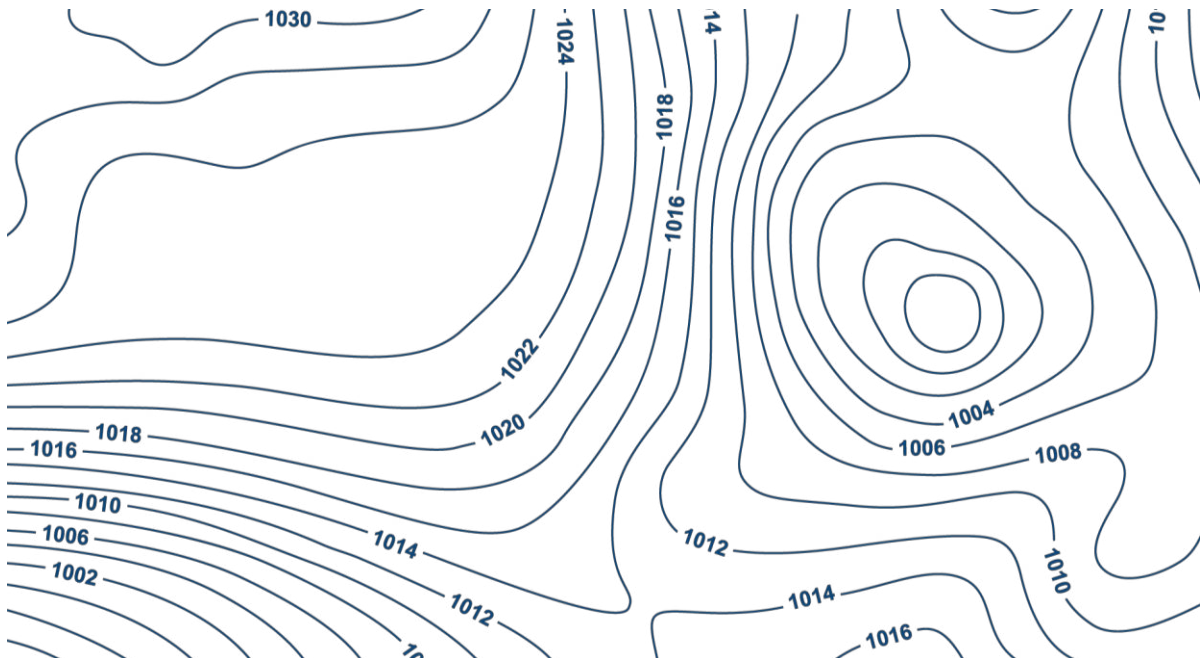


Endurskoðun á ofanflóðahættumati fyrir Ólafsfjörð eftir byggingu leiðigarðs ofan Hornbrekku DRÖG með tillögu að hættumatskorti

Tómas Jóhannesson
Magni Hreinn Jónsson



Skýrsla

VÍ 2026-0xx

Endurskoðun á ofanflóðahættumati fyrir Ólafsfjörð eftir byggingu leiðigarðs ofan Hornbrekku. DRÖG með tillögu að hættumatskorti

Höfundur	Tómas Jóhannesson, Magni Hreinn Jónsson
Unnið fyrir	Fjallabyggð
Verkefnisstjóri	Tómas Jóhannesson
Yfirfarið af	Sigríði Sif Gylfadóttur
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	Júlí 2026
Dreifing	Opin
Fjöldi síðna	43 + 13 kort
Upplag	Rafræn útgáfa
Verknúmer	4754-0-0002
Málsnúmer	2020-0222
DOI númer	10.33112/xxxx

Útdráttur

Ofanflóðahættumat fyrir Ólafsfjörð hefur verið endurskoðað eftir byggingu leiðigarðs ofan hjúkrunar- og dvalarheimilis við Hornbrekku. Leiðigarðurinn beinir snjóflóðum til suðurs, inn fyrir hjúkrunarheimilið og út á Ólafsfjarðarvatn. Með tilkomu garðsins færast B-lína í hættumati fyrir Ólafsfjörð u.þ.b. 130 m nær fjallinu og upp fyrir hjúkrunarheimilið. C-línan er einnig færð upp fyrir bygginguna. Þar er C-línan dregin rétt ofan B-línunnar vegna þess að talið er óráðlegt að reisa nýjar byggingar ofan við hjúkrunarheimilið. A-lína, sem afmarkar hættusvæðið með minnstri áhættu, er færð ofar þannig að A-svæði við Hornbrekku í endurskoðaða hættumatinu nær til C-svæðis og efri helmings B-svæðis skv. fyrra mati. Ekki er talin ástæða til þess að endurskoða forsendur um tíðni snjóflóða við Hornbrekku í fyrra hættumati Veðurstofu Íslands frá 2004 né forsendur um hraða snjóflóða sem lagðar voru til grundvallar við hönnun leiðigarðsins. Líkanreikningar með nýju þrívíðu snjóflóðalíkani benda til þess að varnargarðurinn virki eins og til er ætlast og beini hönnunarflóði, sem staðnæmist nærri B-línu hættumats frá því áður en varnargarðurinn var reistur, til suðurs og inn fyrir hjúkrunarheimilið. Snjóflóðahætta sunnan Hornbrekku er talin aukast með tilkomu leiðigarðsins vegna þess að garðurinn beinir snjóflóðum í kröftugum streng til suðurs og færast hættumatslínur u.þ.b. 100 m neðar á um 200 m breiðu svæði sunnan við hjúkrunarheimilið. Ekki er talin mikil hættu á yfirflæði iðufalds í tengslum við snjóflóð úr Tindaöxl og er því einungis miðað við rýmingu á sk. stigi V-IV undir leiðigarðinum. Í endurskoðaðri rýmingaráætlun er talið fullnægjandi að fólk dveljist ekki í herbergjum á efri hæð hjúkrunarheimilisbyggingarinnar með glugga eða dyraop upp í hlíðina og gæti varúðar í sambandi við umferð að og frá húsinu.

Efnisyfirlit

1 Inngangur	4
1.1 Aðferðafræði og reglugerðarrámmi	4
1.2 Óvissa	6
2 Staðhættir	8
3 Snjóflóðasaga	10
4 Varnarvirki	12
5 Hættumat	14
5.1 Tíðni snjóflóða	14
5.2 Tvívíðir líkanreikningar með SamosAT/AvaFrame	15
5.3 Þrívíðir líkanreikningar með Open- $\mu(I)$	16
5.4 Hönnun leiðigarðs	18
5.5 Endurskoðun hættumats við Hornbrekku	21
6 Niðurstaða	28
7 Heimildir	29
I Tæknileg hugtök og skilgreiningar	32
II Snjóflóð	35
III Kort og myndbönd af líkankeyrslum	42

1 Inngangur

Þessi skýrsla lýsir endurskoðun ofanflóðahættumats fyrir Ólafsfjörð eftir byggingu leiðigarðs ofan hjúkrunar- og dvalarheimilis við Hornbrekku, sjá afmörkun hættumetins svæðis á korti 1. 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 hjúkrunarheimilið við Hornbrekku hófst samhliða vinnu við hættumat vegna ofanflóða (Kristján Ágústsson & Hörður Þór Sigurðsson, 2004; Hættumatsnefnd Ólafsfjarðar, 2005) sem staðfest var með undirritun ráðherra í maí 2005. Frumathugun varnarkosta var unnin af Verkfræðistofu Siglufjarðar (VS, 2005) og var niðurstaða hennar að reisa 12 m háan leiðigarð ofan hjúkrunarheimilisins. Verkleg framkvæmd var boðin út hjá Framkvæmdasýslu ríkisins 2009 og framkvæmdir fóru fram á árunum 2009 og 2010.

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 Open- $\mu(I)$ sem hann þróaði í samstarfi við Veðurstofuna. Hættumatið undir varnargarðinum við Hornbrekku 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 áðurnefndum snjóflóðalíkanreikningum sem unnir voru á árunum 2022–2025.

Í köflum 2 og 3 er stutt samantekt um staðhætti, snjóflóðaaðstæður og snjóflóðasögu í Ólafsfirði. Varnargarðinum við Hornbrekku er lýst í kafla 4 og lagt er fram hættumat fyrir byggðina neðan hans 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 snjóflóðalíkaninu 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 er listi yfir skráð snjóflóð úr Tindaöxl og stutt lýsing á þeim 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

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.

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. skil-

greiningu 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, berg-hlaupa 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 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 línunum 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 Ólafsfjarðar er gerð grein fyrir landfræðilegum aðstæðum og jarðfræði svæðisins, veðurfari, snjósöfnun í upptaksvæði, ofanflóðasögu og veðuraðdraganda ofanflóða (Kristján Ágústsson og Hörður Þór Sigurðsson, 2004; VÍ, 2004). 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 snjóflóðaaðstæðum sem koma við sögu við endurskoðun hættumatsins.

Ólafsfjörður skerst inn í Tröllaskaga við utanverðan Eyjafjörð. Fjörðurinn hefur NA–SV-læga stefnu og upp af honum er mikill dalur samnefndur og með svipaða stefnu og nær inn á Lágheiði. Við fjarðarbotninn er eiði, sem nefnist Flæðar, og innan við það er Ólafsfjarðarvatn sem er um 3 km langt. Fjörðurinn er um eins km breiður við fjarðarbotninn og vatnið litlu mjórra.

Austan Ólafsfjarðarvatns er fjallið Tindaöxl, sjá mynd 1. Það er fjallsöxl eða -hryggur sem skilur að fjörðinn og Brimnesdal. Brimnesdalur er þröngur dalur með N–S-læga stefnu og opnast hann út í fjörðinn rétt fyrir utan þéttbýlið í Ólafsfirði. Byggðin er undir Tindaöxl og nyrst er öxlin um 250 m há yfir byggðinni en hækkar og breikkar er sunnar dregur og er um 550 m há yfir heilsugæslustöðinni að Hornbrekku. Yfir þéttbýlinu eru klettur í fjallinu í 350–400 m h.y.s. Ofan við þá eru urðir en að neðan nokkrir hjallar eða stallar sem sjást vel á mynd 1. Neðan hjallanna hafa undirhlíðar fremur jafnan halla upp að meginfjallinu. Innan við klettabeltin er fjallshlíðin mjög brött ofantil og glittir í stöku kletta en að öðru



Mynd 1. Ólafsfjörður að vetri. Horft er til suðurs yfir bæinn. Tindaöxl er yfir byggðinni og á miðri mynd er Burstarbrekkudalur. (Ljósmynd: © Mats Wibe Lund.) Myndin er tekin áður en varnargarður var reistur við Hornbrekku.

leyti er hún þakin urðarkápu. Nokkru sunnan við byggðina er Burstarbrekkudalur. Hann hefur N–S-læga stefnu og opnast út í dalinn um mitt Ólafsfjarðarvatn. Áin sem fellur úr Burstarbrekkudal hefur myndað nokkuð stóra eyri fram í Ólafsfjarðarvatn.

Kaupstaðurinn Ólafsfjörður stendur við fjarðarbotninn austan óss Ólafsfjarðarvatns og suður að bökkum þess. Einnig hefur verið byggt í hlíðum Tindaaxlar. Á Flæðunum vestan óssins eru hesthús bæjarbúa og flugvöllur. Skeggjabrekkudalur er útivistarsvæði og í Skeggjabrekku, sem var býli í Skeggjabrekkudal, er nú golfvöllur og golfskáli bæjarins. Heitt vatn er fram á Skeggjabrekkudal og í Ósbrekknængi. Mannvirki Hitaveitu Ólafsfjarðar, borholur, lagnir og miðlanir, eru í dalnum og við mynni hans. Þéttbýlið í Ólafsfirði er á landi jarðanna Hornbrekku og Brimness. Hornbrekka var sunnan við núverandi þéttbýli nálægt því sem heilsugæslustöðin stendur núna. Brimnesbærinn er á Brimnesi eða litlu sunnar en Brimnesá sem fellur úr Brimnesdal. Þar sem kaupstaðurinn stendur var fyrrum nefnt Hornið eða Ólafsfjarðarhorn.

Í Horninu var stunduð útgerð frá fornu fari og um miðja 19. öld er talið að þar hafi verið á annan tug búða. Ólafsfjarðarhorn fékk verslunarréttindi 1905 og voru íbúar þá 116. Ólafsfjörður fékk kaupstaðarréttindi 1. janúar 1945 og sameinaðist Siglufirði árið 2006 í sveitarfélaginu Fjallabyggð. Undir sveitarfélagið falla bæði byggð í dreifbýli og þéttbýli. Árið 1950 voru íbúar Ólafsfjarðar 947, árið 1980 voru þeir 1195, árið 2003 988, og nú (árið 2026) er íbúafjöldinn 771. Langflestir íbúar eru búsettir innan þéttbýlisins.

Endurskoðun hættumatsins nú miðast við svæði við Hornbrekku innan við þéttbýlið í Ólafsfirði sem afmarkað er á korti 1. Þar hefur verið reistur leiðigarður til þess að verja hjúkrunar- og dvalarheimili aldraðra og heilsugæslustöð eins og sjá má á mynd 2.



Mynd 2. Leiðigarðurinn ofan hjúkrunar- og dvalarheimilis við Hornbrekku. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 6. apríl 2019.

3 Snjóflóðasaga

Gerð er grein fyrir sögu snjóflóða í Ólafsfirði til ársins 2004 í skýrslunni „Ofanflóð í Ólafsfirði“ (VÍ, 2004). Upplýsingar um snjóflóð úr Tindaöxl úr ofanflóðagagnasafni Veðurstofu Íslands koma fram í viðauka II og útlínur margra þeirra eru sýndar á korti 2. Snjóathugunararmenn Veðurstofunnar á Ólafsfirði, Ari Eðvaldsson og Tómas Atli Einarsson, hafa skráð upplýsingar um flest flóðanna.

