað sem óþekkt (19. febrúar 2025). Nokkur munur er á sjávarföllum (1-5 m) í öllum vatnshlotunum og meðalvatnshiti vetrar 4-7°C.
Samkvæmt vistgerðakorti Náttúrufræðistofnunar (Náttúrufræðistofnun, 2024) flokkast fjaran í botni Þorskafjarðar í leirur en utar skiptist hún í grýttan sandleir, sandmaðksleirur og klóþangsklungur. Djúpifjörður flokkast í óseyrar, gulþörungaleirur, sandmaðksleirur, grýttan sandleir, klóþangsklungur, marhálmsgræður og leirur. Gufufjörður flokkast í marhálmsgræður, sandmaðksleirur, klóþangsklungur og leirur.

1.2 Um sjávargrös

Sjávargrös þekja um 0,1–0,2% af heimshöfunum og veita þar fjölbreytta vistkerfisþjónustu (Nordlund o.fl., 2018; Campagne og fl., 2015) eins og strandvernd (Ondiviela o.fl., 2014), hringrás næringarefna (McGlathery o.fl., 2007), efla vatnsgæði (Lamb o.fl., 2017), stuðla að kolefnisbindingu í seti (Duarte o.fl., 2002) og gegna hlutverki uppeldisstöðva og fæðuöflunarsvæða margra fisktegunda (de la Torre-Castro o.fl., 2014; Tuya o.fl., 2014).

Búsvæðin hafa mikla frumframleiðni og háa tegundafjölbreytni, en sjávargrös standa frammi fyrir hnignun um allan heim vegna hnattrænna og staðbundinna ógna eins og hækkandi sjávarhita, eyðingu búsvæða og mengunar frá skólpi og landbúnaði (Short og Neckles, 1999). Alhliða alþjóðleg úttekt á hnignun sjávargrasa leiddi í ljós að þekja sjávargrasa dragist saman að meðaltali um 1,5% árlega (Waycott M., o.fl., 2009) og hefur víðtækt tap samhliða aukinni þekkingu um þá vistkerfisþjónustu sem þau veita, leitt til stóraukinnar eflingar á endurheimt sjávargrasa. Aðferðafræði við endurheimt hafa verið mótaðar og prófaðar í margvíslegu umhverfi, með misgóðum árangri (sjá til dæmis Davis og Short, 1997; Neckles og fl., 2005; Eriander o.fl., 2016 ; Thom o.fl., 2018) sem hægt verður að horfa til ef þurfa þykir að ganga í endurheimt sjávargrasa við Íslandsstrendur.

Marhálmur (*Zostera angustifolia)* er graskennd jurt af marhálmsætt (Zostera) sem vex í söltum sjó, sú eina tegund af sjávargrösum sem vitað er til að vaxi í kringum Ísland (Pawel Wąsowicz, 2020). Marhálmur finnst víða á vesturströnd landsins en er annars sjaldgæfur (Hörður Kristinsson, e.d.). Hann vex á leirbotni, í lygnum vogum, víkum eða fjörðum, á kafi í sjó eða að hluta upp úr á fjöru, sérstaklega á stórstreymsfjöru (Hörður Kristinsson, 2012). Þéttleiki hans getur verið allt frá stökum plöntum eins og algengt er á sandmaðksleirum upp í breiður þar sem hann hefur nánast fulla þekju á svonefndum marhálmsgræðum. Þekkt útbreiðsla marhálmsgræða er um 1% (11 km^2) af fjörum landsins, einkum á Vesturlandi og Suðausturlandi (Jón Gunnar Ottósson og fl., 2016). Vistgerðin er á lista Bernarsamningsins frá 2014 yfir vistgerðir sem þarfnast verndar en er metin með miðlungs verndargildi samkvæmt vistgerðaflokkun Náttúrufræðistofnunar (Jón Gunnar Ottósson og fl., 2016). Marhálmur (*Zostera angustifolia*) vex í norður-Atlantshafinu og finnst á flestum grunnsævissvæðum við strendur með mjúkum botni m.a. við strendur Frakklands, Bretlands, Írlands, Þýskalands, Svíþjóðar, Noregs og Danmerkur auk Íslands (Lin og Zhang, 2015). Marhálmsgræður með *Zostera noltii* og *Zostera marina* eru undir sérstakri vernd samkvæmt OSPAR samningnum (OSPAR Commission, 2015) sem fullgiltur var á Íslandi 1997 (Umhverfisstofnun, 2023). Marhálmurinn við strendur Íslands var áður greindur sem *Zostera marina* en nú af undirtegundinni *angustifolia* (Pawel Wasowicz, 2020).

Um 1930 kom upp sjúkdómur í marhálmi sem dreifðist um Norður-Atlanshafið. (OSPAR commission, 2009). Sjúkdómurinn sem kallast *Wasting disease*, náði einnig til Íslands og tók það marhálminn langan tíma að ná aftur fyrri útbreiðslu (Karl Gunnarsson, 2010; Short o.fl., 1987; Short, F. et al., 2007). Fáar rannsóknir hafa sérstaklega verið framkvæmdar á marhálmi við Íslandsstrendur (Boström o.fl., 2014) en til eru nokkrar úttektir á svæðum þar sem hann hefur fundist vegna fyrirhugaðra framkvæmda (sjá t.d. Agnar Ingólfsson, 1976; Cristian Gallo og Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016; Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016; Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson, 2005).

2. MARKMIÐ OG AÐFERÐIR

Markmið þessarar úttektar var að gera frekari könnun á þekju marhálms í Gufufirði, Djúpafirði og Þorskafirði til að afla grunnupplýsinga um þéttleika og útbreiðslu hans. Upplýsingarnar munu nýtast til vöktunar á svæðinu eftir framkvæmdir til að freista þess að meta langtímaáhrif fjarðaþveranna á marhálm vegna búsvæðasundrunarinnar.

Náttúrustofan var fengin í verkefnið í lok október 2020 til að gera úttekt í Þorskafirði og fóru athuganir fram í tveimur vettvangsferðum, fyrri 1-3. nóvember og seinni 16-17. nóvember 2020. Sáu Hulda Birna Albertsdóttir og Hafdís Sturlaugsdóttir um úttektir. Farið var í hina tvo firðina síðsumars árið eftir, í Gufufjörð 9. ágúst og 8. september 2021 og í Djúpafjörð 10-11. ágúst og 7. september 2021. Sáu þá Hulda Birna Albertsdóttir og Sigurlaug Sigurðardóttur um úttektir. Teknar voru myndir með loftdróna 13. september 2021 og sá Sigurður Halldór Árnason um það og síðan teknar myndir 31. ágúst og 1. september 2023 og sá Ingrid Bobeková um myndatöku. Þá voru teknar myndir á ákveðnum svæðum í kringum snið þar sem fyrri myndir af nokkrum svæðum mistókust, en vegna þeirra mistaka fengust ekki drónamyndir af fjöru fyrir þverun Þorskafjarðar, en notast verður við lágflugsmyndir frá Vegagerðinni frá árinu 2017 undir kortlagningu þar sem þverunin var gerð (snið 14 og snið 32). Úttektarsvæðin má sjá á korti 1.

Við ákvörðun á úttektarsvæðum var notast við fyrri kortlagningu á marhálmi frá 2016 (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016) til grundvallar. Innan þeirra svæða sem þekja mældist var valin tilviljanakennd staðsetning áður en farið var á vettvang og úttektir síðan framkvæmdar á vettvangi eftir GPS staðsetningapunktum. Fjöldi athugana innan og utanvert við þverun fór eftir umfangi verkefnisins og eftir því hvað væri hægt að komast yfir mörg snið með ákveðnum tíma og mannfjölda. Markmiðið var að taka þrjú svæði, beggja megin fjarða, innanvert og utanvert við þverun en vegna umhverfisaðstæðna var það ekki gerlegt í öllum tilvikum. Notast var við tilviljanatöflu til að staðsetja snið á svæðum sem vaxin voru marhálmi. Svæðin voru lengdarmæld og notað tilviljanaforrit til að velja lengdarmetra, sem ákvarðaði staðsetningu sniðs innan þess svæðis. Á hverjum punkti var síðan settur niður hæll og mælt 25 m út í sitthvora áttina og settir niður 2 hælar, samtals þrjú 50 m snið. Settir voru niður 11 0,5*0,5 m smáreita á hverju sniði á 5 m millibili. Skráðir voru niður staðsetningarpunktar í upphafi og enda sniðs, setgerð og sjávarhæð (cm). Þekja marhálms var metin með hlutfallslegri þekju innan smáreita (%), meðalhæð (cm) var metin með því að klípa fjórum sinnum í marhálminn (í hverju horni) í hverjum smáreit og meðaltal þeirra mælinga notað. Fjöldi sandmaðka var talinn og þekja annarra lífvera skráð. Hlutfall lindýra á marhálminum og fjöldi fræja var áætlaður með kvarða (tafla 1). Auk þess voru skráðir aðrir þættir sem vert var að taka fram hverju sinni. Myndir voru teknar á þremur römmum á hverju sniði og yfirlitsmyndir við upphaf og enda hver sniðs. Þessi aðferðarfræði byggir á aðferðum *Seagrass Watch* (McKenzie, L. J., og fl., 2007) og *Toward a Coordinated Global Observing System for Seagrasses and Marine Macroalgae* fylgt (Duffy, J. E., og fl., 2019). Undantekning var gerð á þessari aðferðarfræði á sniðum sem voru tekin þar sem veglínan var fyrirhuguð. Þar voru tekin einstök snið, eitt á veglínu, eitt innanvert við veglínu um það bil 100 m frá veglínu og eitt utanvert við veglínu, um það bil 100 m, en vegna landslags og sjávarfalla tókst þetta ekki í öllum tilvikum.

Kort 1. Úttektarsvæði þar sem mælingar voru gerðar á þekju og hæð marhálms og öðrum þáttum (gulir punktar) í Gufufirði, Djúpafirði og Þorskafirði áður en framkvæmdir hófust og skipting fjarðanna í svæði: IV innanverður vestanverður (gult), IA innanverður austanverður (grænt), UV utanverður vestanverður (appelsínugult), UA utanverður austanverður fjörðurinn (rautt) og á fyrirhugaðri veglínu (V) (blátt). Loftmyndir frá árinu 2014.

Tafla 1. Kvarði við mat á hlutfalli lindýra og fræja á marhálminum.

Einkunn	Gildi
0	Ekkert
1	Mjög lítið
2	Frekar lítið
3	Frekar mikið
4	Mjög mikið

Úttektarsvæðin voru mynduð með loftdróna á háfjöru í um það bil 80 m.h.y.s. og var miðað við um það bil 200*200 m svæði umhverfis sniðin. Sum svæðin urðu stærri en það en við kortlagninguna var notast við stærð drónamyndanna sem náðust í úttektinni. Þar voru útlínur mismunandi hópa kortlagðar eftir loftmyndum og síðan reiknuð út meðalþekja mismunandi fjöruhópa (flatarmál (ha) og hlutfall innan úttektarsvæðis (%)) og skipt niður í marhálm, marhálm/brúnþörunga, brúnþörunga, leiru, leiru/brúnþörunga, grýtta fjöru og leiru/set. Við kortlagninguna var einnig merkt marhálmsþekja inn á kortin, byggt á niðurstöðum úr sniðmælingum innan allra hópanna.

2.1 Úrvinnsla

Við úrvinnslu voru gögn slegin inn í gagnatöflur með forritinu *Microsoft Excel* þar sem meðalþekja, dreifni og staðalfrávik voru reiknuð út. Aðrir tölfræðiútreikningar voru gerðir í

Rstudio (Posit team, 2024) og viðbótarpökkunum *ggplpt2* (Wickham H., 2016), *rstatix* (Kassambara, A., 2023a) og *ggpubr* (Kassambara, A., 2023b).

Meðalþekja og meðalhæð marhálms var reiknuð út (ásamt dreifni) og borin saman innan fjarða og síðan á milli svæða innan og utanvert fjarða. Til að gera umfjöllun um svæðin skilvirkari verða notaðir eftirfarandi skammstafir: Innanvert austan (IA), innanvert vestan (IV), utanvert austan (UA) og utanvert vestan (UV) (kort 1).

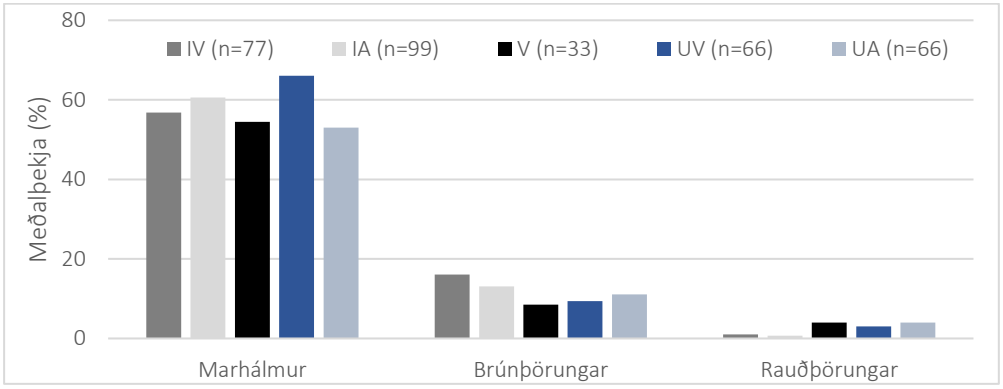
Tíðasta gildi á fjölda fræja og lindýrum sem voru áföst marhálminum var metið samkvæmt fyrrgreindum kvarða (tafla 1).

