



Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw

Sigríður Sif Gylfadóttir
Tinna Þórarinsdóttir
Emmanuel Pagneux,
Bogi Brynjar Björnsson

Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw

Sigríður Sif Gylfadóttir, Veðurstofu Íslands
Tinna Þórarinsdóttir, Veðurstofu Íslands
Emmanuel Pagneux, Veðurstofu Íslands
Bogi Brynjar Björnsson, Veðurstofu Íslands

Lykilsíða

Skýrsla nr.: VÍ 2017-004	Dags.: Mars 2017	ISSN: 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw		Upplag: 10 Fjöldi síðna: 37 + kort Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Sigríður Sif Gylfadóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel Pagneux og Bogi Brynjar Björnsson		Verkefnisstjóri: Davíð Egilson Verknúmer: 4812-0-0001	
Gerð skýrslu/verkstig:		Málsnúmer: 2016-228	
Unnið fyrir: Vegagerðina			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Vegna áforma Vegagerðarinnar um að reisa nýja brú yfir Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði voru framkvæmdir líkanreikningar með straumfræðihugbúnaðinum GeoClaw á jökulhlaupum í ánni fyrir fjórar sviðsmyndir með mismunandi hámarksrennsli undan jökli: 3.000, 10.000, 30.000 og 100.000 m ³ /s. Niðurstöður hermuna sýna að við 3.000 m ³ /s rennsli tekur vatn að flæða yfir í Langavatnslindar og við herra rennsli rennur það að auki til vesturs yfir þjóðveg 1 við Hrossaborg. Við herra rennsli eykst enn frekar það vatnsmagn sem rennur út úr farveginum og framhá brúarstæðinu. Næmnigreining á áhrifum Manning stuðuls og upplausn reiknins sýna að vissara er að gera ráð fyrir um 15% óvissu. Samanburður á niðurstöðum GeoClaw og HEC-RAS sýnir að sambærilegra niðurstaða má vænta svo lengi sem þversniðin sem notuð eru til útreikninga í HEC-RAS lýsa landlíkaninu nægilega vel.			
Lykilorð: Jökulsá á Fjöllum, jökulhlaup, GeoClaw		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra:	
		Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	7
2	Skilgreining verkefnis	7
2.1	Forsaga.....	7
2.2	Forsendur	10
3	Inntaksgögn fyrir líkangerð	10
3.1	Landlíkan	10
3.2	Vatnsrit (e. hydrograph).....	10
3.3	Upptakasvæði hlaupa við jökuljaðar	12
4	Uppsetning reiknilíkans.....	12
5	Niðurstöður.....	13
5.1	Sviðsmynd 1	13
5.2	Sviðsmynd 2	14
5.3	Sviðsmynd 3	15
5.4	Sviðsmynd 4	16
5.5	Næmnigreining fyrir Manning stuðul.....	17
5.6	Næmnigreining fyrir upplausn reikninets.....	19
5.7	Samanburður við HEC-RAS.....	21
6	Samantekt	23
	Þakkir.....	25
	Heimildaskrá	25
	Viðauki A. Vinnsla landlíkans	27
	A.1 Grunn gögn.....	27
	A.2 Markmið og forsendur	29
	A.3 Aðferðir	29
	A.4 Nákvæmni, áreiðanleiki og gæðamat	32
	Viðauki B. Kort.....	37

1 Inngangur

Bárðarbunga í norðvestanverðum Vatnajökli er ein öflugasta megineldstöðin á Íslandi. Á síðustu 1100 árum eru 27 gos þekkt og svarar það til um tveggja gosa á hverri öld að meðaltali. Gosin eiga sér þó stað í hrinum og urðu flest þeirra á 12.–15. öld og aftur á 18. öld. Langflest gosanna urðu undir jökli en þau stærstu voru gos utan jökuls í sprungusveimi megineldstöðvarkerfisins. Askjan í Bárðarbungu er allt að 700 m djúp og hulin jökulís sem að rúmmáli er talinn nema 43 km^3 . Gos í Bárðarbungu geta því valdið hamfaraflóðum þegar jökulís bráðnar og hleypur fram. Algengast er að jökulhlaupin renni til norðurs í farveg Jökulsár á Fjöllum en einnig er þekkt að þau leiti í Skjálfandafljót og mögulegt að í einhverjum tilvikum falli þau í Köldukvísl og Tungnaá og renni niður Þjórsá til sjávar. Við lítil gos, sem eru tíðari, er líklegt að hámarksrennsli væri á bilinu $5.000\text{--}10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, en við stærri gos gæti rennslið farið upp í allt að $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ilyinskaia, Gudmundsson, & Larsen, 2015) og jafnvel enn meira í stærstu hamfaraflóðum.

Síðustu ár hefur jarðskjálftavirkni í nágrenni Bárðarbungu aukist jafnt og þétt og þessi 2014 hófst gosið í Holuhrauni, sem stóð fram á árið 2015. Við það dró úr skjálftavirkni en hún hefur verið að aukast aftur frá haustinu 2015. Því þykir ekki ólíklegt að Bárðarbunga sé að sigla inn í goshrinutímabil sem myndi hafa í för með sér aukna tíðni stærri jökulhlaupa. Í ljósi þessa er eðlilegt að framkvæma flóðareikninga fyrir umrædd svæði ef ráðast á í stærri framkvæmdir á mannvirkjum innan svæðanna. Vegagerðin áætlað að reisa nýja brú yfir Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði og óskaði því eftir flóðareikningum sem nýtast sem hönnunarforsendur nýju brúarinnar.

2 Skilgreining verkefnis

2.1 Forsaga

Við upphaf gossins í Holuhrauni árið 2014 kom fljótlega í ljós að við eina af mögulegum sviðsmyndum gæti jökulhlaup borist niður farveg Jökulsár á Fjöllum. Það voru ekki til neinar sviðsmyndir af slíkum atburði til að byggja viðbragðsáætlanir á, þ.m.t. ákvarðanir um rýmingu og hvað var í húfi. Hugsanleg vatnshæð í fljótinu við mismunandi flóðstærð var ekki þekkt. Fyrstu útreikningar voru framkvæmdir á einfaldan hátt með jöfnu Mannings í nokkrum þversniðum þar sem fyrirfram var álitid að kynnu að vera krítískir staðir. Aðrir útreikningar voru framkvæmdir í straumfræðilíkaninu HEC-RAS, sem fyrir fast rennsli framkvæmir einvíða rennslisútreikninga í þversniðum þar sem orkulíking er leyst í einni vídd og orkutap er metið út frá hryfi (Manning stuðli), samþjöppun og þenslu (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). Í töflu 1 má sjá yfirlit yfir þá flóðareikninga sem unnir voru á VÍ fyrir Jökulsá á Fjöllum árin 2014–15. Ljóst er að einvíðir rennslisútreikningar eru ákveðnum annmörkum háðir í tilfellum þar sem áin flæmist upp úr farvegi sínum um flatlendi, en henta betur til útreikninga innan vel skilgreindra farvega.

Tafla 1. Yfirlit flóðareikninga Veðurstofu Íslands fyrir Jökulsá á Fjöllum.

Staðsetning	Svæði	$n [s \cdot m^{-1/3}]$	$Q [m^3/s] 10^3$	Aðferð	Ár	Athugasemd	Verkkaupi
Jökulsá á Fjöllum (VÍ)	Ásbyrgi	0,03 & 0,05	3, 5, 10, 20	Þversnið	2014	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS o.fl.
	Grímsstaðir	0,03 & 0,05	3, 5, 10, 20	Þversnið	2014	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS o.fl.
	Krafla 2	0,03 & 0,05	3, 5, 10, 20	Þversnið	2014	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS o.fl.
	Vaðalda og Herðubreið	0,05	25	hec ras	2014	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Jökulsárgljúfur - fossarnir þrír	0,05	20 & 180	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Jökulsárgljúfur Hólmatungur	- 0,05	20 & 180	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Jökulsárgljúfur - Sund	0,05	180	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Jökulsárgljúfur - Vesturdalur	0,05	20 & 180	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Jökulsá við Sveinahraun	0,05	20	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Almannavarnadeild RLS
	Flæður	0,05	180	hec ras	2015	Bráðabirgðahættumat flóða	Vatnajökulsþjóðgarður og Almannavarnadeild RLS

Í minnisblaði um fyrri útreikninga (Jóhannesson o.fl., 2014) kom fram að strax við 3000 m³/s bendir jafna Mannings til þess að áin flæði bæði í núverandi farvegi sínum en samhliða til norðurs yfir í Klaufaskurð¹ (mynd 1). Þar kom einnig fram að í flóði þann 1. ágúst 1999 þegar rennslið náði 2770 m³/s flæddi áin upp á bakka við brúna og vatnsborðið náði upp undir brú en áin rann þó ekki yfir í Langavatnslindar. Aðrir flóðareikningar við hámarksrennsli 20.000 m³/s og $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ fyrir svæðið Jökulsárgljúfur–Sveinahraun bentu til að umtalsvert flóðavatn renni til vesturs yfir þjóðveginn við Hrossaborgardal og jafnvel yfir Dettifossveg (vegnumer 862) en einnig til norðurs yfir í Langavatnslindar. Enn fremur ef skoðaðir eru líkanreikningar fyrir 180.000 m³/s rennsli á yfirlitskortu fyrir svæðið Jökulsárgljúfur — Fossarnir þrír (Selfoss, Dettifoss, Hafragilsfoss) með sömu skilyrðum, mátti sjá að útbreiðsla flóðvatns eykst einkum til vesturs, allt yfir í Vegasveina. Þess ber að geta engin augljós ummerki jökulhlaupa úr loftmyndum má finna svo langt til vesturs frá farveginum. Það má því telja líklegt að þessir tilteknu líkanreikningarnir hafi ofmetið vatnshæð, enda ljóst að umtalsvert flóðavatn fer ofan í hraunið. Eins er ekki hægt að útiloka að þversniðin sem notuð voru við útreikninga lýsi ekki nægilega vel raunverulegu landhæðarlíkani.



Mynd 1. Yfirlitsmynd við núverandi brú yfir Jökulsá á Fjöllum nærri Grímsstöðum, Langavatnslindar hafa verið merktar inn.

Samkvæmt niðurstöðum þessara bráðabirgða líkanreikninga mátti því telja líklegt að við allt frá 3.000 m³/s rennsli fari hluti flóðvatnsins fyrst yfir í Langavatnslindar og við herra rennsli leiti það til vesturs. Í stærri jökulhlaupum myndi því stór hluti flóðvatnsins beinast vestan við núverandi farveg í nágrenni brúarinnar við Grímsstaði. Rétt er að nefna að þeir flóða-útreikningar sem hér er getið voru framkvæmdir til að meta hámarks útbreiðslu og byggjast

¹ Fram hafa komið ábendingar um að örnefni á map.is séu ekki rétt staðsett á þessum stað. Skv. Braga Benediktsyni, bónda á Grímsstöðum, er rétt að tala um Langavatnslindar en ekki Klaufaskurð.

á hæðargögnum sem nota verður með fyrirvara til flóðahermunar. Út frá þessum niðurstöðum var ekki hægt að segja til um hvar flóðvatn byrjar að flæða til vesturs.

2.2 Forsendur

Vegagerðin áætlað að reisa nýja brú yfir Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði og hafði samband við VÍ vegna flóðareikninga á svæðinu. Vegna brúarhönnunar er mikilvægt að meta skiptingu rennslis milli þess sem rennur vestan við farveginn, eftir farveginum og til norðausturs í Langavatnslindar fyrir stærstu flóðatilfelli. Í samvinnu við verkkaupa var því ákveðið að líkanreikna fjögur rennlistilfelli; 3.000, 10.000, 30.000 og 100.000 m³/s hámarksrennslis og skoða útbreiðslu flóðavatns, vatnshæðir og flóðahraða. Lagt var til að verkefnið yrði unnið með straumfræðihugbúnaðinum GeoClaw (Berger o.fl., 2011). GeoClaw leysir Saint Venant jöfnurnar í tveimur víddum, en á ensku kallast þær í daglegu tali “shallow water equations” enda lýsa þær flæði grunns vökvu þar sem dýptin er lítil í samanburði við láréttar vegalengdir. Úttak líkansins er vatnsdýpt (vatnshæð) og hraði í hnútpunktum reikninetsins á hverjum tíma og því mögulegt að reikna rennslis um valin þversnið, vatnshæð sem fall af tíma í brúarstæði, heildarrúmmál vatns sem flæðir um valinn farveg og þar með hlutfall heildarflæðis o.s.frv. Með notkun hugbúnaðarins er því hægt að fylgjast með þróun líkangerðs jökulhlaups frá upptökum og niður fyrir brúarstæðið nærri Grímsstöðum. Reiknað er með hryfisgildi $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ sem notað hefur verið hér á landi fyrir jökulhlaup með miklu íshröngli.

Miðað var við að skila niðurstöðum um vatnshæð og rennslis hraða í brúarsniði sem og hlutfalli rennslis fyrir mismunandi rennlistilfelli um þjóðveg vestan við brúarsnið, um sniðið sjálft og um Langavatnslindar til norðausturs. Enn fremur var miðað við að framkvæma næmnigreiningu á hryfi og áhrif þess á vatnshæð og hraða fyrir eitt tiltekið rennlistilfelli sem og samanburð á vatnshæð og rennslis hraða við útreikninga úr HEC-RAS fyrir ákveðið rennslis.

3 Inntaksgögn fyrir líkangerð

3.1 Landlíkan

Við upphaf verkefnisins var stefnt á að svokallað ArcticDEM (Polar Geospatial Center, 2016) yrði notað sem landlíkan í öllum líkankeyrslum. Um er að ræða landlíkan í upplausn 2x2 m og 5x5 m af öllu Norðurheimskautinu (þ.m.t Íslandi), sem unnið er af Bandaríkjamönnum upp úr WorldView gervitunglamyndum. Ástæður þess að ArcticDEM kom helst til greina voru að það er gjaldfrjálst og þekur rannsóknarsvæðið í nægjanlegri upplausn og hæðar-nákvæmni til að leysa verkefnið. Þegar verkefnið hófst var ArcticDEM í vinnslu fyrir Ísland en áætlanir gerðu ráð fyrir að það yrði tilbúið áður en líkankeyrslur fyrir rennlistilfellið hefust. Það gekk hins vegar ekki eftir þar sem óviðráðanlegar tafir hjá Bandaríkjamönnum í vinnslu þess ollu því að það reyndist ekki tilbúið þegar á reyndi. Því var ákveðið að útbúa nýtt samsett landlíkan fyrir líkankeyrslurnar úr öðrum tiltækum gögnum svo hægt yrði að klára líkankeyrslur og skila frumniðurstöðum sem allra fyrst. Nánari umfjöllun um landlíkanið og tilurð þess má finna í viðauka A.

3.2 Vatnsrit (e. hydrograph)

Nauðsynlegt er að áætla vatnsrit fyrir sviðsmyndirnar fjórar. Þau flóð sem mælst hafa í Jökulsá á Fjöllum undanfarna áratugi hafa flest verið tiltölulega lítil í samanburði við

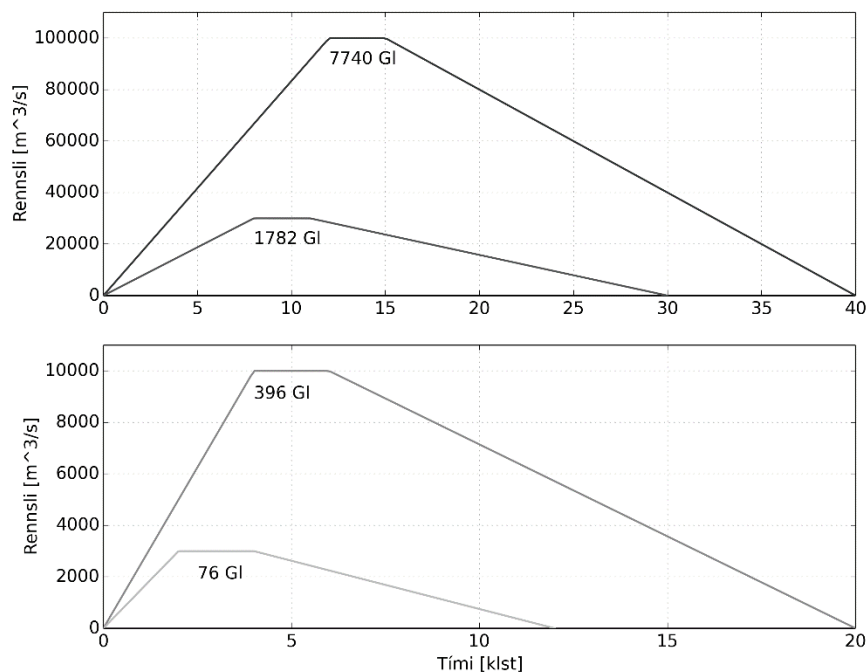
jökulhlaup vegna eldhræringa fyrir á öldum. Hámarksrennsli mældist árið 1999 við það að flóð varð í Kreppu þegar ísstífla í Hnútulóni brast. Hlaupið rann í Jökulsá og mældist rennslið um $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$ við Grímsstaði. Það er því hvorki eiginlegt hlaup í Jökulsá á Fjöllum, né vegna eldsumbrota eða jarðhitavirkni. Flóð sem orðið hafa vegna tæmingar lóna t.d. í Kverkfjöllum hafa flest verið með hámarksrennsli á bilinu $300\text{-}500 \text{ m}^3/\text{s}$. Af mælingum að dæma ná þau hámarki á 2 klst. hámarksrennsli varir í um 2 klst. og svo dvínar rennslið á um 8 klst.

Á fyrri hluta 18. aldar urðu mörg stór jökulhlaup í Jökulsá á Fjöllum og til eru ritaðar heimildir um þau, sem teknar voru saman af Sigurjóni Páli Ísakssyni (1985). Veturinn 1725-26 urðu fimm hlaup í ánni og er lengdar þeirra getið í heimildum. Þau stóðu yfir í 1–5 sólarhringa og fram kemur að mest tjón hafi orðið í flóði sem varði í 1 sólarhring. Áætlað heildarrennsli hlaupsins er á bilinu $20\text{--}25.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Stærsta jökulhlaup síðustu áratuga varð árið 1996 þegar Grímsvötn tæmdu sig og mikið flóð rann undan Skeiðarárjökli. Samkvæmt mælingum náði flóðið hámarki í $40.000 \text{ m}^3/\text{s}$ um 16 klst. eftir að vatn fór að renna úr Grímsvötnum. Við jökuljaðarinn óx flóðið í hámark á um 10 klst. en tók rennslið eftir það að lækka á um 25 klst.

