

STAKKSBERG HELGUVÍK UPGRADE

MINNISBLAÐ – VARMADREIFING KÆLIVATNS VIÐ HELGUVÍK

VERKNÚMÉR: 11268-024
VERKHLUTI: 024
HÖFUNDUR: HOP
DREIFING: Stakksberg

DAGS.: 2019-09-18
NR.: ID 95631

1 Samantekt

Niðurstöður hermunar sýna að sjávarhitahækkun vegna losunar kælivatns frá fullbyggðri kísilverksmiðju Stakksbergs við Helguvík er hverfandi. Þynningarsvæði er í innan við 5 m fjarlægð frá útrásarenda fyrir öll hermd tilfelli. Annars staðar fer sjávarhiti ekki yfir 2 °C. Varmamengun er alfarið bundin við vík við hafnargarðinn norðan Helguvíkur og þynnist hratt eftir því fjær dregur frá landi, þar sem gætir meiri sjávardýpis og meiri sjávarstrauma.

2 Tilgangur og markmið

Verkís barst beiðni um að skoða áhrif kælivatns frá kísilverksmiðju Stakksbergs sem veitt er í sjó við Helguvík en athugun þessi er hluti af mati á umhverfisáhrifum. Kælivatnið sem um ræðir er talsvert heitara en umhverfishiti sjávar og er hitastig þess um 35°C þegar því er veitt í sjó. Mældur meðalsjávarhiti í Reykjavík er frá tæplega 2°C í rúmlega 11°C yfir árið (Steingrímur Jónsson, 2004). Erfitt er að áætla áhrif varmadreifingarinnar nema með tölvuhermun þar sem ýmsir þættir hafa áhrif á dreifinguna, t.d. sjávardýpt á svæðinu, sjávarföll/sjávarstraumar, sjávarhiti og hiti andrúmslofts. Markmið þessa verkefnis er að framkvæma sjávarfallahermanir og tengja þær við varmadreifingarlíkan til að meta stærð þess hafsvæðis þar sem sjór hitnar út frá kælivatnsútrás, sk. þynningarsvæði.

Til viðmiðunar er notast við umhverfismörk fyrir ár og vötn úr reglugerð nr. 798/1999 um fráveitur og skólp, þar sem tilgreint er að utan þynningarsvæðis sé „hámarkshitabreyting af völdum frárennslis: 2°C“. Ekki eru til sambærileg mörk í reglugerð fyrir varmamengun í sjó.

Þar sem gætir 2°C hitastigsmunar á kælivatnsblönduðum sjó og umhverfishita sjávar er skilgreint sem jaðar varmamengunarflekks. Þetta verkefni mun því fela í sér að skoða hversu langt frá útrásarenda varmamengunar gætir.

2.1 Tilfelli

Reiknuð var varmadreifing við Helguvík í kringum stór- og smástreymi til að fá upplýsingar um mestu og minnstu dreifinguna. Á stórstreymi verður útslag sjávarfalla hátt, sjávarhraðar miklir og þ.a.l. má búast við mikilli blöndun sjávar og kælivatns. Andstæðan gerist á smástreymi, en þá er ekki að búast við eins mikilli blöndun kælivatns og sjávar. Stór- og smástreymistilfelli eru hermd með mesta og minnsta mögulega útslagi, sem svarar til u.þ.b. 19 ára endurkomutíma.

3 Líkan

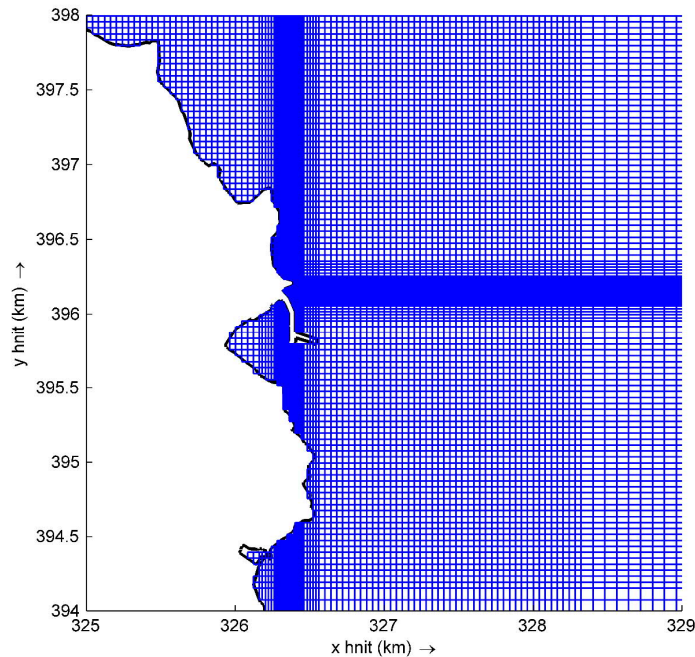
Framkvæmdar voru dýpiseildaðar (2D) sjávarfallahermanir með Delft3D-Flow hugbúnaðinum. Hugbúnaðurinn leysir jöfnur fyrir grunnan sjó í tvívídd og með þeim má herma sjávarstrauma,