Þekja marhálms á svæðum sem voru mynduð með loftdróna voru flokkuð í nokkra hópa: marhálmur, marhálmur/brúnþörungar, brúnþörungar, leira, leira/brúnþörungar, grýtt fjara, árósa og leira/set. Þar sem þekja marhálms mældist var hún einnig skilgreind í prósentum (%) eftir meðalþekju í smáreitum í sniðum.

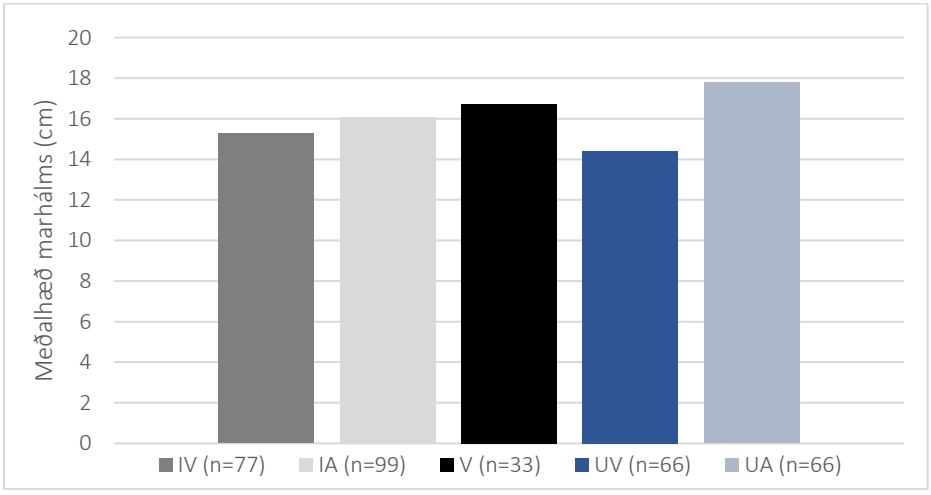
3. NIÐURSTÖÐUR

3.1 Þorskafjörður

Niðurstöður úr sniðmælingum í Þorskafirði sýndu að meðalþekja marhálms var 60% og meðalhæð 16 cm (n=132) í innanverðum firðinum en í utanverðum firðinum var meðalþekja 59% og meðalhæð 16 cm (n=176). Munur á meðalþekju og meðalhæð var ekki marktækur á milli innanverðs og utanverðs fjarðarins eða á milli svæðanna: IV, IA, UV og UA (mynd 1). Meðalhæð marhálms mældist hæst í utanverðum austanverðum firðinum (UA), 18 cm (mynd 2).



Mynd 1. Meðalþekja (%) marhálms (Zostera angustifolia) ásamt þekju brún- og rauðþörunga í smáreitum í Þorskafirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), innanverður austanverður (IA), á fyrirhugaðri veglínu (V), utanverður vestanverður (UV) og utanverður austanverður fjörðurinn (UA) ásamt fjölda mælinga (n).



Mynd 2. Meðalhæð marhálms (cm (Zostera angustifolia)) í Þorskafirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), innanverður austanverður (IA), á fyrirhugaðri veglínu (V), utanverður vestanverður (UV), og utanverður austanverður fjörðurinn (UA) ásamt fjölda mælinga (n).

Meðalþekja í hópi brúnþörunga var mest í innanverðum firðinum (16%) en lægst á fyrirhugaðri veglínu. Meðalþekja í hópi rauðþörunga var mest á veglínunni og í utanverðum austanverðum firðinum (4%) (mynd 1). Grænþörungar reyndust ekki í mælanlegri þekju innan smáreita. Tíðasta gildi á fjölda fræja samkvæmt kvarða (tafla 1) reyndist *mjög lítið* (1) í UA, IA og UV en *ekki sýnilegt* (0) í vestanverðum innanverðum firðinum (IV).

Lindýr sem voru áföst marhálminum voru metin samkvæmt kvarða (tafla 1) og voru algengustu tegundirnar kræklingur (*Mytilus edulis*) og mæruskel (*Turtonia minuta*). Tíðasta gildið reyndist *mjög lítið* (1) í UA og UV og einnig í IA en *ekkert* (0) í IV firðinum. Mynd 1 sýnir meðalþekju algengra þörunga sem mældust í smáreitum í Þorskafirði eftir sömu svæðum ásamt meðalþekju marhálms í smáreitunum. Tafla 10 í Viðauka 1 sýnir meðaltöl og dreifni fyrir mælingarnar.

3.1.1 Kortlagning valinna svæða í Þorskafirði eftir dróna og lágflugsmyndum

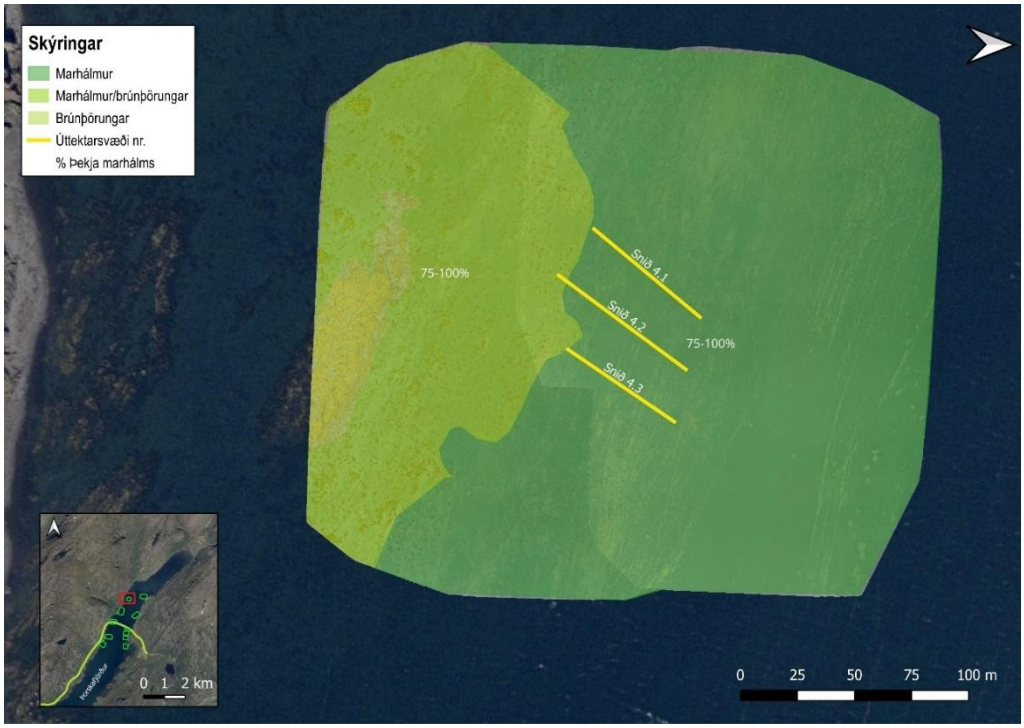
Á úttektarsvæðum í innanverðum Þorskafirði var töluverð útbreiðsla og þekja marhálms (kort 2, kort 3, kort 4, kort 5, mynd 4 og mynd 4). Tafla 2 sýnir stærð kortlagðra hópa innan drónamyndasvæðis og þekjuhlutfall mismunandi hópa.

Mynd 3. Innri hluti Þorskafjarðar nóvember 2020.

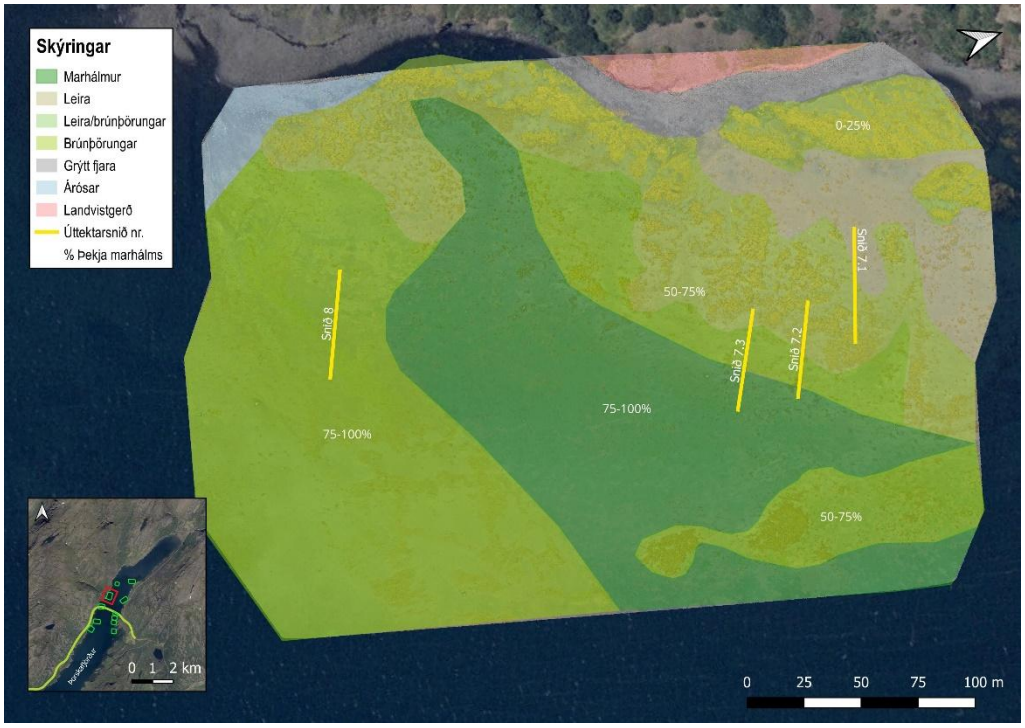
Tafla 2. Þekja (ha) mismunandi hópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis innan þverunnar í Þorskafirði (I), kortlagt eftir drónamyndum: Flatarmál marhálms (mh), marhálms/brúnþörunga (mh/bþ), brúnþörunga (bþ), leira (lei), leira/brúnþörungar (lei/bþ), grýttrar fjöru og árósa innan svæða.

	ha/%	mh	mh/bþ	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	árósar	samtals:
Svæði 1 & 2 (IA)	ha	5,3		0,2		1,5	0,4		7,4
	%	72		3		20	6		100
Svæði 10 (IA)	ha	3,9	1,3	0,6	0,5	0,4	0,1		6,7
	%	57	19	9	8	6	1		100
Svæði 4 (IV)	ha	4,2	1,7	0,2					6,1
	%	68	28	4					100
Svæði 7 & 8 (IV)	ha	2,2	3,0	1,8	3,2		0,2	0,2	10,6
	%	20	29	17	30		2	1	100

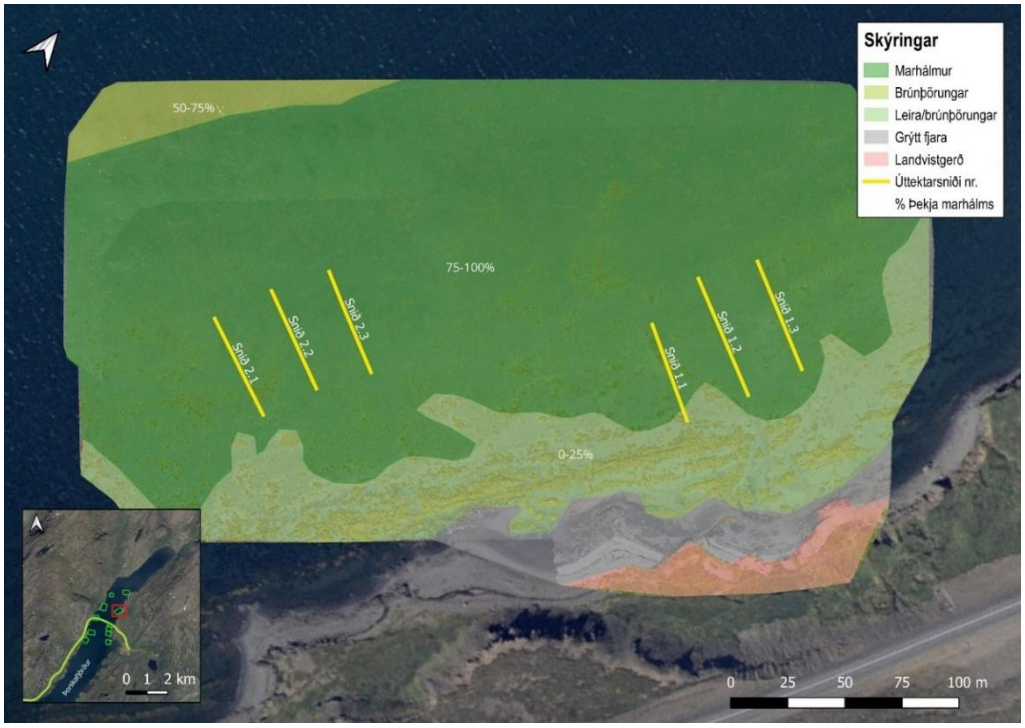
Mynd 4. Marhálmur og ýmsir brúnþörungar á svæði 8.



