



Fossvogur

Mat á áhrifum fyrirhugaðrar brúar með straum- og vatnsgæðalíkani

Unnið fyrir Reykjavíkurborg og Kópavogsbæ

Skýrsla nr. 18.10

Janúar 2019

Verkfræðistofan Vatnaskil

Síðumúla 28

108 Reykjavík

s. 568-1766

vatnaskil@vatnaskil.is

www.vatnaskil.is

Skýrsla nr: 18.10	Útgefið: Janúar 2019	Fjöldi síðna: 36	Dreifing: Opin ☒ Lokuð ☐
Heiti skýrslu: Fossvogur. Mat á áhrifum fyrirhugaðrar brúar með straum- og vatnsgæðalíkani			
Höfundar: Helgi Gunnar Gunnarsson, Gísli Steinn Pétursson, Haukur Elvar Hafsteinsson, Sveinn Óli Pálmarsson			
Verkefnisstjóri: Sveinn Óli Pálmarsson			
Útdráttur: Reykjavíkurborg og Kópavogsbær fólu Verkfræðistofunni Vatnaskilum að kanna áhrif mismunandi tilfella af fyrirhugaðri brú yfir Fossvog á straumhegðun, útskolunargetu, súrefnisendurnýjun og botnset fyrir umhverfis-mat framkvæmdarinnar. Miðað var við núverandi ástand, 270, 170 og 100 m brú. Niðurstöður sýndu að fyrir öll brúartilfelli teljast vatnsskipti tryggð og reiknast engin breyting á tímasetningu eða varanda fjöru- og flóðatíma. Við núverandi aðstæður reiknast mesti meðalstraumhraði í fyrirhuguð brúarstæði rúmlega 10 cm/s. Fyrir 270 m brú reiknast hann mest um 15 cm/s í brúaropi en marktæk aukning í um 400 m fjarlægð sitthvoru megin við brúarop. Fyrir 170 m brú reiknast mest um 25 cm/s í brúaropi og marktæk aukning í um 700 m fjarlægð og 50 cm/s í brúaropi fyrir 100 m brú og marktæk aukning í um 1 km fjarlægð á stórstraumi. Fyrir 270 og 170 m brú breytist straumhegðun ekki að ráði utan aukningar á straumhraða út frá brúaropi en með 100 m brú myndast einnig hringstraumur á aðfalli innan vogsins upp við land beggja megin. Sem möguleg áhrif á notendur í voginum gefa ofangreind straumáhrif helst til kynna að það sem gæti reynst varhugavert er að með 100 m brú verður straumhegðun innan brúar á aðfalli greinilega flóknari með tilkomu hringstraums sem uppvið ströndina í Nauthólsvík og við Kársnesið stefnir í öfuga átt að landfyllingunni meðan straumur út frá brúaropi er inn voginn á aðfalli. Greining á straumaðstæðum við brúarstöpla byggt á frumhönnun þeirra sýndi að hraðaaukning straumsviðs umhverfis stöpul og skörp skil á straumhraða milli skjólsvæðis og svæðis þar sem hraði er mestur eru það mikil fyrir 100 m brú á stórstraumi að ljóst er að slíkar aðstæður gætu reynst varhugaverðar. Þessi skil eru einnig til staðar fyrir 270 m brú en straumhraði þar er það lágur að áhrifin eru mun minni. Áhrif vegna 170 m brúar liggja á milli þessara reiknuðu tilfella. Eins sýna reikningar að því að áhrif straums sem brúarstöpull skapar geti valdið niðursogi sem mögulega gæti verið varasamt gagnvart sjósundsfólki, og ástæða er til að kanna frekar samhliða hönnun mannvirkisins. Niðurstöður reikninga á útskolun vogsins sýndu að hún er hraðari með minnkandi brúartilfelli og má sennilegast rekja til aukins hraða í brúaropi. Útskolun vogsins er nokkuð hæg, er það helst vegna mikilla tengsla vatnsendurnýjunar við Kópavog og Arnarnesvog. Niðurstöður súrefnisreikninganna samræmast niðurstöðum útskolunar þar sem súrefnisstaða er lítillga betri með tilkomu fyllinganna og aukin þrenging gefur hærri súrefnisstyrk í því tilviki að veruleg upptaka súrefnis eigi sér stað innan brúar. Við mat á áhrifasvæðum á rofi og uppsöfnunar sets reiknast ekki nægileg breyting á straumi og öldu til þess að meta þau áhrifasvæði fyrir 270 m brú. Fyrir 170 m brú er rof metið út frá straumbandinu í brúaropinu og uppsöfnun sets gæti aukist meðfram ströndinni hjá Nauthólsvík og við landfyllinguna Kársnesmegin. Fyrir 100 m brú reiknast þessi svæði stærri en fyrir 170 m brú. Almennt má svo búast við að upprót setefna sem á sér stað utan brúar og berst í átt að brúaropi getur borist lengra inn í Fossvog á aðfalli eftir því sem straumur í brúaropi er sterkari. Til viðbótar við reiknuð áhrifasvæði uppsöfnunar sets vegna lækkunar á ölduhæð getur uppsöfnun því aukist við grynningar innar í voginum eftir því sem brúaropið er minna.			
Verkkaupi: Reykjavíkurborg og Kópavogsbær		Tengiliðir verkkaupa: Björn Axelsson, RVK., Birgir H. Sigurðsson, KÓP.	
Lykilorð: Fossvogur, brú, útskolun, súrefnisendurnýjun, setmyndun, straumar, líkangerð, straumlíkan			

Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	4
Myndaskrá	5
1. Inngangur	7
2. Gögn	7
3. Straumlíkan	7
4. Niðurstöður	8
4.1. Rennsli, sjávarhæð og vatnsskipti um brúarop	8
4.2. Straumur út frá landfyllingum	8
4.2.1. Straumhraði	8
4.2.2. Straumhegðun á aðfalli og útfalli	9
4.2.3. Áhrif á notendur	9
4.3. Straumur við brúarstöpla	9
4.3.1. Straumhegðun	10
4.3.2. Áhrif á notendur	10
4.4. Útskolun	11
4.5. Súrefnisendurnýjun	11
4.6. Mat á áhrifasvæðum setflutnings	11
4.6.1. Aðferðafræði	11
4.6.2. Öldusveigjуреikningar	12
4.6.3. Áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar sets	13
5. Samantekt	13
Heimildir	15
Myndir	16

Myndaskrá

Mynd 1. Dýptargrunnur reiknilíkans í Fossvogi.....	17
Mynd 2. Rennsli í brúarsniði fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.	17
Mynd 3. Sjávarhæð í brúaropi fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.....	18
Mynd 4. Sjávarhæð innst í Fossvogi sem þornar á fjöru fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.....	18
Mynd 5. Meðalstraumhraði í brúaropi fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.	19
Mynd 6. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 270 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu +/-5 % og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.....	20
Mynd 7. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 170 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu +/-5 % og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.....	21
Mynd 8. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 100 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu +/-5 % og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.....	22
Mynd 9. Straumstefna og -hraði við núverandi ástand á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.....	23
Mynd 10. Straumstefna og -hraði með 270 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.....	24
Mynd 11. Straumstefna og -hraði með 170 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.....	25
Mynd 12. Straumstefna og -hraði með 100 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.....	26
Mynd 13. Straumáhrif núverandi ástands og allra tilfella af brúropum á feril yfir voginn með 0,3 m/s hraða beint suður yfir í Kársnesið á aðfalli á stórstreymi.....	27
Mynd 14. Straumáhrif núverandi ástands og allra tilfella af brúropum á feril yfir voginn með 1,0 m/s hraða beint suður yfir í Kársnesið á aðfalli á stórstreymi.....	27
Mynd 15. Brúarstöpull ásamt helstu kennistærðum. Yfirborð sjávar er sett við meðalsjávarhæð og þar af leiðandi er sjávarfallastraumur í hámarki. Lengd brúar er samsíða $z - \alpha$	28
Mynd 16. Straumhraði [m/s] í nærumhverfi brúarstöpuls. Þversnið er staðsett 0,5m fyrir neðan yfirborð sjávar. Meðalstraumhraði = 15 cm/s (270 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$	28
Mynd 17. Straumhraði [m/s] í nærumhverfi brúarstöpuls. Þversnið er staðsett 0,5m fyrir neðan yfirborð sjávar. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$	29
Mynd 18. Straumhraði [m/s] umhverfis brúarstöpul. Þversnið er tekið við miðjan stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$	29

Mynd 19. Straumlinur litaðar með straumhraða [m/s]. Straumlinunum er sleppt í línu sem nær frá botni upp að yfirborði ofanstreymis við miðjan stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.	29
Mynd 20. Straumlinur litaðar með straumhraða. Straumlinunum er sleppt frá jafnhæðarlínum ofanstreymis við stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.	30
Mynd 21. Straumlinur litaðar með straumhraða. Straumlinunum er sleppt frá jafnhæðarlínum ofanstreymis við stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.	30
Mynd 22. Samanburður reiknaðrar útskolunar Fossvogs fyrri mismunandi lengdir af brúaropum.	31
Mynd 23. Samanburður reiknaðs meðalstyrks súrefnis innan Fossvogs fyrir mismunandi lengdir af brúaropum við ríkjandi logn. Sýnd eru 12 klukkustunda meðalgildi.	31
Mynd 24. Öldurós í spápunkti með hnitin $64.0^\circ\text{N } 23^\circ\text{V}$.	32
Mynd 25. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Skerjafirði.	32
Mynd 26. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi fyrir núverandi ástand á stórstraumsflóði.	33
Mynd 27. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 270 m brú á stórstraumsflóði.	33
Mynd 28. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 170 m brú á stórstraumsflóði.	34
Mynd 29. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 100 m brú á stórstraumsflóði.	34
Mynd 30. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 270 m brú. Áhrif eru óveruleg og því engin svæði sýnd.	35
Mynd 31. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 170 m brú.	36
Mynd 32. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 100 m brú.	37

1. Inngangur

Reykjavíkurborg og Kópavogsbær fólu Verkfræðistofunni Vatnaskilum að kanna áhrif mismunandi tilfella af fyrirhugaðri brú yfir Fossvog á straumhegðun, útskolunargetu, súrefnisendurnýjun og botnsetsrof og -uppsöfnun í voginum fyrir umhverfismat framkvæmdarinnar. Miðað var við eftirfarandi tilfelli:

- Núverandi ástand – engin brú
- Samtals 70 m landfyllingar – 270 m brú
- Samtals 170 m landfyllingar – 170 m brú
- Samtals 240 m landfyllingar – 100 m brú

Við lausn verkefnisins var beitt tvívíðu straumlíkani við mat á rennsli og straumhegðun um virkt vatnsop hvers tilfellis, tengt við vatnsgæða- og öldusveigjuhluta reiknilíkansins við mat á áhrifum á útskolun og súrefnisstyrk og áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar setefnis innan brúar. Til viðbótar var þrívíðu straumlíkani beitt til þess að kanna straumhegðun í nágrenni brúarstöpla byggt á frumhönnun þeirra.

Var sérstaklega haft í huga við greiningu og úrvinnslu líkanniðurstaðna hver möguleg áhrif gætu orðið á notendur svæðisins, þ.e. siglinga- og sjósundsfólk.

2. Gögn

Sjómælingar Íslands afhentu dýptarmælingar af Skerjafirði, þar með talið fjölgeislamælingu frá 2017 framkvæmda af Vegagerðinni. Sú mæling nær inn fyrir um miðjan Fossvog, en þar fyrir innan eru til gamlar mælingar frá 1955. Þeirri mælingu ber þó ágætlega saman við fjölgeislamælinguna. Ekki eru til mælingar á dýpi á því svæði vogsins sem er þurrt á stórstraumsfjöru og er það dýpi áætlað út frá loftmyndum á mismunandi sjávarstöðu og hæð sjávarfallasveiflunnar á þessu svæði.

Verkfræðistofan Efla afhenti teikningar af landfyllingum fyrir mismunandi tilfelli brúarops auk þver- og langsniða af frumhönnun brúarstöpla.

Reykjavíkurborg afhenti safn af loftmyndum yfir svæðið og Alta ehf. afhenti gögn um botngerð Skerjafjarðar (Arnþór Garðarsson og Kristín Aðalsteinsdóttir, 1977).

3. Straumlíkan

Stíllt var upp samtvinnuðu straum- og dreifilíkani Vatnaskila af Faxaflóa sem uppfært var vegna núverandi mats á áhrifum landfyllingar fyrirhugaðrar brúar yfir Fossvog til þess að auka nákvæmni þess á nærsvæði brúarinnar. Uppfærslan snéri aðallega að þéttingu reikninets, uppfærslu dýptargrunns og jaðars út frá nýjustu mælingum frá Sjómælingum Íslands og loftmyndum. Líkanið endurspeglar þannig núverandi aðstæður í Fossvogi eins og kostur er út frá tiltækum gögnum, sjá dýptargrunn líkansins á mynd 1. Við mat á áhrifum landfyllinganna var þeim bætt við núverandi ástand og niðurstöður reikninga bornar saman við tilsvarende reikninga fyrir núverandi ástand.

4. Niðurstöður

4.1. Rennsli, sjávarhæð og vatnsskipti um brúarop

Samanburður á reiknuðu rennsli með og án landfyllinga (mynd 2) sýnir að ekki er munur á fasa og magni rennslis um sniðið fyrir núverandi aðstæður og öll tilfelli brúaropa. Teljast því vatnsskipti að fullu tryggð fyrir hvert tilfelli brúarops.

Á mynd 3 má sjá sjávarhæð í punkti í brúaropinu og á mynd 4 í punkti innst í Fossvogi sem þornar á fjöru fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops. Þar sést að engin breyting á sjávarhæð reiknast með tilkomu brúar og engin breyting á tímasetningu eða varanda fjöru- og flóðatíma.

4.2. Straumur út frá landfyllingum

Eftirfarandi greining metur straumáhrif sem eiga sér stað vegna þrengingar með landfyllingum fyrir hvert tilfelli brúarops í Fossvoginum. Straumáhrif sem eiga sér stað á nærsvæði brúarstöpla eru metin í kafla 4.3.

4.2.1. Straumhraði

Mynd 5 sýnir meðalstraumhraða í brúaropinu fyrir öll tilfelli á stórstraumi. Við núverandi aðstæður reiknast hann mest um rúmlega 10 cm/s í fyrirhugðu brúarstæði. Fyrir 270 m brú reiknast hann mest um 15 cm/s. Fyrir 170 m brú reiknast mest um rúmlega 25 cm/s en um 50 cm/s fyrir 100 m brú. Þar sem rennsli og vatnshæð haldast óbreytt í brúaropinu fyrir öll tilfelli sést að skerðing rennslisþversniðs með minnkandi brúaropi skilar sér í auknum straumhraða.

Á myndum 6 - 8 er búið að reikna meðalstraumhraða á áhrifasvæði brúarinnar í Fossvoginum yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir öll tilfelli. Þar er lagt mat á áhrifasvæði hvers tilfellis af brúaropi á straumhraða í voginum með því að sýna jafngildislínur meðalstraumhraða fyrir núverandi ástand (brotin grá lína), fyrir tilfelli brúar (heil svört lína) og hlutfallslegan mun þar á (lituð svæði) í straumbandinu út frá brúaropinu og á skjólsvæðum landfyllinganna. Breyting á meðalstraumi á bilinu $\pm 5\%$ og á svæðum þar sem straumur er undir 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur. Við núverandi ástand reiknast mesti straumhraði á stórstreymi í þrengingunni þar sem landfylling brúarinnar er fyrirhuguð um 10 cm/s. Innar í voginum lækkar straumhraði eftir því sem dýpi minnkar og er á bilinu 2 – 8 cm/s á stórstraumi. Er því ekki um að ræða mikinn straumhraða við núverandi ástand í Fossvogi og er hann enn lægri meirihluta tímans þegar ekki er stórstreymt.

Fyrir 270 m brú (mynd 6) reiknast marktæk aukning á straumhraða í um 400 m fjarlægð sitthvoru megin við brúna, þar sem hann eykst um 5 – 25% og allt að 50% í brúaropi. Fyrir 170 m brú (mynd 7) reiknast marktæk aukning á straumhraða í um 700 m fjarlægð í straumbandinu sitthvoru megin við brúaropið og hefur hraðinn í brúaropinu tvöfaldast. Fyrir 100 m brú (mynd 8) nær áhrifasvæðið um 1 km í straumbandinu sitthvoru megin við brúaropið þar sem meðalstraumhraði er um tvöfaldur miðað við núverandi ástand í um 500 m fjarlægð frá brúaropi innan vogsins. Eins og sést á mynd 5 hefur straumhraði um fimmfaldast í brúaropi frá núverandi ástandi. Fyrir öll tilfelli lækkar straumhraði að meðaltali yfir eina sjávarfallasveiflu hlémegin við landfyllingarnar eftir því hvort sé aðfall eða útfall og stækkar það svæði eftir því sem brúaropið er minna.

