



# Hættumat vegna snjóflóða úr lágum brekkum

Tómas Jóhannesson

10.9.2009

Hættumat vegna ofanflóða í byggð á skv. reglugerð nr. 505/2000, með breytingum í reglugerð nr. 495/2007, að byggjast á áhættu fólks og ná til allra ofanflóða, þ.m.t. snjóflóða, krapaflóða, aurskriðna, grjóthruns og berghlaupa úr hlíðum. Ákveðinn rammi hefur verið skilgreindur fyrir áhættumat vegna snjóflóða þar sem byggt er á mati á tíðni flóða á viðkomandi stað, skriðlengdardreifingu snjóflóða almennt á landinu og dánarlíkum fólks í húsum sem verða fyrir flóðum (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Er eðlisfræðilegu líkani af flæði snjóflóða beitt til þess að reikna hraða snjóflóðsins. Þessi aðferðafræði miðast við „venjulega“ snjóflóðafarvegi sem skapa hættu í þekktustu snjóflóðabyggðarlögum hérlendis. Víða eru aðstæður þannig að erfitt er að koma við formlegum áhættureikningum af þessum toga við ofanflóðahættumat en þrátt fyrir það er reynt að láta matið endurspegla áhættu fólks sem þá er metin að hluta til huglægt. Leitast er við að halda innra samræmi milli staða þannig að hættumatið sé svipað á sambærilegum stöðum þar sem hætta er svo óviss að beita verður huglægu mati (sjá t.d. Þorsteinn Arnalds o.fl., 2001a,b). Settar hafa verið fram viðmiðunarreglur um mat á ofanflóðahættu vegna skriðufalla, s.s. aurskriðna og grjóthruns, svo og aurblandaðra vatns- og krapaflóða í bröttum farvegum (Tómas Jóhannesson og Kristján Ágústsson, 2002) til þess að styðjast við fyrir þessar gerðir ofanflóða.

Í nokkrum þorpum og bæjum á Íslandi er snjóflóðahætta undir lágum hlíðum og bökkum þar sem upptakasvæði og snjóflóðaaðstæður eru gerólíkar „venjulegum“ snjóflóðafarvegum sem nefndir voru hér að framan, en ljóst er að snjóflóðahætta er einhver. Undir slíkum hlíðum er ólíklegt að eyðileggingarmáttur snjóflóða sé sambærilegur við mörg hundruð metra háar hlíðar þar sem snjóflóð eru talin geta náð hraða sem nemur 20–50 m/s, og jafnvel enn meiri hraða. Hins vegar eru öruggar heimildir fyrir því að snjóflóð úr slíkum hlíðum hafa eyðilagt peningshús, drepíð búfénað og valdið ýmsu alvarlegu tjóni.

Í þessu minnisblaði eru dregin saman ýmis atriði sem rétt er að hafa í huga við hættumat vegna snjóflóða úr lágum brekkum og lagðar eru til ákveðnar viðmiðunarreglur sem notaðar verða á Veðurstofunni við mat á ofanflóðahættu á Drangnesi, Kirkjubæjarklaustri og Vík í Mýrdal og nokkrum öðrum þéttbýlisstöðum á næstunni. Þar háttar þannig til að hluti byggðarinnar er undir 10–20 m háum bökkum eða 20–50 m háum hlíðum þar sem einhverjar heimildir eru um að snjóflóð hafi átt upptök. Á öðrum svæðum, sem geta verið í aðalatriðum landfræðilega sambærileg, eru hins vegar engar heimildir um snjóflóð eða önnur ofanflóð. Meta þarf ofanflóðahættu á þessum svæðum þrátt fyrir að mjög lítil gögn um snjóflóð úr lágum brekkum



séu tiltæk og lítil þekking á eðli slíkra flóða til þess að byggja matið á. Á svæðum þar sem engar heimildir eru um ofanflóð úr viðkomandi hlíðum þarf að meta hættuna þannig að bæði sé tekið tillit til þess að engin ofanflóð hafa verið skráð á ákveðnu tímabili og einnig möguleikans á því að flóð geti fallið ef landfræðilegar og veðurfræðilegar aðstæður standa til þess.

