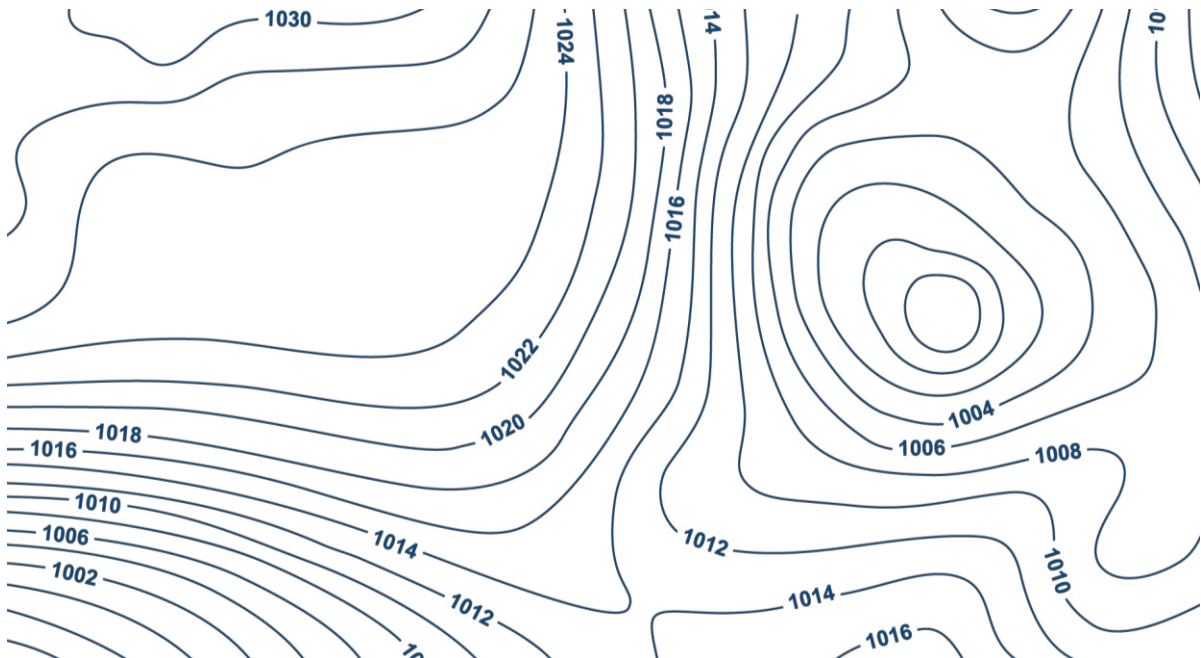


Endurskoðun á ofanflóðahættumati fyrir Siglufjörð eftir byggingu varnarvirkja

DRÖG með tillögu að hættumatskorti

Tómas Jóhannesson
Magni Hreinn Jónsson



Skýrsla

VÍ 2026-0xx

**Endurskoðun á ofanflóðahættumati fyrir Siglufjörð eftir byggingu varnarvirkja.
DRÖG með tillögu að hættumatskorti**

Höfundur	Tómas Jóhannesson, Magni Hreinn Jónsson
Unnið fyrir	Fjallabyggð
Verkefnisstjóri	Tómas Jóhannesson
Yfirfarið af	Sigríði Sif Gylfadóttur/NB
Samþykkt af	Hörpu Grímsdóttur, deildarstjóra Snjóflóða og skriðufalla á Þjónustu og rannsóknarsviði Veðurstofu Íslands

Veðurstofa Íslands / Icelandic Meteorological Office

Númer	VÍ 2026-xxx
ISSN	1670-8261
Dagsetning	Ágúst 2026
Dreifing	Opin
Fjöldi síðna	50 + 14 kort
Upplag	Rafræn útgáfa
Verknúmer	4754-0-0002
Málsnúmer	2020-0222
DOI númer	10.33112/xxxx

Útdráttur

Ofanflóðahættumat fyrir Siglufjörð hefur verið endurskoðað eftir byggingu stoðvirkja í Hafnarfjalli og varnargarða í hliðarfætinum fyrir ofan endilangan bæinn, sem draga mikið úr snjóflóðahættu í byggðinni. Stoðvirki á upptakasvæðum sem reist voru á árunum 2004 til 2024 minnka líkur á að snjóflóð fari af stað úr upptakasvæðum í Hafnarfjalli og sunnanverðum Gróuskarðshnjúki. Leiðigarðarnir Stóri- og Litli-Boli verja innsta hluta bæjarins með því að beina snjóflóðum úr Jörundarskál og Strengsgiljum suður fyrir byggðina. Þvergarðar frá Skriðulækjargiljum til Gróuskarðshnjúks og leiðigarðurinn Kálfur norðan bæjarins verja svo byggðina gagnvart flóðum sem kunna að falla úr upptakasvæðum neðan stoðvirkjanna og úr gili í norðanverðum Gróuskarðshnjúki. Hættumat fyrir suðurhluta bæjarins var endurskoðað að teknu tilliti til leiðigarðanna Stóra- og Litla-Bola árið 2002. Líkanreikningar með nýjum þrívíðum snjóflóðalíkönum benda til þess að hætta á að mjög stór snjóflóð flæði yfir leiðigarðana sé meiri en gert var ráð fyrir í endurskoðaða hættumatinu. Hættumatið fyrir suðurbæinn er nú endurskoðað að nýju og skilgreind C- og B-svæði undir leiðigörðunum þar sem áður var A-svæði. Hættumatslína C í suðurbænum færir við endurskoðunina niður um þrjár húsaraðir þannig að 16 íbúðarhús lenda á C-svæði. Hættumatslína B færir einnig niður og lenda 10 íbúðarhús á B-svæði. A-lína í endurskoðuðu hættumati nær u.þ.b. til C-svæðis skv. upprunalegu hættumati án varnarvirkja, og tekur það til yfir 30 íbúðarhúsa undir leiðigörðunum. Endurskoða þarf frumathugun og kanna möguleika á að endurbæta ofanflóðavarnir fyrir suðurbæinn í framhaldi af þessu hættumati. Hættumatslínur C og B undir Hafnarhyrnu og Gimbraklettum færast í aðalatriðum upp fyrir byggðina með tilkomu varnarvirkjanna, en hættumatslína A fylgir að mestu leyti Suðurgötu og Hvanneyrarvegi, u.þ.b. þar sem C-lína lá skv. upprunalegu hættumati án varnarvirkja. Færsla C-línu er um 300 m þar sem mest er undir Fífladölum og B-línu um 350 m. Með tilkomu varnanna þar verða engin íbúðarhús á C-svæði, fjögur íbúðarhús B-svæði og 150–200 hús á A-svæði. Hættumatslínur C og B undir Gróuskarðshnjúki færast einnig upp fyrir byggðina með tilkomu stoðvirkja og varnargarðanna Bakkarípils og Kálfs, og hættumatslína A fylgir C-línu upprunalegs hættumats án varnarvirkja. Undir Hvanneyrarskál og við Hvanneyrará eru 11 íbúðarhús á B-svæði í hinu endurskoðaða mati og 15 hús á A-svæði. Undir Gróuskarðshnjúki er ekkert hús á C-svæði, eitt hús á B-svæði og 27 hús á A-svæði í endurskoðaða matinu. Rýmingaráætlun fyrir Siglufjörð hefur verið endurskoðuð til samræmis við hið nýja hættumat. Til greina kemur að fyrsta stig viðbúnaðar verði að lýsa yfir hættustigi og senda þau tilmæli til íbúa að þeir dveljist ekki í herbergjum með glugga eða dyraop sem snúa upp í hliðina. Jafnframt verði gætt varúðar í sambandi við umferð að og frá húsum á reitunum.

Efnisyfirlit

1 Inngangur	4
1.1 Aðferðafræði og reglugerðarrámmi	5
1.2 Óvissa	7
2 Staðhættir	8
3 Snjóflóðasaga	9
4 Varnarvirki	12
5 Hættumat	16
5.1 Tíðni snjóflóða	16
5.2 Tvívíðir snjóflóðalíkanreikningar með SamosAT	16
5.3 Þrívíðir snjóflóðalíkanreikningar með Open- $\mu(I)$	18
5.4 Þrívíðir snjóflóðalíkanreikningar með svissneska MPM líkaninu	21
5.5 Hönnun leiðigarða	23
5.6 Hætta vegna skriðufalla	26
5.7 Hætta vegna flóðbylgju af völdum snjóflóðs úr Skollaskál austan fjarðarins ...	26
5.8 Endurskoðun hættumats undir Strengsgiljum og Jörundarskál	27
5.9 Endurskoðun hættumats norðan Strengsgilja	27
5.10 Hætta af völdum snjóflóða úr Hvanneyrarskál	27
5.11 Hætta af völdum iðufalds og kófs	28
5.12 Skipulag byggðar á hættusvæði neðan varnarvirkjanna	31
5.13 Rýmingarviðbúnaður	31
5.14 Óvissa	33
6 Niðurstaða	34
7 Heimildir	36
I Tæknileg hugtök og skilgreiningar	42
II Snjóflóð úr Strengsgiljum og Jörundarskál	45
III Kort	49

1 Inngangur

Þessi skýrsla lýsir endurskoðun ofanflóðahættumats fyrir Siglufjörð eftir byggingu varnargarða og stoðvirkja, sjá afmörkun hættumetins svæðis á korti 1, sem sýnir jafnframt fyrra hættumat frá árinu 2002. Hættumatið var unnið fyrir Fjallabyggð af Veðurstofu Íslands samkvæmt reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða og flokkun og nýtingu hættusvæða með síðari breytingum.

Undirbúningur að byggingu snjóflóðavarna fyrir Siglufjörð hófst skömmu eftir mannskaðaflóðin í Súðavík og á Flateyri 1995 með frumathugun Verkfræðistofu Siglufjarðar og Norsku jarðtæknistofnunarinnar NGI (VS & NGI, 1997) á varnarkostum fyrir suðurbæinn. Leiðigarðarnir Stóri- og Litli-Boli undir Strengsgiljum og Jörundarskál, sem lagðir voru til í frumathuguninni, voru síðan reistir á árunum 1998 og 1999. Í framhaldinu vann Stefan Margreth frá Svissnesku snjóflóðstofnuninni í Davos (SLF, 2001a,b) frumathugun á snjóflóðavörnum fyrir byggðina norðan Strengsgilja. Hann lagði til umfangsmikil stoðvirki í Hafnarfjalli og Gróuskarðshnjúki og þvergarða í hlíðarfætinum ofan allrar byggðarinnar frá Strengsgiljum og norður fyrir þéttbýlið sem voru útfærðir nánar í frumathugun Verkfræðistofu Siglufjarðar (VS, 2002a). Uppsetning stoðvirkjanna fór fram á árunum 2004–2024 en garðarnir norðan Strengsgilja voru reistir á árunum 2003–2008 (stoðvirkin og varnargarðarnir eru sýnd á korti 1).

Þeir sem komu að hættumatinu fyrir svæðið sem hér er til umfjöllunar voru Tómas Jóhannesson og Magni Hreinn Jónsson. Alexander H. Jarosch, hjá austurríska fyrirtækinu ThetaFrame Solutions, vann snjóflóðalíkanreikninga með líkaninu $\text{Open-}\mu(I)$ sem hann þróaði í samstarfi við Veðurstofuna. Endurskoðun hættumatsins byggir á tillögu að endurskoðuðum hættumatslínunum fyrir bæinn frá Verkfræðistofunni Verkís (Kristín Martha Hákonardóttir & Áki Thoroddsen, 2020), og drögum Veðurstofunnar að endurskoðuðu hættumati fyrir Bakkahverfi frá árinu 2009, sem hafa verið til hliðsjónar við skipulagsgerð í norðurbænum síðan þá. Endurskoðaða hættumatið undir Strengsgiljum og Jörundarskál byggir á ýmsum líkanreikningum eins og lýst er í kafla 5 um hættumat. Hættumatið undir varnarvirkjum á Siglufirði er þáttur í endurskoðun hættumats undir varnargörðum sem unnið hefur verið að á Veðurstofu Íslands síðan 2022 fyrir nokkur bæjarfélög þar sem reist hafa verið varnarvirki á úthlaupssvæðum snjóflóða. Það byggir m.a. á snjóflóðalíkanreikningum sem unnir voru á árunum 2022 til 2025.

Í fyrsta hluta skýrslunnar er stutt samantekt um staðhætti, snjóflóðaaðstæður og snjóflóðasögu á Siglufirði í köflum 2 og 3. Varnarvirkjum er lýst í kafla 4 og lagt er fram hættumat fyrir byggðina neðan þeirra í kafla 5. Að lokum eru helstu niðurstöður hættumatsins dregnar saman í kafla 6.

Skýrslunni fylgja þrír viðaukar. Viðauki I inniheldur lýsingu á tæknilegum hugtökum og skammstöfunum. Þar er m.a. um að ræða einvíð og tvívíð rennslisstig (r) og úthlaupshorn (α -horn) snjóflóða. Í viðaukanum er einnig stutt lýsing á þrívíða snjóflóðalíkaninu $\text{Open-}\mu(I)$ sem þróað hefur verið í samvinnu við Veðurstofu Íslands og notað er til þess að meta áhrif varnarvirkja á úthlaupssvæðum á flæði snjóflóða. Í viðauka II eru töflur yfir snjóflóð sem fallið hafa úr Strengsgiljum og Jörundarskál, sem notuð eru við greiningu á tíðni snjóflóða úr þessum farvegum, og í viðauka III eru kort, þ.m.t. hættumatskort.

1.1 Aðferðafræði og reglugerðarrammi

Ofanflóðahættumat er unnið skv. reglugerð nr. 505 sem umhverfisráðuneytið gaf út í júlí árið 2000, með breytingum í reglugerðum nr. 495 frá maí 2007, nr. 309 frá mars 2010, nr. 1017 frá desember 2010, nr. 343 frá mars 2014 og nr. 176 frá janúar 2017, og byggir á lögum nr. 49 frá 1997, með áorðnum breytingum, um snjóflóð og skriðuföll. Hér að neðan er helstu atriðum reglugerðarinnar lýst.

Hættumat á Íslandi miðast við *einstaklingsbundna áhættu*. Hún er skilgreind sem árlegar líkur á því að einstaklingur, sem býr á tilteknum stað, farist í ofanflóði. Flokkun hættusvæða byggir á *staðaráhættu* en hún er skilgreind sem árlegar líkur á að einstaklingur, sem dvelur allan sólarhringinn í húsi sem ekki er sérstaklega styrkt, farist í ofanflóði. Með því að taka tillit til líkinda á því að einstaklingur sé í húsi þegar ofanflóð fellur og til þess hve sterkt húsið er fæst mat á *raunáhættu*. Ekki er tekið tillit til rýminga eða annarra tímabundinna varúðarráðstafana við gerð hættumats. Yfirvöld hafa ákveðið að áhættan $0.2 \cdot 10^{-4}$ á ári eða minni sé viðunandi (ásættanleg). Með því er átt við að áhættan sé svo lítil að ekki sé ástæða til að grípa til neinna aðgerða til þess að auka öryggi. Staðaráhætta sem svarar til þessa gildis getur verið mismunandi vegna breytilegrar gerðar og styrks bygginga og mismunandi dvalartíma fólks í þeim. Að öðru jöfnu er reiknað með að fólk verji um 75% af tíma sínum á heimilum og um 40% í atvinnuhúsnæði. Samkvæmt reglugerð um hættumat (umhverfisráðuneytið, 2000, með síðari breytingum) skal afmarka þrenns konar hættusvæði sem lýst er í töflu 1.

Viðmiðunarreglurnar um nýtingu svæða í töflu 1 miða að því að ásættanleg áhætta sem nemur $0.2 \cdot 10^{-4}$ á ári náist þegar tekið er tillit til líklegrar viðveru og styrkingar húsa. Ásættanleg áhætta í atvinnuhúsnæði er eitthvað meiri en þar er gert ráð fyrir að börn dveljist ekki að staðaldri.

Ekki er heimilt að skipuleggja íbúðarbyggð, frístundabyggð eða svæði fyrir atvinnustarfsemi á áður óbyggðum svæðum nema tryggt sé að áhætta fólks sé viðunandi skv. skilgreiningu hættumatsreglugerðarinnar. Á þegar byggðum svæðum er heimilt að reisa ný hús og byggja við þau sem fyrir eru með skilyrðum sem fram koma í töflu 1. Varnir gegn ofanflóðum eru eingöngu reistar til þess að auka öryggi fólks á svæðum sem eru í byggð. Ef öryggiskröfum er ekki fullnægt án sérstakra varnarvirkja gegn ofanflóðum er óheimilt að skipuleggja ný áður óbyggð svæði fyrir íbúðarbyggð, frístundabyggð eða atvinnustarfsemi.

Þær aðferðir, sem notaðar eru til þess að meta snjóflóðaáhættu, voru þróaðar við Háskóla Íslands og á Veðurstofu Íslands á árunum 1995–1998. Þeim er lýst í riti eftir Kristján Jónasson o.fl. (1999). Aðferðirnar voru lagaðar að hættumati undir lágum brekkum af Tómasi Jóhannessyni (2009).

Hættumatið vegna ofanflóða tekur til snjóflóða, krapaflóða, aurskriðna, grjóthruns, berghlaupa og annars framskriðs úr hlíðum, svo og aurblandaðra krapa- og vatnsflóða í bröttum farvegum (sbr. Tómas Jóhannesson & Kristján Ágústsson, 2002). Ekki er hins vegar tekið tillit til vatnsflóða í ám, sjávarflóða eða jökulhlaupa og annarra flóða og skriðna sem tengjast eldgosum. Aðferðir við hættumat vegna skriðufalla hafa ekki verið þróaðar með

Tafla 1. Skilgreining hættusvæða.

Svæði	Neðri mörk staðaráhættu	Efri mörk staðaráhættu	Leyfilegar byggingar á þegar byggðum svæðum	Leyfilegar byggingar á áður óbyggðum svæðum
C	$3 \cdot 10^{-4}$ á ári	–	Engar nýbyggingar nema frístundahús ¹ og húsnæði þar sem viðvera er lítil.	Engar nýbyggingar nema frístundahús ¹ og húsnæði þar sem viðvera er lítil.
B	$1 \cdot 10^{-4}$ á ári	$3 \cdot 10^{-4}$ á ári	Atvinnuhúsnæði má byggja án sérstakra styrkinga. Byggja má íbúðarhús og byggja við hús þar sem búist er við miklum mannsöfnuði (svo sem fjölbýlishús, sjúkrahús, skóla) með sérstökum styrkingum.	Engar nýbyggingar nema frístundahús og húsnæði þar sem viðvera er lítil.
A	$0.3 \cdot 10^{-4}$ á ári	$1 \cdot 10^{-4}$ á ári	Heimilt er að reisa nýtt íbúðar- og atvinnuhúsnæði án sérstakra styrkinga nema hvað styrkja þarf hús þar sem búist er við miklum mannsöfnuði (svo sem fjölbýlishús, skóla, sjúkrahús) og íbúðarhús með fleiri en fjórum íbúðum.	Atvinnuhúsnæði má byggja án sérstakra styrkinga.

¹Ef staðaráhætta er minni en $5 \cdot 10^{-4}$ á ári.

sambærilegum hætti og fyrir snjóflóð. Hættumat vegna skriðufalla byggist því að miklu leyti á mati á aðstæðum án þess að unnt sé að vísa til eiginlegra reikninga á áhættu. Þó er stuðst við hina almennu aðferðafræði við snjóflóðahættumat sem lýst er í reglugerðum umhverfisráðuneytisins sem fyrr voru nefndar.

Að lokum er vísað til greinar 10 í reglugerð nr. 505/2000 og nr. 495/2007 um hættumat vegna ofanflóða og flokkun og nýtingu hættusvæða. Sú grein fjallar m.a. um hættumat á svæðum þar sem gögn vantar til þess að unnt sé að meta áhættu með formlegum útreikningum: „Þar sem ekki er unnt að framkvæma áhættureikninga vegna ónógra upplýsinga skal engu að síður gera hættumatskort, sbr. 12. gr., og skal við gerð þess reynt að leggja mat á áhættu.“

1.2 Óvissa

Mjög víða er mat á ofanflóðahættu erfitt. Það gildir einkum um svæði þar sem landfræðileg skilyrði fyrir ofanflóð eru til staðar en ofanflóð hafa ekki verið skráð. Byggðasaga margra þéttbýlisstaða er stutt og oftast einnig það tímabil sem skráning ofanflóða nær til. Þar sem svona stendur á er ógjörningur að útiloka ofanflóð. Því verður að meta þessa hættu þannig að bæði sé tekið tillit til þess að engin ofanflóð hafi verið skráð á ákveðnu tímabili og einnig möguleikans á því að flóð falli.

Þá þarf að meta hættu á snjóflóðum úr hlíðum og brekkum þar sem ekki eru dæmigerðir snjóflóðafarvegir. Flest stór snjóflóð sem skráð hafa verið hafa fallið úr 500–800 m hæð og upptakasvæði þeirra eru oftast víðáttumikil. Snjóflóð úr lægri hlíðum og snjóflóð þar sem upptakasvæði eru óvenjuleg hafa ekki verið mikið rannsökuð.

Þar sem hættusvæði eru afmörkuð er áætluð óvissa á matið. Óvissumatinu er skipt í þrjú stig sem gefa til kynna ónákvæmni í legu hættumatslína. Óvissa upp á $\frac{1}{2}$ táknar að lega hættumatslína sé ónákvæm sem nemur hálfu bilinu á milli þeirra í báðar áttir. Áhætta þrefaldast á milli hættumatslína og því er hlutfallsleg óvissa á áhættunni $\sqrt{3}$ þar sem óvissa á legu línu er $\frac{1}{2}$. Á sama hátt gildir að þar sem óvissa á línum er metin 1 eða 2 þá gætu þær legið á bili sem nemur 1 eða 2 línubilum frá dregnum línum. Hliðstæð hlutfallsleg óvissa á áhættu er þá 3 þar sem óvissa er 1 og 3^2 þar sem óvissa er 2. Óvissumatið er að nokkru huglægt og hefur ekki beina tölfræðilega merkingu. Hins vegar byggir það á reynslu þeirra sem vinna matið og í því felst þekking og mat á aðstæðum á viðkomandi stað en ekki síður samanburður við hættumat á öðrum stöðum.

Óvissuflokkar fyrir hættumat vegna snjóflóða eru skilgreindir á eftirfarandi hátt:

$\frac{1}{2}$ Mörg snjóflóð hafa fallið og farvegurinn er stór og að öllu leyti dæmigerður.

- 1 Einhverjar upplýsingar eru til um snjóflóð en upptakasvæði er lítið eða farvegur óvenjulegur.
- 2 Engar upplýsingar eru til um snjóflóð en landfræðilegar aðstæður benda til þess að snjóflóð geti fallið.

Á svæðum þar sem varnarvirki hafa verið byggð er óvissan skilgreind á bilinu 1 til 2.

Mat á óvissu vegna annarra ofanflóða en snjóflóða er að sama skapi erfitt. Fyrir utan óvissa tíðni og umfang skriðna og grjóthruns eru áhrif þeirra og eyðileggingarmáttur lítt þekkt.

2 Staðhættir

Í fyrri skýrslum Veðurstofunnar um hættumat og ofanflóðasögu Siglufjarðar er gerð grein fyrir landfræðilegum aðstæðum og jarðfræði svæðisins, veðurfari, snjósöfnun í upptakarsvæði, ofanflóðasögu og veðuraðdraganda ofanflóða (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001a,b; Hættumatsnefnd Siglufjarðarkaupstaðar, 2002; Harpa Grímsdóttir, 2001; Halldór G. Pétursson & Þorsteinn Sæmundsson, 1999; Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson, 1999; Halldór Björnsson, 2001; Kristján Jónasson & Trausti Jónsson, 1997). Vísað er til þessara skýrslna, sem aðgengilegar eru á hættumatsvef Veðurstofunnar, um nánari upplýsingar en látið duga hér að taka saman stutta lýsingu á landslagi, örnefnum og snjóflóða-aðstæðum sem koma við sögu við endurskoðun hættumatsins og að mestu er tekin úr skýrslu um hættumatið frá 2002 (Hættumatsnefnd Siglufjarðarkaupstaðar, 2002).

Þéttbýlið í Siglufirði stendur á og við Þormóðseyri, sem einnig nefnist Siglufjarðareyri, við vesturströnd Siglufjarðar, sjá kort 1. Siglufjörður er nyrst á Tröllaskaga, en austan Siglufjarðar er eyðifjörðurinn Héðinsfjörður.

Siglufjörður stefnir því sem næst frá norðri til suðurs. Ofan þéttbýlisins rísa Hafnarfjall og Gróuskarðshnjúkur í um 500–700 metra hæð yfir sjó. Yfir innsta hluta þéttbýlisins er Hafnarfjall skorið af Jörundarskál ásamt Syðra- og Ytra-Strengsgili. Norðan Strengsgilja eru Fífladalir, stallur í um 300–400 metra hæð yfir sjó. Fífladalir skipta hlíð Hafnarfjalls á kafla í tvennt. Neðan innsta hluta Fífladala eru þrjú gil nefnd Skriðulækjargil og skammt norðan þeirra er Fífladalagil. Ofan Fífladala er gil sem nefnt hefur verið „Grindagil“ vegna upptakastoðvirkja sem þar voru reist í tilraunaskyni. Norðan Fífladala er Hafnarhyrna. Í um 200 metra hæð yfir sjó í Hafnarhyrnu eru Gimbraklettur. Milli Hafnarhyrnu og Gróuskarðshnjúks er mikil hvilft sem nefndist Hvanneyrarskál í um 200–350 metra hæð yfir sjó. Norðan Gróuskarðshnjúks og við útjaðar þéttbýlisins er stórt ónefnt gil.

Lögbýlin Höfn og Hvanneyri voru sitt hvorum megin Þormóðseyrar. Þau byggðust líklega fyrir árið 1000. Neðri-Höfn, afbýli frá Höfn, var reist við sjóinn innan við eyrina árið 1864. Fyrstu verslunarhúsin á Þormóðseyri risu um 1790. Í kringum verslanirnar byggðist þorp ið upp úr 1880. Það hefur fljótlega teygst sig upp í hlíðina ofan við eyrina og með ströndinni sunnan hennar. Síldarævintýrið hófst af fullum krafti árið 1903 og á fyrstu áratugum tuttugustu aldar var mikil uppbygging og fólksfjölgun á Siglufirði. Síldarverksmiðjur og plön voru hvar sem unnt var að koma þeim fyrir meðfram strandlengjunni. Um miðja 20. öld fór byggðin að teygja sig meira til norðurs og suðurs og hærra upp í hlíðarnar. Þá voru t.d. fyrstu húsin undir Strengsgiljum reist. Á sjöunda, áttunda og níunda áratugi tuttugustu aldar teygðist enn frekar úr byggðinni. Mörg hús voru byggð á svæðinu undir Strengsgiljum og einnig voru flest húsanna við Hólaveg og Fossveg undir Gróuskarðshnjúki reist á þeim tíma. Árið 1950 voru íbúar Siglufjarðar 2884, árið 1980 voru þeir 3015, árið 2003 1435, og nú (árið 2026) er íbúafjöldinn 1159.