4.2.2. Straumhegðun á aðfalli og útfalli

Mynd 9 sýnir straumhegðun í Fossvoginum við núverandi aðstæður á aðfalli og útfalli á stórstraumi. Þar sést að við enda flugbrautarinnar Reykjavíkurmegin og við uppfyllinguna á Kársnesinu Kópavogsmegin er þrenging í Fossvoginum og straumur eykst þar lítillega. Straumstefnan er nokkuð beint inn veginn í austur en þó með lítillegri sveigju til norðurs. Straumhraðinn lækkar í átt að ströndu og að botni vogsins þar sem hann breikkar og dýpi minnkar. Með 170 m og 270 m brú (myndir 10 - 11) breytist straummynstrið ekki að ráði nema hraði eykst í og út frá brúaropinu. Með 100 m brú (mynd 12) eykst einnig straumhraði í straumbandinu út frá brúaropinu en á aðfalli myndast nú hringstraumur innan vogsins svo straumstefnan upp við land beggja megin snýst við miðað við núverandi ástand.

4.2.3. Áhrif á notendur

Til þess að draga upp mynd af þeim áhrifum sem ofantaldar breytingar í straummynstri og -hraða geta haft á notendur strandsvæðisins þá eru teiknaðir upp ferlar þvert yfir veginn fyrir mismunandi ferða- hraða og áhrif straums þar á, ekki er tekið tillit til neinna áhrifa frá vindi. Mynd 13 sýnir hvernig reiknaður straumur á aðfalli á stórstraumi (straumur inn veginn) hefur áhrif á feril sjófaranda sem ferðast með hraðanum 0,3 m/s (30 cm/s, u.þ.b. 5 mínútur að fara 100 m eða u.þ.b. 0,6 hnúta) hraða beint í suður yfir í Kársnesið í fjórum mismunandi sniðum. Þar sést að í sniði næst fyrirhuguðum landfyllingum brúar eru mest áhrif á ferilinn með 100 m brú þar sem hringstraumur upp við land færir hann í átt að landfyllingunni Reykjavíkurmegin, straumurinn í brúaropinu færir hann svo inn veginn og svo aftur að landfyllingunni Kársnesmegin. Með stærri brúaropum dregur úr þessum áhrifum og verða líkari núverandi ástandi þar sem færslan er eingöngu inn veginn. Einnig dregur úr áhrifunum eftir því sem innar dregur í veginum og í innsta sniðinu eru áhrif nánast óveruleg.

Á mynd 14 er miðað við ferðahraðann 1 m/s (100 cm/s, u.þ.b. 1,7 mínútur að fara 100 m eða u.þ.b. 2 hnútar). Þar sést að á þessum hraða verða áhrifin af straumnum nánast óveruleg á ferilinn yfir veginn fyrir öll tilfelli brúarops í öllum sniðum.

Þetta er einföld greining með það að markmiði að setja reiknaðan straumhraða í veginum í samhengi við mögulegan ferðahraða t.d. sundmanns eða siglingafólks yfir veginn og áhrif þar á. Straumhraðinn í reiknilíkaninu er meðalstraumhraði yfir dýpi, búast má við að straumhraði við yfirborð sé aðeins hærri sem gæti aukið áhrif á reiknaðan feril.

Þessi greining tekur ekki tillit til þrívíðra straumáhrifa sem geta myndast á nærsvæði brúarstöplanna. Greint er frá niðurstöðum þeirrar greiningar í kafla 4.3.

Að þessu sögðu þá gefa reikningarnir helst til kynna að það sem gæti reynst varhugavert er að með 100 m brú verður straumhegðun innan brúar á aðfalli greinilega flóknari með tilkomu hringstraums sem uppvið ströndina í Nauthólsvík og við Kársnesið stefnir í öfuga átt að landfyllingunni meðan straumur út frá brúaopi er inn veginn.

4.3. Straumur við brúarstöpla

Könnuð voru þrívíð áhrif brúarstöpla á straumsvið í nærumhverfi miðað við mesta meðalstraumhraða í brúaropi fyrir stærsta og minnsta brúarop, byggt á frumhönnun þeirra eins og sýnt er á mynd 15. Mat fæst þannig á mögulegum áhrifum sem stöplar sem þessir gætu haft á strauma í nágrenni við. Fyrir hvort tilfelli er straumsvið reiknað fyrir tvær straumstefnur: annars vegar þar sem straumur er hornréttur á brú ($\alpha=0^\circ$), sem er væntanleg straumstefna fyrir brúarstöpla í grennd við miðju brúar og hinsvegar fyrir straumstefnu sem er 30° frá hornrétttri stefnu á brú ($\alpha=30^\circ$), sem er væntanleg straumstefna fyrir brúarstöpla í grennd við brúarenda. Tafla 1 sýnir þau tilfelli sem reiknuð voru.

Tafla 1. Reiknuð tilfelli þar sem könnuð eru þrívíð áhrif brúarstöpla á sjávarstrauma.

Tilfelli	Brú (m)	Meðalstraumhraði (cm/s)	Aðfallshorn (°)
1a	270	15	0
1b	270	15	30
2a	100	50	0
2b	100	50	30

4.3.1. Straumhegðun

Áhrif brúarstöpla á sjávarstrauma við yfirborð fyrir 270 m brú annars vegar og 100 m brú hins vegar eru sýnd á myndum 16 og 17. Þar kemur í ljós að helstu einkenni straumsviðsins umhverfis stöpulinn halda sér fyrir bæði tilfelli á straumhraða sem skoðuð eru. Ljóst er að sjórinn sveigir af leið umhverfis brúarstöpul og skjólsvæði myndast á töluvert stóru svæði neðanstreymis stöpulsins eins og við er að búast. Einnig myndast skjól ofanstreymis næst stöplinum. Við það að sveigja af leið verður aukning á straumhraða mest rúm 30% staðbundið neðanstreymis við fremri brún stöpuls. Þar myndast skörp skil milli skjólsvæðis og svæðis þar sem straumhraði er hvað mestur.

Einnig er vert að nefna að flæði sjávar í skjólsvæði fyrir aftan stöpul einkennist af slembikenndu þrívíðu iðustreymi. Það kemur betur í ljós þegar dýptarþversnið og straumlínur eru skoðaðar eins og sýnt er á myndum 18-21. Þrívíð áhrif straumsviðsins eru aukin mjög vegna lögunar stöpulsins og þar er ljóst að ferningslaga burðarkubbur sem hvílir á sívalningunum tveimur hefur mest áhrif til aukningar á iðustreymi. Eins eru áhrifin aukin enn frekar ef straumstefna er ekki þvert á brúarstöpul eins og sést vel á mynd 21. Þar kemur vel í ljós þrívíður hvirfill sem myndast fyrir aftan brúarstöpullinn og einnig sést að hvirfillinn skapar niðursog. Þó að einkenni straumáhrifa séu svipuð fyrir báðar stærðir á brúaropi þá eru straumáhrifin mildari fyrir stærra brúaropið vegna lægri meðalstraumhraða. Ástæða er til að skoða nánar þessi áhrif við hönnun mannvirkisins.

4.3.2. Áhrif á notendur

Hraðaaukning straumsviðs umhverfis stöpul og skörp skil á straumhraða milli skjólsvæðis og svæðis þar sem hraði er mestur eru það mikil fyrir 100 m brú á stórstraumi að ljóst er að slíkar aðstæður gætu reynst varhugaverðar. Þessar aðstæður eru einnig til staðar fyrir 270 m brú en áhrifin eru mun minni. Áhrif vegna 170 m brúar liggja á milli þessara reiknuðu tilfella. Eins sýna reikningar að þrívíð áhrif straums sem brúarstöpull skapar geti valdið niðursogi sem gæti verið varasamt gagnvart sjósundsfólki. Nauðsynlegt gæti því reynst að setja upp helgunarsvæði umhverfis stöpla til að lágmarka líkur á að sjófarendur hætti sér inn á þau svæði þar sem hættu er til staðar. Hugsanlega er mögulegt að lágmarka framangreind áhrif í hönnunarferli mannvirkisins með annars konar hönnun á brúarstöplum, en hér hefur ekki farið mat á næmni fyrir breyttri lögun stöpla.

4.4. Útskolun

Útskolun vogsins var skoðuð fyrir mismunandi brúarop til að meta frekar áhrif fyllingarinnar á virkni sjávarfalla í vöginum. Hlutlaust sporefni var sett með jöfnum styrk innan fyllingarinnar í upphafi keyrslu. Engu viðbótarefni var bætt við á keyrslutímanum.

Niðurstöður gefa til kynna að útskolun sé hraðari með minnkandi brúaropi (mynd 22). Þetta má sennilegast rekja til aukins hraða í brúaropi. Útskolun vogsins er nokkuð hæg, er það helst vegna mikilla tengsla vatnsendurnýjunar við Kópavog og Arnarnesvog. Eftir 5-7 sveiflur er styrkur kominn undir 40% af upphaflegum styrk vogsins og eftir rúmlega viku er styrkur farinn að nálgast 10% af upphaflegum styrk.

4.5. Súrefnisendurnýjun

Áhrif á súrefnisendurnýjun með sjávarföllum voru könnuð fyrir mismunandi brúarop og borið saman við núverandi ástand án brúar. Reiknaður var styrkur uppleysts súrefnis við aðstæður þar sem álag er innan fyllingarinnar og endurnýjun súrefnis um yfirborð er takmörkuð. Í útreikningum var gert ráð fyrir logni til að útiloka endurnýjun súrefnis um yfirborð og þar með takmarka endurnýjun súrefnis innan fyllingar við endurnýjun með sjávarföllum. Súrefnisálagi var haldið staðbundið og var því jafndreift yfir rúmmál þar sem dýpi er meira en 2,5 m við meðalsjó. Súrefnisálag var sett sem 1 g súrefnis á m^3 á dag innan vegfyllingar, að auki var gert ráð fyrir að súrefnisþörf við botn væri 1 g á m^2 botns á dag yfir allt líkansvæðið, þ.m.t. inn í Fossvogi. Gert er ráð fyrir að upphafsskilyrði og jaðarskilyrði líkans sé nærri fullri metnun.

Niðurstöður súrefnireikninganna (mynd 23) samræmast niðurstöðum útskolunar þar sem súrefnisstaða er lítillega betri með tilkomu fyllinganna og aukin þrenging gefur hærri súrefnisstyrk. Eins og kom fram í greiningu á útskolun vogsins eru mikil tengsl vatnsendurnýjunar við Fossvog, Kópavog og Arnarnesvog. Þessi tengsl valda því að súrefnisendurnýjun um yfirborð viðheldur súrefnisstyrk vel á svæðinu þar sem stærra virkt yfirborðsflatarmál er til staðar til endurnýjunar súrefnis um yfirborð. Ef sama álag er sett en súrefnisendurnýjun um yfirborð bætt við með 5 m/s vindi viðhelst nær full metnun fyrir öll tilvik.

4.6. Mat á áhrifasvæðum setflutnings

4.6.1. Aðferðafræði

Niðurstöðum á öldu- og straumreikningum er beitt til þess að leggja mat á möguleg áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar sets í Fossvöginum fyrir mismunandi tilfelli brúarops. Byggt á sýnatökum á botni Skerjafjarðar er botngerð Fossvogs aðallega leðja eða leir, þ.e. kornastærð að meirihluta undir 63 μm (Arnbór Garðarsson og Kristín Aðalsteinsdóttir, 1977). Samloðun milli agna með svo fína kornastærð gerir það að verkum að þær hreyfast ekki sem stakar agnir heldur festast saman og mynda stærri agnir. Setflutningsreikningar á seti með þessa eðliseiginleika geta reynst nokkuð flóknir úrlausnar, krafist umfangsmikillar gagnasöfnunar og fela í sér töluverða óvissu engu að síður þar sem setflutningur á svo finu efni er háður svo mörgum breytum. Þó er hægt að meta út frá helstu líkingum á setflutningi á setefni með kornastærð undir 63 μm með samloðun að þröskuldsgildi skerspennu við botn þar sem uppsöfnun byrjar að eiga sér stað sé á bilinu 0,05 – 0,15 N/m^2 (Van Rijn, 1998). Þetta viðmið (hér miðað við miðgildið 0,1 N/m^2) er nýtt, í stað þess að reikna formbreytingar á sjávarbotninum í Fossvogi, til þess að leggja gróft mat á áhrifasvæði innan brúar í vöginum þar sem uppsöfnun gæti átt sér stað með tilkomu brúar fyrir mismunandi brúarop.

Til þess eru reiknaðir 1 árs atburðir (endurkomutími 1 ár) af úthafsöldu inn Fossvoginn fyrir öll tilfelli brúarops og við núverandi ástand við mismunandi sjávarstöðu. Áhrifasvæði uppsöfnunar sets innan brúar eru svo metin þar sem ölduhæð lækkar nægjanlega mikið vegna skjóláhrifa landfyllinganna svo skerspenna við botn verður jöfn eða undir þröskuldsgildi uppsöfnunar. Innan þeirra svæða verður sú breyting á með tilkomu brúar að ekki verður nægjanleg ölduhæð, og þar með skerspenna við botn, til þess að róta upp efni, borið saman við núverandi ástand sem eykur líkur á uppsöfnun sets.

Áhrifasvæði rofs er metið með svipuðum hætti en þar er sjávarfallastraumurinn helsti drifkraftur vegna straums í brúaropi. Ekki hefur verið lagt mat á sambærilegt þröskuldsgildi þar sem rof á sér stað fyrir fínefni með samloðun þar sem það er háð svo mörgum breytum (Van Rijn, 1998). Fyrir efni án samloðunar er miðað við að $0,1 \text{ N/m}^2$ skerspenna hreyfi agnir með kornastærð $100 \mu\text{m}$ eða minna en ljóst er að vegna samloðunar að þá er það þröskuldsgildi hærra fyrir setefnin í Fossvogi. Engu að síður er það gildi nýtt hér sem viðmið fyrir mögulegt rof og ætti því að gefa varfærið mat á áhrifasvæði rofs.

4.6.2. Öldusveigjurekaðningar

Áhrif landfyllinganna á öldufar í Fossvoginum eru metin fyrir ölduatburði með um 1 árs endurkomutíma. Til þess var nýtt líkindadreifing í spápunkti í Faxaflóa frá Evrópsku veðurstofunni í Reading (ECMWF) sem Vegagerðin birtir í samstarfi við Veðurstofuna með hnitin 64.0°N 23.0°V , sjá öldurós á mynd 24. Þessi gögn gefa til kynna ölduhæð, sveiflutíma og öldustefnu og hafa gefið góðan samanburð við mælingar úr duflum hér við land og innihalda um 60 ára tímaröð. Miðað er við að úthafsaldan sé drifin áfram af vindatburði sem svarar til vindhraða með um 1 árs endurkomutíma í Reykjavík. Saman gefa þessir atburðir varfærið mat á ölduhæð með 1 árs endurkomutíma. Mat á úthafsöldu og vindhraða með 1 árs endurkomutíma fyrir mismunandi áttir út frá þriggja parametra Weibull dreifingu má sjá í töflu 2.

Öldurós spápunktsins í Faxaflóa (mynd 24) sýnir að suðvestanáttin er algengasta öldustefna úthafsöldunnar en Skerjafjörðurinn er opnastur fyrir vestlægri öldustefnu úthafsöldunnar. Fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops var því skoðuð áhrif af vestan úthafsöldu ásamt norðan- og suðvestan öldu.

Mynd 25 sýnir hæð og stefnu kenniöldu í Skerjafirði og þar sést hvernig ölduhæðin lækkar eftir því sem dýpi minnkar og aldan sveigir í átt að landi. Myndir 26 – 29 sýna hæð og stefnu kenniöldu í Fossvoginum fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúaropa fyrir vestan úthafsöldu. Hæð kenniöldu er um 1 m í mynni Fossvogs við núverandi ástand og lækkar inn veginn. Öldusveigjulkanið gefur mat á öldubögnun (e. Diffraction) um brúaropið og lækkar ölduhæð í Fossvoginum eftir því sem brúaropið er minna.

Tafla 2. Mat á ölduhæð og sveiflutíma öldu, ásamt vindhraða með um 1 árs endurkomutíma.

Átt	Spápunktur 64.0°N 23.0°V		Vindhraði [m/s]
	H_s [m]	T_p [s]	
NV	5,7	10,7	15
V	8,7	13,2	15
SV	8,9	13,4	15

4.6.3. Áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar sets

Þessir reikningar ásamt straumreikningum voru nýttir til þess að leggja mat á líkleg áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar á seti. Fyrir 270 m brú (mynd 30) reiknast ekki nægar breytingar á straumi og öldu til þess að mynda áhrifasvæði byggt á aðferðarfræðinni sem hér er beitt. Fyrir 170 m brú (mynd 31) sést áhrifasvæði rofs út frá straumbandinu í brúaropinu og að uppsöfnun sets geti aukist meðfram ströndinni hjá Nauthólsvík og við landfyllinguna Kársnesmegin. Með 100 m brú (mynd 32) stækka þessi svæði og að auki gæti safnast upp set á svæðum innar í Fossvogi.