Frá því fyrir 2004 eru einungis skráð þrjú snjóflóð úr Tindaöxl og er því lítilli snjóflóðasögu til að dreifa frá fyrri tíð. Eftir 2004 hafa 21 snjóflóð verið skráð úr öxlinni, flest litlar spýjur af stærð 1–2¹ sem stöðvuðust ofarlega í hlíðinni eða á slökkunum í miðri hlíð um og ofan við 200 m y.s.

Á síðari árum sætir mestum tíðindum snjóflóð úr sunnanverðri Tindaöxl milli Hornbrekku og Hlíðar, sem vélsleðamaður kom af stað í mars 2009, sjá myndir 3 og 4. Þetta snjóflóð náði rennslisstigi tæplega 14 og sambærilegt flóð hefði ógnað efstu húsum í þéttbýlinu ef það hefði fallið utar í hlíðinni. Hlíðin í utanverðri Tindaöxl er kúpt og aðstæður á upptakasvæðum með þeim hætti að slík snjóflóð eru ólíklegri þar en innar í öxlinni, þ.e. nærri skíðalyftunni, ofan Hornbrekku og þar sem flóðið 2009 átti upptök. Snjóflóðið féll af völdum vélsleða en það breytir því ekki að líta verður svo á að sambærilegt náttúrulegt flóð hefði getað fallið við lítillega verri aðstæður. Því er þetta flóð til marks um almenna hættu á náttúrulegum snjóflóðum á þessu svæði hlíðarinnar.

Snjóflóð virðast ekki falla úr Tindaöxl við þau veðurskilyrði sem algengust eru samfara alvarlegum snjóflóðahrinum á Norðurlandi, sem eru hríðarveður af norðri og norðaustri þegar lægðir ganga norður fyrir land úr suðri eða austri (Halldór Björnsson, 2001), enda má ætla að þá skafi frekar úr upptakasvæðum í Tindaöxl ofan þéttbýlisins í Ólafsfirði en safnist í þau. Skv. hættumatsskýrslu frá 2004 er talið að mest hætta á snjóflóðum úr Tindaöxl skapist samfara snjókomu í suðaustanátt eða ákafri snjókomu í kyrru veðri. Snjóflóðasagan síðan 2004 gefur ekki tilefni til þess að endurskoða þetta mat, og þau fáu flóð sem skráð hafa verið til viðbótar úr Tindaöxl breyta ekki fyrri forsendum um tíðni flóða eins og nánar er rætt í kafla um hættumat.

¹Sjá skilgreiningu á ofanflóðavefsíðum Veðurstofunnar.



Mynd 3. Snjóflóðið við Hlíð úr sunnanverðri Tindaöxl milli Hornbrekku og Hlíðar þann 15. mars 2009 séð úr bænum og í áttina að hjúkrunarheimilinu við Hornbrekku (til vinstri) og neðanfrá (til hægri). Ljósmyndin til vinstri sýnir vel hvað flóðið náði langt út á úthlaupssvæðið og myndin til hægri sýnir brotlínuna (auðkennd með ör) þar sem breyting verður á halla hlíðarinnar. Ljósrm.: Sveinn Brynjólfsson, 17. mars 2009.



Mynd 4. Tunga snjóflóðsins úr sunnanverðri Tindaöxl milli Hornbrekku og Hlíðar þann 15. mars 2009 séð ofanfrá. Í bakgrunni má sjá ísilagt Ólafsfjarðarvatn og mynni Skeggjabrekkudals. Í forgrunni er bakpoki og skíði ljósmyndarans. Myndin sýnir að flóðið skildi eftir stóra köggla úr flekanum sem fór af stað skammt neðan upptakanna og að megintungan teygðist yfir langa vegalengd í flóðstefnuna. Ljósrm.: Sveinn Brynjólfsson, 17. mars 2009.

4 Varnarvirki

Vinna við undirbúning snjóflóðavarna fyrir heilsugæslu, hjúkrunar- og dvalarheimili við Hornbrekku hófst 2005 með frumathugun Verkfræðistofu Siglufjarðar (VS, 2005a) og könnun á jarðlögum á fyrirhuguðu garðstæði (VS, 2005b). Ekki var þörf á mati á umhverfisáhrifum vegna garðframkvæmdarinnar þar sem hún var ekki talin líkleg til að hafa í för með sér umtalsverð umhverfisáhrif en rituð var umhverfisskýrsla, með deiliskipulagi fyrir svæðið við garðinn, þar sem m.a. er fjallað um umhverfisáhrif framkvæmdarinnar (Teikn, 2013).

Niðurstaða frumathugunar var að reisa 12 m háan og 340 m langan leiðigarð úr lausum jarðefnum ofan Hornbrekku. Í nánari útfærslu og verkhönnun var hæð garðsins valin eilítið meiri eða 13 m (FSR, 2015). Raunhæð garðsins er nærri því skv. stafrænu landlíkani af garðinum sem fengið var frá verkfræðistofunni EFLU. Garðurinn og næsta nágrenni hans var kortlagt með leysimælingu og loftmyndatöku úr flygildi í maí 2022 af mælingafyrirtækinu Svarma og reyndist hæð hans í góðu samræmi við verkhönnunarlíkan EFLU (um 13.3 m neðarlega og 12.7–13 m ofarlega). Flóðmegin er halli garðhliðarinnar um 1:1.5 (lóðrétt:lárétt), sem er eins bratt og unnt er með góðu móti fyrir mannvirki úr lausum jarðefnum, en hlémegin flóðsins er hallinn minni til þess að garðurinn falli sem best inn í umhverfið, sjá myndir 5 og 6. Í frumathugun var einnig kannaður sá varnarkostur að reisa fleyg ofan hjúkrunarheimilisins og gerð lausleg athugun á stoðvirkjum á upptakasvæðinu og keilum til þess að hægja á snjóflóðum ofan leiðigarðs. Fleygur var metinn í aðalatriðum sambærilegur við leiðigarð m.t.t. virkni og kostnaðar. Kostnaður við upptakastoðvirki og keilur var hins vegar metinn mun meiri en við leiðigarð. Fyrir valinu varð að mæla með



Mynd 5. Leiðigarðurinn við Hornbrekku. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 7. apríl 2014.



Mynd 6. Horft niður eftir leiðigarði við Hornbrekku. Sjá má að flóðmegin er garðurinn brattur, eftir því sem unnt er fyrir garð sem hlaðinn er úr lausum jarðefnum, en að norðanverðu er garðurinn meira aflíðandi til þess að falla betur inn í umhverfið. Myndin sýnir vel sveigju á stefnu garðsins sem veldur því að leiðihornið hækkar niður með honum. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 8. október 2014.

Því að reistur yrði tiltölulega beinn leiðigarður. Framkvæmdir við garðinn stóðu á árunum 2009 og 2010 og unnið var við sáningu og uppgræðslu til ársins 2013.

Síðan garðurinn var reistur hefur verið fylgst með snjósöfnun við garðinn ofanverðan þegar snjóathugunarmenn hafa farið um svæðið til þess að fylgjast með snjóflóðahættu og skrá snjóflóð. Ekki hefur komið í ljós óheppileg snjósöfnun ofan garðsins.

5 Hættumat

Við endurskoðun hættumats undir varnargörðum og öðrum varnarvirkjum á úthlaups-svæðum þarf að meta áhrif varnarvirkjanna 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 samsíða garðinum en annars væri, 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. Jafnframt þarf að ákveða hvort ástæða er til þess að endurskoða að einhverju leyti þær forsendur sem lagðar voru til grundvallar í fyrra hættumati og við snjótæknilega hönnun varnarvirkjanna, einkum ef nokkuð er um liðið frá vinnu við hættumat og frumhönnun. Liðin eru rúm 20 ár frá því að hættumat fyrir Ólafsfjörð (Kristján Ágústsson & Hörður Þór Sigurðsson, 2004) var unnið og ofanflóðasaga svæðisins könnuð (VÍ, 2004), og um 20 ár frá frumathugun varnargarðsins við Hornbrekku (VS, 2005a). Því er rétt að yfirfara forsendur um tíðni snjóflóða, hættumat og hönnunarforsendur varnargarðsins nú. Í heimildaskrá er listi yfir nokkrar aðrar skýrslur sem tengjast fyrra ofanflóðahættumati fyrir Ólafsfjörð og hönnun varnargarðsins við Hornbrekku.

5.1 Tíðni snjóflóða

Eins og nefnt var í kafla um ofanflóðasögu breyta flóð, sem fallið hafa síðan fyrra hættumat var gert, ekki mati á tíðni snjóflóða eða skriðufalla eða öðrum forsendum hættumats og hönnunar varnarvirkja. Ekki hafa heldur orðið þær breytingar á aðferðafræði við ofanflóðahættumat hér á landi á þessu tímabili að þær gefi tilefni til breytinga.

Snjóflóð skráð úr Tindaöxl eru of fá til þess að unnt sé að leggja eiginlegt tölfræðilegt mat á tíðni flóða og þarf því að meta tíðni snjóflóða og velja hönnunarflóð með huglægu mati með hliðsjón af fyrirliggjandi snjóflóðasögu og öðrum aðstæðum. Almenn hefur verið miðað við það í snjóflóðahættumati hér á landi að á línu þar sem áhætta er metin $3 \cdot 10^{-4}$ á ári (C-línu) sé tíðni snjóflóða á bilinu 1/1000–1/100 á ári, á jafnáhættulínu $1 \cdot 10^{-4}$ á ári (B-línu) sé tíðnin 1/3000–1/300 á ári og á jafnáhættulínu $0.3 \cdot 10^{-4}$ á ári (A-línu) sé tíðnin 1/10000–1/1000 á ári (sjá t.d. Hættumatsnefnd Siglufjarðar, 2002). Hér verður gengið út frá því að tíðni snjóflóða sem ná lengra en sem nemur B-línu við Hornbrekku áður en leiðigarðurinn var reistur sé um 1/1000 á ári, þ.e. að endurkomutími slíkra flóða sé um 1000 ár, og að endurkomutíminn lengist u.þ.b. þrefalt þegar skriðlengd eykst um eitt rennslisstig en það er í almennu samræmi við aðferðafræði sem beitt hefur verið við snjóflóðahættumat á Veðurstofu Íslands (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Við Hornbrekku er B-línan í einvíðu rennslisstigi u.þ.b. 15 og má því ætla að endurkomutími flóða sem ná rennslisstigi 14 sé nokkur hundruð ár, um 100 ár fyrir flóð sem ná rennslisstigi 13 og nokkrir áratugir fyrir flóð með rennslisstig 12. Endurkomutíma flóða sem ná rennslisstigi 16 eða lengra má með sama hætti meta nokkur þúsund ár.

Fjallshlíðinni frá skíðasvæði Ólafsfirðinga inn að Hlíð má deila upp í u.þ.b. fimm snjóflóðafarvegi (upptaksvæði númer 4–10, sjá kort 2, upptakasvæði nr. 4 og 5 eru í mismunandi hæð í sama farvegi og eins upptakasvæði nr. 9 og 10). Heimildir um snjóflóð á þessu svæði spanna u.þ.b. öld, en gera má ráð fyrir að mikið vanti upp á skráningu flóða á þessu tímabili,

sérstaklega fyrir styttri flóð með rennslisstig 13–14 eða lægra. Samanlagður áhorfstími þessara farvega er nokkur hundruð ár og á þeim tíma er skráð eitt flóð sem kann að hafa verið með rennslisstig ≥ 16 (endurkomutími nokkur þúsund ár), tvö flóð með rennslisstig ≥ 14 (endurkomutími nokkur hundruð ár) og þrjú flóð með rennslisstig ≥ 12 (endurkomutími nokkrir áratugir).

Flóðið um aldamótin 1900 skammt utan við Hlíð er svo langt að fremur ólíklegt er, en þó mögulegt, að slíkt flóð falli úr einhverjum farveganna á nokkur hundruð ára áhorfstíma. Hins vegar er að vænta um eins eða e.t.v. tveggja flóða sem eru sambærileg við snjóflóðið sem vélsleðamaðurinn setti af stað 2009 og tíu eða fleiri snjóflóða sem eru sambærileg við snjóflóðið sem féll á skíðasvæðinu 1952. Telja verður líklegt að nokkur flóð sem eru sambærileg að stærð eða skriðlengd á við skíðasvæðisflóðið 1952 hafi fallið á þessu svæði hlíðarinnar á síðustu 100 árum, þegar horft er til þess hversu lítil umferð og umsvif hafa verið á svæðinu stóran hluta tímabilsins, og þess að heimildir eru um tvö mun lengri flóð. Alls ekki er ólíklegt að eitt eða fleiri flóð til viðbótar sambærileg við snjóflóðið 2009 hafi einnig fallið. Því má líta svo á að ofangreindar forsendur um tíðni snjóflóða á þessu svæði, þ.e. að endurkomutími snjóflóða niður að B-línu sé á stærðarþrepinu 1000 ár, séu í aðalatriðum í samræmi við snjóflóðasöguna, þó flóð langt út á ísilagt Ólafsfjarðarvatn verði að telja með ólíkindum.