Í flóðareikningum fyrir hamfarahlauþ í Jökulsá á Fjöllum (Alho o.fl., 2007) með hugbúnaðinum HEC-RAS var gert ráð fyrir að flóðið yxi í hámarksrennsli $180.000 \text{ m}^3/\text{s}$ á 12 klst. Hámarksrennsli var viðhaldið í 3 klst. og dvínaði loks línulega á 24 klst. Þetta vatnsrit á við um flæðið undan jökli, en svo teygist aðeins úr því á leiðinni um farveginn og það varir einhverju lengur.

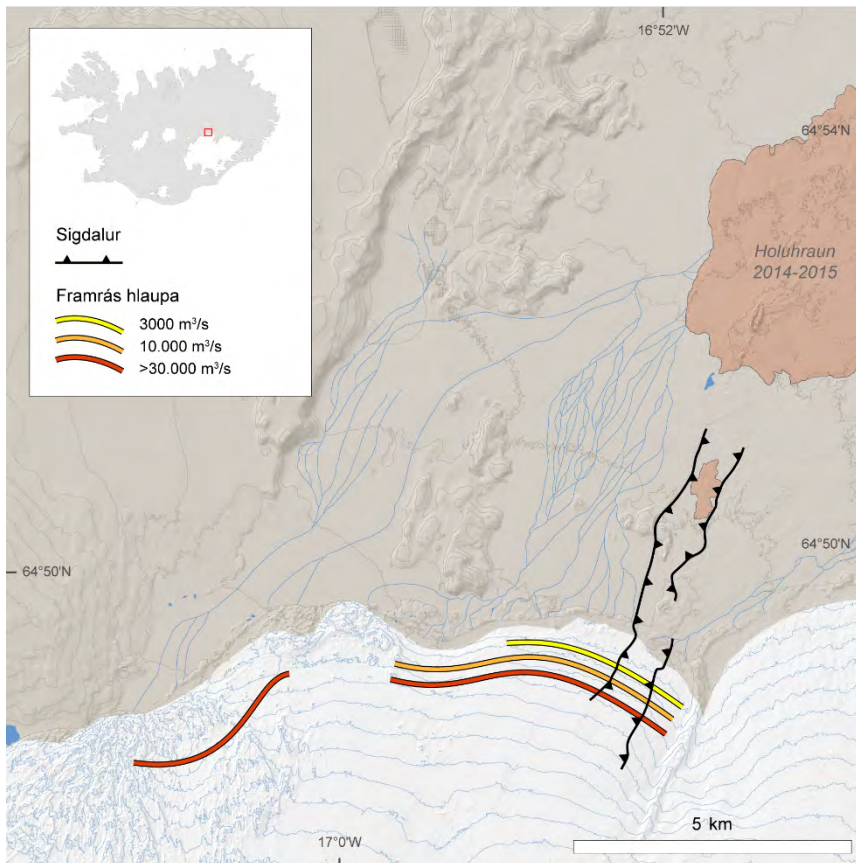
Með hliðsjón af þessum fyrri flóðum voru vatnsrit áætluð fyrir sviðsmyndirnar fjórar, 3.000 , 10.000 , 30.000 og $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$ hámarksrennsli og eru þau sýnd á mynd 2 ásamt heildar-rúmmáli hlaupvatns fyrir hverja sviðsmynd.



Mynd 2. Vatnsrit sem sýna þróun rennslis undan jökli fyrir sviðsmyndirnar fjórar.

3.3 Upptakasvæði hlaupa við jökuljaðar

Jökulsá á Fjöllum rennur undan Dyngjujökli. Við gos í Bárðarbungu er líklegast að hlaupvatn komi undan jöklinum vestanverðum því áberandi hryggur skilur að eystri og vestari hluta Dyngjujökuls. Hryggurinn nær upp úr jöklinum frá jökuljaðri og um 3,5 km til SSV og heldur áfram neðan yfirborðs. Þegar gosið í Bárðarbungu stóð sem hæst voru framkvæmdir bráða-birgðaflóðareikningar m.a. með HEC-RAS. Útbreiðsla jökulhlaups af stærðinni $180.000 \text{ m}^3/\text{s}$ var þá líkanreiknuð fyrir hryffisstuðulinn $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ með upptök við jaðar Dyngjujökuls. Úthlaupslínan náði frá áðurnefndum hrygg um 3,5 km til vesturs samsíða jaðrinum (Pagneux og Þórarinsdóttir, 2016). Loftmyndir af Skaftárhlaupinu 2015, sem hafði hámarksrennsli um $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$, sýndu að úthlaupssvæði við jökul voru fleiri en eitt og samtals allt að 4,5 km að lengd. Í reikningunum sem fjallað er um hér á eftir er því gert ráð fyrir úthlaupssvæði við jaðar Dyngjujökuls með breytilegri lengd eftir áætluðu heildarrennsli. Fyrir sviðsmynd 1 er það 3,5 km, fyrir sviðsmynd 2 er það 5,5 km og fyrir sviðsmyndir 3 og 4 er það 9 km og tvískipt þar eð landið liggur hærra en jökullinn á milli svæðanna. Svæðin eru sýnd á mynd 3.



Mynd 3. Upptakasvæði þar sem talið er líklegt að jökulhlaup vegna eldsumbrota í Bárðarbungu renni undan jaðri Dyngjujökuls.

4 Uppsetning reiknilíkans

Líkanið er sett upp með straumfræðihugbúnaðinum GeoClaw (Berger o.fl., 2011). GeoClaw er hluti af Clawpack forritapakkanum (LeVeque, 2002) sem samanstendur af fjölda lausnaraðferða fyrir hyperbólskar hlutfleiðujöfnur. GeoClaw nýtir lausnaraðferðir úr Clawpack til

að leysa Saint Venant jöfnurnar í tveimur víddum, en á ensku kallast þær í daglegu tali „shallow water equations“. Þær lýsa flæði grunns vatns þar sem vatnsdýptin er lítil í samanburði við láréttar vegalengdir. GeoClaw var upphaflega þróað til að herma myndun og útbreiðslu tsunami flóðbylgna en hefur verið betrubætt til að herma m.a. flóð og berghlaup. Hugbúnaðurinn hefur t.d. verið notaður til að herma flóð vegna stíflubrests með góðum árangri (George, 2011). Á Veðurstofunni hefur GeoClaw verið notað við hermun á flóðbylgjunni sem varð í Öskjuvatni í júlí 2014 í kjölfar þess að stórt berghlaup féll úr suðausturbarmi öskjunnar og gekk út í vatnið. Hefur hugbúnaðurinn verið lauslega prófaður til að herma Skaftárhlaup, en líkanreikningarnir á jökulhlaupum í Jökulsá á Fjöllum er fyrsta stóra verkefnið þar sem GeoClaw er beitt í flóðareikningum.

Til að herma vatnsflóð í GeoClaw er eingöngu hægt að lýsa stíflubresti því ekki er gefinn beinn möguleiki á að láta vatn flæða inn í líkanið. Þessi aðferð hentar fremur illa fyrir jökulhlaup sem koma undan jökuljaðri á breiðum kafla og renna fram á tiltölulega flatlenda sanda. Til þess að hægt væri að herma vatnsrennsli undan jökli þurfti því að forrita aðferð til að leyfa inndælingu vatns á fyrirfram skilgreindum upptakasvæðum. Útfærslan er þannig að gefin eru hnit marghyrnings þar sem vatni er ætlað að flæða inn. Innan marghyrningsins flæðir vatn inn í líkanið líkt og fyrir áhrif rigningar af gefnum ákafa R , þ.e. í hverjum möskva reiknitsins sem marghyrningurinn umlykur hækkar vatnsborð um

$$h(t + dt) = h(t) + R \cdot dt$$

á milli tímaskrefa t og $t + dt$. Þar sem að vatnið flæðir með ákveðnum hraða undan jökli þarf einnig að taka tillit til þess í jöfnunum fyrir skriðþunga, sem fyrir x stefnu er

$$hu(t + dt) = hu(t) + R \cdot dt \cdot u_{hlaup}$$

og sambærileg jafna gildir fyrir y stefnu. Hlauphraðinn er settur í 0,5 m/s með stefnu til norðurs, en hann hefur ekki mikil áhrif á hegðun hlaupsins neðar í farveginum. Fyrir hverja sviðsmynd er R loks reiknað í samræmi við vatnsritið á mynd 2,

$$R(t) = \frac{Q(t)}{A}$$

þar sem A er flatarmál upptakasvæðisins.

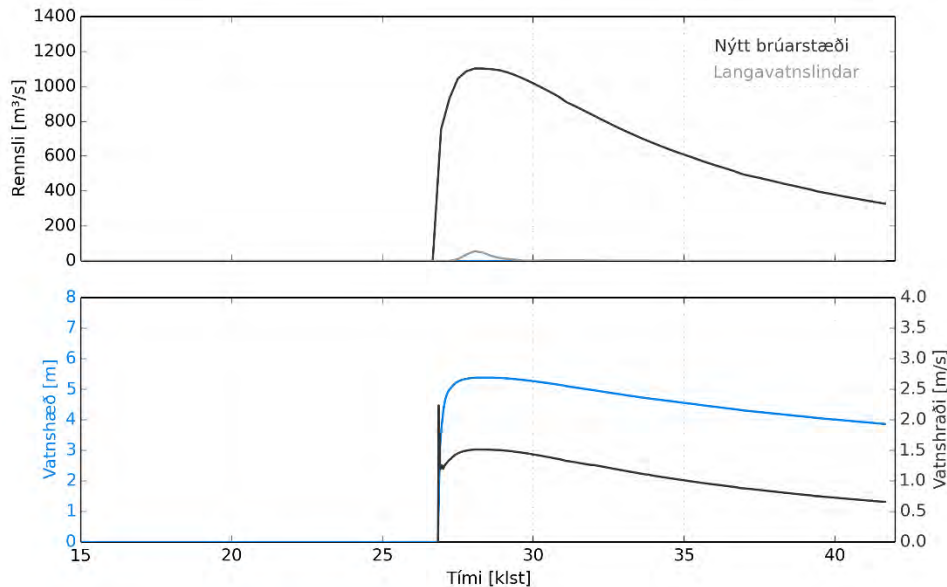
5 Niðurstöður

Hér að neðan er fjallað um niðurstöður sviðsmyndanna. Sviðsmynd 1 gildir fyrir vatnsrit sem áætlað var fyrir 3.000 m³/s hámarksrennsli, sviðsmynd 2 fyrir 10.000 m³/s hámarksrennsli, sviðsmynd 3 fyrir 30.000 m³/s hámarksrennsli og sviðsmynd 4 fyrir 100.000 m³/s hámarksrennsli. Öll kort sem vísað er til í niðurstöðum má finna í viðauka B. Útbreiðslu líkanreiknaðra flóða skv. sviðsmyndum 1–4 má sjá á kortum 1 og 2. Kort 1 nær frá jökuljaðri að þjóðvegi 1 en kort 2 sýnir útbreiðslu við Grímsstaði. Þess ber að geta að í umfjöllun um vatnsdýpt (vatnshæð) í komandi köflum er átt við hæð yfir landlíkani, eða „venjulegu“ yfirborði árinna við eðlilegt rennsli.

5.1 Sviðsmynd 1

Þegar hámarksrennslið er 3.000 m³/s rennur yfirgnæfandi hluti flóðvatns um brúarstæðið en aðeins lítil hluti yfir í Langavatnslindar (0,3 Gl eða 0,4%). Eins og við er að búast teygist úr

vatnsritinu sem lýsir flæði undan jökli við það að flóðvatnið dreifir sér þannig að hámarksrennslið um brúarstæðið verður miklu minna (rétt rúmir $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$ í hámarki) en við jökuljaðarinn og það dregur hægar úr rennsli svo hlaupið varir töluvert lengur. Vatnshæðin nær mest $5,4 \text{ m}$ (mynd 4). Fyrsti flóðfaldurinn rennur með $2,3 \text{ m/s}$ hraða um brúarstæðið en á eftir honum dregur snögglega úr hraða og fer hann niður í $1,2 \text{ m/s}$, hækkar svo jafnt og þétt í $1,5 \text{ m/s}$ þegar rennslið nær hámarki og dvínar svo eftir því sem dregur úr rennsli.



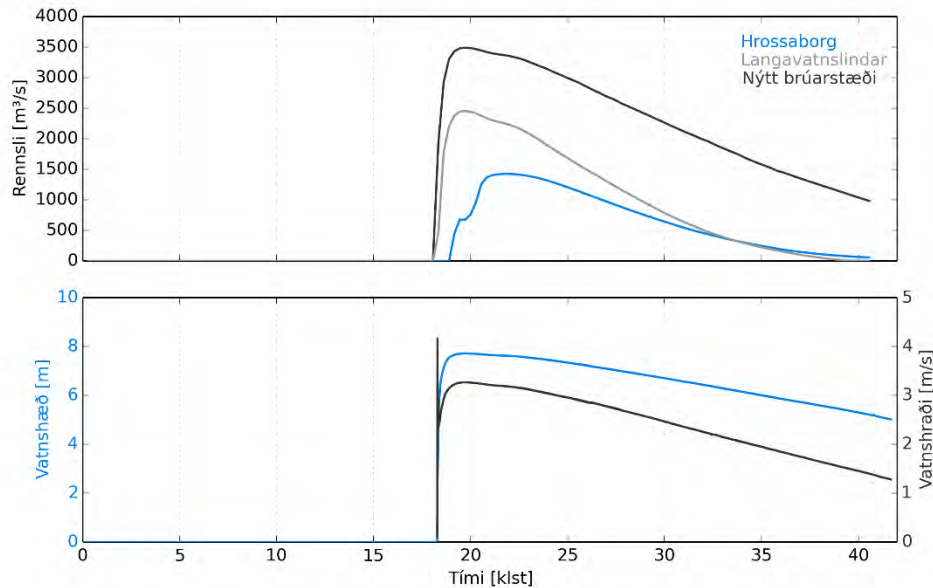
Mynd 4. Sviðsmynd 1. Efri mynd: Rennsli um þversnið við nýtt brúarstæði og yfir Langavatnslindar. Neðri mynd: vatnshæð (blá lína) og vatnshraði (svört lína) í nýju brúarstæði við Grímsstaði.

Kort 3 sýnir útbreiðslu flóðvatns og vatnshraða þegar hlaupið er í hámarki við Þjóðveg 1. Þar sem farvegurinn er afmarkaður er hraðinn upp undir $2\text{--}2,5 \text{ m/s}$ en annars staðar undir 1 m/s . Á nokkrum afmörkuðum stöðum er hraðinn hærri, en það má að öllum líkindum rekja til ónákvæmni í landlíkani. Kort 4 sýnir vatnshæð þegar hlaupið er í hámarki. Í farveginum er vatnshæðin alla jafna frá $2\text{--}5 \text{ m}$ en þar sem áin breiðir úr sér er hún í kringum 1 m .

5.2 Sviðsmynd 2

Þegar hámarksrennslið undan jökli er $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ fer vatn að renna út úr farveginum við Fremri-Grímsstaðanúp og flæðir framhjá gígnum Hrossaborg og þaðan yfir Þjóðveg 1. Um 2 km norður af Þjóðveginum sameinast flóðtaumurinn svo meginstraumnum á ný. Sá hluti flóðvatnsins sem rennur þá leiðina nemur um 13% (53 Gl), um Langavatnslindar renna 21% (83 Gl) en um brúarstæðið fer það sem út af stendur, eða 260 Gl . Þegar hlaupið er í hámarki við brúarstæðið er rennslið þar um $3.500 \text{ m}^3/\text{s}$, en $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ um Langavatnslindar (mynd 5). Þá tekur rennsli út úr farveginum og um Hrossaborg að aukast og nær tæplega $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ og á sama tíma dregur úr rennsli um brúarstæðið og Langavatnslindar.

Vatnshæðin í nýju brúarstæði nær mest $7,7 \text{ m}$. Fyrsti flóðfaldurinn rennur með $4,2 \text{ m/s}$ hraða um brúarstæðið en á eftir honum dregur snögglega úr hraða og fer hann niður í $2,4 \text{ m/s}$, hækkar svo jafnt og þétt í $3,3 \text{ m/s}$ þegar rennslið nær hámarki og dvínar svo eftir því sem dregur úr rennsli.



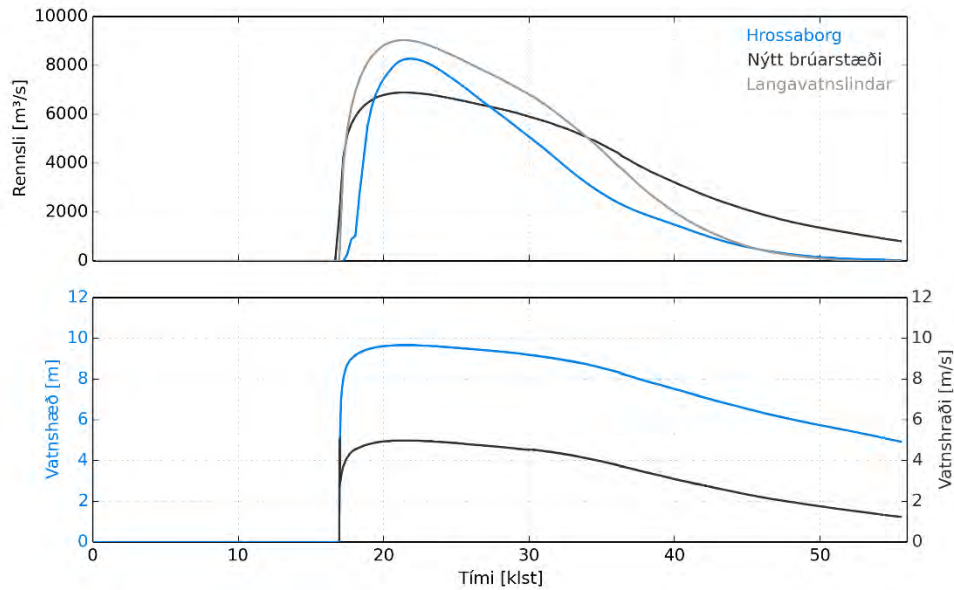
Mynd 5. Sviðsmynd 2. Efri mynd: Rennsli um þversnið við Hrossaborg, nýtt brúarstæði og yfir Langavatnslindar. Neðri mynd: Vatnshæð (blá lína) og, vatnshraði (svört lína) í nýju brúarstæði við Grímsstaði.