## Heimildir um snjóflóð úr lágum hlíðum

Nokkur dæmi eru um snjóflóð úr lágum hlíðum hér á landi þó slík flóð sé ekki að finna í safni tæplega 200 íslenskra flóða sem notað var við þróun íslenskrar aðferðafræði við hættumat (Kristján Jónsson o.fl., 1999).

- Í Reynishverfi og víðar í Mýrdal eru nokkrir bæir undir hlíðum sem rísa 100–200 m yfir umhverfið þar sem heimildir eru um að allstór snjóflóð hafi fallið. Í tengslum við snjóflóðahrinu 5.–12. mars 2002 tóku Magnús Már Magnússon og Leah Tracy (2003) saman greinargerð um snjóflóð á þessu svæði. Þar eru nefnd nokkur snjóflóð sem náð hafa úthlaupshornum undir 20°. Eitt þeirra, sem féll við bæinn Prestshús, mun hafa náð 14° úthlaupshorni.
- Snjóflóð sem féll úr fjallinu ofan við bæinn Grund í Reykhólasveit í Súðavíkurbhrinunni í janúar 1995 náði 14° úthlaupshorni (Harpa Grímsdóttir, 2006). Lóðrétt fallhæð var um 180 m. Í flóðinu fórst einn maður. Það eyðilagði fjárhús og bar heyrinnuvélar og annað brak langa vegalengd.
- Snjóflóð eru tíð úr lágri hlíð sem nefndist Tvísteinahlíð ofan við heilsugæsluna í Ólafsvík. Árið 1995 féll þar flóð sem olli skemmdum á stöðinni og ætla má að hefði náð um og undir 20° úthlaupshorni ef það hefði ekki stöðvast að hluta til á byggingunni. Sagnir eru um að árið 1921 hafi snjóflóð úr hlíðinni náð talsvert lengra, e.t.v. niður í um eða undir 18° úthlaupshorn. Lóðrétt fallhæð þessara flóða er 70–80 m.
- Snjóflóð féllu í Otradal og Dufansdal í Arnarfirði árið 1699 og er þeim svo lýst í Fitja-annál. skv. bókinni „Skriðuföllum og snjóflóðum“ eftir Ólaf Jónsson (1992, fyrst útgefið 1957):

„Í Otradal á Vestfjörðum hljóp og snjóflóð þessa sömu nótt . . . , gerði stóran skaða, tók af fjósið með 7 kúm og 2 hestum; það hljóp og á kirkjuna, en hana sakaði ekki. Og í Dufansdal, næsta bæ þar, drap snjóflóð undir eins 2 kúr og 2 hesta.“

Í Jarðabók Árna Magnússonar og Páls Vídalíns sem skrásett er um 1710 segir svo um Dufansdal skv. „Skriðuföllum og snjóflóðum“:

„Hætt er efsta bænum stórlega fyrir skriðum, og hefur hér fyrir 10 árum skriða á bæinn hlaupið, þegar að túnið tók af, og braut baðstofuna, svo mönnum var



naumlega sjálfborgið. Í sama sinn tók fjósið, svo nautin dóu. Þá gekk og þessi skriða mjög að heimabænum, þó honum grandaði ei.‘

Þótt Jarðabókin tali um skriður, er engin ástæða til að ætla annað en um snjóflóð hafi verið að ræða. Þremur annálum ber saman um þetta, tveir tala um skriðu, en eiga auðsjáanlega við snjóflóð, og má vera, að eins sé með frásögn Jarðabókarinnar, þótt hún venjulega geri greinarmun á skriðum og snjóflóðum. Eitt styður mjög, að þetta hafi verið snjóflóð, en það er, að þetta verður samtímis snjóflóðinu á Reynivelli [í Kjós], og öllum annálum ber saman um, að vetur þessi hafi verið mesti frosta- og snjóavetur. Þar er því harla ólíklegt, að skriður hafi fallið vestur í Arnarfjarðardölum samtímis því, sem snjóflóð falla suður í Kjós. Tímasetning Jarðabókarinnar er ekki alveg rétt, munar einu ári á hvorum stað, en sjálfsagt er það aðeins ónákvæmni í frásögn þeirra, sem Jarðabókarhöfundarnir styðjast við. Aðeins Jarðabókin nefnir, að baðstofan í Dufansdal hafi brotnað, og er það vafalaust rétt. Líka þarf ekkert að vera óeðlilegt, að túnskemmdir hafi orðið af snjóflóðum, því að slíkt er algengt, einkum er þau falla úr giljum, þar sem nóg er af grjóti og möl.“