5.2 Tvívíðir líkanreikningar með SamosAT/AvaFrame

Tvívíða snjóflóðalíkanið SamosAT², sjá viðauka I, var keyrt fyrir tvívíð rennslisstig á bilinu 13–19 á landlíkani án leiðigarðsins, sjá kort 3, og reyndist snjóflóð með tvívítt rennslisstig 15 stöðvast skammt neðan við B-línu fyrra hættumats. Nokkru ofan leiðigarðsins reiknaðist hraði flóðsins með rennslisstig 15 víðast á bilinu 22–25 m/s og þykktin að jafnaði 2–2.5 m en fór upp í 3.5 m í tiltölulega mjórri lænu við miðjan garð, sjá kort 4 og 5. Hraðinn er nokkuð jafn niður eftir öllum garðinum, og nær um 25 m/s efst og neðst við garðinn. Í frumathugun (VS, 2005) var miðað við hraðann 25 m/s í 50 m h.y.s. (nokkru neðan við miðjan garð) og 35 m/s í 80 m h.y.s. (ofarlega við garðinn) og flóðþykktina 3 m. Niðurstöður SamosAT á landlíkani fyrir byggingu garðsins eru í samræmi við fyrra hraðagildið og þykktina úr frumathuginni, en hraðinn við ofanverðan garðinn reiknast lægri með SamosAT en gert var ráð fyrir í frumathugun. Hér að neðan verður gengið út frá báðum þessum gildum í greiningu á garðhæðinni.

SamosAT líkanið var síðan keyrt með sömu inntaksgildum, þ.e. rennslisstig 15, á landlíkani með garði þar sem land hafði verið hækkað um $h_s = 2$ m ofan garðsins til þess að taka tillit til snjódyptar ofan garðsins þegar flóðið fellur, sjá hámarksdypt og hámarksástreymisþrýsting á kortum 9 og 10. Toppur leiðigarðsins var breikkaður í 5x5 m landlíkani SamosAT keyrslanna til þess að rétt garðhæð kæmi fram en garðtoppurinn er svo mjór að annars skærast af garðinum í landlíkani með 5x5 m upplausn. Þessar niðurstöður eru ræddar nánar í næsta undirkafla í samhengi við niðurstöður Open- $\mu(I)$ líkanreikninga.

²SamosAT 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 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.

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

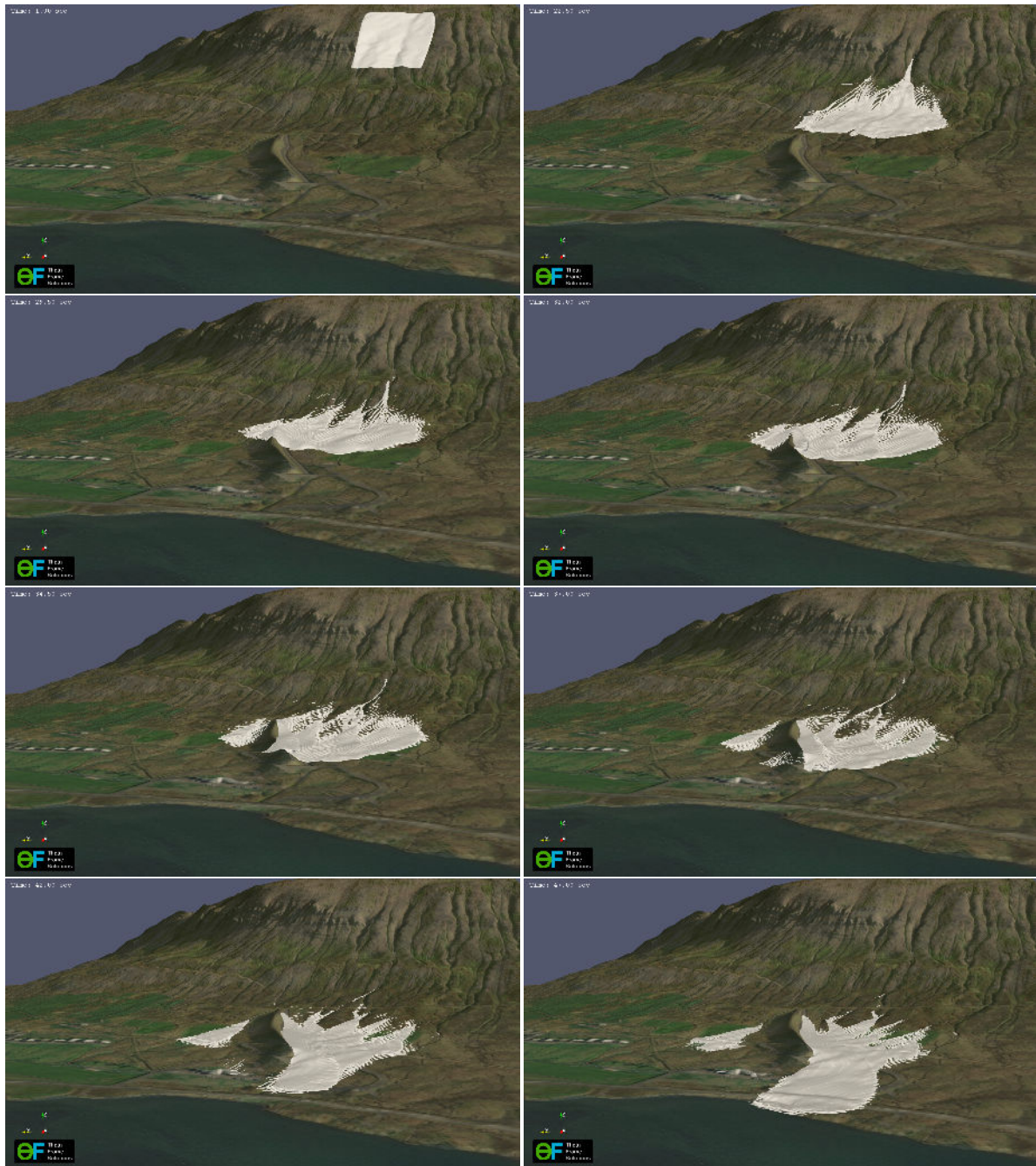
Þrívíða snjóflóðalíkanið Open- $\mu(I)$, sjá nánari lýsingu í viðauka I, var keyrt með snjódýpt á upptakasvæði og viðnámsgildi sem stillt voru af þannig að snjóflóðið stöðvaðist u.þ.b. á B-línu hættumats fyrir tilkomu leiðigarðsins, sjá snjódýpt í lok keyrslunnar á korti 6 og myndband 1. Viðnámsstuðlarnir í keyrslunni voru $\mu_s = 0.11$ og $\mu_d = 0.75$ og snjódýpt hornrétt á hlíð á upptakasvæðinu var 1.3 m. Rúmmál snjóflóðsins sem sett var af stað var 87 þús. m³. Til samanburðar var einnig keyrt snjóflóð með $\mu_s = 0.11$ og $\mu_d = 0.8$ og snjódýpt hornrétt á hlíð á upptakasvæðinu valin 2.0 m sem svarar til rúmmálsins 136 þús. m³ og leiðir til svipaðrar skriðlengdar niður að B-línu hættumats.

Hámarksdýpt og hámarksyfirborðshraði í þessari keyrslu eru sýnd á kortum 7 og 8 og reiknast yfirborðshraðinn nokkru ofan garðs á bilinu 17–23 m/s og þykkt flóðsins 2–4 m víðast hvar, dæmigert gildi fyrir þykktina ofan garðsins er 2.5 m. Fyrir þrívíða snjóflóðalíkanreikninga er eðlilegast að miða hér við yfirborðshraða fremur en dýpsheildaðan 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, nema hraðinn við ofanverðan garðinn reiknast lægri en miðað var við í frumathugun eins og í SamosAT. Þó er nokkur munur á því hvernig SamosAT og Open- $\mu(I)$ líkönunum reiknast að landslag hlíðarinnar hafi áhrif á rennsli snjóflóðanna, sbr. kort 4 og 7.

Open- $\mu(I)$ líkanið var keyrt með sömu inntaksgildum á landlíkani með garði þar sem land hafði verið hækkað um $h_s = 2$ m ofan garðsins til þess að líkja eftir snjóhulu ofan garðsins þegar flóð fellur eins og lýst er fyrir SamosAT líkanið hér að framan, sjá mynd 7 og myndband 2. Kort 11 og 12 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 flóðið klofnar á garðinum og staðnæmist í tveimur tungum, annars vegar tiltölulega þunnri tungu skammt utan við hjúkrunarheimilið, sem stöðvast í brekkufætinum, og hins vegar megintungu, sem garðurinn beinir inn fyrir hjúkrunarheimilið og nær um 100 m út á Ólafsfjarðarvatn. Þessi niðurstaða er mjög áþekk því sem SamosAT líkanreikningar, sem sýndir eru á korti 10, gefa til kynna, nema hvað flæðið yfir ofanverðan garðinn er heldur umfangsmeira í Open- $\mu(I)$ líkanreikningunum. Megintungan nær u.þ.b. 100 m lengra en tunga flóðsins reiknast á landlíkani án garðs og hefur streymið meðfram garðinum því þau áhrif að flóðið verður mun kraftmeira og þar með hættulegra á svæðinu innan við Hornbrekku en ella væri. Sjá má lítilsháttar yfirflæði um miðbik leiðigarðsins, heldur meira í Open- $\mu(I)$ en SamosAT líkanreikningunum, þar sem sveigja er á stefnu garðsins (sjá tímaskref $t = 34.5$ s á mynd 7). Talsvert yfirflæði reiknast ofarlega á garðinum meðan straumstökk er að myndast ofan garðsins en það tekur ca. 3 sekúndur. Það flæði sam-einast svo þeim hluta snjóflóðsins sem fellur norðan við garðinn og staðnæmist utan við hjúkrunarheimilið.

Almennt ber 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



Mynd 7. Nokkur tímaskref í líkanreikningum á snjóflóði sem lendir á leiðigarði við Hornbrekku á Ólafsfirði með þvíða snjóflóðalíkaninu $\text{Open-}\mu(I)$. Sjá má að snjóflóðið myndar stríðan streng með dýpra streymi sem breiðkar niður með garðinum og að svokallað straumstökk myndast þar sem aðstreymið flæðir inn í strenginn. Tími frá upphafi keyrslunnar er ritaður í efra vinstra horn hvers ramma.

myndast í upphafsárekstri við ofanverðan garðinn. Einnig ber líkönunum sæmilega saman um flæði snjóflóða á landlíkani án garðs, sbr, kort 4, 5, 7 og 8. Þetta samræmi kemur væntanlega til af því að varnargarðurinn er ekki brattur á þeirri hlið sem snýr upp í fjallið og því víkur flæðið í þvíða reikningunum ekki mikið frá dýpsheilduðu flæði í tvívíðu reikningunum. Heldur meira yfirflæði í $\text{Open-}\mu(I)$ reikningunum kann að stafa af skerhreyfingu

þegar meginstraumur snjóflóðsin beinist niður með garðinum samtímis því að efsti hluti flóðsins breytir ekki eins mikið um stefnu og nær að flæða yfir garðinn. SamosAT dýpisheildaða líkanið getur ekki reiknað áhrif slíkrar mismunandi stefnu á mismunandi dýpi í flóðinu.

5.4 Hönnun leiðigarðs

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 2005 sem liggur til grundvallar hönnun leiðigarðsins við Hornbrekku. Hér er miðað við hönnunarsnjóflóð sem stöðvast við B-línu hættumatsins frá 2004 (Kristján Ágústsson & Hörður Þór Sigurðsson, 2004) en það er talið hafa um 1000 ára endurkomutíma eins og áður var nefnt. Leiðihorn garðsins er um 20° ofarlega og hækkar í um 30° neðan við miðjan garð og snjóðýpt á jörðu fyrir flóð er valin 2 m eins og gert er ráð fyrir í frumathugun. Reiknað var með hraðanum 25 m/s og 2.5 m þykku flóði ofan garðsins á grundvelli líkanreikninga með bæði SamosAT og Open- $\mu(I)$, og einnig með hraðanum 35 m/s við garðinn ofanverðan eins og miðað var við í frumathuguninni frá 2005. Í töflu 2 er gerð grein fyrir niðurstöðum útreikninga á nauðsynlegri hæð leiðigarðs 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.

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 hlíðarinnar þvert á hæðarlínur, þarf að taka tillit til tveggja viðbótarþátta. 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 eftir garðinum. Liðurinn $\Delta H_\perp$ tekur tillit til þess að garðurinn þarf að vera hærri ef landi hallar í áttina til hans og liðurinn ΔH_k 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. Eins og fram kemur í töflu 2 er halli lands þvert á garðásinn $\psi_\perp$ u.þ.b. $4-6^\circ$, minni efst og meiri neðar. Krapparadíus þar sem stefna garðsins breytist er u.þ.b. $R_k = 800$ m á um 140 m kafla á miðjum garðinum. Mesta breytingin á stefnunni á sér stað á um 70 m kafla í 60–70 m h.y.s. og þar kann krapparadíusinn að vera um 5–600 m. Fyrir efri hluta garðsins gætir ekki áhrifa krappaliðarins en hallaliðurinn þar er $\Delta H_\perp \lesssim 1$ m. Garðhæðin er ekki mjög viðkvæm fyrir hraða snjóflóðsins og því reynist garðurinn ofanverður uppfylla hönnunarforsendur viðmiðunarreglnanna bæði fyrir hraðann 25 m/s og einnig fyrir 35 m/s, þegar miðað er við mælda hæð garðsins. Hún er gefin upp í aftasta dálki í töflu 2, mæld hæð er um 13 m, um 1 m umfram hönnunarhæð skv. frumathugun sem er 12 m eins og áður hefur verið nefnt.