Fyrir Fossvog eru orkumestu ölduatburðirnir frá hafi með stefnu inn voginn og eru setflutningar þar með í svipaðri stefnu. Þetta sést meðal annars á botngerð Skerjafjarðar. Þar er að mestu leyti grófara efni, sandur, mól og grjót utar í firðinum þar sem alda og straumur er hærri, en fínefni eru innar í vogunum (Arnþór Garðarsson og Kristín Aðalsteinsdóttir, 1977) þar sem straumur lækkar. Upprót setefna sem á sér stað utan brúar og berst þar með í átt að brúaropi getur borist lengra inn í Fossvog á aðfalli eftir því sem straumur í brúaropi er sterkari. Til viðbótar við reiknuð áhrifasvæði uppsöfnunar sets vegna lækkunar á ölduhæð getur uppsöfnun því aukist við grynningar innar í voginum eftir því sem brúaropið er minna. Af sömu ástæðu má búast við fyrir öll tilfelli brúarops að einhver uppsöfnun eigi sér stað við landfyllingarnar Skerjafjarðarmegin af efni sem ekki berst að brúaropinu.

Þessi greining tekur eingöngu tillit til setefna út frá náttúrulegri botngerð Fossvogs miðað við forsendur þar um og þeim náttúrulegu ferlum sem virka á flutning þess efnis. Ekki hefur verið leitast við að leggja mat á mögulegan flutning efnis sem t.a.m. berst að svæðinu, samanber vegna viðhalds nærliggjandi ylstrandar, né hugsanleg áhrif brúarinnar á þann flutning.

5. Samantekt

Helstu niðurstöður á áhrifum mismunandi tilfella af brúaropi í Fossvogi eru:

- **Fyrir öll tilfelli brúaropa:**
 - Teljast vatnsskipti tryggð
 - Reiknast engin breyting á tímasetningu eða varanda fjöru- og flóðatíma
- **270 m brú**
 - Mesti meðalstraumhraði í brúaropi reiknast 15 cm/s, borið saman við 10 cm/s fyrir núverandi ástand
 - Straumhegðun svipuð og fyrir núverandi ástand, en meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi eykst í um 400 m fjarlægð sitthvoru megin við brú um 5 – 25% og 25 – 50% í brúaropi.
 - Straumhraði í voginum er lágur fyrir, svo aukning á straumhraða veldur óverulegri breytingu á feril sjófarenda þvert yfir voginn á stórstraumsaðfalli borið saman við núverandi ástand.
 - Við brúarstöpul myndast skörp skil milli skjólsvæðis og svæðis þar sem straumhraði er hvað mestur og flæði sjávar í skjólsvæði fyrir aftan stöpul einkennist af iðustreymi. Hefur ferningslaga burðarkubbur þar mest áhrif sem aukast einnig þegar straumstefnan er ekki þvert á brúarstöpulinn. Fyrir aftan brúarstöpul getur myndast niðursog. Lágur meðalstraumhraði í brúaropi dregur þó úr áhrifunum.

- Óveruleg breyting á útskolun og súrefnisendurnýjun í Fossvogi
- Ekki reiknast nægjanleg breyting á straumi og öldu til þess að meta áhrifasvæði rofs og uppsöfnunar sets.
- **170 m brú**
 - Mesti meðalstraumhraði í brúaropi reiknast 25 cm/s, borið saman við 10 cm/s fyrir núverandi ástand.
 - Straumhegðun svipuð og fyrir núverandi ástand, en meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi eykst í um 700 m fjarlægð í straumbandinu sitthvoru megin við brúaropið þar sem hraðinn í brúaropinu hefur rúmlega tvöfaldast.
 - Greinanleg breyting á ferli sjófarenda þvert yfir voginn næst brúaropi en óveruleg áhrif á feril innar í voginum.
 - Við brúarstöpul má búast við sömu straumhegðun og fyrir 270 m brú en vegna hærri meðalstraumhraða í brúaropi verða áhrif meiri.
 - Útskolun og súrefnisendurnýjun eykst lítillega, væntanlega vegna aukins straumhraða.
 - Áhrifasvæði rofs metið í straumbandinu út frá brúaropinu og að uppsöfnun sets geti aukist meðfram ströndinni hjá Nauthólsvík og við landfyllinguna Kársnesmegin.
- **100 m brú**
 - Mesti meðalstraumhraði í brúaropi reiknast 50 cm/s, borið saman við 10 cm/s fyrir núverandi ástand.
 - Straumhegðun breytist greinanlega á aðfalli innan Fossvogsins. Straummynstur verður flóknara þar sem hringstraumur myndast upp við ströndina í Nauthólsvík og Kársnesmegin svo straumstefnan verður í átt að landfyllingunni, á meðan straumstefnan er inn voginn út frá brúaropinu.
 - Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi eykst marktækt í um 1 km fjarlægð í straumbandinu sitthvoru megin við brúaropið. Meðalstraumhraði er um tvöfaldur miðað við núverandi ástand í um 500 m fjarlægð frá brúaropi innan vogsins en í brúaropi hefur meðalstraumhraði um fimmfaldast frá núverandi ástandi.
 - Vel greinanleg áhrif á feril sjófarenda yfir voginn næst brúaropi, þ.m.t. áhrif hringstraums upp við ströndu en dregur úr þeim innar í voginum.
 - Hraðaaukning straumsviðs umhverfis stöpul og skörp skil á straumhraða milli skjólsvæðis og svæðis þar sem hraði er mestur eru það mikil á stórstraumi að ljóst er að slíkar aðstæður gætu reynst varhugaverðar. Flæði sjávar í skjólsvæði fyrir aftan stöpul einkennist af iðustreymi. Hefur ferningslaga burðarkubbur þar mest áhrif sem aukast einnig þegar straumstefnan er ekki þvert á brúarstöpulinn. Fyrir aftan brúarstöpul getur myndast niðursog. Hærri meðalstraumhraði í brúaropi veldur því að straumáhrif eru meiri.
 - Útskolun og súrefnisendurnýjun eykst lítillega, væntanlega vegna aukins straumhraða.
 - Áhrifasvæði rofs metið út frá straumbandinu í brúaropinu og að uppsöfnun sets geti aukist meðfram ströndinni hjá Nauthólsvík og við landfyllinguna Kársnesmegin á stærra svæði samanborið við 170 m brú.

- **Uppsöfnun sets, almennt**

- Upprót setefna sem á sér stað utan brúar og berst í átt að brúaropi getur borist lengra inn í Fossvog á aðfalli eftir því sem straumur í brúaropi er sterkari. Til viðbótar við reiknuð áhrifasvæði uppsöfnunar sets vegna lækkunar á ölduhæð getur uppsöfnun því aukist við grynningar innar í vöginum eftir því sem brúaropið er minna. Af sömu ástæðu má búast við að fyrir öll tilfelli brúarops að einhver uppsöfnun eigi sér stað við landfyllingarnar Skerjafjarðarmegin af efni sem ekki berst að brúaropinu.
- Þessi greining tekur eingöngu tillit til setefna út frá náttúrulegri botngerð Fossvogs miðað við forsendur þar um og þeim náttúrulegu ferlum sem virka á flutning þess efnis. Ekki hefur verið leitast við að leggja mat á mögulegan flutning efnis sem t.a.m. er borið að svæðinu, samanber vegna viðhalds nærliggjandi ylstrandar, né hugsanleg áhrif brúarinnar á þann flutning.

- **Brúarstöplar, almennt**

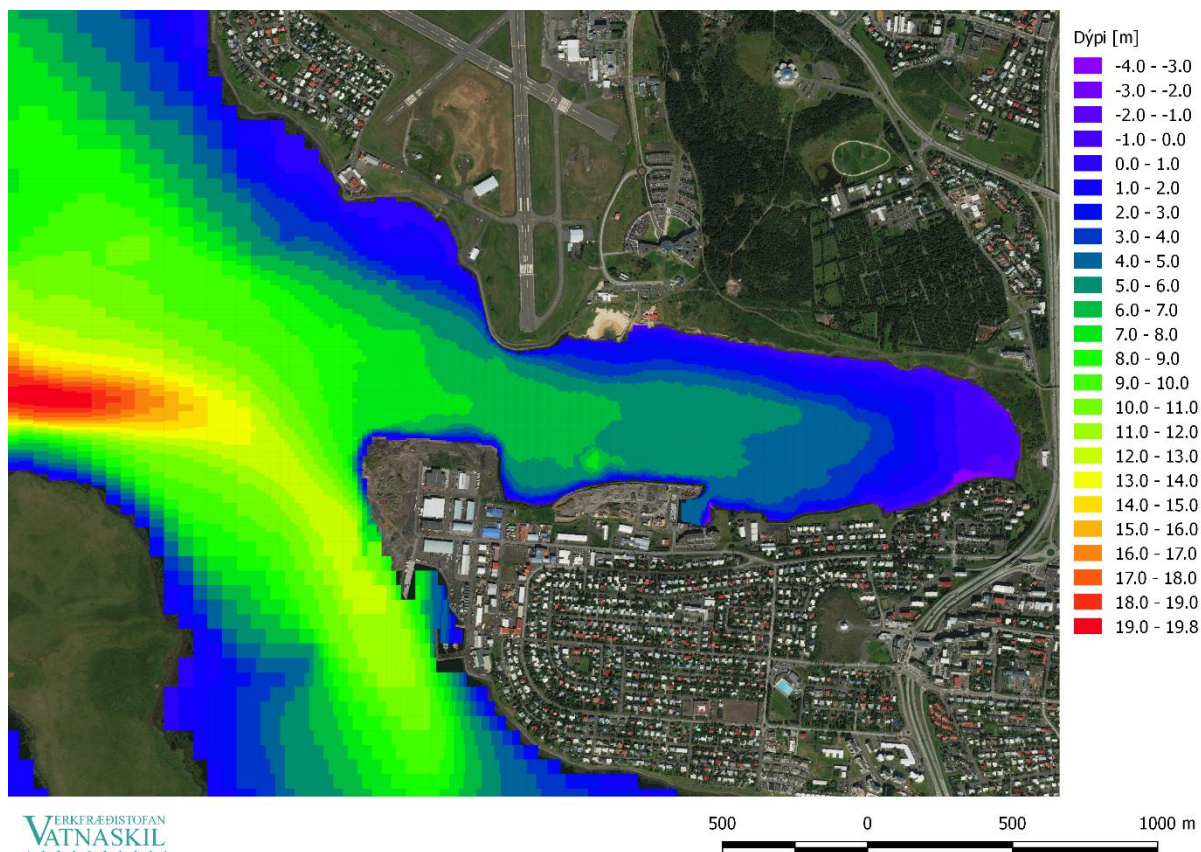
- Einungis hefur verið horft til mögulegra áhrifa brúarstöpla miðað við frumhönnun. Niðurstöður gefa til kynna breytta straumhegðun í nágrenni stöpla, aukið iðustreymi og niðursog, sér í lagi þegar straumhraði eykst með minna brúaropi. Ástæða er til að taka tillit til þessara áhrifa við hönnun mannvirkisins og tryggja að við endanlega útfærslu hafi slík áhrif verið lágmörkuð.

Heimildir

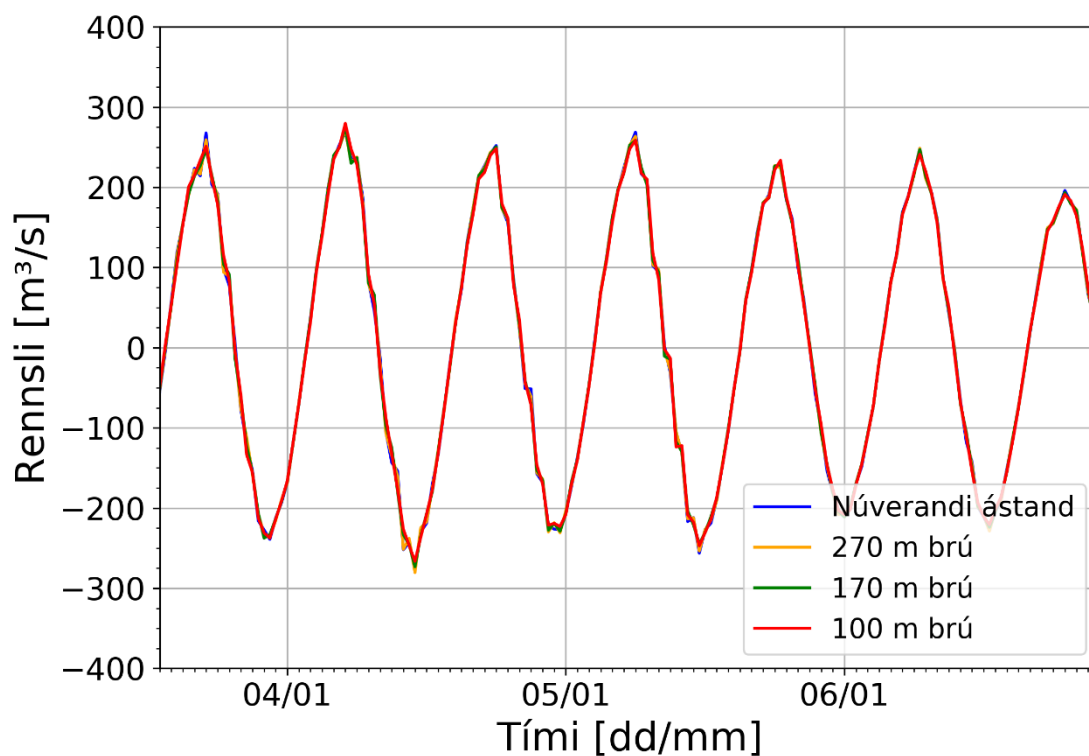
Arnpór Garðarsson og Kristín Aðalsteinsdóttir, 1977. Rannsóknir í Skerjafirði. I. Botndýralíf. Niðurstöður könnunar í júní 1975. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 9. Reykjavík 1977.

Van Rijn, L.C., 1998. Principles of Coastal Morphology. Aqua Publications, Netherlands.

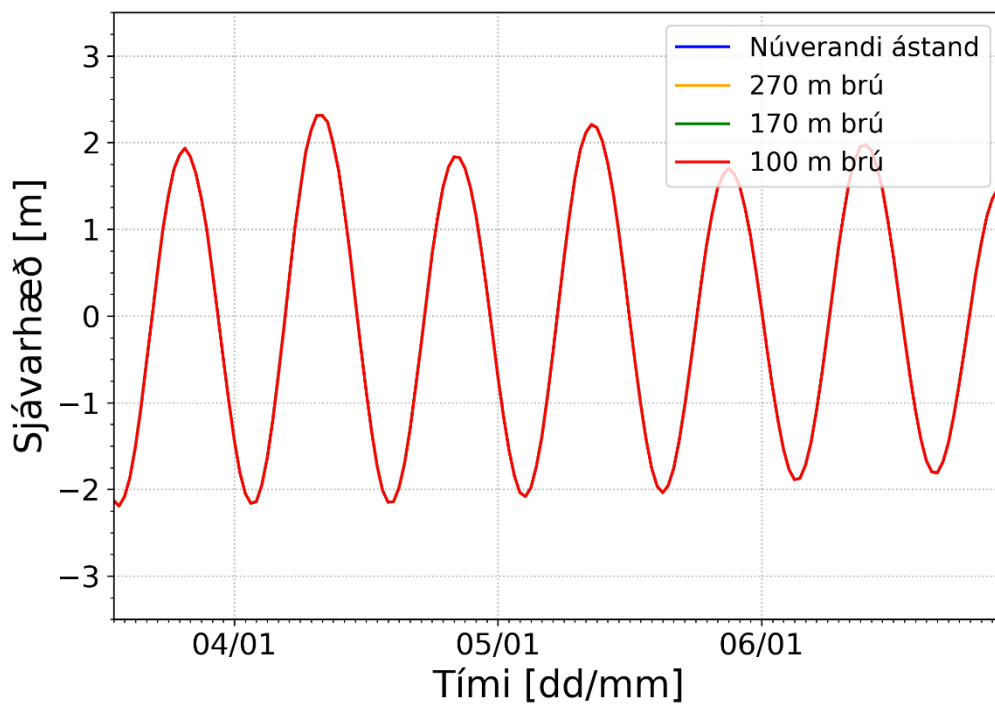
Myndir



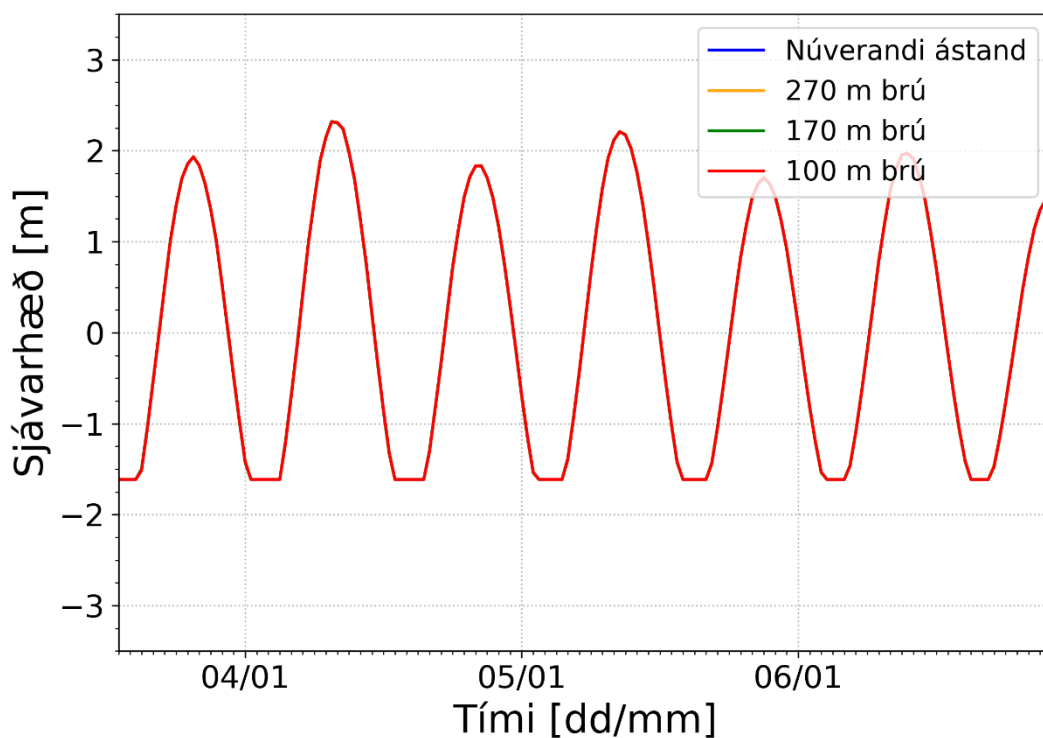
Mynd 1. Dýptargrunnur reiknilíkans í Fossvogi.