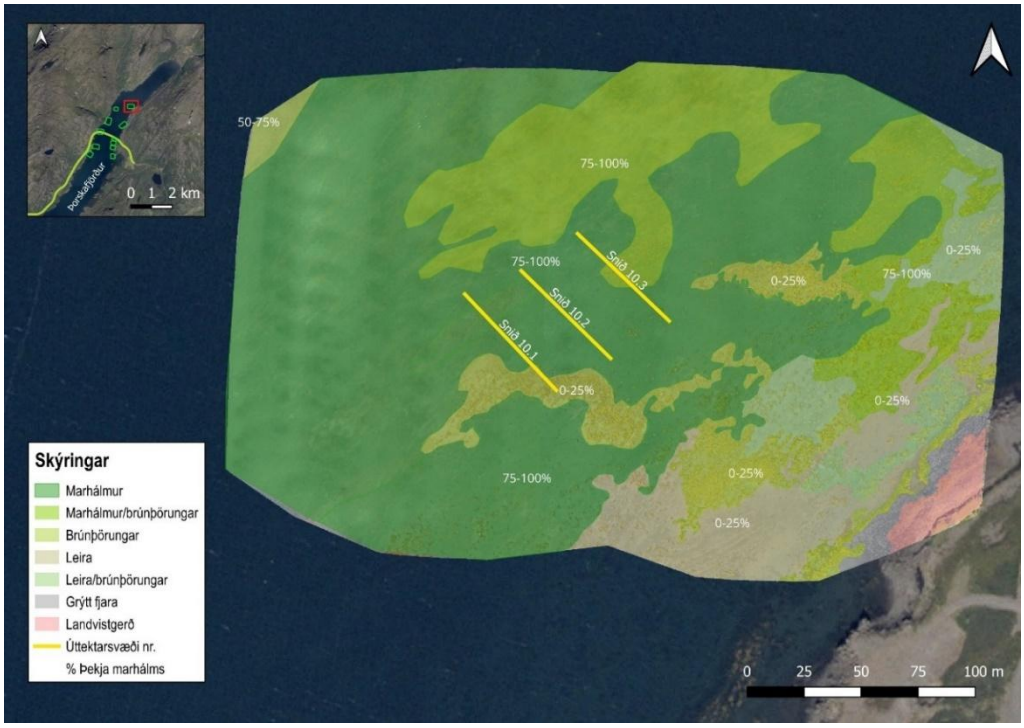
Kort 2. Svæði 4 í innanverðum vestanverðum Þorskafirðinum (IV).



Kort 3. Svæði 7 og 8 í vestanverðum innanverðum Þorskafirðinum (IV).



Kort 4. Svæði 1 og 2 í innanverðum austanverðum Þorskafirði (IA).

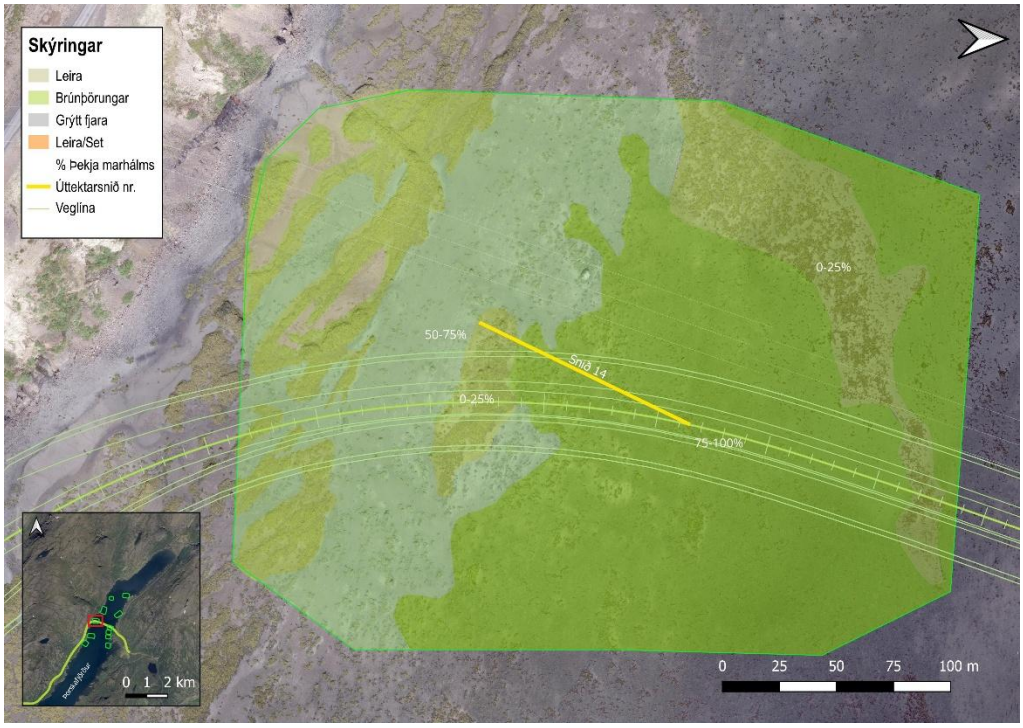


Kort 5. Svæði 10 í innanverðum austanverðum Þorskafirðinum (IA).

Þar sem veglínan þverar Þorskafjörð á svæði 14 og á svæði 32 var þekja marhálms mikil, mest lengst frá landi (kort 6, kort 7) og minnkaði þegar nær dró landi sem sést einnig í sniðmælingum (mynd 1 og mynd 2 (V)). Tafla 3 sýnir flatarmál hópa innan svæða 14 og 32 þar sem veglínan þverar fjörðinn (V) og samkvæmt lágflugsmyndum frá 2017 og mat á þekjuhlutfalli mismunandi hópa á svæðunum.

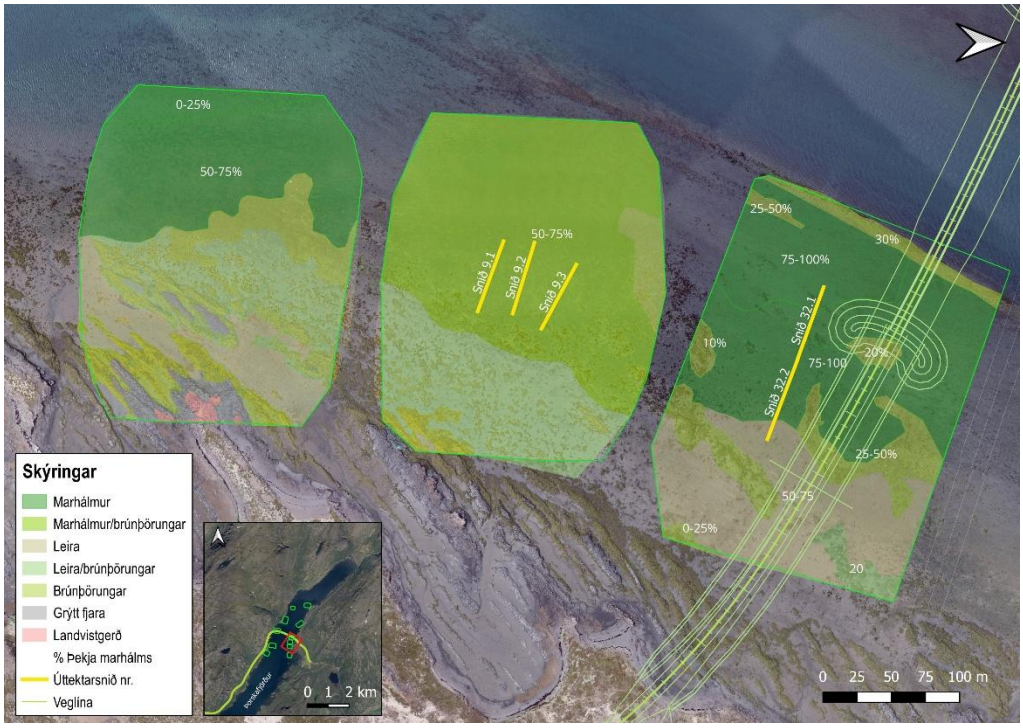
Tafla 3. Þekja (ha) mismunandi fjöruhópa og hlutfall (%) innan svæða 14 og 32 þar sem veglínan þverar Þorskafjörð (V), kortlagt eftir lágflugsmyndum frá Vegagerðinni (2017): Flatarmál marhálms (mh), brúnþörunga (bþ), leiru (lei) og leiru/brúnþörunga (lei/bþ).

	ha/ %	mh	bþ	lei	lei/bþ	samtals:
Svæði 14	ha	2,7	1,0	1,4	0,1	5,2
	%	52	18	27	2	100
Svæði 32	ha	3,5	1,7	0,2	2,0	7,2
	%	48	23	2	27	100



Kort 6. Svæði 14, veglínan (V) í vestanverðum Þorskafirðinum.

Mynd 5. Fjara vestan megin í Þorskafirði þar sem þverun er nú og sýnir svæði 14. Mynd tekin 26.5.2021.



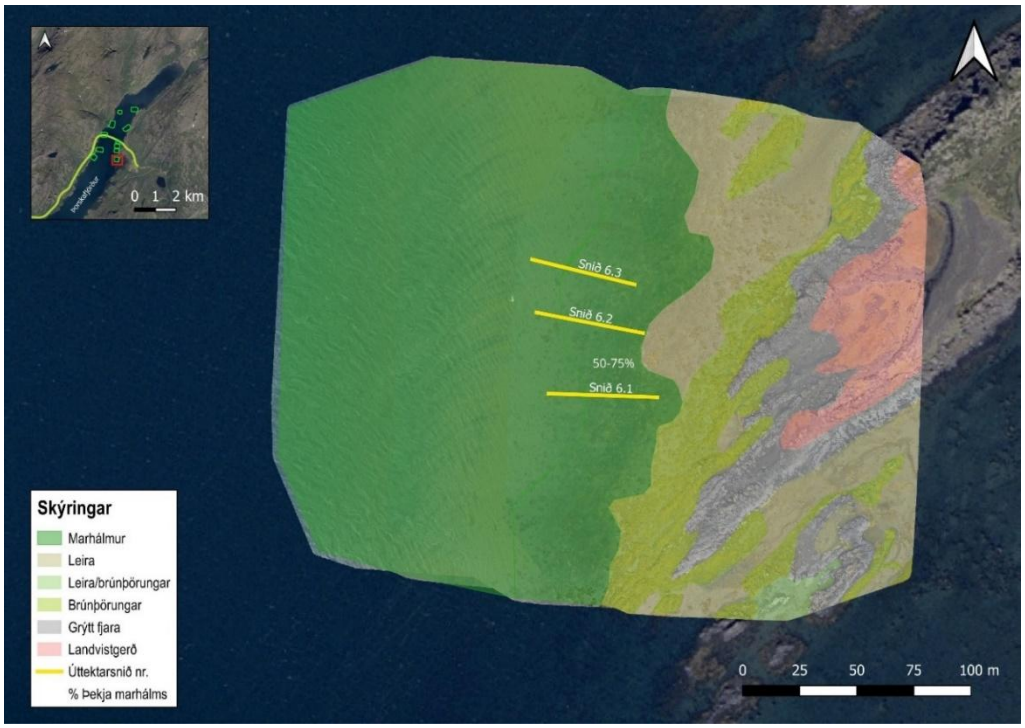
Kort 7. Svæði 5 (lengst til vinstri), 9 og 32 í austanverðum utanverðum Þorskafirði (UA) og á veglínu (V).

Kort 7, kort 8, kort 9 og kort 10 sýna flokkun úttektarsvæðanna í utanverðum Þorskafirði í mismunandi hópa og var hlutfallsleg þekja marhálms á öllum úttektarsvæðum í utanverðum Þorskafirði mest á svæði 11 (mynd 6). Tafla 4 sýnir stærð kortlagðra svæða og þekjuhlutfall mismunandi hópa í utanverðum firðinum.

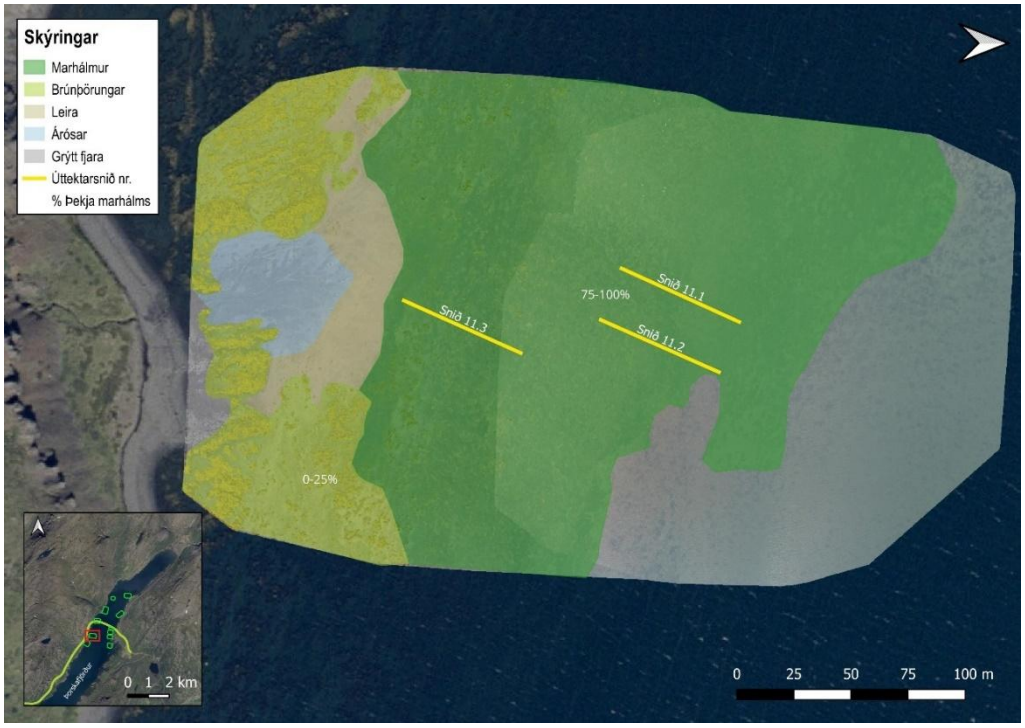
Mynd 6. Marhálmur á svæði 11, horft að þverunarsvæði í vestanverðum Þorskafirði.

Tafla 4. Þekja (ha) mismunandi hópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis utan þverunnar í Þorskafirði (I): Flatarmál marhálms (mh), marhálms/brúnþörunga (mh/bþ), brúnþörunga (bþ), leiru (lei), leiru/brúnþörunga (lei/bþ), grýttrar fjöru og árósa.