Kort 5 sýnir útbreiðslu flóðvatns og vatnshraða þegar hlaupið er í hámarki við þjóðveg 1. Þar sem farvegurinn er afmarkaður er hraðinn upp undir 3–4 m/s en annars staðar undir 1–2 m/s. Á nokkrum afmörkuðum stöðum er hraðinn hærri, en það má að öllum líkindum rekja til ónákvæmni í landlíkani. Kort 6 sýnir vatnshæð þegar hlaupið er í hámarki. Í farveginum er hún alla jafna frá 5–8 m en þar sem áin breiðir úr sér er hún í kringum 1–2 m.

5.3 Sviðsmynd 3

Við hámarksrennsli 30.000 m³/s eykst enn frekar það vatnsmagn sem rennur út úr farveginum og um Hrossaborg og Langavatnslindar. Sá hluti flóðvatnsins sem rennur um Hrossaborg nemur um 24% (426 Gl), um Langavatnslindar renna 31% (560 Gl) en um brúarstæðið fer það sem út af stendur, eða 796 Gl. Þegar hlaupið er í hámarki við brúarstæðið er rennslið þar um 6.900 m³/s, en 9.000 m³/s um Langavatnslindar (mynd 6). Þá tekur rennsli út úr farveginum og um Hrossaborg að aukast og nær tæplega 8.300 m³/s.

Vatnshæðin í nýju brúarstæði nær mest 9,7 m. Fyrsti flóðfaldurinn rennur með 5,1 m/s hraða um brúarstæðið en á eftir honum dregur snögglega úr hraða og fer hann niður í 2,9 m/s, hækkar svo jafnt og þétt í 5 m/s þegar rennslið nær hámarki og dvínar svo eftir því sem dregur úr rennsli.



Mynd 6. Sviðsmynd 3. Efri mynd: Rennsli um þversnið við Hrossaborg, nýtt brúarstæði og yfir Langavatnslindar. Neðri mynd: Vatnshæð (blá lína) og, vatnshraði (svört lína) í nýju brúarstæði við Grímsstaði.

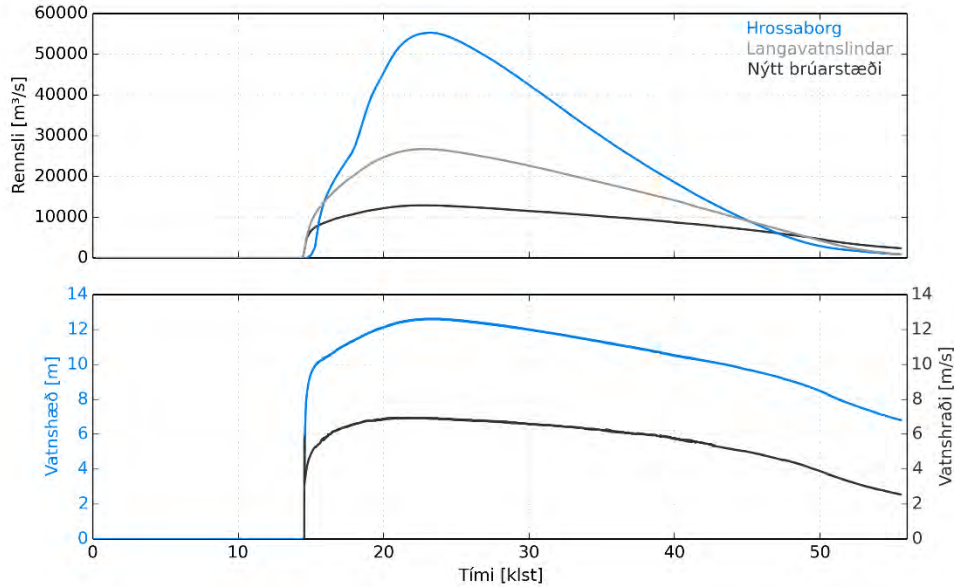
Kort 7 sýnir útbreiðslu flóðvatns og vatnshraða þegar hlaupið er í hámarki við þjóðveg 1. Þar sem farvegurinn er afmarkaður er hraðinn upp undir 6 m/s en þar sem flóðvatnið breiðir úr sér er hann undir 2 m/s. Á nokkrum afmörkuðum stöðum er hraðinn hærri, en það má að öllum líkindum rekja til ónákvæmni í landlíkani. Kort 8 sýnir vatnshæð þegar hlaupið er í hámarki. Í farveginum er vatnshæðin alla jafna frá 7–12 m en þar sem áin breiðir úr sér er hún í kringum 1–4 m.

5.4 Sviðsmynd 4

Við hámarksrennsli $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$ rennur stór hluti hlaupvatnsins um Hrossaborg og yfir þjóðveginn á 8,5 km kafla frá Nýjahrauni (eða rétt vestan Dettifossvegar) að Öskjuleið. Flóðvatnið sem fer yfir veginn veginn á vestasta kaflanum (frá rétt austan afleggjarans að Péturskirkju) er „bakflæði“ frá norðri til suðurs.

Sá hluti flóðvatnsins sem rennur um Hrossaborg nemur um 48% (3742 Gl), um Langavatnslindar renna 30% (2294 Gl) en um brúarstæðið fer það sem út af stendur, eða 1704 Gl. Þegar hlaupið er í hámarki við brúarstæðið er rennslið þar um $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$, en $27.000 \text{ m}^3/\text{s}$ um Langavatnslindar (mynd 7). Hámarksrennsli um Hrossaborg og þjóðveginn nær rúmlega $55.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Við það að rennsli framhjá brúarstæðinu verður yfirgnæfandi verður rennsli-ferillinn um brúarstæðið mun flatari og vex tiltölulega hægt upp í hámark eftir skarpan vöxt í upphafi.

Vatnshæðin í nýju brúarstæði nær mest 12,6 m. Fyrsti flóðfaldurinn rennur með 5,8 m/s hraða um brúarstæðið en á eftir honum dregur snögglega úr hraða og fer hann niður í 3,4 m/s, vex svo jafnt og þétt í 6,9 m/s þegar rennslið nær hámarki og dvínar svo eftir því sem dregur úr rennsli.

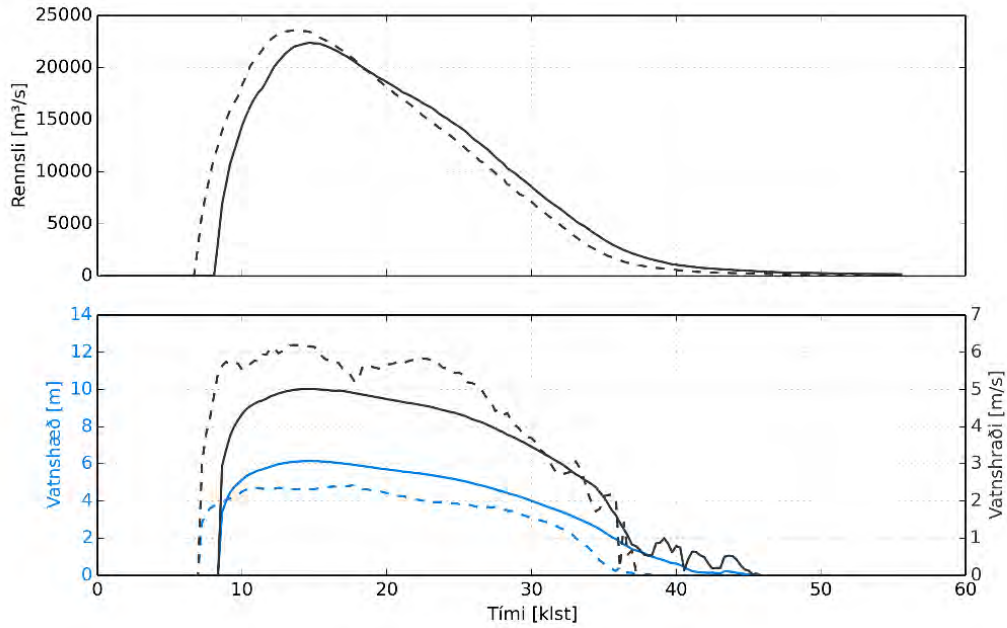


Mynd 7. Sviðsmynd 4. Efri mynd: Rennsli um þversnið við Hrossaborg, nýtt brúarstæði og yfir Langavatnslindar. Neðri mynd: Vatnshæð (blá lína) og, vatnshraði (svört lína) í nýju brúarstæði við Grímsstaði.

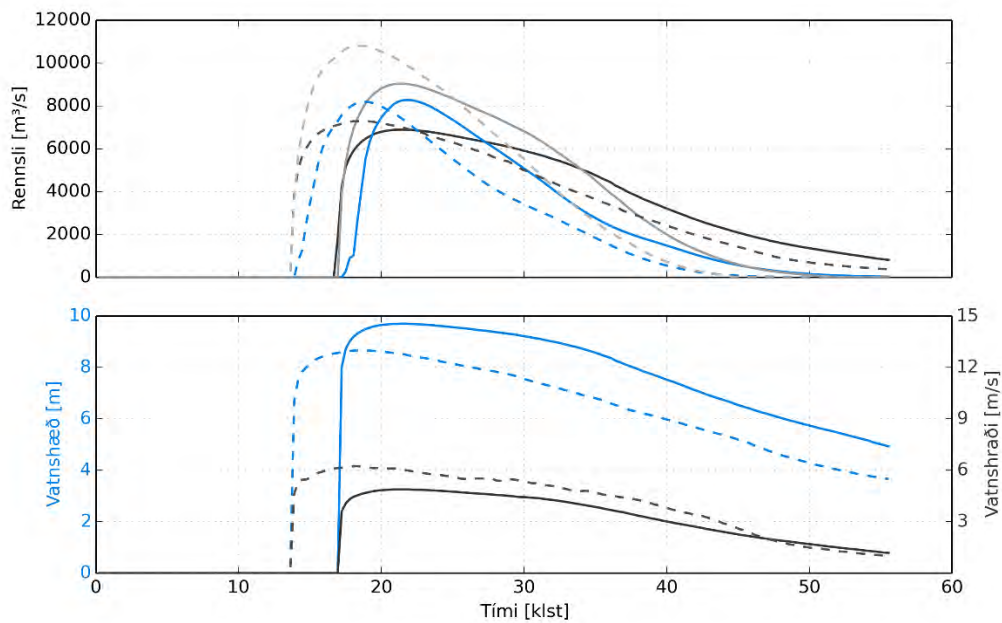
Kort 9 sýnir útbreiðslu flóðvatns og vatnshraða þegar hlaupið er í hámarki við þjóðveg 1. Þar sem farvegurinn er afmarkaður er hraðinn upp undir 6–8 m/s en þar sem flóðvatnið breiðir úr sér er hann að mestu undir 4 m/s. Á nokkrum afmörkuðum stöðum er hraðinn hærri, en það má að öllum líkindum rekja til ónákvæmni í landlíkani. Kort 10 sýnir vatnshæð þegar hlaupið er í hámarki. Í farveginum er vatnshæðin alla jafna frá 10–15 m en þar sem áin breiðir úr sér er hún í gjarnan 5–10 m.

5.5 Næmnigreining fyrir Manning stuðul

Sviðsmyndirnar fjórar voru hermdar með Manning stuðli $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$, sem er nokkuð hátt gildi og lýsir þannig bæði grófum farvegi og jökulvatni með miklu íshröngli. Það er mikil einföldun að velja einn Manning stuðul fyrir allan farveginn frá jökli niður fyrir þjóðveg 1, nákvæmara væri að taka tillit til mismunandi gerðar farvegarins og leyfa gildinu að lækka með fjarlægð frá jökli eftir því sem íshröngl og aurburður sest til. Hins vegar verður að hafa í huga að mikil óvissa er þegar til staðar í líkaninu, sérstaklega hvað varðar tímaþróun rennslis undan jökli. Til að fá skýrari hugmynd um áhrif Manning stuðuls á niðurstöður var sviðsmynd 3 keyrð með $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ og niðurstöðurnar bornar saman. Myndir 8 og 9 sýna rennsli, vatnshæð og vatnshraða við Upptyppinga annars vegar og við nýtt brúarstæði hins vegar. Eins og við var að búast eykst vatnshraði þegar Manning stuðull er lækkaður og nemur aukningin að jafnaði um 15%. Við það minnkar ferðatími hlaupsins að Upptyppingum um 1 klst. og 20 mín og rennslistoppurinn hækkar um rúm 5%. Með lægri Manning stuðli dregur úr vatnshæð um 25% að jafnaði.

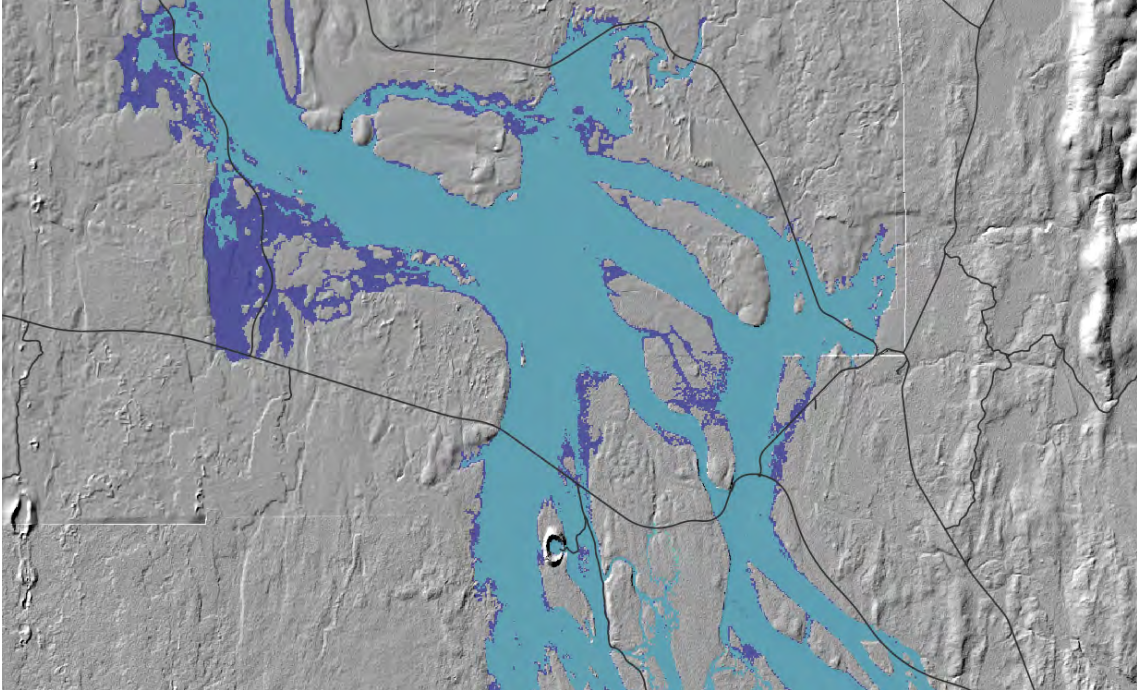


Mynd 8. Samanburður á niðurstöðum sviðsmyndar 3 fyrir Manning stuðul $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ (heildregnar línur) og $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ (brotalínur) við Upptýppinga.



Mynd 9. Samanburður á niðurstöðum sviðsmyndar 3 fyrir Manning stuðul $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ (heildregnar línur) og $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ (brotalínur) við nýtt brúarstæði. Á efri mynd táknar blár litur rennsli um Hrossaborg, grár litur um Langavatnslindar og svartur um nýtt brúarstæði. Á neðri mynd táknar blár litur vatnshæð en svartur vatnshraða.

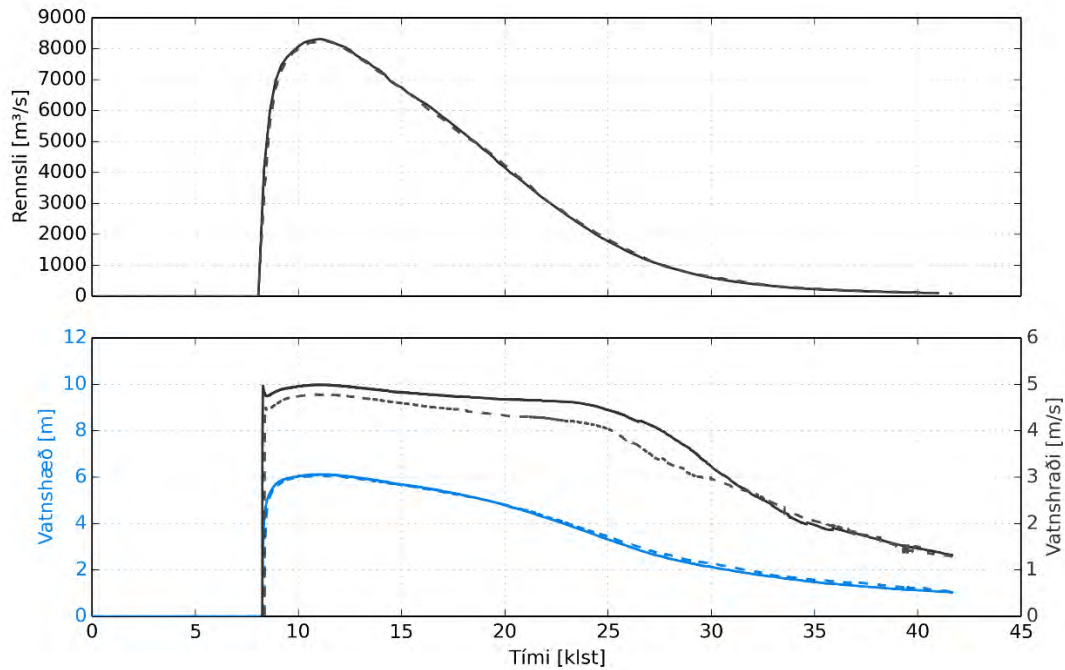
Mynd 10 sýnir samanburð á útbreiðslu flóðvatns við Grímsstaði fyrir mismunandi Manning stuðul. Fyrir hærri Manning stuðul eykst útbreiðslan samfara aukinni vatnshæð. Þetta er sérstaklega áberandi fyrir bakflæðið vestast við jaðar Sveinahrauns sem gefur tilefni til að taka niðurstöðum um útbreiðslu flóðvatns svo vestarlega í sviðsmynd 3 og 4 með fyrirvara.