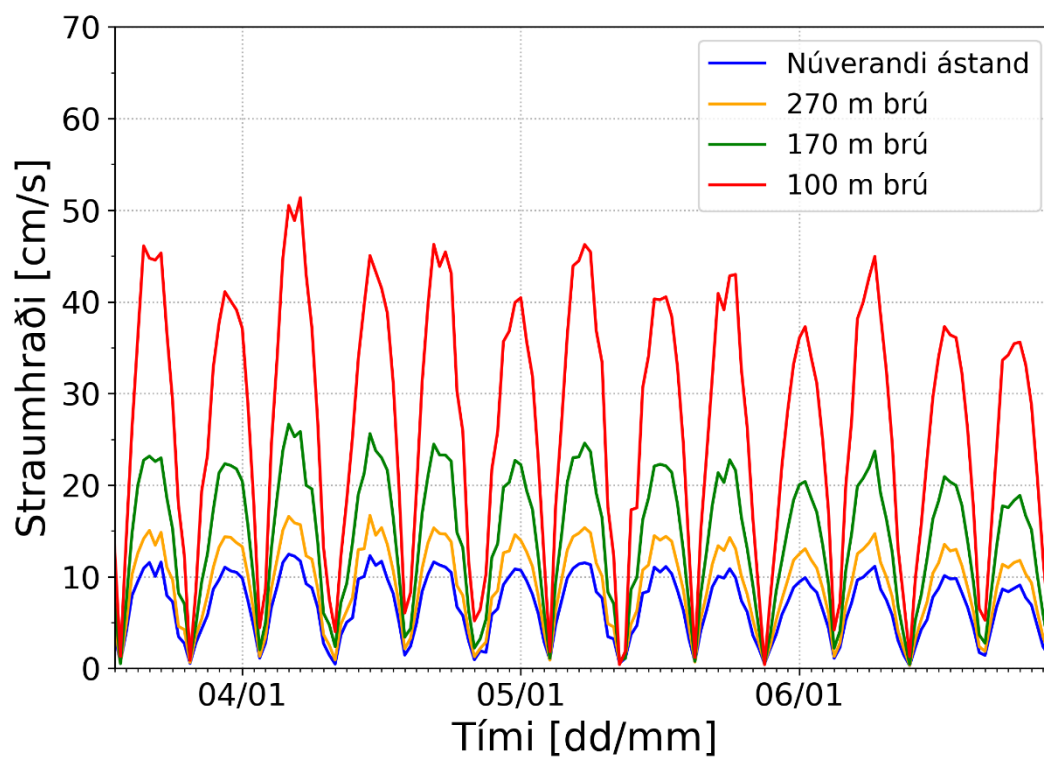
Mynd 2. Rennsli í brúarsniði fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.



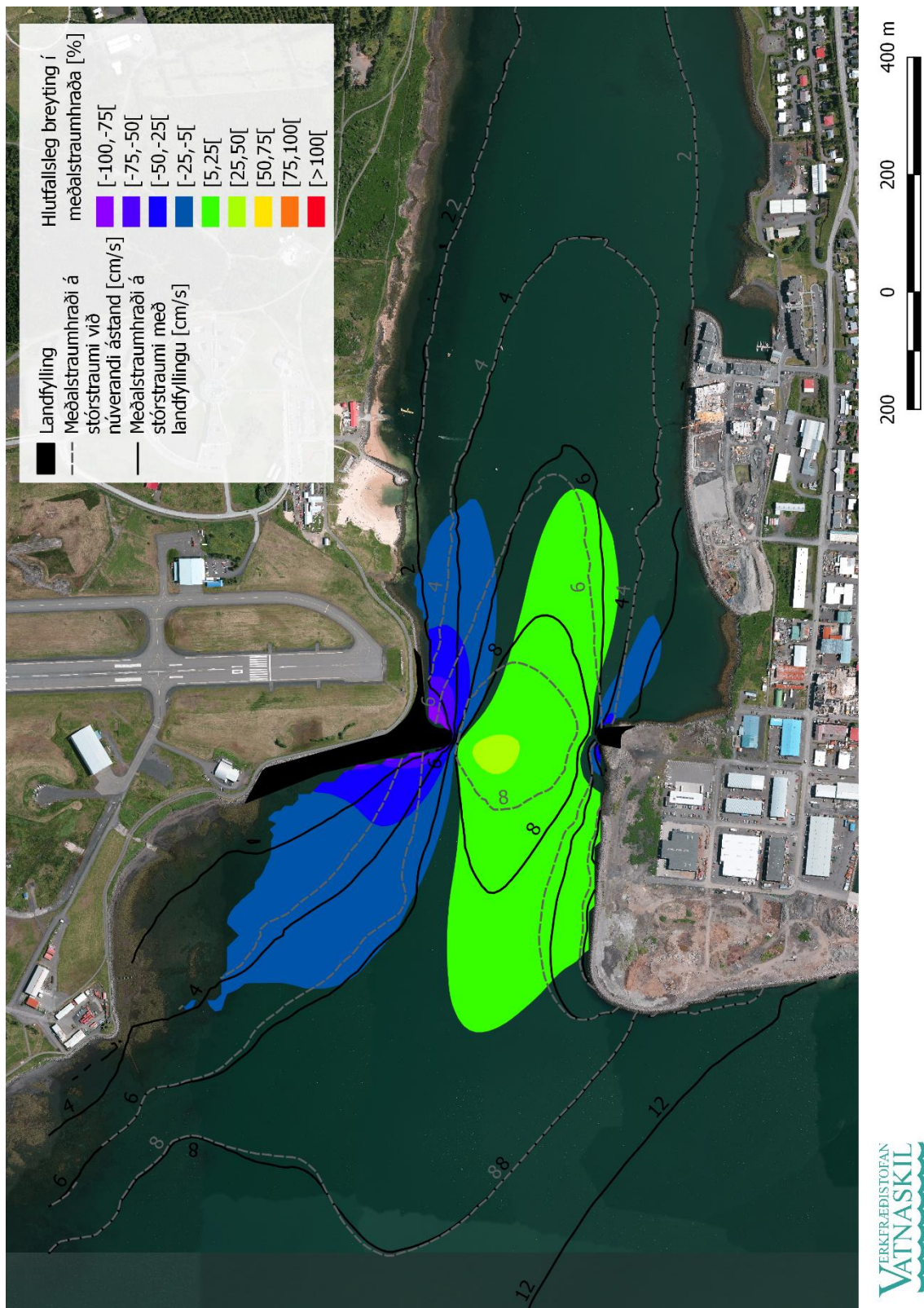
Mynd 3. Sjávarhæð í brúaropi fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.



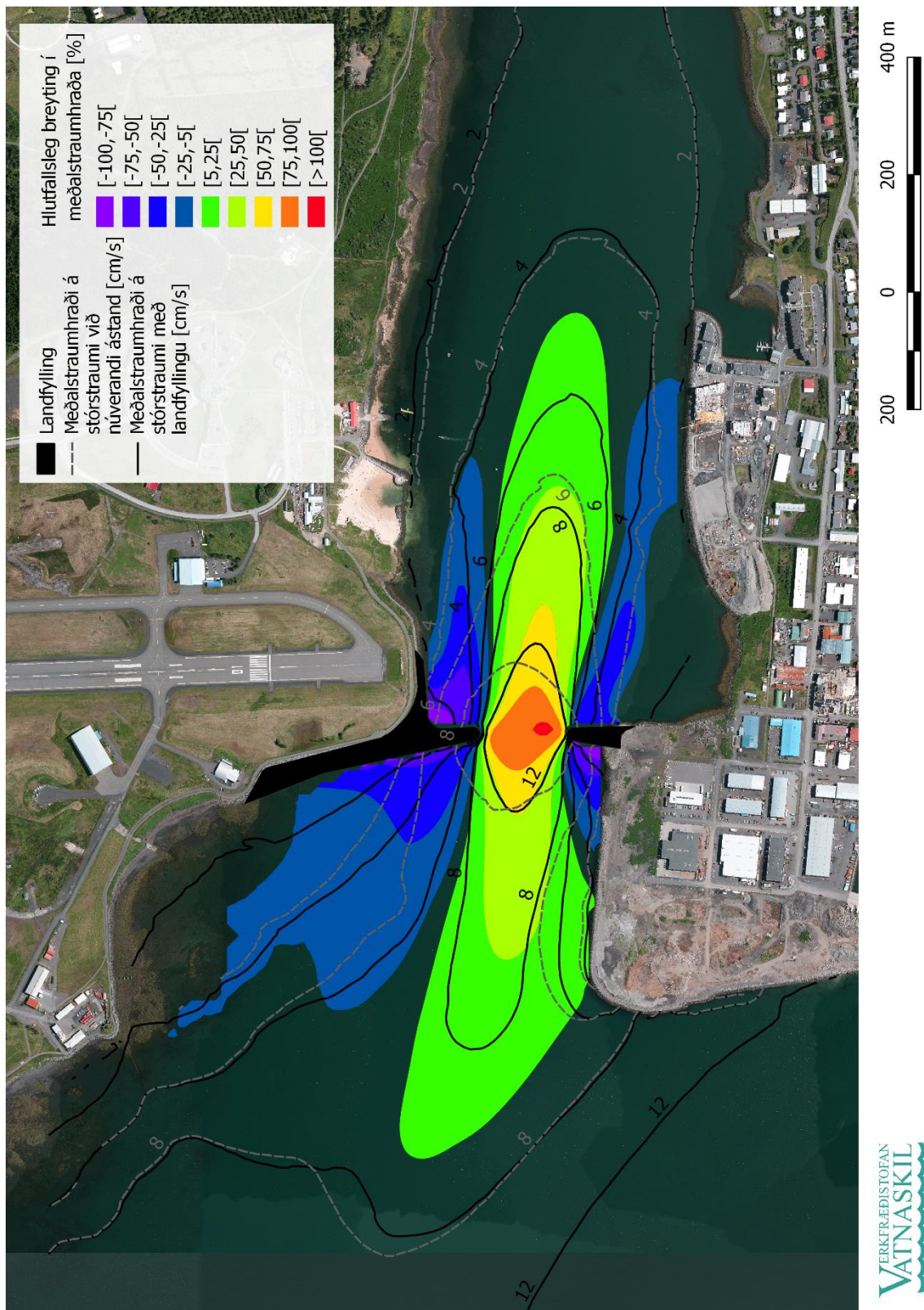
Mynd 4. Sjávarhæð innst í Fossvogi sem þornar á fjöru fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.



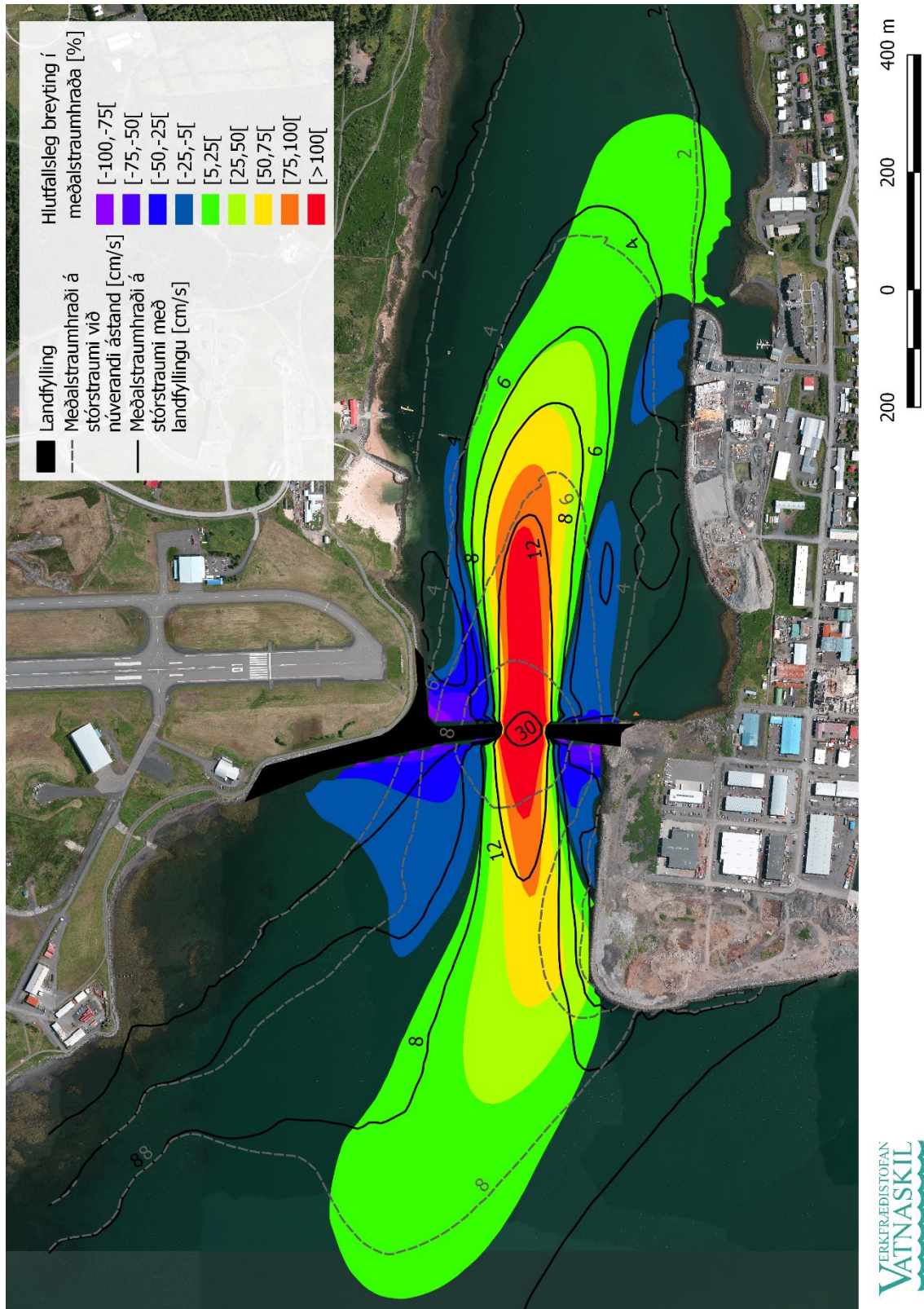
Mynd 5. Meðalstraumhraði í brúaropi fyrir núverandi ástand og öll tilfelli brúarops.