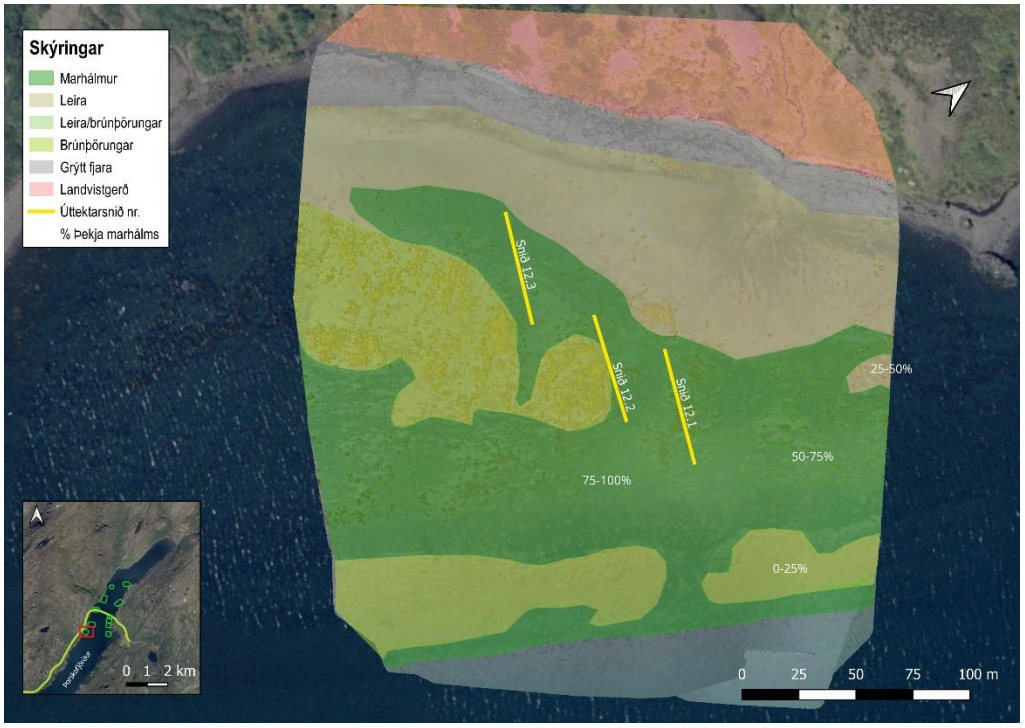
	ha %	mh	mh/bþ	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	árósar	samtals:
Svæði 5 (UA)	ha	1,8		0,8	0,6	1,1	0,3		4,6
	%	38		17	13	24	6		100
Svæði 6 (UA)	ha	3,7		0,7	0,8	0,1	0,5		5,8
	%	63		13	14	1	9		100
Svæði 9 (UA)	ha		3,3	0,1		1,3			4,7
	%		70	3		27			100
Svæði 11 (UV)	ha	3,8		1,0	0,3		0,1	0,2	5,5
	%	70		19	6		1	4	100
Svæði 12 (UV)	ha	2,6		1,4	1,4		0,5		5,9
	%	44		23	24		8		100



Kort 8. Svæði 6 í austanverðum utanverðum Þorskafirði (UA).

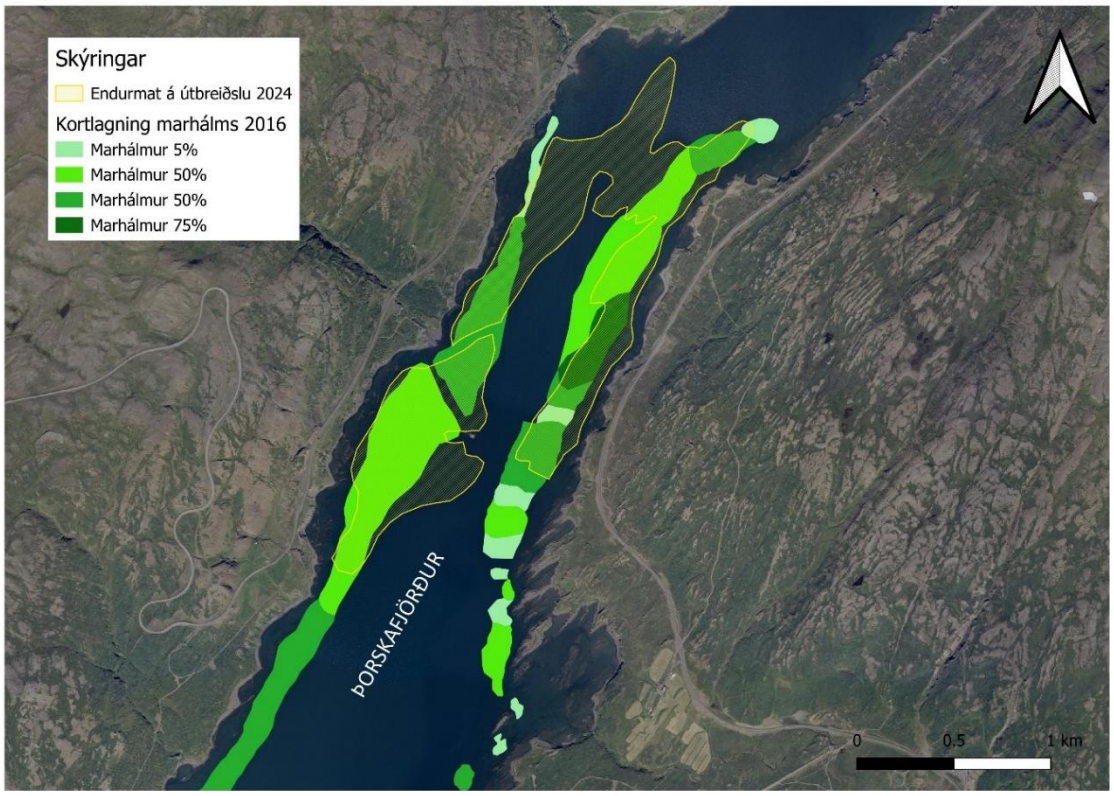


Kort 9. Svæði 11 í vestanverðum utanverðum Þorskafirðinum (UV).



Kort 10. Svæði 12 í vestanverðum utanverðum Þorskafirði (UV).

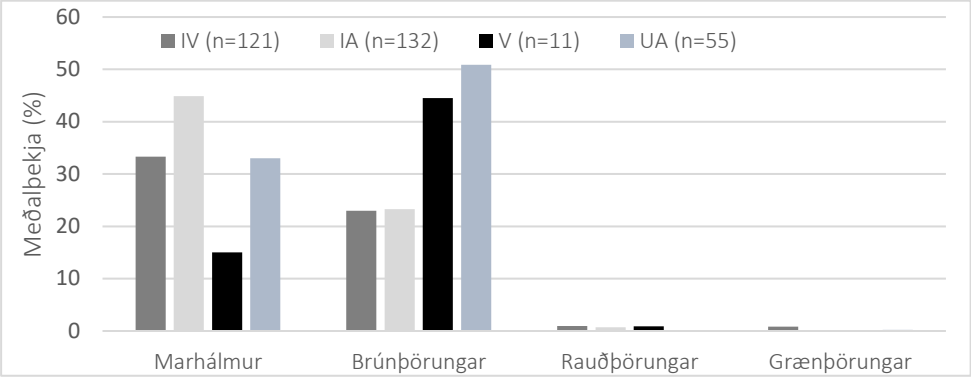
Í Þorskafirði var þekja marhálms meiri í innanverðum Þorskafirði en sýndi í kortlagningu frá árinu 2015 (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016). Út frá vettvangsathugun (2020), drónamyndum (frá 2023) og loftmyndum (frá árinu 2022) tengist þekjan saman við Múlá og nær marhálmsþekja lengra út en fyrri kortlagning sýndi (kort 11, mynd 3, mynd 5).



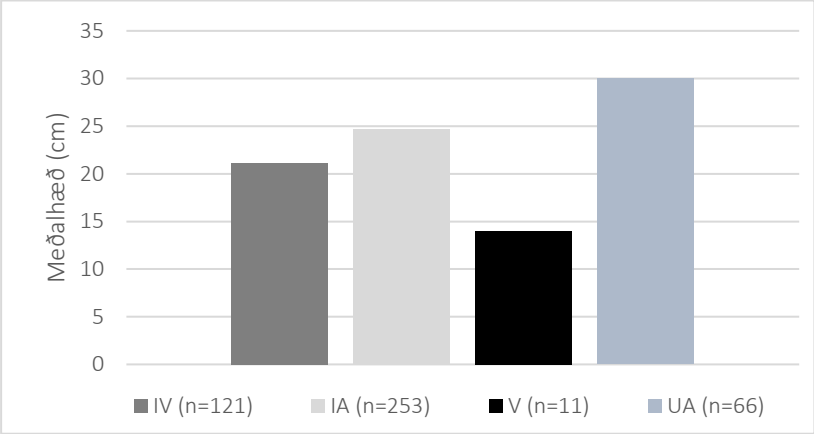
Kort 11. Útbreiðsla marhálms í Þorskafirði, kortlagning frá árinu 2015-2016 (grænt) (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016) og endurmat á útbreiðslu 2024 (gult) með loftmyndir undir frá loftmyndum frá árinu 2014 (í eigum VG frá Loftmyndum ehf).

3.2 Djúpifjörður

Í Djúpafirði var meðalþekja marhálms marktækt meiri í innanverðum firðinum (p=0,003) (39%) með meðalhæð 23 cm (n=253) en í utanverðum firðinum (30%) með meðalhæð 30 cm (n=66). Meðalhæð var marktækt hærri í utanverðum firðinum (p=0,01). Marktækt meiri þekja var á svæði IA heldur en á IV og á IA var marktækt meiri þekja þar en á sniðum á fyrirhugaðri veglínu (V) (mynd 7). Meðalhæð marhálms mældist hæst í UA firðinum (30 cm) og var marktækt hærri þar en á öllum hinum svæðunum fjórum (mynd 8). Meðalþekja brúnþörunga var mest í utanverðum austan verðum firðinum (51%) en lægst í innanverðum vestanverðum firðinum (23%). Meðalþekja rauðþörunga var mest á veglínunni og í utanverðum austanverðum firðinum (1%) og var meðalþekja grænþörunga mest í innanverðum vestanverðum firðinum (mynd 7). Tafla 11 í Viðauka 1 sýnir meðaltöl og dreifni fyrir mælingarnar.



Mynd 7. Meðalþekja (%) marhálms (Zostera angustifolia) ásamt þekju brún-, rauð- og grænþörunga í smáreitum í Djúpafirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), innanverður austanverður (IA), á fyrirhugaðri veglínu (V) og utanverður austanverður fjörðurinn (UA) ásamt fjölda mælinga (n).



Mynd 8. Meðalhæð (cm) marhálms (Zostera angustifolia) í Djúpafirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), innanverður austanverður (IA), utanverður vestanverður (UV), á fyrirhugaðri veglínu (V) og utanverður austanverður fjörðinn (UA) ásamt fjölda mælinga (n).

Tíðasta gildi á fjölda fræja samkvæmt kvarða (tafla 1) reyndist *ekkert* (0) á öllum svæðum. Lindýr sem voru áföst marhálminum voru metin samkvæmt kvarða (tafla 1) og var tíðasta gildið í UA *frekar mikið* (3), í IV *frekar lítið* (2), í IA *mjög lítið* (1) en á fyrirhugaðri veglínu (V) *ekkert* (0).

3.2.1 Kortlagning valinna svæða í Djúpafirði eftir drónamyndum

Á úttektarsvæðum í innanverðum Djúpafirði var mikil útbreiðsla marhálms og þar sem hann óx var hann í þéttri þekju (kort 12, kort 13, kort 14, kort 15, kort 16, kort 17, mynd 9, mynd 10). Tafla 5 sýnir stærð hópa á úttektarsvæðunum og þekjuhlutfall mismunandi hópa.

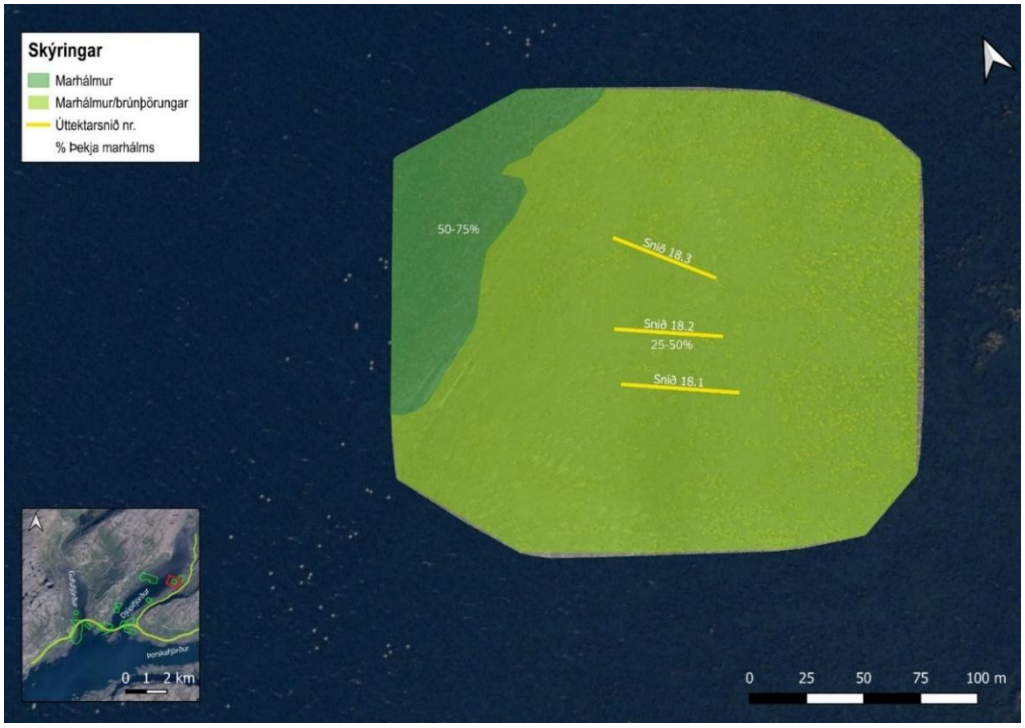
Mynd 9. Marhálmur á svæði 15.