Lýsing annála og Jarðabókarinnar ber með sér að snjóflóðið hefur verið stórt og náð nokkuð langt niður á túnið við bæinn fyrst nefnt er að flóðið hafi gengið mjög að „heimabænum“ sem vitað er að stóð nokkurn spöl frá hlíðarfætinum, nokkru ofar og utar en núverandi „Neðri-bær“ í Dufansdal. Samkvæmt lýsingu staðkunnugra er líklegast að flóðtungan hafi stöðvast í um 35 m h.y.s. þar sem talið er að „heimabærinn“ hafi staðið. Samkvæmt því er fallhæð flóðsins í Dufansdal væntanlega um 115 m og telst þetta flóð því hafa fallið úr fremur lágri brekku. Upptakasvæðið er takmarkað að stærð, halli hlíðarinnar er yfir 30° á hæðarbilinu 100–150 m y.s. Flóðið náði líklega rennslisstigi 12–13 (hefðbundin einvíð rennslisstig) og úthlaupshorni á bilinu 19–21°.

- Snjóflóð féll aðfaranótt 17. febrúar 1943 úr brekkunni syðst í Fjörinni á Akureyri en þar nær brekkubrúin um 60 m hæð yfir sjó. „Klofnaði það um Aðalstræti 63 og hlóðust upp þriggja mannhæða háar hrannir umhverfis það, gluggar og hurðir skemmdust og kjallara hálfyllti af snjó. Snjóskríðan sópaði með sér girðingum og heyfúlgum er á vegi hennar urðu og bar allt fram á leirur. Ekki er áður vitað að þarna hafi hlaupið snjóflóð svo að tjón hafi orðið. Hugsanlega hefur það fallið úr litlum gilskorningi sem er þarna í brekkunni ofan við . . . . Sömu nótt urðu talsverð snjóflóð í Öxnadal.“ (Halldór G. Pétursson o.fl., 2005). Þessi snjóflóð urðu í hláku og vitað er að snjóflóð, sem drap 25 kindur, eyðilagði fjárhús og skemmdi hey þennan dag á bænum Skjaldarstöðum í Öxnadal, var krapaflóð. Það féll í asahláku við það að lækur fyrir ofan fjárhúsin hljóp fram. Því er líklegt að flóðið úr Akureyrarbrekkunni hafi einnig verið krapaflóð. Stöðvunarstaður flóðsins er ekki vel þekktur vegna þess hvað miklar breytingar hafa orðið á landi undan brekkunum á þessum stað síðan flóðið féll.
- Snjóflóð úr 30 m háum bakka á Sauðárkróki árið 1973 féll niður í sk. Kristjánsklauf og á nokkur peningshús. Það braut fjárhús efst í klaufinni og drap helming 36 kinda sem í



húsinu voru. Flóðið braut þak hlöðu við fjárhúsin og gróf heyið í henni í snjó. Einnig braut flóðið hesthúskofa en trippi sem í honum voru björguðust. Flóðið lenti á þriðja húsinu, sem í voru nokkur hross, og skekkti það en hrossin sakaði ekki.

- Snjóflóð úr 26 m háum bakka ofan við Aðalbraut 4 og 6 á Drangnesi á Ströndum árið 1968 náði um eða undir  $30^\circ$  úthlaupshorni. Flóðið braut niður útihús ofan við íbúðarhúsin. Lögðust útihúsin á íbúðarhúsin, en ollu þar ekki tjóni. Drápust þarna einar 60 kindur og hús eyðilögðust. Flóð þetta hefði væntanlega náð lengra ef það hefði ekki lent á húsunum. Einnig eru heimildir um tvö snjóflóð úr bakkanum á Drangnesi nokkru norðar, þar sem heita Grundir, sem munu hafa náð um  $19^\circ$  úthlaupshorni. Fallhæð þessara flóða var ekki nema 13 m og 18 m. Lægra flóðið braut niður gömul fjárhús.