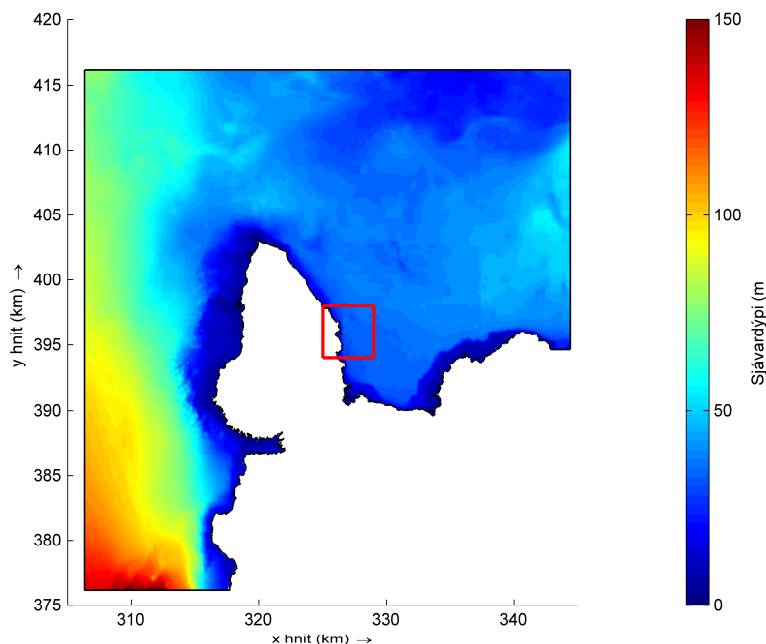
efnisflutning og varmadreifingu sem verða vegna sjávarfalla. Frekari upplýsingar um hugbúnaðinn má finna í handbók (Deltares (FLOW), 2014).

3.1 Sjávarfallalíkan

Afmarkað var líkansvæði sem nær utan um Reykjanes þar sem Helgúvíkurhöfn er staðsett í miðju líkans. Útbúið var reikninet af svæðinu sem haft er þétt við Helgúvík og nágrenni en grófara annars staðar. Smæstu reiknimöskvarnir voru 5x5 m (við útrás) og heildar stærð reikninetts var 214.108 möskvar. Reikninet var tengt við dýptarmælingar af svæðinu, samtals 10 mælingar þar sem notast var við sjókort 31, 36, 37, 361 og 365 frá Landhelgisgæslu Íslands. Dýptarkortum er raðað saman með viðmiði í meðalsjávarhæð Keflavíkurkerfis. Reikninet og samsett dýptarkort má sjá á Mynd 1 og Mynd 2.



Mynd 1. Reikninet við Helgúvík



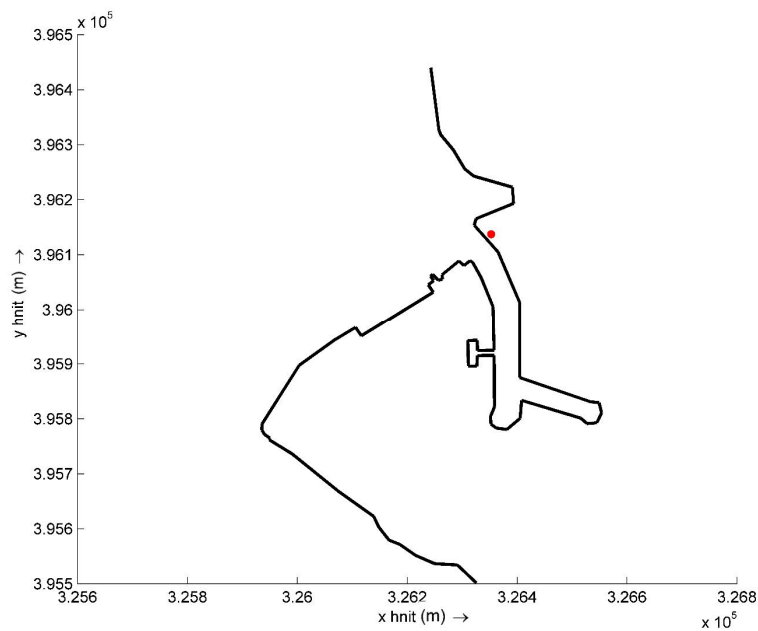
Mynd 2. Sjávardýpi við Reykjanes og líkansvæði í heild



Líkansvæðið var valið með tilliti til þess að útiloka tölulegar villur frá jöðrum líkansins og fá sem raunverulegasta sjávarfallasveiflu og sjávarstrauma. Stillt var inn sjö sjávarfallaþáttum, M2, S2, N2, K2, K1, O1 og Q1, og leiðréttingar á stuðlum fyrir valdar dagsetningar settar inn. Niðurstöður líkansins voru bornar saman við sjávarfallalíkan Siglingastofnunar sem finna má inn á heimasíðu Vegagerðarinnar. Til viðbótar við hefðbundna sjávarfallahermun var flutningslíkani bætt við til að herma varma og seltudreifingu.

3.2 Dreifingarlíkan

Út um útrásarlögn streymir 35°C heitt kælivatn. Miðað var við að kælivatnið væri ferskt vatn. Vatnið streymir inn í líkansvæði í lítilli vík rétt norðan við Helgarvíkurhöfn (LCC: E326352,650 ; N396137,466), sjá Mynd 3 af staðsetningu útrásar.



Mynd 3. Útlínur Helgúgvíkurhafnar og staðsetning útrásar (rauður depill)

Útstreymi um kælivatnslögnina, miðað við starfsemi í 1. áfanga verksmiðju, er 500 m³/klst. Áætlað er að vatnsmagnið muni fjórfaldast þegar verksmiðjan er fullbyggð. Gert var ráð fyrir fullbyggðri verksmiðju í líkaninu og miðað var við 2000 m³/klst. af kælivatni. Þau stór- og smástreymistilfelli sem notast var við í greiningunni munu eiga sér stað um miðjan mars og byrjun apríl 2028 og 2031, en 3°C er u.þ.b. meðalhitastig sjávar í Reykjavík á þeim árstíma sem útreikningarnir eiga við. Þessar forsendur eru byggðar á upplýsingum úr ritinu *Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við strendur Íslands* (Jónsson, 2004).