Tafla 2. Hönnun leiðigarðs við Hornbrekku, 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, snjóðýpt 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_k , garðhæð þvert á hlíð 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 ($h_2 + \Delta H_\perp + \Delta H_k + h_s$), og að lokum lóðréttu garðhæð H_D , sem samsvarar hámarki $H_{cr} + h_{cr}$ og h_2 með viðbótarliðum, að viðbættri snjóðýpt á jörðu h_s . Síðasti dálkurinn H_m sýnir hæð garðsins skv. mælingu Svarma í maí 2022. 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)	...
Ofanv. garður	20°	25	2.5	5.1	2	11°	4°	3.8	22	7.8	...
Ofanv. garður ¹	20°	35	2.5	7.1	2	11°	4°	5.9	32	10.1	...
Neðanv. garður	30°	25	2.5	5.1	2	11°	6°	6.3	19	10.5	...

	$\Delta H_\perp$ (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)
Ofanv. garður	1.0	≈0	5.8	10.8	9.9	12.7–13
Ofanv. garður ¹	0.7	≈0	7.9	12.8	11.7	12.7–13
Neðanv. garður	2.3	0.7–1.4	8.3	15.5–16.2	13.4–14.0	13.3

¹ Hraði við efri hluta leiðigarðs skv. frumathugun (VS, 2005). Sjá nánari skýringar í texta.

Um miðbik garðsins þar sem sveigjunnar gætir er hvor þessara liða um sig um 1.5–2 m fyrir stefnubreytingu yfir um 140 m vegalengd. Flóðið reiknast hækka sig um tæpa 13 m, þ.e. upp undir topp garðsins, fyrir hraðann 25 m/s og leiðihornið $\varphi_h = 25^\circ$. Fyrir miðju garðsins þar sem mesta brotið er í stefnu hans reiknast svolítið yfirflæði fyrir krapparadíus 500 m, reiknuð rishæð er um 13.3 m. Áhrifa krappans gætir minna á neðanverðum garðinum, sem er tiltölulega beinn, en þar hefur landhalli meiri áhrif en ofar, viðbótarhæðin $\Delta H_\perp$ er um 2.3 m. Áhrifa sveigju um miðbik garðsins gætir þó að einhverju marki á garðinum neðanverðum og flóðið reiknast flæða lítillega yfir garðtoppinn eins og fyrir miðjan garðinn. Þá er meiri halla í átt til garðsins og stefnubreytingunni jafnað yfir 140 m vegalengd, sjá töflu 2, þar sem neðra gildið í bili fyrir ΔH_k og H_D miðast við hálf áhrif sveigju garðsins ofar. Samkvæmt þessu reynist garðhæðin að mestu fullnægjandi, e.t.v. lítilsháttar yfirflæði á stuttum kafla um miðbik garðsins og einnig neðarlega. Erfitt er að taka fullt tillit til breytileika í halla hlíðarinnar og stefnu garðsins með einföldum formúlum evrópsku viðmiðunarreglnanna en á því er unnt að taka með SamosAT og Open- $\mu(I)$ líkanreikningum sem lýst er hér að neðan.

Ekki var tekið tillit til viðbótarliðanna $\Delta H_\perp$ og R_k í upprunalegri hönnun Verkfræðistofu Siglufjarðar á leiðigarðinum frá 2005. Þessir liðir reynast samtals leiða til 3–4 m hækkunar á neðanverðum garðinum, sbr. töflu 2. Á móti kemur að reiknuð rishæð án þessara liða er að neðanverðu nokkru minni en 12 m og garðurinn er byggður með nokkurri yfirhæð til þess að vega á móti hugsanlegu sigi, sem hefur ekki orðið, þannig að garðhæðin mælist um 13 m samkvæmt kortlagningu Svarma árið 2022. Því reynist garðurinn mjög nærri því að fullnægja viðmiðunarreglunum um hönnun snjóflóðagarða fyrir þær forsendur um flóðþykkt og hraða sem fram koma í töflu 2. Það er athyglisvert að ekki meiri stefnubreyting á garðinum 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 varnarvirkja 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 þróaðar 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 snjóflóðalíkon. Það getur tekið tillit til flókinnar 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.

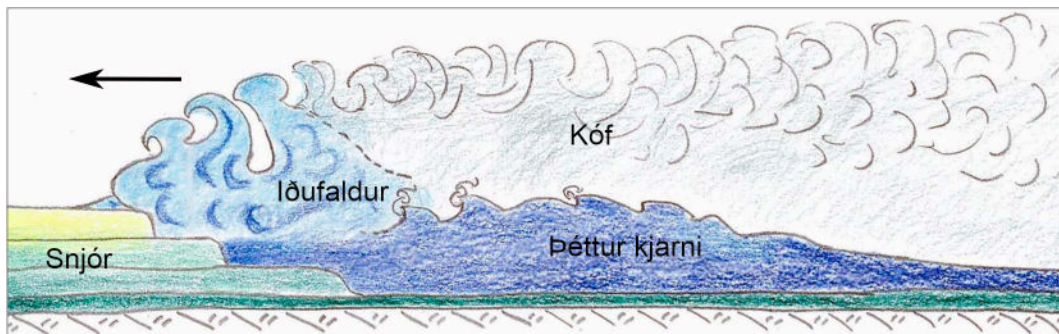
SamosAT og Open- $\mu(I)$ líkanreikningarnir sem lýst er í undirkaflanum hér að framan leiða ekki í ljós umtalsverða veikleika á hönnun leiðigarðsins við Hornbrekku, sbr. kort 9 og 10 og 11 og 12. Lítilsháttar yfirflæði reiknast um miðbik garðsins þar sem hann breytir um stefnu og einnig neðst, einmitt þar sem greiningin á garðhæðinni hér að framan gaf til kynna hættu á því að gæfi yfir garðinn. Þetta yfirflæði er lítið og stöðvast fljótt. Snjóflóðið í keyrslunni með $\mu_s = 0.11$ og $\mu_d = 0.75$ nær ekki að hjúkrunarheimilinu en keyrslan með $\mu_s = 0.11$ og $\mu_d = 0.75$ og minna snjómagi er með lág reiknuð gildi fyrir flóðþykkt, hraða og ástreymisþrýstingi ofan við byggingu hjúkrunarheimilisins (≈ 0.5 m, ≈ 5 m/s, ≈ 5 kPa). Rétt er að nefna að álag um og undir 5 kPa getur brotið glugga og dyr og því fylgir þess vegna hættu á slysum og tjóni. Hins vegar eru dánarlíkur af völdum slíks álags svo lágar ($\approx 2\%$) (sjá Kristján Jónasson o.fl., 1999) að þetta yfirflæði hefur ekki áhrif á forsendur hættumats skv. hættumatsreglugerð. Hættu vegna yfirflæðis af þessum toga rúmast því innan A-svæðis sem skilgreint er neðan garðsins, sjá umfjöllun í næsta undirkafla. Einnig reiknast talsvert yfirflæði ofarlega á garðinum meðan straumstökk er að myndast þar en það tekur stefnu norður fyrir hjúkrunarheimilið og skapar því ekki hættu þar. Þetta sýnir hættu á yfirflæði sem getur skapast vegna tímans sem það tekur straumstökk að myndast, eins og nefnt var að ofan, en í þessu tilviki reynist yfirflæðið ekki skapa hættu vegna þess að það beinist út fyrir svæðið sem ætlunin er að verja.

5.5 Endurskoðun hættumats við Hornbrekku

Leiðigarðurinn við Hornbrekku reynist að mestu leyti uppfylla hönnunarforsendur evrópsku viðmiðunarreglnanna eins og áskilið er og Open- $\mu(I)$ líkanreikningarnir staðfesta að garðurinn beinir hönnunarflóði frá svæðinu sem honum er ætlað að verja. Áhætta af völdum yfirflæðis um miðbik garðsins reiknast ekki hafa umtalsverð áhrif á hættumatslínur við hjúkrunarheimilið skv. forsendum sem gengið er út frá í snjóflóðahættumati hér á landi (sbr. Kristján Jónasson o.fl., 1999). Hættumatið neðan garðsins var endurskoðað í ljósi niðurstaðna greiningar og líkanreikninga sem lýst er hér að framan, sjá kort 13. B- og C-línur voru færðar upp á svæðinu við hjúkrunarheimilið og tengdar fyrra hættumati með hliðsjón af niðurstöðum Open- $\mu(I)$ líkanreikninganna. Þessi staðsetning B-línunnar byggir á þeirri forsendu að skriðlengd stærri flóða en hönnunarflóðs styttest á móta mikið eða meira en B-línan færir eins og oft er miðað við í hættumati neðan varnargarða (sjá Tómas Jóhannesson o.fl., 2009). Ofan hjúkrunarheimilisins er C-línan dregin rétt ofan B-línunnar, eins og víða er gert í hættumati neðan varnargarða hér á landi. Aðferðafræði við hættumat neðan varnargarða gefur ekki tilefni til þess að reikna legu C-línu ofan B-línunnar á þessu svæði með neinu öryggi. Þar sem talið er óráðlegt að reisa nýjar byggingar ofan B-línunnar vegna almennrar óvissu um forsendur hættumatsins felst ákveðin varkárni í þessari legu C-línunnar. A-lína á þessu svæði er færð ofar þannig að A-svæði við Hornbrekku í endurskoðaða hættumatinu nær til C-svæðis og efri helmings B-svæðis skv. fyrra mati. Almenn hefur A-svæði neðan varnavirkja hér á landi í varúðarskyni verið skilgreint þannig að það nái til C-svæðis í fyrra hættumati. Í þessu tilviki hefði slík skilgreining leitt til þess að löng og mjó tunga í jaðri A-svæðis hefði teygst í átt til varnargarðsins sem þótti óeðlilegt. Niðurstaðan var að hafa A-svæðið neðan garðsins heldur stærra og draga með því úr þessari tungu.

Snjóflóðahætta sunnan Hornbrekku eykst með tilkomu leiðigarðsins vegna þess að garðurinn beinir snjóflóðum í kröftugum streng til suðurs. Hættumatslínur voru færðar u.þ.b. 100 m neðar á um 200 m breiðu svæði sunnan við hjúkrunarheimilið á grundvelli SamosAT og Open- $\mu(I)$ líkanreikninganna sem benda til þess að skriðlengd flóða í þessa stefnu aukist sem þessu nemur með tilkomu garðsins, sbr. kort 4, 6, 9 og 11. Norðan Hornbrekku reiknast snjóflóðið falla í tungu utan við leiðigarðinn en hún er ekki öflugri en var áður en garðurinn kom til þannig að þar voru hættumatslínur tengdar fyrra hættumati með hliðsjón af því hvernig snjóflóðalíkanreikningarnir sýndu hönnunarsnjóflóðið flæða utan við garðinn og yfir hann ofarlega.

Hætta af völdum iðufalds og kófs



Mynd 8. 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 þetta 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 þetta kjarnans. Kófið er blanda af lofti og snjókorum og litlum snjóköggjum sem berast með loftinu og rekast miklu sjaldnar hvert á annað en í þetta kjarnanum og iðufaldinum.

Snjóflóðin á Flateyri í janúar 2020 eru áminning um að ákveðin hætta er í byggð neðan snjóflóðavarnarvirkja, þó varnarvirkin 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. 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 8. Eðlisþyngd iðufalds hefur verið metin 35–100 kg/m³ (Issler o.fl., 2020), en dæmigerð eðlisþyngd þetta 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 þetta kjarnans í einhverjum tilvikum (Sovilla o.fl., 2015), og allt að 60% meiri en þetta kjarnans í öðrum tilvikum (Sovilla o.fl.,

2018). Í endurskoðaðri frumathugun snjóflóða á Flateyri (Verkís, 2023) er hraði iðufaldsins metinn 30% meiri en þetta kjarnans og eðlisþyngdin um 50 kg/m³. Ýmissa 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 Hilmarsson 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 nágrennalöndum 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 skapast 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 hrinnunnar í Neskaupstað í mars 2023. Undir lágum hlíðum 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 Reykhóla-sveit 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 snýr³. 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.

Tindaöxl snýr mót norðvestri og snjóflóðahætta við Hornbrekku er talin skapast helst í suðaustanátt eða ákafri snjókomu í kyrru veðri en síður samfara hríðarveðri af norðri og norðaustri sem algengast er í alvarlegum snjóflóðahrinum á Norðurlandi en þá skelfur frekar úr Tindaöxl en að safnist í hana. Upptakasvæði hlíðarinnar eru jafnframt tiltölulega lágt yfir sjó (250–480 m y.s.) í samanburði við marga aðra snjóflóðafarvegi sem skapa hættu í byggð hér á landi. Því má ætla að hættu af völdum iðufalds og kófs á svæðinu undir

³Halli flóðhliðarinnar er 1:1.25 á Flateyri. Þar virðast garðarnir ekki einu sinni hafa haft áhrif á stefnu yfirflæðisins í janúar 2020.

varnargarðinum við Hornbrekku sé tiltölulega lítil og gefi ekki tilefni til þess að skilgreina hættusvæði umfram A-svæði næst garðinum, sbr. kort 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 fyrra 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. hættumatinu.

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. stoðvirki á kafi, fyrri flóð hafa hlaðist upp að gördum eða keilum, 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 varnavirkja til greina, en fyrri hættusvæði eru sýnd á endurskoðuðu hættumatskorti, m.a. af þessari ástæðu.