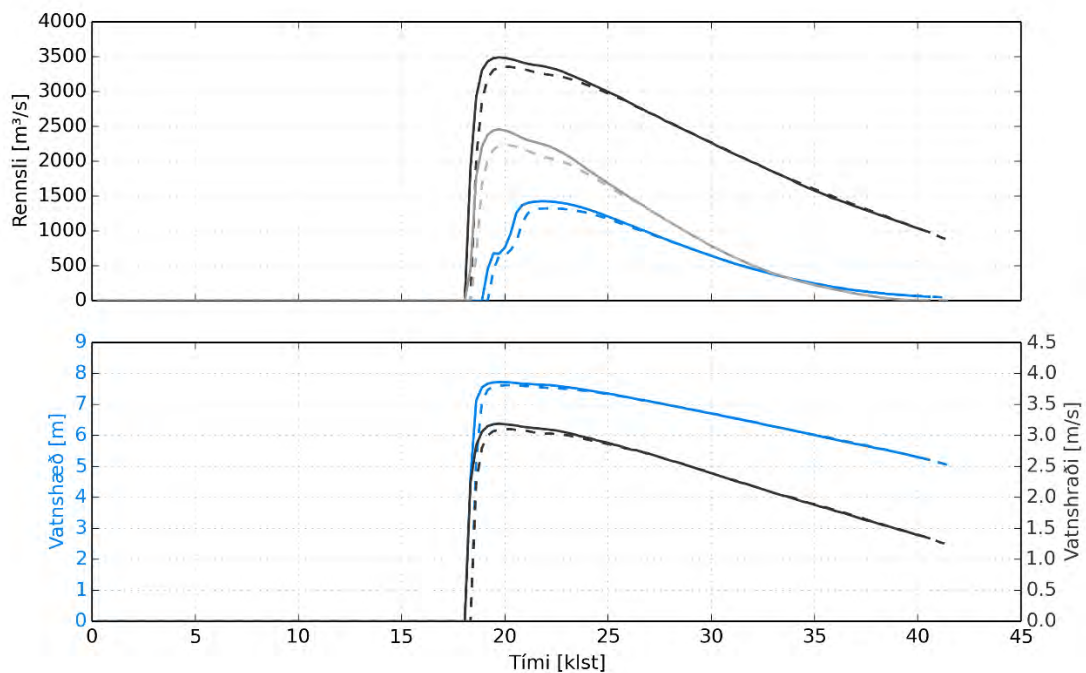
Mynd 10. Samanburður á útbreiðslu flóðvatns í nágrenni þjóðvegur 1 í sviðsmynd 3 fyrir Manning stuðul $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ (dökkblátt) og $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ (ljósblátt).

5.6 Næmnigreining fyrir upplausn reikninetts

Vegna þess hversu stórt landsvæði farvegur Jökulsár á Fjöllum þekur eru takmörk á því hversu mikla upplausn er raunhæft að hafa á reikninetinu. Fyrir sviðsmyndir 1 og 2 voru möskvar reikninettsins hafðir 12,5 m en fyrir sviðsmyndir 3 og 4 reyndist nauðsynlegt að stækka möskvana í 25 m til að gera reikninga raunhæfa. Þetta veldur því að nákvæmni niðurstaðna minnkar. Til þess að meta áhrifin af þessu var sviðsmynd 2 keyrð frá upphafi til enda fyrir reikninetin tvö. Mynd 11 sýnir þróun rennslis, vatnshæðar og vatnshraða við Upptyppinga. Rennsli og vatnshæð breytast lítið sem ekkert þegar upplausnin er helminguð en aðeins dregur úr vatnshraða.



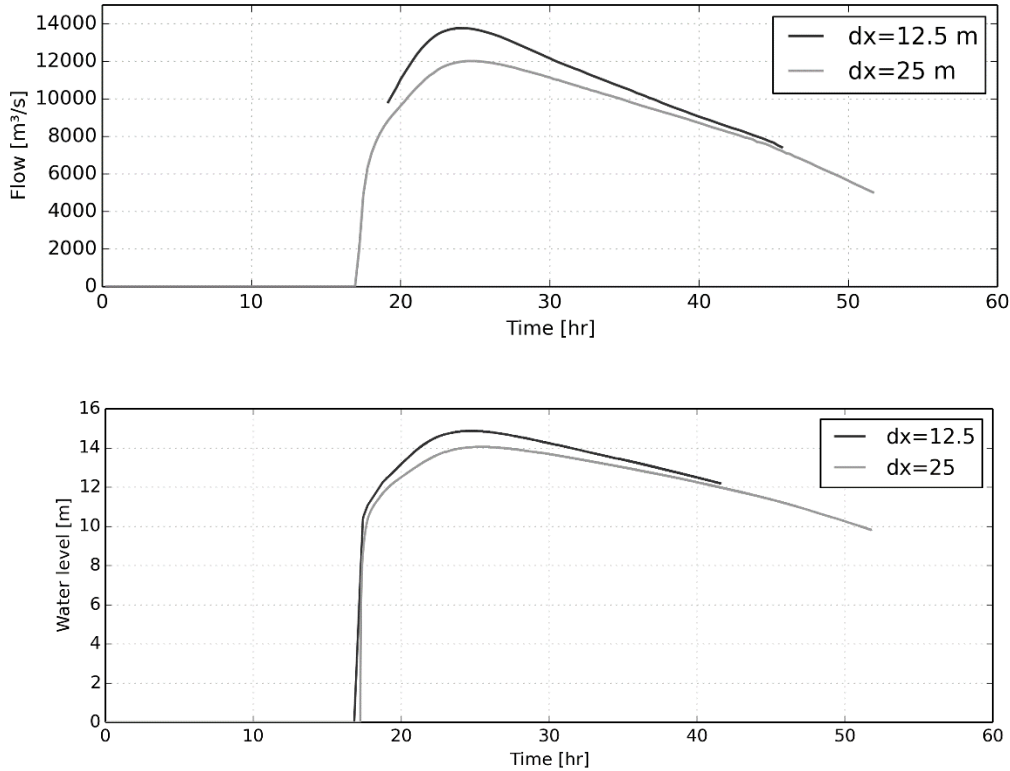
Mynd 11: Samanburður á niðurstöðum sviðsmyndar 2 fyrir upplausn 12,5 m (heildregnar línur) og 25 m (brotalínur) við Upptyppinga.



Mynd 12. Samanburður á niðurstöðum sviðsmyndar 2 fyrir upplausn 12,5 m (heildregnar línur) og 25 m (brota línur) við nýtt brúarstæði. Á efri mynd tákna blár litur rennsli um Hrossaborg, grár litur um Langavatnslindar og svartur um nýtt brúarstæði. Á neðri mynd tákna blár litur vatnshæð en svartur vatnshraða.

Mynd 12 sýnir niðurstöður við nýtt brúarstæði. Þar veldur aukin upplausn því að flóðfaldurinn berst um 15 mínútum fyrr og hámarksrennslið eykst um 4–10%. Vatnshraði og vatnshæð verða 1–3% hærrí. Ljóst er að samanborið við áhrif Manning stuðuls á niðurstöður eru áhrif upplausnar mun minni.

Ónákvæmnin vegna minni upplausnar eykst með auknu rennsli og því má búast við að skekkjan sé meiri í sviðsmyndum 3 og 4. Tilraun var gerð með að keyra sviðsmynd 4 með mismunandi upplausn og eru niðurstöðurnar við nýtt brúarstæði sýndar á mynd 13. Með hærri upplausn eykst hámarksrennslið um 15% og vatnshæðin um 7%. Þess ber að geta að þessar keyrslur voru fyrir mistök gerð með Manning stuðli $n = 0,07 \text{ s/m}^{1/3}$.



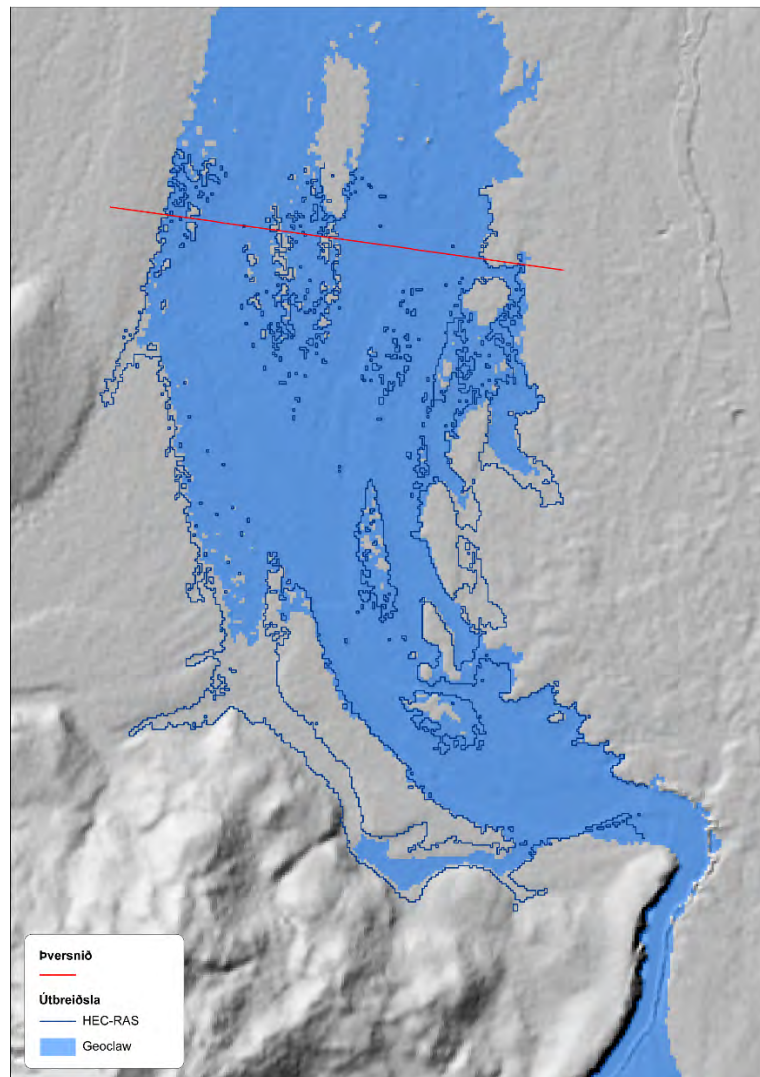
Mynd 13. Samanburður á niðurstöðum sviðsmyndar 4 fyrir upplausn 12,5 m (dökkar línur) og 25 m (ljósar línur) við nýtt brúarstæði.

Niðurstöður næmnigreiningar gefa til kynna að Manning stuðullinn hafi meiri áhrif en upplausn reikninsins (á því bili sem prófað var). Rétt að gera ráð fyrir ca. 15% óvissu þegar niðurstöður flóðahermananna eru túlkaðar.

5.7 Samanburður við HEC-RAS

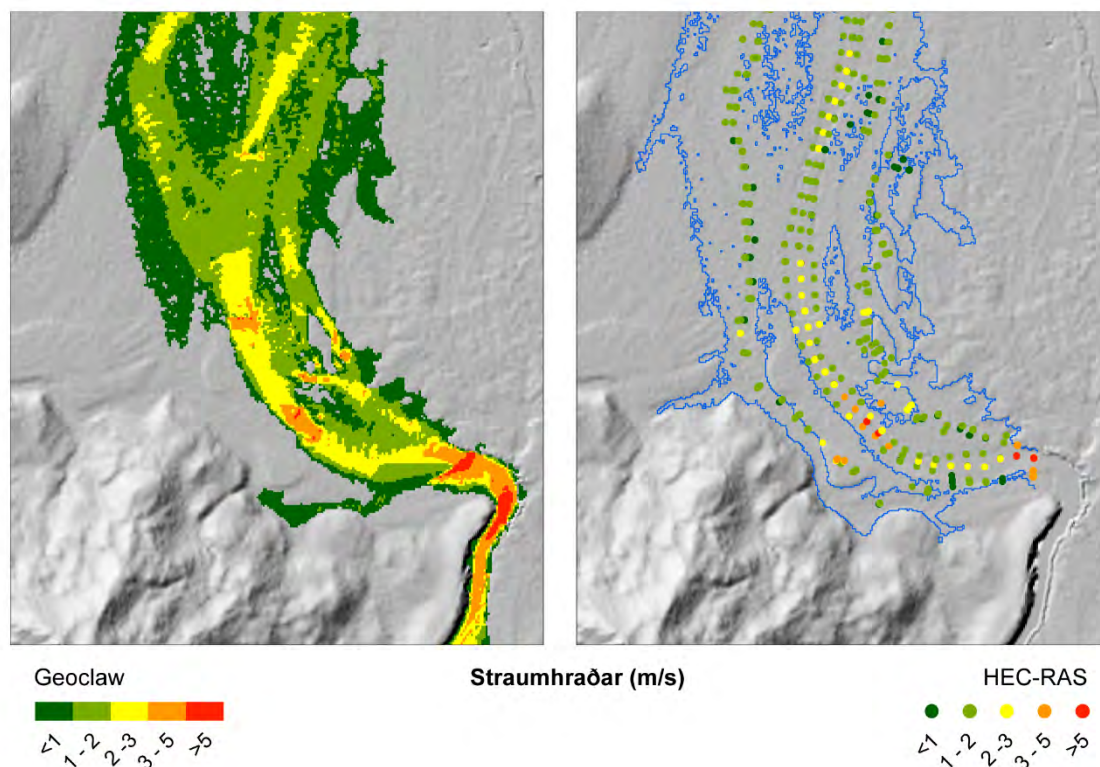
Einfaldir líkanreikningar í forritinu HEC-RAS voru settir upp til samanburðar við niðurstöður sem fengust með notkun GeoClaw fyrir flóð af stærðinni $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Valinn var staður þar sem fyrirséð var að farvegurinn væri tiltölulega vel skilgreindur án þess þó að vera í gljúfri. Þetta var gert til þess að tryggja að valin þversnið lýstu nægilega vel landlíkaninu og framgangi flóðsins innan farvegarins. Samanburðurinn var því gerður nærri Upptypingum en ekki nálægt brúarstæðinu við Grímsstaði þar sem flóðvatnið flæmist um umtalsvert svæði. Við samanburðinn kom í ljós að niðurstöðum varðandi útbreiðslu beggja líkana ber ágætlega saman, en þó síst á þeim stað þar sem hluti rennslisins fer um ál sem liggur vestan farvegarins (mynd 14). Á öðrum stöðum ber niðurstöðum víðast hvar vel saman og sem dæmi má nefna munar að meðaltali 10 cm á niðurstöðum flóðahæðar í HEC-RAS og GeoClaw í rauðmerktu þversniði á mynd 14. Þar gefa líkanreikningar með HEC-RAS örlítið hærri flóðahæð en telja má víst að sá mismunur sé innan óvissumarka líkanreikninganna. Ljóst er að staðsetning hvers þversniðs hefur mikil áhrif á niðurstöður líkana líkt og HEC-RAS og því oft á tíðum

óvitað hvort að valin þversnið lýsi landlíkaninu nægilega vel eða hvort skyndileg breyting í landhæð sé e.t.v. á milli þversniða og því ósýnileg straumfræðireikningunum.



Mynd 14. Samanburður á niðurstöðum flóðaútbreiðslu við 3000 m³/s rennsli við Upptýppinga með notkun GeoClaw (heillitað blátt) og HEC-RAS (dökkbláar línur).

Niðurstöður fyrir straumhraða voru einnig bornar saman innan sama svæðis fyrir líkönin tvö (mynd 15). Sjá má að niðurstöður beggja líkana eru svipaðar hvað straumhraða varðar og eru að megninu til á bilinu 1-3 m/s.



Mynd 15. Samanburður á niðurstöðum straumhraða við 3.000 m³/s rennsli við Upptýpinga með notkun GeoClaw (til vinstri) og HEC-RAS (til hægri).

6 Samantekt

Vegna áforma Vegagerðarinnar um að reisa nýja brú yfir Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði var óskað eftir því að Veðurstofan framkvæmdi líkanreikninga á jökulhlaupum í ánni sem nýta mætti við ákvörðun hönnunarforsenda. Áður hafa verið gerðir bráðabirgðareikningar bæði með jöfnu Mannings og einvíða hugbúnaðinum HEC-RAS fyrir hlaup með hámarksrennsli allt að 180.000 m³/s. Bentu þeir reikningar til þess að allt frá 3.000 m³/s rennsli leiti hluti hlaupvatnsins yfir í Langavatnslindar og þannig framhjá brúnni og við herra rennsli leiti það einnig til vesturs jafnvel allt yfir í Vegasveina. Mikil óvissa var þó um þetta þar sem að HEC-RAS hentar illa á flatlendi þar sem flóðvatn flæmist um og rennur ekki í afmörkuðum farvegi.

Til að auka nákvæmni hermana var tekinn í notkun hugbúnaðurinn GeoClaw, sem leysir jöfnur sem lýsa flæði grunns vatns (e. shallow water equations) í tveimur víddum. Kosturinn við GeoClaw er að það hentar vel á flatlendi og hægt er að fylgjast með þróun líkangerðs jökulhlaups frá upptökum og niður fyrir áætlað brúarstæði við Grímsstaði.

GeoClaw var beitt á fjórar sviðsmyndir með mismunandi hámarksrennsli undan jökli: 3.000, 10.000, 30.000 og 100.000 m³/s. Sett voru fram vatnsrit til að lýsa tímaþróun rennslis undan jökli og upptakasvæði við jökul voru staðsett miðað við líklegustu rennslileið hlaupvatns frá Bárðarbungu. Aðlaga þurfti GeoClaw til að herma innrennsli vatns með einfaldri aðferð sem skeytt var inn í forritið.

Niðurstöður hermana staðfesta fyrri reikninga með HEC-RAS hvað varðar framrás hlaupvatns utan farvegarins við Grímsstaði, þ.e. að við 3.000 m³/s rennsli tekur vatn að flæða yfir í Langavatnslindar og sömuleiðis að við hærra rennsli rennur það að auki til vesturs yfir Þjóðveg 1 við Hrossaborg. Nú er ljóst hvar vatn rennur út úr farveginum því við 10.000 m³/s eins og hermt var í sviðsmýnd 2 rennur vatn upp úr farveginum við Fremri-Grímsstaðanúp og til vesturs. Um 2 km norður af Þjóðveginum sameinast sá flóðtaumur svo meginstraumnum á ný. Við 30.000 m³/s hámarksrennsli eykst það vatnsmagn sem rennur út úr farveginum enn frekar og nemur það rúmum helmingi hlaupvatns. Við 100.000 m³/s eykst það enn frekar, og einungis 20% renna um brúarstæðið. Flóðvatnið fer yfir Þjóðveg 1 vestan brúarinnar á 8,5 km kafla frá jaðri Sveinahrauns að Öskjuleið. Það er svipað niðurstöðum HEC-RAS, sem bentu til þess að flóðið næði alla leið vestur að Vegasveinum. Niðurstöður GeoClaw sýna þó skýrt að um „bakflæði“ er að ræða, þ.e. vatn hleypur upp úr farveginum norðan Þjóðvegar og rennur til suðurs yfir veginn. Umfang bakflæðisins er þó að nokkru leyti háð gildi Manning stuðulsins og ber því að taka niðurstöðum með fyrirvara.

