

XI. LÍKANREIKNINGAR Á JÖKULHLAUPUM NIÐUR SUÐURHLÍÐAR EYJAFJALLAJÖKULS

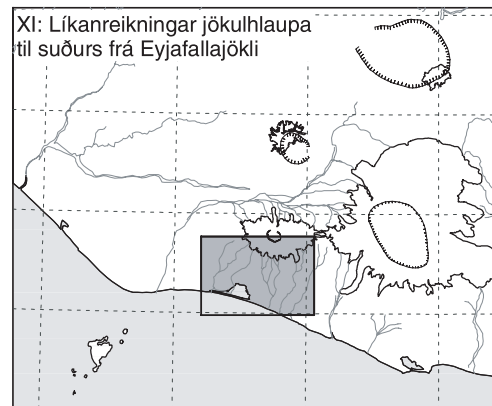
Kristín Martha Hákonardóttir¹, Tómas Jóhannesson¹ og Peter Sampl²

1: Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 8, 150 Reykjavík
2: AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, 8020 Graz, Austurríki

1. Inngangur

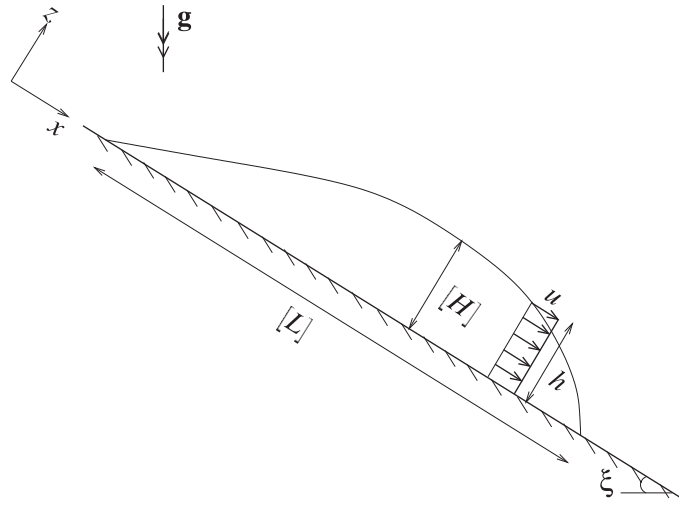
Eldgos í suðurhlíðum Eyjafjallajökuls hefur í för með sér bráðnun jökulíss og jökulhlaup því samfara. Landhalli í suðurhlíðum jökulsins er um 12° þar sem hlíðarnar eru brattastar og þykkt jökulíssins þar er 50-100 m. Sökum þess að jökullinn er tiltölulega þunnur og brattur má gera ráð fyrir því að bræðsluvatn brjóti sér leið jafnharðan undir og ofan á jöklinum í stað þess að safnast upp. Einnig má ætla að jökulhlaupið flytji með sér stærsta hluta þeirra gosefna sem koma upp ásamt jökulruðningi og jarðvegi á leið sinni niður á láglandi. Búast má við að rennsli í jökulhlaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls sé heilli stærðargráðu minna en rennsli í dæmigerðum Kötluhlaupum. Ástæða þess er auk ofantalinna þátta sú að eldgos brjótast tiltölulega hratt upp í gegnum jökulinn og ísbráðnum minnkar því eftir skamman tíma frá gosbyrjun samanborið við eldgos í Kötluöskjunni (Magnús Tumi Guðmundsson, samtal sept. 2004).

Hér á eftir er lýst hermun á flóðum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls (mynd 1) með SAMOS snjóflóðalíkaninu (Zwinger o.fl., 2003). Svo vill til að eðlisfræðilegir eiginleikar vökvaflæðis með frjálsum yfirborði eru í grundvallaratriðum svip-



Mynd 1. Rannsóknarsvæðið.

aðir eiginleikum snjóflóða. Því er unnt að herma jökulhlaup í bröttu landi með snjóflóðalíkani með því að aðlaga stika líkansins að eiginleikum vökvaflæðis. Snjóflóðalíkon eru sérstaklega miðuð við flæði niður brattlendi en það eru mörg líkon fyrir almennt vökvaflæði ekki. Tilgangur hermunarinnar er að kanna stefnu og útbreiðslu hlaupanna þegar þau eru í hámarki á láglandi sunnan jökulsins. Niðurstaðan gefur einkum vísendingar um líklega meginstrauma hlaupanna og þar með líkleg hættusvæði, þegar þau koma fyrst niður á lág-



Mynd 2. Sníð af flóði sem flæðir niður skáplan með hallann ξ miðað við lárétt.

lendið en síður um úthlaups lengd eða hraða og dýpt flóðanna þegar fjær dregur fjallinu.

Umfjöllunin hefst á stuttri umræðu um eiginleika vatnsblandaðra gjóskuhlaupa, s.k. lahar hlaupa. Þvínæst er SAMOS snjóflóðalíkaninu lýst í grófum dráttum. Stærsti hluti umfjöllunarinnar lýsir vali á stikum í SAMOS líkanið miðað við að það sé annars vegar keyrt fyrir vökvaflóð og hins vegar fyrir þurrt kornaflóð.

2. Lahar hlaup

Iverson (1997) hefur ritað yfirlitsgrein um svokölluð lahar hlaup. Í greininni eru lahar hlaup skilgreind sem hlaup sem samanstanda af svipuðu rúmmáls hlutfalli fastefna og vökva (vatns). Með hliðsjón af Kötluhlaupinu 1918 (Haukur Tómasson, 1996) og grófum útreikningum á ísbráðnun og framleiðslu gosfna samfara gosi undir Eyjafjallajökli (Magnús Tumi Guðmundsson, samtal sept. 2004) má gera ráð fyrir því að hlaup

niður suðurhlíðar jökulsins geti innihaldið svipað rúmmálshlutfall af fastefnum (gjósku og rofefnum) og vatni og flokkist þar með sem lahar hlaup (sjá umfjöllun í kafla X).