Við Hornbrekku á Ólafsfirði er aðeins ein bygging á hættusvæði undir leiðigarðinum og þar er um að ræða sterka steinsteypa byggingu. Ekki er talin mikil hættu á yfirflæði iðufalds, sbr. umfjöllun hér að framan. Talið er eðlilegt að miða einungis við rýmingu á stigi V-IV. Í ljósi aðstæðna og eðlis starfseminnar í hjúkrunarheimilinu er fullnægjandi viðbúnaður ef talin er hættu á aftakasnjóflóðum að ekki sé dvalist í herbergjum á efri hæð byggingarinnar með glugga eða dyraop upp í hliðina. Neðri hæðin er með lága glugga á þeirri hlið sem snýr upp í hliðina og er sérstök ástæða til þess að setja við tækifæri styrkt gler í þau

gluggaop, svo og í gluggaop efri hæðarinnar. Rýmingaráætlun getur því byggst á því að fólk flytji sig milli herbergja í byggingunni og gæti varúðar í sambandi við umferð að og frá húsinu. Til greina kemur að skipta út gleri í gluggum hjúkrunarheimilisins sem snúa til fjallsins með styrktu gleri í framtíðinni í tengslum við viðhald byggingarinnar til samræmis við kröfur um styrkingu nýrra bygginga undir varnargörðum sem til umræðu er að settar verði hér á landi.

Óvissa

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

6 Niðurstaða

Hjúkrunar- og dvalarheimilið við Hornbrekku hefur verið varið með leiðigarði sem dregur mikið úr snjóflóðahættu. Hættumatslínur C og B eru færðar upp fyrir hjúkrunarheimilið með tilkomu garðsins en A-lína, sem afmarkar hættusvæðið með minnstri áhættu, er dregin um 100 m neðan hússins. Leiðigarðurinn beinir snjóflóðum í kröftugum streng til suðurs innan við Hornbrekku. Þar eykst snjóflóðahætta með tilkomu garðsins og hættumatslínur færast u.þ.b. 100 m neðar á um 200 m breiðu svæði.

Ekki er talin mikil hættu á yfirflæði iðufalds í tengslum við snjóflóð úr Tindaöxl og er því einungis miðað við rýmingu á stigi III undir leiðigarðinum. Í endurskoðaðri rýmingaráætlun er talið fullnægjandi að fólk dveljist ekki í herbergjum á efri hæð hjúkrunarheimilisbyggingarinnar með glugga eða dyraop upp í hlíðina og gæti varúðar í sambandi við umferð að og frá húsinu.

Fræðilegur skilningur á áhrifum varnargarða á snjóflóð er takmarkaður og ýmsum vandkvæðum er bundið að meta áhrif þeirra á áhættu fólks í byggð neðan varnavirkja. Í sumum löndum Evrópu er hættumati neðan varnavirkja ekki breytt eftir byggingu þeirra og takmarkanir á nýtingu landsvæða neðan varnavirkja standa því óbreyttar eftir að varnir hafa verið reistar. Hér á landi á skv. reglugerð um hættumat að leggja mat á áhrif varnavirkja til minnkunar áhættu og breyta legu hættumatslína í samræmi við það. Slíkt mat verður óhjákvæmilega mjög óvissu vegna fyrrnefndra takmarkana á skilningi á áhrifum varnavirkja á flæði snjóflóða, þó framfarir hafi orðið í líkanreikningum á flæði snjóflóða á varnargarða og aðrar fyrirstöður á síðustu árum eins og að framan er rætt. Hættu af völdum yfirflæðis hraðfara iðufalds og kófs er jafnframt erfitt að meta eins og einnig er rætt að framan. Hættumat neðan varnavirkja byggist að talsverðu leyti á huglægu mati sérfræðinga sem það vinna, en matið er einnig byggt á tölfræðilegum og eðlisfræðilegum reikningum. Þeir sem nota hættumat undir varnavirkjum við skipulagsgerð eða önnur störf í viðkomandi byggðarlögum þurfa að vera meðvitaðir um þessa óhjákvæmilegu óvissu í hættumatinu. Sveitarfélögum ber skv. reglugerð um hættumat að „stýra skipulagsgerð og þróun byggðar með tilliti til ofanflóðahættu“ á svæðum sem varin hafa verið með varnavirkjum. Það felur m.a. í sér að nýta land á hættusvæðum undir varnavirkjum sem mest undir aðra starfsemi en frekari íbúðarbyggð.

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.
- Efla o.fl. (2017). *Ástandsmat varnargarða*. Reykjavík, Efla, Mannvit og Verkís, skýrsla dags. 19. janúar 2017.
- Esther Hlíðar Jensen (2004). *Skriðuhættumat fyrir Ólafsfjörð*. Veðurstofa Íslands, greinarg. G04018.
- FSR (2015). *Snjóflóðavarnir við Hornbrekku í Ólafsfirði*. Skilamat. Reykjavík, Framkvæmdasýsla ríkisins, skýrsla dags. í júlí 2015.
- Gísli Steinn Pétursson, Haukur Elvar Hafsteinsson & Sveinn Óli Pálmarsson (2019). Analyzing and mitigating the impact of avalanche protection structures on their local wind climate. Í *International Symposium on Mitigation Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows*. Siglufjörður, Iceland, April 3–5, 2019 (ritstj. Tómas Jóhannesson o.fl.). Reykjavík, Verkfræðingafélag Íslands.
- 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 snjóflóða á Siglufirði*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01018.
- Hættumatsnefnd Ólafsfjarðar (2005). *Mat á hættu vegna ofanflóða í Ólafsfirði*. Greinargerð með hættumatskort. Reykjavík, 8 bls.
- Hættumatsnefnd Siglufjarðar (2002). *Mat á hættu vegna ofanflóða á Siglufirði*. Greinargerð með hættumatskort. Reykjavík, 9 bls.
- Hörður Þór Sigurðsson (2004). *Results of the 2D avalanche model SAMOS for Ólafsvík and Ólafsfjörður*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 04008.
- 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.
- Kristján Ágústsson & Hörður Þór Sigurðsson (2004). *Hættumat fyrir Ólafsfjörð*. Veðurstofa Íslands, greinarg. G04021.

- 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, 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.
- 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.
- Óliver Hilmarsson, Tómas Jóhannesson & Harpa Grímsdóttir (2020). *Snjóflóðin úr Skollahvilt 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.
- 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.
- 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).
- 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.) Ósló, NGI, Publikation nr. 203, 259–263.

- Teikn (2013). *Umhverfisskýrsla með deiliskipulagi – Snjóflóðavarnir við Hornbrekku, Ólafsfirði*. Teikn, ráðgjöf og hönnun, skýrsla dagsett 8. janúar 2013.
- 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*. Skýrsla nr. 203, Erik Hestnes, ritstj., 43–52, Osló, NGI.
- 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 & 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. Gisnås, 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.
- Umhverfissráðuneytið (2000). *Reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats*.
- Umhverfissráðuneytið (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 (2004). *Ofanflóð í Ólafsfirði*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 04015.
- VÍ (2005). *Ólafsfjörður. Hættumatskort*. Veðurstofa Íslands, kort undirritað af umhverfissráðherra í mars 2005.
- VS (2005a). *Frumathugun á snjóflóðavörn við Hornbrekku í Ólafsfirði*. Verkfræðistofa Siglufjarðar, skýrsla dags. í júní 2005.
- VS (2005b). *Frumathugun á snjóflóðavörn við Hornbrekku í Ólafsfirði. Jarðvegskönnun*. Verkfræðistofa Siglufjarðar og Teikn á lofti, skýrsla dags. í apríl 2005.

I Tæknileg hugtök og skilgreiningar

α -horn: Sjónarhorn frá stöðvunarstað snjóflóðs upp að efri brún upptakasvæðis (sjá mynd 9).

β -horn: Sjónarhorn frá stað í snjóflóðafarvegi þar sem landhalli er 10 upp að efri brún upptakasvæðis (sjá mynd 9).

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

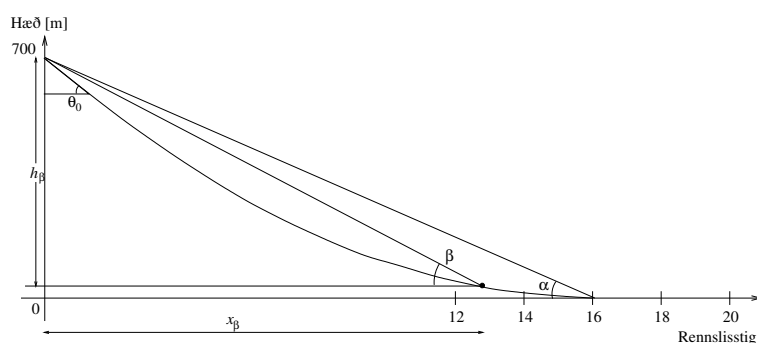
með rennslisstig r_0 er táknað sem snjóflóð með $r = r_0$. Aðferð þessi var þróuð af Kristjáni Jónassyni o.fl. (1999).

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 9. 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

Í viðauka þessum er að finna upplýsingar um snjóflóð sem fallið hafa úr hlíðum Tindaaxlar við Ólafsfjörð. Ofanflóðasaga Ólafsfjarðar (VÍ, 2004) var tekin saman í tengslum við fyrri hættumat Veðurstofunnar (Kristján Ágústsson & Hörður Þór Sigurðsson, 2004). Viðaukinn birtir bæði upplýsingar úr annálnum frá 2004 og upplýsingar um flóð sem skráð hafa verið síðan þá. Staðsetning snjóflóðanna er sýnd á korti 2. Upplýsingarnar eru úr ofanflóðagagnasafni Veðurstofu Íslands. Númer fremst í færslum eru einkvæm númer viðkomandi snjóflóðs í ofanflóðagagnasafninu.

Númer: 8631 **Tegund:** Snjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Skammt utan við Hlíð.

Tími: um 1900

Skráning: Staðs. á korti

Heimildir: Halldóra Ingimundardóttir. Halldóra hefur upplýsingar um flóðið eftir föður sínum en man ekki eftir því sjálf (Halldóra er fædd 1914).

Braut: ojhl01, rst $\approx$ 16.

Athugasemdir: Stórt snjóflóð á að hafa fallið úr hlíðinni skammt utan við bæinn Hlíð og náð út á mitt ísilagt vatnið. Erfitt er að átta sig á hvað átt er við með því að flóðið hafi ná út á „mitt ísilagt vatnið“ sem er mjög breitt á þessum stað. Með ólíkindum er að snjóflóð hafi náð hálfa leið yfir vatnið, slíkt flóð væri með (einvítt) rennslisstig yfir 18.

— — — — —

Númer: 8629 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Við skíðalyftu.

Tími: apríl 1952, eftir hádegi

Skráning: Útlína: Ónákvæm

Heimildir: E.H.J. 2002. Viðtal við Guðna Aðalsteinsson og Sigmar Jónsson.
VÍ. 1997. Rýmingargreinargerðir.

Fólk sem lenti í flóðinu: Ómeiddir: 1

Lýsing: **Upptök:** Hæð yfir sjó: 320 m

Brot: Mest þykkt: 0.3 ($\pm$ 0.1) m

Upptökin voru rétt ofan við neðsta klettabeltið og rann flóðið á ská og brotnaði á hjallanum.

Tunga: Hæð yfir sjó: 60 m

Flóðið stöðvaðist í svipaðri hæð og skíðaskálinn en nú.

Braut: ojti07aa, rst = 12.3.

Athugasemdir: Snjóflóðið féll seinni part dags. Menn höfðu verið á skíðum eftir hádegi en margir voru farnir heim. Fjórir menn urðu vitni að flóðinu (Guðmundur Þengilsson, Gunnlaugur Magnússon, Albert Ólafsson og Stefán Ólafsson) og einn lenti í því en náðist ómeiddur. Abbi Óla renndi sér á undan flóðinu og slapp. Guðmundur Þengilsson ætlaði að skýla sér bak við stein en lenti í jaðrinum og festist þegar flóðið stirðnaði. Þeir sem með honum voru náðu að losa hann. Flóðið stöðvaðist u.þ.b. í sömu hæð og þar sem skíðaskálinn er nú, rétt ofan við veginn sem þá var. Þegar flóðið féll var svæðið utan byggðar.

— — — — —

Númer: 8641 **Tegund:** Snjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Ofan við efsta hjalla.

Tími: 28.3.1997

Skráning: Teg. skýrslu: 5 Staðs. á korti

Lýsing: Upptök:

Veður: Snjóað hafði dagana 26. og 27. mars með vestlægum áttum. Þegar flóðið féll var NV átt, og hiti 2°C, hlýnandi.

Athugasemdir: Sama dag féllu einnig snjóflóð úr Arnfinnsfjalli (Finnurinn) norðan Kleifa og úr Ósbrekkufjalli.

— — — — —

Númer: 8628 **Tegund:** Snjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Ofan við Heilsugæslu.

Tími: 18.1.2004

Skýrslu skráði: Ari Eðvaldsson **Teg. skýrslu:** 9 **Útlína:** Örugger **Fylgigögn:** Ljóstrit af korti 1:50000 með merktum flóðum, teiknað á gamlar ljósmyndir.

Lýsing: Upptök:

Tunga: Þykkt: Meðaltal: 0.4 m

Meðalbreidd: 15 m

Veður: Þann 7. janúar var snjór á jörðu orðinn að þéttu hjarni. Þann 9. janúar mældist 20 mm úrkoma í Ólafsfirði í NA 5–13 m/s og 3°C hita á láglendi. Þann 10. janúar var þurrt framan af degi, síðar súld og síðan óveruleg rigning. Þann 11. janúar var slydda og svo rigning í Ólafsfirði með lækkandi hita frá 3°C og niður í 0°C. Þann 12. janúar var samfeld úrkoma og kólnandi veður og fór að skafa þegar leið á daginn. Vindur var 10–15 m/s af NA. Þann 13. janúar dró úr úrkomu en vindur var um 15 m/s af NA og mikill skafrenningur. Alls mældist 40 mm úrkoma í Ólafsfirði frá kl. 06 þann 11. og til miðnættis þann 12. janúar og 7 mm úrkoma mældist þ. 13. Vindur var 15–20 m/s af NA fram á þ. 15. en þá kólnaði og dró úr vindi.