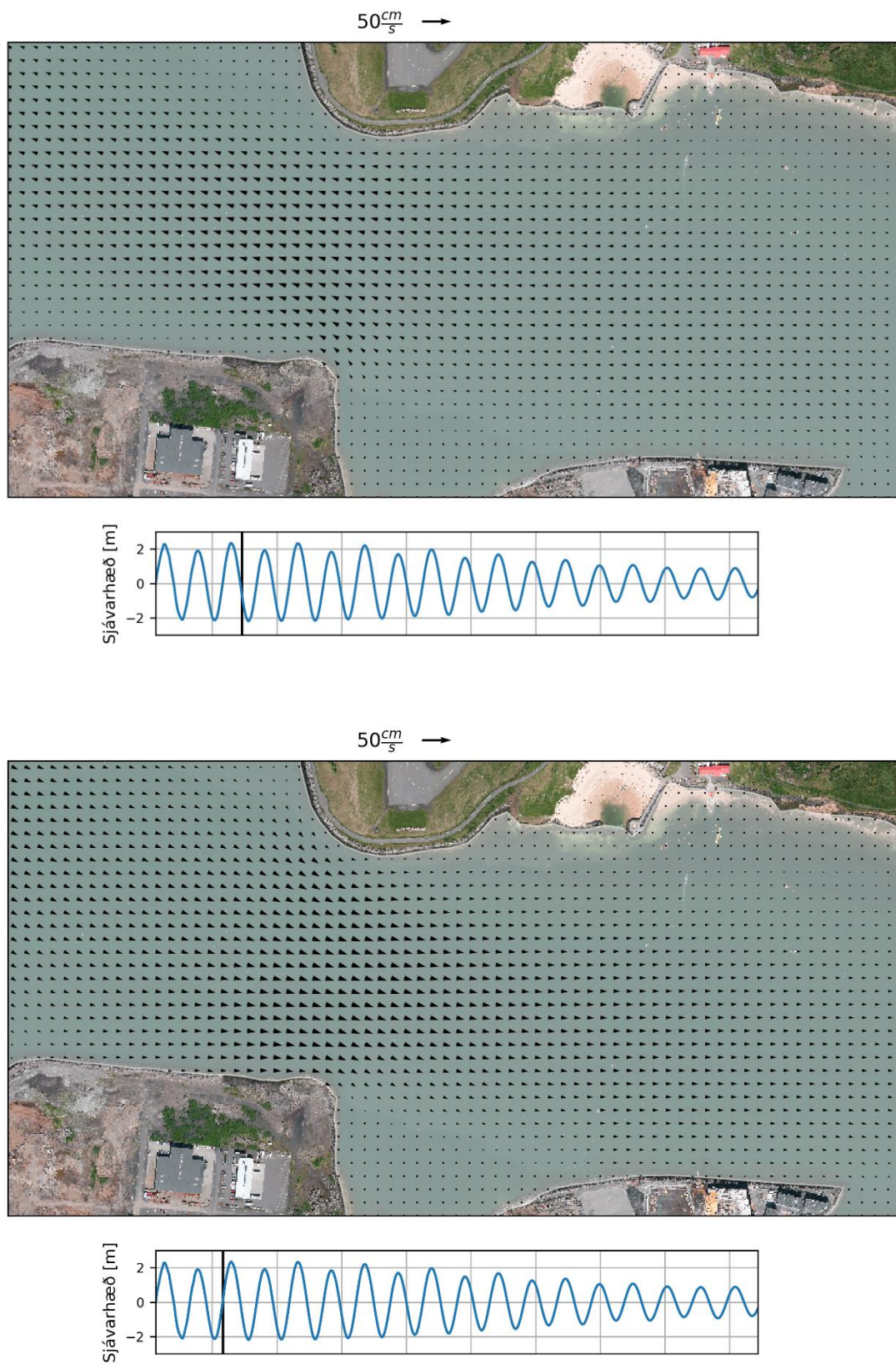
Mynd 6. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 270 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu $\pm 5\%$ og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.



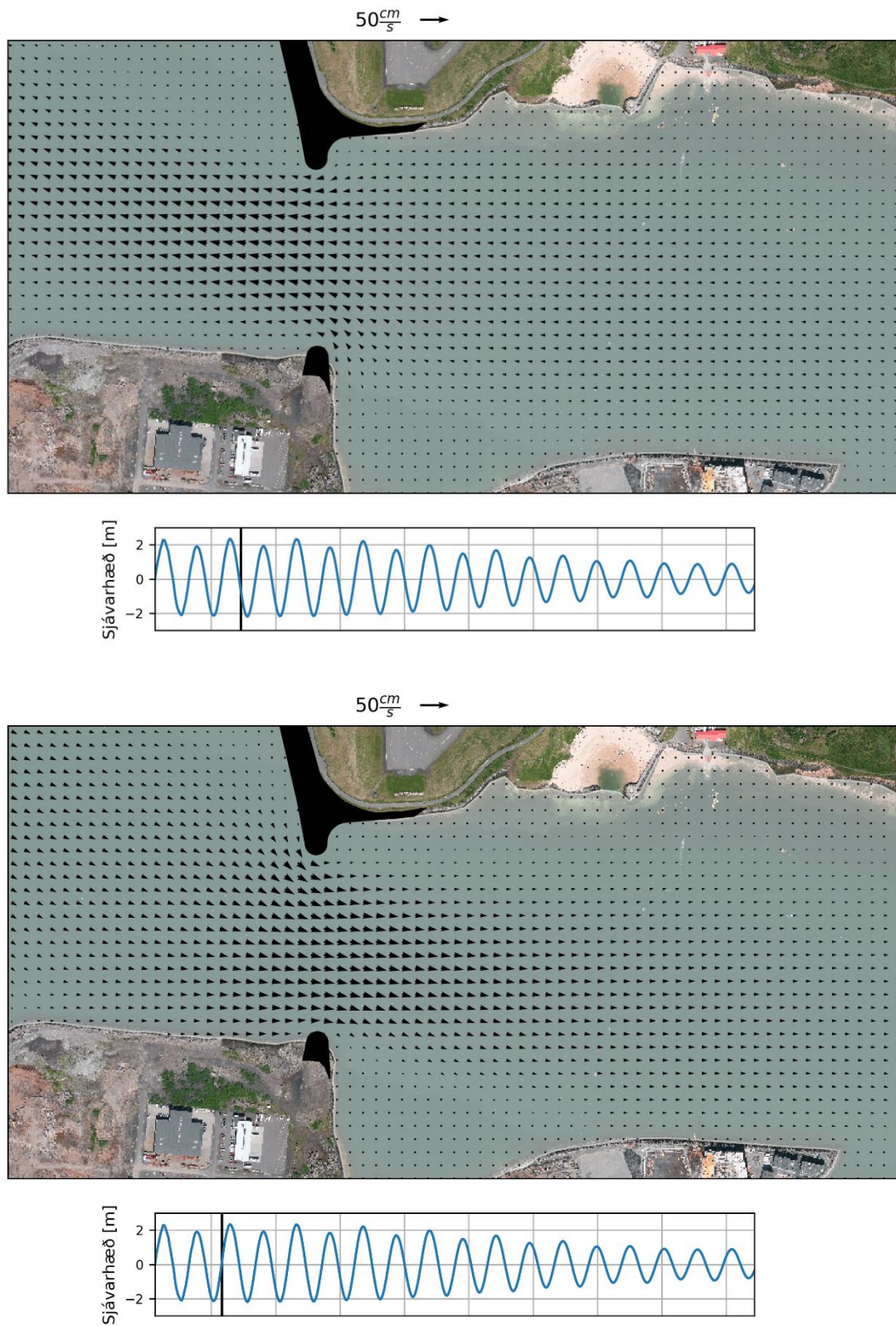
Mynd 7. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 170 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu $\pm 5\%$ og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.



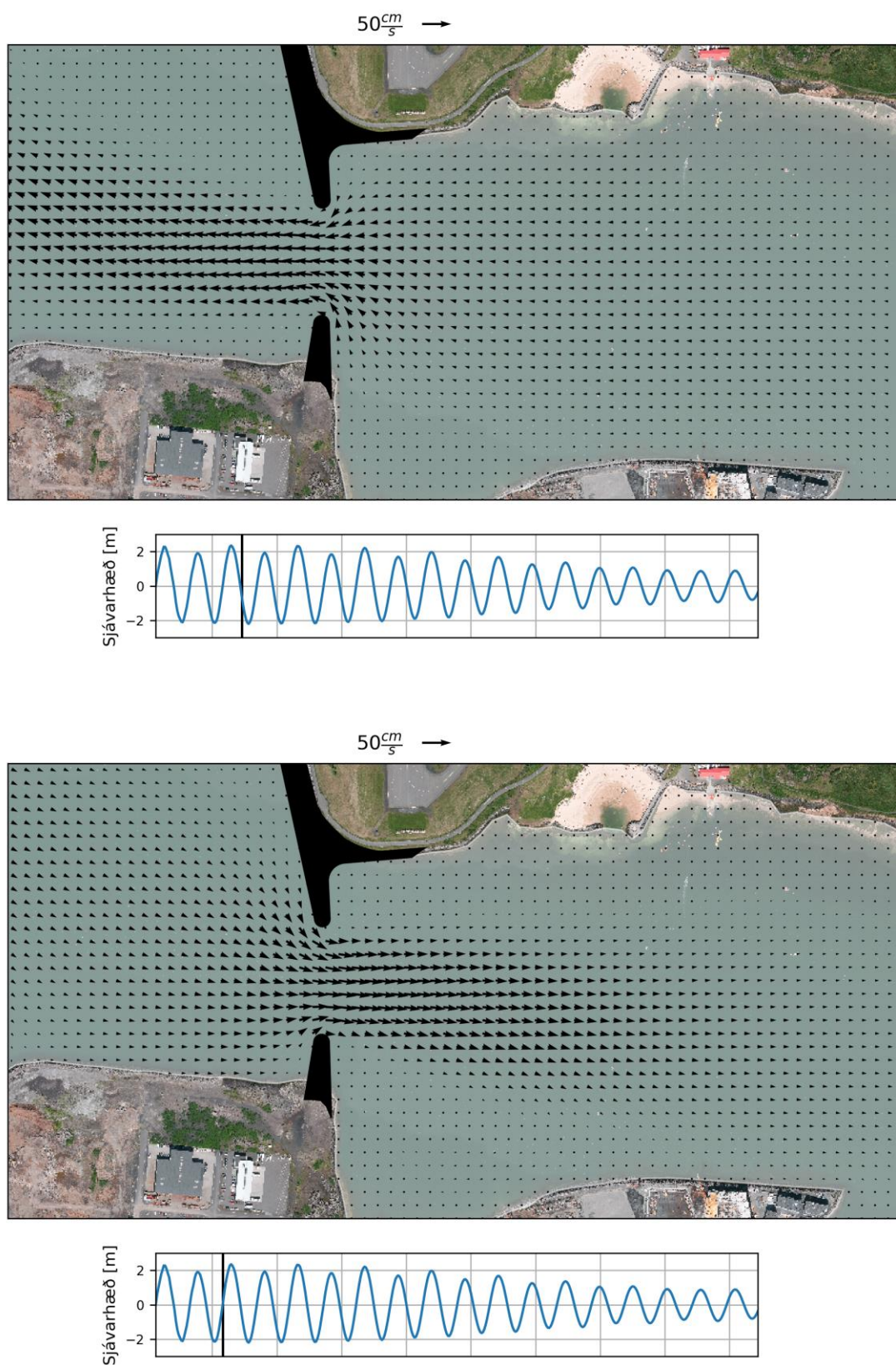
Mynd 8. Meðalstraumhraði yfir eitt sjávarfall á stórstraumi fyrir núverandi ástand (grá brotin lína), með 100 m brú (heil svört lína) og hlutfallsleg breyting þar á (lituð svæði). Breyting á meðalstraumi á bilinu $\pm 5\%$ og á svæðum þar sem straumur er undir um 2 cm/s er metinn óverulegur og ekki sýndur.



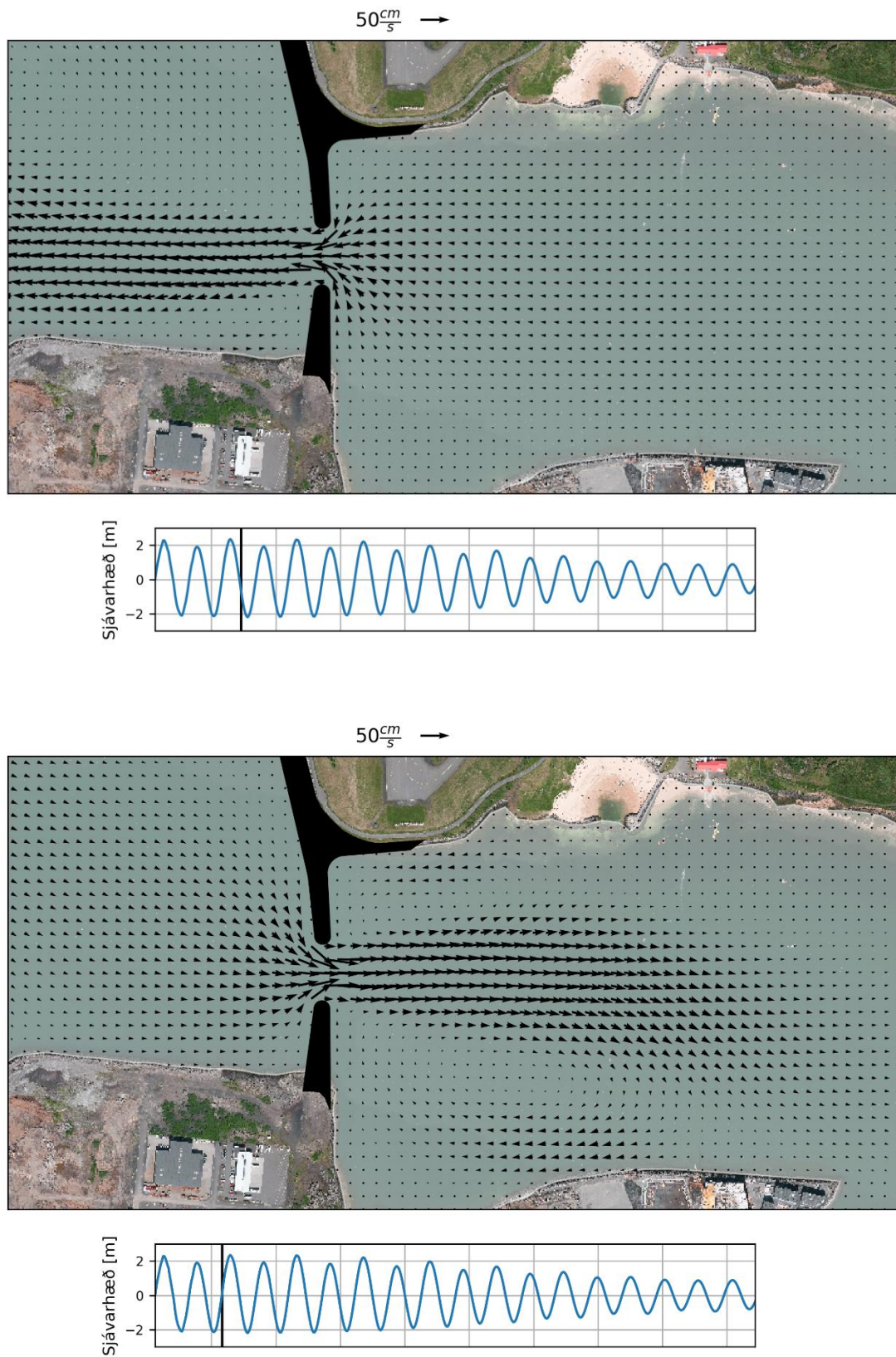
Mynd 9. Straumstefna og -hraði við núverandi ástand á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.



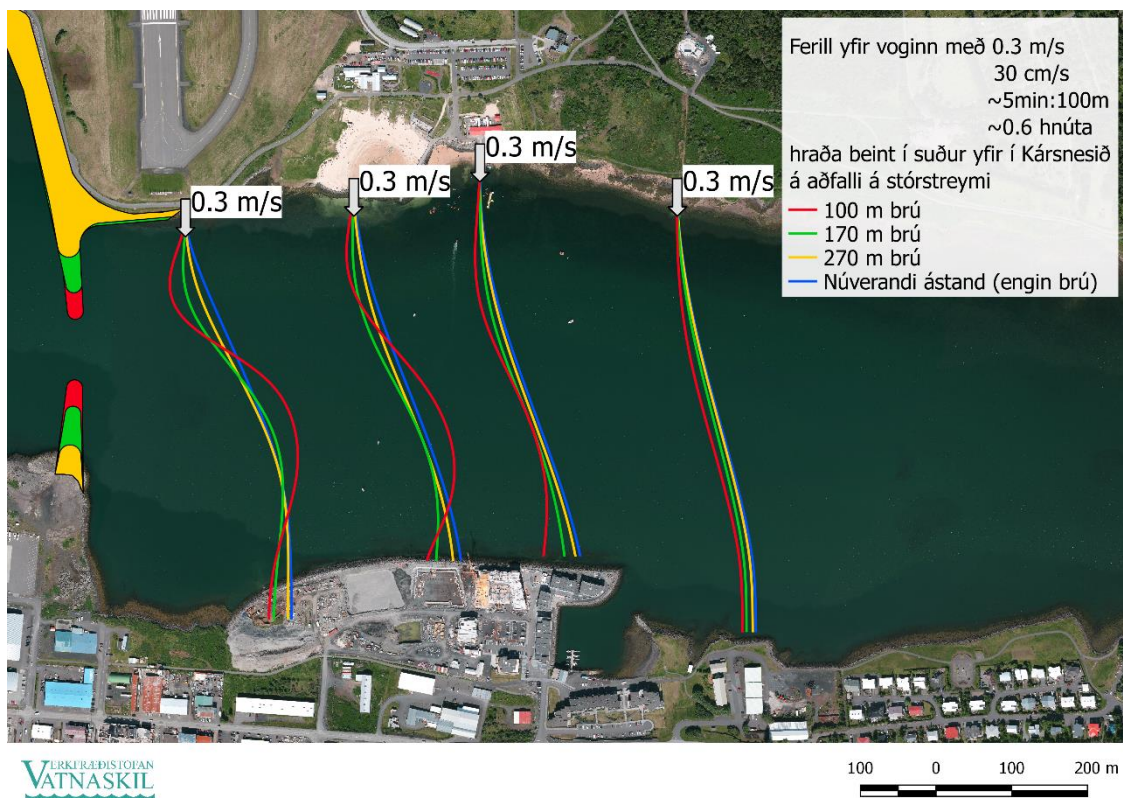
Mynd 10. Straumstefna og -hraði með 270 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.