Selta sjávar við Ísland er á bilinu 33-35 ppt (Karl Gunnarsson, Gunnar Jónsson og Ólafur Karel Pálsson, 1998). Í útreikningum var notast viðvið 34 ppt. Voru því upphafsskilyrði ásamt jaðarskilyrðum eftirfarandi: selta 34 ppt og sjávarhiti 3°C.

Varmaskipti eiga sér stað milli sjávaryfirborðs og andrúmslofts sem geta haft bæði hækkingu eða lækkandi áhrif á sjávarhita. Má þar nefna varmageislun frá sólu eða lofthjúp, varmaleiðni á milli sjávar og andrúmslofts og varmatap vegna uppgufunar (Thomann & Mueller, 1987). Til einföldunar á líkani var áhrifum varmaskipta sleppt í útreikningum.

Gert er ráð fyrir að logn sé á svæðinu yfir allan hermitímann.

Hermanir hófust níu dögum fyrir væntan atburð, á stór- eða smástreymi. Tímaskref voru 15 sekúndna löng. Prófanir sýndu að tímaskref voru fullnægjandi til að viðhalda stöðugleika. Að tveimur hermidögum liðnum var byrjað að veita 2000 m³/klst. af fersku, 35°C heitu kælivatni inn í líkansvæðið norðan við hafnargarð Helgúgvíkurhafnar, sjá Mynd 3.



Manning botnhrífisstuðull var stilltur inn sem $n=0,04 \text{ s/m}^{1/3}$. Kvörðun í rannsóknum Vatnaskila hafa sýnt að stuðullinn sé nálægt $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ í Faxaflóa (Vatnaskil, 1994), en talið var hæfilegt að hafa stuðullinn lítillaga lægri hér, þar sem botninn á svæðinu við Helguvík er jökulsorfinn og sléttur.

Iðustreymis-seigja og iðustreymis-dreifistuðlar (e. eddy viscosity and eddy diffusivity) eru á bilinu $1 - 10 \text{ m}^2/\text{s}$ fyrir tilfalli þar sem notast er við litla reiknimöskva samkvæmt upplýsingum í handbók hugbúnaðar. Við athugun í eldri rannsóknum héraendis hefur verið notast við dreifistuðla á bilinu $5 - 10 \text{ m}^2/\text{s}$ (Vatnaskil, 2007) (VST, 2007). Samkvæmt upplýsingum í rannsókn Vatnaskila, er algengt að nota lægri stuðul ef ekki er hægt að styðjast við mælingar (Vatnaskil, 2006). Framkvæmd var gróf næmnigreining á dreifistuðlinum. Iðustreymisseigjan $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ var notuð í greiningunni.

Tafla 1 sýnir samantekt á stillingum líkans.

Tafla 1 Samantekt á tölulegum forsendum

Tími (Stórstreymi)	02.03.2028 – 15.03.2028
Tími (Smástreymi)	22.03.2031 – 04.04.2031
Δt	15 s
Hitastig sjávar (upphafs- og jaðarsk.)	3°C
ρ (eðlismassi sjávar)	1027 kg/m ³
Botnhrífi (manning)	0,04 s/m ^{1/3}
ν_H (Iðustreymis seigja)	0,5 m ² /s
D_H (Iðustreymis dreifistuðull)	10/5/1 m ² /s

4 Niðurstöður

4.1 Varmadreifing

Mynd 4 til Mynd 7 sýna reiknaða varmamengunardreifingu fyrir bæði öfgakenndu tilfallin á stór- og smástreymi ($D_H = 5 \text{ m}^2/\text{s}$). Þar sést að varmamengunin er lítil og alfarið bundin við vík með hafnargarðinn norðan Helguvíkur og þynnist hratt út því sem lengra dregur frá landi. Reiknuð hækkun sjávarhita í vikinni er $0,1-0,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Sjávarbotn dýpkar hratt á þessum slóðum sem útskýrir snögga þynningu á hita. Notast er við dýpshildað líkan og því miðast hitastigið við meðalhita í hverjum reiknimöskva líkansins.

Sökum óvissu með dreifistuðullinn og hversu mikil áhrif hann hefur á varmadreifinguna, voru hermd samanburðartilfalli. Hermd voru stórstreymistilfallin með bæði hærri og lægri dreifistuðla ($D_H = 10 \text{ m}^2/\text{s}$ og $1 \text{ m}^2/\text{s}$), sjá Mynd 8 til Mynd 11.

Fyrir dreifistuðul $D_H = 10 \text{ m}^2/\text{s}$, á Mynd 8 og Mynd 9, sést hvernig varmamengunin þynnist mjög hratt, og er á talsvert minna svæði en fyrir $D_H = 5 \text{ m}^2/\text{s}$. Öfugt gerist fyrir sama tilfallið með dreifistuðul $D_H = 1 \text{ m}^2/\text{s}$, sjá Mynd 10 og Mynd 11. Talsvert minni dreifing verður á varmanum og vart verður við meiri uppsöfnun í vikinni. Við kælivatnsútrásina er hitastigsmunurinn mjög nálægt viðmiðinu eða $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ hærra en meðalsjávarhiti. Í vikinni hækkar sjávarhiti um $0,2-2 \text{ }^\circ\text{C}$. Þrátt fyrir talsvert hærri hita í samanburðarhermunum, er varmamengunin ennþá bundin við víkina og stærsti hluti þess svæðis þar sem hitastig sjávar fer yfir bakgrunnshitastig (3°C) er innan viðmunarmarka. Möguleiki er að fá skarpari upplausn á útmörkum svæðis með varmamenguninni með því að þétta net við útrás, ásamt því að skoða hitalagskiptingu sjávar.