Tafla 5. Þekja (ha) mismunandi hópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis innan þverunnar Djúpafjarðar: Flatarmál marhálms (mh), marhálms/brúnþörunga (mh/bþ), brúnþörunga (bþ), leiru (lei), leiru/brúnþörunga (lei/bþ) og grýttrar fjöru.

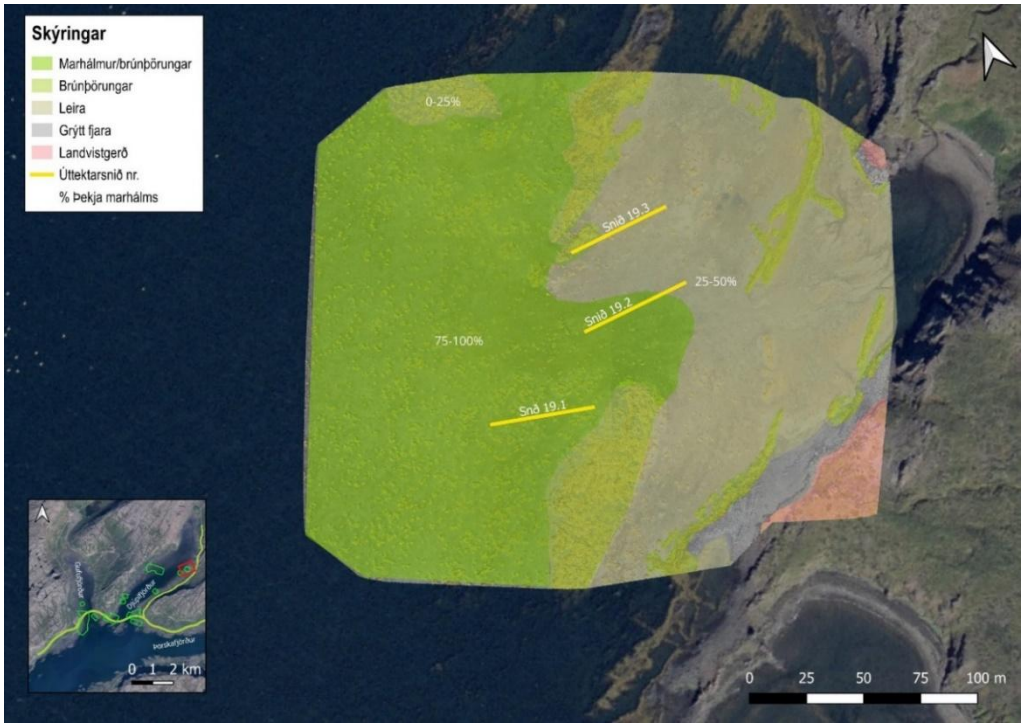
	ha/ %	mh	mh/bþ	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	samtals:
Svæði 15 (IA)	ha	1,3		6,6		7,7	0,6	16,2
	%	8		41		47	4	100
Svæði 17 (IA)	ha	3,1		1,5				4,6
	%	67		33				100
Svæði 18 (IA)	ha	0,6	3,8					4,4
	%	13	87					100
Svæði 19 (IA)	ha		2,5	0,7	1,7		0,2	5,1
	%		49	14	34		3	100
Svæði 20 (IV)	ha	1,0	19,9	1,5	2,2		0,5	24,9
	%	4	80	6	9		2	100
Svæði 21 (IV)	ha	0,9	0,8	0,2		2,7		4,5
	%	19	18	4		59		100
Svæði 22 (IV)	ha		2,3	1,4	0,2	0,3	0,1	4,4
	%		52	33	4	8	3	100

Kort 12. Svæði 17 í innanverðum austanverðum Djúpafirði (IA).

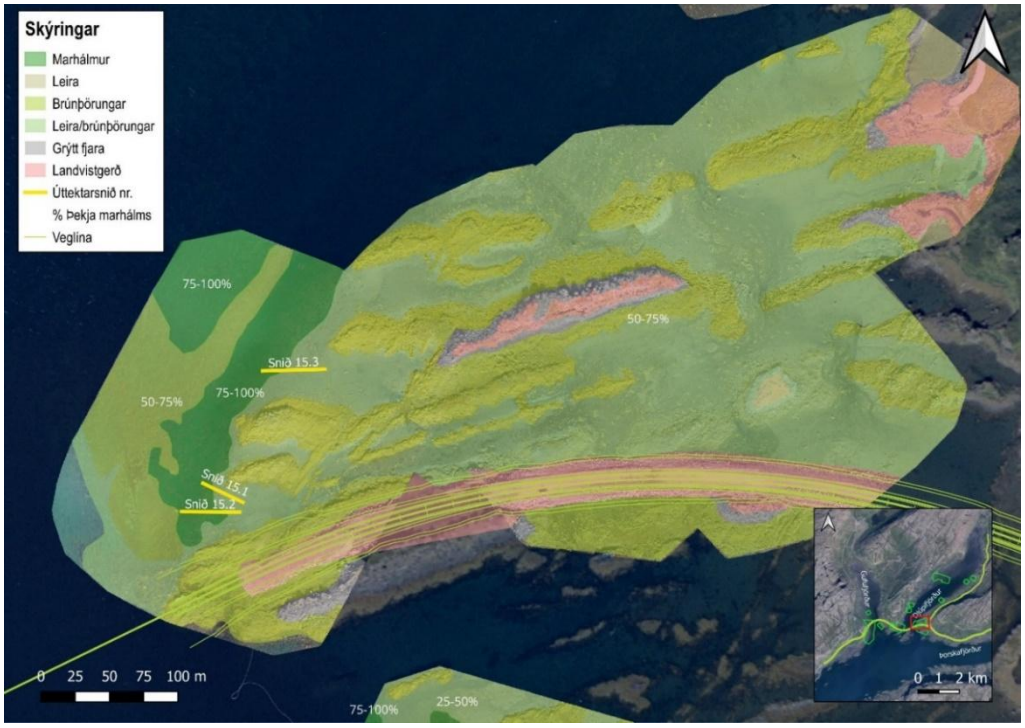
Mynd 10. Marhálmur á svæði 17.



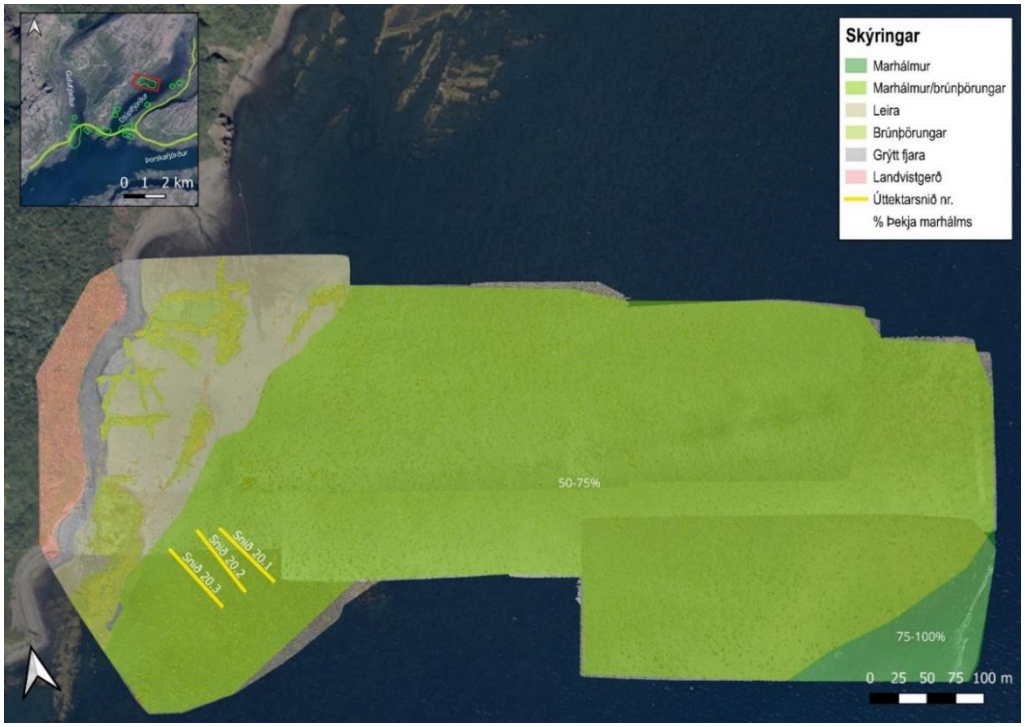
Kort 13. Svæði 18 í innanverðum austanverðum Djúpafirði (IV).



Kort 14. Svæði 19 í innanverðum austanverðum Djúpafirði (IV).

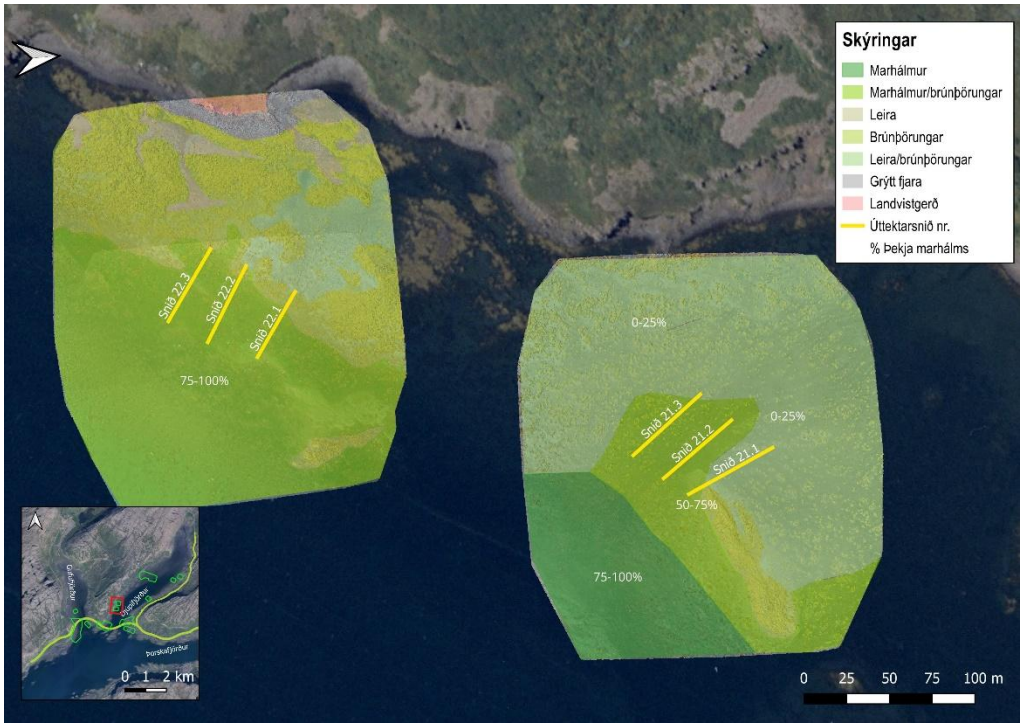


Kort 15. Svæði 15 í innanverðum austanverðum Djúpafirði (IV).



Kort 16. Svæði 20 í innanverðum vestanverðum Djúpafirði (IV).

Mynd 11. Marhálmur á svæði 20 í innanverðum vestanverðum Djúpafirði (IV).

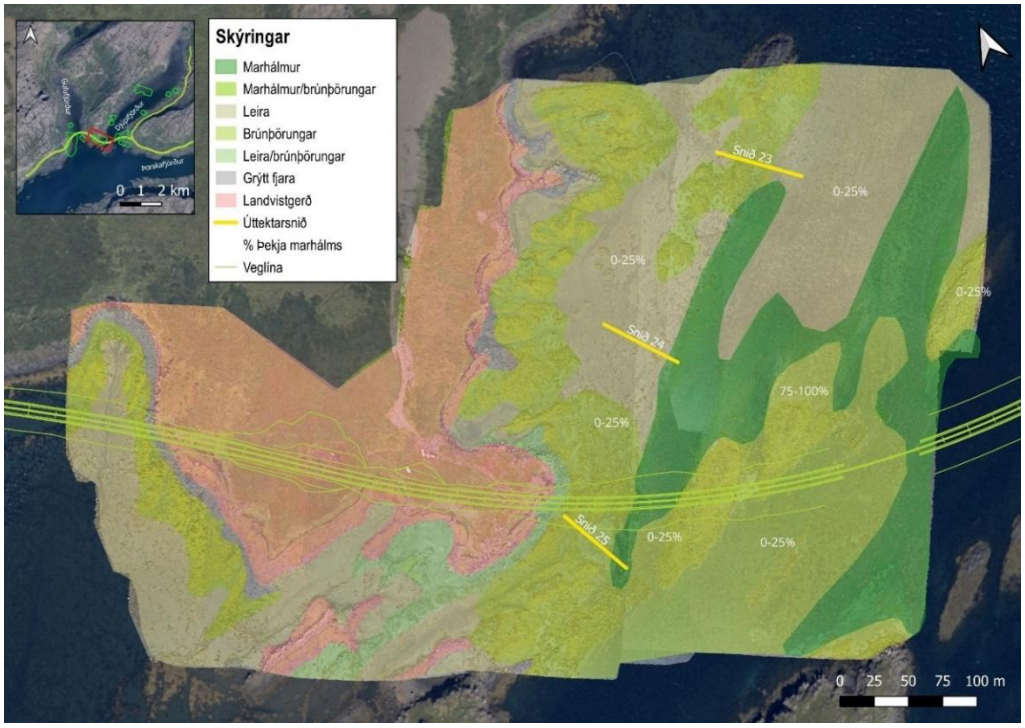


Kort 17. Svæði 21 og 22 í innanverðum vestanverðum Djúpafirði (IV).