Hætta var metin á öllu svæðinu frá Jörundarskál í suðri út fyrir Gróuskarðshnjúk í norðri og eru mörk svæðisins sýnd á korti 1 ásamt helstu örnefnum.

3 Snjóflóðasaga

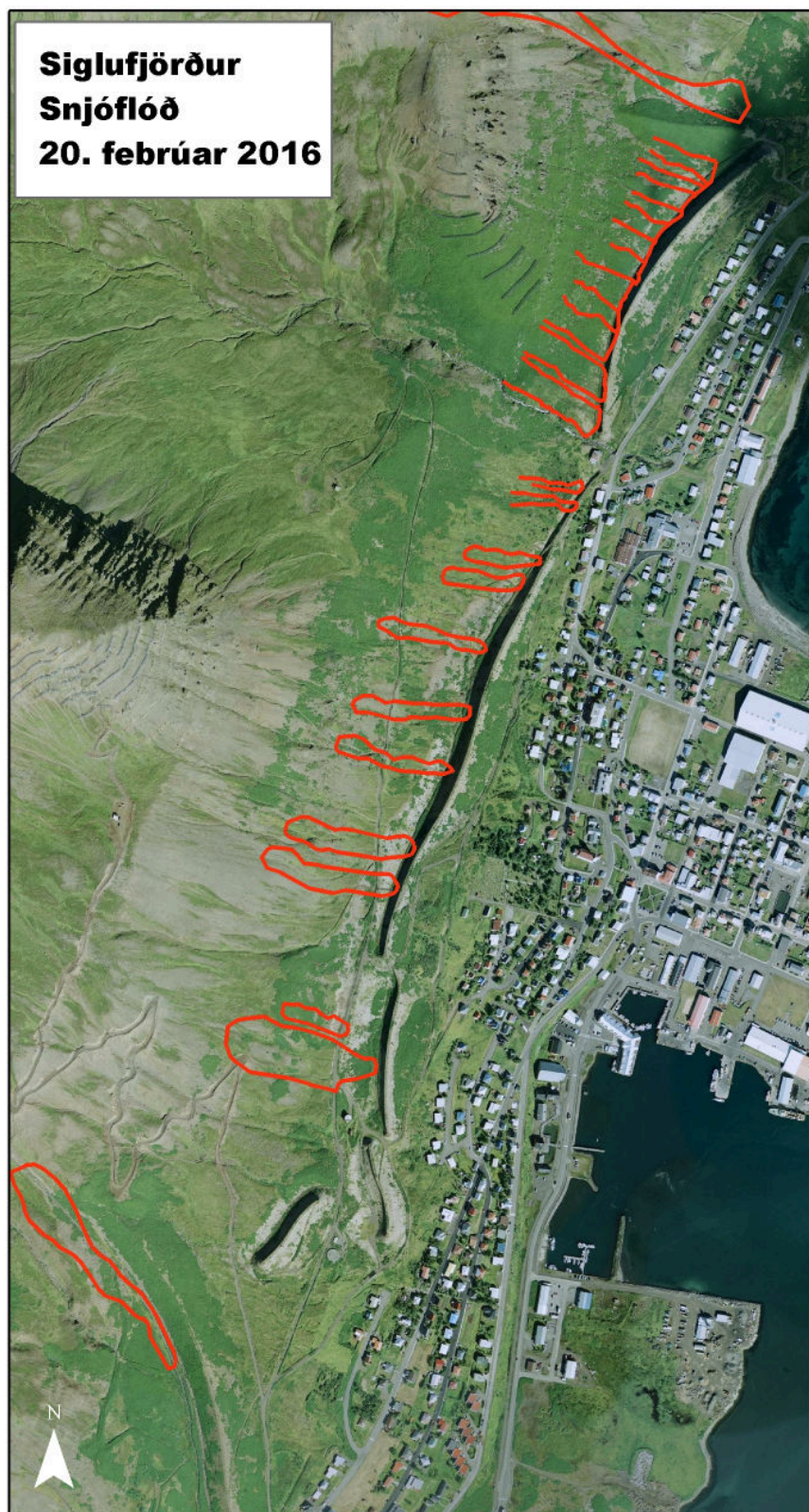
Gerð er grein fyrir sögu snjóflóða á Siglufirði til ársins 2001 í skýrslunni „Siglufjörður. Ann-áll snjóflóða til vorsins 2001“ (Harpa Grímsdóttir, 2001). Síðan 2001 hefur fjöldi snjóflóða til viðbótar verið skráður í hlíðinni ofan byggðarinnar og eru útlínur skráðra flóða sýndar á korti 2, flóð fyrir 1999 áður en leiðigarðarnir Stóri- og Litli-Bolu voru reistur með bláum lit en flóð frá og með 1999 með rauðum. Sjö snjóflóð úr Strengsgiljum og Jörundarskál hafa lent á Stóra-Bola og fimm úr Jörundarskál á Litla-Bola síðan 1999, síðast í öflugri snjóflóðahrinu í mars 2026, og beindu varnargarðarnir þessum flóðum öllum frá byggðinni (Tómas Jóhannesson o.fl., 2019; Tómas Jóhannesson, 2026). Í viðauka II er tafla með upplýsingum um snjóflóð sem fallið hafa úr Strengsgiljum og Jörundarskál, þ.á.m. flóðum sem fallið hafa eftir af varnargarðarnir Stóri- og Litli-Boli voru reistir. Gerð er nánari grein fyrir snjóflóðum úr Strengsgiljum og Jörundarskál bæði fyrir og eftir 1999 í sérstakri skýrslu um endurkomutíma snjóflóða úr þessum farvegum (Tómas Jóhannesson, 2026).

Snjóflóð úr Fífladalagili 2014 og 2017 féllu að þvergörðunum neðan Fífladala og í febrúar 2016 féllu mörg þunn snjóflóð úr neðri hluta hlíðarinnar og stöðvuðust á þvergörðunum eða skammt ofan þeirra, sjá myndir 1 og 2, m.a. úr hlíðinni neðan Hvanneyrarskál. Í febrúar 2026 féll flóð úr suðurvanga Hvanneyrarskál sem stöðvaðist í um 250 m h.y.s. og er það fyrsta umtalsverða snjóflóðið sem skráð hefur verið í skálinni.



Mynd 1. Tungur snjóflóða sem féllu ofan Bakkarípils þ. 20. febrúar 2016. Sjá má að flóðtungurnar ná upp á bratta hluta garðhliðarinnar sem byrjar nokkru ofan við miðjan garðinn. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 5. mars 2016.

Í mars 2026 reið alvarleg snjóflóðahrina yfir Vestfirði og Norðurland og féllu þá þrjú eða fjögur snjóflóð úr Jörundarskál og Strengsgiljum niður með leiðigörðunum Stóra- og Litla-Bola á Siglufirði og niður fyrir enda garðanna, sjá mynd 3. Talið er að þau hafi náð nokkuð upp á garðana. Ummerki snjóflóðsins á Stóra-Bola má sjá um það bil miðja vegu frá botni á þeirri hlið garðsins sem snýr að fjallinu. Nokkur snjóflóð féllu úr hlíðum vestan Siglufjarðar



Mynd 2. Útlínur snjóflóða sem féllu úr neðri hluta hlíðarinnar á Siglufirði þ. 20. febrúar 2016.



Mynd 3. Snjóflóð úr Jörundarskál og Strengsgiljum þ. 15. mars 2026. Þurrar tungur féllu niður fyrir enda Stóra- og Litla-Bola og skildu þar eftir sig þunna köggladreif. Vot snjóflóð virðast hafa fallið síðar og eru tungur þeirra greinilegar með kögglóttar rastir á báðar hliðar. Ljósma.: Sveinn Brynjólfsson, 19. mars 2026.

sem snúa mót austri eins og hlíðin ofan bæjarins, meðal annars mjög stórt flóð úr Selskál skammt norðan þéttbýlisins, auk flóðanna úr Jörundarskál og Strengsgiljum.

Snjóathugunarmaður Veðurstofunnar á Siglufirði, Gestur Hansson, hefur skráð upplýsingar um flest flóðanna sem fallið hafa á síðari árum.



Mynd 4. Varnargarðar og stoðvirki á Siglufirði. Ljós.: Gestur Hansson, 22. febrúar 2026.

4 Varnarvirki

Vinna við undirbúning snjóflóðavarna sem nú hafa risið á Siglufirði (mynd 4) hófst 1996 með frumathugun Verkfræðistofu Siglufjarðar og Norsku jarðtæknistofnunarinnar NGI á varnarvirkjum fyrir syðri hluta byggðarinnar undir Strengsgiljum og Jörundarskál (VS & NGI, 1997). Áður hafði de Quervain (1975) kannað snjóflóðaaðstæður á Siglufirði, í framhaldi af mannskaðasnjóflóðunum í Neskaupstaði í desember 1974, og lagt fram hugmyndir um snjóflóðavarnir fyrir byggðina, m.a. stoðvirki í Hafnarfjalli. Einnig var gerð úttekt á snjóflóðavörnum fyrir bæinn í tengslum við yfirlitsskýrslu Veðurstofunnar um þörf fyrir snjóflóðavarnarvirki á Íslandi (Tómas Jóhannesson o.fl., 1996). Josef Hopf (1996) gerði jafnframt almenna úttekt á snjóflóðavörnum fyrir Siglufjörð í framhaldi af yfirlitsskýrslu Veðurstofunnar, og Verkfræðistofa Siglufjarðar hafði unnið ýmsa undirbúningsvinnu í tengslum við hættumat og snjóflóðavarnir fyrir Siglufjörð fyrir árið 1995. M.a. ritaði Þorsteinn Jóhannesson, verkfræðingur, ýtarlega grein um snjóflóð og snjóflóðavarnir í ársrit Sögufélags Siglufjarðar árið 1976. Niðurstaða frumathugunar VS og NGI var að reisa 18 m háan, bogadreginn leiðigarð neðan Strengsgilja og stuttan 15 m háan leiðigarð norðan við gilið neðan Jörundarskál. Garðarnir, sem nefnast Stóri- og Litli-Boli (mynd 4), voru reistir á árunum 1998–1999 (FSR, 2006). Mat á umhverfisáhrifum vegna garðanna var unnið af Línuhönnun (1997).

Hættumat fyrir suðurbæinn var í framhaldinu endurskoðað að teknu tilliti til varnargarðanna (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001a,b; VÍ, 2002). Josef Hopf mælti með því í úttekt sinni árið 1996 að Stóri-Boli yrði 25 m hár þar sem sveigja garðsins er mest en niðurstaða VS og NGI var að 18 m garðhæð væri fullnægjandi.

Frumathugun á snjóflóðavörnum fyrir byggðina norðan Strengsgilja var unnin af Stefan Margreth frá Svissnesku snjóflóðstofnuninni í Davos (SLF, 2001a,b) í framhaldi af byggingu Stóra- og Litla-Bola. Þar var lagt til að reisa umfangsmikil stoðvirki í Hafnarfjalli og Gróuskarðshnjúki, keðju þvergarða í hlíðarfætinum ofan byggðarinnar alla leið frá Strengsgiljum og út fyrir norðurjaðar þéttbýlisins, og leiðigarð undir norðanverðum Gróuskarðshnjúki skammt utan við byggðina (sjá kort 1). Nánari undirbúningur og ýmsar rannsóknir fóru svo fram á næstu árum (VS, 2000, 2002a,b,c, 2004) samhliða því að stoðvirki



Mynd 5. Stoðvirki í Gróuskarðshnjúki sem reist voru árið 2004. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 11. desember 2022.

Í Gróuskarðshnjúki voru reist árið 2004 (mynd 5; FSR, 2005). Þvergarðar í hlíðarfætinum ofan byggðarinnar, sem nefnast ríplar, og leiðigarðurinn Kálfur norðan bæjarins (mynd 4 og kort 1) voru byggðir á árunum 2003–2008 (FSR, 2015). Mat á umhverfisáhrifum vegna þessara varnarmarka, sem tekur til bæði stoðvirkja og varnargarða, var unnið af Línuhönnun (2002).

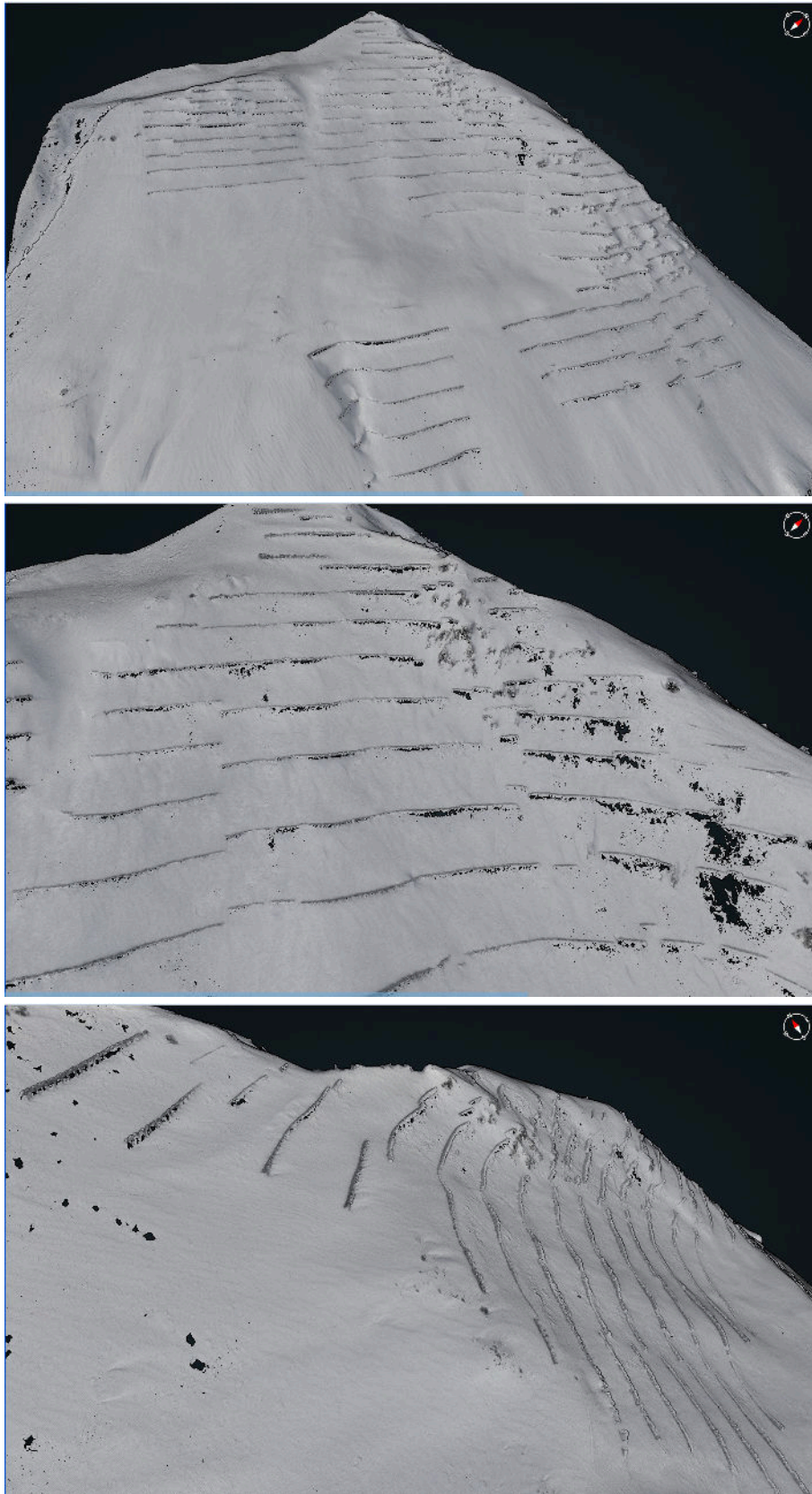
Undirbúningsrannsóknir á stoðvirkjum við íslenskar aðstæður fóru fram á vegum Veðurstofunnar í gili ofan Fífladala í Hafnarfjalli sem síðan hefur verið nefnt „Grindagil“, á árunum 1996–2014. Stoðvirkjaframkvæmdir í Hafnarfjalli voru byggðar á niðurstöðum rannsókna í Grindagili og voru svissneskar viðmiðunarreglur fyrir stoðvirki (Margreth, 2007), sem lagaðar voru að íslenskum aðstæðum (Tómas Jóhannesson & Margreth, 1999; Tómas Jóhannesson, 2003; Tómas Jóhannesson & Hopf, 2008), lagðar til grundvallar við hönnun stoðvirkjanna og uppsetningu þeirra.

Nánari útfærsla á stoðvirkjum í Hafnarfjalli var unnin af erlendum og innlendum ráðgjöf-um (Posch & Huber, 2005; SLF, 2013, 2016, 2020a,b; Hrafnkell Már Stefánsson o.fl., 2015; Jóhann Örn Friðsteinsson, 2021; Kristín Martha Hákonardóttir, 2022e), auk aðkomu sérfræðinga á vegum framleiðenda stoðvirkjanna. Framkvæmdir við uppsetningu stoðvirkja í Hafnarfjalli hófust árið 2013 og stóðu til ársins 2024 (mynd 6; FSR, 2017, 2020, 2026). Stoðvirkjaraðirnar eru samtals 8.2 km að lengd, að meðtöldum stoðvirkjunum í Gróuskarðshnjúki sem sett voru upp 2004, og eru stoðvirkin á Siglufirði umfangsmesta varnarmarkjaframkvæmd hér landi frá því að uppbygging varnarmarkja fyrir íslensk snjóflóðahættusvæði hófst eftir snjóflóðaslysin í Súðarvík og á Flateyri árið 1995. Drög að endurskoðuðu hættumati að teknu tilliti til varnarmarkja norðan Strengsgilja voru unnin af Verkfræðistofunni Verkís (Kristín Martha Hákonardóttir & Áki Thoroddsen, 2020) í samráði við Stefan Margreth við Svissnesku snjóflóðstofnuninni SLF, sem vann upprunalegu frumathugunina á varnarmarkjum fyrir Siglufjörð árið 2001.



Mynd 6. Stoðvirki í Hafnarfjalli sem reist voru á árunum 2013–2024. Ljósma.: Gestur Hansson, 14. mars 2026.

Í snjóflóðahrinu á norðanverðum Tröllaskaga í mars 2026 féllu nokkur snjóflóð úr hlíðinni vestan Siglufjarðar, m.a. mjög stórt flóð úr Selskál skammt norðan þéttbýlisins. Flóð féllu úr bæði Jörundarskál og Strengsgiljum sunnan byggðarinnar á varnargarðana Stóra- og Litla-Bola og beindu varnargarðarnir þeim frá byggðinni (sjá kort 2). Ekki féllu snjóflóð úr upptakasvæðunum með stoðvirkjum í Hafnarfjalli en þau hafa svipað viðhorf og upptakasvæði þar sem flóð féllu í hrinunni. Má leiða líkur að því að snjóflóðavarnirnar hafi komið í veg fyrir að snjóflóð færu af stað úr þessum upptakasvæðum en ekki er unnt að leggja beint mat á það hversu stór snjóflóð hefðu getað fallið eða hversu langt þau hefðu getað náð. Sjá mátti svolitlar sprungur í snjóþekjunni á nokkrum stöðum innan stoðvirkjasvæðisins, sem eru til marks um óstöðugleika, en stoðvirkin virðast hafa komið í veg fyrir að umtalsverð flóð færu af stað. Ljóst er að gripið hefði verið til víðrækrar rýmingar á húsnæði í þéttbýlinu á Siglufirði í kjölfar snjóflóðsins úr Selskál þ. 15. mars ef stoðvirkjanna hefðu ekki notið við. Snjóflóðahrinan í mars 2026 er líklega versta snjóflóðahrinan frá því að uppbygging varnarvirkja fyrir byggðina á Siglufirði hófst. Ekki er annað að sjá en að varnarvirkin hafi þá komið í veg fyrir alvarlegt hættuástand í bænum. Teknar voru ljósmyndir með flygildi af stoðvirkjasvæðinu nokkrum dögum eftir að hrinunni slotaði og unnið landlíkan og upprétt mynd af hlíðinni, sem gefur kost á að virða fyrir sér snjóalög á stoðvirkjasvæðinu frá mismunandi sjónarhornum, sjá mynd 7. Myndirnar sýna að stoðvirkin fóru á kaf í Grindagili, eins og gerist flesta vetur, og á nokkrum öðrum minni svæðum þar sem skaflar myndast. Mestur hluti stoðvirkjanna stendur vel upp úr snjónum og styður við snjóþekjuna eins og til er ætlast. Ekki er að sjá umtalsverð ummerki um að snjóþekjan hafi brostið og engin snjóflóð hafa farið af stað eins og fyrr var nefnt.



Mynd 7. Stoðvirki í Hafnarfjalli eftir snjóflóðahrinu 15.-18. mars 2026. Ljós.: Ingvar Erlingsson/Björgunarsveitin Strákar, 22. mars 2026, úrvinnsla: DATACT/Svarmi.

5 Hættumat

Við endurskoðun hættumats undir varnargörðum og öðrum varnarvirkjum á úthlaups-svæðum þarf að meta áhrif varnarvirkjana til þess að draga úr hættu í byggðinni af völdum hins þetta kjarna snjóflóða. Einnig þarf að huga að möguleikanum á aukinni hættu á svæðum þar sem leiðigarðar kunna að beina öflugri streng snjóflóða en ella væri sam-síða garðinum, og að hugsanlegu yfirflæði iðufalds og kófs (sjá nánari umfjöllun hér að neðan) sem skapað getur hættu þrátt fyrir að hinn þétti kjarni stöðvist ofan byggðarinnar eða beinist frá henni. Áhrif stoðvirkja til þess að draga úr hættu á því að snjóflóð fari af stað ofan byggðarinnar þarf einnig að meta. Jafnframt þarf að ákveða hvort ástæða sé til þess að endurskoða að einhverju leyti þær forsendur sem lagðar voru til grundvallar í fyrra hættumati og við snjótæknilega hönnun varnarvirkjana, einkum ef nokkuð er um liðið frá vinnu við hættumat og frumhönnun.

Liðin eru um 25 ár frá því að hættumat fyrir Siglufjörð (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001a,b; VÍ, 2002) var unnið og ofanflóðasaga svæðisins könnuð (Harpa Grímsdóttir, 2001), og tæp 30 ár frá frumathugun varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola til þess að verjast snjóflóðum úr Strengsgiljum og Jörundarskál (VS & NGI, 1997). Því er rétt að yfirfara forsendur um tíðni snjóflóða, hættumat og hönnunarforsendur varnarvirkjana nú. Umfjöllunin í þessum kafla beinist fyrst og fremst að snjóflóðahættu neðan Strengsgilja og Jörundarskálar, þar sem líkanreikningar með nýjum þrívíðum snjóflóðalíkönum benda til þess að hætta á að mjög stór snjóflóð flæði yfir leiðigarðana sé meiri en gert var ráð fyrir í hættumati fyrir byggð neðan garðanna frá 2002. Endurskoðun hættumatsins norðan Strengsgilja byggir á tillögu að endurskoðuðum hættumatslínunum fyrir bæinn frá Verkfræðistofunni Verkís (Kristín Martha Hákonardóttir & Áki Thoroddsen, 2020), og drögum Veðurstofunnar að endurskoðuðu hættumati fyrir Bakkahverfi frá árinu 2009 eins og nefnt var í inngangi. Í heimildaskrá er listi yfir skýrslur sem tengjast fyrra ofanflóðahættumati fyrir Siglufjörð og hönnun varnarvirkja fyrir byggðina og í kafla 4 hér að framan um varnarvirki er stutt samantekt um undirbúning og framkvæmdir við varnarvirki sem reist hafa verið.

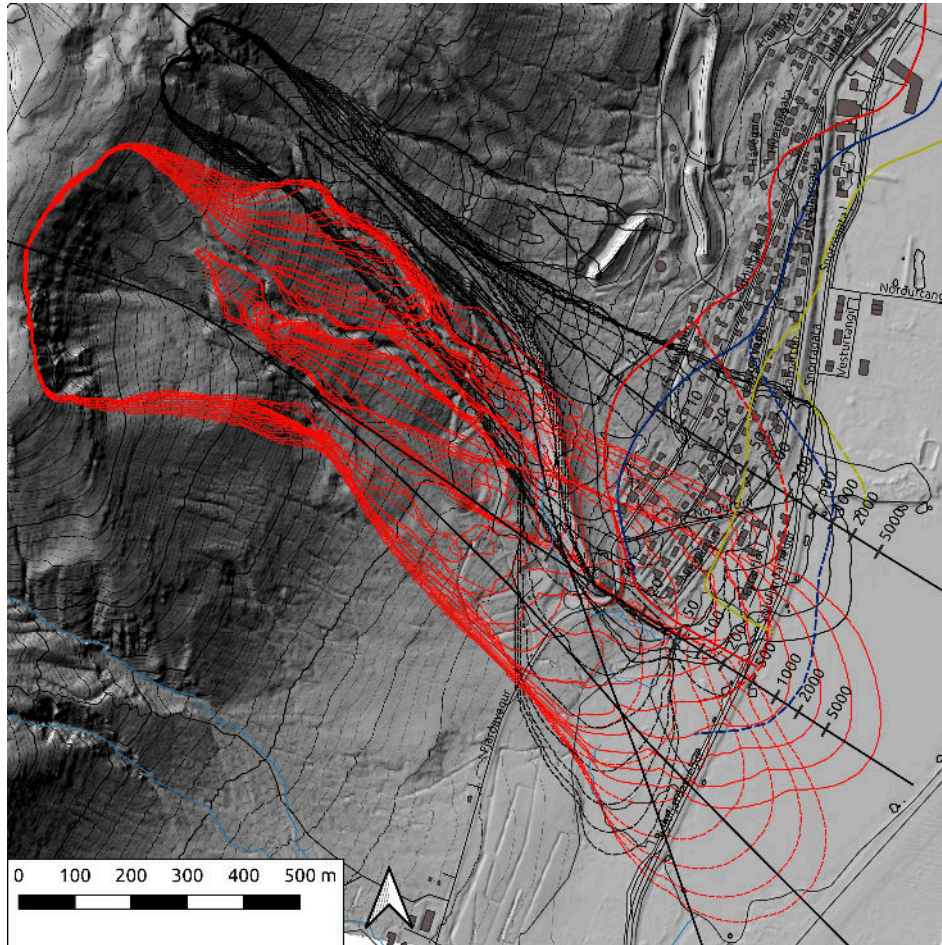
5.1 Tíðni snjóflóða

Eins og kom fram í kafla um ofanflóðasögu hafa fjölmörg snjóflóð fallið úr hlíðinni ofan byggðarinnar á Siglufirði síðan ofanflóðasaga svæðisins var könnuð í tengslum við fyrra hættumat (Harpa Grímsdóttir, 2001), þ.m.t. yfir tíu snjóflóð sem lent hafa á varnargörðunum Stóra- og Litla-Bola. Gerð er grein fyrir sögu snjóflóða úr Strengsgiljum og Jörundarskál í sérstakri skýrslu (Tómas Jóhannesson, 2026) og þar er tíðni snjóflóða úr þessum farvegum endurmetin á grundvelli uppfærðra snjóflóðagagna, sjá mynd 8. Ekki er tilefni til þess að endurskoða mat á tíðni snjóflóða sem ógna öðrum hlutum bæjarins sem fyrra hættumat byggði á. Þar byggir fyrra tíðnimat á tiltölulega fáum snjóflóðum og almennu mati á aðstæðum sem snjóflóð síðari ára hafa ekki breytt.