Þessar heimildir benda til þess að snjóflóð úr lágum brekkum, allt niður undir 10 m háar, geti náð  $15\text{--}20^\circ$  úthlaupshorni, og jafnvel svolítið þar undir, og að slík flóð hafi nægilegan eyðileggingarmátt til þess að brjóta niður hús og drepa búfénað. Því er ekki blöðum um það að fletta að fólki kann að stafa hætta af snjóflóðum úr slíkum hlíðum.

## Almennt um snjóflóð og snjóflóðahættu úr lágum hlíðum

Vel þekkt er að algengustu líkön af skriðlengd snjóflóða gefa misvísandi vísbendingar um snjóflóðahættu undir lágum hlíðum. Tölfræðilega  $\alpha/\beta$ -líkanið (Lied og Bakkehøi, 1980) hefur tilhneigingu til þess að vanmeta skriðlengd flóða úr lágum brekkum. Ástæðan er sú að viðnám snjóflóðs við jörðu er talið samanstanda af sk. Coulomb viðnámi, sem er óháð hraða flóðsins, og viðnámslið, sem kenndur er við iðustreymi (af sögulegum ástæðum), sem vex með hraðanum. Snjóflóð í lágum hlíðum ferðast með mun minni hraða að meðaltali en flóð í hærri brekkum og því má ætla að hraðaháða viðnámið vegi minna en fyrir hraðfara flóð. Ef Coulomb-ska viðnám-ið er tiltölulega óháð fallhæð má ætla að heildarviðnám sé minna fyrir flóð úr lágum brekkum. Þau geti því náð hlutfallslega „lengra“ frá brekkurótum.

### Staðfræðilegt $\alpha/\beta$ -líkan

Samkvæmt íslenska  $\alpha/\beta$ -líkaninu (Tómas Jóhannesson, 1998) má reikna úthlaupshornið,  $\alpha$ , út frá bratta hlíðarinnar frá upptökum til staðarins þar sem landhalli er  $10^\circ$ ,  $\beta$ , með jöfnunni

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

Í gagnasafni með 45 „lögum“ íslenskum snjóflóðum, sem notað var til þess að þróa þetta líkan liggja úthlaupshornin á bilinu  $18^\circ < \alpha < 29^\circ$  ( $Q_{25\%}(\alpha) = 21^\circ$ ,  $Q_{75\%}(\alpha) = 26^\circ$ ) en bratti hlíðarinnar var á bilinu  $20^\circ < \beta < 33^\circ$  ( $Q_{25\%}(\beta) = 25^\circ$ ,  $Q_{75\%}(\beta) = 28^\circ$ ). Þessi flóð féllu nánast öll úr „venjulegum“ snjóflóðafarvegum sem svo voru nefndir hér að framan. Samkvæmt þessu líkani heyrir til undantekninga að úthlaupshorn snjóflóða úr slíkum hlíðum fari niður fyrir  $18^\circ$ .



## Eðlisfræðileg snjóflóðalíkön—rennslisstig

Annar mælikvarði á skriðlengd snjóflóða er rennslisstigin sem íslenska hættumatsaðferðafræðin fyrir snjóflóð byggir á (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Þar er sk. PCM-líkan fyrir rennslis snjóflóða (Perla o.fl., 1980) notað til þess að reikna skriðlengd. Viðnámsstuðlar líkansins,  $\mu$  og  $M/D$ , sem samsvara ákveðnum rennslisstigum, eru valdir þannig að  $\mu$  lækkar með vaxandi skriðlengd og  $M/D$  hækkar skv. formúlunni  $\mu = 0.6 - 0.0006M/D$ . Fyrir rennslisstig á bilinu 13–18 eru  $0.30 > \mu > 0.12$  og  $500 < M/D < 800$ . Sú útgáfa PCM-líkansins sem notuð er við reikninga á rennslisstigum á Veðurstofunni reiknar með 75 m fastri lengd á snjóflóðinu sem er hlutfallslega stutt miðað við heildarlengd farvegar snjóflóða úr háum hlíðum.