Næmnigreining á áhrifum Manning stuðuls og upplausn reiknins sýnir að niðurstöður hermana eru töluvert háðar hvoru tveggja en mismikið eftir því hvar í farveginum er skoðað og hvert hámarksrennslið er. Því neðar í farvegi og þeim mun hærra rennsli sem um er að ræða þeim mun meiri verða áhrifin, eins og við er að búast. Manning stuðullinn virðist hafa talsvert meira að segja en upplausnin. Rétt er að gera ráð fyrir a.m.k. 15% óvissu þegar niðurstöður líkanreikninganna eru túlkaðar. Auk þessa er rétt að hafa í huga að einhver skekkja er í landlíkaninu og að í flóðahermuninni er hvorki gert ráð fyrir rennsli vatns ofan í hraunin né fyrir rofi eða setflutningi.

Staðbundinn samanburður á flóðahæð og hraða með notkun GeoClaw og HEC-RAS gaf til kynna að sambærilegra niðurstaða má vænta svo lengi sem þversniðin sem notuð eru til útreikninga í HEC-RAS lýsa landlíkaninu nægilega vel. Það er því ljóst að í mörgum verkefnum nýtist vel að nota einvíða reikninga með HEC-RAS til að reikna flóðahæð og hraða, en í þeim tilfellum sem krefjast þess að fylgja flóðvatninu eftir, dreifingu þess og magni innan mismunandi farvega er nauðsynlegt að nota tvívíða reikninga líkt og í GeoClaw.

Þakkir

Bráðabirgða stafrænt hæðarlíkan TanDEM-X var fengið hjá DLR í tengslum við verkefnið IDEM_GEOL0123,
https://tandemx-science.dlr.de/cgi-bin/wcm.pl?page=proposals_summary_IntermediateDEM;id=123

Heimildaskrá

- P. Alho, P., Roberts, M., & Käyhkö, J. (2007). Estimating the inundation area of a massive, hypothetical jökulhlaup from northwest Vatnajökull, Iceland. *Natural Hazards*, 41(1), 21-42.
- Berger, M. J., George, D. L., LeVeque, R. J., & Mandli, K. T. (September 2011). The GeoClaw software for depth-averaged flows with adaptive refinement. *Advances in Water Resources*, 34(9), 1195-1206. doi:10.1016/j.advwatres.2011.02.016
- DLR. (18. 12 2013). TanDEM-X Ground Segment. DEM products Specification Document. (3.0).
- George, D. (20. July 2011). Adaptive finite volume methods with well-balanced Riemann solvers for modeling floods in rugged terrain: Application to the Malpasset dam-break flood (France, 1959). *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 66(8), 1000-1018.
- Ilyinskaia, E., Gudmundsson, M. T., & Larsen, G. (Eds.). (2015). Catalogue of Icelandic Volcanoes. IMO, IES-UI, NCIP-DCPEM.
- Ísaksson, S. P. (1. júní 1985). Stórhlaup í Jökulsá á Fjöllum á fyrri hluta 18. aldar. *Náttúrufræðingurinn*, bls. 165-191.
- Jóhannesson, T., Þórarinsdóttir, T., Pagneux, E., Crochet, P., & Jensen, E. H. (28. ágúst 2014). Mat á vatnshæð í jökulhlaupi í Jökulsá á Fjöllum vegna hugsanlegs eldgoss í eða við Bárðarbungu 2014. Veðurstofa Íslands.
- Emmanuel Pagneux og Tinna Þórarinsdóttir (2016). Bárðarbunga 2014 CE eruption: Simulation of a hypothetical, 180,000 m³/s jökulhlaup in the river Jökulsá á Fjöllum - Early investigations into inundation extent between Dyngjujökull and Vaðalda. Map 1:90.000. Reykjavík: Icelandic Meteorological Office. DOI: 10.13140/RG.2.1.1570.6486.
- Polar Geospatial Center. (2016). *ArcticDEM Documentation and User Guidance*. Saint Paul, Minnesota: Polar Geospatial Center, University of Minnesota.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2016). HEC-RAS river analysis systems. Hydraulic reference manual. California: Hydrologic Engineering Center.

Viðauki A. Vinnsla landlíkans

A.1 Grunnöggn

Þegar ljóst var að ekki yrði hægt að nota ArcticDEM sem landlíkan var fyrst óskað eftir öllum tiltækum hæðargögnum sem Vegagerðin ætti nú þegar á rannsóknarsvæðinu. Niðurstaðan var sú að talsvert skilaði sér af afmörkuðum reitum en þó ekki nóg til að þekja allan farveg Jökulsár á Fjöllum en það er nauðsynlegt fyrir líkankeyrslurnar. Umfang þessara svæða má sjá nánar á myndum 16 og 17. Um var að ræða hæðarpunkta og brotlínur afhentar sem textaskrár (x,y, z hnitalistar). Ljóst var að afla þyrfti frekari hæðargagna til þess að unnt yrði að búa til samfellt landlíkan frá upptökum árinna að endamörkum rannsóknarsvæðisins en þau miðuðust u.þ.b. við norðurmörk svæðisins sem kallast Model 4.

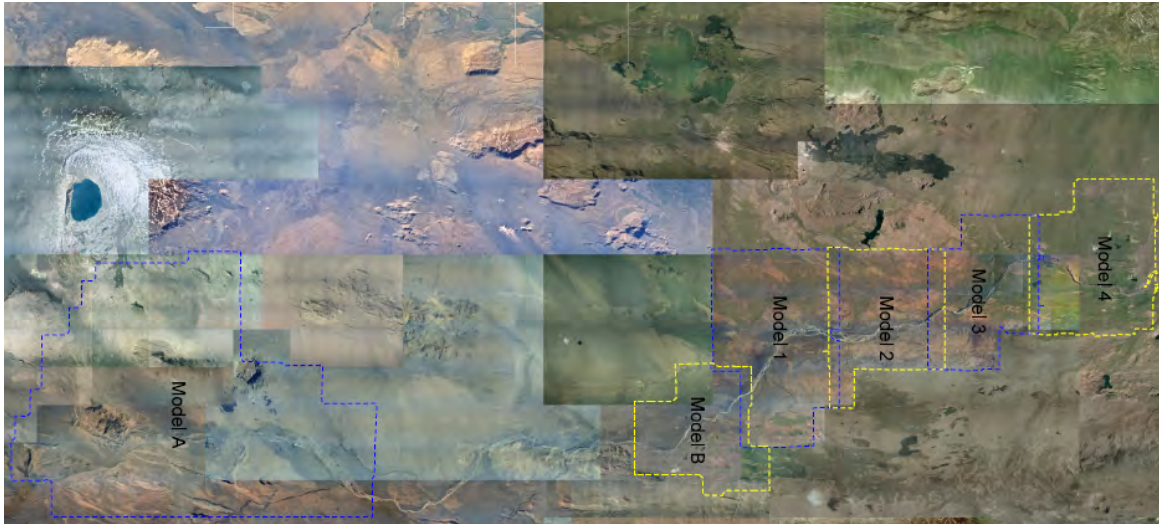
Eftir umræður og eftirgrennslan innan Veðurstofunnar var ljóst að hægt yrði að brúa bilið með hæðargögnum úr ýmsum áttum sem stofnunin átti eða hafði aðgang að. Þar vóg þingst svokallað TanDEM-X landlíkan (DLR, 2013), sem er landlíkan unnið upp úr ratsjarmælingum gervitungla, en þau gögn þekja að mestu það svæði sem upp á vantaði.

Auk TanDEM-X gagnanna þyrfti að bæta við gögnum úr LiDAR mælingum frá Jarðvísindastofnun af hinu nýja Holuhrauni, LiDAR mælingum Veðurstofu Íslands og Jarðvísindastofnunar af sporði Dyngjujökuls og loks gögn fyrir nokkur jaðarsvæði sem fylla þyrfti upp í en voru þó ekki talin hafa umtalsverð áhrif á líkankeyrslurnar. Til þess voru annars vegar notuð óútgefin gögn úr frumvinnslu ArcticDEM 2x2m, sem VÍ hafði aðgang að og landlíkan ÍSOR frá 2008, en það er landlíkan sem Íslenskar Orkurannsóknir útbjuggu úr IS50V hæðargögnum frá Landmælingum Íslands og öðrum opinberum hæðargögnum s.s. Orkugrunnkortum Orkustofnunar.

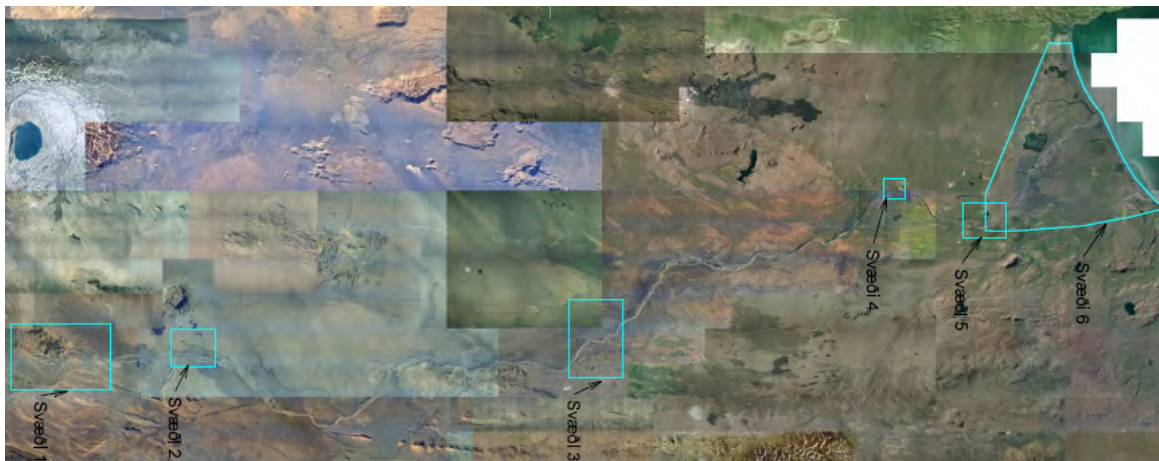
Á mynd 18 má sjá umfang þessara gagna og hvernig þeim var púslað saman í eitt heildstætt landlíkan. Hið nýja samsetta landlíkan fékk vinnuheitið „TanDEM-Plus“ og verður það heiti notað héðan í frá. Í töflu 2 má svo sjá upplýsingar um upplausn og áætlaða nákvæmni í hæð, bæði algilda (e. absolute) og afstæða (e. relative) fyrir áður nefnd grunnöggn en fjallað verður nánar um upplýsingarnar í kaflanum nákvæmni, áreiðanleiki og gæðamat hér á eftir.

Tafla 2. Upplausn og áætluð nákvæmni grunnagna (algild og afstæð).

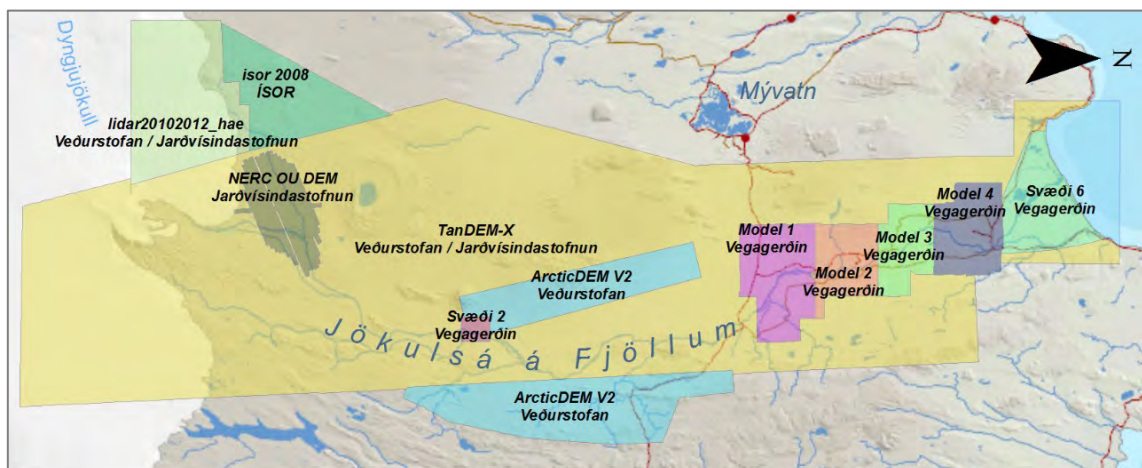
Gögn (nafn)	Upplausn(m x m)	Algild nákv. í	Afstæð nákv. í
lidar20102012_hae	5	1	0.25
Isor 2008	25	10	5
Svæði 2	10	2	1
Svæði 6	10	2	1
Model 4	10	2	1
Model 3	10	2	1
Model 2	10	2	1
Model 1	10	2	1
NERC OU DEM	1	1	0.25
ArcticDEM V2	2	2	1
TanDEM-X	10	10	2



Mynd 16. Svokölluð „Model“ afhent af Vegagerðinni. Norðurátt er til hægri á mynd.



Mynd 17. Svokölluð „Svæði“ afhent af Vegagerðinni. Norðurátt er til hægri á mynd.



Mynd 18: Heiti og uppruni grunngagna í TanDEM-Plus landlíkaninu.

A.2 Markmið og forsendur

Áður en þeim aðferðum, sem notaðar voru til að útbúa hið nýja landlíkan, er lýst er við hæfi að lýsa stuttlega þeim forsendum og markmiðum sem að baki lágu. Eins og áður hefur verið minnst á var aðalmarkmiðið að útbúa samfellt landlíkan, sem næði yfir allan farveg Jökulsár á Fjöllum, frá upptökum árinna að endamörkum rannsóknarsvæðisins. Þar að auki var markmiðið að aðlaga landlíkanið að vatnafari á svæðinu þannig að breiðir vatnsfletir árinna væru sem sléttastir og halli nokkuð réttur miðað við raunveruleikann. Einnig fól aðlögun að vatnafari í sér að ganga þannig frá landlíkaninu að vatn sem látið er „flæða“ eftir yfirborðinu í líkankeyrslum renni eðlilega eftir landslaginu en stöðvist ekki við manngerðar hindranir. Dæmi um slíkar hindranir eru t.d. brýr sem mynda oft hindranir í vatnsfarvegum í hefðbundnum landlíkönum í sæmilega góðri upplausn.

Mikilvægasta forsendan sem gefin var í upphafi var sú að hæðargögn, afhent af Vegagerðinni, yrðu notuð sem hæðarviðmiðun þ.e. þau voru álitin réttust hvað varðar hæð og önnur gögn þyrftu að passa við. Af því leiddi sú regla að hæðargögn frá Vegagerðinni voru alltaf notuð umfram önnur gögn nema ef til voru gögn af sama svæði í betri upplausn. Dæmi um slíka undantekningar er þar sem TanDEM-X gögn voru notuð í staðinn fyrir gögn frá Vegagerðinni á Svæði 1, Svæði 3, Model A og Model B (myndir 16, 17 og 18). Þar voru gögn Vegagerðarinnar í upplausninni 20x20m en TanDEM-X með helmingi betri upplausn eða 10x10 m. Brotlínur af þessum svæðum voru hins vegar notaðar eins og af öðrum svæðum ef þær voru á annað borð tiltækar.

A.3 Aðferðir

Þegar búið var að ákveða að nota hæðargögn Vegagerðarinnar sem hæðarviðmiðun var fyrsta skref í gagnavinnslunni að skoða hvernig þau gögn féllu almennt saman innbyrðis en fyrirfram var ekki búist við að þar yrði mikill munur enda ljóst að uppruni þeirra væri sá sami. Framkvæmd var einföld mismunargreining, þar sem eitt landlíkan er dregið frá öðru þar sem þau skarast, og var niðurstaðan sú að munur milli gagnanna væri ekki teljandi en meðaltalsmismunur í hæð reyndist vel innan marka afstæðrar nákvæmni þeirra (þ.e. innan við +/- 1 m). Ekki reyndist því þörf á að hliðra einstaka svæðum til í hæð til að þau féllu vel saman.

Þar sem einu gögnin sem féllu að mörkum hæðargagna Vegagerðarinnar að einhverju ráði voru TanDEM-X gögnin og var því næsta skref að athuga hvernig þessi gögn féllu saman. TanDEM-X gögnin koma í sporvöluhæðum og þurfti því fyrst að leiðrétta þau með láfleti (e. geoid) til að fá hæð yfir sjávarmáli í landshæðakerfinu. Notað var nýjasta láflatarlíkanið frá Landmælingum Íslands til þess verks. Eftir leiðréttinguna voru áður nefnd gögn borin saman með einfaldri mismunargreiningu og reyndist meðaltalsmismunur í hæð þessara gagna einnig ásættanlegur og innan afstæðrar hæðarnákvæmni TanDEM-X gagnanna (þ.e. +/- 2m). Ekki reyndist því nauðsynlegt að hliðra TanDEM-X gögnunum til í hæð svo þau féllu betur að hæðargögnum Vegagerðarinnar. Öðrum hæðargögnum, sem hafa verið nefnd, var síðan hliðrað í heild upp eða niður í hæð m.v. TanDEM-X gögnin þannig að mismunur yrði sem minnstur á mörkum þeirra og sérstaklega í og við farveg Jökulsár á Fjöllum þar sem svo bar við.

Öll gagnavinnsla fór fram í landfræðilega upplýsingakerfinu ArcGIS en þar er mögulegt að halda utan um hæðargögn af mismunandi upplausn á handhægan hátt í svokölluðu Terrain

Dataset² vektor gagnasniðmáti (mynd 19). Fyrsta skref í því ferli var að umbreyta öllum hæðargögnum í vektor fitjur (e. features), hæðarpunkta og brotlínur, ef þau voru ekki þannig til að byrja með. Flest hæðargögnin komu sem einfaldir hnitalistar en önnur voru rastar sem þurfti að umbreyta í punktafitjur. Ekki verður farið út í smáatriði hér hvernig innflutningi gagna í Terrain Dataset var nákvæmlega háttáð enda ekki aðalatriðið en eins og áður sagði var öll vinnsla framkvæmd með hefðbundnum tólum í ArcGIS.



Mynd 19. Terrain gagnasniðmát í ArcGIS og útlitsdæmi.