Mælingar, athuganir og tilraunir á lahar hlaupum hafa sýnt að þau eru í eðli sínu óstöðug og flæða í nokkrum púlsum niður hlíðar (Iverson, 1997). Fremsti hluti hvers púls er þykkasti hluti flæðisins, inniheldur mikið af grófum efnum og þórubrýstingur þar er lítill sem enginn. Þar fyrir aftan eru fínri efni sem eru algjörlega vatnsmettuð og flæðir massinn líkt og vökvi vegna hás þórubrýstings. Lahar hlaup eru því í eðli sínu bæði lík þurru kornóttu flæði (fremsti hluti), hreinu vökvaflæði (aftari hluti) og blöndu beggja.

3. SAMOS snjóflóðalíkan

SAMOS líkanið er eðlisfræðilegt snjóflóðalíkan sem þróað hefur verið af fyrirtækinu AVL í Graz í Austurríki fyrir austurrísku snjóflóðarannsóknarstofnun-

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial (bu)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \sin \xi - \tan \delta \frac{u}{|u|} (\cos \xi + \lambda u^2 \kappa) - \frac{C_D}{\epsilon b} u |u| - \epsilon K \cos \xi \frac{\partial b}{\partial x}, \quad (2)$$

ina AIATR. Það líkir eftir þunnu flæði með frjálsum yfirborði niður brattar hlíðar. Líkaninu er lýst nákvæmlega af Zwinger o.fl. (2003) ásamt tölulegum lausnaraðferðum. Líkanið er einfasa og samspil milli lofts og snævar eða annars kornótt efnis er því ekkert. Líkanið er tvívítt og dýpshildað og byggir á líkingum þeirra Savages og Hutter (1989). Eðlisfræði SAMOS líkansins verða gerð nánari skil hér að neðan.

Í SAMOS líkaninu er litið á flóðið sem ósamþjappanlegt efni með fasta eðlisþyngd þar sem viðnám er gefið með Mohr-Coulomb jöfnu (sjá kennslubækur í jarðtækni, t.d. Bowles, 1979). Flóðið verður fyrir bæði Coulomb viðnámi við jörðu og hraðaháðu viðnámi. Gert er ráð fyrir því að þrýstingur inni í flóðinu, hornrétt á skriðflöt, sé hýdróstatískur en þrýstingur í stefnu flæðisins sé háður því hvort flóðið er að lengjast eða stytast. Tekið er meðaltal af hreyfijöfnunum yfir þykktina á flæðinu, hornrétt á skriðflötinn. Gert er ráð fyrir því að hraðinn í gegnum þykkt flóðsins sé fastur (sjá mynd 2). Kornamassinn sem settur er af stað í upphafi hefur ákveðið rúmmál (lengd, breidd og þykkt) sem fer allt af stað samtímis, líkt og um stíflubrot (eða brot í snjóþekju) sé að ræða. Í líkaninu er ekki hægt að líkja eftir lahar hlaupi með því að taka tillit til þóruþrýstings í flóðinu. Í staðinn er líkanið hér keyrt fyrir tvö útgildis tilvik; annars vegar alveg þurrt kornafloð og hins vegar vökva.

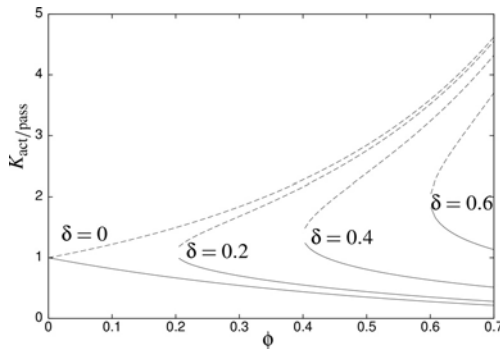
Til fróðleiks eru Savage-Hutter jöfnur í einni vídd með hraðaháðu viðnámi rit-

aðar hér að ofan á einingalaus formi (jöfnur 1 og 2). Jöfnurnar eru settar fram í kartesísku, föstu hnitakerfi, O_{xyz} þar sem x -ásinn vísar niður eftir brekku sem myndar hornið ξ við lárétt og z -ásinn er þvert á brekkuna og vísar upp (sjá mynd 2), þar sem u er hraði, b er dýpt flóðs, δ er dýnamískt núningshorn milli flóðs og jarðar, C_D er einingalaus viðnámsstuðull, K er hlutfall þrýstings í stefnu flóðs (x -stefnu) og hornrétt á brekku (z -stefnu) og ϵ er hlutfall milli dæmigerðrar þykktar og lengdar flóðs, $[H]/[L]$ og er lítil tala fyrir þunn flóð eins og þau sem fjallað er um hér. Fyrri jafnan (1) lýsir massavarðveislu og sú síðari (2) varðveislu skriðþunga. Í jöfnu (2) er aðaljafnvægið á milli hröðunar flóðsins ($\partial u/\partial t + u\partial u/\partial x$), þyngdarhröðunar ($\sin \xi$), Coulomb núnings ($\tan \delta$ -liður) og iðustreymisviðnáms ($C_D u |u| / (\epsilon h)$) ef $C_D \sim \epsilon$. Þegar flóðið hægir á sér getur aflögun þess ($\partial b/\partial x$) farið að hafa áhrif á flæðið. Liðurinn $\lambda u^2 \kappa$ er miðflóttahröðun, þar sem $\kappa \approx \partial \xi / \partial x$ er krappi hlíðar og $\lambda = [L]/[\kappa] \sim \epsilon^{1/2}$, og er því lítil tala.