5.2 Tvívíðir snjóflóðalíkanreikningar með SamosAT

Tvívíða snjóflóðalíkanið SamosAT¹, sjá viðauka I, var keyrt fyrir tvívíð rennslisstig á bilinu 13–19 á landlíkani án leiðigarðanna, sjá kort 3. Snjóflóð með tvívíð rennslisstig 17 (fyrir

¹SamosAT snjóflóðalíkanið hefur verið endurforritað og er aðgengilegt sem opinn hugbúnaður og gengur þá undir nafninu AvaFrame, sjá viðauka I. Reiknilíkanið er það sama og er nafnið SamosAT oftast notað hér



Mynd 8. Tvívíð rennslisstig snjóflóða úr Strengsgiljum og Jörundarskál á Siglufirði (á bilinu 10–20) reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkani og mat á endurkomutíma flóða úr þessum farvegum (meðaltal endurkomutímagreiningar á grundvelli skriðlengdar í metrum og í tvívíðum rennslisstigum, sjá nánari umfjöllun í skýrslu Tómasar Jóhannessonar (2026)). Rennslisstig flóða úr Strengsgiljum eru svört en rauð fyrir flóð úr Jörundarskál. Rennslisstig flóða reiknuð á landlíkani án varnargarða eru teiknuð með heilum línum en rennslisstig reiknuð með landlíkani með varnargörðum með slitnum línum. Hættumat Veðurstofunnar frá 2002, hættumatslínur fyrir og eftir varnargarða, er einnig sýnt. Hættumatslínurnar hafa verið framlengdar til suðurs þannig að þær ná suður fyrir Jörundarskál. Skygging sýnir landslagið með varnargörðum. Sýndar eru brautir sist06ba/sist66ba fyrir Jörundarskál og sist09aa/sist99aa fyrir Ytra-Strengsgil þar sem síðari brautin í hvoru pari er lögð niður með leiðigörðunum.

Jörundarskál) og 18 (fyrir Strengsgil, Syðra- og Ytra-Strengsgil voru keyrð saman í einni keyrslu) reyndust stöðvast nærri B-línu fyrra hættumats án varnargarða, sjá kort 3. Snjóflóð sem stöðvast við B-línuna hafa verið notuð sem hönnunarflóð varnargarða. Þar sem snjóflóðin flæða út úr giljunum og rekast á leiðigarðana reiknaðist hraði Strengsgilsflóðsins u.þ.b. 47 m/s og þykktin 5 m í 140–160 m h.y.s. en hraði Jörundarskálarfloðsins u.þ.b. 54 m/s og þykktin 8 m í 120–140 m h.y.s. (á landlíkani án varnargarða), sjá kort 4 og 5. Í frumathugun (VS & NGI, 1997) var miðað við hraðann 43 m/s og dýptina 8.5 m í ~150 m

um þetta líkan til einföldunar og ekki gerður greinarmunur á því hvort líkanið var notað, nema í skýringum við kort þar sem nafnið AvaFrame er notað þar sem það á við.

h.y.s. fyrir Strengsgil en hraðann 58 m/s og dýptina 13 m í ~150 m h.y.s. fyrir Jörundarskál út frá líkanreikningum Þorsteins Jóhannessonar. NGI reiknaði með nokkru hærri hraða fyrir Strengsgil en lægri hraða fyrir Jörundarskál, og mun minni dýpt á báðum stöðum eða 3–4 m. Niðurstöður SamosAT eru svipaðar og liggja þarna á milli þar sem mestu munar á niðurstöðum Þorsteins Jóhannessonar og NGI.

SamosAT líkanið var síðan keyrt með sömu inntaksgildum á landlíkani með görðum þar sem land hafði verið hækkað um $h_s = 4\text{--}5$ m ofan garðanna til þess að taka tillit til snjódýptar ofan þeirra þegar flóðin falla, sjá hámarksdýpt og hámarksástreymisþrýsting á kortum 9 og 10. Toppur leiðigarðanna var breikkaður í 5x5 m landlíkani SamosAT keyrslanna til þess að rétt garðhæð kæmi fram en garðtoppurinn er svo mjór að annars skærist af garðinum í landlíkani með 5x5 m upplausn. Þessar niðurstöður eru ræddar nánar í næsta undirkafla í samhengi við niðurstöður Open- $\mu(I)$ líkanreikninga.

5.3 Þrívíðir snjóflóðalíkanreikningar með Open- $\mu(I)$

Þrívíða snjóflóðalíkanið Open- $\mu(I)$, sjá nánari lýsingu í viðauka I, var keyrt með snjódýpt á upptakasvæðum og viðnámsgildi sem stillt voru af þannig að snjóflóðið stöðvaðist u.þ.b. á B-línu hættumats fyrir tilkomu leiðigarðanna, sjá snjódýpt í lok keyrslunnar á korti 6 og myndbönd 1 og 3. Syðra- og Ytra-Strengsgil voru keyrð saman eins og í SamosAT líkanreikningunum. Viðnámsstuðlarnir í keyrslunum voru $\mu_s = 0.09$ og 0.11 , og $\mu_d = 0.70$ og 0.75 , og snjódýpt hornrétt á hlið á upptakasvæðinu var 5.4 og 5.7 m fyrir Strengsgil annars vegar og Jörundarskál hins vegar. Rúmmál snjóflóðanna sem sett voru af stað var 228 þús. m³ fyrir Strengsgil og 509 þús. m³ fyrir Jörundarskál.

Hámarksdýpt og hámarksyfirborðshraði í þessum keyrslum eru sýnd á kortum 7 og 8 og reiknast yfirborðshraðinn þar sem flóðin flæða út úr gilkjöftunum, í svipaðri hæð og efsti hluti garðanna, á bilinu 45–47 m/s fyrir Strengsgil og 56–57 m/s fyrir Jörundarskál. og þykkt flóðsins ~7 m efst við Stóra-Bola og 10–13 m ofarlega við Litla-Bola. Fyrir þrívíða snjóflóðalíkanreikninga er eðlilegast að miða hér við yfirborðshraða fremur en dýpisheildaðan meðalhraða vegna þess að efri hluti flóðsins streymir með hraða nærri yfirborðshraðanum á talsverðu dýptarbili og lægri hraði nær botninum dregur ekki úr möguleikum á yfirflæði efri hlutans. Þessi gildi eru tiltölulega nærri niðurstöðum SamosAT og því sem gengið var út frá í frumathugun á sínum tíma. Þó er nokkur munur á því hvernig SamosAT og Open- $\mu(I)$ líkönunum reiknast að landslag hliðarinnar hafi áhrif á rennsli snjóflóðanna, sbr. kort 4 og 7. M.a. virðist Open- $\mu(I)$ reikna snjóflóðin breiðari en SamosAT eftir að aðhaldi giljanna sleppir og flóðin taka að breiða úr sér til hliðanna á úthlaupssvæðinu.

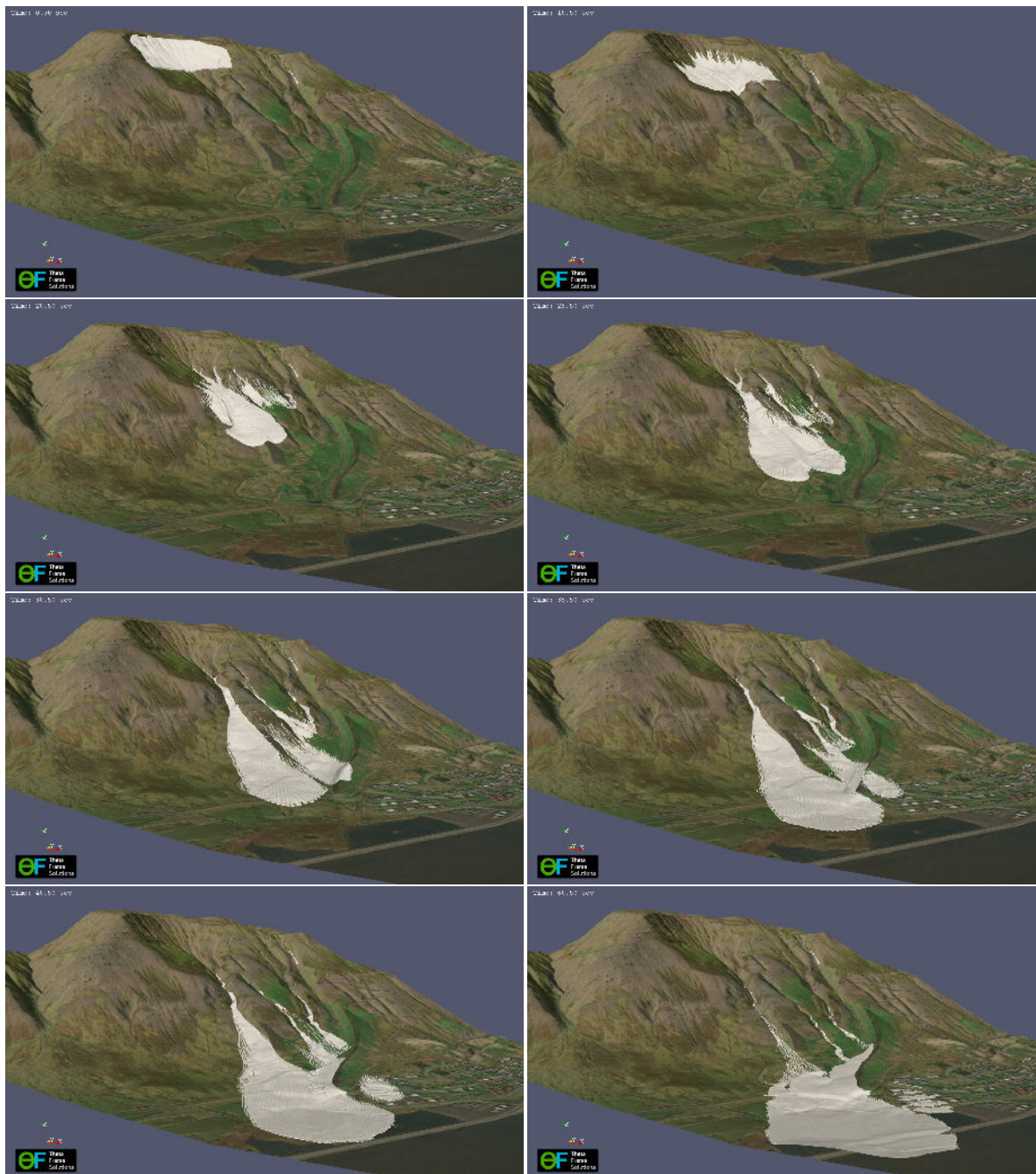
Open- $\mu(I)$ líkanið var keyrt með sömu inntaksgildum á landlíkani með görðum þar sem land hafði verið hækkað um $h_s = 4\text{--}5$ m í rásum ofan garðanna til þess að líkja eftir snjóhulu ofan garðanna þegar flóð falla eins og lýst er fyrir SamosAT líkanið hér að framan, sjá myndir 9 og 10 og myndbönd 2 og 4. Kort 12 og 13 sýna annars vegar snjódýpt í tungu flóðsins í lok keyrslunnar og hins vegar hámarksástreymisþrýsting sem svarar til yfirborðshraða ($p_{\max} = \rho u_{s_{\max}}^2$).

Sjá má að leiðgarðarnir beina meginstraumi snjóflóðanna til suðurs en jafnframt reiknast talsvert yfirflæði þetta kjarnans, þ.e. yfir Litla-Bola endilangan og yfir efri hluta Stóra-Bola



Mynd 9. Nokkur tímaskref í líkanreikningum á hönnunarsnjóflóði úr Strengsgiljum sem lendir á Stóra-Bola með þvíða snjóflóðalíkaninu Open- $\mu(I)$. Sjá má að snjóflóðið myndar stríðan streng með dýpra streymi sem breikkar niður með garðinum og að svokallað straumstökk myndast þar sem aðstreymi úr Syðra-Strengsgili flæðir inn í strenginn. Flóðið reiknast flæða að hluta yfir miðjan garðinn þar sem hann sveigir til suðurs. Tími frá upphafi keyrslunnar er ritaður í efra vinstra horn hvers ramma.

þar sem hann sveigir til suðurs. Tunga úr Jörundarskálarflóðinu flæðir norðan við Litla-Bola, sameinast þar flóðtungu sem reiknast flæða yfir Litla-Bola, og rennur síðan yfir neðanverðan Stóra-Bola og inn í byggðina. Þetta yfirflæði er rætt nánar hér að neðan í kafla um hönnun varnargarðanna. Skriðlengd í meginstraumunum er meiri til suðurs en var fyrir



Mynd 10. Nokkur tímaskref í líkanreikningum á hönnunarsnjóflóði úr Jörundarskál sem lendir á Litla- og Stóra-Bola með þvílíða snjóflóðalíkaninu $\text{Open-}\mu(I)$. Sjá má að snjóflóðið flæðir að hluta til norðan við Litla-Bola, og einnig yfir hann, og myndar tungu sem rennur í átt að neðri enda Stóra-Bola og flæðir þar yfir hann. Tími frá upphafi keyrslunnar er ritaður í efra vinstra horn hvers ramma.

tilkomu garðanna og flóðin eru mun kraftmeiri og þar með hættulegri á svæðinu sunnan við þéttbýlið en ella væri.

Þessar niðurstöður $\text{Open-}\mu(I)$ líkanreikninganna eru mjög áþekkar því sem SamosAT líkanreikningar gefa til kynna, sbr. kort 10 og 13. Almennt ber $\text{Open-}\mu(I)$ og SamosAT líkanreikningunum nokkuð vel saman um flæði snjóflóðsins á landlíkani með leiðigarði, þ.m.t.

varðandi yfirflæði þegar straumstökk er að myndast í upphafsárekstri við ofanverða garðana. Þetta samræmi kemur væntanlega til af því að varnargarðarnir eru ekki brattir á þeirri hlið sem snýr upp í fjallið og því víkur flæðið í þrívíðu reikningunum ekki mikið frá dýpsheilduðu flæði í tvívíðu reikningunum. Einnig ber líkönunum sæmilega saman um flæði snjóflóða á landlíkani án garða, sbr. kort 4, 5, 7 og 8.

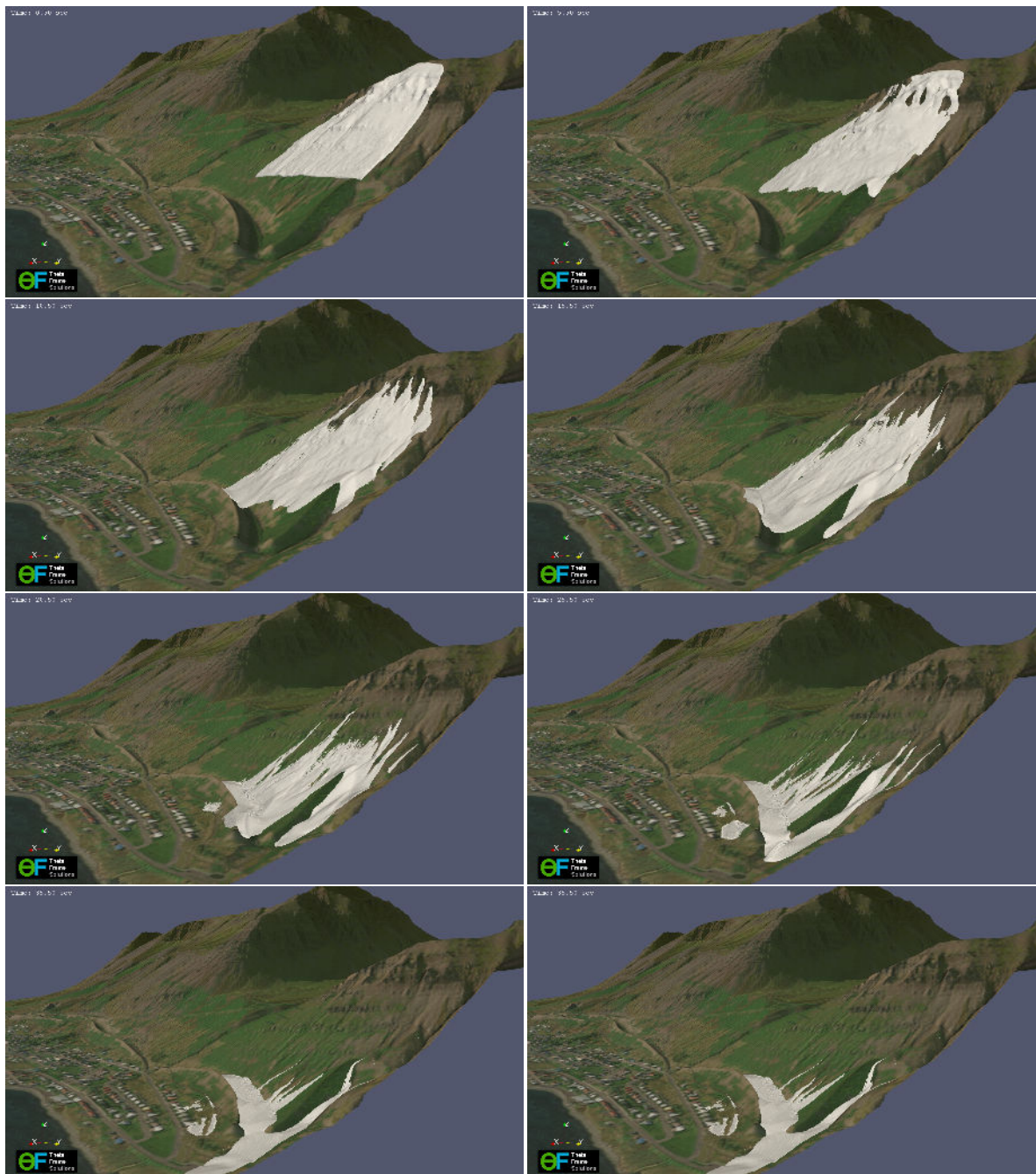
Til þess að greina þessar niðurstöður um flæði yfir Stóra-Bola enn frekar var $\text{Open-}\mu(I)$ líkanið stillt af þannig að snjóflóð reiknað á landlíkani án garða stöðvist við ströndina eins og hún var áður en Siglufjarðarvegur var lagður á uppfyllingu í flæðarmálinu, sem er sambærilegt við lengstu þekktu snjóflóð. Þegar þetta snjóflóð er reiknað á landlíkani með varnargarði reiknast ekkert yfirflæði, sjá myndband 6, þannig að Stóri-Boli er samkvæmt þessu fær um að verja byggðina fyrir flóðum sem eru sambærileg og lengstu þekktu flóð. Einnig var prófað að herma snjóflóð á landlíkönunum án snjós í rásinni ofan garðsins og með hálfri snjódýpt í rásinni miðað við það sem lýst er hér að framan. Talsvert yfirflæði reiknaðist í báðum þessum tilvikum og einnig í keyrslu MPM líkansins á snjólausu landlíkani, sjá undirkafla 5.4 hér að neðan og mynd 6 í skýrslu SLF (2025).

$\text{Open-}\mu(I)$ líkanið var keyrt með sama hætti fyrir upptakasvæðið í norðanverðum Gróuskarðshnjúki, þ.e. snjódýpt á upptakasvæðum og viðnámsgildi voru stillt af þannig að snjóflóðið náði u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu þvergarðsins Bakkarípils, sjá myndband 7. Viðnámsstuðlarnir í keyrslunni voru $\mu_s = 0.22$, og $\mu_d = 0.75$, og snjódýpt hornrétt á hlið á upptakasvæðinu var 2.0 m. Rúmmál snjóflóðs sem sett var af stað var 126 þús. m³. Sömu upphafsskilyrði og stillingar voru síðan notuð í keyrslu á landlíkani með varnargarðinum, sem er 14 m að hæð þar sem hann er hæstur, og 3 m djúpan snjó á jörðu í rásinni ofan garðsins, sjá mynd 11 og myndband 8. Sjá má að snjóflóðið stöðvast að langmestu leyti á þvergarðinum. Tvær þunnar tungur ná að flæða yfir garðinn. Sú syðri stöðvast ofan byggðarinnar en sú nyrðri er tiltölulega þunn og kraftlítil við jaðar byggðarinnar (≈ 1 m, ≈ 5 m/s, ≈ 5 kPa í keyrslu án garðs) og stöðvast skammt neðan við efstu hús.

5.4 Þrívíðir snjóflóðalíkanreikningar með svissneska MPM líkaninu

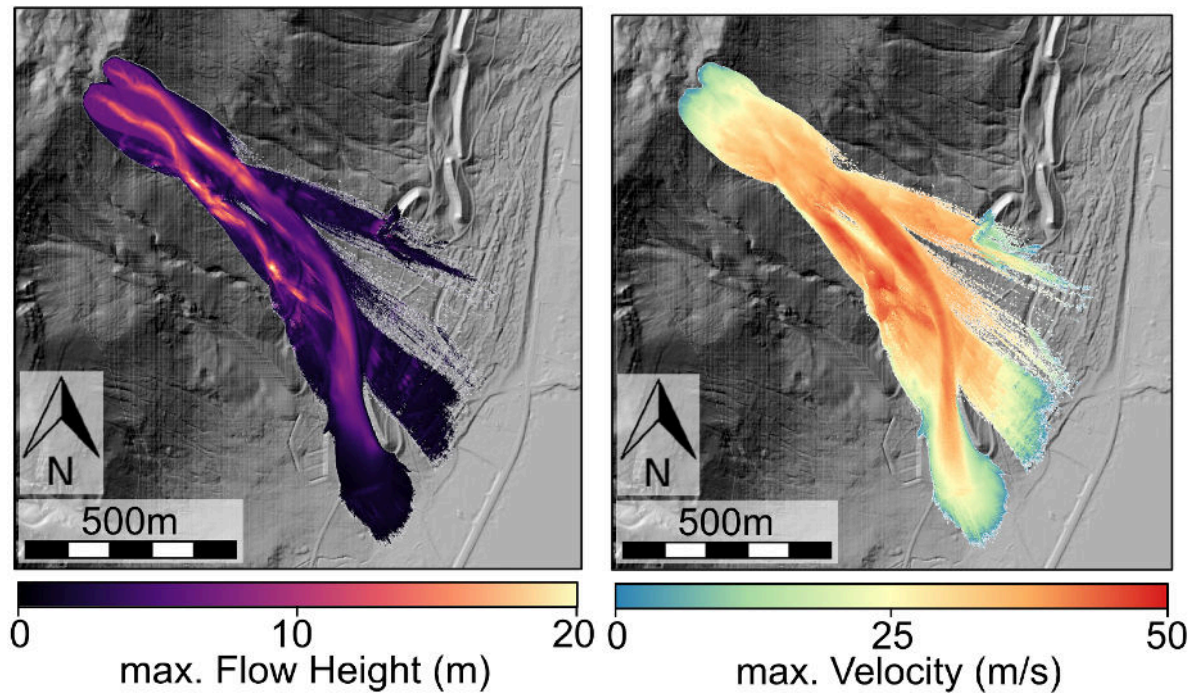
Til sannreyningar á snjóflóðalíkanreikningum með $\text{Open-}\mu(I)$ og SamosAT reiknilíkönunum voru sérfræðingar Svissnesku snjóflóðastofnunarinnar SLF fengnir til þess að herma flæði snjóflóða úr Strengsgiljum á Stóra-Bola með nýju þrívíðu snjóflóðalíkani sem nefnist MPM (Blatny o.fl., 2024) og hefur verið notað í rannsóknum og hönnun snjóflóðavarnarvirkja í nokkrum tilvikum (sjá t.d. Kohler o.fl., 2026). Þeir beittu í meginatriðum sömu aðferðafræði og lýst er að ofan fyrir $\text{Open-}\mu(I)$ og SamosAT hermanir þ.e. snjódýpt á upptakasvæðum og viðnámsgildi voru stillt af þannig að snjóflóðið náði u.þ.b. að B-línu hættumats á landlíkani án varnargarða. Síðan voru sömu upphafsskilyrði og stillingar notuð í keyrslu á landlíkani með varnargörðum og snjó í rásinni ofan garðsins, sjá mynd 12, myndband 5, og myndir og kort í skýrslu SLF um þessa reikninga sem aðgengileg er á vef Veðurstofunnar (Gaume o.fl., 2025, sjá krækju í heimildaskrá). Niðurstöður þessara mismunandi líkana má bera saman á kortum 9, 10 og 13.