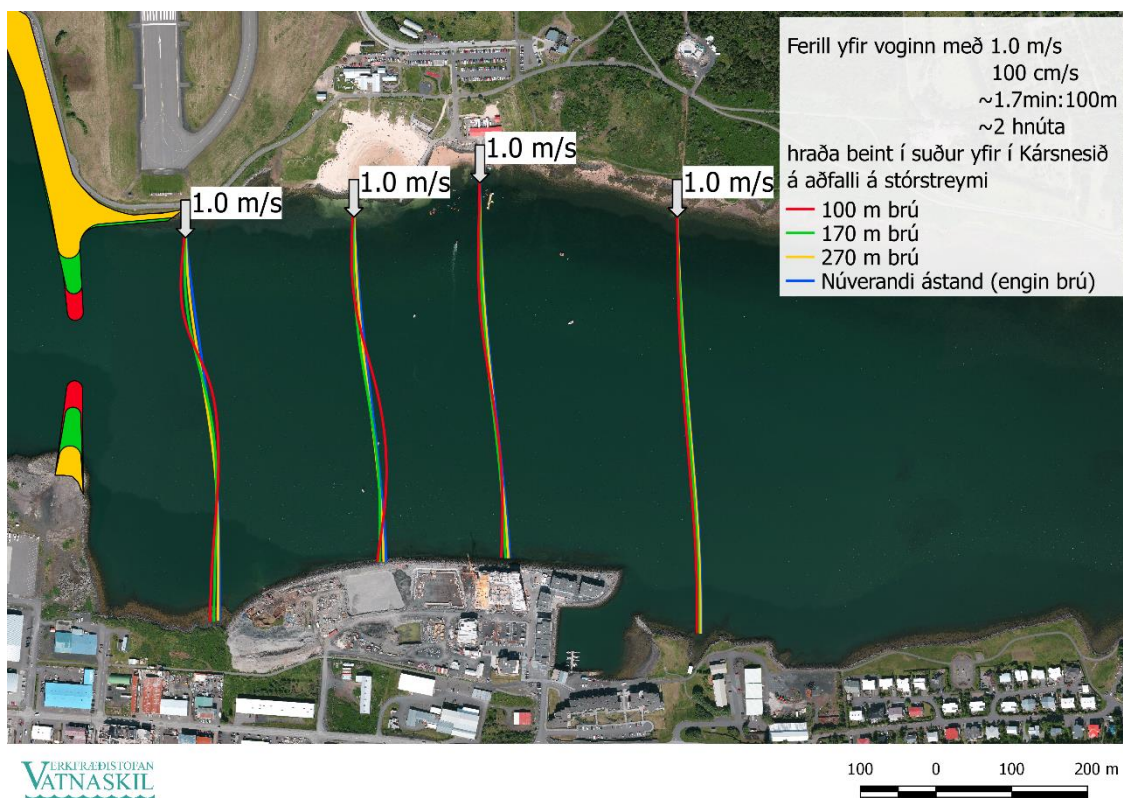
Mynd 11. Straumstefna og -hraði með 170 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.



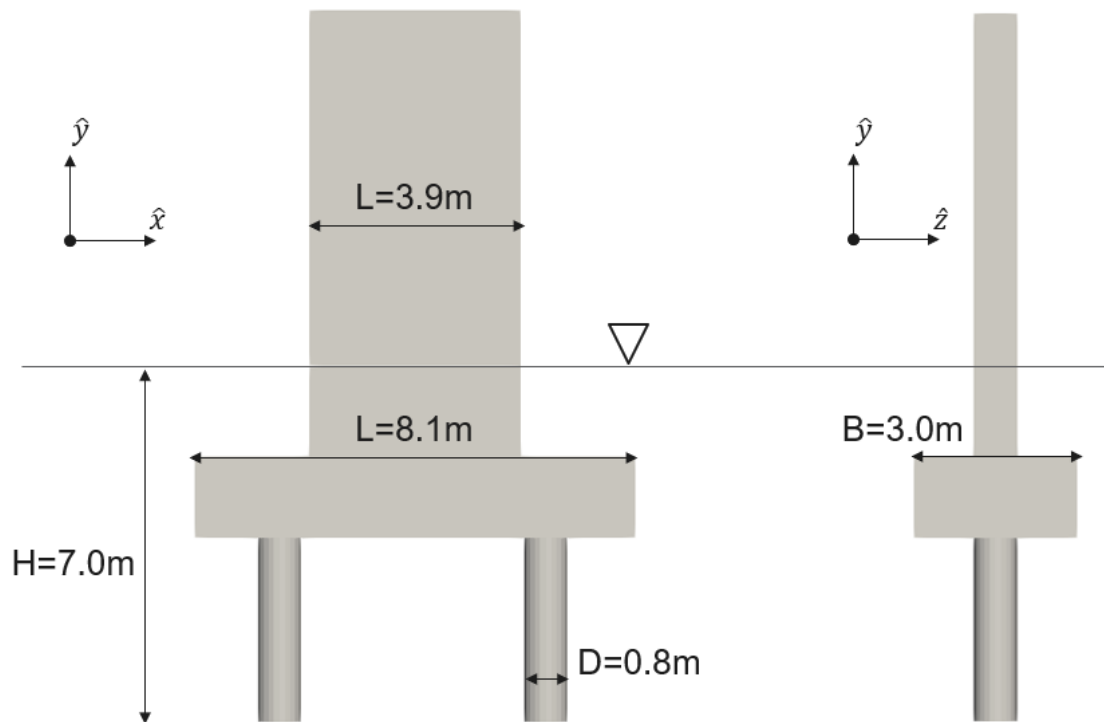
Mynd 12. Straumstefna og -hraði með 100 m brú á útfalli (efri mynd) og aðfalli (neðri mynd) á stórstreymi.



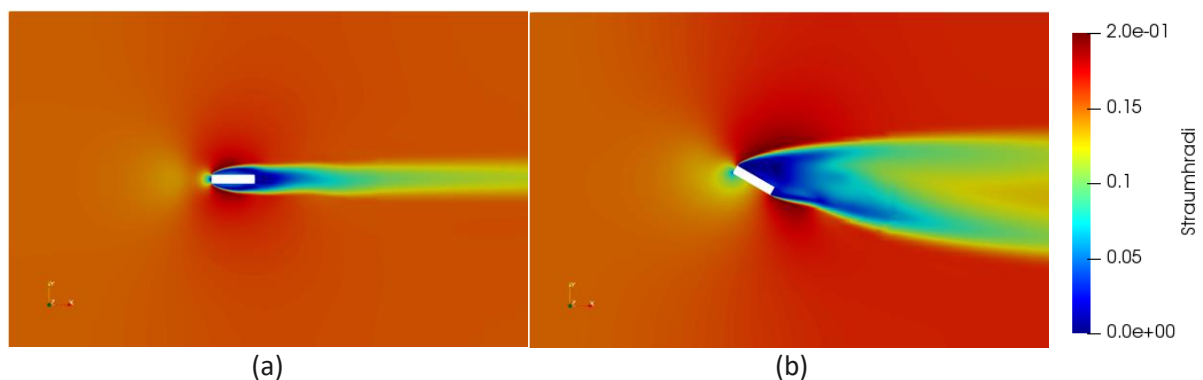
Mynd 13. Straumáhrif núverandi ástands og allra tilfella af brúropum á feril yfir voginn með 0,3 m/s hraða beint suður yfir í Kársnesið á aðfalli á stórstreymi.



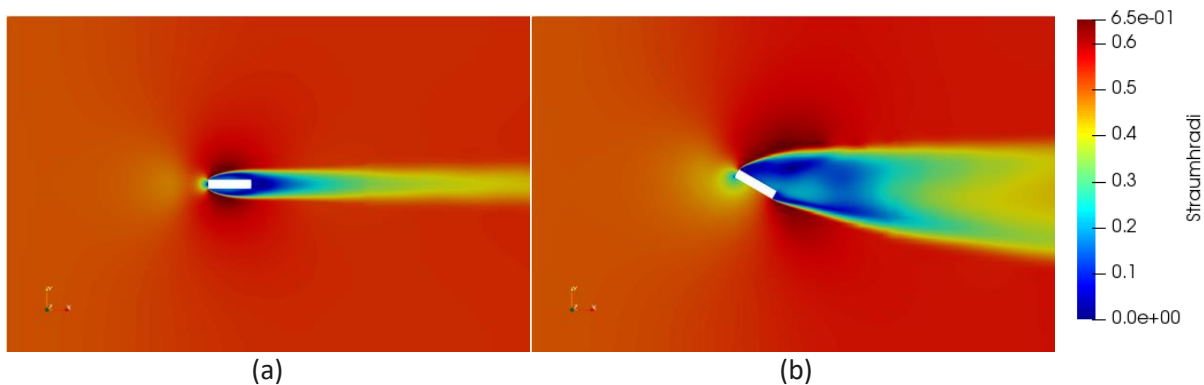
Mynd 14. Straumáhrif núverandi ástands og allra tilfella af brúropum á feril yfir voginn með 1,0 m/s hraða beint suður yfir í Kársnesið á aðfalli á stórstreymi.



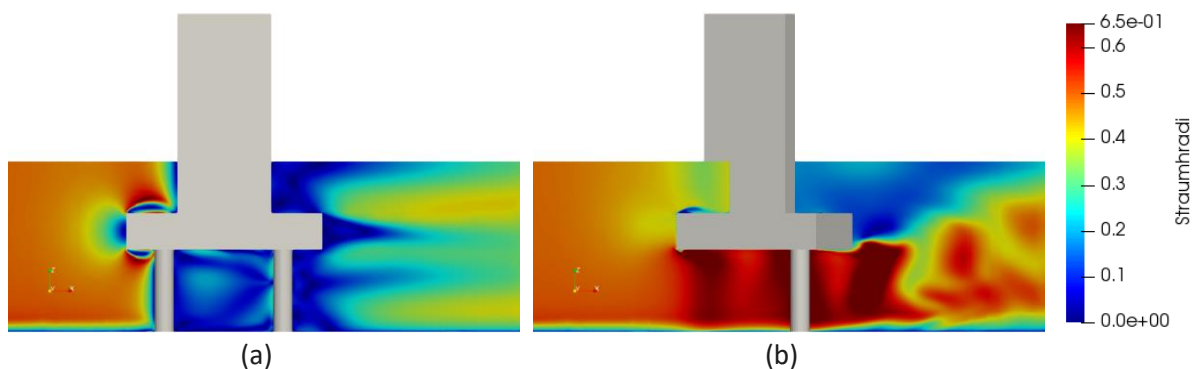
Mynd 15. Brúarstöpull ásamt helstu kennistærðum. Yfirborð sjávar er sett við meðalsjávarhæð og þar af leiðandi er sjávarfallastraumur í hámarki. Lengd brúar er samsíða $\hat{z}$ – ás.



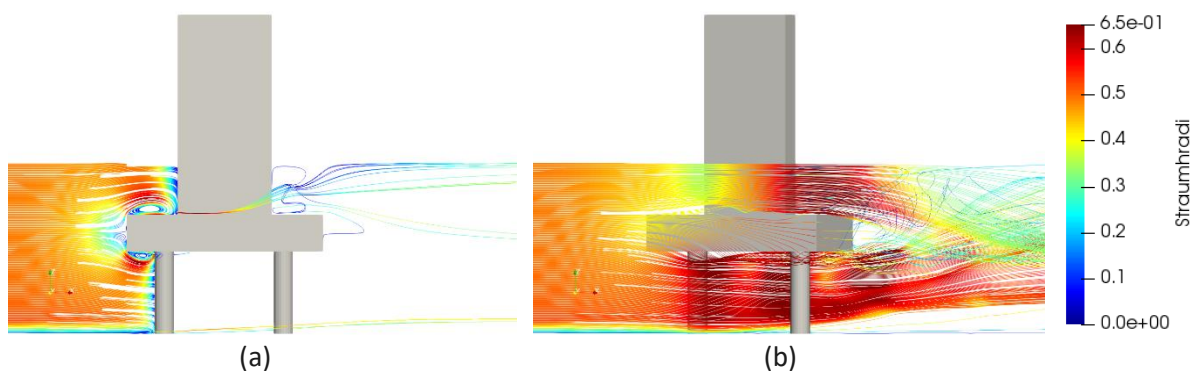
Mynd 16 Straumhraði [m/s] í nærumhverfi brúarstöpulls. Þversnið er staðsett 0,5m fyrir neðan yfirborð sjávar. Meðalstraumhraði = 15 cm/s (270 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



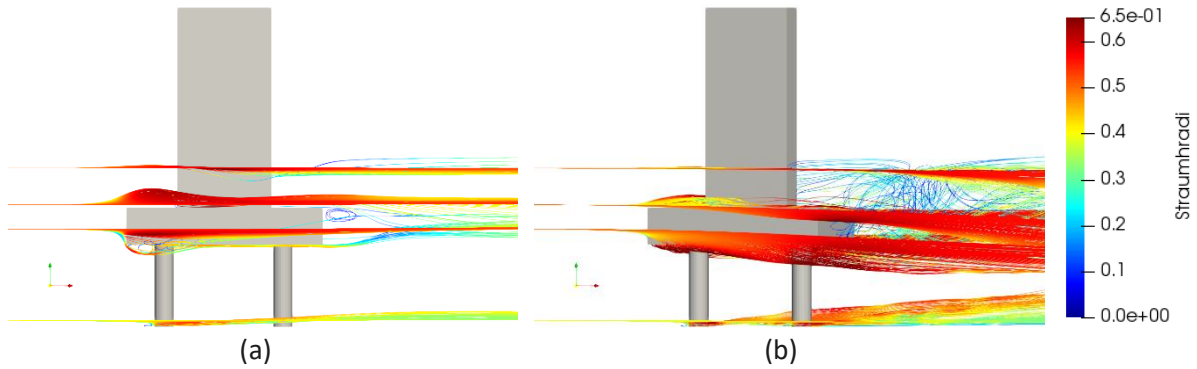
Mynd 17. Straumhraði [m/s] í nærumhverfi brúarstöpsuls. Þversnið er staðsett 0,5m fyrir neðan yfirborð sjávar. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



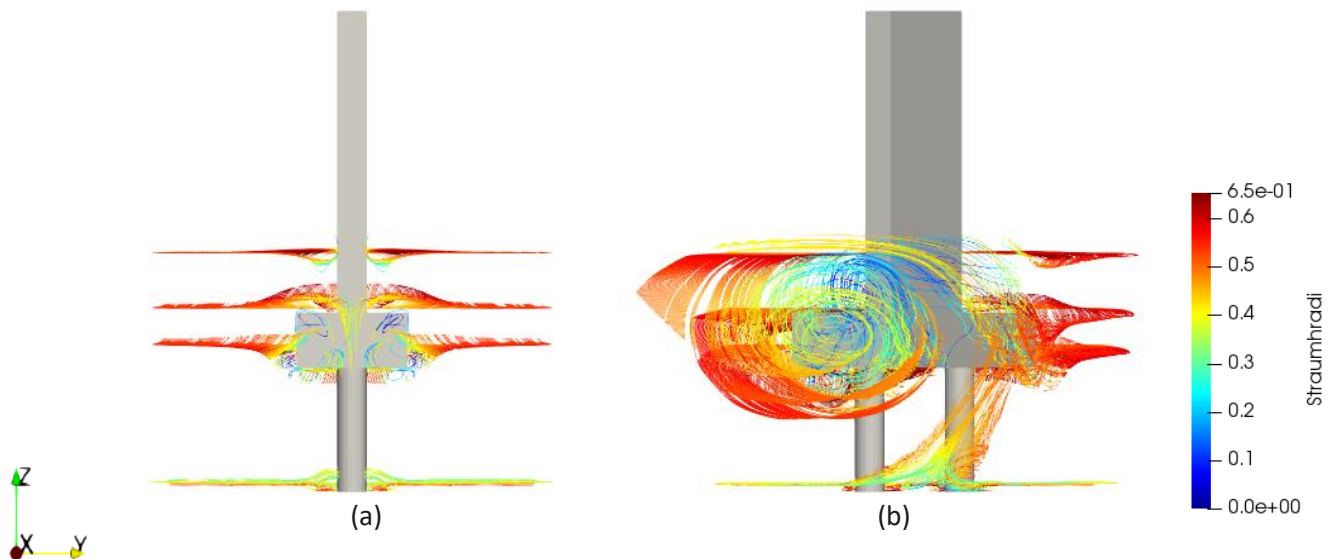
Mynd 18. Straumhraði [m/s] umhverfis brúarstöpul. Þversnið er tekið við miðjan stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