Savage og Hutter (1989) gera ráð fyrir því að kornótta flæðið hegði sér eins og Mohr-Coulomb efni þar sem þrýstingur í stefnu flóðsins, p_x er mismunandi eftir því hvort flóðið er að lengjast eða stytast en normal þrýstingur í flóðinu, p_z er alltaf hýdróstatískur. Þrýstingsstuðullinn K er skilgreindur sem hlutfallið

$$K = \frac{p_x}{p_z}. \quad 3$$

Hann tekur mismunandi gildi eftir því



Mynd 3. Þrýstingsstuðlarnir $K_{act/pass}$ skv. jöfnu (5) fyrir mismunandi gildi á viðnámshornunum ϕ og δ . Gildi fyrir K_{act} eru sýnd sem heildregin lína og gildi fyrir K_{pass} sem strikuð lína.

hvort flóðið er að lengjast ($\partial u/\partial x > 0$) eða styttest ($\partial u/\partial x < 0$)

$$K = \begin{cases} K_{act} & \text{ef } \partial u/\partial x > 0. \\ K_{pass} & \text{ef } \partial u/\partial x < 0. \end{cases} \quad (4)$$

og

$$K_{act/pass} = 2 \left(1 \mp \sqrt{1 - \cos^2 \phi / \cos^2 \delta} \right) \sec^2 \phi - 1. \quad (5)$$

þar sem ϕ er viðnámshorn efnis (innra viðnám) og δ er viðnámshorn milli efnis á hreyfingu og undirlags. Mynd 3 sýnir gildi þrýstingsstuðulsins fyrir mismunandi viðnámshorn ($\delta < \phi$). Ef $\delta = \phi = 0$ er $K = 1$ og þrýstingur í flóðinu er einsátta og hýdróstatískur eins og í vatni. Þessi aðferðafræði er tekin beint úr jarðtækni. Hún hefur þótt henta vel fyrir kyrrstæðan jarðveg sem annaðhvort er þjappað saman eða leyft að hníga undan eigin þunga út til hliðanna, með því að þrýsta á eða kippa frá lóðréttu þili sem jarðvegurinn hvílir upp að (sjá til dæmis Bowles, 1979).

Ekki eru allir á eitt sáttir um réttmæti þessarar aðferðafræði fyrir kornótt efni á hraðri hreyfingu og er K stundum valið

jafnt einum fyrir slíkt flæði (Eglist, 1983; Pouliquen og Forterre, 2002; Gray o.fl., 2003). Þrýstingur í flæðinu er þá einsátta, sem einfaldar nokkuð tölulega lausn á jöfnum (1) og (2).

4. Keyrslur

SAMOS-líkanið var keyrt á tvo vegu. Annars vegar fyrir vatnsflóð með einsátta og hýdróstatískan þrýsting, þar sem flóðið skríður ekki á undirlaginu. Hins vegar var líkanið keyrt fyrir þurrt flóð þar sem $K_{act/pass}$ þrýstingsstuðlar eru notaðir og flóðið finnur fyrir Coulomb núningi við undirlagið auk hraðaháðs viðnáms. Til þess að keyra líkanið þarf að velja viðnámshornin ϕ og δ og iðustreymisviðnámsstuðulinn C_D . Einnig þarf að velja þykkt og flatarmál upptakasvæðisins þannig að hermunin endurspegli sem best hugmyndir manna um rennsli í jökulhlaupi af völdum eldgoss á þessu svæði. Hér að neðan verður fjallað um möguleg gildi þessara inntaksstuðla.

Líkanreikningarnir miðast við að hlaupvatnið flæði með frjálsum yfirborði úr upptakasvæðinu eftir yfirborði Eyjafjallajökuls. Áhrif þess að flóðið renni einhvern hluta leiðarinnar efst á fjallinu í rásun undir jöklinum eru því ekki könnuð, enda ekki líklegt að þau hafi áhrif á flóðstefnu á láglandi.

4.1. Vatnsflóð: Val á inntaksgildum

Vatn rennur ekki á undirlaginu og fæst því $\delta = 0$. Viðnámshorn vatns er $\phi = 0$. Af þessu leiðir að $K = 1$ og Coulomb núningur við botn dettur út. Iðuviðnámið í jöfnu (2) sér því um að hægja á flóðinu og það þarf að ákvarða stuðulinn C_D .



Mynd 4. Snið flóðfarvegar þar sem dýpi flóðs, h er mun minna en breiddin, b .

Reynslujafna Mannings hefur oft verið notuð til þess að ákvarða núningsstuðla í útreikningum á jökulhlaupum (Nye, 1976; Haukur Tómasson, 1996; Helgi Björnsson, 1992) og er þeirri aðferðafræði beitt hér við mat á iðustreymisstuðlinum C_D . Manning lýsir æstæðu, stöðugu, iðustreymi með jöfnunni

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}, \quad (6)$$

þar sem u er hraði vatns, S er landhalli, n er reynslustuðull með einingar $\{\text{sm}^{-1/3}\}$ og R er hýdrólískur radíus (sjá til dæmis Gerhart o.fl., 1992).

Hýdrólíski radíusinn er reiknaður út frá þversniði farvegar. Ef breidd farvegar er mun lengri en þykkt flóðs (sjá mynd 4) verður hýdrólíski radíusinn um það bil jafn þykkt flæðisins,

$$R = \frac{bb}{b + 2b} \rightarrow b, \quad \text{ef} \quad \frac{b}{b} \rightarrow 0. \quad (7)$$

Stærsti hluti farvega jökulhlaupanna sem hér er lýst virðist falla innan þessa ramma (sjá kafla 5). Ef landhalli er lítill fæst

$$S = \xi \approx \sin \xi. \quad (8)$$

Í suðurhlíðum Eyjafjallajökuls er $\xi \leq 12^\circ$ og gildir nálgunin því ágætlega.