MPM reikningarnir gefa til kynna yfirflæði þetta kjarnans á sama stað um miðbik Stóra-Bola og $\text{Open-}\mu(I)$ og SamosAT reikningarnir. Einnig reiknast yfirflæði ofar, í um 200 m



Mynd 11. Nokkur tímaskref í líkanreikningum á hönnunarsnjóflóði úr norðanverðum Gróuskarðshnjúki sem lendir á þvergarðinum Bakkarípli með þrívíða snjóflóðalíkaninu Open- $\mu(I)$. Sjá má að svokallað straumstökk myndast í flæðinu ofan við varnargarðinn þar sem flóðið hrannast upp. Þunn tunga nær að flæða yfir garðinn á tveimur stöðum og í áttina að húsum við Fossveg. Tími frá upphafi keyrslunnar er ritaður í efra vinstra horn hvers ramma.

h.y.s., þar sem þunn tunga reiknast flæða yfir norðurbarm gilsins ofan við leiðigarðinn. Þessi efri tunga stefnir í átt að túninu á Efri-Höfn og er ekki í samræmi við snjóflóðasögu og er hugsanlega afleiðing af tilhneigingu MPM líkansins til þess að snjóflóð sem flæða út úr mjóum giljum breiða of mikið úr sér á úthlaupssvæðinu. Meginyfirflæðið þar sem



Mynd 12. Hámarksdýpt (mesta dýpt á hverjum stað) og mesti hámarkshraði (mesti hraði í sniði þvert á hlíð, hámark á hverjum stað) snjóflóðs úr Strengsgiljum reiknuð með MPM snjóflóðalíkaninu á landi með varnargarðinum Stóra-Bola og snjó í rás ofan garðsins (SLF, 2025, myndir 8 og 9). Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að á landi án varnargarðs ná þau u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varna.

sveigja er á Stóra-Bola í 100–150 m h.y.s. reiknast mjög svipað í þeim þremur líkönum sem hér hefur verið beitt, sbr. mynd 12, kort 10 og 13 og myndir 8 og 9 í skýrslu SLF (2025).

5.5 Hönnun leiðigarða

Miðað er við það hérlandis að varnarvirki á úthlaupssvæðum uppfylli kröfur í evrópskum viðmiðunarreglum um hönnun snjóflóðagarða (Tómas Jóhannesson o.fl., 2009) en þær eru yngri en frumathugunin frá 1997 sem lá til grundvallar í hönnun Stóra- og Litla-Bola. Hér er miðað við hönnunarsnjóflóð úr Strengsgiljum og Jörundarskál sem stöðvast nærri B-línu hættumatsins frá 2002 (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001b) en þau eru talin hafa um 1000 ára endurkomutíma. Leiðihorn Stóra-Bola er um 15° efst í um 150 m h.y.s. og hækkar í um 20° á 150–200 m vegalengd niður í um 100 m h.y.s. Leiðihorn Litla-Bola er um 10° í um 120 m h.y.s. Snjóflóð úr Ytra-Strengsgili renna einungis að efsta hluta garðsins og áhrifa aðstreymis gætir ekki nema efst. Snjódýpt á jörðu fyrir flóð er valin 4 m fyrir báða garðana eins og gert er ráð fyrir í frumathugun. Reiknað var með hraðanum 47 m/s og 5 m þykku flóði úr Strengsgiljum ofan Stóra-Bola en 54 m/s og 8 m þykku flóði úr Jörundarskál ofan Litla-Bola á grundvelli líkanreikninga með bæði SamosAT og Open- $\mu(I)$, sem er í góðu samræmi við frumathugunina.

Áhrif sveigju Stóra-Bola eru reiknuð í um 100 m h.y.s. með því að skoða þykkt h_2 og hraða u_2 neðan straumstöcks sem myndast þar sem aðstreymis úr upptakasvæðinu í Ytra-Strengsgili gætir. Þar er því miðað við straumstökk sem reiknast nokkru ofar, þ.e. í um

150 m h.y.s. Auk snjóflóða úr Strengsgiljum sem falla að Stóra-Bola og úr Jörundarskál að Litla-Bola, er nauðsynleg garðhæð reiknuð fyrir flóð úr Jörundarskál sem flæðir að hluta yfir Litla-Bola og lendir síðan á neðanverðum Stóra-Bola með hraðanum 27 m/s og 2.5 m að þykkt, sem byggt er á SamoAT líkanreikningum (Open- $\mu(I)$ líkanreikningar gefa til kynna heldur meiri hraða, eða 35 m/s, á slíku flóði).

Í töflu 2 er gerð grein fyrir niðurstöðum útreikninga á nauðsynlegri hæð leiðigarðanna skv. viðmiðunarreglunum. Er annars vegar um að ræða kröfu um að garðurinn komi í veg fyrir að snjóflóðið geti streymt óhindrað yfir garðinn í stríðu (e. supercritical) streymi og hins vegar kröfu um að þykkt streymis neðan straumstökks í víkkandi streng niður með garðinum sé minni en garðhæðin. Miðað er við orkutapsstuðulinn $k = 0.85$ í árekstrinum við garðinn í reikningum á yfirflæði í stríðu streymi, sem er tiltölulega varfærið gildi fyrir garð með hallann 1:1.5 á hliðinni sem veit mót flóðinu. Þykkt flóðsins neðan straumstökks reynist ráðandi um garðhæðina.

Tafla 2. Hönnun leiðigarðanna Stóra- og Litla-Bola undir Strengsgiljum og Jörundarskál, hönnunarflóð og hæð garðs, hönnunarforsendur skv. evrópskum viðmiðunarreglum um hönnun snjóflóðagarða (Tómas Jóhannesson o.fl., 2009). Taflan sýnir leiðihorn φ_h í láréttu plani, hraða u_1 , þykkt h_1 og Froude tölu Fr_1 hönnunarflóðs ofan garðs, snjódýpt á jörðu h_s ofan garðsins fyrir flóð, landhalla ψ ofan garðsins og halla þvert á garðstefnuna $\psi_\perp$, rishæð þvert á land í stríðu streymi $H_{cr} + h_{cr}$, þar sem H_{cr} og h_{cr} eru krítísk garðhæð og þykkt flóðs, sjá skýringar í ofangreindum viðmiðunarreglum, hraða u_2 og þykkt h_2 streymis meðfram garði neðan straumstökks, viðbótarhæð vegna halla hlíðarinnar þvert á stefnu garðsins $\Delta H_\perp$ og vegna sveigju garðsins ΔH_κ , garðhæð þvert á hlið sem þarf til þess að koma í veg fyrir yfirflæði í stríðu streymi áður en straumstökk myndast annars vegar ($H_{cr} + h_{cr} + h_s$) og vegna flóðþykktar neðan straumstökks hins vegar ($h_2 + \Delta H_\perp + \Delta H_\kappa + h_s$), og að lokum lóðréttu garðhæð H_D , sem samsvarar hámarki $H_{cr} + h_{cr}$ og h_2 með viðbótarliðum, að viðbætttri snjódýpt á jörðu h_s . Síðasti dálkurinn H_m sýnir hæð garðsins skv. leysimælingu TopScan í ágúst 2009. Eingöngu er tekið tillit til þetta kjarna snjóflóðsins.

	φ_h	u_1 (m/s)	h_1 (m)	Fr_1 (-)	h_s (m)	ψ	$\psi_\perp$	$H_{cr} + h_{cr}$ (m)	u_2 (m/s)	h_2 (m)	...
Strengsgil / Stóri-Boli, ~150 m y.s.	15°	47	5	6.9	4	20°	6°	7.5	44	15.4	...
Strengsgil / Stóri-Boli, ~100 m y.s. ¹	-	-	-	-	4	20°	6°	-	44	15.4	...
Jörundarskál / Litli-Boli, ~120 m y.s.	10°	54	8	6.3	4	22°	0°	8.1	52	17.6	...
Jörundarskál / Stóri-Boli, ~50 m y.s. ²	50°	27	2.5	5.5	4	10°	7°	15.5	-	20.9	...

	$\Delta H_\perp$ (m)	ΔH_k	$H_{cr} + h_{cr} + h_s$ (m)	$h_2 + \Delta H_\perp + \Delta H_k + h_s$ (m)	H_D (m)	H_m (m)	
Strengsgil / Stóri-Boli, ~150 m y.s.	≈0	≈0	11.5		19.4	17.7	18
Strengsgil / Stóri-Boli, ~100 m y.s. ¹	1.9	2.1	-		23.4	21.4	18
Jörundarskál / Litli-Boli, ~120 m y.s.	≈0	≈0	12.1		21.6	20.9	15
Jörundarskál / Stóri-Boli, ~50 m y.s. ²	≈0	≈0	19.5		24.9	21.3	18

¹ Áhrif sveigu garðsins til viðbótar við þegar myndað straumstökk. Sjá nánari skýringar í texta.

² Miðað er við $\varphi_h = 90^\circ$ þar sem leiðihorn er stærra en $\varphi_{\max}$ (sjá Tómas Jóhannesson o.fl., 2009).

Til viðbótar kröfum um að ekki megi flæða yfir garðinn í stríðu streymi og vegna streymis neðan straumstökks við garðinn, sem miðast við beinan garð með stefnu undan halla hlíð-

arinnar þvert á hæðarlínur, þarf að taka tillit til tveggja viðbótarþátta fyrir Stóra-Bola. Þar er um að ræða liði sem bætast við garðhæðina ef hlíðinni hallar að garðinum eða ef sveigja er á stefnu hans. Þessi liðir vaxa með vegalengd niður með garðinum þar sem sveigju gætir. Liðurinn $\Delta H_{\perp}$ tekur tillit til þess að garðurinn þarf að vera hærri ef landi hallar í áttina til hans og liðurinn ΔH_{κ} tekur tillit til þess að hækka þarf garðinn þar sem sveigja er á lögun hans vegna miðflóttakrafta (sjá Tómas Jóhannesson o.fl., 2009). Krappaliðurinn hefur aðeins áhrif þar sem sveigja er á garðinum en hallaliðurinn hefur áhrif niður með öllum garðinum eftir að straumstökkið hefur myndast, en efst er halli hlíðarinnar í átt til garðsins hins vegar tiltölulega lítill. Þessir liðir koma ekki við sögu fyrir Litla-Bola af því að hann er stuttur, nokkuð beinn og leiðihornið lágt. Eins og fram kemur í efri hluta töflu 2 er halli lands þvert á Stóra-Bola $\psi_{\perp}$ u.þ.b. 6° . Krapparadíus þar sem stefna garðsins breytist er u.þ.b. $R_{\kappa} = 2000$ m á 150–200 m kafla á ofanverðum garðinum.

Fyrir efsta hluta Stóra-Bola í u.þ.b. 150 m h.y.s. gætir ekki áhrifa krappa- og hallaliðanna og þar reynist garðurinn uppfylla hönnunarforsendur, sjá töflu 2, sem einnig gefur upp mælda hæð garðanna í aftasta dálki. Um miðbik garðsins í u.þ.b. 100 m h.y.s. þar sem sveigjunnar gætir er hvor þessara liða um sig um 2 m fyrir stefnubreytingu yfir um 175 m vegalengd. Þar er komið út úr streymi flóðsins úr Ytra-Strengsgili að garðinum og því er í töflu 2 reiknað með að straumurinn neðan straumstöks haldi þykkt sinni samsíða garðinum en síðan bætast krappa- og hallaliðirnir við. Þannig er ekki reiknað sérstaklega með árekstri snjóflóðs við garðinn með hærri leiðihorni sem væri um 20° á þessum stað og tafla 2 gefur ekki upp stærðir sem tengjast árekstri flóðsins við garðinn, og miðast við sama landhalla og á svæðinu við garðtoppinn til einföldunar. Lóðrétt þykkt flóðsins við garðinn á þessum stað reiknast yfir 21 m, um 3 m meiri en garðhæðin, þannig að þarna reiknast umtalsvert yfirflæði eins og reikningar með Open- $\mu(I)$ og SamosAT líkönin gefa til kynna.

Fyrir Litla-Bola reiknast einnig umtalsvert yfirflæði og þar flæðir einnig tunga úr hönnunarflóðinu norðan við garðinn, sem sameinast yfirflæðinu og lendir svo á Stóra-Bola undir leiðihorni nærri 50° . Þessi tunga reiknast einnig flæða yfir Stóra-Bola skv. viðmiðunarreglum um hönnun snjóflóðagarða. Hún skapar hættu á sama svæði og yfirflæði hönnunarflóðs úr Strengsgiljum. Open- $\mu(I)$ og SamosAT líkönunum gefa einnig til kynna hættu á yfirflæði Jörundarskálarflóðsins á þessum stað.

Ekki var tekið tillit til viðbótarliðanna $\Delta H_{\perp}$ og R_{κ} í upprunalegri hönnun Verkfræðistofu Siglufjarðar og NGI á Stóra-Bola frá 1997. Það er athyglisvert að ekki meiri stefnubreyting á Stóra-Bola en raun ber vitni skuli leiða til þetta mikillar breytingar í nauðsynlegri garðhæð. Það gefur til kynna að breytingar á garðstefnu geti leitt til umtalsverðrar hættu á yfirflæði, e.t.v. umfram það sem snjóflóðasérfræðingar hafa til þessa tekið tillit til við hönnun varnarmarkna á úthlaupssvæðum snjóflóða.

Evrópsku viðmiðunarreglurnar taka einvörðungu tillit til hins þetta kjarna snjóflóðsins. Hætta af völdum yfirflæðis iðufalds og kófs er rædd í sérstökum undirkafla hér að neðan.

Evrópsku viðmiðunarreglurnar um hönnun snjóflóðagarða byggja á ýmsum einföldunum um flæði snjóflóða og lögun varnargarðsins og þegar þær voru próaðar voru möguleikar á straumfræðilegum líkanreikningum ekki jafn öflugir og nú er orðið. M.a. er gengið út frá

Því að straumstökk myndist strax við árekstur snjóflóðs við varnargarð en í raun er flæðið fyrst eftir að snjóflóð rekst á fyrirstöðu miklu flóknara og flóð getur náð að streyma yfir leiðigarða og aðra varnargarða svolitla stund meðan flæðið er að breyta um stefnu við leiðigarð eða stöðvast næst ofan þvergarðs. Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkanið er þróað til þess að herma árekstur snjóflóðs við varnargarða og aðrar fyrirstöður betur en hefðbundin snjóflóðalíkön. Það getur tekið tillit til flókinna lögunar varnargarða, t.d. breytilegrar sveigju á lögun leiðigarðs, og það reiknar streymið í upphafi árekstrar út frá eðlisfræðilegum og straumfræðilegum forsendum og getur þannig leitt í ljós veikleika í hönnun varnargarða sem ekki er unnt að greina með aðferðunum sem evrópsku viðmiðunarreglurnar byggja á.

5.6 Hætta vegna skriðufalla

Víða á Siglufirði er aurskriðu- og grjóthrunshætta (Halldór G. Pétursson & Þorsteinn Sæmundsson, 1999; Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson, 1999). Áhætta einstaklinga vegna hennar er talin hverfandi í hættumatinu frá 2002 í samanburði við áhættu vegna snjóflóða og því höfðu aurskriður og grjóthrun ekki áhrif á hættumatið sem þá var gert. Síðan hafa verið reistir varnargarðar í hlíðarfætinum ofan byggðar sem draga mikið úr líkum á því að aurskriður nái að flæða inn í byggðina en ekki er þó útilokað að skriður eða aurbloðnuð vatnsflóð geti flætt á milli garðanna og að byggðinni. Ekki er ástæða til þess að endurskoða þá niðurstöðu hættumatsins 2002 að áhætta af völdum skriðufalla eða grjóthruns sé hverfandi í samanburði við áhættu vegna snjóflóða og hafi því ekki áhrif á hættumatslínur. Þrátt fyrir að aurskriður og grjóthrun hafi ekki áhrif á hættumatið kann að vera ástæða til þess að taka tillit til þeirra við skipulag og hönnun mannvirkja og viðbúnað til þess að tryggja öryggi íbúa þegar hætta á skriðuföllum kemur upp.

5.7 Hætta vegna flóðbylgju af völdum snjóflóðs úr Skollaskál austan fjarðarins

Mannskaðasnjóflóðið úr Skollaskál austan fjarðarins í apríl 1919 olli flóðbylgju í firðinum sem skemmdi báta og byggingar við höfnina á Siglufjarðareyri. Mikið tjón varð af völdum flóðbylgjunnar en ekki mannskaði. Svipuð flóðbylgja myndaðist 1839 þegar stórt flóð úr Skollaskál hratt af stað flóðbylgju sem skall á eyrinni, skemmdi skip og fyllti höndlunarhús við ströndina af sjó, en fólk slapp. Áhætta af völdum slíkra flóðbylgna hefur ekki verið metin sérstaklega, en var ekki talin hafa afgerandi áhrif á áhættu íbúa í hættumatinu frá 2002 fremur en skriðuföll eða grjóthrun. Í þessu sambandi má hafa til marks að tvær allstórar flóðbylgjur af völdum snjóflóða úr Skollaskál hafa skolið á Siglufjarðareyri án þess að slys á fólki hafi hlotist af þó mikið eignatjón hafi orðið. Flóðbylgjur af völdum snjóflóða handan fjarðar hafa einnig skolest á land á Suðureyri við Sógandafjörð, við sunnanverðan Mjóafjörð og norðanverðan Eskifjörð án þess að slys yrðu á fólki. Því virðast dánarlíkur fólks sem statt er á eyrinni þegar bylgja skolest þar upp á land vera lágar, a.m.k. í samanburði við dánarlíkur fólks sem lendir í snjóflóði. Skv. lýsingum virðist þó talsverð hætta hafa skapast í þessum flóðbylgjum á Siglufirði og einhverjir sloppið naumlega.

Tilfni er til þess að rannsaka flóðbylgjuhættuna á Siglufirði nánar, m.a. með líkanreikningum á því hvernig flóðbylgjur berast yfir fjörðinn, og kanna frekar heimildir um flóðbylgjur

af völdum snjóflóða. Þrátt fyrir að fljóðbylgjur hafi ekki áhrif á hættumatið, er ástæða til þess, eins og fyrir aurskriður og grjóthrun, að taka tillit til þeirra við skipulag og hönnun mannvirkja, sér í lagi nærri ströndinni. Einnig þarf að taka tillit til flóðbylgjuhættunnar í áætlun um viðbúnað til þess tryggja öryggi íbúa þegar snjóflóðahætta kemur upp, m.a. benda fólki á að hafa varann á þegar farið er um þar sem flóðbylgjur geta skapað hættu.

5.8 Endurskoðun hættumats undir Strengsgiljum og Jörundarskál

Niðurstöður SamosAT um flæði yfir Stóra- og Litla-Bola eru svipaðar og reiknast með Open- $\mu(I)$ líkaninu fyrir snjóflóð sem stöðvast nærri B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarða eins og lýst er hér að framan. Tillaga að endurskoðuðu hættumati sem sýnd er á korti 14 tekur mið af reiknuðu yfirflæði fyrir tvívíð rennslisstig á bilinu 17–19 fyrir snjóflóð úr Strengsgiljum og rennslisstig 16–18 úr Jörundarskál. Einnig er höfð hliðsjón af yfirflæði sem reiknast með Open- $\mu(I)$ líkaninu, en það nær heldur lengra til norðurs en rennslisstig SamosAT sýna. B-lína endurskoðaðs hættumats er dregin nærri rennslisstigi 18 fyrir snjóflóð úr Strengsgiljum, C-lína nærri rennslisstigi 17 og A-lína u.þ.b. þar sem C-lína fyrra hættumats án varnargarða liggur, nokkru neðan við rennslisstig 19. Snjóflóðstunga úr Jörundarskál sem flæðir norðan við Litla-Bola og yfir Stóra-Bola hefur minni áhrif á legu hættumatslína en snjóflóð úr Strengsgiljum en er tilefni til þess að draga hættumatslínur heldur neðar en ella væri.

5.9 Endurskoðun hættumats norðan Strengsgilja

Norðan Strengsgilja byggir endurskoðaða hættumatið á tillögu að hættumatslínunum fyrir bæinn frá Verkfræðistofunni Verkís undir Hafnarhyrnu (Kristín Martha Hákonardóttir & Áki Thoroddsen, 2020), og drögum Veðurstofunnar að endurskoðuðu hættumati fyrir Bakkahverfi frá árinu 2009. Stöðvirkin í Hafnarhyrnu og þvergarðar í hlíðarfætinum gera það að verkum að hættumatslínur C og B færast í aðalatriðum upp fyrir byggðina með tilkomu varnarvirkjana, C-lína mest um 300 m og B-lína mest um 350 m. Þó eru nokkur hús á B-svæði þar sem snjóflóð með upptök í Ytra-Skriðulækjargili neðan Fífladalabrúnar geta flætt niður á milli varnargarðanna Hafnarrípils og Skriðurípils. Eins og í suðurbænum er A-lína endurskoðaða matsins u.þ.b. þar sem C-línan lá skv. upprunalegu hættumati án varnarvirkja. A-línan er þó færð nokkuð upp fyrir C-línu fyrra hættumats undir meginupptakasvæðinu ofan Fífladala þar sem umfangsmestu stöðvirkin hafa verið reist bæði ofan og neðan Fífladalabrúnar.

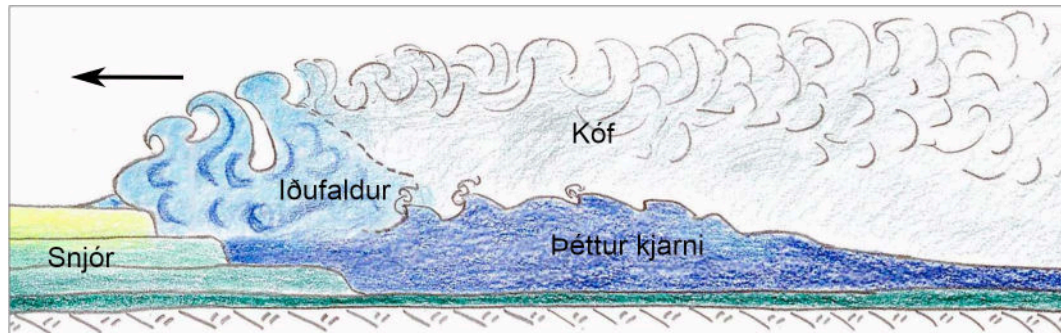
Undir Gróuskarðasnjúki færast C- og B-línur endurskoðaða matsins einnig upp fyrir byggðina með tilkomu stöðvirkja og varnargarðanna Bakkarípils og Kálfs, og hættumatslína A fylgir C-línu upprunalegs hættumats án varnarvirkja.

5.10 Hætta af völdum snjóflóða úr Hvanneyrarskál

Ekki er fjallað um hættu af völdum snjóflóða sem flæða fram úr Hvanneyrarskál í hættumatinu frá 2002. Snjóflóð sem féll fram úr Vatnsendaskál í Héðinsfirði í janúar 2004 er áminning um að rannsaka þarf nánar hættu af völdum snjóflóða úr Hvanneyrarskál. Mjög fá snjóflóð eru skráð úr upptakasvæðum í skálinni en í febrúar 2026 féll snjóflóð úr innanverðum suðurvæng skálarinnar og stöðvaðist í um 260 m h.y.s. Líkanreikningar gefa til kynna að

langskreið snjóflóð geti náð fram úr skálinni og fallið niður með Hvanneyrará þannig að hætta skapist í byggðinni. Þessi hætta var ekki skoðuð í tengslum við þá endurskoðun hættumats sem hér er lýst, en endurskoðunin einskorðast við áhrif varnarvirkja sem reist hafa verið fyrir byggðina. Tilfni er til þess að rannsaka þennan möguleika nánar áður en langt um líður.

5.11 Hætta af völdum iðufalds og kófs



Mynd 13. Einfölduð skýringarmynd af snjóflóði (íslenskuð útg. af mynd 1 í Sovilla o.fl., 2018) sem sýnir hina þrjá mismunandi hluta flóðsins. Þétti kjarninn, sem er þyngstur í sér, ferðast neðst og samanstendur af snjóköggjum og snjókorum sem eru meira og minna í snertingu sín á milli. Iðufaldur, sem fylgir sumum en ekki öllum snjóflóðum, er hraðfara og berst á undan og að hluta til ofan á þétta kjarnanum. Hann einkennist af óreglulegri hreyfingu og iðuköstum og samanstendur af snjóköggjum sem kastast stöðugt hver af öðrum og svífa nokkurn spöl milli árekstra. Iðufaldurinn nærast á þurrum, köldum snjó sem flóðið hrífur með sér á leið niður hlíðina og einnig á snjó af yfirborði þétta kjarnans. Kófið er blanda af lofti og snjókorum og litlum snjóköggjum sem berast með loftinu og rekast miklu sjaldnar hvert á annað en í þétta kjarnanum og iðufaldinum.

Snjóflóðin á Flateyri í janúar 2020 eru áminning um að ákveðin hætta er í byggð neðan snjóflóðavarnarvirkja, þó varnarvirkinn dragi mikið úr hættu þar sem þau hafa verið reist eins og kom í ljós í flóðunum á Flateyri og ekki síður í Neskaupstað í mars 2023 og á Patreksfirði í mars 2026. Samfara sumum snjóflóðum getur verið hraðfara iðufaldur, sem svo hefur verið nefndur. Hann er eðlisléttari og ferðast hraðar en hinn þétti kjarni flóðanna en er eðlisþyngri en kóf og honum fylgir óreiða og iðuköst, sbr. mynd 13. Eðlisþyngd iðufalds hefur verið metin 35–100 kg/m³ (Issler o.fl., 2020), en dæmigerð eðlisþyngd þétta kjarnans er 250–400 kg/m³ (Sovilla o.fl., 2015). Mestur massi í iðufaldi er talinn ferðast í neðstu nokkrum metrum flæðisins (Issler o.fl., 2020) en í þessum hluta snjóflóðsins hafa mælst stórir hvirflar sem geta verið um og yfir 10 m að stærð (Sovilla o.fl., 2018). Hraði iðufalds hefur verið mældur eða metinn allt að tvöfaldur á við hraða þétta kjarnans í einhverjum tilvikum (Sovilla o.fl., 2015), og allt að 60% meiri en þétta kjarnans í öðrum tilvikum (Sovilla o.fl., 2018). Í endurskoðaðri frumathugun snjóflóða á Flateyri (Verkís, 2023) er hraði iðufaldsins metinn 30% meiri en þétta kjarnans og eðlisþyngdin um 50 kg/m³. Ým-issa upplýsinga var aflað um iðufald og áhrif hans í snjóflóðunum á Flateyri 2020 og öðrum íslenskum og erlendum snjóflóðum í framhaldi af flóðunum á Flateyri (Óliver Hilmars-

son o.fl., 2020; Kristín Martha Hákonardóttir, 2022a,b,c,d; Kristín Martha Hákonardóttir o.fl., 2024; Ragnar Lárusson & Haukur Elvar Hafsteinsson, 2021; Darri Kristmundsson & Haukur Elvar Hafsteinsson, 2022; Tómas Jóhannesson o.fl., 2024). Mestar líkur eru taldar á að snjóflóðum fylgi iðufaldur ef tiltölulega kalt er í aðdraganda flóðanna og léttur, kaldur snjór á upptakasvæðum, sérstaklega ef þurr, léttur snjór hylur einnig fallbraut og úthlaupssvæði. Iðufaldur getur borist að hluta yfir varnargarða og þannig skapað hættu, þó garðarnir beini þetta kjarnanum frá byggð eða stöðvi hann ofan byggðarinnar. Einnig getur snjór úr þetta kjarnanum kastast yfir varnargarða í iðuköstum í upphafsárekstri snjóflóðs þannig að hætta skapist. Eftir snjóflóðin á Flateyri 2020 hafa verið teknar saman upplýsingar um hættumat undir varnargörðum í nokkrum nágrannalöndum og lagðar fram tillögur að reglum um nýtingu hættusvæða neðan snjóflóðavarnarvirkja með það í huga að stuðla að öryggi byggðanna (Tómas Jóhannesson & Magni Hreinn Jónsson, 2024).