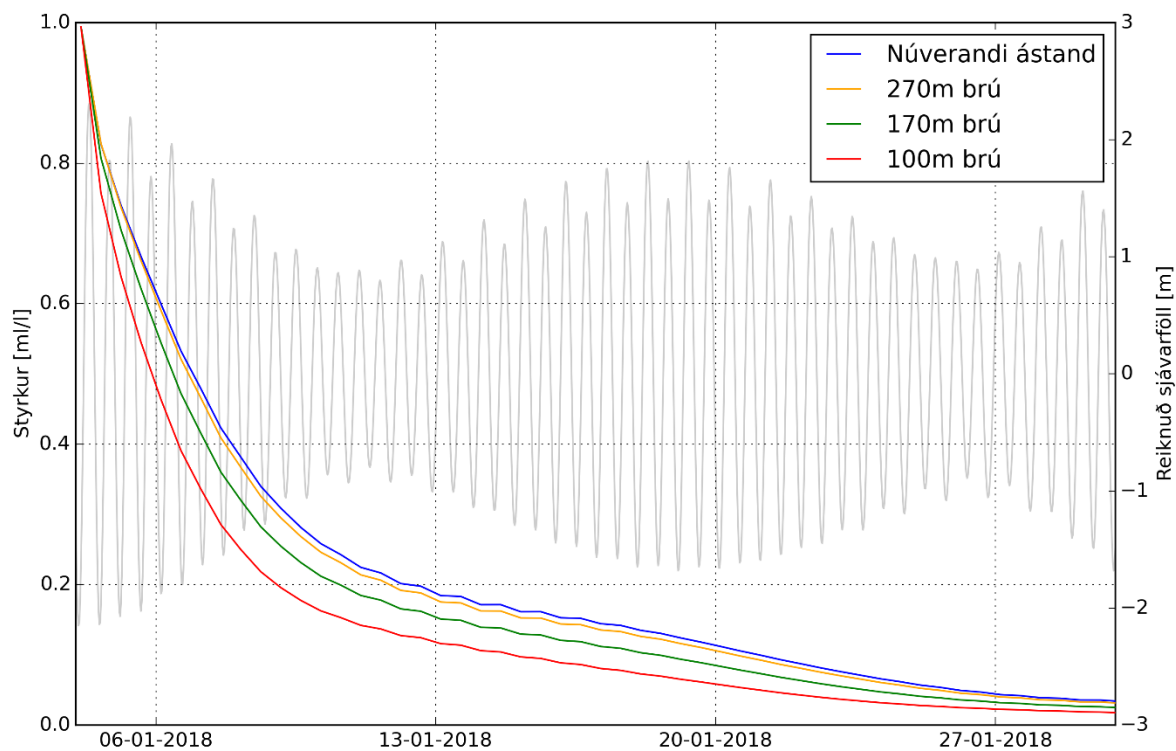
Mynd 19. Straumlínur litaðar með straumhraða [m/s]. Straumlínunum er sleppt í línu sem nær frá botni upp að yfirborði ofanstreymis við miðjan stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



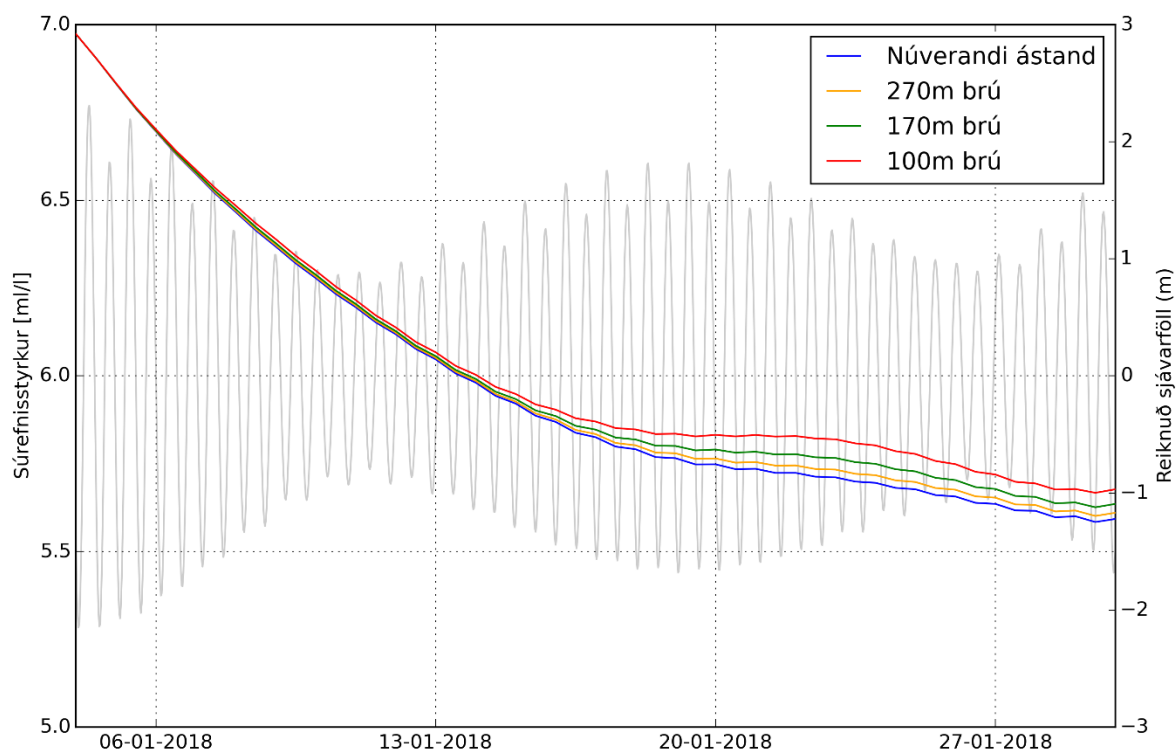
Mynd 20. Straumlínur litaðar með straumhraða. Straumlínunum er sleppt frá jafnhæðarlínum ofanstreymis við stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



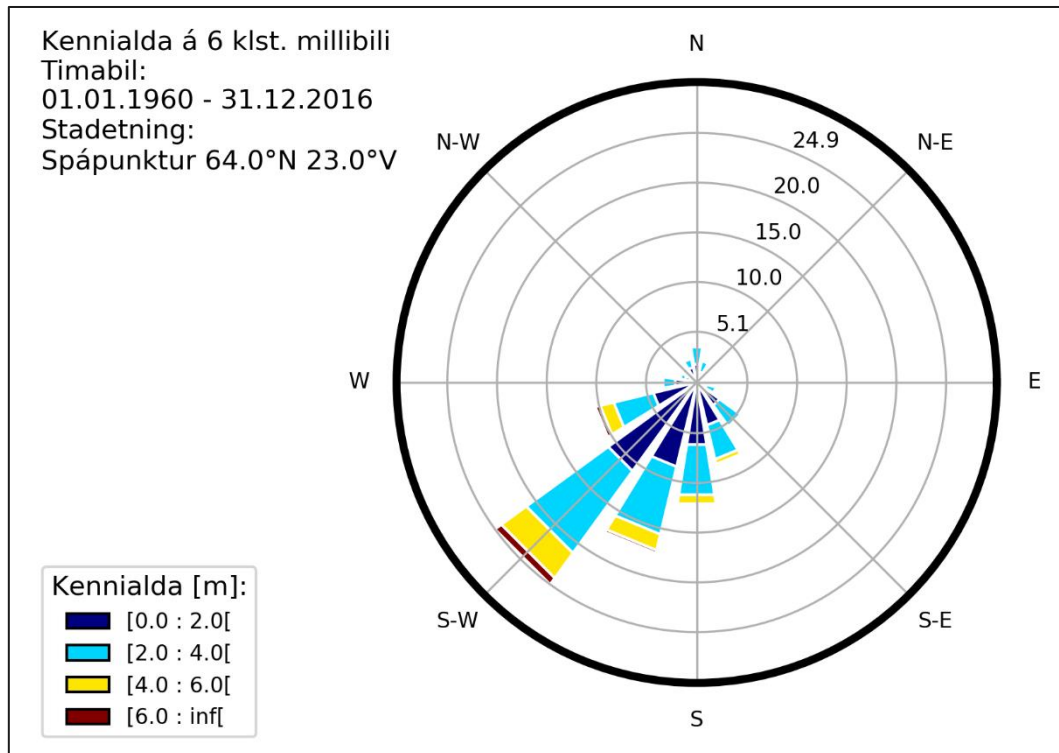
Mynd 21. Straumlínur litaðar með straumhraða. Straumlínunum er sleppt frá jafnhæðarlínum ofanstreymis við stöpul. Meðalstraumhraði = 50 cm/s (100 m brú), straumstefna: (a) $\alpha = 0^\circ$, (b) $\alpha = 30^\circ$.



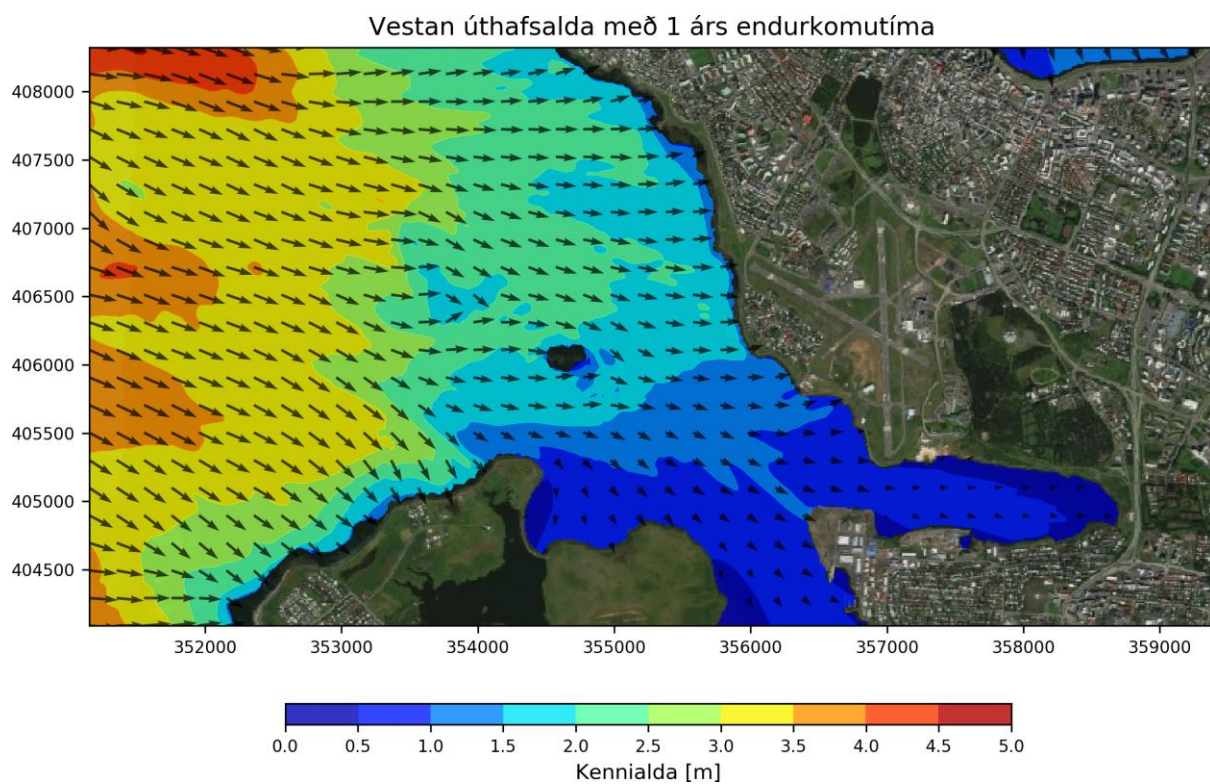
Mynd 22. Samanburður reiknaðrar útskolunar Fossvogs fyrir mismunandi lengdir af brúaropum.



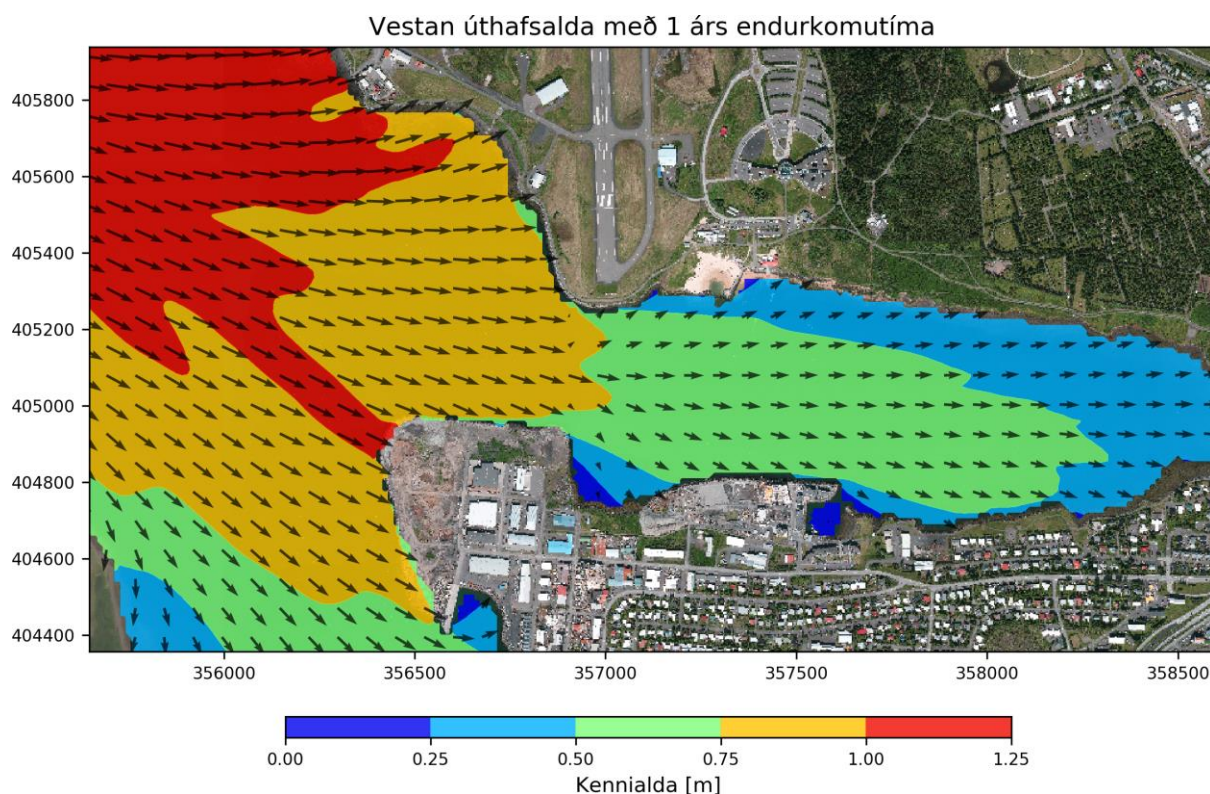
Mynd 23. Samanburður reiknaðs meðalstyrks súrefnis innan Fossvogs fyrir mismunandi lengdir af brúaropum við ríkjandi logn. Sýnd eru 12 klukkustunda meðalgildi.