Manning jöfnuna (6) má nú umrita á formið

$$\sin \xi = n^2 \frac{u^2}{b^{4/3}} \quad (9)$$

Eins og hjá Manning má rita jöfnu (2) fyrir æstætt, stöðugt vatnsflæði ($\partial/\partial t=0$, $\partial/\partial x=0$, $\tan \delta=0$). Ritun á einingiformi verður hún

$$0 = g \sin \xi - C_D \frac{u^2}{b}. \quad (10)$$

Þessi jafna lýsir jafnvægi milli þyngdarhröðunar jarðar og iðustreymisviðnáms. Nú má leysa saman jöfnur (9) og (10) fyrir núningsstuðulinn C_D og fæst þá

$$C_D = n^2 \frac{g}{b^{1/3}}. \quad (11)$$

Iðustreymisstuðullinn hefur nú verið ritaður sem fall af Manningsstuðlinum, þyngdarhröðun jarðar og þykkt flóðsins. Með þessari aðferðafræði er gert ráð fyrir því að hlaupið finni fyrir sama viðnámi hvort sem það er í æstæðu flæðiástandi eins og jafna Mannings gerir ráð fyrir, eða tímaháðu ástandi.

Fyrir náttúrulega farvegi í stórum ám hefur Manningstuðullinn verið metinn $n=0,035$, $n=0,065$ fyrir farvegi með miklum runnagróðri og $n=0,15$ ef mikið er af stórum trjám í farveginum (sjá til dæmis Gerhart o.fl., 1992). Íslensk náttúra skartar ekki stórum trjám og runnagróðri í verulegum mæli. Aftur á móti bera jökulhlaup með sér mikið magn fastefna, þar með talið grjóthnullunga og ísjaka, sem auka viðnám í flóðfarveginum. Haukur Tómasson (1996) bakreiknaði Manningstuðul fyrir Kötluhlaupið 1918 í nokkrum þversniðum og fékk út

gildi á bilinu 0,08-0,1. Nye (1976) bakreiknaði n fyrir Grímsvatnahlaup 1972 og fékk $n=0,12$ og Helgi Björnsson (1992) fékk $n=0,08$ fyrir sama hlaup. Nye (1976) og Haukur Tómasson (1996) útskýra há gildi á núningstuðlinum með miklu viðnámi af völdum íss (ísjaka) sem hlaupin bera með sér og stífla jafnvel farvegi að einhverju leyti. Það má því ætla að Manningsstuðullinn fyrir hlaup niður Eyjafjallajökul ætti einnig að vera í hærri enda skalans, einhvers staðar á bilinu 0,05-0,15.

Þar sem lahar hlaup eru í eðli sínu óstöðug fyrirbæri (Iverson, 1997) og farvegir hlaupanna breytilegir, tekur flóðið breytingum í þykkt á meðan það flæðir niður brekku ($\partial b/\partial x \neq 0$). Áhrif slíkra breytinga á viðnámsstuðulinn C_D eru þó óveruleg þar sem flóðþykktin b kemur fyrir í veldinu $1/3$ í jöfnu (11). Áhrif óvissu um nákvæmt gildi á Manningsstuðlinum n hafa mun meiri áhrif á C_D en breytileiki á flóðþykktinni. Því er fasta gildið $b=3$ m valið á flóðþykktina til einföldunar við áætlun á stærð viðnámsstuðulsins C_D . Þá fæst eftirfarandi nálgun

$$C_D \approx 6,8n^2 = 0,07; 0,02; \quad (12)$$

ef $n = 0,1; 0,05$.

4.2. Þurrt kornaflóð: Val á inntaksgildum

Engin gögn eru tiltæk til þess að meta eðliseiginleika kornaflæðis sem henta til þess að herma jökulhlaup úr Eyjafjallajökli. Hins vegar er ljóst að jökulhlaup af þessum toga flæða niður á jafnsléttu, sbr. hamfarahlauð úr Örfajökli á sögulegum tíma sem báru fram mjög mikið magn gosfna og annarra lausra jarðfna. Tilgangur reikninganna, sem hér er lýst, er að meta meginstrauma jökulhlaupa

anna á láglandi. Markmið með reikningum á þurrum kornaflóðum er að kanna hvort viðnámseiginleikar kornaefnisins hafi umtalsverð áhrif á stefnu og útbreiðslu meginstraumanna.

Til þess að þurrt flóð stöðvist á láglandi sunnan Eyjafjallajökuls en ekki uppi í hlíð er nauðsynlegt að velja lágt viðnámshorn milli flóðs og jarðar. Hér er $\delta=1^\circ$ valið til þess að hlaupið nái að flæða niður á jafnsléttu, óháð eðlisfræðilegu mati á stærð viðnámshornsins.

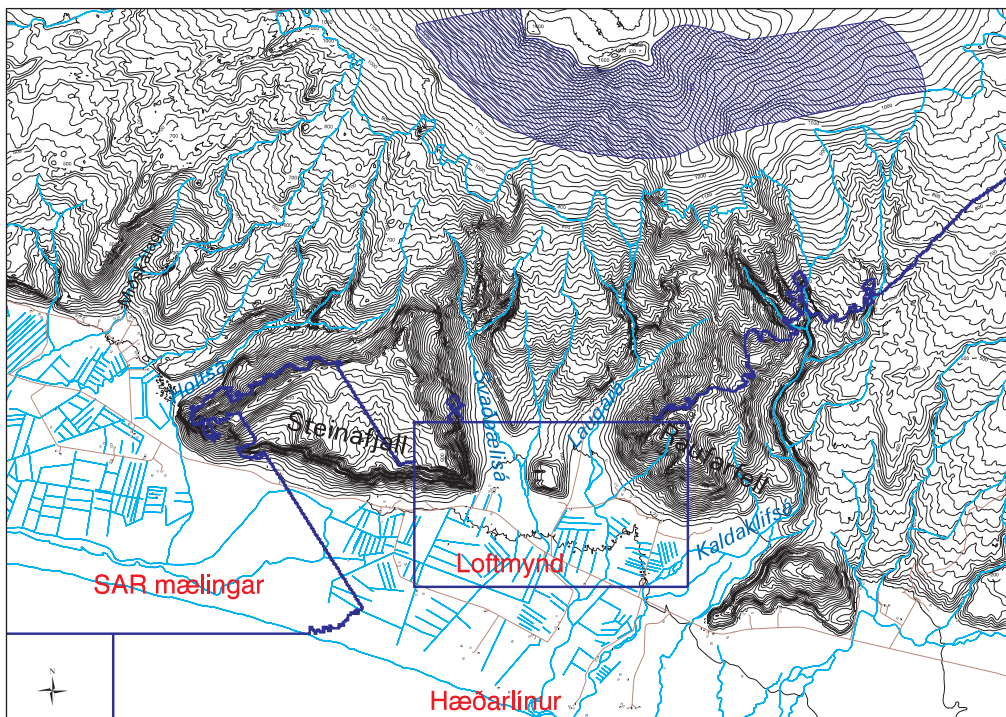
Með því að velja innra viðnámshorn efnisins $\phi=20^\circ$ fást gildin $K_{act}=0,5$ og $K_{pass}=2,0$. Þetta er u.þ.b. sami munur á viðnámshornunum tveimur í gráðum talið og valinn er fyrir snjóflóð í SAMOS líkaninu.