Iðufaldur getur borist hundruð metra eftir að hann missir tengsl við þetta kjarnann (Issler o.fl., 2019) og/eða hættir að taka upp kaldan, þurran snjó og hann getur flætt yfir varnargarða sem eru nægilega háir til þess að beina þetta kjarnanum frá hinu varða svæði eða stöðva hann. Ekki eru tiltæk líkön sem herma iðufald og líkön fyrir kóf eru ófullkomin. Því þarf skilgreining hættusvæða neðan varnarvirkja að byggjast á mati sérfræðinga fremur en á líkanreikningum. Í þessu mati er rétt að huga að eftirfarandi atriðum.

Framboð á þurrum, köldum snjó á upptakasvæðum og í farvegi

Snjóflóðaaðstæður sem skapa hættu geta verið mismunandi eftir landsvæðum, hæð upptakasvæða yfir sjó og viðhorfi. Hætta af völdum iðufalds og kófs er mest í farvegum sem vita mót suðri þar sem snjóflóð falla í norðan hríðarveðrum og vænta má þess að oft eða oftast snjói í verulegu frosti til fjalla, sérstaklega í tiltölulega háum farvegum. Minni hættu er að vænta í farvegum með viðhorfi til norðurs þar sem hætta skapist í suðlægum áttum vegna þess að þar má gera ráð fyrir að hlýrra veður sé í aðdraganda flóða, einkum í tiltölulega lágum farvegum.

Tíðni flóða og stærð/hæð farvegar

Hættu af völdum iðufalds og kófs er einkum að vænta undir stórum upptakasvæðum sem liggja hátt, þar sem iðufaldur getur náð mestum hraða í langri fallbraut, sér í lagi þegar mikið framboð er á köldum snjó. Einnig er hættu af völdum iðufalds að vænta úr farvegum þar sem snjóflóð eru tíð og langskreið (ef litið er til byggðar á sambærilegum hættusvæðum) vegna þess að hraðfara flóðum með mikla skriðlengd fylgir kröftugastur iðufaldur. Rúmmál flóða er hins vegar ekki ráðandi þáttur vegna þess að öflugur iðufaldur getur verið samfara tiltölulega efnislitlum flóðum, sbr. snjóflóðin í fyrri hluta hrinunnar í Neskaupstað í mars 2023. Undir lágum hliðum getur verið mikil snjóflóðahætta í byggð sem stendur nærri fjallshlíð en þar er rétt að gera ráð fyrir að iðufaldur og kóf séu ekki eins stór þáttur í hættunni og undir farvegum þar sem upptakasvæði liggja hátt. Þetta er þó ekki einhlítt vegna þess að heimildir eru um tjón af völdum snjóflóða úr tiltölulega lágum upptakasvæðum þar sem iðufaldur kom líklega við sögu, t.d. mannskaðasnjóflóðið á Grund í Reykhólasveit í janúar 1995. Engu að síður er rétt að gera ráð fyrir því að almennt sé hættu af völdum iðufalds meiri undir háum upptakasvæðum þar sem snjóflóð eru tíð.

Bratti varnargarðs fjallsmegin

Ummerki eftir flóð með öflugum iðufaldi á Flateyri í janúar 2020 benda til þess að iðufaldur geti borist yfir háa varnargarða með jarðvegshalla á þeirri hlið sem að flóðinu snýr². Brattir þvergarðar og keilur sem snjóflóð lentu á í Neskaupstað í mars 2023 virðast hafa brotið upp iðufald og dregið úr krafti hans þannig að ekki varð álag af völdum þessara flóða í byggð neðan við varnirnar. Einkum benda ummerki snjóflóðs úr Skágili þann 27. mars 2023 á keilum og þvergarði undir Drangagili til þess að brött varnarvirki hafi áhrif til þess að draga úr hættu af völdum iðufalds.

Fjarlægð frá varnargarði

Það dregur úr krafti iðufalds með fjarlægð frá varnargarði eða öðrum fyrirstöðum sem beina þetta kjarnanum frá byggð eða hægja á honum, en almennt er gert ráð fyrir að iðufaldur hægi á sér og deyi út þegar hann fer fram úr þetta kjarnanum (Sovilla o.fl., 2018). Hins vegar er erfitt er að setja fram ákveðin viðmið um það hversu langt iðufaldur getur borist yfir varnargarða og ekki er unnt að styðjast við líkanreikninga um það. Snjóflóðin á Flateyri í janúar 2020 gefa til kynna að öflugur iðufaldur geti borist hundruð metra yfir varnargarða með jarðvegshalla flóðmegin. Næst neðan varnargarða má gera ráð fyrir öflugustum iðuköstum, þar sem áhrifa árekstrarins gætir mest, en fjær dregur úr þessari hættu. Hér verður miðað við að mest hættu sé í 100–200 m fjarlægð neðan við bratta varnargarða, og einkum í efstu einni til tveimur húsaröðum í byggðinni. Fyrir varnargarða með jarðvegshalla þarf að leggja mat á aðstæður í hverju tilviki. Þar sem byggð er tiltölulega samfelld má ætla að hús neðan við efstu húsaröð njóti einhvers skjóls af byggingum sem standa ofar. Ekki er gert ráð fyrir því í hættumatsreglugerð að tekið sé tillit til slíks skjóls í afmörkun hættusvæða, en eðlilegt er að tekið sé tillit til þess í rýmingarviðbúnaði.

Á grundvelli þessara atriða, og almennt eftir því hvort talin er veruleg hættu á yfirflæði af völdum þetta kjarnans sjálfs, þarf að meta hvort tilefni er til þess að skilgreina B-svæði undir varnargörðum og öðrum varnarvirkjum. Þau væru til viðbótar við A-svæði sem alla jafna er látið ná til hættusvæðis C í fyrra hættumati m.a. vegna margvíslegrar óvissu í hættumati og um áhrif varnarvirkja á flæði snjóflóða.

Hafnarfjall snýr til austurs og þar getur skapast snjóflóðahætta í snjóflóðahrinum á Norðurlandi sem tengjast norðaustan og norðan hríðarveðrum. Mesta hættu í byggðinni er talin skapast ef vindur snýst vestur fyrir norður, þegar skafið getur fram af brún Hafnarfjallsins. Upptakasvæðin í Jörundarskál og Strengsgiljum eru í svipaðri hæð og upptakasvæði í helstu snjóflóðafarvegum landsins og telja verður hættu á að þar geti safnast kaldur, léttur snjór sem leiðir til hættu á snjóflóðum með kröftugum iðufaldi. Því verður að miða við að hættu geti skapast af völdum iðufalds og kófs í byggðinni næst Stóra- og Litla-Bola. Stoðvirki í Hafnarhyrnu draga úr hættu á snjóflóðum með kröftugum iðufaldi úr hlíðinni norðan Strengsgilja. Tiltölulega lítillar hættu af völdum iðufalds er jafnframt að vænta í tengslum við upptakasvæði neðan Fífladalabrúnar og í Gróuskarðshnjúki sem eru lágt yfir sjó þannig að þar safnast síður kaldur, léttur snjór en í upptakasvæði sem liggja hærra.

²Halli flóðhliðarinnar er 1:1.25 á Flateyri. Þar virðast garðarnir ekki einu sinni hafa haft áhrif á stefnu yfirflæðisins í janúar 2020.

5.12 Skipulag byggðar á hættusvæði neðan varnarvirkjanna

Í tillögu Veðurstofunnar að reglum um nýtingu hættusvæða neðan snjóflóðavarnarvirkja (Tómas Jóhannesson & Magni Hreinn Jónsson, 2024) er talið rétt að farið sé varlega í uppbyggingu nýrra húsa næst undir varnarvirkjum þannig að heimildarákvæði í reglugerð um byggingu nýrra, óstyrktra íbúðarhúsa á A-svæðum í fyrirliggjandi byggð nái ekki til efstu lóða á svæðum sem varin hafa verið með varnarvirkjum. Þar er einnig lagt til að ákveðin svæði undir varnarvirkjum séu sérstaklega afmörkuð á hættumatskorti og tilgreint að þar sé þétting byggðar óæskileg. Markmiðið með þessari tillögu er koma í veg fyrir að sú öryggisbót sem fæst með byggingu varnarvirkja sé tekin til baka að vissu marki með því að fjölga umtalsvert íbúðum á fyrri hættusvæðum eða færa byggðina nær fjallinu. Á korti 14 sem sýnir endurskoðað hættumat er afmarkað svæði undir varnargörðunum með grænum lit þar sem þétting byggðar er óæskileg. Þar er um að ræða u.þ.b. efstu tvær húsaraðirnar undir varnargörðunum og einnig hættusvæði í grennd við kirkjugarðinn. Jafnframt er afmarkað svæði í suðurbænum undir Stóra-Bola þar sem yfirflæðishætta reiknast þar sem rétt er að halda að sér höndum með nýbyggingar þar til kannaðir hafa verið möguleikar á að styrkja varnir fyrir þann hluta byggðarinnar.

5.13 Rýmingarviðbúnaður

Hættusvæði undir varnarvirkjum kalla á rýmingarviðbúnað til þess að tryggja betur öryggi fólks en varnirnar einar leiða til. Í hættumatsreglugerð (20. gr.) er áskilið að varanleg varnarvirki skuli reist fyrir íbúðarhús á hættusvæðum C en heimilt er að tryggja öryggi fólks með eftirliti og rýmingu á hættusvæðum B og A. Neðan varnarvirkja er almennt skilgreint hættusvæði A, eins og nefnt var hér að framan, sem oft nær til hættusvæðis C í fyrri hættumati. Á nokkrum stöðum hefur jafnframt verið skilgreint B-svæði neðan varnarvirkja. Rétt er að fara nokkrum orðum í hættumati um rýmingarviðbúnað sem eðlilegur er neðan varnarvirkja í ljósi þeirra upplýsinga sem hættumatið byggir á, en rýmingarviðbúnað fyrir svæði undir varnarvirkjum þarf að uppfæra í framhaldi af hættumati fyrir slík svæði.

Rýmingaráætlanir Veðurstofunnar og almannavarna byggja á reitaskiptingu þar sem reitum er skipt í þrjá flokka á svæðum sem ekki hafa verið varin með varnarvirkjum.

- I. Reitir sem miðast við þekkt ofanflóð og hætta getur skapast á við *hóflegan aðdraganda*, t.d. snjósöfnun eða úrkomu sem talið er að geti átt sér stað á nokkurra ára fresti. Reitirnir ná e.t.v. ekki eins langt niður og ofanflóðasagan greinir ef heimildir eru um að lengri flóð hafi fallið við aftakaaðstæður, svo sem í kjölfar aftakaveðurs eða í tengslum við mikla snjósöfnun eða aftakaúrkomu. Rýmdir verða reitir í nágrenni helstu snjóflóðafarvega þar sem búast má við flóðum við margvíslegar aðstæður. Reitirnir verða rýmdir mun oft en reitir á stigi II og III. Rýmingarreitir á stigi I falla að öllu leyti innan hættusvæða C í hættumati og ná til svæða þar sem hætta er talin koma oftast upp innan þeirra.
- II. Reitir sem miðast að mestu við þekkt flóð eins og þau ná lengst og önnur svæði sem talin eru sambærileg. Á þessum reitum skapast hætta við *mikla snjósöfnun á upptakasvæðum eða aftakaúrkomu*. Ekki verður rýmt nema spáð sé veðri sem reynsla

sýnir að hafi mikla ofanflóðahættu í för með sér eða mælingar vöktunarkerfa gefa til kynna yfirvofandi hættu.

- III. Reitir þar sem mjög stór snjóflóð eða skriðuföll, svonefnd aftakaflóð, eru hugsanleg við *verstu aðstæður*. Ritaðar heimildir þurfa ekki að geta um snjóflóð á eða í grennd við viðkomandi reit. Reitirnir verða einungis rýmdir þegar ætla má af veðurspá og öðrum vísbendingum að mjög mikill snjór hlaðist upp í aftakaveðri við sérlega óhagstæð skilyrði í hlíðinni ofan við reitina, eða ef mælingar vöktunarkerfa og aðrar vísbendingar eru um yfirvofandi hættu. Á stigi III verða einnig rýmdir reitir þar sem ofanflóðahætta er talin geta skapast við mjög ólíklegar aðstæður þó ekki sé um eiginleg aftakaflóð að ræða. Víðast mun líða áratugur eða margir áratugir milli þess sem rýma þarf húsnæði á reitum á stigi III. Neðri mörk rýmingarreita á stigi III falla í flestum tilvikum saman við hættumatslínu, þ.e. neðri mörk hættusvæða A skv. hættumati. Í undantekningartilvikum getur rýming á stigi III náð niður fyrir hættusvæði A þar sem snjóflóðahætta er talin lítil og til rýmingar kemur við aðstæður sem eru mjög ólíklegar skv. hættumati.

Þar sem reist hafa verið varnarvirki er stuðst við sérstaka stigskiptingu. Þar verður miklu sjaldnar gripið til rýmingar en á óvörðum svæðum. Sérstakir rýmingarreitir eru skilgreindir undir varnavirkjum sem ekki uppfylla hönnunarforsendur, t.d. vegna plássleysis eða erfiðra aðstæðna. Einnig eru skilgreindir rýmingarreitir sem ná til u.þ.b. efstu tveggja húsa-raða og hugsaðir eru til þess að bregðast við hættu á yfirflæði iðufalds eða hluta þetta kjarnans. Þar kemur til greina að fyrsta stig viðbúnaðar sé að lýsa yfir hættustigi og senda þau tilmæli til íbúa að þeir dveljist ekki í herbergjum með glugga eða dyraop sem snúa upp í hliðina en slíkar öryggisráðstafanir eru viðhafðar víða í Alpalöndum.

- V-I. Fyrsta rýming þar sem varnir uppfylla ekki hönnunarskilmála.
- V-II. Hætta er talin geta skapast á stórum snjóflóðum þar sem iðufaldur getur hugsanlega flætt yfir varnavirki, efstu hús.
- V-III. Hætta er talin geta skapast á stórum snjóflóðum þar sem iðufaldur getur hugsanlega flætt yfir varnavirki, næstu hús.
- V-IV. Hætta er talin á aftakaflóði sem kann að flæða yfir varnargarða. Sérstök hætta kann að skapast ef stoðvirki eru á kafi, fyrri flóð hafa hlaðist upp að görðum eða keilum, eða vísbendingar eru um að nálæg flóð hafi skapað mikla hættu.

Rýmingarstig V-II og V-III eru skilgreind miðað við að fyrstu viðbrögð við snjóflóðahættu geti verið að mæla með því að íbúar á reitum V-II dveljist ekki í herbergjum með glugga eða dyraop upp í hliðina. Ef þörf er talin á frekari viðbúnaði yrðu hús á reitum V-II rýmd en tilmæli um að dveljist ekki í herbergjum glugga eða dyraop upp í hliðina send til íbúa á reitum V-III. Frekari viðbúnaður getur svo falist í að rýma einnig hús á reitum V-III.

Eðlilegast er í ljósi þess sem að framan greinir að rýming á stigi V-IV undir varnavirkjum nái til alls hættusvæðis A eins og það er skilgreint í endurskoðuðu hættumati. Við algerar undantekningaraðstæður kemur rýming stærra svæðis til greina, t.d. ef fyrri flóð hafa

hlaðið snjó að varnargörðum og keilum eða ef upptakastoðviki eru komin á kaf og hríðarveður og skafrenningur halda áfram þannig að aðstæður versna enn. Í slíku tilfelli kemur rýming á upprunalegu hættusvæði fyrir tilkomu varnarvirkja til greina, en fyrri hættusvæði eru sýnd á endurskoðuðu hættumatskorti, m.a. af þessari ástæðu.

Undir Jörundarskál og Strengsgiljum reiknast hætta á yfirflæði þetta kjarnans við aftaka-aðstæður og varnargarðarnir Stóri- og Litli-Boli uppfylla ekki hönnunarskilmála. Þar er jafnframt talin nokkur hætta á yfirflæði iðufalds, en síður undir Skriðulækjargiljum, Hafnarhrynu, Hvanneyrarskál og Gróuskarðshnjúki. Undir Jörundarskál og Strengsgiljum er því rétt að skilgreina rýmingarsvæði á stigi V-I, V-II og V-III sem ná til B-svæðis undir Stóra-Bola. Til hagræðis fyrir stigskipta rýmingu getur verið hentugt að efsti rýmingarreiturinn nái til efstu húsaraðar, næsti reitur til annarrar húsaraðar og þriðji reiturinn niður að B-línu endurskoðaða hættumatsins. Snjóflóðasagan gefur til kynna að mun ólíklegra sé að hætta skapist undir Hvanneyrarskál og Gróuskarðshnjúki en innar í bænum og stoðvirkin í Hafnarhrynu gera það að verkum að þar er unnt að gera ráð fyrir að snjóflóðahætta skapist sjaldan. Það er því rökrétt að mun sjaldnar yrði gripið til rýmingar þar en á rýmingarreitum undir Stóra-Bola syðst í bænum.

5.14 Óvissa

Óvissa í endurskoðaða hættumatinu er talin vera á bilinu 1–2 eins og víðast fyrir svæði neðan varnarvirkja.

6 Niðurstaða

Ofanflóðahættumat fyrir Siglufjörð hefur verið endurskoðað eftir byggingu stoðvirkja í Hafnarfjalli og varnargarða í hlíðarfætinum fyrir ofan endilangan bæinn, sem draga mikið úr snjóflóðahættu í byggðinni. Stoðvirki á upptakasvæðum sem reist voru á árunum 2004 til 2024 minnka líkur á að snjóflóð fari af stað úr upptakasvæðum í Hafnarfjalli og sunnanverðum Gróuskarðshnjúki. Leiðigarðarnir Stóri- og Litli-Boli verja innsta hluta bæjarins með því að beina snjóflóðum úr Jörundarskál og Strengsgiljum suður fyrir byggðina. Þvergarðar frá Skriðulækjargiljum til Gróuskarðshnjúks og leiðigarðurinn Kálfur norðan bæjarins verja svo byggðina gagnvart flóðum sem kunna að falla úr upptakasvæðum neðan stoðvirkjanna og úr gili í norðanverðum Gróuskarðshnjúki.

Hættumat fyrir suðurhluta bæjarins var endurskoðað að teknu tilliti til leiðigarðanna Stóra- og Litla-Bola árið 2002. Líkanreikningar með nýjum þrívíðum snjóflóðalíkönum benda til þess að hætta á að mjög stór snjóflóð flæði yfir leiðigarðana sé meiri en gert var ráð fyrir í endurskoðuða hættumatinu. Hættumatið fyrir suðurbæinn er nú endurskoðað að nýju og skilgreind C- og B-svæði undir leiðigörðunum þar sem áður var A-svæði. Hættumatslína C í suðurbænum færir við endurskoðunina niður um þrjár húsaraddir þannig að 16 íbúðarhús lenda á C-svæði. Hættumatslína B færir einnig niður og lenda 10 íbúðarhús á B-svæði. A-lína í endurskoðuðu hættumati nær u.þ.b. til C-svæðis skv. upprunalegu hættumati án varnavirkja, og tekur það til yfir 30 íbúðarhúsa undir leiðigörðunum. Endurskoða þarf frumathugun og kanna möguleika á að endurbæta ofanflóðavarnir fyrir suðurbæinn vegna hættu á yfirflæði í framhaldi af þessu hættumati. Hættumatslínur C og B undir Hafnarhyrnu og Gimbraklettum færast í aðalatriðum upp fyrir byggðina með tilkomu varnavirkjanna, en hættumatslína A fylgir að mestu leyti Suðurgötu og Hvanneyrarvegi, u.þ.b. þar sem C-lína lá skv. upprunalegu hættumati án varnavirkja. Færsla C-línu er um 300 m þar sem mest er undir Fífladölum og B-línu um 350 m. Með tilkomu varnanna þar verða engin íbúðarhús á C-svæði, fjögur íbúðarhús B-svæði og 150–200 hús á A-svæði. Hættumatslínur C og B undir Gróuskarðshnjúki færast einnig upp fyrir byggðina með tilkomu stoðvirkja og varnargarðanna Bakkarípils og Kálfs, og hættumatslína A fylgir C-línu upprunalegs hættumats án varnavirkja. Undir Hvanneyrarskál og við Hvanneyrará eru 11 íbúðarhús á B-svæði í hinu endurskoðaða mati og 15 hús á A-svæði. Undir Gróuskarðshnjúki er ekkert hús á C-svæði, eitt hús á B-svæði og 27 hús á A-svæði í endurskoðaða matinu. Rýmingaráætlun fyrir Siglufjörð hefur verið endurskoðuð til samræmis við nýja hættumatið. Til greina kemur að fyrsta stig viðbúnaðar verði að lýsa yfir hættustigi og senda þau tilmæli til íbúa að þeir dveljist ekki í herbergjum með glugga eða dyraop sem snúa upp í hliðina. Jafnframt verði gætt varúðar í sambandi við umferð að og frá húsum á reitunum.

Líkanreikningar gefa til kynna að langskreið snjóflóð geti náð fram úr Hvanneyrarskál og skapað hættu í byggð undir skálinni. Rannsaka þarf snjóflóðahættu undir Hvanneyrarskál og kanna hvort tilefni er til þess að breyta hættumati þar.

Flóðbylgjur af völdum snjóflóða úr Skollaskál austan fjarðarins hafa valdið tjóni á Siglufjarðareyri en ekki mannskaða. Tilefni er til þess að rannsaka flóðbylgjuhættuna á Siglufirði nánar, m.a. með líkanreikningum á því hvernig flóðbylgjur berast yfir fjörðinn. Þó ekki

sé talin ástæða til þess að láta flóðbylgjuhættuna hafa áhrif á hættumatslínur, er rétt að taka tillit til þessara hættu í áætlun um viðbúnað til þess tryggja öryggi íbúa þegar snjóflóðahætta kemur upp, m.a. benda fólki á að hafa varann á þegar farið er um þar sem flóðbylgjur geta skapað hættu.

7 Heimildir

- Barker, T., & J. M. N. T. Gray (2017). Partial regularisation of the incompressible $\mu(I)$ -rheology for granular flow. *Journal of Fluid Mechanics*, **828**, 5–32, doi: 10.1017/jfm.2017.-428.
- Blatny, L., J. M. Gray & J. Gaume (2024). A critical state $\mu(I)$ -rheology model for cohesive granular flows. *Journal of Fluid Mechanics*, **997**, A67, doi: 10.1017/jfm.2024.643.
- Darri Kristmundsson & Haukur Elvar Hafsteinsson (2022). *Simulating the impact of the fluidized region of an avalanche on a stationary vehicle*. Vatnaskil, minnisblað dags. 2022-08-31, nr. 22.11.
- de Quervain, M. R. (1975). *Avalanche problems of Iceland. Analysis and recommendation for further action (Snjóflóðavandamál á Íslandi. Athuganir og tillögur um aðgerðir)*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, skýrsla G75.51 (ísl. þýðing Gissur Ö. Erlingsson).
- Efla o.fl. (2017). *Ástandsmat varnargarða*. Reykjavík, Efla, Mannvit og Verkís, skýrsla dags. 19. janúar 2017.
- FSR (2005). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. Stoðvirki 1. áfangi. Skilamat*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í desember 2005.
- FSR (2006). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. Strengsgil. Skilamat*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í febrúar 2006.
- FSR (2015). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. Þvergarðar 2. áfangi. Skilamat*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í september 2015.
- FSR (2017). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. Uppsetning stoðvirkja í Hafnarfjalli, 2. áfangi. Skilamat*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í júlí 2017.
- FSR (2020). *Siglufjörður 3. áfangi. Uppsetning stoðvirkja í N-Fífladölum. Skilamat*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í desember 2020.
- FSR (2025). *Þvergarðar Siglufirði – endurbætur. Hreinsun eftir aurflóð á Siglufirði. Skilablað*. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í nóvember 2025.
- FSR (2026). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. ???*. Skilamat. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í ??? 2026.
- Greenshields, C. (2021). OpenFOAM v9 User Guide, The OpenFOAM Foundation, London, UK, <https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v9> (sjá einnig v10/11/12/13; og jafnframt <https://www.openfoam.com>).
- Halldór Björnsson (2001). *Veður í aðdraganda snjóflóðahrina á Siglufirði*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01018.
- Halldór G. Pétursson & Þorsteinn Sæmundsson (1999). *Skriðuföll á Siglufirði*. Akureyri, Náttúrufræðistofnun Íslands, greinarg. NÍ-99011.
- Harpa Grímsdóttir (1998). *Byggingarár húsa á Siglufirði*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 98-049.
- Harpa Grímsdóttir (2001). *Siglufjörður. Annáll snjóflóða til vorsins 2001*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01016.
- Hnit (1989). *Snjóflóðahættumat fyrir Siglufjörð*. Reykjavík, verknr. 69-3 (höfundur Árni Jónsson).