Kort 18 sýnir flokkun úttektarsvæðisins í kringum fyrirhugaða veglínu í Djúpafirði í hópa og tafla 6 stærð kortlagðra svæða og þekjuhlutfall mismunandi hópa.

Tafla 6. Þekja (ha) mismunandi fjöruhópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis við fyrirhugaða veglínu í Djúpafirði: Flatarmál marhálms (mh), brúnþörunga (bþ), leiru (lei), leiru/brúnþörunga (lei/bþ) og grýttrar fjöru.

	ha/ %	mh	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	Samtals:
Svæði 23-25	ha	3,2	7,6	5,6	0,6	0,4	17,5
	%	18	43	32	4	2	100

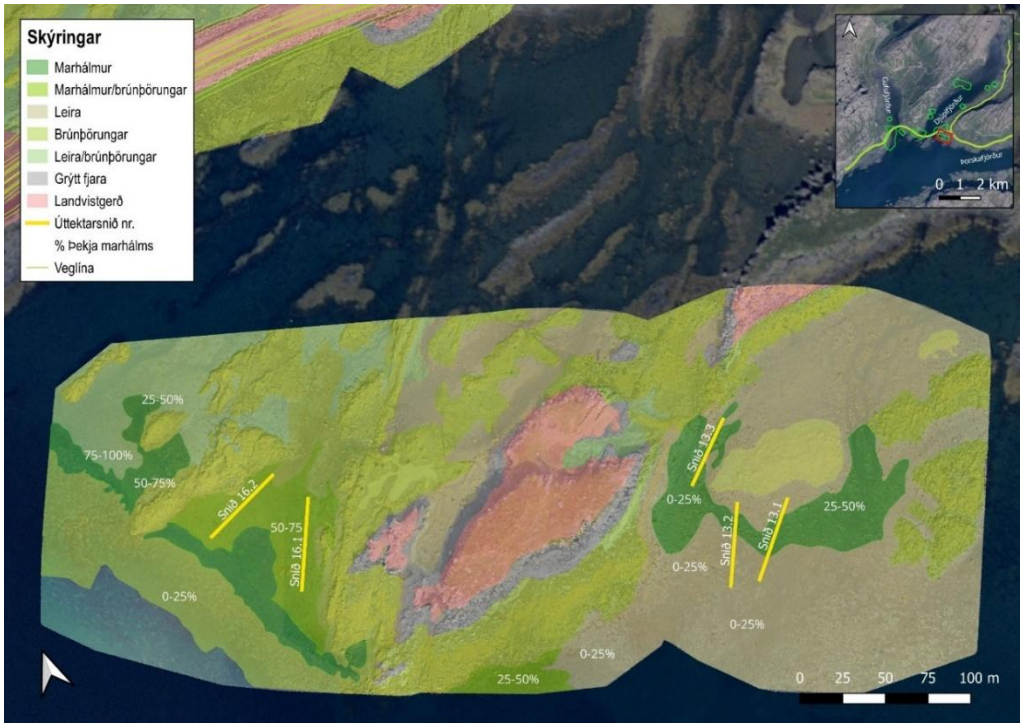


Kort 18. Svæði 23 og 24 í innanverðum vestanverðum Djúpafirðinum (IV) og svæði 25, veglína (V).

Kort 19 sýnir kortlagningu mismunandi hópa á úttektarsvæðum í utanverðum Djúpafirði og tafla 7 sýnir stærð og hlutfall mismunandi hópa á svæðinu (mynd 12).

Tafla 7 Þekja (ha) mismunandi fjöruhópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis í utanverðum Djúpafirði (UA): Flatarmál marhálms (mh), marhálms/brúnþörunga (mh/bþ), brúnþörunga (bþ), leiru (lei), leiru/brúnþörunga (lei/bþ) og grýttrar fjöru.

	ha/ %	mh	mh/bþ	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	samtals:
Svæði 13 & 14	ha	0,9	0,5	4,4	3,6	0,8	0,5	10,7
	%	9	7	41	34	7	4	100

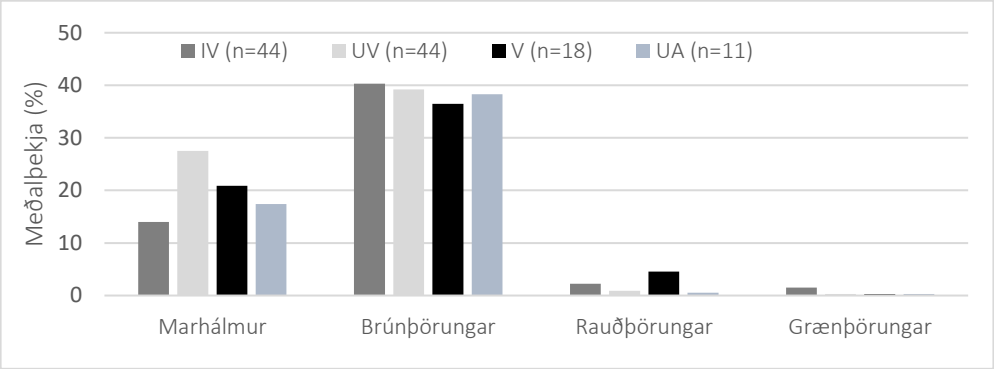


Kort 19. Svæði 16 og 13 í utanverðum austanverðum Djúpafirði (UA).

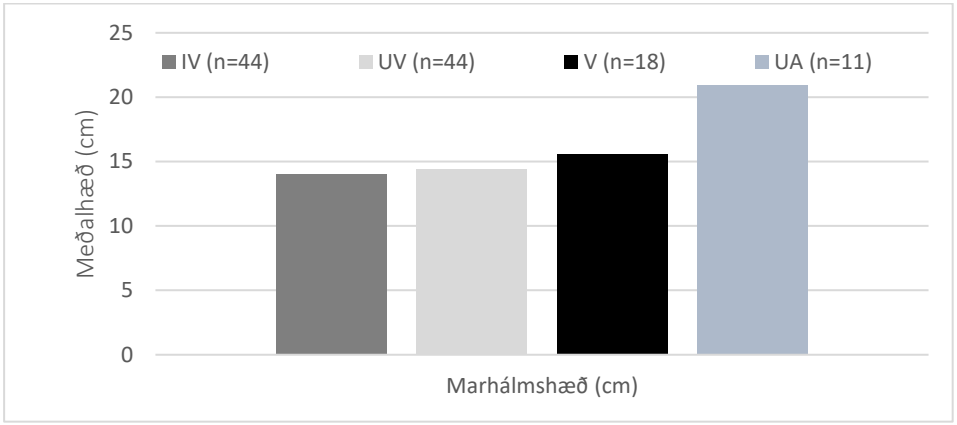
Mynd 12. Svæði 16 í utanverðum austanverðum Djúpafirði (UA), við Hallsteinsnes.

3.3 Gufufjörður

Í Gufufirði var þekja marhálms marktækt meiri í utanverðum Gufufirði (25%) með meðalhæð 15,9 cm en í innanverðum firðinum (14%) með meðalhæð 14 cm (p=0,014) en munur á meðalhæð var ekki marktækur. Marktækt meiri þekja greindist á svæði UV en IV en munur var ekki marktækur á milli UA og hinna svæðanna (mynd 13). Meðalhæð mældist hæst á svæði UA en munur reyndist ekki marktækur milli svæða (mynd 14).



Mynd 13. Meðalþekja (%) marhálms (Zostera angustifolia) ásamt þekju brún-, rauð og grænþörunga í smáreitum í Gufufirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), innanverður austanverður (IA), utanverður vestanverður (UV), á fyrirhugaðri veglínu (V) og utanverður austanverður fjörðurinn (UA) ásamt fjölda mælinga (n).



Mynd 14. Meðalþekja (%) og meðalhæð (cm) marhálms (Zostera angustifolia) í Gufufirði eftir staðsetningu innan fjarðarins: Innanverður vestanverður (IV), utanverður vestanverður (UV), utanverður austanverður (UA) og á fyrirhugaðri veglínu (V) ásamt fjölda mælinga (n).

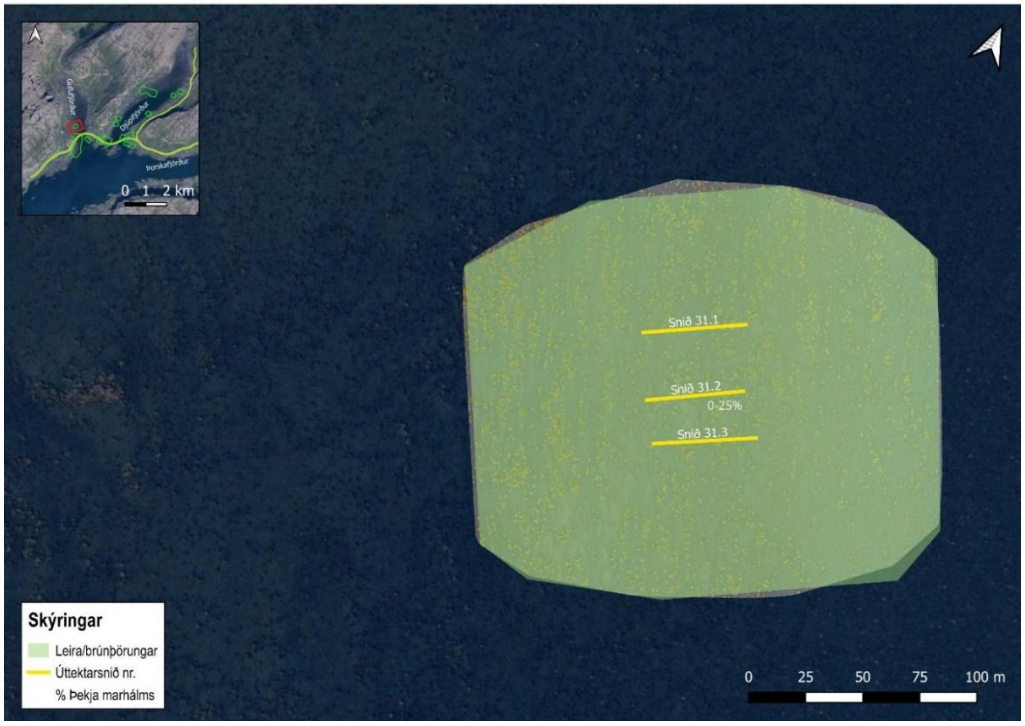
Meðalþekja brúnþörunga var mest í innanverðum vestanverðum firðinum (40,3%) en lægst á veglínunni (17,4)%. Meðalþekja rauðþörunga var mest á veglínunni (4,6%) og meðal grænþörunga, í innanverðum vestanverðum firðinum (1,5%) (mynd 13).
Tíðasta gildi á fjölda fræja samkvæmt kvarða (tafla 1) var *ekkert* (0) á öllum fjórum svæðunum (IV, UV, UA, V).
Lindýr sem voru áföst marhálminum voru metin samkvæmt kvarða (tafla 1) og var tíðasta gildið *frekar mikið* (3) á svæði UA, *frekar lítið* (2) á svæði IV, *mjög lítið* (1) á IA, en *ekkert* (0) á svæði V. Tafla 12 í Viðauka 1 sýnir meðaltöl og dreifni fyrir mælingarnar.

3.3.1 Kortlagning valinna svæða í Gufufirði

Kort 20 sýnir kortlagningu mismunandi hópa á úttektarsvæði í innanverðum Gufufirði og tafla 8 sýnir stærð og hlutfall mismunandi hópa á svæðinu.

Tafla 8. Stærð (ha) fjöruhópa á úttektarsvæði og hlutfall (%) innan úttektarsvæða í innanverðum Gufufirði: Flatarmál, leiru/brúnþörunga (lei/bþ).

	ha/ %	lei/bþ	samtals:
Svæði 31 (IV)	ha	3,4	**3,4**
	%	100	**100**



Kort 20. Svæði 31 í innanverðum vestanverðum Gufufirðinum (IV).