Þess má geta að þegar SAMOS líkanið er keyrt fyrir snjóflóð eru notuð föst viðnámshorn fyrir öll snjóflóð, $\phi=35^\circ$ og $\delta=16^\circ$, sem leiðir til þess að $K_{act}=0,4$ og $K_{pass}=3,5$. Byggist val á hornunum á bestu samsvörun milli mældra og útreiknaðra snjóflóða sem fellur innan eðlisfræðilegra (mælanlegra) gilda þeirra fyrir snjó (Salm, 1993).

Iðustreymisstuðullinn C_D fyrir þurrt flóð er valinn þannig að flóðið nái niður á láglandi. Í keyrslunni var miðað við $C_D=0,006$, sem er sama gildi og valið er fyrir snjóflóð í SAMOS líkaninu. Með þessu móti nær kornaflóðið hámarkshraða sem nemur rúmum 30 ms^{-1} (sjá kafla 11). Þessi hraði er að öllum líkindum of hár fyrir jökulhlaup, en er engu að síður nauðsynlegur til þess að fleyta flóðinu aðeins fram eftir láglandinu.

4.3. Upptakasvæði

Út frá ummerkjum á Eyjafjallajökli má gera ráð fyrir því að gos eigi sér stað á sprungu með stefnu út frá öskjunni. Lengd slíkrar sprungu má áætla að sé



Mynd 5. Kort af reiknisvæðinu. Skyggða svæðið sýnir upptakasvæðið, sem spannar um 9 km frá vestri til austurs. Helstu örnefni eru merkt á kortið. Á kortið eru einnig merktir jadrar þeirra landlíkana sem notuð voru til þess að útbúa reikninetið.

milli 1-5 km sbr. Skerjahrygg í vesturhluta jökulsins (kafla X).

Upptakasvæðið sem notað var í reikningunum er teiknað á mynd 5 og er það um 2,0 km langt (mælt frá norðri til suðurs) og um 9,0 km breitt (austur-vestur). Breidd svæðisins spannar nánast allar suðurhlíðar Eyjafjallajökuls. Það samsvarar því að gos verði á nokkrum sprungum samtímis. Upptakasvæðið hefur töluverða lengd (2,0 km) og er það gert til þess að ná fram áhrifum stöðugs flæðis en ekki einvörðungu stuttrar höggbylgju niður hlíðarnar. Með þessu móti nær reiknisvæðið til flóða frá Miðskálagili í vestri til Kaldaklifsár í austri (mynd 5).

Þessi uppsetning hermunarinnar hentar til þess að kanna marga möguleika á

staðsetningu gossprungu með einni keyrslu reiknilíkansins. Í reikningunum hafa flóð, sem koma fram úr mismunandi dölum á láglendi, lítil áhrif hvert á annað. Niðurstöður einnar keyrslu úr öllu upptakasvæðinu eru því nokkurn vegin sambærilegar við margar keyrslur þar sem flóð eru sett af stað úr mismunandi upptakasvæðum hverju sinni. Reikningarnir, þar sem flóð fer af stað úr öllu svæðinu, eru því ekki ætlaðir til þess að kanna stórgos þar sem gýs á mörgum stöðum samtímis heldur til þess að kanna með einni keyrslu reiknilíkans flóð af völdum margra eldgosa á mismunandi tímum.

Til þess að meta stærð jökulhlaupsins er gert ráð fyrir því að hver 2 km löng gossprunga geti brætt 25 m af ís út frá

sér til hvorrar hliðar og 100 m upp í gegnum jökulinn á innan við klukkustund (sjá umfjöllun í kafla X og einnig Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 1997 og 2004). Þá fæst viðmiðunarrennslið $Q=0,9blb/t \approx 2500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ út úr gossvæðinu ($t=1$ klst). Þessi tala er í grófu samræmi við vatnsbráðnun í upphafi gossins í Grímsvötnum, 1998 (sjá umfjöllun í kafla X). Þar var vatnsrennsli áætlað $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ fyrstu tvær klukkustundirnar. Einnig ber að hafa í huga að hlaupið verður stærra en sem nemur bráðnun jökulíss vegna gosefna og annarra lausra efna sem blandast við hlaupvatnið.

Notum þetta viðmiðunarrennsli ($Q=(1-10) \cdot 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) til þess að slá á inntaksgildi vatnsdýptar í upptaksvæðinu, $b=b_0$. Út frá jöfnu Mannings (6) má reikna vatnsdýpt fyrir gefið rennsli, Q og Manningsstuðul, n í gegnum þversnið með breiddina $b=b_0=2000$ m sem samsvavar líklegri lengd gossprungu,

$$Q = ubb = \frac{1}{n} b^{5/3} \xi^{1/2} b. \quad (13)$$

Því fæst

$$b_0 = b = \left(\frac{nQ}{\xi^{1/2} b_0} \right)^{3/5}. \quad (14)$$

Í töflu 1 sést að rennsli vatns með þykktina 0,2-1,4 m, sem flæðir í gegnum 2 km breitt þversnið, nemur $(1-10) \cdot 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Í töflunni sést einnig að flóð þykkna og hægja á sér þegar viðnámið eykst (Manningsstuðullinn stækkar).