Athugasemdir: Snjóspýjan var 15 m breið, 50 m löng og 40 cm þykk. Önnur spýja féll þann 19. janúar rétt sunnan við Heilsugæsluna. Hún var 40 m breitt og þykkt hennar 35 cm.

— — — — —

Númer: 148 **Tegund:** Snjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Gilið neðan við snjódýptarmæli.

Tími: nóvember/desember 2007

Skýrslu skráði: Sveinn Brynjólfsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Ónákvæm

Heimildir: Ari Eðvaldsson.

Brynjólfur Sveinsson.

Sveinn Brynjólfsson.

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök:

Tunga: Hæð yfir sjó: 265 m Mældur halli (τ): 32°

Nánast beint suður af snjódýptarstiku.

Athugasemdir: Flóðið var mjög ógreinilegt en þekktist af köggluðu yfirborði gamals snjávar í giliinu sem endaði skyndilega í mjórri tungu og tók BS þar gps-punkt: 66°3.854'N; 18°38.154'V. AE segir flóðið ekki hafa verið fallið í byrjun nóv. þegar hann var á ferðinni þarna. Hann telur líklegast að flóðið hafi fallið í kjölfar hláku 19. nóvember sem kom þegar rúmlega 20 cm jafnfallinn snjór var á láglendi en skafið hafði til fjalla.

Númer: 117 **Tegund:** Snjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Ofan Heilsugæslu.

Tími: 11–14.4.2008

Skýrslu skráði: Sveinn Brynjólfsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Ónákvæm

Fylgigögn: Ljósmynd/ir.

Heimildir: Ari Eðvaldsson.

Sveinn Brynjólfsson sá flóðið af vegi og myndaði.

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök: sáust ekki.

Tunga: Hæð yfir sjó: 215 m Mældur halli (τ): 21°

Meðalbreidd: 25 m

Stallurinn neðan við sjálfvirka snjódýptarmælinn.

Veður: NA-hríðarveður var viðloðandi dagana 3–11.4, þó úrkoma mældist ekki mikil á Ólafsfirði.

Mesta sólarhringsúrkoma mældist 11. apríl á sjálfvirku stöðinni í Ólafsfirði 6.6 mm og var þá slydda í byggð.

Athugasemdir: S.B.: sá flóðið 15. apríl.

A.E.: flóðið var ekki fallið 11.4.

Svo virðist sem köggjar hafi brotnað úr hengju ofan tungunnar eftir að flóðið féll og skafið hafði nokkuð í það.

Númer: 13 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Milli Hornbrekku og Hlíðar.

Tími: 15.3.2009, 15–17

Skýrslu skráði: Sveinn Brynjólfsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Mæld

Fylgigögn: Ljósmynd/ir. GPS-mæling. Gryfja.

Heimildir: Elsa Guðrún Jónsdóttir. Sá flóðið falla.

Fólk sem lenti í flóðinu: Ómeiddir: 1

Tjón: Fjallgirðing hlýtur að hafa skemmst.

Lýsing: Stærðarfl.: 3.5 Lengd: 875 m Mælt úthl.horn (α): 23°

Upptök: Hæð yfir sjó: 425 m Breidd: 150 m Mældur halli (θ): 41°

Brot: Mest þykkt: 1.5 m

Orsök: Vélsleði. Upptökin voru um 20 m frá slóð snjósleða sem var að keyra upp brekkuna sunnan við.

Mjög skörp brún m. mikilli hallabreytingu (30–41°).

Tunga: Hæð yfir sjó: 60 m Mældur halli (τ): 11°

Þykkt: Meðaltal: 35 m Mest: 100 m

Meðalbreidd: 150 m Lengd: 740 m Rúmmál: 41000 m³

Skammt frá „gamla veginum“.

Veður: Þann 12. mars var NA–A strekkingur, úrk. mældist um 7 mm/12klst í Ólafsfirði og snjódýpt hækkaði um 50 cm í Tindaöxl á sjálfvirka mælinum. Aðfararnótt 14. mars var A strekkingur og mældist um 5 mm úrk. í Ólafsfirði en síðar um daginn hlánaði og fór hiti í 4°C í Tindaöxl.

Braut: ojhl01aa, rst = 13.8

Athugasemdir: Vitni sá hvernig flóðið fór af stað rétt norðan við sleðamanninn. Flóðið átti upptök í miðri hlíð, fór alveg niður á hjarn og var um 150 metra breitt. Flóðið stöðvaðist í um 60 m hæð yfir sjó, við Hornbrekkuveginn milli Hornbrekku og Aðveitustöðvar RARIK. Ekki eru öruggar heimildir fyrir snjóflóðum þarna áður en munnmæli um flóð sem náði niður á ísi lagt Ólafsfjarðarvatnið um aldamótin 1900. Flóðið var mælt 17. mars og sást mjög greinilega. Grafin var snjógryfja í 180 m hæð og í brotstáli. Efst í hjarninu undir vindfleknum sem brast voru tvö íslög og rann flóðið á því efra.
Viðhorf VNV.

— — — — —

Númer: 915 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Tindaöxl, neðan skálarinnar syðst.

Tími: 2–6.4.2010

Skráning: Útlína: Örug **Fylgigögn:** Ljósmynd/ir.

Heimildir: Sveinn Brynjólfsson.

Lýsing: Stærðarfl.: 2.5

Upptök: Hæð yfir sjó: 380 m

Líkklega nyrst í skálinni í um 400 m hæð, en skafið hafði alveg yfir upptökin.

Tunga: Hæð yfir sjó: 120 m

Í mounum neðan stallsins sem er í 200 m hæð.

Athugasemdir: Snjóflóð féll úr skálinni syðst í Tindaöxl í Ólafsfirði og stöðvaðist í um 120 m hæð.

— — — — —

Númer: 51629 **Tegund:** Vott flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Tindaöxl, neðan v. snjódýptarmæli.

Tími: 19/20.9.2013

Skýrslu skráði: Sveinn Brynjólfsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Örug

Fylgigögn: Ljósmynd/ir.

Heimildir: Ari Eðvaldsson. Sá flóðið þ. 24. september.

Sveinn Brynjólfsson. Sá flóðið þ. 24. september og myndaði.

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök: Hæð yfir sjó: 270 m

Lynglaut neðan kletta, brotstál bráðnað.

Tunga: Hæð yfir sjó: 235 m

Þykkt: Meðaltal: 1 m

Meðalbreidd: 7 m

Stórir kögglar.

Athugasemdir: Lítið flekahlaup féll í lynglaut neðan kletta í Tindaöxl, undir snjódýptarmælinum, það stöðvaðist á stallinum í um 230 m hæð.

— — — — —

Númer: 51962 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 2/3.2.2014, um miðnætti

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Ónákvæm

Fylgigögn: Ljósmynd/ir.

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök: Hæð yfir sjó: 450 m Breidd: 60 m
Í gili milli kletta.

Tunga: Hæð yfir sjó: 280 m

Veður: N og NA átt með hríðarhaglanda. Slydda á láglendi en þurrari snjór til fjalla.

Athugasemdir: Snjóflóðaspýja féll utarlega í Tindaöxl á Ólafsfirði.

— — — — —

Númer: 51963 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 2/3.2.2014, Í kringum miðnætti

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson **Útlína:** Ónákvæm **Fylgigögn:** Ljósmynd/ir.

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök: Hæð yfir sjó: 420 m Breidd: 30 m
Í gili milli kletta.

Tunga: Hæð yfir sjó: 260 m

Veður: N og NA átt með hríðarhaglanda. Slyddukennt á láglendi, þurrari snjór til fjalla.

Athugasemdir: Snjóflóðaspýja féll utarlega í Tindaöxl á Ólafsfirði.

— — — — —

Númer: 52003 **Tegund:** Þurrt flekahlaup

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 9/10.2.2014, aðfararnótt 10.

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson **Teg. skýrslu:** 10 **Fylgigögn:** Ljósmynd/ir.

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök: Hæð yfir sjó: 380 m Breidd: 20 m

Tunga: Hæð yfir sjó: 260 m

Athugasemdir: Snjóflóðaspýja féll í gili fyrir ofan skíðalyftu á Ólafsfirði. Fleiri lítil flóð féllu norðar í fjallinu.

— — — — —

Númer: 52145 **Tegund:** Lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 10.3.2014

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson **Teg. skýrslu:** 10 **Fylgigögn:** Ljósmynd/ir.

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök: Hæð yfir sjó: 450 m

Tunga: Hæð yfir sjó: 350 m

Veður: NV átt með snjökumu. 22 mm úrkoma sólarhringinn á undan. Snjóaði í logni í bænum.

Athugasemdir: Víða má sjá lausaflóð og kögglahrun.

— — — — —

Númer: 52427 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Spýjur úr klettum.

Tími: 27/28.10.2014

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök:

Athugasemdir: Frá Tindaöxlinni í norðri að skíðalyftu má sjá ummerki flóða.

— — — — —

Númer: 52570 **Tegund:** Þurrt lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl. Tindaöxl, fyrir ofan bæinn. Stöðvast í brekkurótum á efri hjallanum.

Tími: 28.1.2015, um hádegi.

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök: Orsök: Flóðin virtust vera hreyfing á nýjum snjó sem lá ofan á hjarnlagi.

Veður: Það snjóaði í logni frá miðnætti, jafnfallinn snjór um 20 cm á láglandi.

Athugasemdir: Nokkur lausaflóð.

— — — — —

Númer: 54528 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 19.2.2018, Um morgun

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök: Orsök: Jarðskjálfti.

Athugasemdir: Nýji snjórinn virðist hafa runnið saman í hlíðum fjallsins og á tveimur stöðum hafa runnið lengri tungur úr snjónum. Mjög hvöss SA átt var um þetta leyti og hiti um 5–7 °C.

— — — — —

Númer: 51812 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 2.11.2020, 12:00

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson

Lýsing: Stærðarfl.: 1

Upptök:

Athugasemdir: Lítil flóð úr tveimur nyrstu giljunum. Komu í ljós þegar birti.

— — — — —

Númer: 56127 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð

Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl

Tími: 21.11.2020

Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson

Lýsing: Stærðarfl.: 1.5

Upptök:

Athugasemdir: Vott lausaflóð féll í Tindaöxl við Ólafsfjörð.

— — — — —

Númer: 56128 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð
Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl
Tími: 21.11.2020
Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson
Lýsing: Stærðarfl.: 1.5
Upptök:
Athugasemdir: Vott lausaflóð féll í Tindaöxl við Ólafsfjörð.

— — — — —

Númer: 56600 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð
Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl
Tími: 14.2.2021
Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson
Lýsing: Stærðarfl.: 1
Upptök:
Athugasemdir: Smá spýjur og kögglarúll í hlíðum Hornbrekkufjalls.

— — — — —

Númer: 57045 **Tegund:** Þurrt flekahlaup
Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl
Tími: 10.11.2021
Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson
Lýsing: Stærðarfl.: 1.5
Upptök:
Athugasemdir: Snjóflóð féll í Tindaöxl.

— — — — —

Númer: 57969 **Tegund:** Vott lausasnjóflóð
Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl
Tími: 23.2.2023
Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson
Lýsing: Stærðarfl.: 1
Upptök:
Athugasemdir: Nyrsta gil Tindaaxlar, upptök á milli kletta rennur niður í brekkurót á efri slakkanum.

— — — — —

Númer: 58898 **Tegund:** Þurrt flekahlaup
Staðsetning: Ólafsfjörður, Tindaöxl ofan Hornbrekkku
Tími: 22.3.2024
Skýrslu skráði: Tómas Atli Einarsson **Teg. skýrslu:** 10 **Útlína:** Örugg
Fylgigögn: Ljósmynd/ir.
Lýsing: Stærðarfl.: 2
Upptök: Hæð yfir sjó: 360 m Breidd: ~40 m
Tunga: Hæð yfir sjó: 190 m
Athugasemdir: Flóð féll undan SM4 mælinum í Tindaöxl. Það náði rétt fram af stallinum þar fyrir neðan.

III Kort og myndbönd af líkankeyrslum

Kort 1. Yfirlitskort af Ólafsfirði með helstu örnefnum og mörkum svæðis þar sem hættumat Veðurstofunnar frá 2005 er nú endurskoðað eftir byggingu varnarvirkja (A4). Utan þessa svæðis er hættumatið frá 2005 óbreytt. Upptakasvæði sem afmörkuð voru í fyrra hættumati Veðurstofunnar (Kristján Ágústsson og Hörður Þór Sigurðsson, 2004) eru sýnd með númeruðum flákum. Kortið sýnir einnig áhættulínur fyrra hættumats Veðurstofunnar.

Kort 2. Útlínur skráðra snjóflóða úr Tindaöxl við Ólafsfjörð (A4). Snjóflóð sem fallið hafa síðan ofanflóðasaga Ólafsfjarðar var gefin út (VÍ, 2004) eru dregin með rauðum lit til aðgreiningar en eldri flóð með bláum. Upptakasvæði sem afmörkuð voru í fyrra hættumati Veðurstofunnar (Kristján Ágústsson og Hörður Þór Sigurðsson, 2004) eru sýnd með númeruðum flákum.