- Hopf, J. (1996). *Remarks on the statement concerning the avalanche danger and proposed protection measures in Siglufjörður in the draft of the internal report "Overview of the need for avalanche protection in Iceland"*. Minnisblað ritað fyrir Veðurstofu Íslands.
- Hrafnkell Már Stefánsson & Kristín Martha Hákonardóttir (2015). *Snjóflóðavarnir Siglufirði. Minnisblað um samanburð á grjóthleðslum og upptakastoðvirkjum á skaflasvæði í Hafnarhrynu*. Verkís, minnisblað dags. 2015-01-21, nr. 251.
- Hættumatsnefnd Siglufjarðarkaupstaðar (2002). *Mat á hættu vegna ofanflóða á Siglufirði. Greinargerð með hættumatskort*. Reykjavík, 9 bls.
- Issler, D., P. Gauer, M. Schaer & S. Keller (2020). Inferences on mixed snow avalanches from field observations. *Geosciences*, **10**, 2, doi: 10.3390/geosciences10010002.
- Jarosch, A. H., Tómas Jóhannesson, Kristín Martha Hákonardóttir, Hafþór Örn Pétursson (2022). Full three-dimensional simulations of snow-avalanche flow with two-phase, incompressible, granular $\mu(I)$ rheology using OpenFOAM / interFoam, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-7984, doi: 10.5194/egu-sphere-egu22-7984.
- Jop, P., Y. Forterre & O. Pouliquen (2006). A constitutive law for dense granular flows. *Nature*, **441**, 727–730, doi: 10.1038/nature04801.
- Jóhann Örn Friðsteinsson (2021). *Snjóflóðavarnir Siglufirði. Útsetning viðbótarstoðvirkja neðan Fífladala og eftirlit með útsetningu verktaka í Hafnarfjalli – 4. verkhluti*. Verkís, minnisblað dags. 2021-07-12, nr. 225167.
- Kohler, M. J., J. Gaume, C. Ancey & B. Sovilla (2026). Distinguishing run-up height from pressure distribution during avalanche impact on narrow obstacles: mechanisms and semi-empirical prediction. Manuscript submitted to *Natural Hazards and Earth System Sciences*, preprint, doi: 10.5194/egusphere-2026-1181.
- Kristín Martha Hákonardóttir & Áki Thoroddsen (2020). *Snjóflóðavarnir Siglufirði. Minnisblað um endurskoðun hættumats fyrir Siglufjörð*. Verkís, minnisblað dags. 2020-09-08, nr. 124676.
- Kristín Martha Hákonardóttir (2022a). *Ofanflóðavarnir Flateyri – Flóðin 2020 – Viðtöl við íbúa húsa við Ólafstún 14, 9 og 3 og hafnarvörð*. Verkís, minnisblað dags. 2022-01-04, nr. 137172.
- Kristín Martha Hákonardóttir (2022b). *Flateyri – Rannsóknir á yfirflæði – lðuflaldur og mælingar og túlkun á SLF*. Verkís, minnisblað dags. 2022-01-05, nr. 192516.
- Kristín Martha Hákonardóttir, Árni Kristjánsson & Gunnlaugur Pétursson (2022c). *Ofanflóðavarnir á Flateyri – Flóðin 2020 – Bakreiknaður þrýstingur á mannvirki frá iðufaldi í snjóflóðum á Flateyri 2020*. Verkís, minnisblað dags. 2022-06-13, nr. 271911.
- Kristín Martha Hákonardóttir (2022d). *Ofanflóðavarnir á Flateyri – Frumathugun, endurskoðun 2020 – Tillaga að hættumati með tilkomu endurbættra varna á Flateyri*. Verkís, minnisblað dags. 2022-12-30, nr. 314981.
- Kristín Martha Hákonardóttir (2022e). *Snjóflóðavarnir Siglufirði. Stoðvirki. Field investigations in September 2022 to review zone D and stake out area H*. Verkís, minnisblað dags. 2022-05-11, nr. 307070.
- Kristín Martha Hákonardóttir, Ragnar Lárusson, Árni Kristjánsson & Gunnlaugur Pétursson (2024). Loading on structures from fluidized avalanche fronts overflowing

- deflecting dams at Flateyri, Iceland, January 2020. Í: *Proceedings of the International Snow Science Workshop ISSW 2024, Tromsø, Norway, 23–27 Sept. 2024* (ritstj. Gisnås, K. G., P. Gauer, H. Dahle, M. Eckerstorfer, A. Mannberg & K. Müller). Montana State University.
- Kristjana G. Eypórsdóttir (1984). *Snjóflóð í Siglufirði. Skrá og farvegakort*. Veðurstofa Íslands, skýrsla dags. 1. des. 1984.
- Kristján Jónasson & Trausti Jónsson (1997). *Fimmtíu ára snjódýpt á Íslandi*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 97025.
- Kristján Jónasson, Sven Þ. Sigurðsson & Þorsteinn Arnalds (1999). *Estimation of Avalanche Risk*. Veðurstofa Íslands, rit 99001.
- Lied, K., & S. Bakkehøi (1980). Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographical parameters. *J. Glaciol.*, **26**(94), 165–177.
- Línuhönnun (1997). *Frummat á umhverfisáhrifum leiðigarða til varnar snjóflóðum á Siglufirði*. Skýrsla unnin af Ingibjörgu E. Björnsdóttur og Þorgeiri S. Helgasyni.
- Línuhönnun (2002). *Snjóflóðavarnir á Siglufirði. Mat á umhverfisáhrifum*. Skýrsla unnin af Ingibjörgu E. Björnsdóttur o.fl.
- Margreth, S. (2007). *Defense structures in avalanche starting zones*. Technical guideline as an aid to enforcement. Federal Office for the Environment FOEN, Bern.
- Ólafur Jónsson, Sigurjón Rist & Jóhannes Sigvaldason (1992). *Skriðuföll og snjóflóð. III. Snjóflóðaannáll*. Reykjavík, Bókaútgáfan Skjaldborg.
- Óliver Hilmarsson, Tómas Jóhannesson & Harpa Grímsdóttir (2020). *Snjóflóðin úr Skollahvílft og Innra-Bæjargili 14. janúar 2020*. Veðurstofa Íslands, skýrsla 2020-010.
- Perla, R., T. T. Cheng and D. M. McClung (1980). A two-parameter model of snow-avalanche motion. *J. Glaciol.*, **26**(94), 197–207.
- Posch, M., & T. Huber (2005). *Siglufjörður, Iceland (Detailed layout of snow supporting structures in zones 2 and 3 in Hafnarfjall)*. Skýrsla dags. 1. nóvember 2005.
- Ragnar Lárusson & Haukur Elvar Hafsteinsson (2021). *Vehicle damage and transport and possible shock wave formation in the Innra-Bæjargil ravine avalanche in Flateyri in January 2020*. Vatnaskil, minnisblað dags. 2021-12-22, nr. 21.42.
- Sampl, P., & M. Granig (2009). Avalanche Simulation with SAMOS-AT. *International Snow Science Workshop, Davos 2009, Proceedings*, 519–523.
- Skúli Þórðarson & Árni Jónsson (2005). *High-resolution wind simulation in Hafnarhryna starting zone*. Orion, skýrsla dags. .
- SLF (2001a). *Siglufjörður, Iceland. Avalanche defences. Protection plan for the residential area*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Report G20-01.01 (höfundur S. Margreth).
- SLF (2001b). *Siglufjörður. Snjóflóðavarnir. Áætlun um varnir fyrir byggðina [Íslensk þýðing skýrslunnar: Siglufjörður, Iceland. Avalanche defences. Protection plan for the residential area]*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Report G2001.01 (höfundur S. Margreth, þýðing Tómas Jóhannesson).
- SLF (2013). *Memo concerning layout for snow supporting structures in Northern Fífladalir – phase 3 of building steel bridges in Siglufjörður, August 2013*. Eidgenöss-

- isches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Technical consultation dated 13 September 2013 (höfundur S. Margreth).
- SLF (2016). *Re-evaluation of the necessary extent of steel bridges for Phase 4 in Siglufjörður, Iceland*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Expert Report G2016.01 (höfundur S. Margreth).
- SLF (2020a). *Comments on additional supporting structures in Siglufjörður, Iceland*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Technical consultation No. 416/20 (höfundur S. Margreth).
- SLF (2020b). *Assessment of avalanches releasing in the controlled area 9 “N-Fífladalir, upper part” and overriding the terrain terrace of Fífladalir*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, samantekt dags. júní 2020 (höfundur S. Margreth).
- SLF (2025). *Three dimensional simulations of the interaction between a snow avalanche and a dam using the Material Point Method and an elastoplastic $\mu(I)$ rheology model. Case location: Siglufjörður, Iceland*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, SLF Report G2025.01 (höfundar J. Gaume, L. Blatny, M. Kyburz, S. Margreth). Niðurhalsslóð skýrslunar er:
<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/Report-SLF-G2025-01-MPM-avalanche-dam-Island.pdf>
- Sovilla, B., J. N. McElwaine & M. Y. Louge (2015). The structure of powder snow avalanches. *Comptes Rendus Physique*, **16**(1), 97–104, doi: 10.1016/j.crhy.2014.11.005.
- Sovilla, B., J. N. McElwaine & A. Köhler (2018). The intermittency regions of powder snow avalanches. *Journal of Geophysical Research: Earth surface*, **123**, 2525–2545, doi:10.1029/2018JF004678.
- Sven Sigurðsson, Kristján Jónasson & Thorsteinn Arnalds (1998). Transferring avalanches between paths. Í: *25 years of snow avalanche research* (ritstj. Hestnes, E.) Osló, NGI, Publikation nr. 203, 259–263.
- Tómas Jóhannesson, K. Lied, S. Margreth & F. Sandersen (1996). *Þörf fyrir snjóflóðavarnarvirki á Íslandi. Yfirlit og mat á kostnaði*. Veðurstofa Íslands, rit 96003.
- Tómas Jóhannesson (1998a). *A topographical model for Icelandic avalanches*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 98003.
- Tómas Jóhannesson (1998b). *Icelandic avalanche runout models compared with topographic models used in other countries*. Í: *25 years of snow avalanche research* (ritstj. Hestnes, E.). Osló, NGI, skýrsla nr. 203, 43–52,
- Tómas Jóhannesson & S. Margreth (1999). *Adaptation of the Swiss Guidelines for supporting structures for Icelandic conditions*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 99013.
- Tómas Jóhannesson, Þorsteinn Arnalds & Leah Tracy (2001). *Results of the 2D avalanche model SAMOS for Siglufjörður*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01019.
- Tómas Jóhannesson (2003). *Addendum to the “Adaptation of the Swiss Guidelines for Supporting Structures for Icelandic Conditions” (IMO, Rep. 99013)*. Veðurstofa Íslands, minnisbl. TÓJ-2003-05.
- Tómas Jóhannesson & J. Hopf (2008). Loading of supporting structures under Icelandic conditions. The type of structures and structural requirements in future projects. Results of a field experiment in Siglufjörður. Í: *International Symposium on Mitigative*

- Measures against Snow Avalanches, Egilsstaðir, Iceland, 11–14 March 2008* (ritstj. Tómas Jóhannesson, E. Hestnes, Gísli Eiríksson & Jakob Gunnarsson). Reykjavík, Verkfræðingafélag Íslands, 143–150.
- Tómas Jóhannesson, P. Gauer, P. Issler & K. Lied (ritstj.) (2009). *The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments*. Brussels, Directorate-General for Research, Environment Directorate, European Commission, Rit EUR 23339, 195 bls., doi: 10.2777/12871.
- Tómas Jóhannesson, Gestur Hansson, Örn Ingólfsson, Sveinn Brynjólfsson, Magni H. Jónsson, Óliver Hilmarsson & Harpa Grímsdóttir (2019). Snow avalanches hitting deflecting and catching dams in Iceland 1997–2018. Í: *International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches, Siglufjörður, Iceland, 3–5 April 2019* (ritstj. Tómas Jóhannesson, P. Gauer, Kristín M. Hákonardóttir, S. Margreth, Hafsteinn Pálsson, Fjóla G. Sigtryggisdóttir). Reykjavík, Verkfræðingafélag Íslands, 132–139.
- Tómas Jóhannesson & Magni Hreinn Jónsson (2024). *Túlkun laga og reglugerða varðandi nýtingu hættusvæða vegna ofanflóða*, Veðurstofa Íslands, minnisblað dags. 2024-03-14, málsnr. 2024-0093.
- Tómas Jóhannesson, Harpa Grímsdóttir, Kristín Martha Hákonardóttir, Sveinn Brynjólfsson, Óliver Hilmarsson & Alexander H. Jarosch (2024). Lessons from several avalanches impacting avalanche protective structures in Iceland in January 2020 and March 2023. Í: *Proceedings of the International Snow Science Workshop ISSW 2024, Tromsø, Norway, 23–27 Sept. 2024* (ritstj. Gísnås, K. G., P. Gauer, H. Dahle, M. Eckertorfer, A. Mannberg & K. Müller). Montana State University.
- Tómas Jóhannesson, A. H. Jarosch & Magni Hreinn Jónsson (2025). Three-dimensional simulations of snow-avalanche flow for assessing the effectiveness of protections measures in the run-out zone. Í *International Symposium on Mitigation Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows. Ísafjörður, Iceland, September 30 – October 3, 2025* (ritstj. Árni Jónsson o.fl.). Reykjavík, Verkfræðingafélag Íslands.
- Tómas Jóhannesson (2026). *Endurkomutími snjóflóða úr Skollahvilft og Innra-Bæjargili á Flateyri og Strengsgiljum og Jörundarskál á Siglufirði*. Veðurstofa Íslands, skýrsla 2026-xxx.
- Umhverfisstofa (2000). *Reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats*.
- Umhverfisstofa (2007). *Reglugerð nr. 495/2007 um breytingu á reglugerð um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats* (eftir þessa breytingu heitir reglugerðin: *Reglugerð um hættumat vegna ofanflóða og flokkun og nýtingu hættusvæða*).
- Verkís (2023). *Snjóflóðavarnir á Flateyri – Endurskoðun frumathugunar*. Verkís, skýrsla 291189.
- VÍ (2002). *Siglufjörður. Hættumatskort*. Veðurstofa Íslands, kort undirritað af umhverfisstofu í mars 2002.
- VS & NGI (1997). *Frumathugun á snjóflóðavörnum (fyrir sunnanverðan Siglufjörð)*. Siglu-

- fjörður, Verkfræðistofa Siglufjarðar og Norges geotekniske institutt, skýrsla útg. í júní 1997 (höfundar Þorsteinn Jóhannesson, Karstein Lied, Reynir Vilhjálmsson).
- VS (2000). *Stoðvirki vegna snjóflóða á Siglufirði. Könnun á jarðvegi og dýpt á klöpp undir fyrirhuguðum stoðvirkjum*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla útg. í október 2000 (höfundur Þorsteinn Jóhannesson).
- VS (2002a). *Frumathugun á þvergörðum vegna snjóflóðavarna á Siglufirði*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla útg. í apríl 2002 (höfundur Þorsteinn Jóhannesson).
- VS (2002b). *Skýrsla um jarðvegsrannsóknir. Frumathugun á þvergörðum vegna snjóflóðavarna á Siglufirði. Borun með krónubor. Gröftur á könnunarholum*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla með tveimur viðaukum útg. í febrúar 2002 (höfundur Þorsteinn Jóhannesson).
- VS (2002c). *Jarðvegskönnun vegna stoðvirkja undir Gróuskarðshnjúki á Siglufirði*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla útg. í október 2002 (höfundur Þorsteinn Jóhannesson).
- VS (2004). *Þvergarður efst í Fífladal*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla útg. í september 2004 (höfundur Þorsteinn Jóhannesson).
- Þorsteinn Arnalds, Siegfried Sauermoser & Harpa Grímsdóttir (2001a). *Hazard zoning for Ísafjörður, Siglufjörður and Neskaupstaður. General report*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01009.
- Þorsteinn Arnalds, Siegfried Sauermoser, Tómas Jóhannesson & Harpa Grímsdóttir (2001b). *Hazard zoning for Siglufjörður. Technical report*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01020.
- Þorsteinn Jóhannesson (1976). Snjóflóð og snjóflóðavarnir í Siglufirði. Siglufirðingabók, II, 135–166.
- Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson (1999). *Skriðuhætta á Siglufirði*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 99025.

I Tæknileg hugtök og skilgreiningar

α -horn: Sjónarhorn frá stöðvunarstað snjóflóðs upp að efri brún upptakasvæðis (sjá mynd 14).

β -horn: Sjónarhorn frá stað í snjóflóðafarvegi þar sem landhalli er 10 upp að efri brún upptakasvæðis (sjá mynd 14).

α/β -líkan: Staðfræðilegt líkan notað til þess að spá fyrir um úthlaupslengd snjóflóða og til þess að færa snjóflóð á milli farvega. Líkanið notar β -horn til þess að spá fyrir um α -horn lengsta skráða snjóflóðs í viðkomandi farvegi og á rætur sínar að rekja til Lied & Bakkehøi (1980). Útgáfa líkansins sem notuð er í þessu hættumati var þróuð af Tómasi Jóhannessyni (1998a,b) og stuðst var við gögn um 45 íslensk snjóflóð. Formúla líkansins er

$$\alpha = 0.85 \cdot \beta, \quad \sigma = 2.2^\circ$$

þar sem σ er staðalfrávik úthlaupshornsins. Snjóflóð með úthlaupshorn $n\sigma$ lægra en útreiknað α -gildi er táknað sem snjóflóð með úthlaupslengd $\alpha - n\sigma$ og $\alpha + n\sigma$ þegar α -hornið er hærra en útreiknaða gildið sem fæst með formúlunni hér að ofan. Takið eftir að α -hornið verður lægra eftir því sem úthlaupslengdin verður meiri þ.a. $\alpha - \sigma$ jafngildir snjóflóði með lengri úthlaupslengd en svarar til úthlaupshornsins α .

PCM-líkan: Einvítt eðlisfræðilíkan notað til þess að líkja eftir flæði snjóflóða. Líkanið hefur tvo stuðla, μ , viðnámsstuðul Coulombs, og M/D -stuðul. Líkanið var þróað af Perla o.fl. (1980).

Open- $\mu(I)$ -líkan: Þrívítt, tveggja fasa eðlisfræðilíkan notað til þess að líkja eftir flæði snjóflóða (Jarosch o.fl., 2022; Tómas Jóhannesson o.fl., 2025). Snjóflóðið er hermt sem blanda af kornóttu efni og lofti sem aflagast skv. svokallaðri $\mu(I)$ hnigfræði (rheólógíu) (Jop o.fl., 2006; Barker og Gray, 2017). Viðnámslýsing líkansins hefur tvo stuðla, μ_s og μ_d , sem mestu skipta, og nokkra aðra stuðla sem snúa að tölulegri uppsetningu líkansins (Barker og Gray, 2017). Líkanið getur hermt árekstur snjóflóðs við varnargarða og aðrar fyrirstöður betur en hefðbundin snjóflóðalíkön. Það ræður m.a. við að herma snjóflóð sem ferðast í loftköstum eftir slíkan árekstur, og það getur tekið tillit til flókinnar lögunar varnargarða, t.d. þegar einungis hluti efri hliðar varnargarðs er brött eða þegar sveigja er á lögun leiðigarðs. Líkanið var þróað af Alexander H. Jarosch við ThetaFrame Solutions í Austurríki í samvinnu við Veðurstofu Íslands í OpenFOAM / interFOAM straumfræðihugbúnaðarkerfinu (Greenshields, 2021). Niðurstöður Open- $\mu(I)$ -líkansins hafa verið bornar saman við niðurstöður annars þrívíðs snjóflóðalíkans, sk. MPM líkans (Blatny o.fl., 2024), fyrir snjóflóð úr Strengsgiljum á Siglufirði sem lendir á leiðigarðinum Stóra-Bola (SLF, 2025). Líkönunum ber í aðalatriðum vel saman um flæði snjóflóðsins í árekstrinum við leiðigarðinn.

Rennslisstig: Úthlaupslengd snjóflóðs, mæld í hektómetrum, sem *flutt* (Sven Sigurðsson o.fl., 1998) hefur verið í *staðalbrekku* með ákveðinni aðferð. Rennslisstig í þessari skýrslu eru fengin með PCM-líkani með stuðlum sem liggja á ákveðnu bili. Snjóflóð

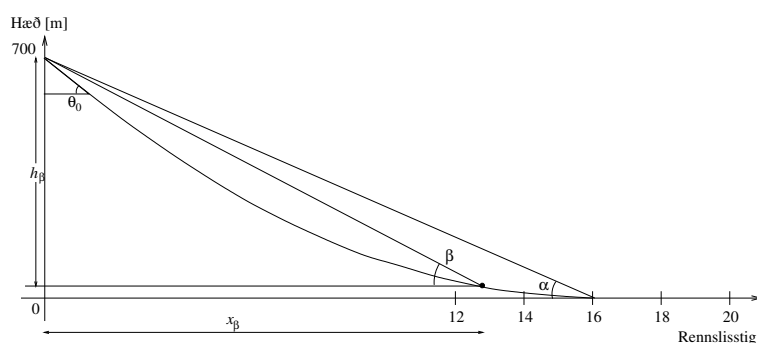
með rennslisstig r_0 er táknað sem snjóflóð með $r = r_0$. Aðferð þessi var þróuð af Kristjáni Jónassyni o.fl. (1999).

Tvívíð rennslisstig: Útlína (eða skriðlengd) snjóflóða reiknuð með tvívíðu reiknilíkani. Stuðlar líkansins fyrir rennslisstig r_0 hafa verið valdir þannig að ef samsvarandi snjóflóð er keyrt í farvegi með lögun staðalbrekkunnar þá staðnæmist það í fjarlægðinni $r = r_0$ (mæld í hektómetrum) frá upptökum. Tvívíð rennslisstig sem notuð eru í þessari skýrslu eru reiknuð með SamosAT/AvaFrame snjóflóðalíkaninu (Sampl & Granig, 2009; <https://docs.avaframe.org>). Stuðlar líkansins sem eru breytilegir fyrir mismunandi rennslisstig eru viðnámsstuðullinn, $\mu = \tan \delta$, og snjódýpt þvert á land, d , á upptakasvæðum í upphafi keyrslu, sjá töflu 3. Aðrir stuðlar eru þeir sömu og ákvarðaðir hafa verið fyrir keyrslu líkansins í Austurríki (Sampl & Granig, 2009) og koma þeir fram í töflu 4.

$F_{r_0}(F_{13})$: Mat á tíðni snjóflóða með rennslisstig hærra eða jafnt r_0 . Gildið F_{13} er mest notað, þ.e. tíðni í rennslisstigi $r_0 = 13$.

Tafla 3. Breytilegir stuðlar SamosAT líkansins fyrir mismunandi rennslisstig.

Rennslisstig	d (m)	μ
10	0.250	0.349
11	0.439	0.313
12	0.667	0.292
13	0.939	0.259
14	1.251	0.230
15	1.604	0.201
16	2.000	0.171
17	2.439	0.147
18	2.917	0.135
19	3.439	0.124
20	4.000	0.117



Mynd 14. Staðalbrekka. α -hornið er væntigildi úthlaupshorns snjóflóðs samkvæmt α/β -líkani.

Tafla 4. Fastir stuðlar SamosAT líkansins, sjá Sampl & Granig (2009) þar sem er að finna skýringar á stuðlunum og skilgreiningu hinna mismunandi stærða sem koma við sögu í viðnámsskilgreiningu líkansins.

Stuðull	Gildi	Eining
ρ	300	kg/m ³
τ_0	0	Pa
R_{s0}	0.22	1
K_D	10 ⁸	1
R_D	0.05	m
B_D	15	1

II Snjóflóð úr Strengsgiljum og Jörundarskál

Í viðauka þessum er að finna upplýsingar um snjóflóð sem fallið hafa úr Strengsgiljum og Jörundarskál sem náðu tvívíðu rennslisstigi 10, þ.m.t. snjóflóð sem hafa lent hafa á leiðigörðunum Stóra- eða Litla-Bola eftir 1999. Á grundvelli upplýsinga um þessi snjóflóð hefur endurkomutími snjóflóða úr Strengsgiljum og Jörundarskál, sem sýndur er á mynd 8, verið metinn (Tómas Jóhannesson, 2026).

Tafla 5. Skriðlengd og tvívíð rennslisstig lengstu skráðra snjóflóða hvers vetrar úr Strengsgiljum í braut sist09aa. Skriðlengdin á við farveginn eins og hann var fyrir byggingu leiðgarðsins Stóra-Bola árið 1999 og hafa snjóflóð sem féllu eftir að varnargarðurinn reis verið færð yfir í brautina með línulegri brúun tvívíðra rennslisstiga. Lárétt lína skilur að flóð sem féllu fyrir og eftir byggingu Stóra-Bola.

Númer flóðs	Dag-setning	Skrið-lengd (m)	2D rst	Athugasemd
2002	1901	1245	13.9	Snjóflóð féll niður í um 20 m h.y.s. á nýjan vegstúf fyrir framan Höfn. Líklega hljóp það úr Ytra-Strengsgili.
2005	12.4.1919	1368	15.0	Snjóflóð féll fyrir framan túnið í Efri-Höfn og fór niður undir sjó. Það tók lítinn sumarbústað sem Sören Goos átti. Líklega féll flóðið úr Ytra-Strengsgili fremur en Jörundarskál.
2007	1936–1938	1389	15.3	Stórt snjóflóð féll úr Jörundarskál og/eða Ytra-Strengsgili. Heimildir um flóðið eru óljósar en líklega hefur það runnið út á ísilagðar Leirurnar undir Jörundarskál og alllangt einnig undir Strengsgiljum þar sem hér er miðað við að flóðið hafi náð niður fyrir flæðarmálið sem þá var.
2012	1938/1939	1368	15.0	Snjóflóð féll milli húsanna Suðurgötu 91 og Hávegar 65 og fór niður undir sjó. Líklega hefur flóðið komið úr Ytra-Strengsgili, en það tók kofa sem hafði staðið á sama stað og sumarbústaður Sörens Goos (sem fór í snjóflóði 4.12.1919) og flutti niður undir fjöru. Breidd tungunnar var um 150 m.
2013	1958–1960	1262	14.1	Snjóflóð féll úr Ytra-Strengsgili og stöðvaðist í 25 m h.y.s.
2017	4.2.1968	1257	14.1	Úr Ytra-Strengsgili féll snjóflóð sem lenti á steinhúsi við Suðurgötu 76. Snjór flæddi inn í húsið og olli tjóni á því að utan sem innan. Ofan við húsið hlóðst upp snjódyngja en hluti flóðsins fór niður á auðu svæði norðan hússins. Tungan stöðvaðist í um 25 m hæð og breidd hennar var um 40 m ofan við Suðurgötu.
2019	1969	1190	13.4	Snjóflóð úr Ytra-Strengsgili stöðvaðist u.þ.b. 20–30 m ofan við húsin Suðurgötu 76 og 78.
2029	19.12.1974	1278	14.2	Þurrt flekaflóð féll úr Ytra-Strengsgili. Það skemmdi mikið húsin Suðurgötu 76 og 78. Auk þess braut flóðið raflínustaur og skemmdi bíl sem það tók með sér norðan við húsin. Flóðtungan stöðvaðist í um 25 m h.y.s.
2036	4.4.1980	994	11.1	Úr Ytra-Strengsgili féll vott flekasnjóflóð niður í um 80 m h.y.s. Það stöðvaðist u.þ.b. 200–250 m ofan við húsin Suðurgötu 76 og 78.
2046	20.2.1981	1029	11.5	Vott lausasnjóflóð átti upptök hátt í Syðra-Strengsgili og stöðvaðist ofan við bæjargirðingu í 60–70 m h.y.s. Breidd neðsta hluta tungunnar var um 20–25 m.

framh. á næstu bls.