4.4. Landlíkan

Landlíkan fyrir líkanreikningana var sérstaklega sett saman af Skúla Víkingssyni á Íslenskum Orkurannsóknum. Möskva-stærð líkansins var 25x25 m. Gögn fyrir landlíkan af Eyjafjallajökli sjálfum og

Tafla 1. Nokkur útreiknuð gildi á vatnsþykkt, b skv. jöfnu (14), og Manningshraða, u skv. jöfnu (6), fyrir mismunandi gildi á rennsli, Q og Manningsstuðli, n í gegnum þversnið með breiddina $b = 2000$ m og hallann $\xi = 0,2$.

$Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$n[\text{s m}^{-1/3}]$	$b [\text{m}]$	$u [\text{m s}^{-1}]$
$10 \cdot 10^3$	0,15	1,4	3,4
	0,1	1,1	4,7
	0,05	0,7	7,1
$5 \cdot 10^3$	0,15	0,9	2,8
	0,1	0,7	3,8
	0,05	0,5	5,4
$1 \cdot 10^3$	0,15	0,3	1,5
	0,1	0,3	1,9
	0,05	0,2	2,9

hlíðinni næst honum voru fengin frá Eyjólf Magnússyni á Raunvísindastofnun Háskólans (Eyjólfur Magnússon, 2003). Gögnin eru byggð á SAR mælingum frá árinu 1998. Landlíkan Raunvísindastofnunar nær ekki til neðri hluta suðurhlíða Eyjafjallajökuls né heldur láglandisins milli fjalls og strandar. Á þeim hluta reiknisvæðisins þar sem nákvæmni landlíkansins skiptir miklu máli var þrjónað við gögn Raunvísindastofnunar með landlíkani frá Loftmyndum ehf. Loftmyndir unnu líkan sitt með stafrænni myndmælingu út frá loftmynd úr 4500 m hæð frá árinu 2000. Utan svæðanna þar sem gögn Raunvísindastofnunar og Loftmynda ehf. ná til var landlíkanið unnið út frá 20 m hæðarlínunum úr 1:50.000 kortgrunni Landmælinga Íslands (stafræn kortagögn, afnotaleyfi nr. L02100001). Á mynd 5 er sýnt hvernig landlíkanið í heild sinni var sett saman úr þessum þremur þáttum.

5. Niðurstöður

Fimm keyrslur voru framkvæmdar með SAMOS líkaninu. Inntaksgildi stika í keyrslunum fimm eru tekin saman í töflu 2.

Niðurstöður líkanreikninganna fyrir keyrslurnar fimm er að finna í myndum 6-10 sem og í fimm PowerPoint skjölum á meðfylgjandi geisladiski. Myndirnar sýna hámarksflóðdýpt og hámarksflóðhraða á hverjum stað í farvegi hlaupsins. PowerPoint skjölin sýna aftur á móti þróun flóðdýptar og hraða niður hlíðina með 250 s millibili fyrir hverja keyrslu. Það er fremsti hluti hvers hlaups sem nær bæði mestum flóðhraða og dýpt. Út frá myndunum má greina að flóðunum er stýrt niður hlíðina af landslaginu. Hlaupin leita niður í gilinu sem beina þeim svo niður á láglandi. Eins og sjá má á myndunum veitir Steinafjall gott skjól fyrir hlaupunum en flóð niður Svadbælisá og Laugará ná saman og Kaldaklifsá beinir flóðstraumi til vesturs. Í keyrslum 1-3 nær flóðhraðinn mest um 15 ms^{-1} í giljunum. Þar verða flóðin einnig rúmlega 5 m djúp. Flóðin hægja svo mikið á sér og þynnast um leið og niður á láglandi er komið.

Í töflu 3 er tekið saman hámarksrennsli út úr helstu giljum. Þar má sjá að reiknuðu hlaupin eru flest af 2. stærðarflokkki, $(3-10) \cdot 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Í töflunni kemur einnig fram að það tekur flóðtopp úr Svadbælisá frá 15 og upp í 30 mínútur að ná niður á láglandi og gægjast fram fyrir Steinafjall. Einnig kemur fram að það er einungis stærsta flóðið (keyrsla 3) sem skilar vatni út úr Holtsá og niður á láglandi. Vatn sem rennur niður farveg Holtsár nær að safnast fyrir í um 6 m djúpri og um 700 m langri skál neðarlega í farveginum. Hér er um galla í landlíkaninu að ræða og

Tafla 2. Inntaksgildi stika í fimm líkankeyrslum.

Keyrsla	b [m]	C_D	$n[\text{sm}^{-1/3}]$	$\phi[^\circ]$	$\delta[^\circ]$
1	0,3	0,068	0,1	0	0
2	0,7	0,068	0,1	0	0
3	1,1	0,068	0,1	0	0
4	0,3	0,006	-	20	1
5	0,5	0,017	0,05	0	0

ætti vatnið að ná að flæða út úr gilinu og niður á láglandi. Keyrsla 3 gefur því bestu mynd af stefnu flóðstraums út úr Holtsá. Þurru flóðin (keyrsla 4) ferðast hægar en vatnsflóðin og stöðvast að hluta uppi í giljunum áður en þau ná niður á láglandi. Upphleðsla við kamb niðri við sjó veldur uppsöfnun vatns við flæðarmál í stærstu flóðunum.

Keyrslur 2 og 5 eru sambærilegar að stærð ef miðað er við rennsli út úr helstu giljum. Munurinn á keyrslunum felst í því að Manningsstuðllinn í keyrslu fimm er helmingi lægri en í keyrslu 2. Þannig er gert ráð fyrir talsvert minna viðnámi af völdum íss í flóðinu (sjá kafla 4.1). Þetta hefur þau áhrif að flóðin ferðast hraðar í keyrslu 5 og eru þynnri en í keyrslu 2. Það tekur flóðtopp um 25 mín. að ná fram fyrir Steinafjall í keyrslu 2 en einungis 15 mín. í keyrslu 5.