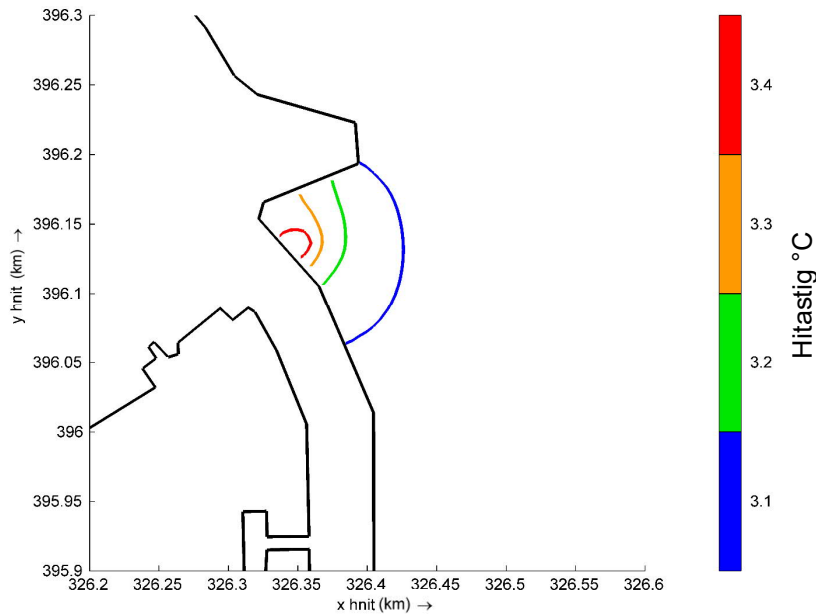
Skoðaður er meðalhiti við kælivatnsútrásina yfir nokkurra daga tímabil á stórstreymi fyrir mismunandi dreifistuðla, sjá Mynd 12. Þar sést að hæsta hitastigið er rúmlega 5°C ($\Delta T=2^\circ\text{C}$) á



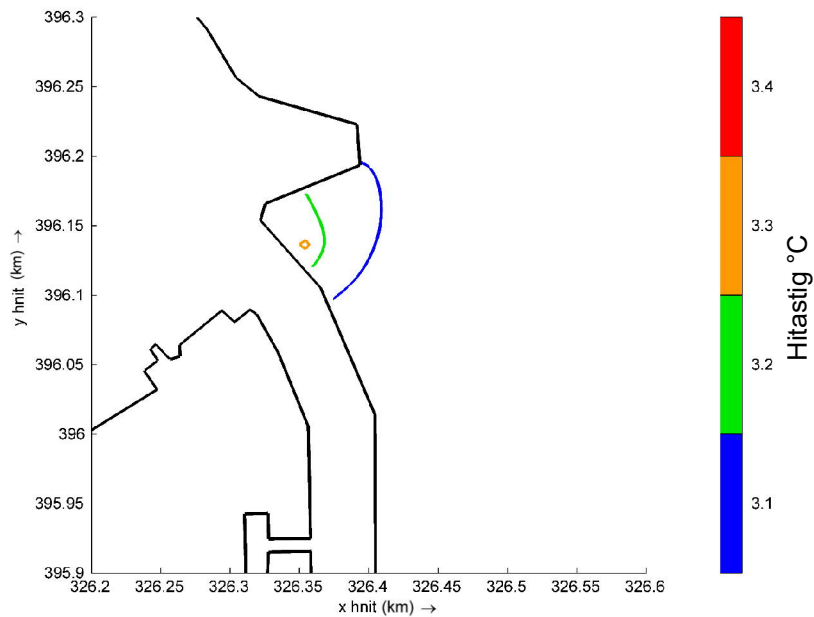
stórstreymi, fyrir varfærnasta dreifistuðulinn $D_H = 1 \text{ m}^2/\text{s}$, en fyrir hin tilfelli fer hitastigið mest í $3,5^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$). Mynd 13 sýnir hvernig hitastig sjávar lækkar eftir því sem fjær dregur frá kælivatnsútrásarenda til austurs. Í um 100 m fjarlægð er hitastig fyrir hermanir með mismunandi dreifistuðla svipað.

Varmadreifing: $D=5 \text{ m}^2/\text{s}$

Stórstreymi



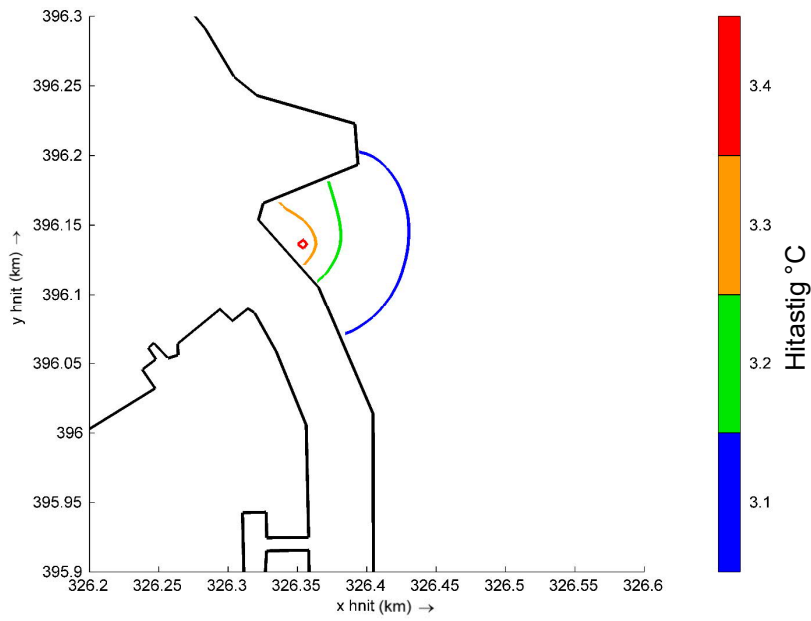
Mynd 4. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á fjöru, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig 3°C