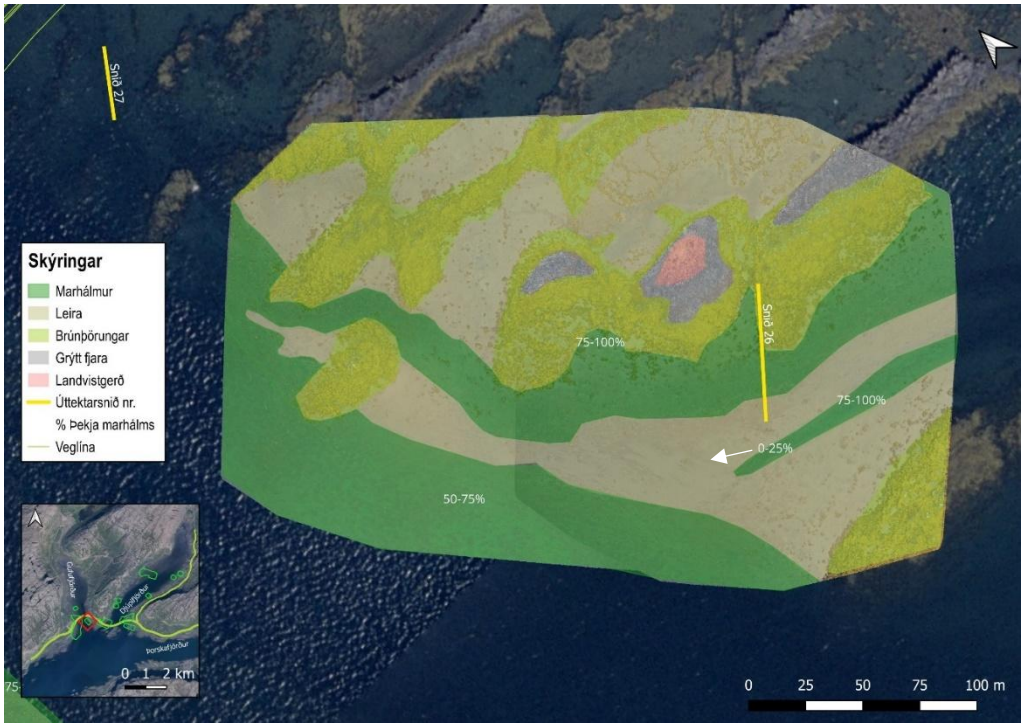
Kort 21 og kort 22 sýna kortlagningu mismunandi hópa á úttektarsvæðum í utanverðum Gufufirði og tafla 9 sýnir stærð og hlutfall mismunandi hópa á svæðinu. Mynd 15 sýnir yfirlit yfir svæði 35.

Tafla 9. Þekja (ha) mismunandi fjöruhópa og hlutfall (%) innan drónamyndasvæðis í utanverðum Gufufirði: Flatarmál marhálms (mh), marhálms/brúnþörunga (mh/bþ), brúnþörunga (bþ), leiru (lei), leiru/brúnþörunga (lei/bþ) og grýttrar fjöru.

	ha/ %	mh	mh/bþ	bþ	lei	lei/bþ	grýtt fjara	samtals:
Svæði 26 (UA)	ha	2,1	0,0	1,7	2,0		0,2	**5,9**
	%	35		28	34		3	**100,0**
Svæði 32-35 (IV, V, UV)	ha	22,3		3,3		12,7	2,4	**40,8**
	%	55		8		31	6	**100,0**

Kort 21. Svæði 32 (innanverðu), 33 (á veglínu) og svæði 34 og 35 í utanverðum vestanverðum Gufufirði.

Mynd 15. Svæði 35 í utanverðum vestanverðum Gufufirði.



Kort 22. Svæði 26 í utanverðum Gufufirði (UA) og snið 27.

UMRÆÐUR

Í Þorskafirði var farið á tólf svæði þar sem mælingar sýndu (n=308), að meðalþekja marhálms var svipuð milli innanverðs og utanverðs Þorskafjarðar og hæð marhálms einnig. Á vistgerðakorti Náttúrufræðistofnunar (Náttúrufræðistofnun, 2024) flokkaðist fjaran í sandmaðksleirur, þó finnst höfundi líklegt að hluti af þeim ætti að flokkast í marhálmsgræður, vegna mikillar útbreiðslu og þekju marhálms (sjá kort 11).

Þegar drónamyndir voru teknar í fyrsta skiptið mistókst hluti af myndunum vegna bilunar í dróna og fengust vegna þessa ekki drónamyndir af Þorskafirði fyrir þverun, heldur teknar myndir á meðan framkvæmdum stóð. Þess vegna voru lágflugsmyndir frá Vegagerðinni notaðar á þessi tvö svæði við kortlagningu.

Í Djúpafirði var farið á tíu svæði þar sem mælingar sýndu (n= 319) að meðalþekja marhálms var marktækt meiri í innanverðum firðinum en utanverðum, en hæð var marktækt hærri í utanverðum firðinum en í innri hlutanum. Þekja botnþörunga var einnig meiri utanverðum firðinum og þekja rauðþörunga. Eftir úttektina og kortlagningu Náttúrustofunnar 2015 (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016) er ályktað að á vistgerðakorti Náttúrufræðistofnunar séu marhálmsgræður vanmetnar, þá sérstaklega í austanverðum firðinum.

Í Gufufirði var farið á sjö svæði (n=117) sem sýndu að meðalþekja marhálms var marktækt meiri í utanverðum firðinum heldur en innanverðum. Meðalþekja brúnþörunga mældist mest í innanverðum vestanverðum firðinum og meðalþekja rauðþörunga mest á veglínunni. Eftir athugun er ályktað að flokkun á fjörum í botni Gufufjarðar sé röng, þar sem sjávarfitjar eru flokkaðar sem marhálmsgræður. Fyrst var lagt upp með að setja niður þrjú snið utanvert og þrjú snið innanvert í austanverðum og vestanverðum fjörðunum, en vegna breytilegs landslags, útbreiðslu marhálms og staðbundinna aðstæðna var það ekki framkvæmanlegt í öllum tilvikum. Þar sem Djúpifjörður og Gufufjörður mætast var einungis sett niður tvö snið, en vegna mikils straums á marhálmssvæðum og síðan gljúprar leiru á milli var ekki hægt að uppfylla að taka þrjú svæði þar. Ekki var sett niður snið í innanverðum austanverðum Djúpafirði þar sem þar var ekki skráður marhálmur á svæðinu við kortlagningu árið 2015-2016 (Hafdís Sturlaugsdóttir, 2016). Við skoðun reyndist hættulega djúp leðja þar, sem landeigendur vöruðu við að fara út á, þó sást að þar sem mesti straumurinn liggur út og inn í fjörðinn, vex marhálmur. Dregið var þá þær ályktanir að þar væri ekki mikið um marhálm í innanverðum austanverðum firðinum þar sem hann hefur ekki fundist á svæðinu, í mikilli leðju, heldur í leðjuminni leirum.

Fjöldi fræja á marhálminum var mjög lítið í Þorskafirði, fjöldi fræja reyndist *ekkert (0)* í Djúpafirði og heldur ekki á öllum svæðunum í Gufufirði en *mjög lítið (1)* í Þorskafirði á þremur svæðum. Getur tímasetning úttekta skýrt munurinn á milli Þorskafjarðar og Gufu- og Djúpafjarðar, þar sem úttekt átti sér stað í nóvember í en Gufu- og Djúpafirði í september og getur það líka haft áhrif á niðurstöður á útbreiðsluþekju marhálms í Þorskafirði.
Fjöldi lindýra sem voru áföst marhálminum reyndist *mjög lítið* í Þorskafirði en tíðasta gildið reyndist vera í utanverðum austanverðum Djúpafirði og Gufufirði þar sem það var *frekar mikið* (3) á báðum stöðum. Þessar ályktanir eru ekki í mælanlegu formi heldur mat á kvarða svo ekki voru gerðar frekari útreikningar á því.

Kortlagning valinna svæða sýndi fjölbreytilega marhálmsþekju og þekju brún-, græn- og rauðþörunga. Sýnt hefur verið fram á að hægt er að nota loftmyndir til að greina marhálm (sjá t.d. Knudby, A., og Nordlund, L. 2011) og á loftmyndum frá árinu 2022 sést að marhálmur greinist á loftmyndunum, en oft reyndist erfitt er að greina á milli útbreiðslu þangs og útbreiðslu marhálms á myndunum. Hins vegar var það að mestu hægt og hægt var að bera saman vettvangsúttektir drónamyndir og loftmyndir. Marhálmur sást tiltölulega vel á drónamyndum, sem flestar voru teknar í um það bil 80 m.h.y.s., þá sérstaklega þar sem hann var í mikilli þekju.

Í Vatnaáætlun Íslands 2022-2027 (Rakel Guðmundsdóttir og fl., 2022) er ekki sett sérstök krafa um vöktun marhálms, en niðurstöður úr þessari úttekt verða bornar saman við vöktun á útbreiðslu marhálms í fjörðunum samkvæmt vöktunaráætlun (Hulda Birna Albertsdóttir og fl., 2025), árin 2026, 2029 og 2032 í Þorskafirði og þremur, 6 og 10 árum eftir framkvæmdir í Gufufirði og Djúpafirði. Þar sem úttektirnar munu líta til þess hvort breytingar verði á útbreiðslu og þekju marhálms í fjörðunum. Sjávargrös hafa oft verið notuð sem umhverfisvísar við mat á stöðu sjávarvistkerfa (Marbá et al., 2013) og til að meta breytingar í kjölfar mengunar og til langtímavöktunar vatnshlota (Krause-Jensen og fl., 2008). Þar sem verkefnið kom fljótt á borð stofunnar í nóvember 2020 gafst ekki mikill tími í undirbúning á verkinu og í uppsetningu á rannsókninni en eftirá að dæma hefði verið áhugavert að mæla einnig lífmassa marhálms á svæðinu og myndi líklega samþætting þessara aðferða sem notaðar voru nú og lífmassamælingar gefa betri mynd af stöðu marhálmsgræðanna í fjörðunum. Marhálmur stuðlar af kolefnisbindingu í seti (Duarte o.fl., 2002) en rannsóknir hafa sýnt að kolefnismagn í marhálmssvæðum sé mjög breytilegt (sjá t.d. Duarte o.fl., 2002; Gagnon o.fl., 2024; Billman o.fl., 2023), en sjávargróðurkerfi/marhálmsgræður eru taldar eitt af viðkvæmustu vistgerðum í heiminum og taldar lykilþáttur í þjónustu vistkerfa á strandsvæðum (Costanza og fl., 1997). Ekki var sérstaklega gerð könnun á því hvaða yrki af marhálms var á svæðinu, eða staðfest hvort um er að ræða marhálmur af tegundinni *Zostera angustifolia* eða hvort finnist aðrar tegundir, en áætlað er að taka sýni í vöktunarferðum til athugunar á því.

Verndun og áætlanir um endurheimt hafa verið árangursríkar við að bæta stöðu sjávargróðurkerfa á mörgum svæðum og hafa aukið kolefnisforða sjávargróðurkerfa (Rattanachot, E. og fl., 2018). Verndun ætti að teljast árangursríkasta aðferðin við að koma í veg fyrir losun uppsafnaðs kolefnis í seti sjávargróðurkerfa, en kolefnisforði getur byrjað að safnast upp frekar hratt eftir endurheimt þar sem sjávargróður hefur tapast (sjá t.d. Greiner og fl., 2016; Lange og fl., 2022; Thorhaug og fl., 2017). Vöktun er hins vegar mikilvæg til að greina breytingar sem geta orðið á útbreiðslu marhálms á svæðunum því sýnt hefur verið fram á að sjávargrös eru talin viðkvæm fyrir breytingum á t.d. seltustigi (sjá t.d. Cambridge o.fl., 2017), blaðgrænu (sjá t.d. Zhang o.fl., 2022), kornastærð, sjóndýpi/tærleika, hitastigi, vatnsskiptum og straumi (sjá t.d. Short og Neckles, 1999).

Sýnt hefur verið fram á að fræ af marhálmi (*Zostera marina*) hafa verið notuð til endurheimtar sjávargrasa í stórum stíl (Pan o.fl., 2012), sem er áhugaverð leið til að endurheimta þær marhálmsgræður sem tapast hafa í kringum Íslands í kringum framkvæmdir og iðnað, en hins vegar kemur það aldrei í stað verndunar marhálmsgræða og ætti einungis að vera notuð sem mótvægisaðgerð fyrir röskun sem brýn nauðsyn er fyrir.

HEIMILDIR

Agnar Ingólfsson. (1976). Forkönnun á lífríki Gilsfjarðar, Djúpafjarðar, Gufufjarðar og nærliggjandi fjarða. Líffræðistofnun Háskólans. *Fjölrit nr. 8.*1-51. https://rafhladan.is/bitstream/handle/10802/32154/Fj%c3%b6lrit8.pdf?sequence=1

Billman, M., Santos, I. R., og Jahnke, M. (2023). Small carbon stocks in sediments of Baltic Sea eelgrass meadows. *FRONTIERS IN MARINE SCIENCE*, *10*, 1-14. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1219708

Boström, C., Baden, S., Bockelmann, A.-C., Dromph, K., Fredriksen, S., Gustafsson, C., Krause-Jensen, D., Möller, T., Nielsen, S. L., Olesen, B., Olsen, J., Pihl, L., og Rinde, E. (2014). Distribution, structure and function of Nordic eelgrass (Zostera marina) ecosystems: Implications for coastal management and conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *24*(3), 410–434. https://doi.org/10.1002/aqc.2424

Cambridge, M. L., Zavala-Perez, A., Cawthray, G. R., Mondon, J., & Kendrick, G. A. (2017). Effects of high salinity from desalination brine on growth, photosynthesis, water relations and osmolyte concentrations of seagrass *Posidonia australis*. *Marine Pollution Bulletin*, *115*(1), 252–260. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.066

Campagne, C. S., Salles, J.-M., Boissery, P., og Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, *97*(1), 391–400. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.061

Costanza, R., R. d'Argue, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton og M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Cristian Gallo og Hafdís Sturlaugsdóttir. (2016). A*thugun á fjöru við Laugaland í Þorskafirði og fjöruflokkun á veglínum, Bjarkalundur – Skálanes í Reykhólahreppi*. https://nave.is/wp-content/uploads/2021/04/Cristian_Gallo_og_Hafdis_Sturlaugsdottir.pdf

Davis, R. C., og Short, F. T. (1997). Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. *Aquatic Botany*, *59*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00034-X

Duarte, C. M., Martínez, R., og Barrón, C. (2002). Biomass, production and rhizome growth near the northern limit of seagrass (*Zostera marina*) distribution. *Aquatic Botany, 72*(2), 183–189. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00225-X

Duffy, J. E., Benedetti-Cecchi, L., Trinanes, J., Muller-Karger, F. E., Ambo-Rappe, R., Boström, C., ... og Yaakub, S. M. (2019). Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science, 6*, 1-26. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00317/full?utm_source=F-NTF&utm_medium=EMLX&utm_campaign=PRD_FEOPS_20170000_ARTICLE

Eriander, L., Infantes, E., Olofsson, M., Olsen, J. L., og Moksnes, P.-O. (2016). Assessing methods for restoration of eelgrass (Zostera marina L.) in a cold temperate region.