Keyrsla 4 var gerð fyrir þurrt kornaflóð (sjá kafla 4.2). Samanburður á keyrslunni og keyrslum 1-3 bendir til þess að ekki sé munur á stefnum strauma út úr Miðskálagili og Svadbælisá eftir því hvort flóðið er þurrt kornaflóð eða vatnsflóð. Aftur á móti stöðvast kornaflóðið mjög hratt þegar úr landhalla dregur. Gera má ráð fyrir að þar sem kornaflóðið stöðvast leggi jökulhlaup mestan hluta framburðar síns af sér. Til þess að reikna þá staðsetningu með meiri nákvæmni þyrfti líkanið að vera tvífasa

Tafla 3. Hámarksrennsli út úr helstu giljum (sjá mynd 5) í keyrslunum fimm. Rennslið er námundað að næsta hálfu þúsundi.

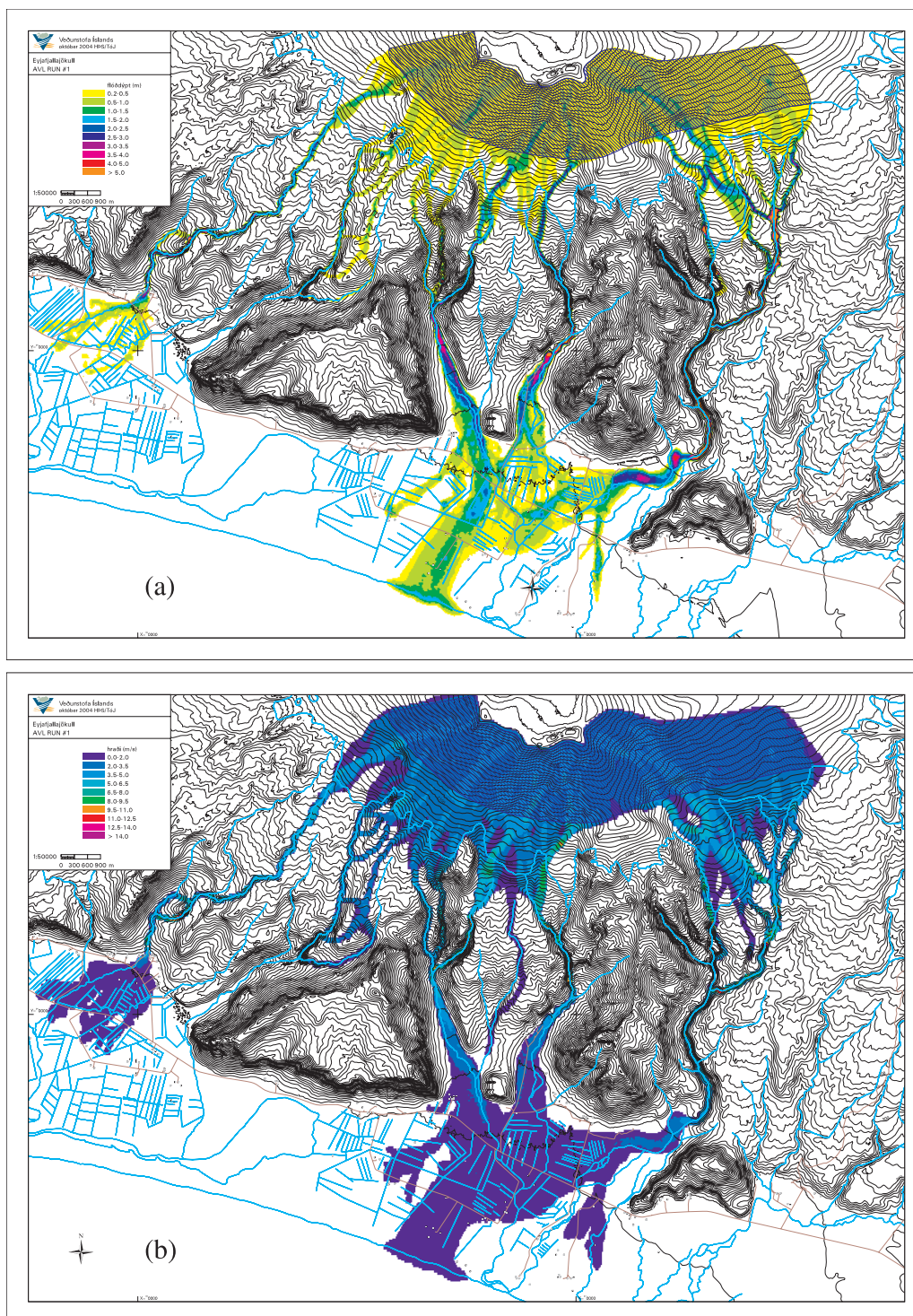
Keyrsla nr.	Miðskálagil $Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Holtsá $Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Svaðbælisá $Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Laugará $Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Kaldaklifsá $Q[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Tími v. Steinafjall t [mín]
1	1000	0	2500	1500	1500	30
2	2500	0	9000	5000	6500	25
3	3000	1000	15500	9000	7500	20
4	1500	0	9000	0	0	-
5	1500	0	8500	3500	7500	15