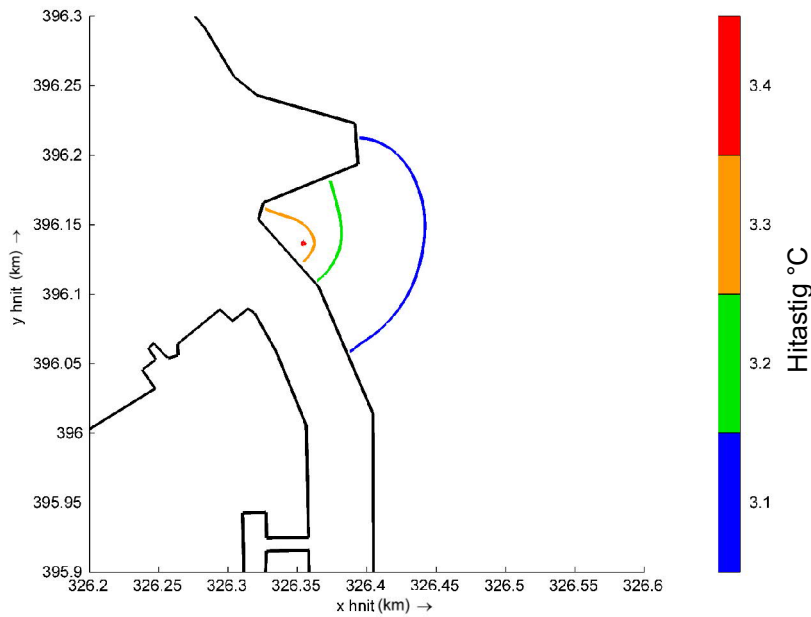
Mynd 5. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á flóði, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig 3°C



Smástreymi



Mynd 6. Hitastig sjávar út frá útrás. Smástreymi á fjöru, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig 3 °C

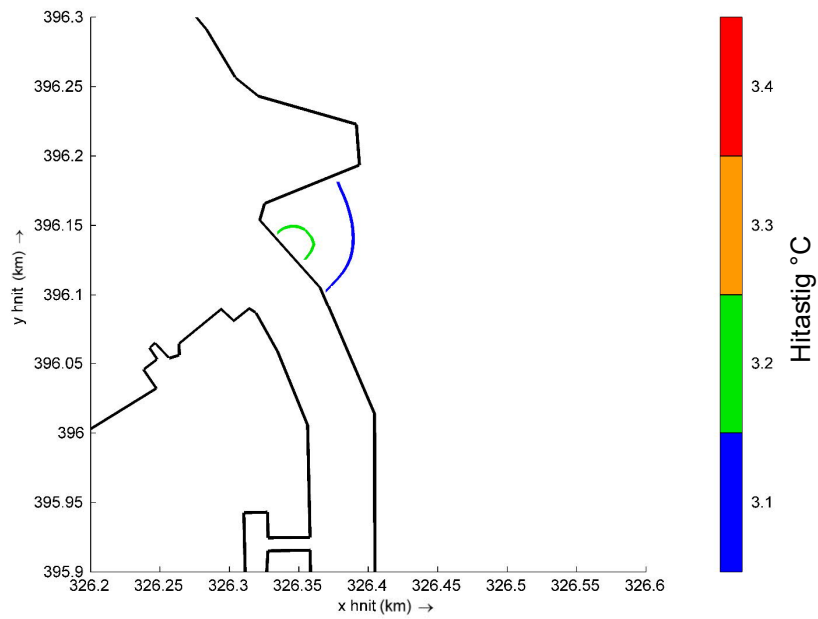


Mynd 7. Hitastig sjávar út frá útrás. Smástreymi á flóði, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig 3 °C

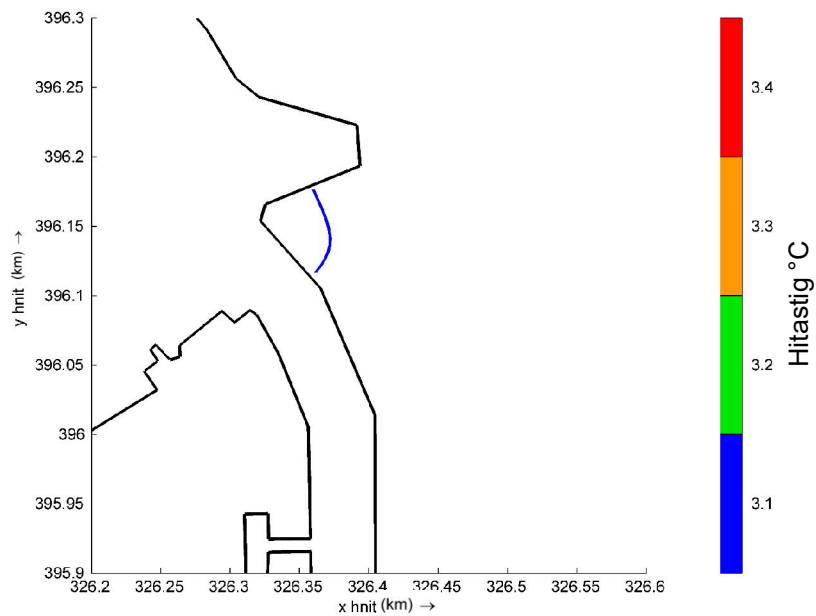


Varmadreifing: $D=10 \text{ m}^2/\text{s}$

Stórstreymi



Mynd 8. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á fjöru $D_H=10 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig $3 \text{ }^\circ\text{C}$