Eitt gagnsett í viðbót, sem Vegagerðin afhenti í upphafi verksins, var flákaþekja (e. polygon) sem innihélt mörk farvegi breiðra áa. Eftir að búið var að umbreyta öllum hæðargögnum í punktafitjur var þessi flákaþekja notuð til að velja alla hæðarpunkta sem féllu innan farvega og eyða þeim úr viðkomandi gagnasettum. Var það fyrsta skrefið í svokallaðri aðlögun landlíkansins að vatnafari. Ástæðan fyrir þessu skrefi er sú að punktar í farvegum, sem dregnir eru úr landlíkönunum, geta innihaldið töluverðar skekkjur m.a. vegna þeirra aðferða sem notaðar eru við framleiðslu þeirra. TanDEM-X landlíkanið er t.d. slæmt hvað þetta varðar. Mynd 20 sýnir dæmi um slíkar villur í farvegum, fyrir og eftir að hæðarpunktum í farvegi hefur verið eytt. Með því að eyða þessum hæðarpunktum er betur tryggt að Terrain gagnasniðmátið búi til sléttan flöt milli árbakkanna, sérstaklega þegar brotlínur þeirra eru einnig tiltækar.

Næsta skref í aðlögun að vatnafari fólst í að fjarlægja manngerðar hindranir úr líkaninu það reyndist aðeins nauðsynlegt á tveimur stöðum þar sem brýr þvera Jökulsá á Fjöllum, á Þjóðvegi 1 við Grímsstaði á Fjöllum og Þjóðvegi 85 við Ferjubakka. Lagfæringin fólst í að klippa burt og eyða brotlínunum, sem afmörkuðu brýrnar og lágu þvert yfir ána, úr gögnunum.

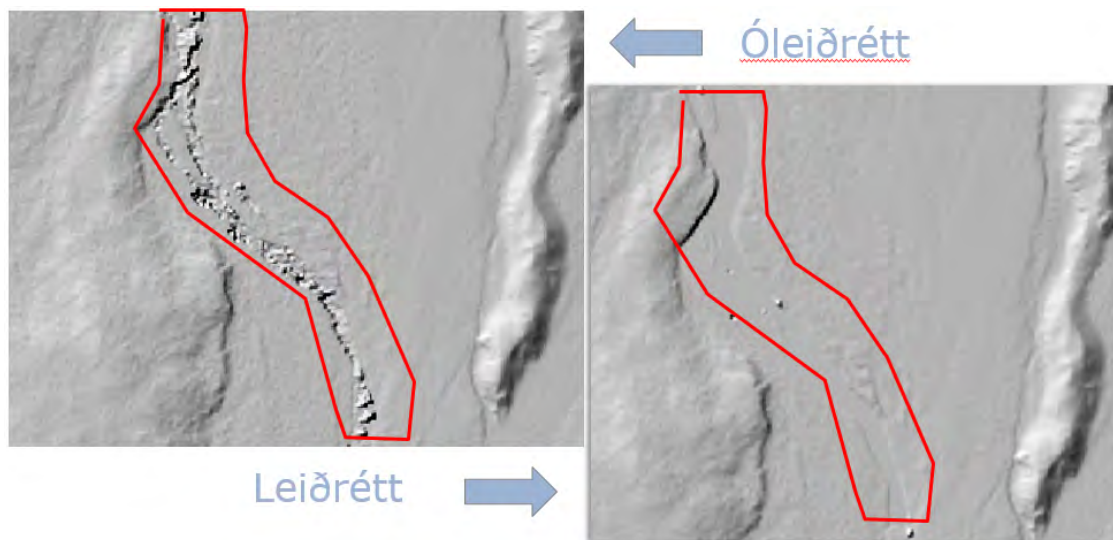
Síðasta skrefið í aðlögun landlíkansins að vatnafari fólst í gerð svokallaðra jafnhæðarþrepa niður eftir öllum farvegi árinna. Markmiðið með þessu skrefi var að reyna að tryggja tiltölulega slétt vatnsborð í farvegi árinna og almennt réttan vatnshalla í heild. Til verksins var áður nefndri farvegaþekju frá Vegagerðinni fyrst skipt sjálfvirkt upp í 500 m langa kafla. Að svo loknu var skiptingin yfirfarinn handvirkt og köflum bætt við eða þeir lagaðar til m.t.t. fossa, flúða eða annarra áberandi fyrirbæra þar sem vatnshalli tekur miklum og snöggum breytingum. Loftmyndir frá Loftmyndum ehf. voru hafðar til hliðsjónar við þá uppskiptingu. Að því loknu var meðalhæð hvers kafla reiknuð út úr Terrain gagnasettinu og hún fastsett

² Sjá nánar: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/terrains/what-is-a-terrain-dataset-.htm> (Skoðað: 13.01.2017)

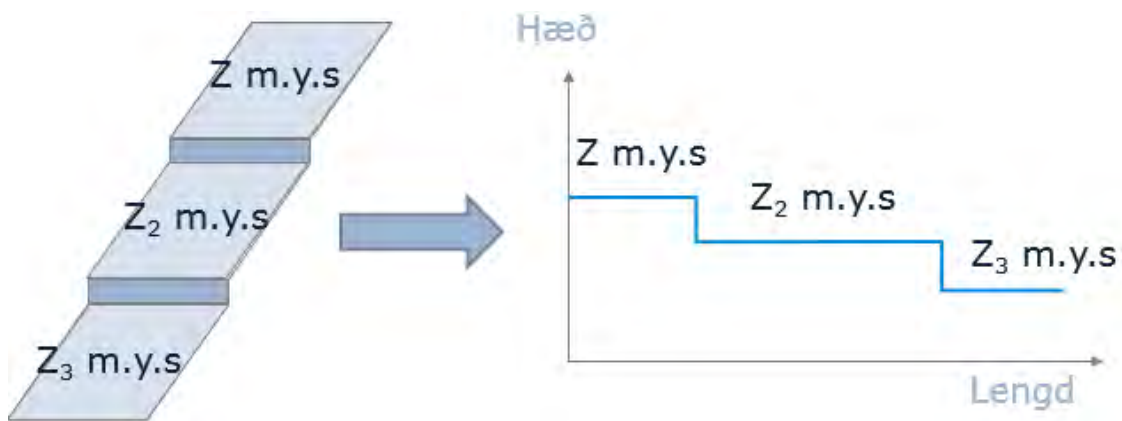
Þannig að hverjum kafla má á eftir líkja við stöðuvatn. Niðurstaðan ætti að vera farvegur sem hefur nokkurskonar tröppugang sé langsníð hans í hæð skoðað (mynd 21).

Hæð hvers þreps var loks skoðuð handvirkt og tryggt hæð hvers þrep væri eðlileg miðað við næstu þrep á undan og á eftir og þar sem meiriháttar hæðarbreytingar áttu sér stað s.s. við fossa. Loks var passað sérstaklega upp á að þar sem brotlínur fyrir árbakka voru fyrir hendi, sem var nánast alls staðar í gögnum frá Vegagerðinni, passaði hæð þreps og brotlínu saman. Jafnhæðarþrep voru ekki notuð á þeim svæðum þar sem brotlínur Vegagerðarinnar voru tiltækar því þær ættu að sýna réttar hæðir vatnsflatarins m.v. landslagið í kring og vera hæðarviðmiðið eins og áður sagði. Mynd 22 sýnir dæmi um mjög mishæðóttan kafla í farveginum og þær hæðir sem endanlega voru settar á hvert þrep.

Að öllu þessu loknu var Terrain gagnasettið loks flutt út sem rastagögn í 10x10 m upplausn en ArcGIS forritið sér um að reikna út og blanda saman gildi fyrir hverja myndeyningu í lokaafurðinni byggt á ákveðnum valkvæðum stillingum. Þannig er í raun mjög einfalt að blanda saman gögnum í mismunandi upplausn. Valið var að hafa niðurstöðuna í upplausninni 10x10m þar sem það var lægsti samnefnarinn, ef svo má að orði komast, af öllum grunngögnum og réð því endanlegri upplausn.



Mynd 20. Hluti farvegar í TanDEM-X fyrir og eftir aðlögun.



Mynd 21. Jafnhæðarþrep í farvegi og hæðarlangsníð (dæmi).



Mynd 22. Jafnhæðarþrep (bláar útlínur) og leiðréttar hæðir þeirra.

A.4 Nákvæmni, áreiðanleiki og gæðamat

Þar sem TanDEM-Plus er samsett landlíkan er ekki hægt að alhæfa um áreiðanleika og/eða gæði þess í heild heldur verður að horfa til þess hvaða grunngögn voru notuð á hvaða svæði. Samkvæmt útgefnum tölum frá framleiðendum viðkomandi hæðargagna má sjá hver uppgæfin nákvæmni í hæð er (tafla 2).

Það er mikilvægt í þessu sambandi að hafa í huga að fyrir líkanreikninga, þar sem megináhersla er á mögulega útbreiðslu jökulhlaupa, hraða þeirra og dýpi, þá skiptir mestu máli að horfa til afstæðrar nákvæmni frekar en algildrar nákvæmni þ.e.a.s hversu vel landlíkan endurspeglar innbyrðis hæðarmun milli staða og þar með hversu vel tekst til að endurgera landslagið sem vatn kæmi til með að flæða um. Hvort einhver ákveðinn punktur í líkaninu sé síðan réttur miðað við landshæðarkerfið eða ekki skiptir minna máli. Þrátt fyrir að upplýsingar um nákvæmni allra hæðargagna í landlíkaninu lægju fyrir var ákveðið að gera

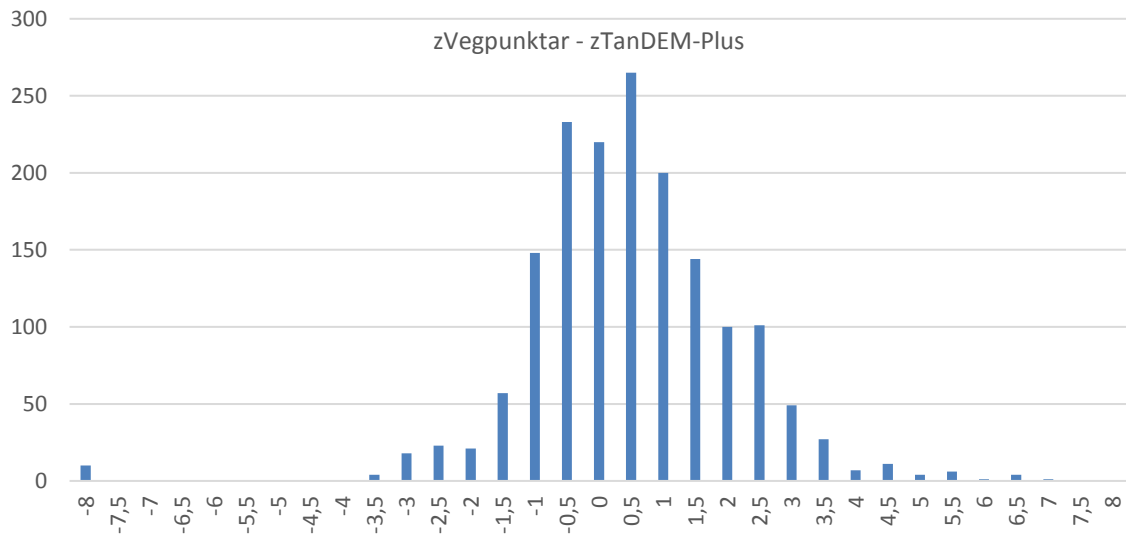
einfalt gæðamat á líkaninu í heild með því að bera saman mældar hæðir í þekktum punktum við hæðir á sama stað úr landlíkaninu. Slíkur samanburður er beint mat á algildri hæðarnákvæmni en gefur einnig hugmynd um afstæða hæðarnákvæmni sem öllu erfiðara er þó að finna út nema með flóknari útreikningum en ætlunin er að fara í hér.

Gagnasett með mældum hæðarpunktum komu frá Landmælingum Íslands og innihéldu m.a. mælingar á fastmerkjum þeirra og síðan punkta frá Vegagerðinni þar sem hæðir á miðlínnum vega hafa verið mældar. Fyrst var athugunarsvæði skilgreint en það var ákveðið að nota aðeins það svæði sem líkanreikningar gáfu til kynna að færi undir vatn miðað við 100.000 m³/s rennsli. Þetta ætti að vera það svæði sem er næst farveginum og því mikilvægt að nákvæmni landlíkansins sé þar ásættanleg. Áður nefnt svæði var notað til að velja mælda punkta úr áður nefndum gagnasettum. Ekkert fastmerki reyndist vera innan svæðisins en hins vegar fengust 1654 punktar mældir á vegum. Skráð hæðarnákvæmni umræddra punkta var á bilinu 0,2–2 m. Niðurstöður samanburðarins má sjá á mynd 23, sem sýnir tíðnigraf mismunarins milli mældrar hæðar og hæðar skv. landlíkani í 0,5 m millibilum.

Niðurstöðurnar gáfu meðaltalsmismun upp á tæpa 0,25 m og staðalfrávik upp á tæpan 1,7 m. Um 84% punktanna eru því innan eins staðalfráviks frá meðaltalsmun sem er í ágætu samræmi við uppgefna algilda nákvæmni hæðargagna frá Vegagerðinni sem, eins og áður sagði, voru notuð sem hæðarviðmiðun við afstillingu annarra hæðargagna. Sé tíðnigrafið skoðað nánar er þó ljóst að það er smávægileg en ákveðin jákvæð hliðrun í heildina. Einnig má sjá móta fyrir öðrum toppi í tíðnigrafinu á bilinu 1,–2,5 m en við skoðun þeirra vegpunkta í kemur í ljós að uppgefin hæðarákvæmni þeirra er í hærri kantinum eða 1,1–2 m sem gæti skýrt þetta frávik að einhverju leyti.

Nokkuð var um punkta talsverðan neikvæðan hæðarmismun sbr. súluna lengst til vinstri á tíðnigrafinu. Reyndust þetta allt vera punktar sem höfðu verið mældir áður en Holuhraun hið nýja rann og því eðlilega töluverður munur þegar komið er hnausþykkt hraunlag í TanDEM-Plus líkanið þar sem áður var vegur. Loks var nokkuð af punktum með talsverðan jákvæðan mun sbr. súlurnar til hægri á tíðnigrafinu. Við nánari skoðun, samanber mynd 24, kom í ljós að meira eða minna allir þessir punktar eru bundnir við ákveðinn kafla á Hólsfjallavegi (vegnúmer 864).

Skráð hæðarnákvæmni umræddra punkta er á á bilinu 1,2–1,7 m sem skýrir ekki nægilega vel þetta mikla misræmi. Við nánari skoðun virðist misræmið eiga uppruna sinn í grunn-gögnunum Model 1 en eins og áður sagði voru þau notuð óbreytt. Þegar hæðarskygging er skoðuð kemur í ljós að svæðið virðist nokkuð lægra og afmarkast nokkuð skýrt og greinilega m.v. aðliggjandi TanDEM-X gögn sem eru hærri. Þetta virðist vera kerfisbundin villa sem eykst í austurátt og má nota hæðarmismun vegpunkta og hæðarskygginguna til að draga brotalínu, sem liggur u.þ.b. í N-S átt, til að afmarka svæðið sbr. mynd 25. Útbreiðsla flóðs miðað við 100.000 m³/s rennsli er sýnd á myndinni til glöggvunar. Á öðrum svæðum er ekki að sjá að þessi munur sé til staðar milli Model 1 og TanDEM-X gagnanna t.d. í sjálfum farvegi Jökulsár á Fjöllum sem er mikilvægast. Niðurstöður líkanareikninganna fyrir öll rennslistilfelli ætti því að túlka með fyrirvara um áreiðanleika hæðargagnanna á svæðinu austan Hólsfjallavegar þar sem Model 1 gögnin mæta TanDEM-X gögnunum.

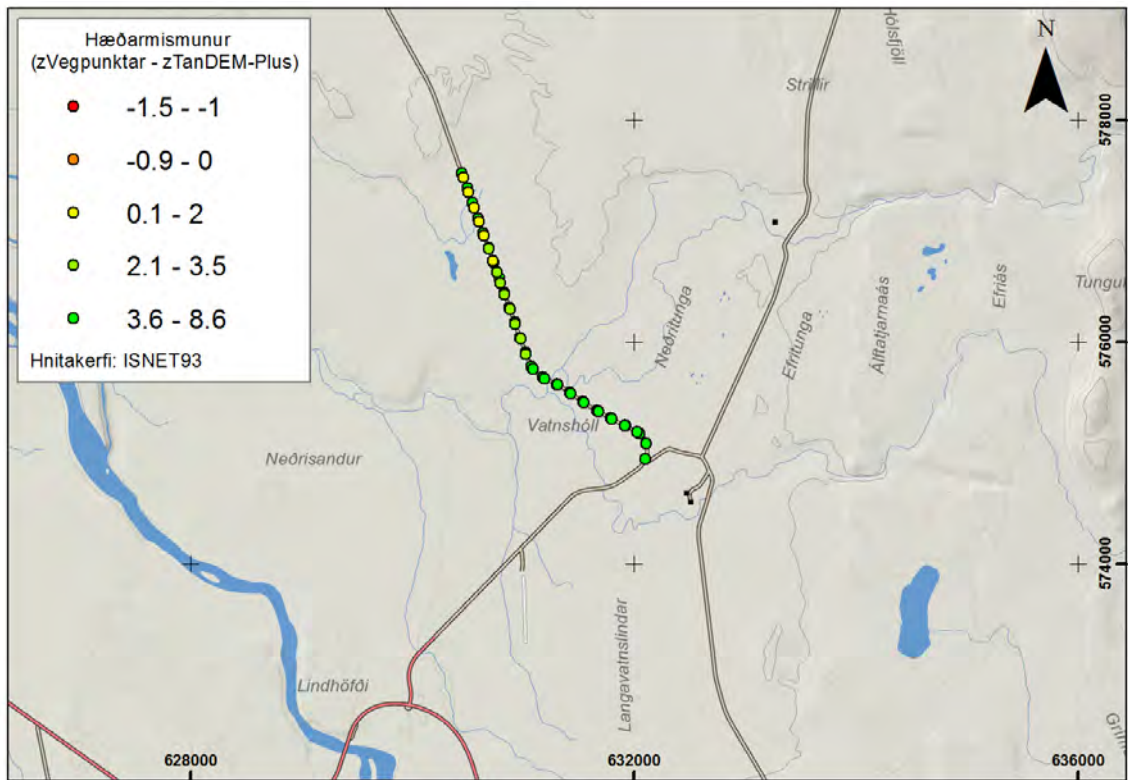


Mynd 23. Tíðnigraf af hæðarmismun mældra vegpunkta og TanDEM-Plus landlíkans.