Kort 3. Tvívíð rennslisstig á bilinu 13–19 reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu fyrir upptakasvæði nr. 6 í Tindaöxl. Kortið sýnir einnig fyrra hættumat Veðurstofunnar (Kristján Ágústsson og Hörður Þór Sigurðsson, 2004) til samanburðar við hinar líkanreiknuðu tungur snjóflóðanna.

Kort 4. Hámarksdýpt snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðs fyrir tvívítt rennslisstig 15. Skriðlengd snjóflóðsins er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins. Kortið sýnir garðtoppinn og garðfótinn til viðmiðunar þó hæðarlínur sýni landslag frá því áður en garðurinn var reistur.

Kort 5. Hámarkshraði snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðs fyrir tvívítt rennslisstig 15. Skriðlengd snjóflóðsins er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 6. Lokadýpt í tungu snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðs. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 7. Hámarksdýpt snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðs. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 8. Hámarksyfirborðshraði snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknaður með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi án varnargarðs. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 9. Hámarksdýpt snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi með varnargarði fyrir tvívítt rennslisstig 15. Skriðlengd snjóflóðsins er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 10. Hámarksástreymisprýstingur snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með SamosAT snjóflóðalíkaninu á landi með varnargarði fyrir tvívítt rennslisstig 15. Skriðlengd snjóflóðsins er nærri B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu varnargarðsins.

Kort 11. Lokadýpt í tungu snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknuð með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi með varnargarði. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að á landi án varnargarðs nær það u.þ.b. að B-línu hættumats (blá lína á korti) fyrir tilkomu garðsins.

Kort 12. Hámarksástreymisprýstingur sem svarar til yfirborðshraða snjóflóðs úr Tindaöxl ofan Hornbrekku reiknaður með Open- $\mu(I)$ snjóflóðalíkaninu á landi með varnargarði. Kortið sýnir einnig fyrra hættumat Veðurstofunnar frá 2005 og hið endurskoðaða hættumat til samanburðar (sjá skýringar á korti 13). Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að á landi án varnargarðs nær það u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu garðsins.

Kort 13. Endurskoðað hættumat við Hornbrekku eftir byggingu varnargarðs (A4). Kortið sýnir bæði fyrra hættumat frá 2005 (slitnar línur) og endurskoðaða matið (heil-dregnar línur).

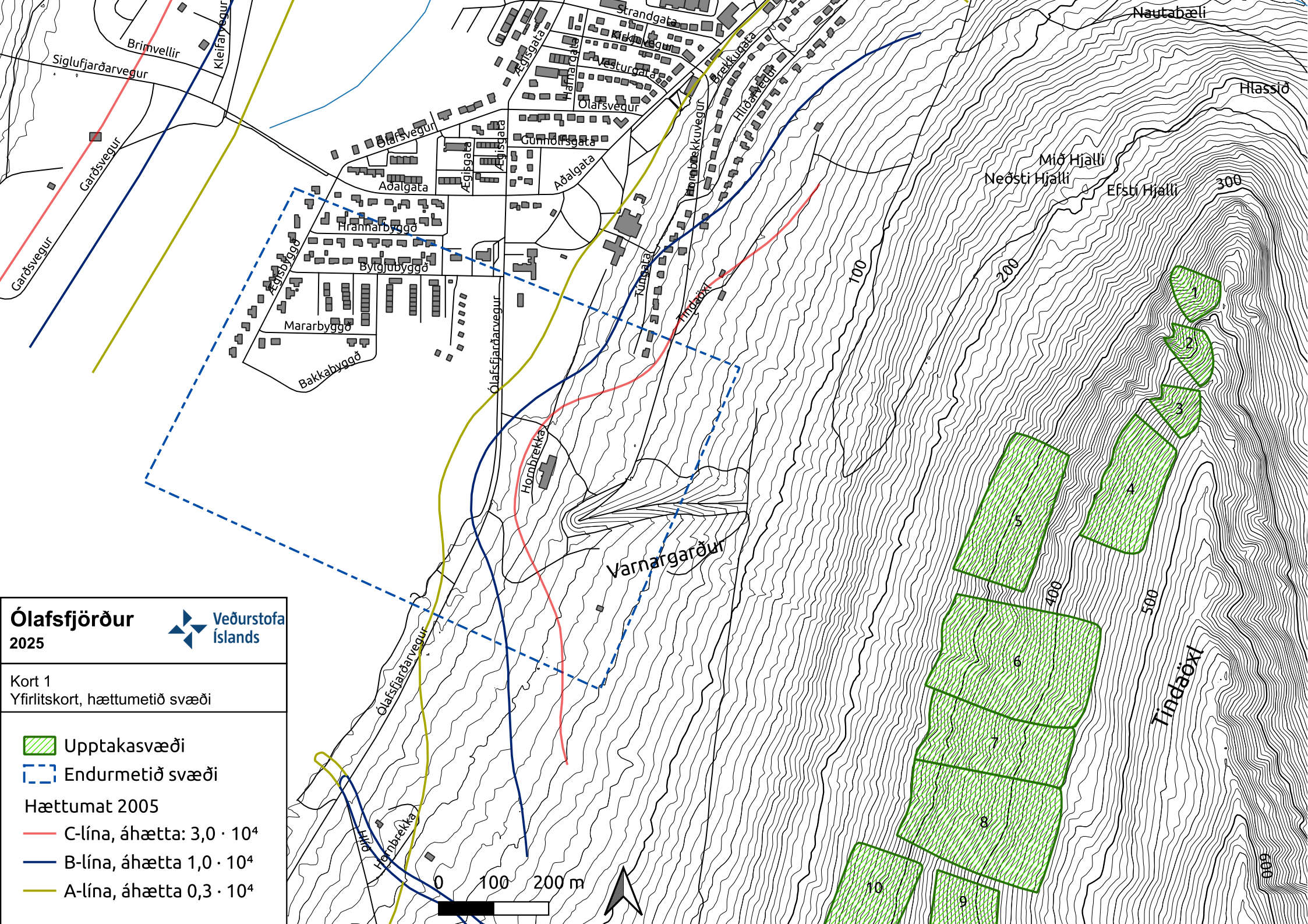
Myndband 1. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóði við Hornbrekku á landlíkani án varnargarðs¹. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að það nær u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðsins. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/of/olafs fjordur-open-mul-RA06-bline-anim-landscape.mp4>

Myndband 2. Open- $\mu(I)$ líkankeyrsla á snjóflóði við Hornbrekku á landlíkani með varnargarði¹. Skriðlengd snjóflóðsins er stillt af þannig að á landi án varnargarðs nær það u.þ.b. að B-línu hættumats fyrir tilkomu varnargarðsins. Niðurhalsslóð myndbandsins er:

<https://www.vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/of/olafs fjordur-open-mul-RA06-dam-snow-anim-landscape.mp4>

¹Athugið að á mörgum tölvum þarf að hlaða myndbandinu niður fyrst og spila það síðan með því að smella á mp4-skrána. Best er að nota spilarann VLC.

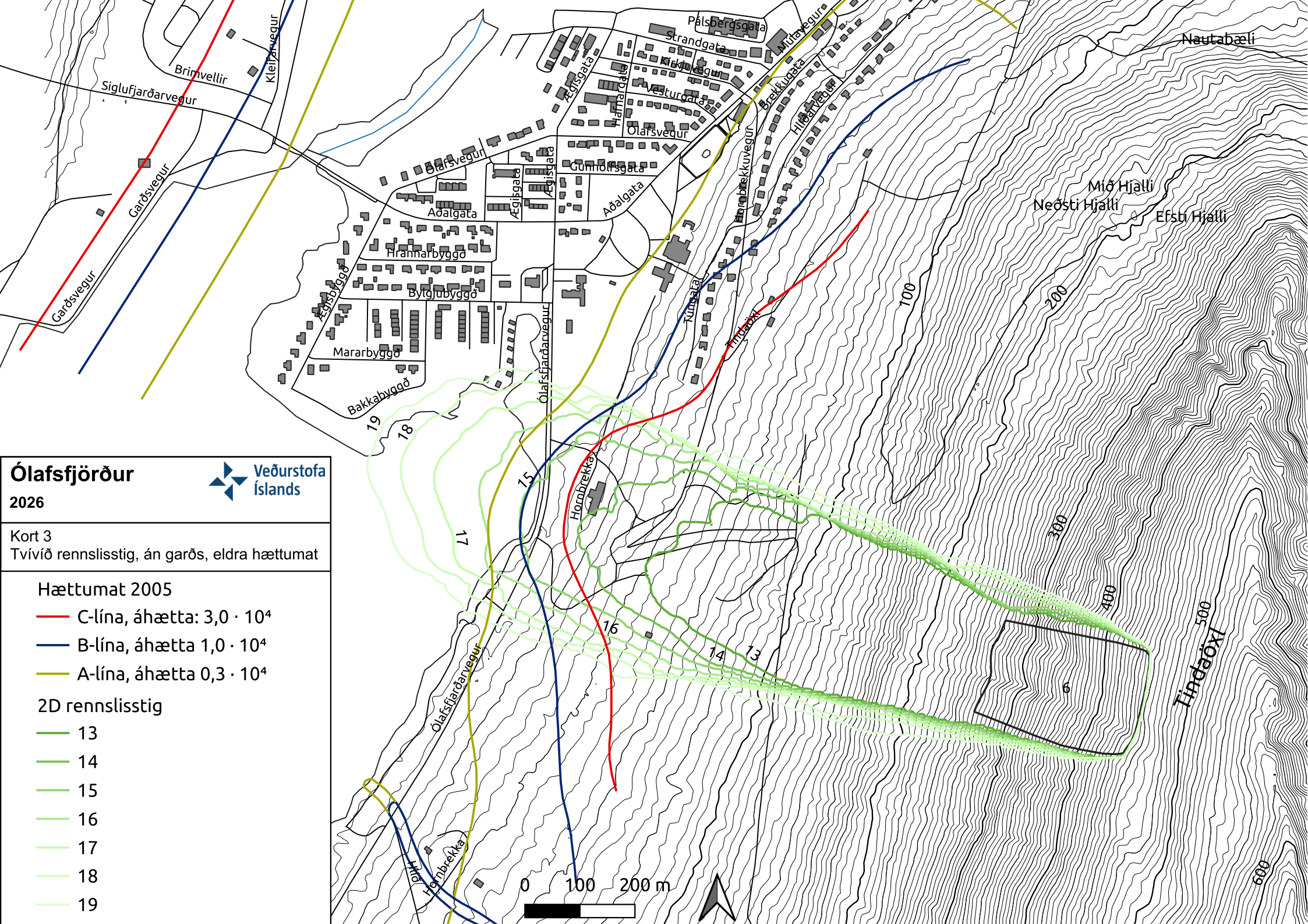


Ólafsfjörður 2025



Kort 1
Yfirlitskort, hættumetið svæði

- Upptakasvæði
- Endurmetið svæði
- Hættumat 2005
- C-lína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$
- B-lína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$
- A-lína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$



Ólafsfjörður

2026



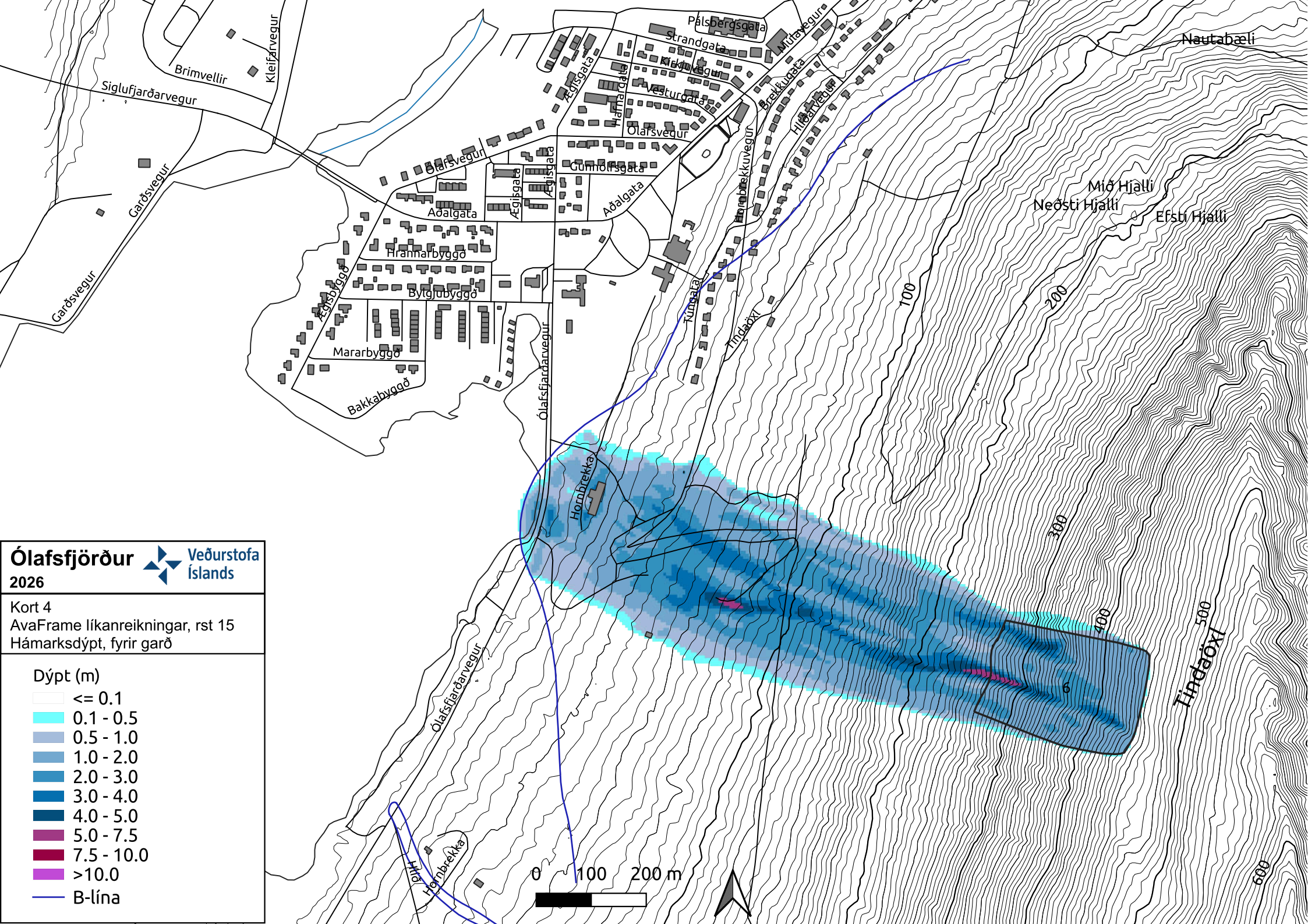
Kort 3
Tvívíð rennslisstig, án garðs, eldra hættumat