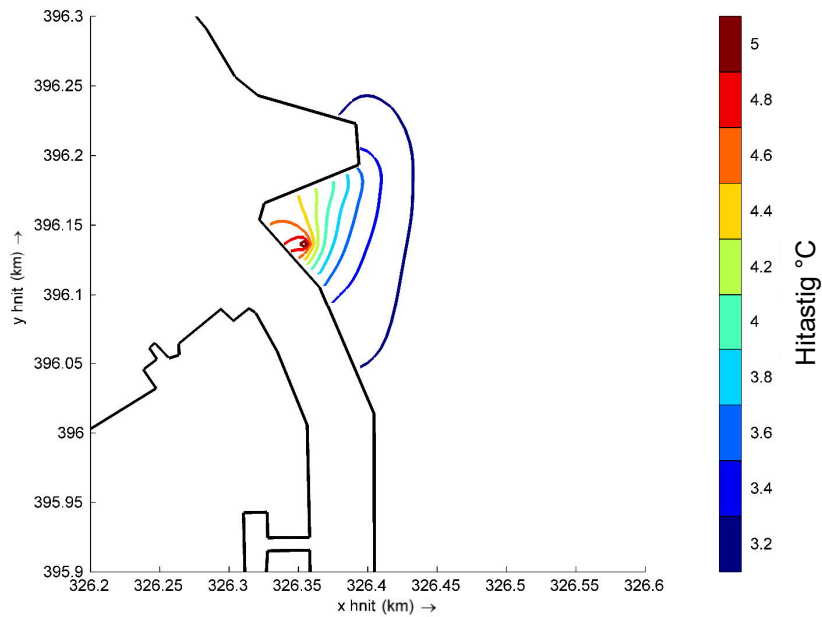


Mynd 9. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á flóði, $D_H=10 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig $3 \text{ }^\circ\text{C}$

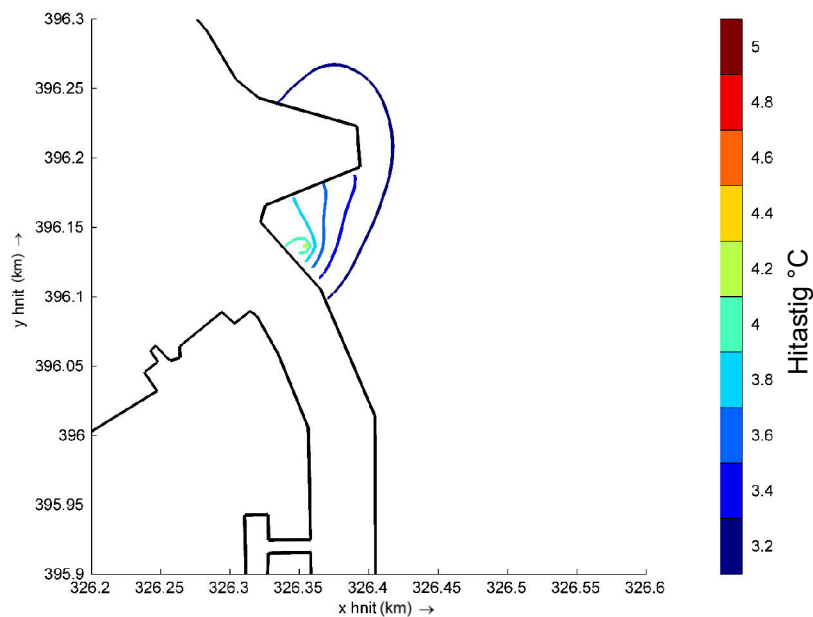


Varmadreifing: $D=1 \text{ m}^2/\text{s}$

Stórstreymi (Ath. breyttur litaskali)



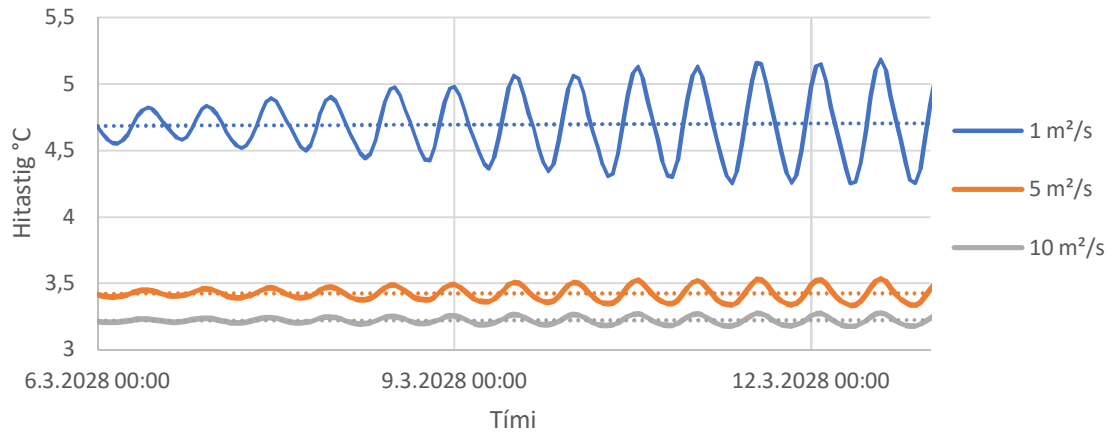
Mynd 10. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á fjöru, $D_H=1 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig $3 \text{ }^\circ\text{C}$