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, *479*, 76–88. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.005

European Enviroment Agency. *EUNIS -Factsheet for [Zostera marina]/[angustifolia] beds on lower shore or infralittoral clean or muddy sand*. (e.d.). https://eunis.eea.europa.eu/habitats/594

Gagnon, K., Thormar, J., Fredriksen, S., Potouroglou, M., Albretsen, J., Gundersen, H., Hancke, K., Rinde, E., Wathne, C., og Norderhaug, K. M. (2024). Carbon stocks in Norwegian eelgrass meadows across environmental gradients. *SCIENTIFIC REPORTS*, *14*(1), 25171. https://doi.org/10.1038/s41598-024-74760-3

Greiner, J. T., Wilkinson, G. M., McGlathery, K. J. og Emery, K. A. (2016). Sources of sediment carbon sequestered in restored seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog Ser.* (551), 95–105 https://www.int-res.com/abstracts/meps/v551/p95-105/

Hafdís Sturlaugsdóttir. (2016). *Útbreiðsla marhálms frá Stað að Skálanesi í Reykhólahreppi.* [NV nr. 13-16]. Náttúrustofa Vestfjarða.

Helga Aðalgeirsdóttir (ritstj.), Sóley Jónasdóttir, Kristján Kristjánsson og Reynir Óli Þorsteinsson. (2017). *Vestfjarðavegur (60) milli Bjarkalundar og Skálaness í Reykhólahreppi. Mat á umhverfisáhrifum*. [*Matsskýrsla].* Vegagerðin.

Hulda Birna Albertsdóttir, Cristian Gallo, Sigurður Halldór Árnason. (2025). *Náttúra Þorskafjarðar, Djúpafjarðar og Gufufjaraðar, vöktunaráætlun. Vegagerð milli Bjarkalundar og Skálaness í Reykhólahreppi.* Náttúrustofa Vestfjarða.

Hörður Kristinsson (e.d.) *Flóra Íslands.* Floraislands.is. www.floraislands.is

Hörður Kristinsson. (2012). *Íslenska plöntuhandbókin–Blómplöntur og byrkningar.* Mál og menning.

Jón Gunnar Ottósson, Anna Sveinsdóttir og María Harðardóttir, ritstj. 2016. Vistgerðir á Íslandi. *Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr. 54,* 299 s.

Karl Gunnarsson (2010). *Marhálmur – Zostera marina.* Fjaran og hafið. https://www1.mms.is/hafid/dyr.php?val=4&id=44

Kassambara A (2023a). *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests*. R package version 0.7.2. https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/.

Kassambara A (2023b). *ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots*. R package version 0.6.0. https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/.

Knudby, A., og Nordlund, L. (2011). Remote sensing of seagrasses in a patchy multi-species environment. *International Journal of Remote Sensing*, *32*(8), 2227-2244. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161003692057

Krause-Jensen D, Sagert S, Schubert H, Boström C. (2008). Empirical relationships linking distribution and abundance of marine vegetation to eutrophication. *Ecological Indicators 8*: 515– 529. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.06.004

Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A., Abu, N., Jompa, J., og Harvell, C. D. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to

bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, *355*(6326), 731–733. https://doi.org/10.1126/science.aal1956

Lange, T., Oncken, N. S., Svane, N., Steinfurth, R. C., Kristensen, E., og Flindt, M. R. (2022). Large-scale eelgrass transplantation: A measure for carbon and nutrient sequestration in estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, *685*, 97–109. https://doi.org/10.3354/meps13975

Lin, C., og Zhang, L. (2015). Chapter 18—Habitat Enhancement and Rehabilitation. Í H. Yang, J.-F. Hamel, og A. Mercier (Ritstj.), Developments in Aquaculture and Fisheries Science, *Elsevier, 39*, 333–351. *https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799953-1.00018-0*

Marbá, N., D. Krause-Jensen, T. Alcoverro, S. Birk, A. Pedersen, J.M. Neto, S. Orfanidis, J.M. Garmendia, I. Muxika, A. Borja, K. Dencheva, og C.M. Duarte. 2013. Diversity of European seagrass indicators—patterns within and across regions. *Hydrobiologia, 704,* 265–278. https://doi.org/10.1007/s10750-012-1403-7

McGlathery, K. J., Sundbäck K., og Anderson, Iris C., (2007). Eutrophication in shallow coastal bays andlagoons: The role of plants in the coastal filter. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, *348(1)*.1-18. https://doi.org/10.3354/meps07132

McKenzie, L., Yaakub, S., og Yoshida, R. (2007). *Seagrass-Watch Guidelines for TeamSeagrass Participants*.

Náttúrufræðistofnun Íslands. (2024, mars). *Vistgerðakort*. ni.is. https://vistgerdakort.ni.is/

Neckles, H. A., Short, F. T., Barker, S. og Kopp, B. S. (2005). Disturbance of eelgrass Zostera marina by commercial mussel Mytilus edulis harvesting in Maine: Dragging impacts and habitat recovery. *Marine Ecology Progress Series*, *285*, 57–73. https://doi.org/10.3354/meps285057

Nordlund, L. M., Jackson, E. L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P., og Creed, J. C. (2018). Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin*, *134*, 145–151. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.014

Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., og van Belzen, J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal Engineering*, *87*, 158–168. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.005

OSPAR Commission. (2008). *Case Reports for the OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats* . OSPAR Commission. https://www.ospar.org/site/assets/files/45177/seagrass_beds.pdf

Pan, J., Han, H., Jiang, X., Zhang, W., Zhao, N., Song, S., Li, X., og Li, X. (2012). Desiccation, Moisture Content and Germination of Zostera marina L. Seed. *RESTORATION ECOLOGY*, *20*(3), 311–314. https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00857.x

Paweł Wąsowicz. Annotated checklist of cascular plants of Iceland. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar Íslands, 57, 194. https://utgafa.ni.is/fjolrit/Fjolrit_57.pdf

Posit team (2024). *RStudio: Integrated Development Environment for R.* Posit Software, PBC. http://www.posit.co/

Rakel Guðmundsdóttir, Sólveig R. Ólafsdóttir, Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Pamela Woods, Lilja Gunnarsdóttir, Karl Gunnarson, Kristinn Guðmundsson og Eydís Salóme Eiríksdóttir. (2022). *Vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun strandsjávar.* Hafogvatn.is. https://www.hafogvatn.is/static/research/files/hv2022-39.pdf

Rattanachot, E., Stankovic, M., Aongsara, S., og Prathep, A. (2018). Ten years of conservation efforts enhance seagrass cover and carbon storage in Thailand. *Botanica Marina*, *61*(5), 441–451. https://doi.org/10.1515/bot-2017-0110

Reykhólahreppur. (2020). *Framkvæmdaleyfi vegna Vestfjarðarvegar (60) frá Bjarkalundi að Skálanesi.* Reykhólahreppur.

Short FT, Neckles HA (1999). The effects of climate change on seagrasses. *Aquatic Botany 63*, 169–196.

Short, F. T., & Neckles, H. A. (1999). The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany*, *63*(3), 169–196. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00117-X

Short, F. T., Muehlstein, L. K., og Porter, D. (1987). EELGRASS WASTING DISEASE: CAUSE AND RECURRENCE OF A MARINE EPIDEMIC. *The Biological Bulletin, 173*(3), 557–562. https://doi.org/10.2307/1541701

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M. 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of experimental marine biology and ecology, 350*(1-2), 3-20.

Thorhaug, A., Poulos, H. M., López-Portillo, J., Ku, T. C. W., og Berlyn, G. P. (2017). Seagrass blue carbon dynamics in the Gulf of Mexico: Stocks, losses from anthropogenic disturbance, and gains through seagrass restoration. *Science of The Total Environment*, *605–606*, 626–636. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.189

Torre-Castro, M., Carlo, G., og Jiddawi, N. (2014). Seagrass importance for a small-scale fishery in the tropics: The need for seascape management. *Marine pollution bulletin*, *83.* https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.034

Tuya, F., Haroun, R., og Espino, F. (2014). Economic assessment of ecosystem services: Monetary value of seagrass meadows for coastal fisheries. *Ocean & Coastal Management, 96.* https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.032

Umhverfisstofnun. (2023). *Alþjóðlegir samningar - Samningur um verndun hafrýmis Norðaustur-Atlantshafsins (OSPAR).* Ust. Umhverfisstofnun. https://www.ust.is/haf-og-vatn/althjodlegt-samstarf/althjodlegir-samningar/

Unsworth, R., McKenzie, L., Collier, C., Cullen-Unsworth, L., Duarte, C., Eklöf, J., Jarvis, J., Jones, B., og Nordlund, L. (2018). *Global challenges for seagrass conservation. Ambio, 48*. https://doi.org/10.1007/s13280-018-1115-y

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., ... og Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the national academy of sciences, 106*(30), 12377-12381.

Wickham. H. (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag*. http://ggplot2.org.

Zhang, Y.-H., Yu, B., Liu, Y.-C., Ma, W., Li, W.-T., & Zhang, P.-D. (2022). The influence of decreased salinity levels on the survival, growth and physiology of eelgrass *Zostera marina*. *Marine Environmental Research*, *182*, 105787. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105787

Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson. (2005). *Fjörur í Gufudalssveit. Þorskafjörður, Djúpifjörður og Gufufjörður.* https://nave.is/wp-content/uploads/2021/04/THorleifur_Eiriksson_og_Bodvar_THorisson_2005_Fjorur_i_Gufudalssveit_THorskafjordur_Djupifjordur_og_Gufufjordur_NV_nr._07-05.pdf

VIÐAUKI I

Meðalþekja marhálms, meðalfjöldi sandmaðks, brúnþörunga, rauðþörunga og grænþörunga á mismunandi svæðum í Þorskafirði, Djúpafirði og Gufufirði (tafla 10, tafla 11, tafla 12).

Tafla 10. Þekja (%) og meðalhæð marhálms, meðalfjöldi sandmaðks, meðalþekja brúnþörunga, rauðþörunga og grænþörunga í Þorskafirði á fjórum svæðum; innanverðum vestanverðum firðinum (IV), innanverðum austanverðum firðinum (IA), utanverðum vestanverðum firðinum (UV), utanverðum austanverðum firðinum (UA) og á fyrirhugaðri veglínu (V).

	IV (n=77)		IA (n=99)		UV (n=66)		UA (n=66)		V (n=33)	
Yfirborð	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2
Marhálmur (þekja %)	56,8	63,4	60,6	43	33	43,4	53	49,9	54,4	51,6
Marhálmshæð (cm)	15,3	12,9	16,1	8,72	14,4	9	17,8	9	16,7	12
Sandmaðkur (*Arenicola marina*)	0,44	1,4	0	0	0	0	0,2	0,7	0,1	11,6
Brúnþörungar (Phaeophyta)	16,1	46,1	13,1	13,6	9,38	5	11,1	28,5	8,52	20
Rauðþörungar (Rhodophyta)	0,6	2,2	0,8	2,8	2,8	7,9	3,9	11,1	4,1	11
Grænþörungar (Chlorophyta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tafla 11. Þekja (%) og meðalhæð marhálms, meðalfjöldi sandmaðks, meðalþekja brúnþörunga, rauðþörunga og grænþörunga í Djúpafirði á fjórum svæðum; innanverðum vestanverðum firðinum (IV), innanverðum austanverðum firðinum (IA) og utanverðum austanverðum firðinum (UA) og á fyrirhugaðri veglínu (V).

	IV (n=121)		IA (n=132)		UA (n=55)		V (n=11)	
Yfirborð	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2
Marhálmur (þekja %)	33,3	45	45	58,7	33	46	15	48
Marhálmshæð (cm)	21,1	21,6	24,7	28,4	33,2	28,1	14	31
Sandmaðkur (*Arenicola marina*)	1,2	2,4	1,2	2,7	0,7	1,6	1,2	2,0
Brúnþörungar (Phaeophyta)	22,9	34,4	23,3	38,9	50,9	43,1	44,5	61,7
Rauðþörungar (Rhodophyta)	0,9	17,3	0,7	2,6	0	0	0,9	3,6
Grænþörungar (Chlorophyta)	0,8	1,7	0	0	0,2	0,4	0	0

Tafla 12. Þekja (%) og meðalhæð marhálms, meðalfjöldi sandmaðks, meðalþekja brúnþörunga, rauðþörunga og grænþörunga í Gufufirði á fjórum svæðum; innanverðum vestanverðum firðinum (IV),, utanverðum vestanverðum firðinum (UV) og utanverðum austanverðum firðinum (UA) og á fyrirhugaðri veglínu (V).

	IV (n=44)		UV (n=44)		UA (n=11)		V (n=18)	
Yfirborð	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2	$\bar{x}$	σ^2
Marhálmur (þekja %)	14	30,8	27,6	94,9	17,4	36,1	20,9	49
Marhálmshæð (cm)	14	14,5	15,4	34,9	17,5	21,4	15,4	150
Sandmaðkur (*Arenicola marina*)	0,6	1,5	0,5	3,2	0,9	2,7	0,5	12,4
Brúnþörungar (Phaeophyta)	40,3	55,6	39,2	63,5	38,3	32,2	36,5	62,5
Rauðþörungar (Rhodophyta)	2,3	7,8	0,9	3,4	0,6	1,2	4,6	11,3
Grænþörungar (Chlorophyta)	1,5	5,6	0,3	1,2	0,3	0,5	0,2	0,9