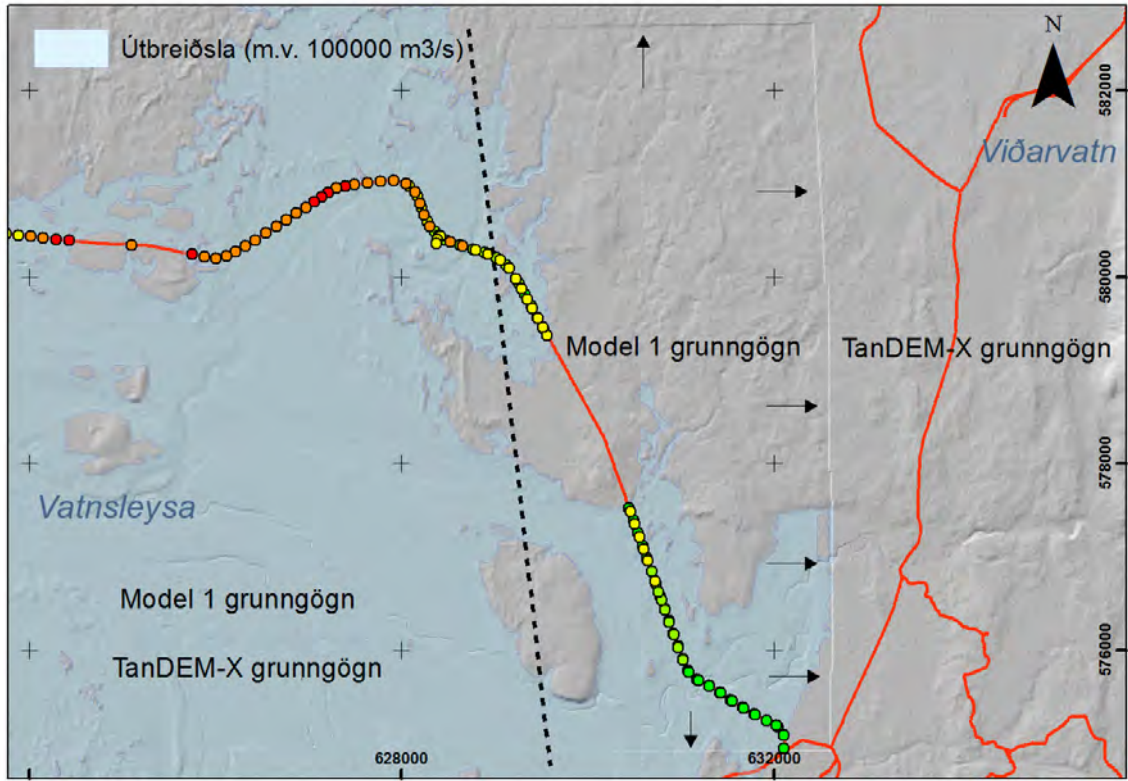
Það gæðamat sem framkvæmt var og hefur verið lýst að ofan er alls ekki tæmandi né framkvæmt samkvæmt ítrustu kröfum t.d. er ekkert tillit tekið til vægi mismunandi vegpunkta eftir hæðarnákvæmni þeirra né hugsanlega að landshæð þeirra sé reiknuð út frá öðru láflatarlíkani en notað var til að leiðrétta TanDEM-X gögnin. Slíkt gæti verið um að ræða hafi þeir verið mældir eftir árið 2011 þegar nýtt láflatarlíkan var tekið í notkun³. Munur á láflatarlíkönum er þó talin í sentimetrum, tugum hið mesta, og því ekki stórvægilegur m.v. uppgefna nákvæmni gagnanna og hæðarnákvæmni vegagerðarpunktanna. Þess ber einnig að geta að vegpunktar eru oft nokkuð hærri en landið í kring, sérstaklega á flatlendi og þar sem um uppbyggða vegi er að ræða. Landlíkan í þeirri upplausn sem hér um ræðir jafnar út og lækkar fyrirbæri sem slík einfaldlega eðli málsins samkvæmt þar sem eitt reiknað meðalgildi er í hverjum 10x10 m reit þess.

Að lokum má því segja að samkvæmt niðurstöðum sem raktar hafa verið hér að ofan, sé landlíkanið TanDEM-Plus, á heildina litið eins áreiðanlegt og verða má og í samræmi við nákvæmni og gæði þeirra grunngagna sem í það fóru á hverju svæði fyrir sig samanber mynd 18 og töflu 2.

³ Ný geóíða f. Ísland, <http://www.lmi.is/um-landmaelingar/landshaedakerfi-temp/ny-geoida-fyrir-island/> (Skoðað 23.01.2017)



Mynd 24. Hæðarmismunur vegpunkta og TanDEM-Plus á Hólsfjallavegi.



Mynd 25. Afmörkun svæðis þar sem kerfisbundin hæðarvilla er sýnileg.

Viðauki B. Kort

Kort 1: Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða frá jökuljaðri að þjóðvegi 1.

Kort 2: Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða við Grímsstaði.

Kort 3: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 3.000 m³/s.

Kort 4: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 3.000 m³/s.

Kort 5: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 10.000 m³/s.

Kort 6: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 10.000 m³/s.

Kort 7: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 30.000 m³/s.

Kort 8: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 30.000 m³/s.

Kort 9: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 100.000 m³/s.

Kort 10: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli 100.000 m³/s.

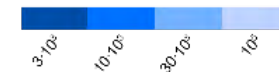
Jökulsá á Fjöllum

Kort 1: Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða frá jökuljaðri að þjóðvegi 1

Sviðsmyndir

Framrás flóða: Dyngjujökull
 Hryfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$
 Hámarksrensli: 3000, 10.000, 30.000 og $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Útbreiðsla eftir hámarksrensli (m^2/s)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw samt líða bráðabirgðisálgáfu af Tandem-X, NERC og Loftmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Kelluvörpun Lamberts SNG3
 Samgöngukerfi og ómefni: LM 2014
 Hæðarskygging: DLR, ISOR, Loftmyndir ehf
 Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
 Tinna Þórarinsdóttir & Eimmanuel Pagneux
 Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson & Eimmanuel Pagneux
 Kortagerð: Eimmanuel Pagneux
 Dagefning: 13. janúar 2017



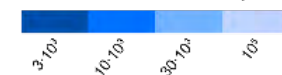
Jökulsá á Fjöllum

Kort 2: Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða við Grímsstaði

Sviðsmyndir

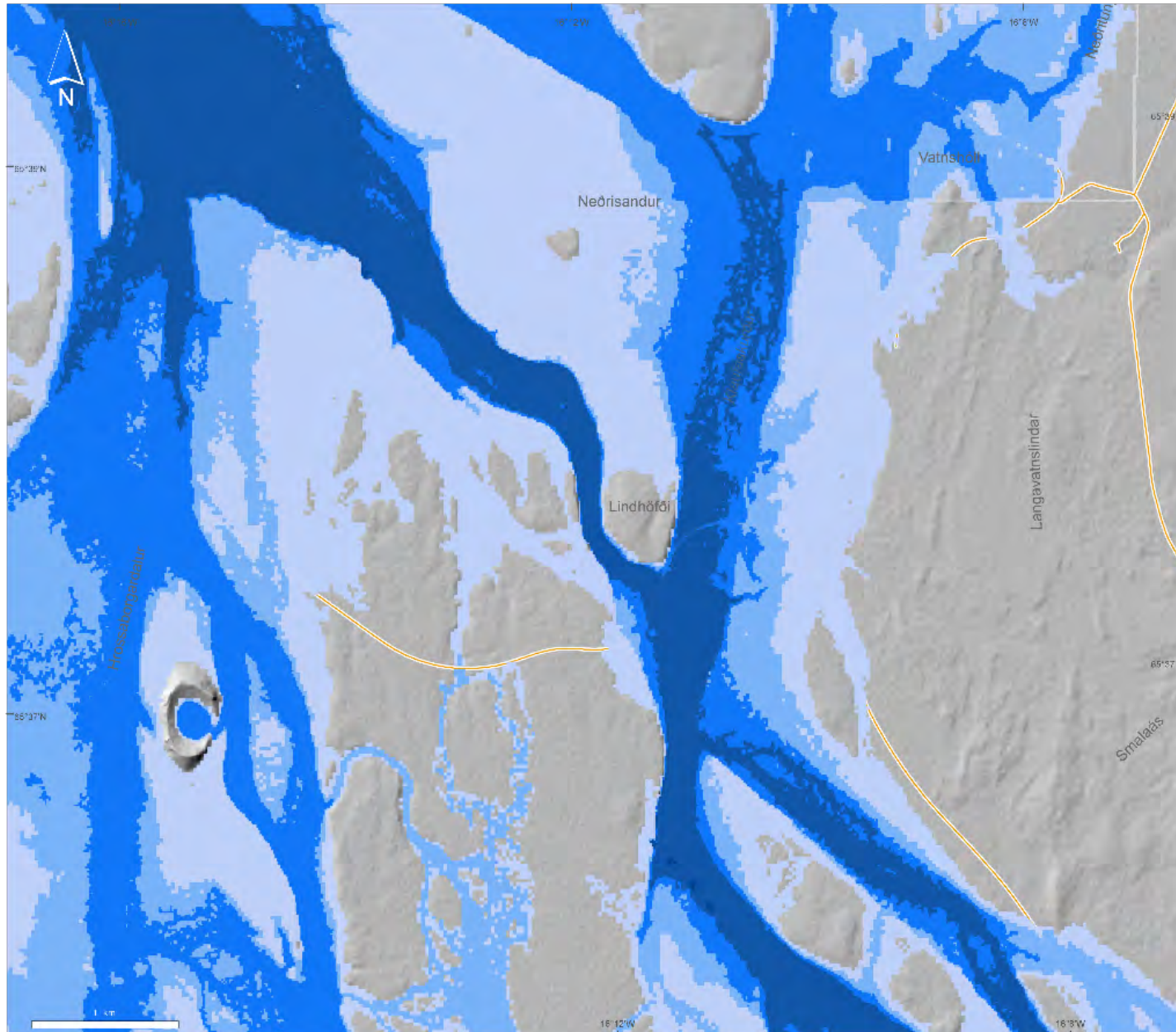
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: 0.05 s/m^{23}
Hámarksrennsli: 3000, 10.000, 30.000 og $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Útbreiðsla eftir hámarksrennsli (m^3/s)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw
sambíða bráðabirgðauglú'u af Tandem-X,
NERC og Loftmynda hæðaríkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's ISN93
Samgöngukerfi og óræfni: LMI 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Loftmyndir.chf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gyfladóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðaríkans: Bögi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



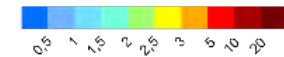
Jökulsá á Fjöllum

Kort 3: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við Þjóðveg 1 við hámarkssrennslu

Sviðsmynd

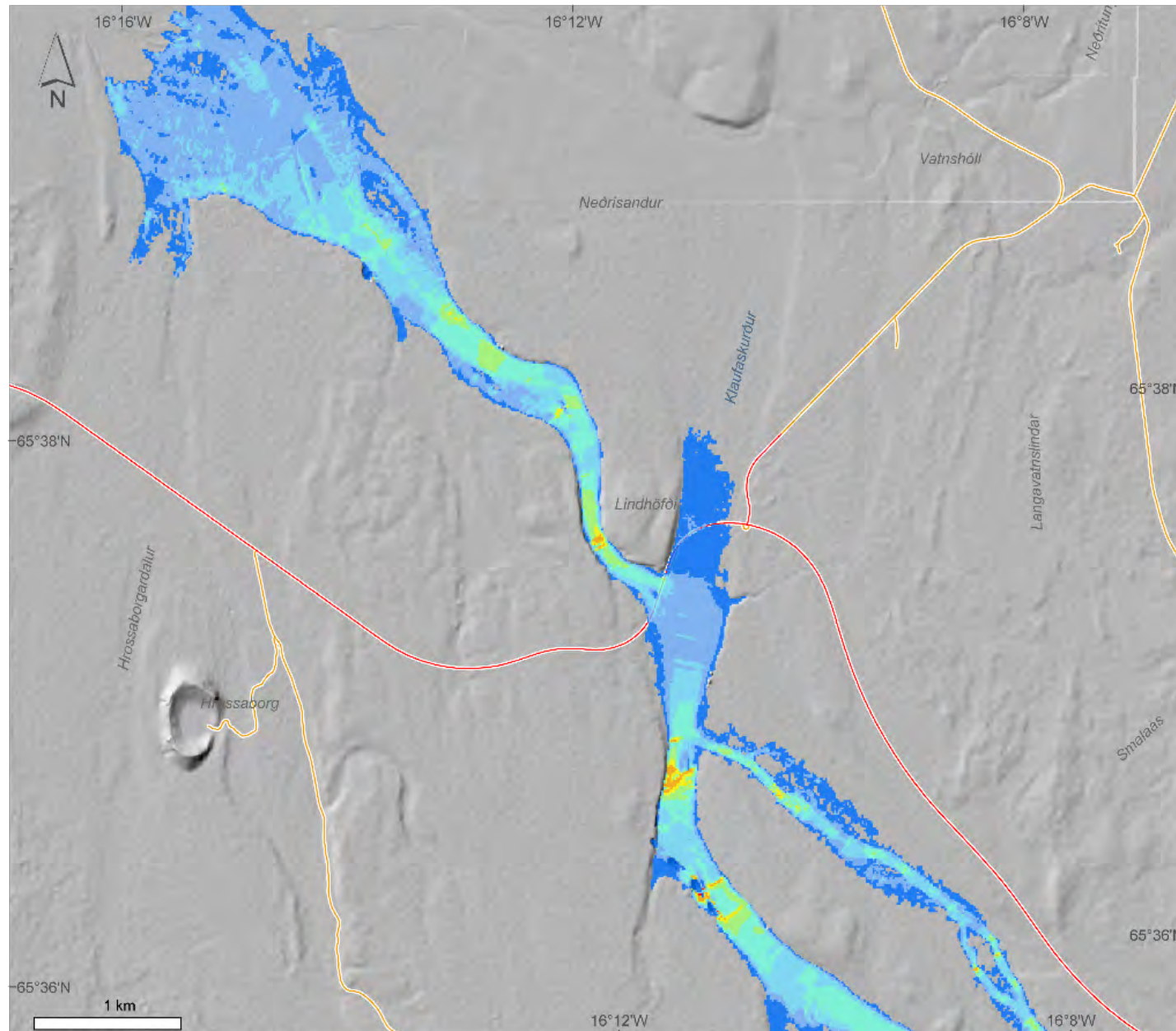
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1/2}$
Hámarkssrennslu: $3.000 \text{ m}^2/\text{s}$

Straumhraði (m/s)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw samt líta bráðabirgðingafu af Tander-X, NERC og Lofmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's IS83
Samgöngukerfi og örnefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



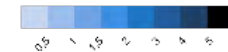
Jökulsá á Fjöllum

Kort 4: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli

Sviðsmynd

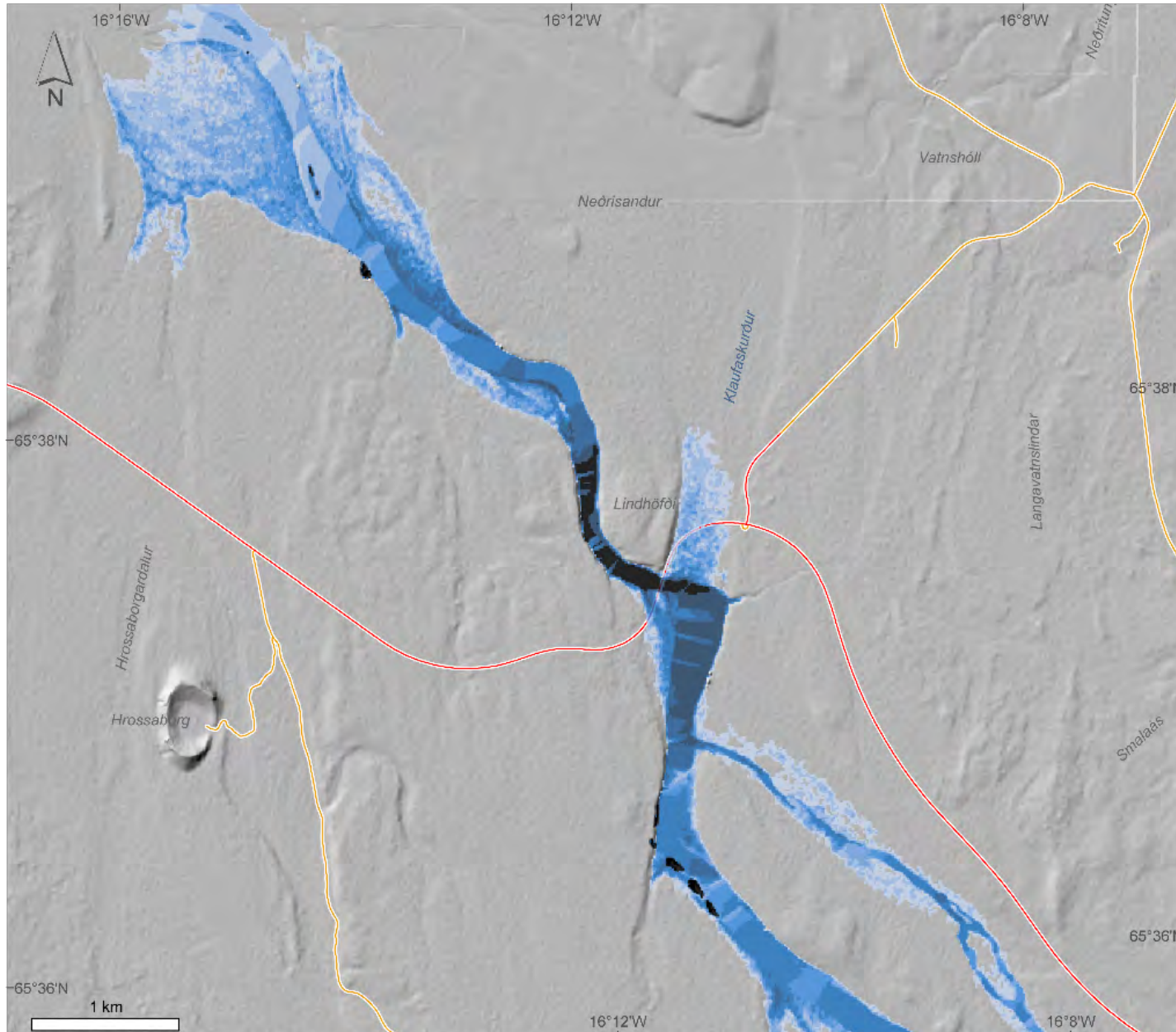
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$
Hámarksrennsli: $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Vatnsdýpt (m)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw
samt líka bráðbirgðsúgafu af Tander-X,
NERC og Lofmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's IS83
Samgöngukerfi og örnefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