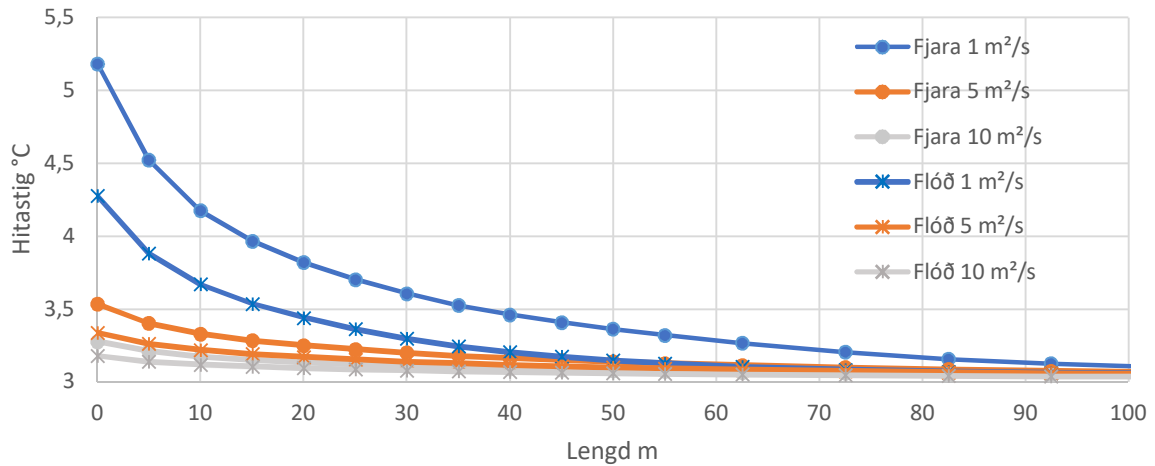
Mynd 11. Hitastig sjávar út frá útrás. Stórstreymi á flóði, $D_H=1 \text{ m}^2/\text{s}$, bakgrunnshitastig $3 \text{ }^\circ\text{C}$



Hitastig við kælivatnsútrás



Mynd 12. Sjávarhiti við kælivatnsútrás sem fall af tíma fyrir mismunandi dreifistuðla, punktalínur sýna meðaltalsgildi

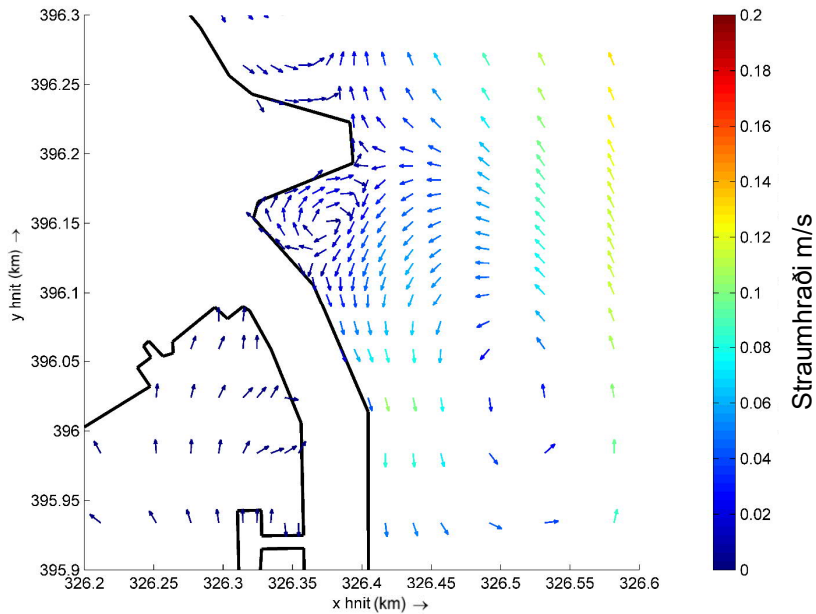


Mynd 13. Sjávarhiti sem fall af fjarlægð frá kælivatnsútrás (til austurs) fyrir mismunandi dreifistuðla