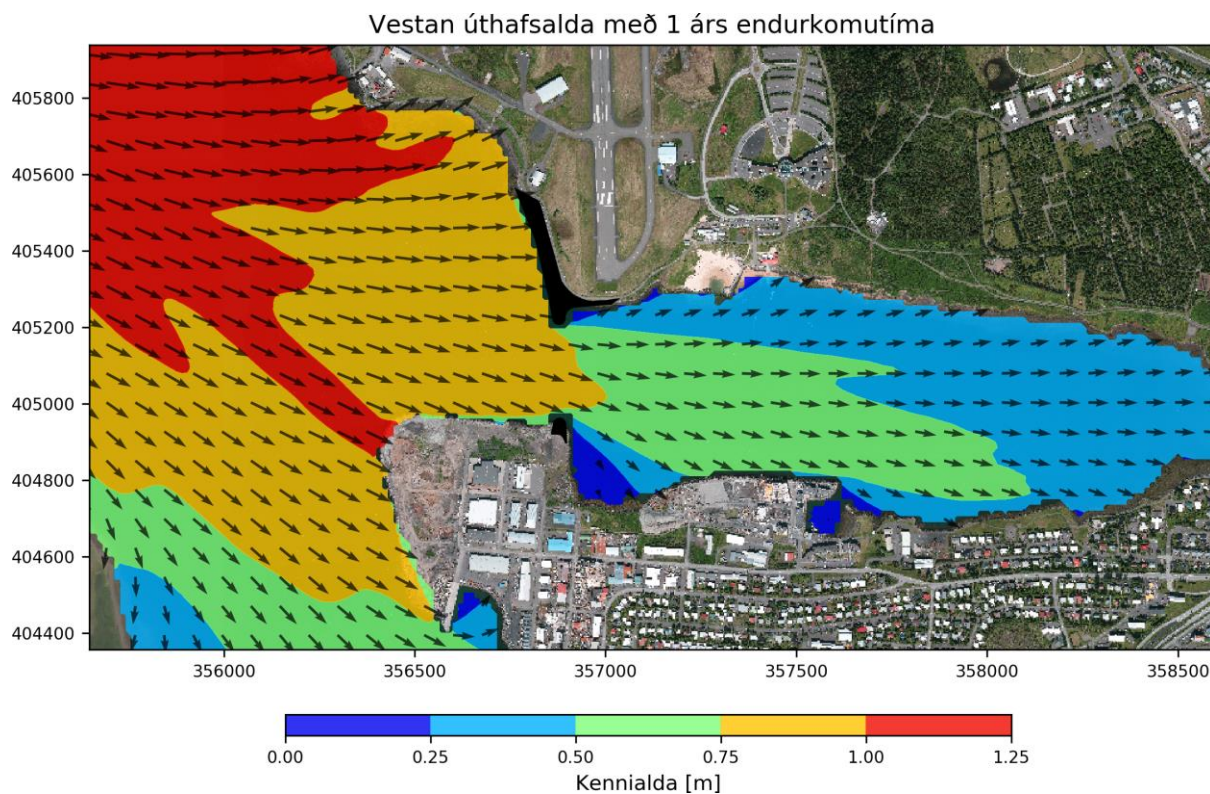
Mynd 24. Öldurós í spápunkti með hnitin 64.0°N 23°V.



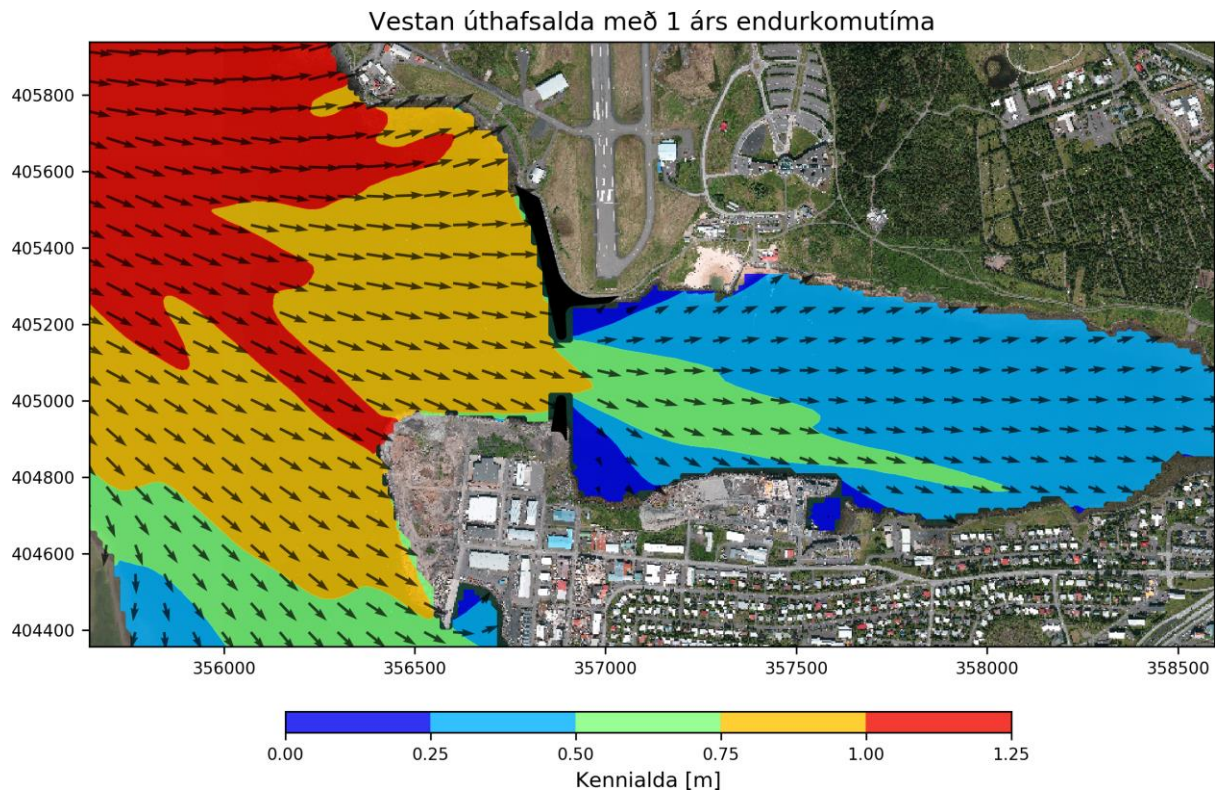
Mynd 25. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Skerjafirði.



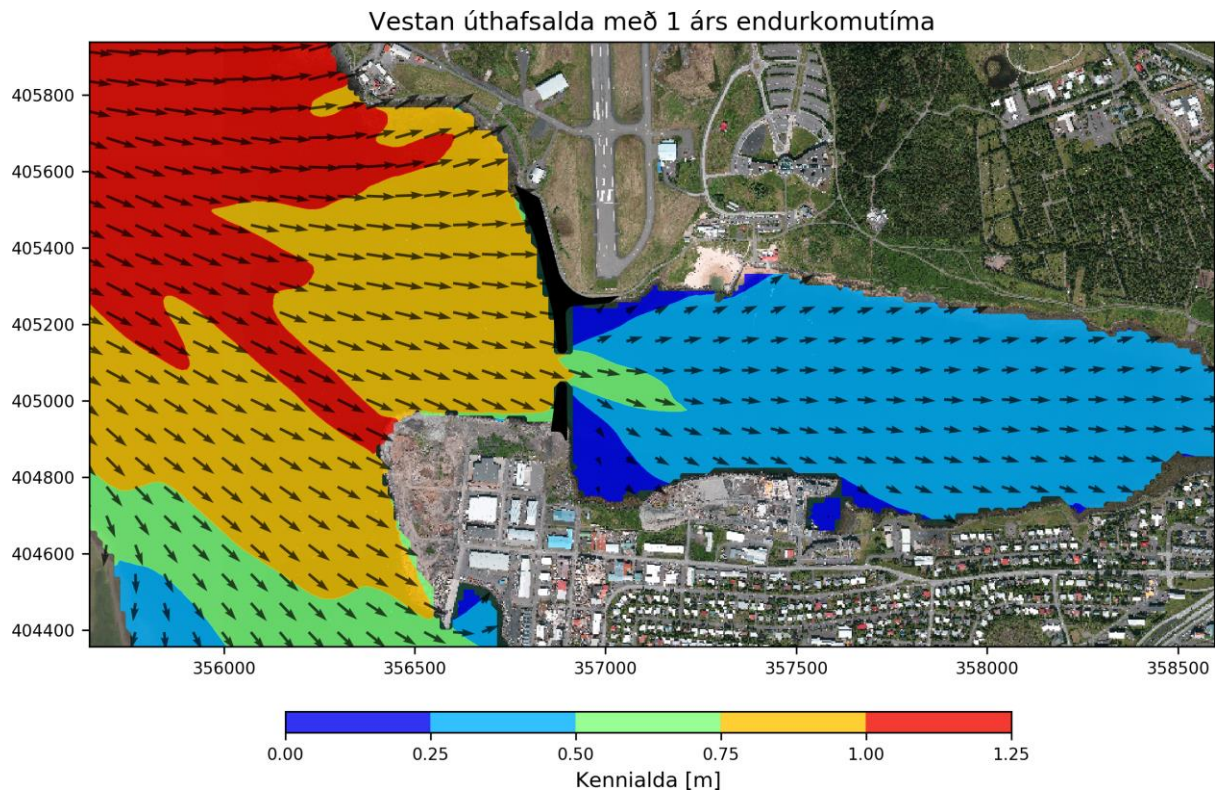
Mynd 26. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi fyrir núverandi ástand á stórstraumsflóði.



Mynd 27. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 270 m brú á stórstraumsflóði.



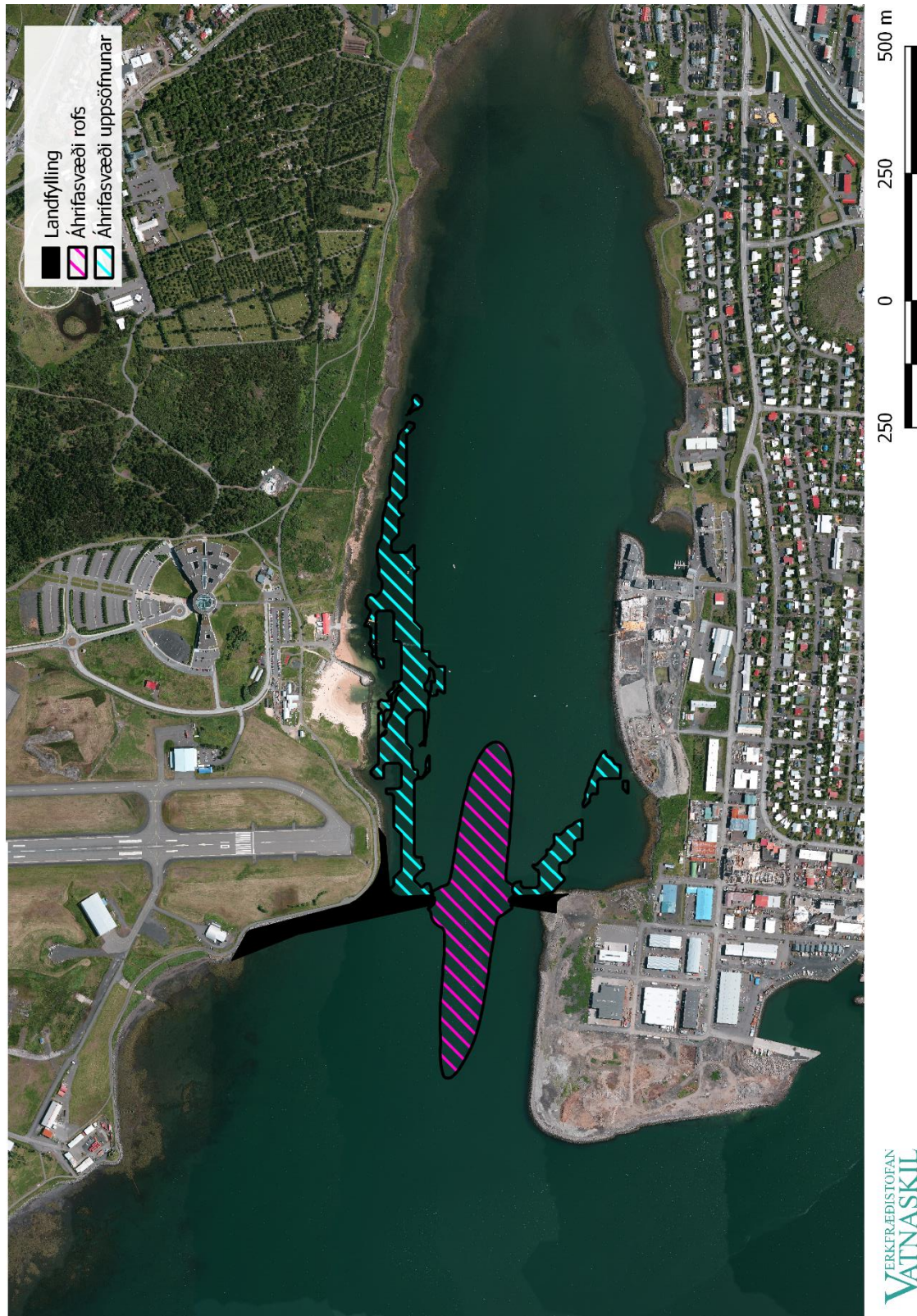
Mynd 28. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 170 m brú á stórstraumsflóði.



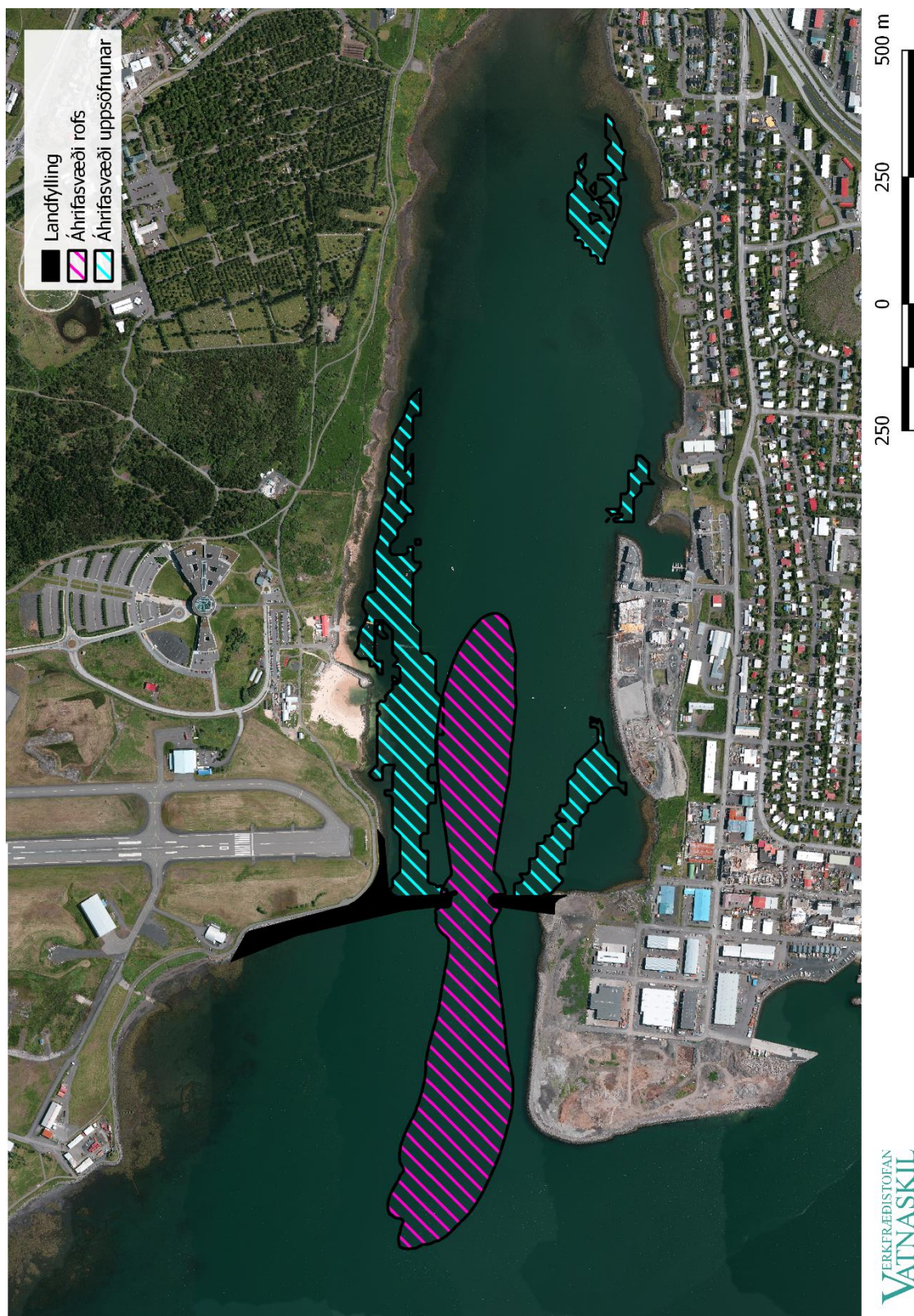
Mynd 29. Hæð og stefna kenniöldu fyrir vestan úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma í Fossvogi með 100 m brú á stórstraumsflóði.



Mynd 30. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 270 m brú. Áhrif eru óveruleg og því engin svæði sýnd.



Mynd 31. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 170 m brú.



Mynd 32. Mat á áhrifasvæðum rofs og uppsöfnunar sets með 100 m brú.