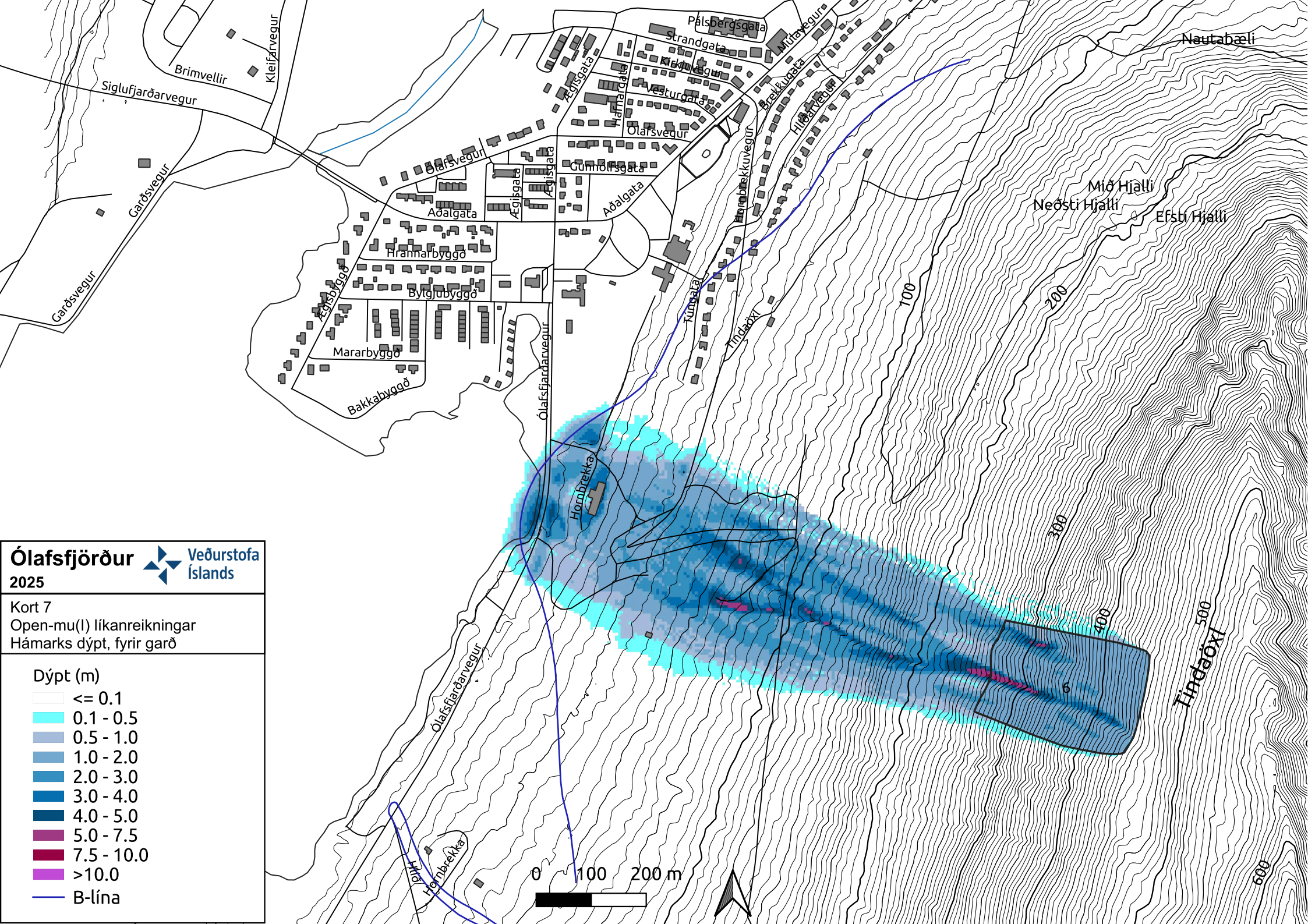
Hættumat 2005

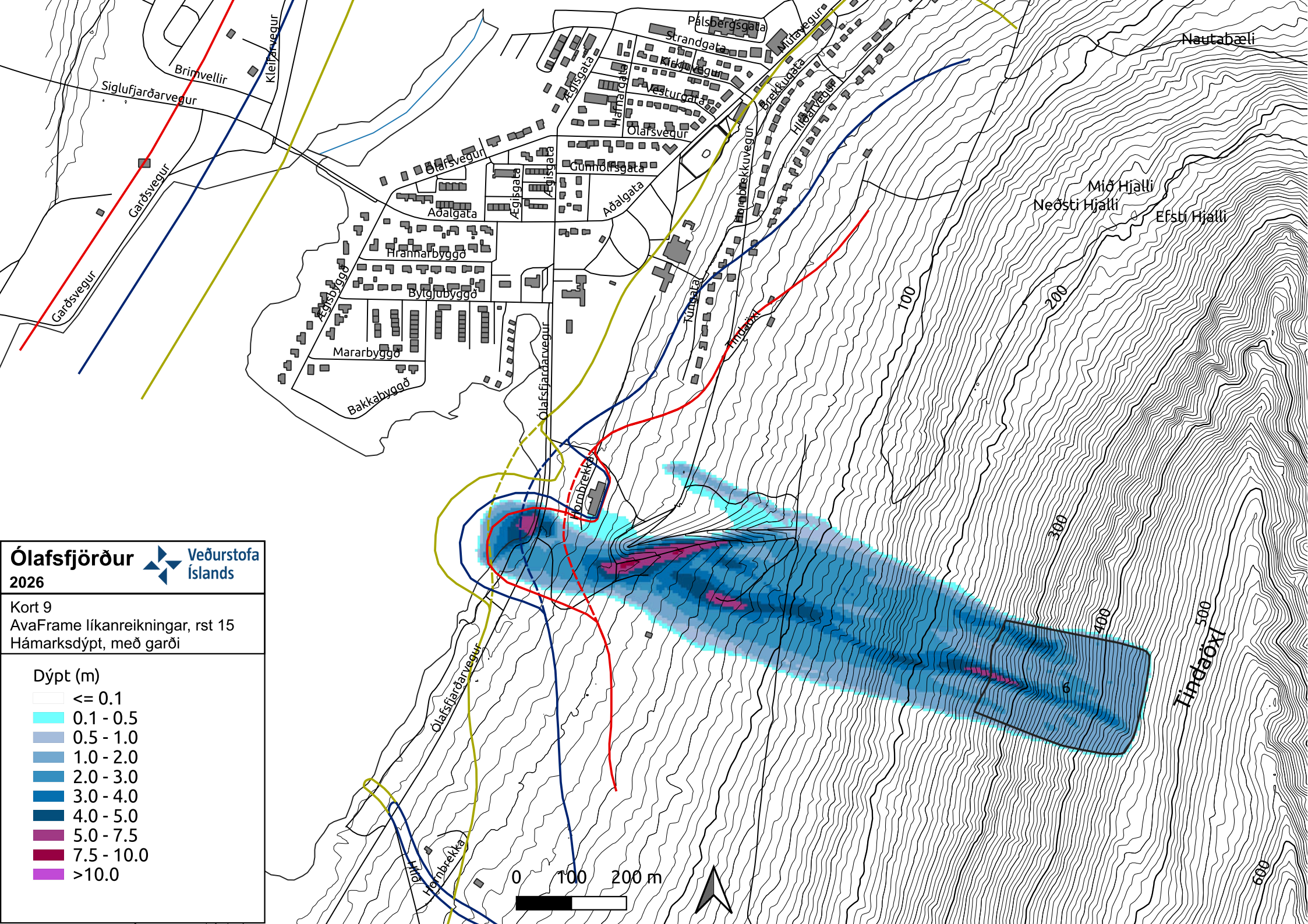
- C-lína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$
- B-lína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$
- A-lína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$

2D rennslisstig

- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19







Ólafsfjörður

2026



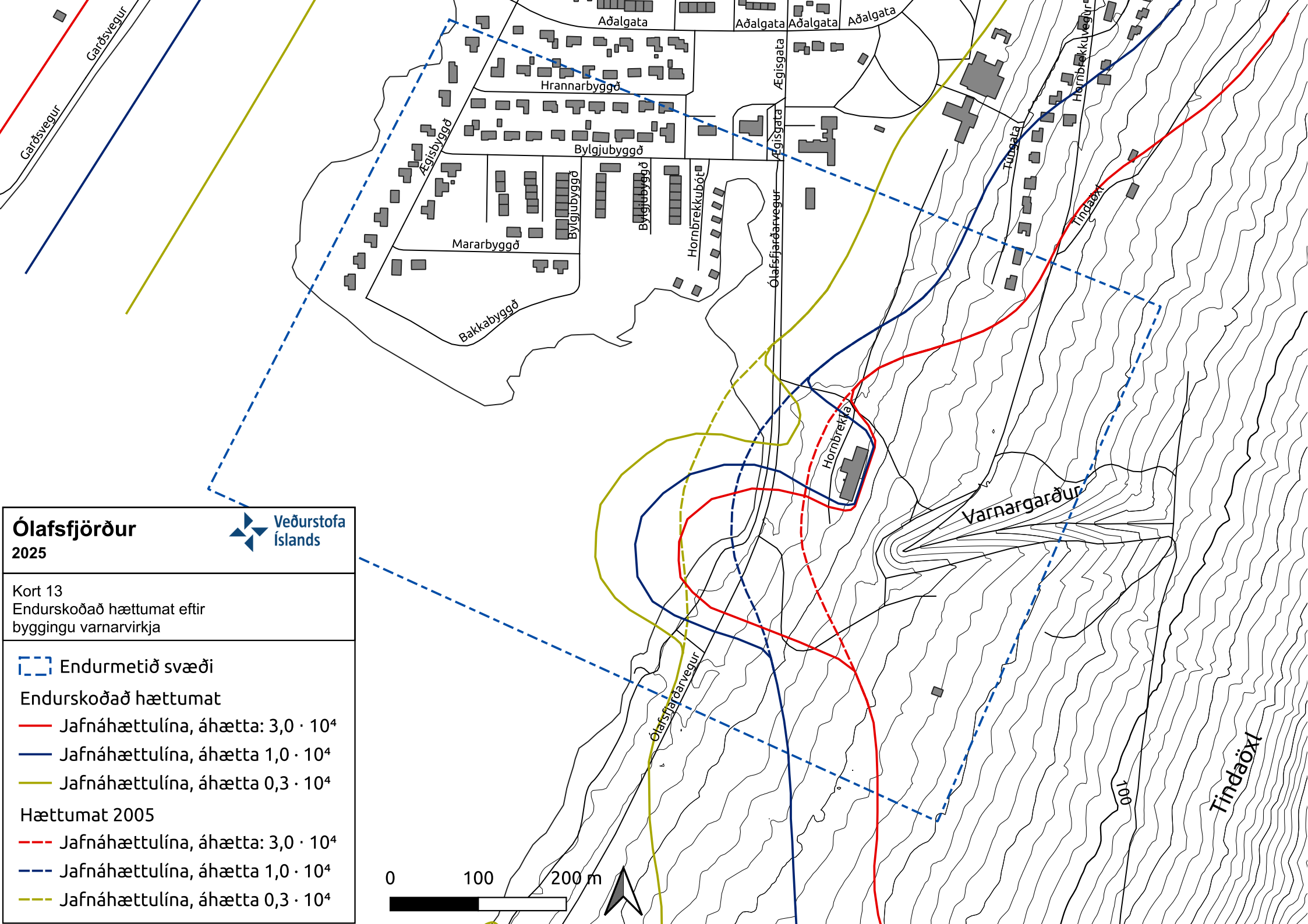
Kort 9
AvaFrame líkanreikningar, rst 15
Hámarksdýpt, með garði

Dýpt (m)

- <= 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 7.5
- 7.5 - 10.0
- >10.0

0 100 200 m





Ólafsfjörður 2025



Kort 13
Endurskoðað hættumat eftir
byggingu varnarvirkja

- Endurmetið 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 2005
- Jafnáhættulína, áhætta: $3,0 \cdot 10^4$
- Jafnáhættulína, áhætta $1,0 \cdot 10^4$
- Jafnáhættulína, áhætta $0,3 \cdot 10^4$