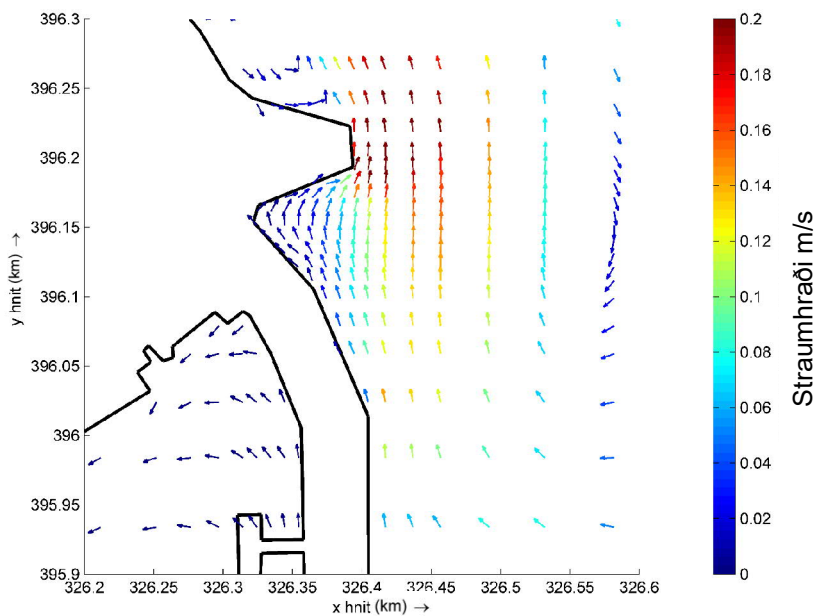


4.2 Straumhraðar

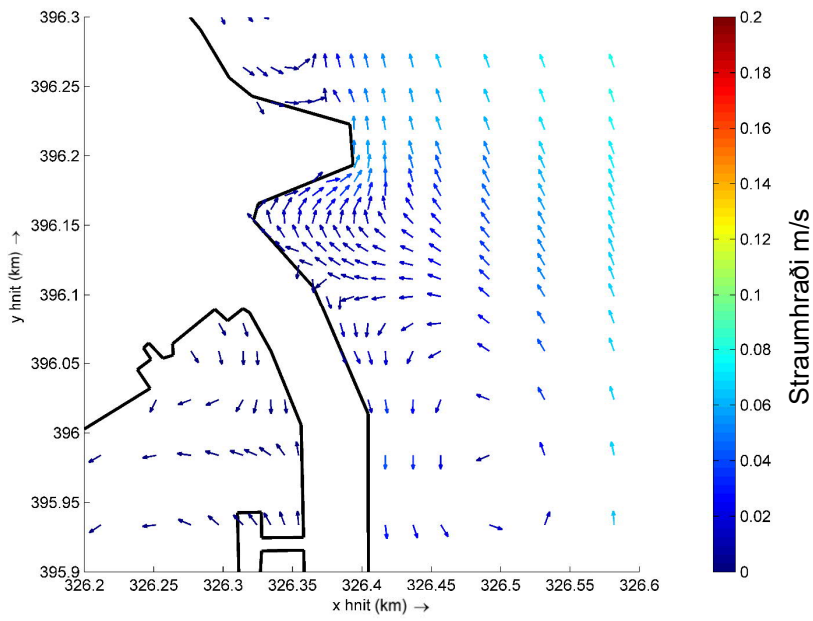
Myndir Mynd 14 - Mynd 16 sýna straumhraða og stefnur á flóði og fjöru ($D_H=5\text{m}^2/\text{s}$). Líkt og sést eru lágir straumhraðar inn í vikinni og stefna þeirra samsíða landi eða hraði er mestur í y-stefnu.



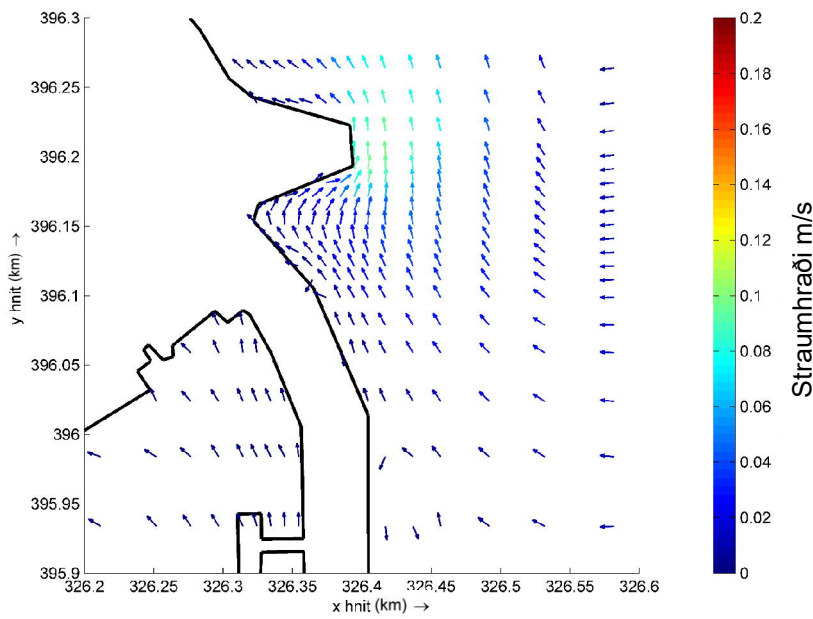
Mynd 14. Straumhraðar og stefnur - Stórstreymi á fjöru, $D_H=5\text{ m}^2/\text{s}$



Mynd 15. Straumhraðar og stefnur - Stórstreymi á flóði, $D_H=5\text{ m}^2/\text{s}$



Mynd 16. Straumhraðar og stefnur - Smástreymi á fjöru, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$



Mynd 17. Straumhraðar og stefnur - Smástreymi á flóði, $D_H=5 \text{ m}^2/\text{s}$



5 Heimildaskrá

- Deltares (FLOW). (2014). *Delft3D-FLOW, user manual (version: 3.15.34158)*. Deltares.
- Karl Gunnarsson, Gunnar Jónsson og Ólafur Karel Pálsson (1998). *Sjávarnytjar við Ísland*. Upplýsingar fengnar af heimasíðu Hafrannsóknastofnunar, URL: <http://firdir.hafro.is/almennt-efni/sjor/>.
- Steingrímur Jónsson (2004). Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við Ísland. *Björn Björnsson & Valdimar Ingi Gunnarsson (ritsj), Þorskeldi á Íslandi*, Hafrannsóknarstofnun. Fjölrit 111: 9-20.
- Thomann, R. V., & Mueller, J. A. (1987). *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. 10 East 53d Street, New York, NY 10022-5299: Harper Collins.
- Vatnaskil. (1994). *Sjávarstraumar í Faxaflóa og dreifing mengunar vegna útrásar frá Eiðsgranda*. Reykjavík: Unnið fyrir Gatnamálastjóra í Reykjavík.
- Vatnaskil. (2006). *Akranes og Kjalarnes, Dreifing mengunar frá fyrirhuguðum útrásum*. Reykjavík: Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- Vatnaskil. (2007). *Akranes, Dreifing mengunar frá fyrirhugaðri útrás*. Reykjavík: Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- VST. (2007). *Borgarnes, Útrás frá dælu- og hreinsistöð, Dreifing skólpmengunar*. Reykjavík: VST.