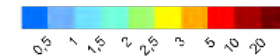
Jökulsá á Fjöllum

Kort 5: Straumhraði líkanreiknaðra flóða við Þjóðveg 1 við hámarksrensli

Sviðsmynd

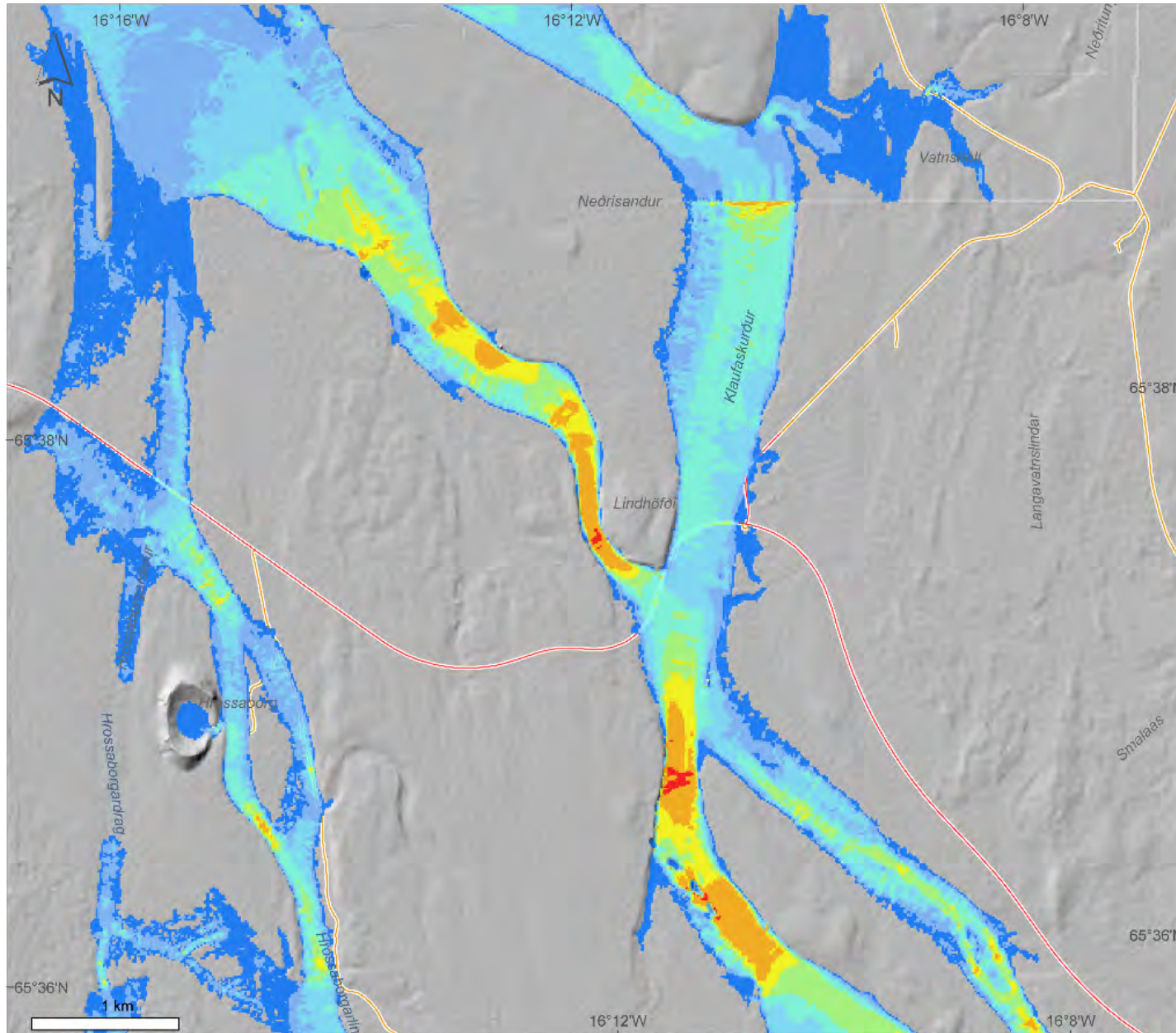
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1/2}$
Hámarksrensli: $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Straumhraði (m/s)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw samt líta bráðabirgðingafu af Tandem-X, NERC og Lofmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's IS83
Samgöngukerfi og örnefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



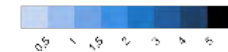
Jökulsá á Fjöllum

Kort 6: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli

Sviðsmynd

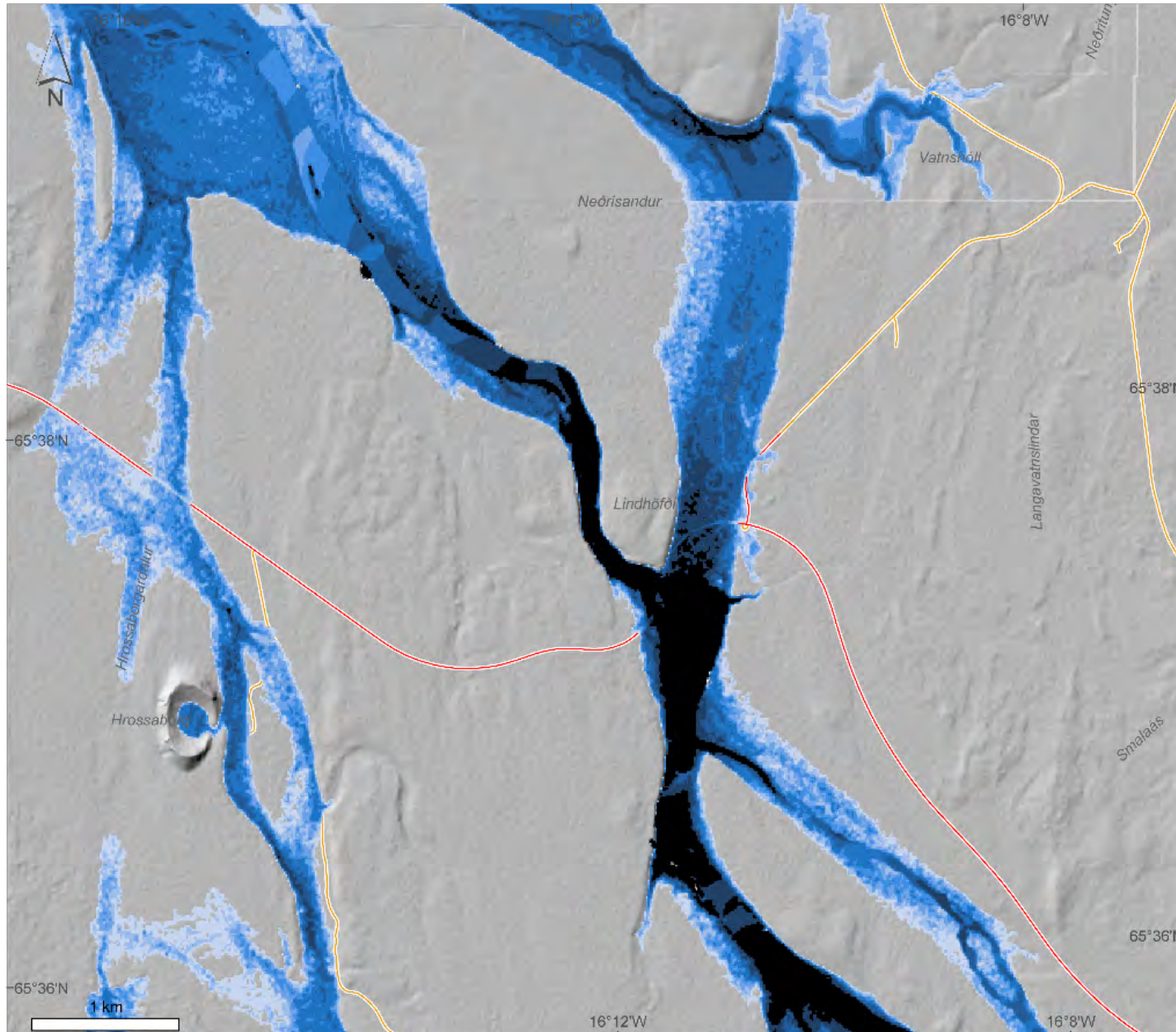
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$
Hámarksrennsli: $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Vatnsdýpt (m)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw
samt líða bráðabirgðsriggafu af Tandem-X,
NERC og Lofmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lamberts: ISNS3
Samgöngukerfi og örnefni: LM: 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



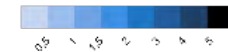
Jökulsá á Fjöllum

Kort 8: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrennsli

Sviðsmynd

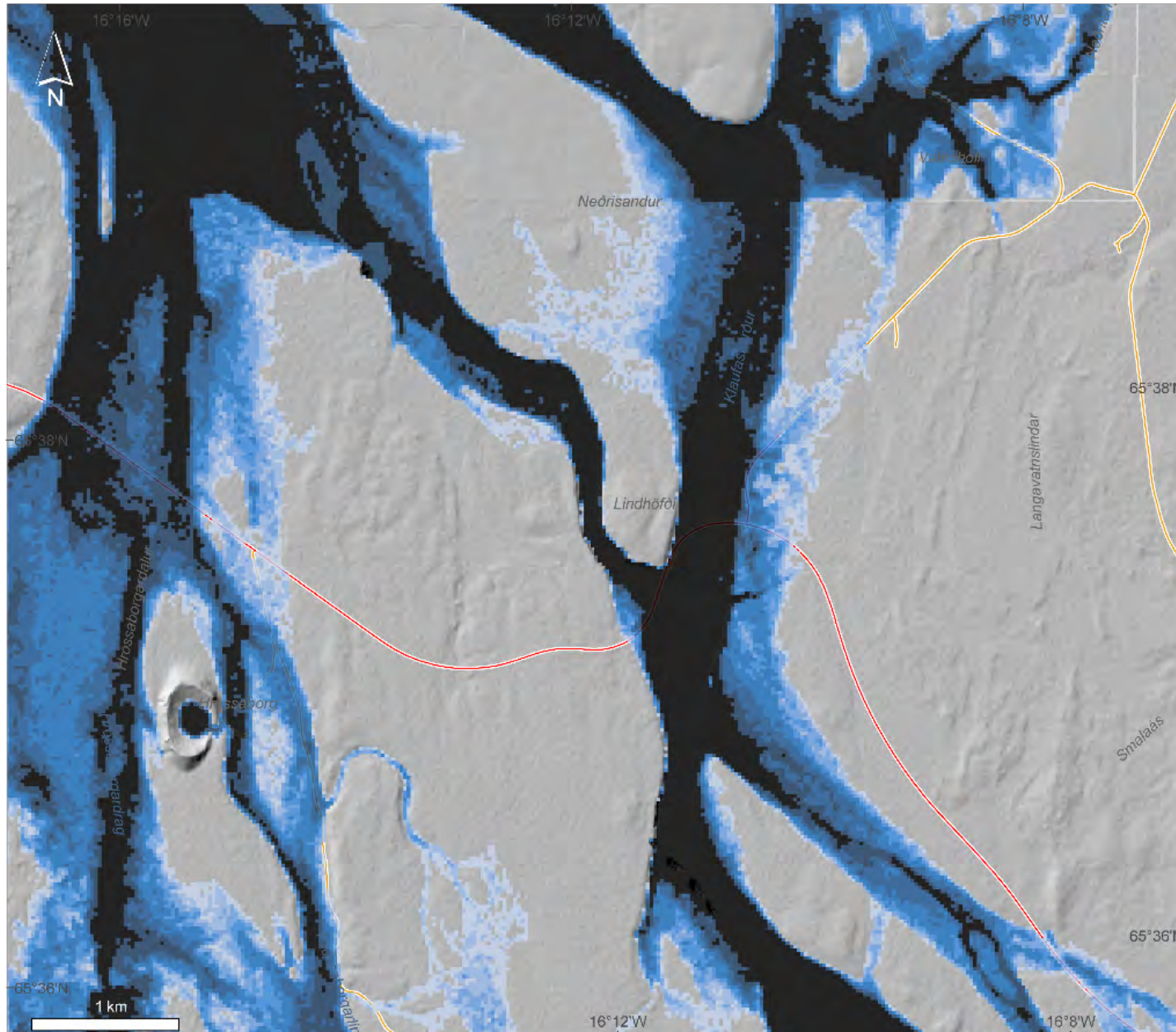
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfistuðull: 0.05 s/m^{1/3}
Hámarksrennsli: 30.000 m³/s

Vatnsdýpt (m)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw samt líta bráðabirgðingafu af Tandem-X, NERC og Lofmynda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's ISN93
Samgöngukerfi og örnefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



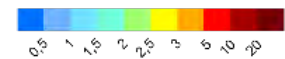
Jökulsá á Fjöllum

Kort 9: Straumhraði
líkanreiknaðra flóða við
Þjóðveg 1 við
hámarkssrensli

Sviðsmynd

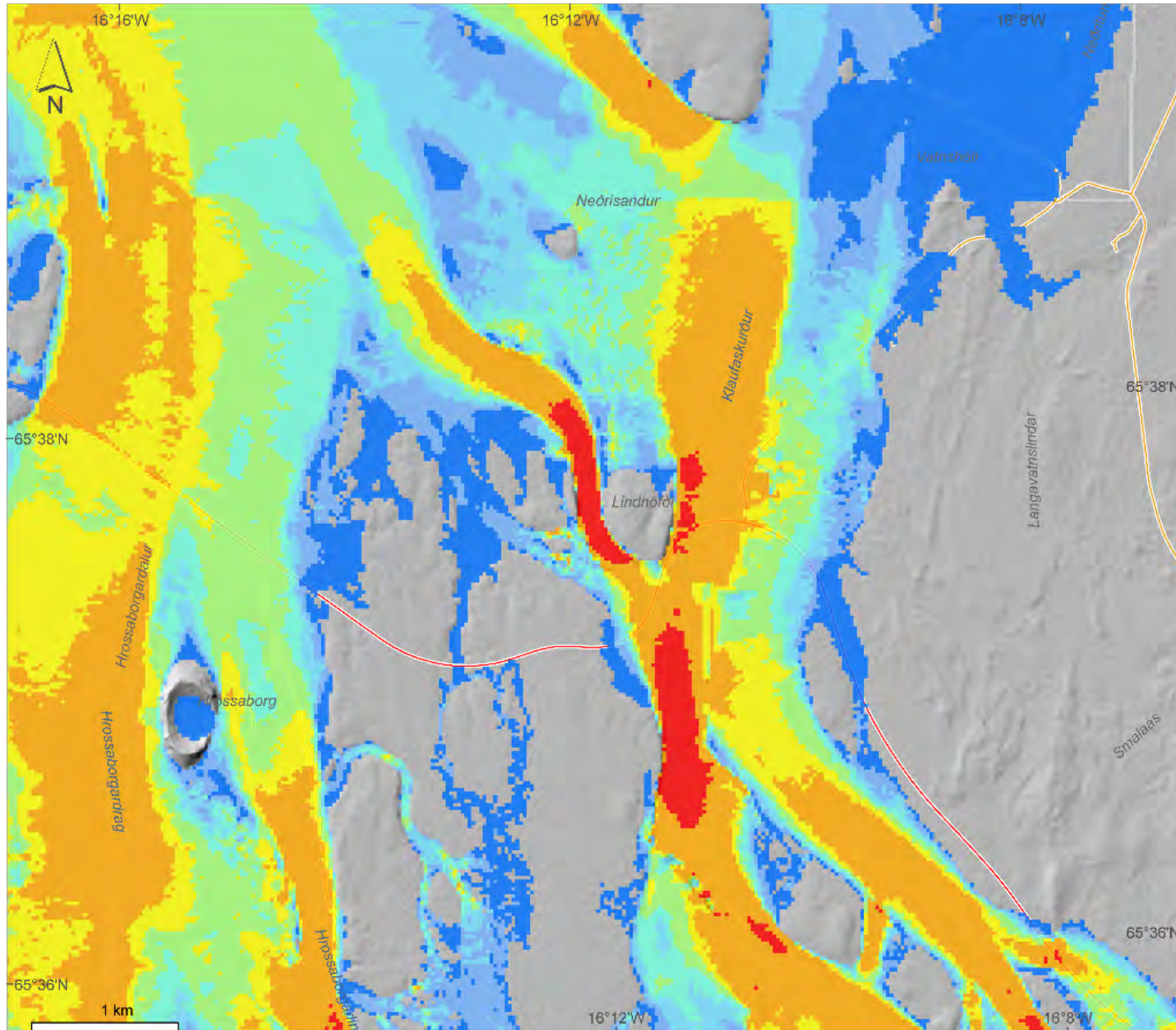
Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: 0.05 s/m^{1/3}
Hámarkssrensli: 100.000 m³/s

Straumhraði (m/s)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw
samt líða bráðabirgðsúlgafu af Tander-X,
NERC og Lofmýnda hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's ISN93
Samgöngukerfi og örnefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmýndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gylfadóttir,
Tinna Þórarinnssdóttir & Emmanúel Pagneux
Vinnsla hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanúel Pagneux
Kortagerð: Emmanúel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017



Jökulsá á Fjöllum

Kort 10: Vatnsdýpt líkanreiknaðra flóða við þjóðveg 1 við hámarksrensli

Sviðsmynd

Framrás flóða: Dyngjujökull
Hrýfisstuðull: $0.05 \text{ s/m}^{1.5}$
Hámarksrensli: $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Vatnsdýpt (m)



Flóðareikningar voru unnir með GeoClaw
samt íbá bráðabirgðalífgötu af Tandem-X,
NERC og Lofmyndu hæðarlíkanum.

Vörpun og viðmiðun: Keiluvörpun Lambert's SN93
Samgöngukerfi og ómefni: LM 2014
Hæðarskygging: DLR, ISOR, Lofmyndir ehf
Flóðareikningar: Sigríður Sif Gyfladóttir,
Tinna Þórarinsdóttir & Emmanuel Pagneux
Vinna hæðarlíkans: Bogi Brynjar Björnsson &
Emmanuel Pagneux
Kortagerð: Emmanuel Pagneux
Dagsetning: 13. janúar 2017