Númer flóðs	Dag-setning	Skrið-lengd (m)	2D rst	Athugasemd
2064	8.1.1984	1120	12.6	Stórt snjóflóð virðast hafa fallið samtímis úr allri Jörundarskál og Syðra-Strengsgili. Hlaupið bar grjót og jarðveg niður á láglendi.
2080	3.12.1986	1112	12.5	Snjóflóð úr Ytra-Strengsgili stöðvaðist 100 m frá húsunum Suðurgötu 76 og 78. Breidd flóðtungunnar var um 40 m. Flóðið olli svolitlum skemmdum á bæjargirðingunni.
2214	13.2.1988	1149	12.9	Þurrt lausasnjóflóð féll úr Syðra-Strengsgili og stöðvaðist í um 45 m h.y.s.
2093	25.3.1989	1032	11.5	Þurrt lausasnjóflóð féll úr Ytra-Strengsgili og stöðvaðist í um 75 m h.y.s.
2106	21–23.1.1994	1229	13.8	Snjóflóð úr Ytra-Strengsgili stöðvaðist á húsinu Suðurgötu 76 án þess að valda tjóni. Líklega var um að ræða þurrt lausasnjóflóð.
2111	18.1.1995	1207	13.5	Þurrt snjóflóð féll úr Ytra-Strengsgili. Breidd tungunnar var mest 135 m og stöðvaðist hún 30 m ofan við Suðurgötu.
2120	3.1.1996	1140	12.8	Þurrt flekahlaup féll úr Ytra-Strengsgili og mjó tunga stöðvaðist um 75 m ofan við Suðurgötu 76.
2125	15.1.1997	1055	11.8	Flekaflóð féll í Ytra-Strengsgili og stöðvaðist um 140 m ofan við Suðurgötu 76. Breidd tungunnar var um 70 m og þykktin um 1.5 m.
2148	12.3.1999	1277	14.2	Snjóflóð féll úr Ytra-Strengsgili og lenti á varnargarðinum Stóra-Bola sem þar var í byggingu. Flóðið fylgdi garðinum sem beindi því frá byggðinni.
2283	14.10.2004	1352	14.9	Tvö snjóflóð annað úr Ytra Strengsgili (2283) og hitt úr Jörundarskál (2284), féllu á leiðigarðana Litla- og Stóra-Bola.
52249	22.3.2014	1267	14.2	Snjóflóð féll úr Ytra-Strengsgili og rann niður með endilöngum Stóra-Bola.
53319	22/23.2.2016	884	10.0	Lítið snjóflóð féll í Ytra-Strengsgili og niður með Stóra-Bola ofanverðum.
54178	21/22.11.2017	1234	13.8	Óflugt en þunnt flekahlaup féll í Strengsgili, meðfram leiðgarðinum Stóra-Bola og stöðvaðist við tjörnina nærri garðendanum. Flóðið virtist eiga upptök í brúninni í um 500 m hæð og bar með sér mikið grjót. Mikil köggladreif sást á holtinu sunnan gilsins.
61362	15.3.2026	1277	14.3	Flóð með upptök í bæði Syðra- og Ytra-Strengsgili og einnig í mjóa gilinu norðan Jörundarskálar rann að garðinum Stóra-Bola og rétt niður fyrir neðri endann. Það rann ekki mikið upp á garðinn, e.t.v. sem nam hálfri hæð garðsins. Líklega tvö flóð, það síðara rakara og fór styttra. Þetta flóð var hluti stærra flóðs sem féll samtímis úr Jörundarskál.

Tafla 4. Skriðlengd og tvívíð rennslisstig lengstu skráðra snjóflóða hvers vetrar úr Jörundarskál í braut sist06ba. Skriðlengdin á við farveginn eins og hann var fyrir byggingu leiðgarðsins Litla-Bola árið 1999 og hafa snjóflóð sem féllu eftir að varnargarðurinn var reistur verið færð yfir í brautina með línulegri brúun tvívíðra rennslisstiga. Lárétt lína skilur að flóð sem féllu fyrir og eftir byggingu Litla-Bola. Tvö gildi fyrir flóð nr. 2007 eru annars vegar skriðlengd flóðsins eins og útlínan er teiknuð í snjóflóðaánnál frá 2001 og hins vegar skriðlengd flóðs sem nær úr á „Ísilagðar Leirurnar, langleiðina að mynni Skútuár“ (gildi í svigum), sjá nánari skýringar í texta.

Númer flóðs	Dag-setning	Skrið-lengd (m)	2D rst	Athugasemd
2007	1936–1938	1470 (1700)	14.4 (17.5)	Stórt snjóflóð féll úr Jörundarskál og/eða Ytra-Strengsgili. Heimildir um flóðið eru óljósar en líklega hefur það runnið út á Ísilagðar Leirurnar.
2027	19.12.1973	1434	14.0	Þurrt flekahlaup féll fram í sjó. Flóðið braut barnaheimilið Leikskála og hæsnahús.
2064	8.1.1984	1241	12.0	Stórt snjóflóð virðast hafa fallið samtímis úr allri Jörundarskál og Syðra-Strengsgili. Hlaupið bar grjót og jarðveg niður á láglandi.
2110	19.12.1994	1345	13.2	Úr Jörundarskál féll flekahlaup sem stöðvaðist neðan Fjarðarveggar og skemmdi hlið á geymsluskúr sem byggður var þar sem áður stóð hæsnahús en það eyðilagðist í snjóflóði 1973.
2266	3.4.2001	1345	13.2	Snjóflóð féll niður með leiðgarðinum Litla-Bola.
2284	14.10.2004	1258	12.2	Snjóflóð féll á leiðgarðinn Litla-Bola. Með flóðinu barst nokkuð af grjóti og torfi.
2306	9–11.3.2007	1032	10.0	Snjóflóð féll niður með Litla-Bola og stöðvaðist skammt neðan garðsins.
57245	6.2.2022	1448	14.2	Snjóflóð úr Jörundarskál rann yfir hluta af tjaldsvæði bæjarins og tók með sér þjónustukofa sem eyðilagðist. Flóðið náði að varnargarðinum Stóra-Bola innan við byggðina, skall í tjörn við varnargarðinn, rann yfir veg og um 200 m niður fyrir hann. Sömu nótt féll einnig snjóflóð úr Strengsgili en það var mun minna og náði ekki að varnargarðinum.
61362	15.3.2026	1250	12.1	Flóð úr Jörundarskál rann niður með Litla-Bola og um 100 m niður fyrir endann á Stóra-Bola án þess að snerta Stóra-Bola. Líklega tvö flóð, það síðara rakara og fór styttra.

III Kort

Kort 1. Yfirlitskort af Siglufirði með helstu örnefnum, varnargörðum, stoðvirkjum og mörkum svæðis þar sem hættumat Veðurstofunnar frá 2002 er nú endurskoðað eftir byggingu varnavirkja (A4). Upptakasvæði sem afmörkuð voru í fyrra hættumati Veðurstofunnar (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001b) eru sýnd með númeruðum flákum. Kortið sýnir einnig áhættulínur fyrra hættumats Veðurstofunnar (VÍ, 2002) fyrir og eftir byggingu varnargarðanna Litla- og Stóra-Bola. C- og B-línur fyrra hættumats hafa hér verið framlengdar til suðurs til þess að gefa til kynna lögun hættusvæða neðan Jörundarskálar og Strengsgilja sunnan hins hættumetna svæðis við suðurjaðar byggðarinnar.

Kort 2. Útlínur skráðra snjóflóða úr Hafnarfjalli ofan Siglufjarðar til og með árinu 2026 (A4). Snjóflóð sem fallið hafa síðan 1999 þegar varnargarðarnir Litli- og Stóri-Boli voru reistir eru dregin með rauðum lit til aðgreiningar en eldri flóð með bláum. Upptakasvæði sem afmörkuð voru í fyrra hættumati Veðurstofunnar (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001b) eru sýnd með númeruðum flákum.

Kort 3. Tvívíð rennslisstig á bilinu 13–19 reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu fyrir upptakasvæði í Jörundarskál og Strengsgiljum. Kortið sýnir einnig fyrra hættumat Veðurstofunnar frá 2002 (Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001b) til samanburðar við hinar líkanreiknuðu tungur snjóflóðanna. C- og B-línur fyrra hættumats hafa hér verið framlengdar til suðurs til þess að gefa til kynna lögun hættusvæða neðan Jörundarskálar og Strengsgilja sunnan hins hættumetna svæðis við suðurjaðar byggðarinnar.

Kort 4. Hámarksdýpt snjóflóða reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola fyrir tvívítt rennslisstig 17 úr Jörundarskál og rennslisstig 18 úr Strengsgiljum. Skriðlengd snjóflóðanna er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 5. Hámarkshraði snjóflóða reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola fyrir tvívítt rennslisstig 17 úr Jörundarskál og rennslisstig 18 úr Strengsgiljum. Skriðlengd snjóflóðanna er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 6. Lokadýpt í tungum snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknuð með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau stöðvast nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 7. Hámarksdýpt snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknuð með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau stöðvast nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 8. Hámarksyfirborðshraði snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknaður með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðanna Stóra- og Litla-Bola.

Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau nema u.þ.b. við B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 9. Hámarksdýpt snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi með varnargörðum fyrir tvívítt rennslisstig 17 úr Jörundarskál og rennslisstig 18 úr Strengsgiljum. Skriðlengd snjóflóðanna er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varna.

Kort 10. Hámarksástreymisþrýsingur snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknaður með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi með varnargörðum fyrir tvívítt rennslisstig 17 úr Jörundarskál og rennslisstig 18 úr Strengsgiljum. Skriðlengd snjóflóðanna er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varna.

Kort 11. Tvívíð rennslisstig á bilinu 13–19 reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu fyrir upptakasvæði í Jörundarskál og Strengsgiljum á landi með varnargörðum. Kortið sýnir einnig fyrra hættumat Veðurstofunnar frá 2002 frá því fyrir tilkomu varnargarða og hið endurskoðaða hættumat til samanburðar (sjá skýringar á korti 13). C- og B-línur fyrra hættumats hafa hér verið framlengdar til suðurs til þess að gefa til kynna lögun hættusvæða neðan Jörundarskálar og Strengsgilja sunnan hins hættumetna svæðis við suðurjaðar byggðarinnar.

Kort 12. Lokadýpt í tungum snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknuð með $\text{Open-}\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi með varnargörðum. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau stöðvast nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 13. Hámarksástreymisþrýstingur sem svarar til yfirborðshraða snjóflóða úr Jörundarskál og Strengsgiljum reiknaður með $\text{Open-}\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi með varnargörðum. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau stöðvast nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðanna.

Kort 14. Endurskoðað hættumat fyrir Siglufjörð eftir byggingu varnarvirkja (A4). Kortið sýnir bæði fyrra hættumat frá 2002 (án varnarvirkja, þ.e. án Stóra- og Litla-Bola) (slitnar línur) og endurskoðaða matið (heildregnar línur).

Myndband 1. $\text{Open-}\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóði úr Jörundarskál á landlíkani án varnargarða. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðanna. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-RA01-bline-v2-anim-landscape.mp4>

Myndband 2. $\text{Open-}\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóðum úr Jörundarskál á landlíkani með varnargörðum og 4–5 m snjó á jörðu í rásum ofan garðanna þegar flóðin falla. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðanna. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-RA01-dam-snow-v2-anim-landscape.mp4>

Myndband 3. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóðum úr Strengsgiljum á landlíkani án varnargarða. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau ná u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðanna. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-RA03a04-bline-v2-anim-landscape.mp4>

Myndband 4. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóðum úr Strengsgiljum á landlíkani með varnargörðum og 4–5 m snjó á jörðu í rásum ofan garðanna þegar flóðin falla. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau ná u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðanna. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-RA03a04-dam-snow-v2-anim-landscape.mp4>

Myndband 5. MPM líkankeyrsla á snjóflóðum úr Strengsgiljum á landlíkani með varnargörðum og 4–5 m snjó á jörðu í rásum ofan garðanna þegar flóðin falla. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að þau ná u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðanna. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-MPM-RA03a04-dam-snow.mp4>

Myndband 6. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóðum úr Strengsgiljum á landlíkani með varnargörðum og 4–5 m snjó á jörðu í rásum ofan garðanna þegar flóðin falla. Skriðlengd snjóflóðanna er stillt af þannig að á landi án varnarvirkja ná þau u.þ.b. jafn langt og lengstu þekktu snjóflóð (niður að ströndinni áður en uppfyllingar komu til). Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-RA03a04-historic-dam-snow-anim-landscape.mp4>

Myndband 7. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóði úr norðanverðum Gróuskarðshjúki á landlíkani án varnargarða. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðsins. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-BKP-bline-anim-landscape.mp4>

Myndband 8. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóði úr norðanverðum Gróuskarðshjúki á landlíkani með varnargarði og 3 m snjó á jörðu í rás ofan garðsins þegar flóðið fellur. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðsins. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/si/siglufjordur-open-mul-BKP-dam-snow-anim-landscape.mp4>

Siglufjörður2026



Kort 1

Yfirlitskort, hættumetið svæði, upptakasvæði, stoðvirki, fyrra hættumat

 Hættumetið svæði

Endurskoðað hættumat 2002

 Jafnáhættulína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$

Hættumat án varnavirkja 2002

 Jafnáhættulína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$

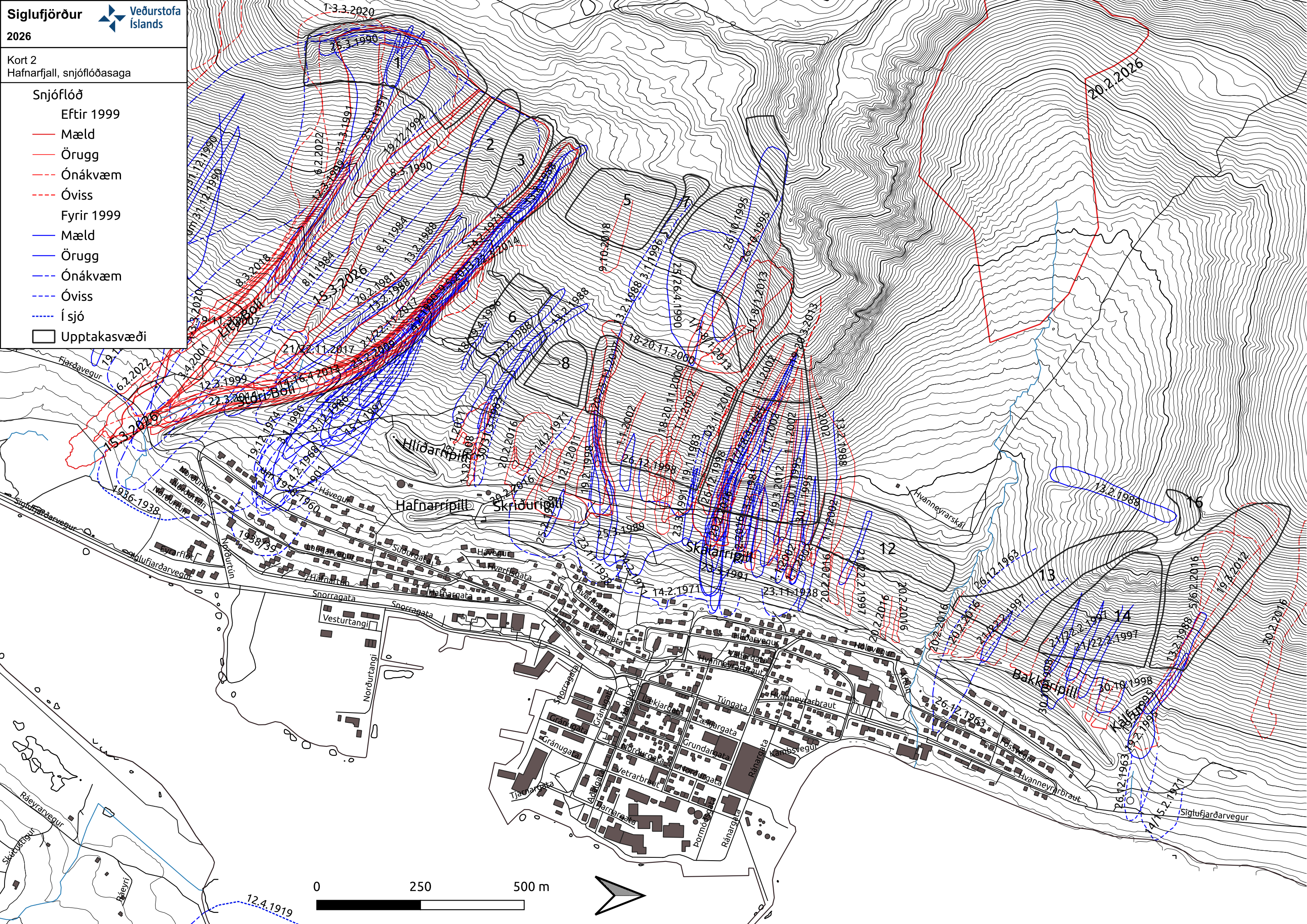
 Jafnáhættulína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$

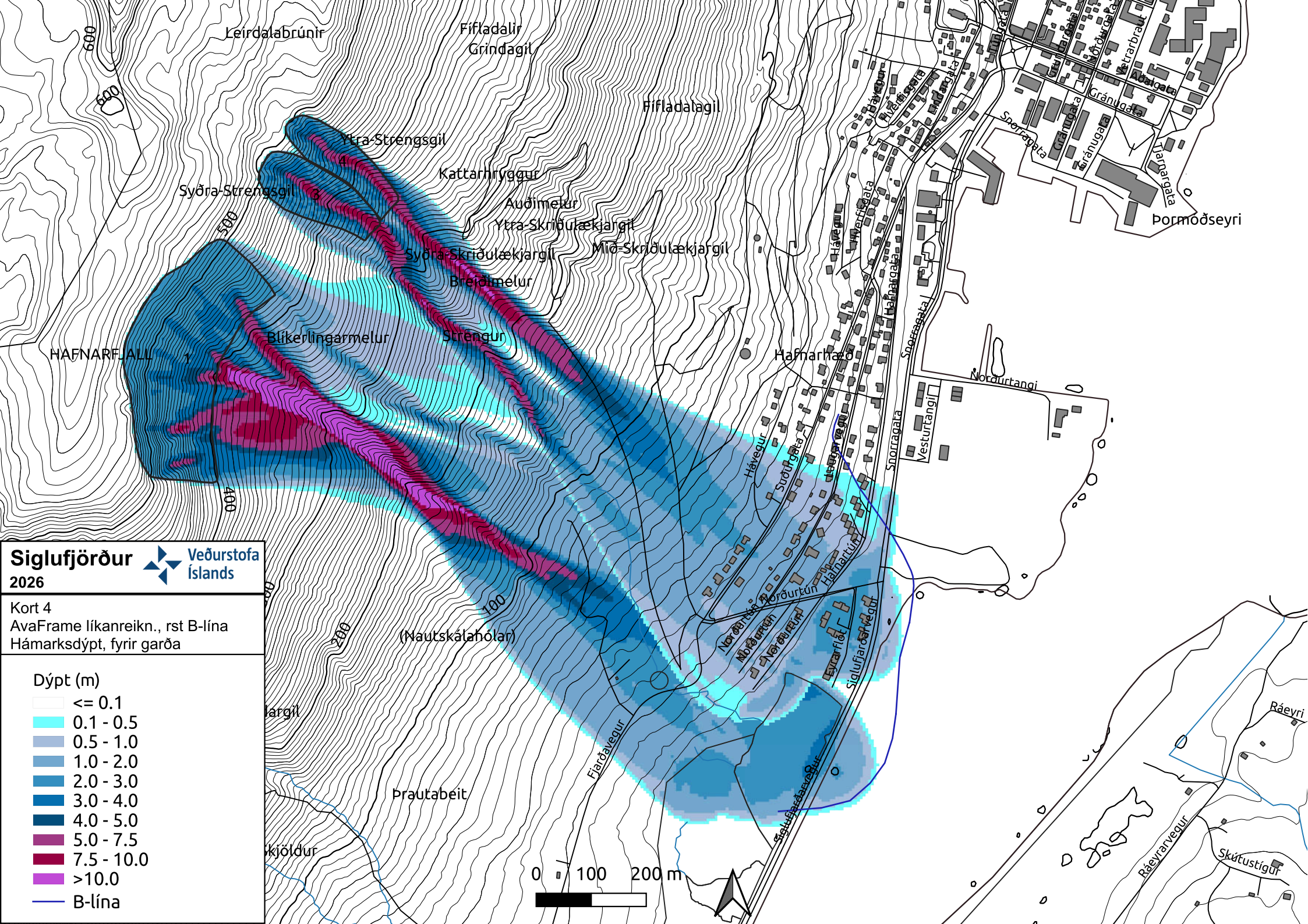
 Upptakasvæði

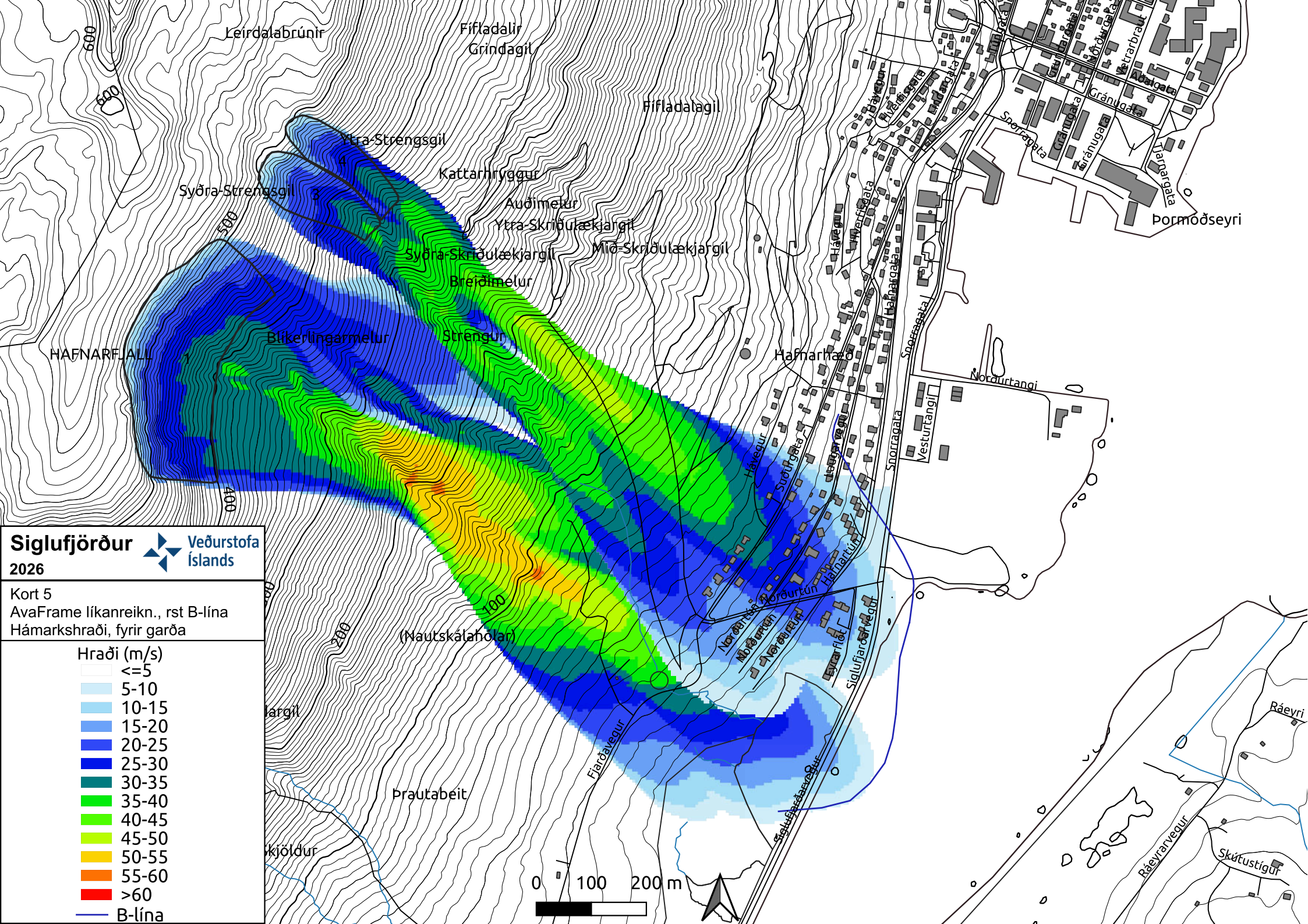
 Stoðvirki

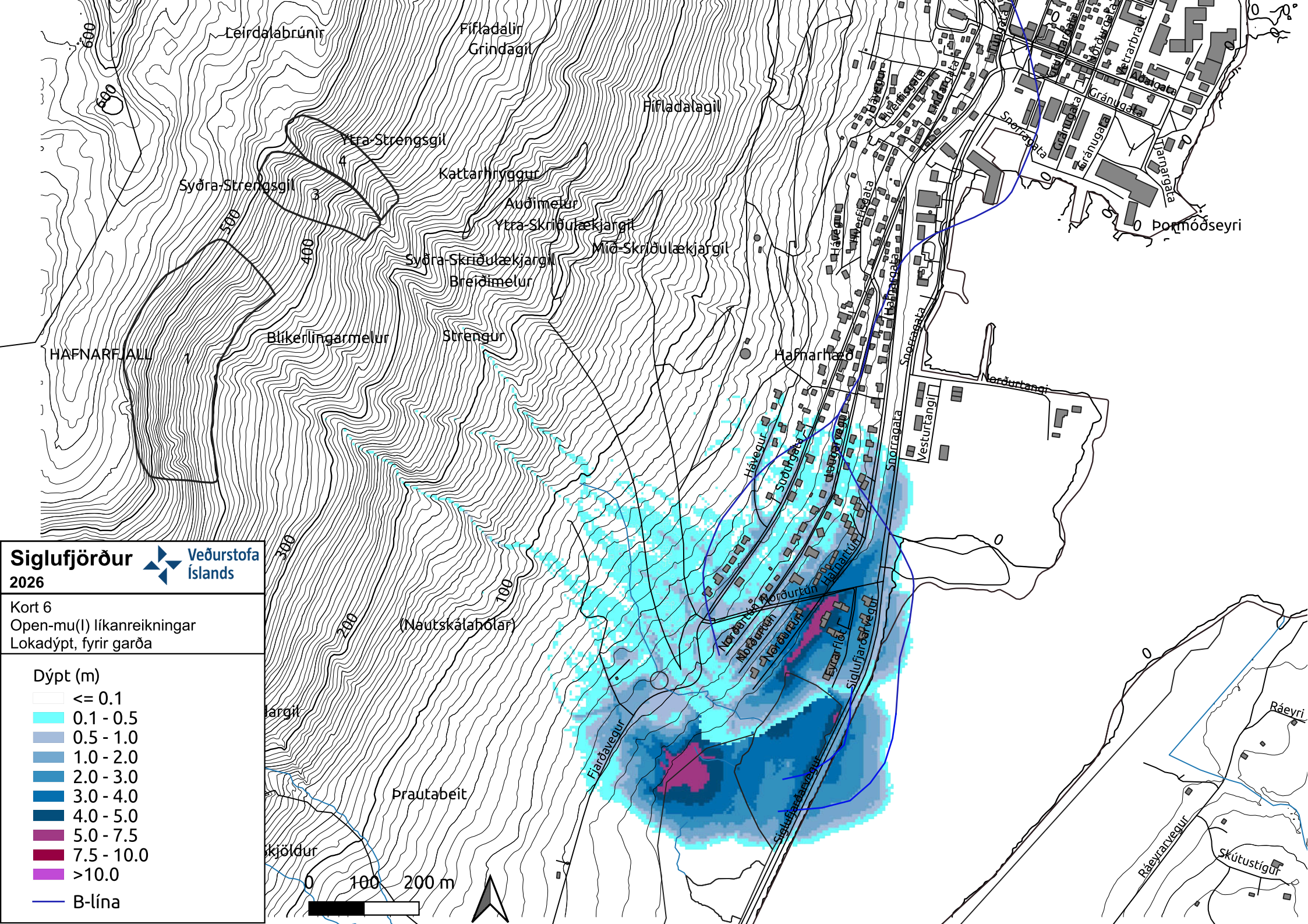
This topographic map of the Siglufjörður area in Iceland displays contour lines and various elevation zones. The map includes the following features:

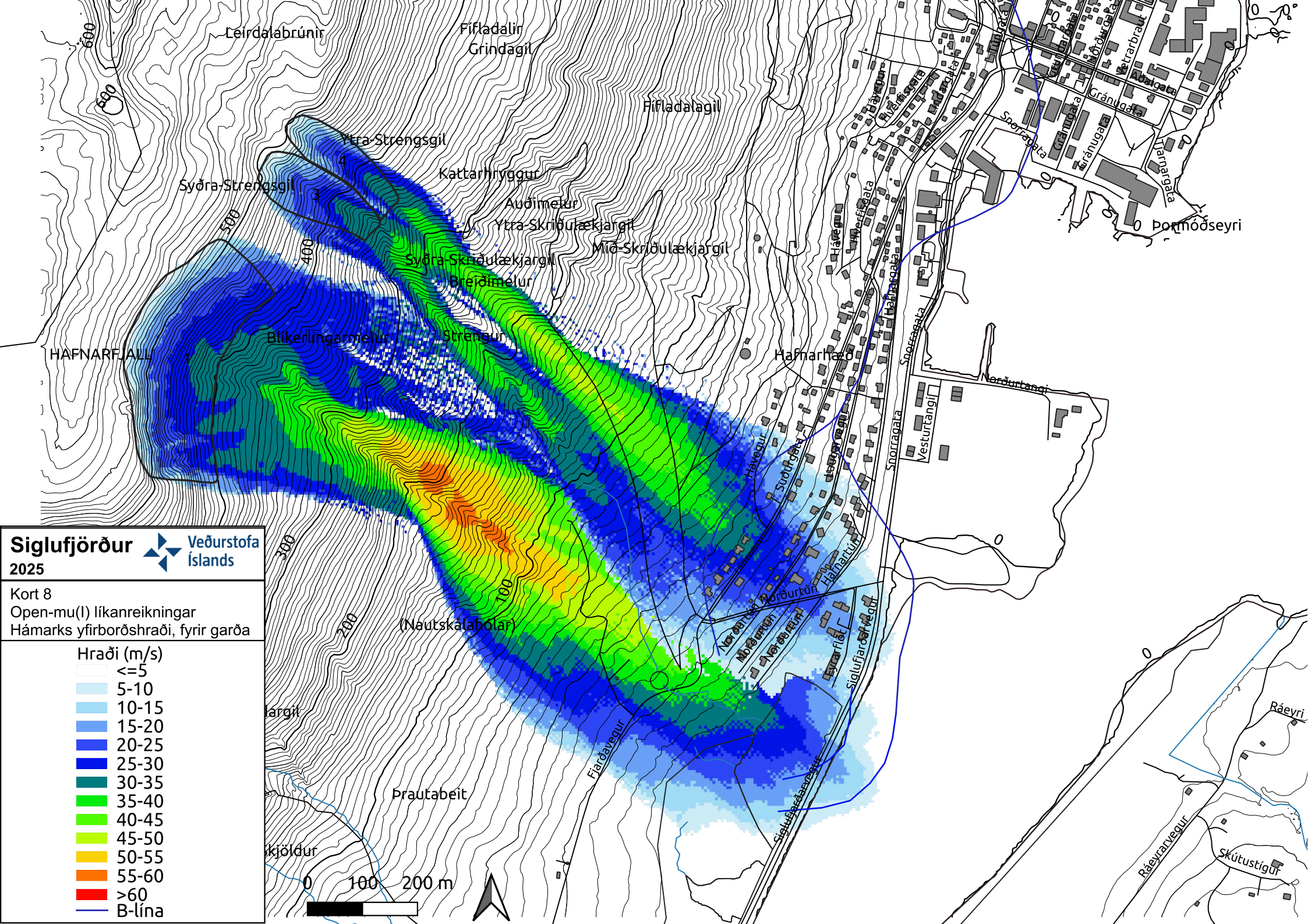
- Elevation Zones:** Numbered regions (1-16) indicating different levels of hazard or elevation.
- Hazard Lines:** Solid and dashed lines in red, blue, and yellow, representing different levels of hazard (e.g., $3,0 \cdot 10^4$, $1,0 \cdot 10^4$, $0,3 \cdot 10^4$).
- Infrastructure:** Roads (e.g., Fjarðavegur, Snorrágata, Ránargata), bridges (e.g., Skátarbrú), and buildings.
- Geographical Features:** Hills (e.g., Jörundarskál, Hvanneyrarskál), valleys (e.g., Fífladalir), and water bodies (e.g., Hvanneyrarströnd).
- Scale and Orientation:** A scale bar (0-500 m) and a north arrow are located at the bottom left.

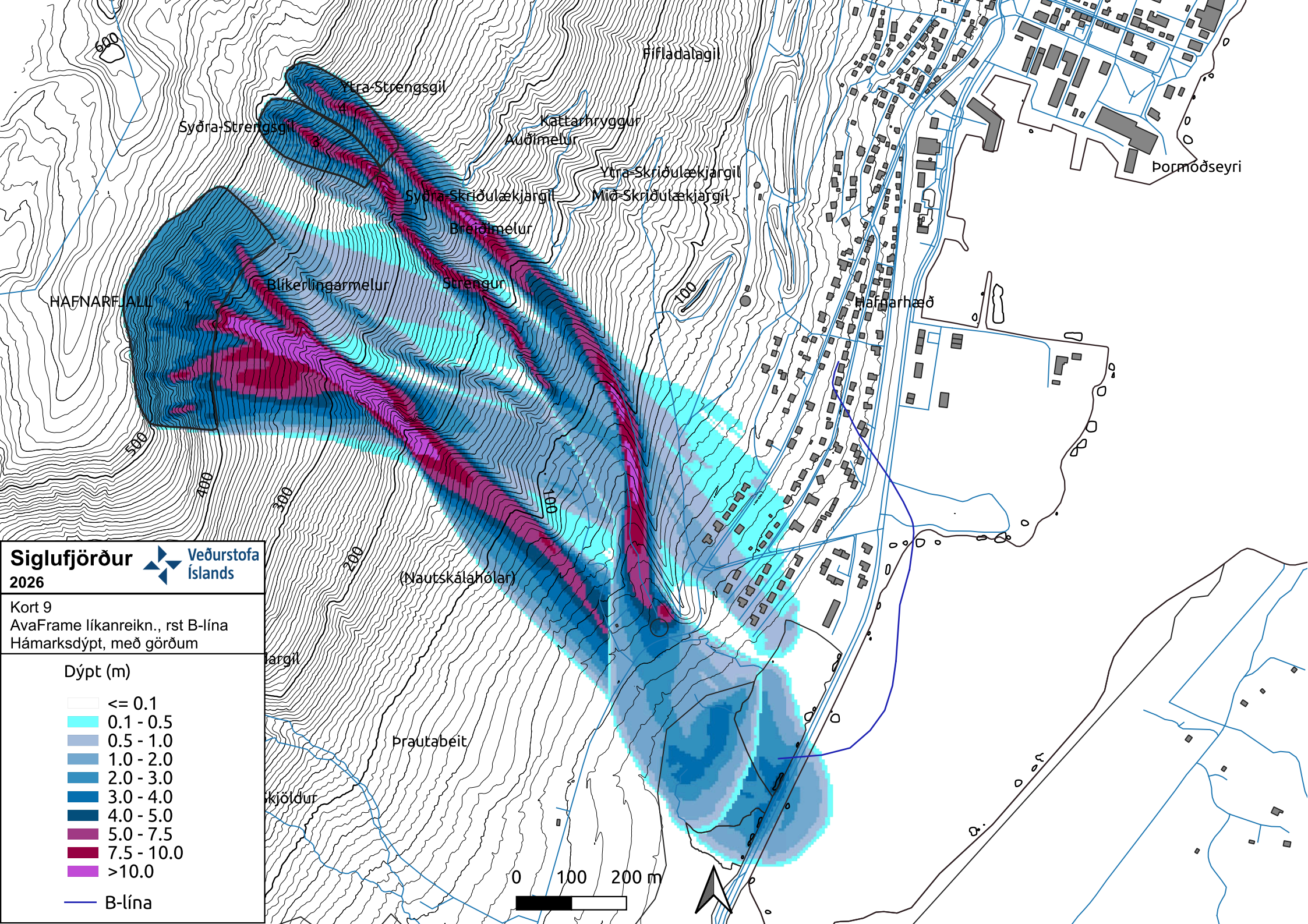


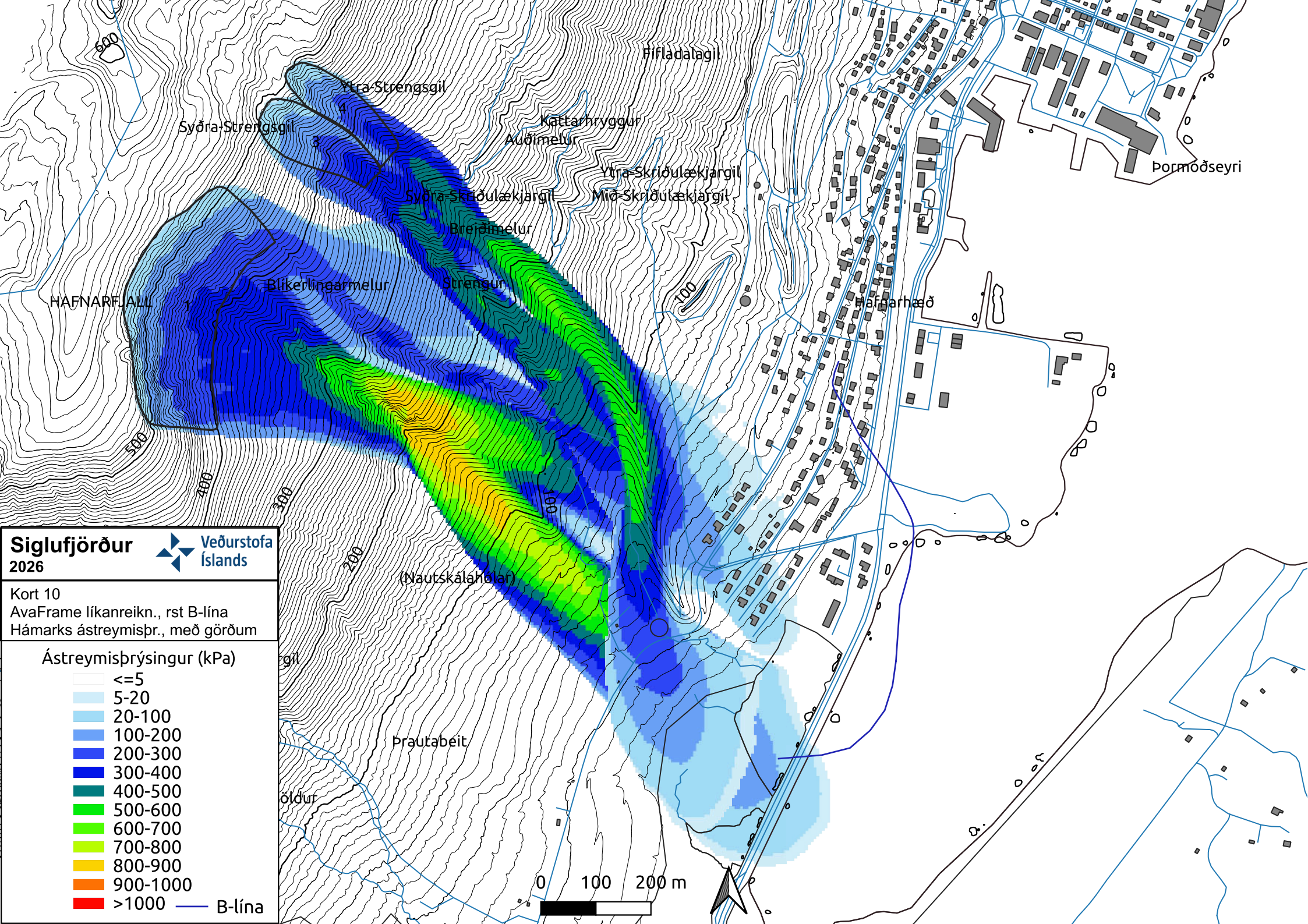


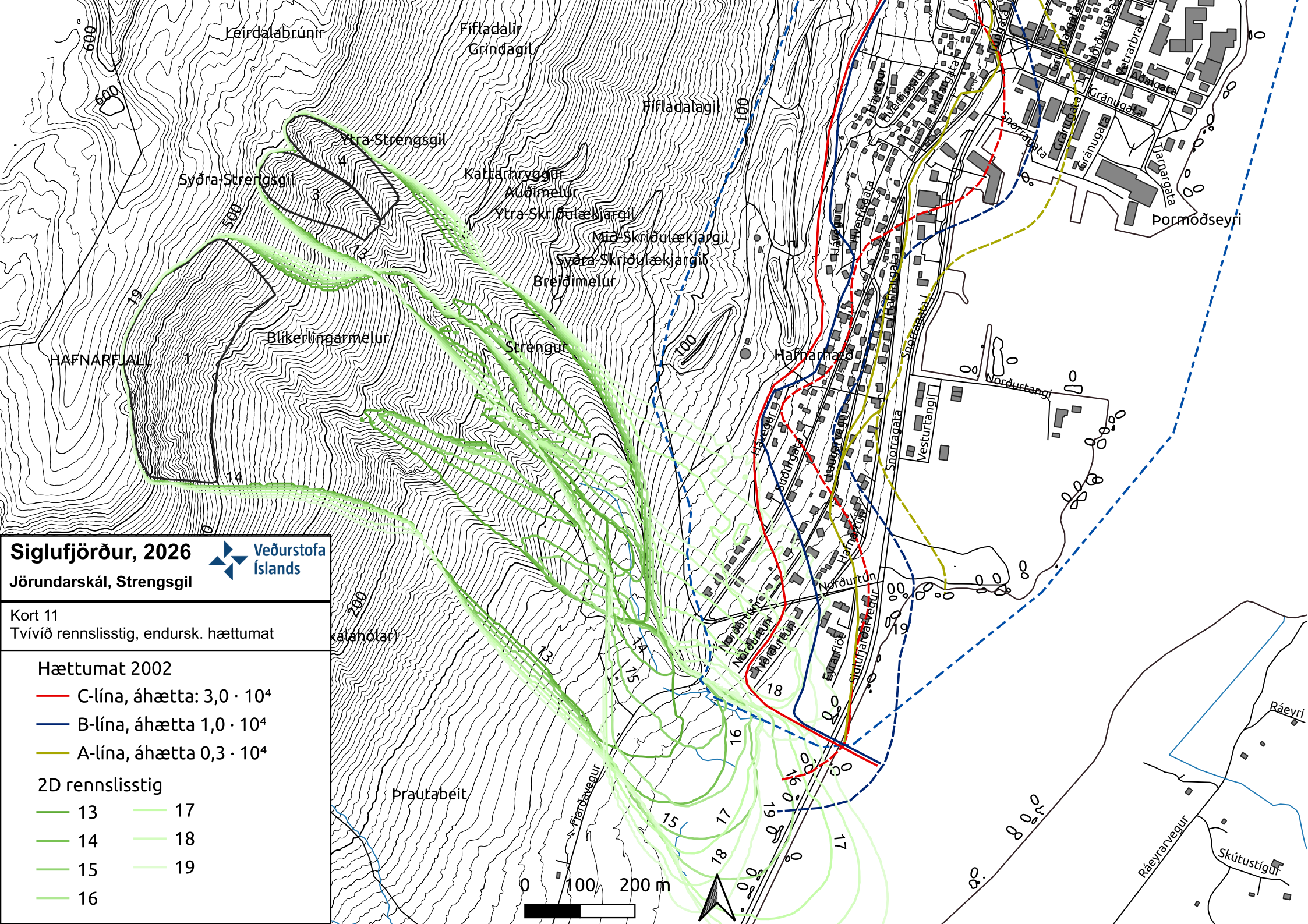


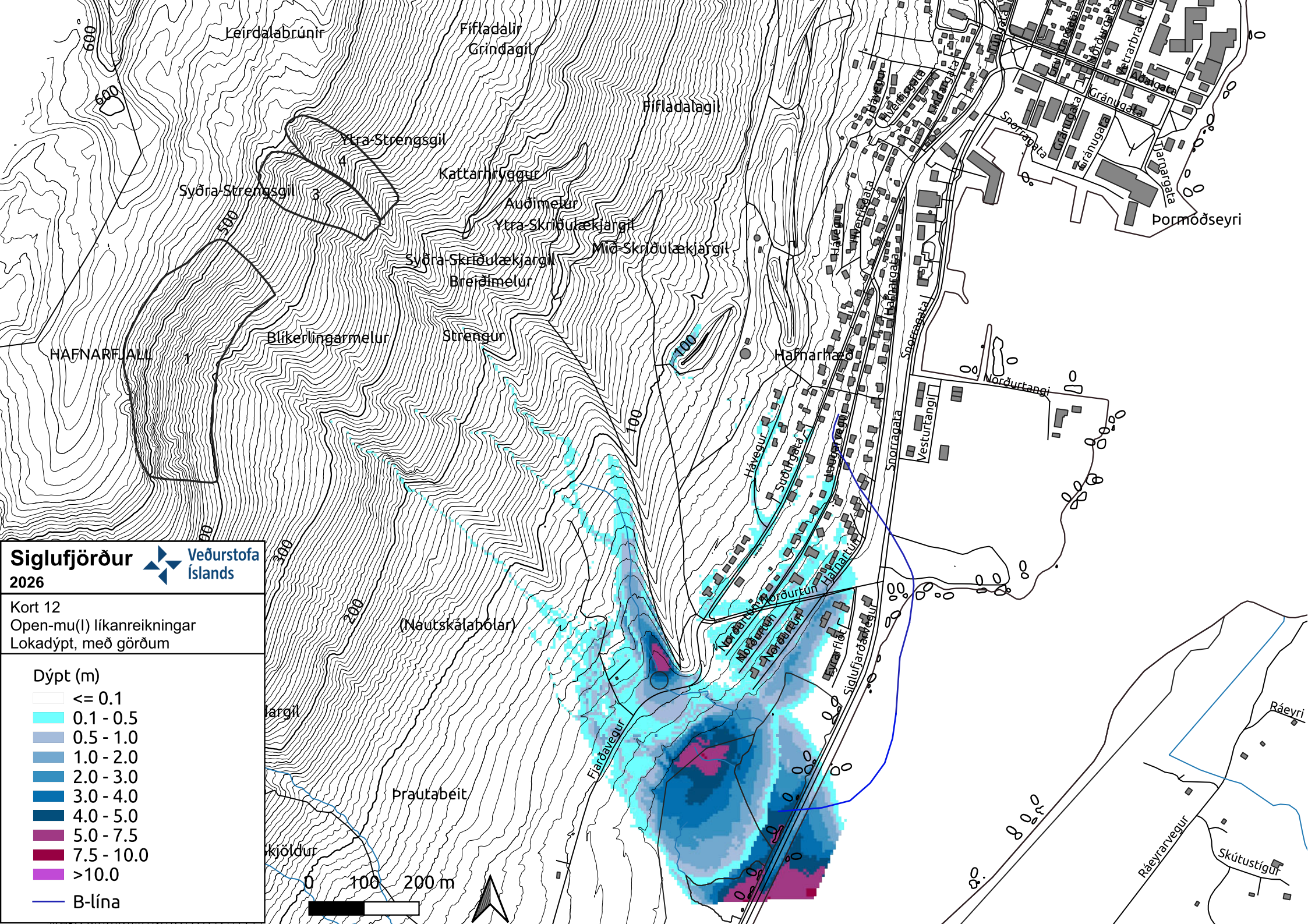


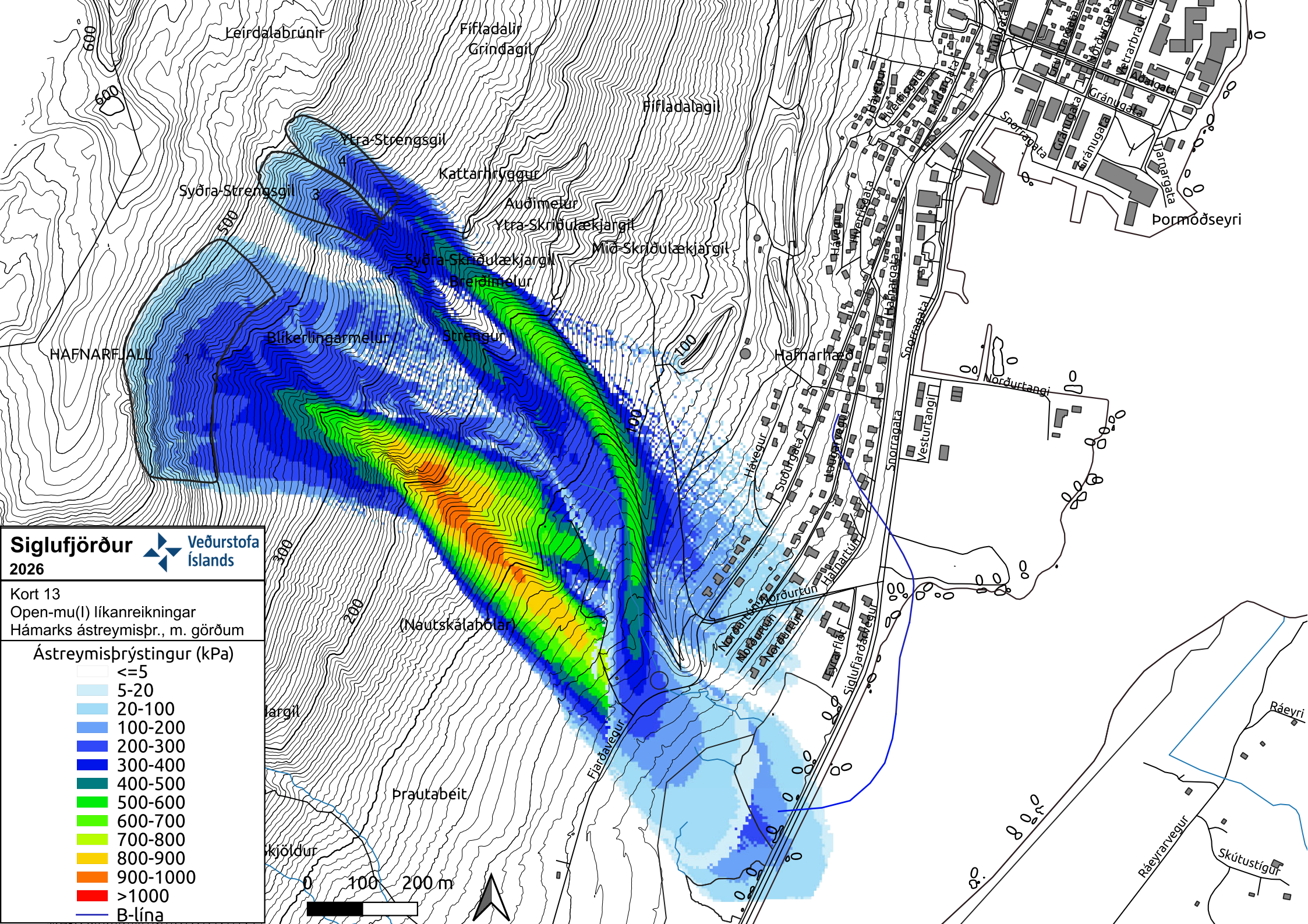












Kort 14
Endurskoðað hættumat eftir byggingu varnavirkja

 Hættumetið svæði

Endurskoðað hættumat

 Jafnáhættulína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$

Hættumat 2002

 Jafnáhættulína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$

 Jafnáhættulína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$

 Þétting íbúðarbyggðar óæskileg

 Stoðvirki