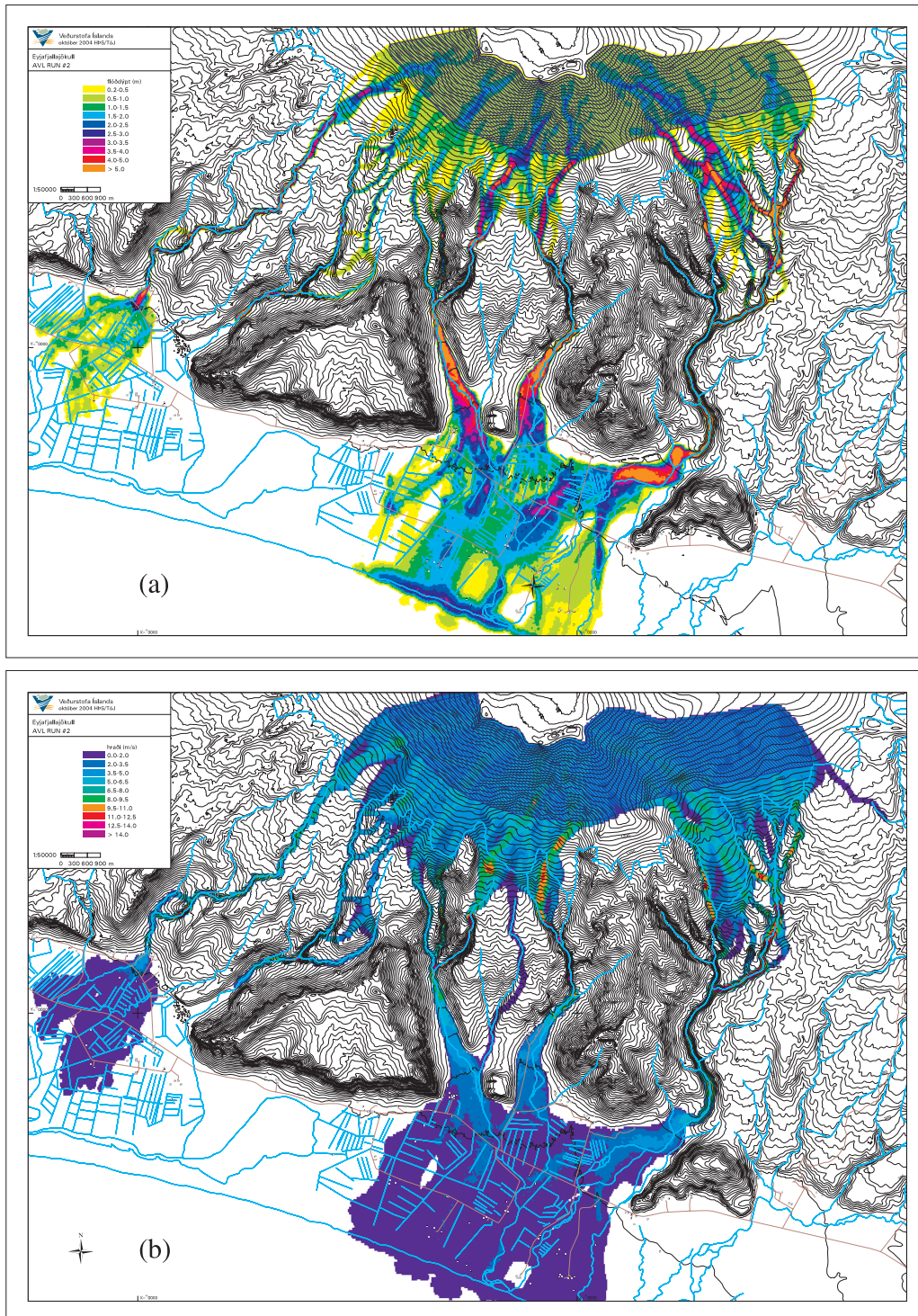
og taka tillit til sethraða misstórra korna. Kornaflóðið nær einnig hraða sem nemur rúmum 30 ms^{-1} í giljunum. Þessi hraði er ekki raunhæft mat á hraða jökulhlaupa niður gilin heldur nauðsynlegur hraði til þess að fleyta flóðinu aðeins fram á láglandi.

Mismikið hlaupvatn úr upptökum skilar sér niður mismunandi gil og skorninga. Vatn úr um 500 m breiðu upptakasvæði (mælt frá vestri til austurs) skilar sér niður í Miðskálagil, úr um 300 m breiðu upptakasvæði skilar sér niður í Holtsá, úr um 2500 m breiðu svæði niður í Svaðbælisá, úr um 1500 m breiðu svæði niður Laugará og úr um 4000 m breiðu upptakasvæði niður Kaldaklifsá. Mat á raunhæfri stærð jökulhlaups miðar hér við að rennsli vatns út úr 2000 m breiðu gossvæði nemi $(1-10) \cdot 10^3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (sjá kafla 4.3). Í töflu 3 má sjá að rennsli út úr helstu giljum er á þessu bili. Rennslið úr Svaðbælisá er aftur á móti helst til mikið í keyrslu 3.

Hafa ber í huga að flóðin eru yfirkrítísk (Froude tala¹ flæðisins er stærri en einn) á leið sinni niður hliðina, en verða undirkrítísk (Froude tala flæðisins er minni en einn) á láglandi. Þegar flóð breytir þannig um flæðiástand á það sér stað á nærri ósamfelldan hátt með miklum látum (sjá kennslubækur í straumfræði, t.d. Gerhart o.fl., 1993). Í straumstökkinu sem myndast eyðist talsverður hluti hraðaorku flóðsins. SAMOS líkanið breytir aftur á móti um flæðiástand á samfelldan hátt án nokkurrar orkueyðslu. SAMOS líkanið ofmetur því að öllum líkum flóðhraða á láglandi.

¹Froude talan mælir hlutfall milli flóðhraða og hraða þyngdarbylgna sem ferðast eftir yfirborði flóðs. Hún er skilgrieng sem $Fr = u / \sqrt{gb}$, þar sem u er hraði flóðs, b er þykkt og g er þyngdarhröðun jarðar. Í yfirkrítísku flæði ($Fr > 1$) geta þrýstingsbreytingar ekki borist upp í strauminn.





Mynd 7. Hámarks (a) flóddýpt og (b) flóðbraði í keyrslu 2. Ath. smækkaður kvarði.