## Rennslisstig og úthlaupshorn að mörkum hættusvæða

Neðri mörk hættusvæðis A í íslensku hættumati eru oft í rennslisstigi 17–18 og mörk hættusvæðis C í 15.5–16.5 fyrir „hættulega“ snjóflóðafarvegi af hefðbundinni gerð með allstórum upptakasvæðum sem snúa óheppilega gagnvart aðalsnjósöfnunaráttum, t.d. í Neskaupstað. Þar getur mat á viðmiðunartíðni snjóflóða niður í rennslisstig 13 verið á stæðarþrepinu 0.05–0.1 á ári. Samsvarandi rennslisstig eru 15–15.5 fyrir svæði A og 13.5–14 fyrir svæði C fyrir hlíðar með tiltölulega litlum upptakasvæðum sem safna minni snjó eða eru þannig lagaðar að snjóflóð breiða úr sér og ná því ekki jafn langt frá hlíðarfæti og ella væri, t.d. gilin í Bolungarvík. Þar getur tíðni snjóflóða verið stærðarþrepi lægri en á hættulegri svæðum þar sem snjóflóð eru tíðari. Fyrir mjög lágur brekkur þar sem iðustreymisviðnáms gætir lítið sem ekkert má reikna með því að úthlaupshornið  $\alpha$  sem fæst með PCM-líkani sé  $\alpha \approx \tan^{-1}\mu$ . Fyrir rennslisstig á bilinu 17–18 leiðir það til  $\alpha$  á bilinu 7–8° ef miðað er við viðnámsstuðla PCM-líkansins sem svara til þessara rennslisstiga, rennslisstig 16 gefur  $\alpha \sim 10^\circ$ , rennslisstig 15 gefur  $\alpha \sim 13^\circ$  og rennslisstig 14 gefur  $\alpha \sim 15^\circ$ .

Skriðlengd aftakflóða sem leiðir af úthlaupshornagreiningu  $\alpha/\beta$ -líkansins er mun styttri en skriðlengd sem leiða má líkur að með rennslisstigagildunum hér að ofan. Þannig má leiða líkur að því að hættumatslína A eigi að samsvara úthlaupshornum á bilinu  $\alpha - 2\sigma$  til  $\alpha - \sigma$ , e.t.v. heldur nær lægri horninu. Fyrir  $\beta \sim 25^\circ$ , sem er fremur lágt gildi, svarar þetta til  $\alpha$  á bilinu 17–19°. Hættumat með íslensku aðferðafræðinni fyrir svo lága brekku að gera megri ráð fyrir  $\alpha \approx \tan^{-1}\mu$ , gefur hins vegar til kynna að úthlaupshornið sé 7–8° ef tíðni snjóflóða og aðrar aðstæður eru jafn óhagstæðar og miðað er við fyrir „hættulega“ snjóflóðafarvegi sem eru nokkur hundruð metra háir.

Þekkt er að PCM-líkanið hefur tilhneigingu til þess að reikna mjög löng flóð úr lágum brekkur og hafa verið skilgreindar aðferðir til þess að láta stuðulinn  $M/D$  hækka með fallhæð eða lengd farvegarins til þess að vinna gegn þessari tilhneigingu (Perla o.fl., 1984). Slíkar aðferðir eru annars vegar hugsaðar til þess að taka tillit til þess að snjódypt í upptökum hefur tilhneigingu til þess að vaxa með hæð farvegarins en eðlisfræðileg rök eru fyrir því að  $M/D$  eigi að hækka með vaxandi snjódypt í upptökum. Hins vegar er um að ræða viðleitni til þess að draga úr reiknaðri skriðlengd fyrir mjög lágur brekkur vegna þess að skriðlengdin getur reiknast lengri en svo að glóra þyki í því út frá þeirri litlu vitnesku sem á er að byggja um skriðlengd raunverulegra



flóða í slíkum brekkum. Þannig er skriðlengd sem samsvarar 7–8° úthlaupshorni, sem nefnt var hér að framan, væntanlega út í hött.

## Hættumat fyrir lágur hlíðar

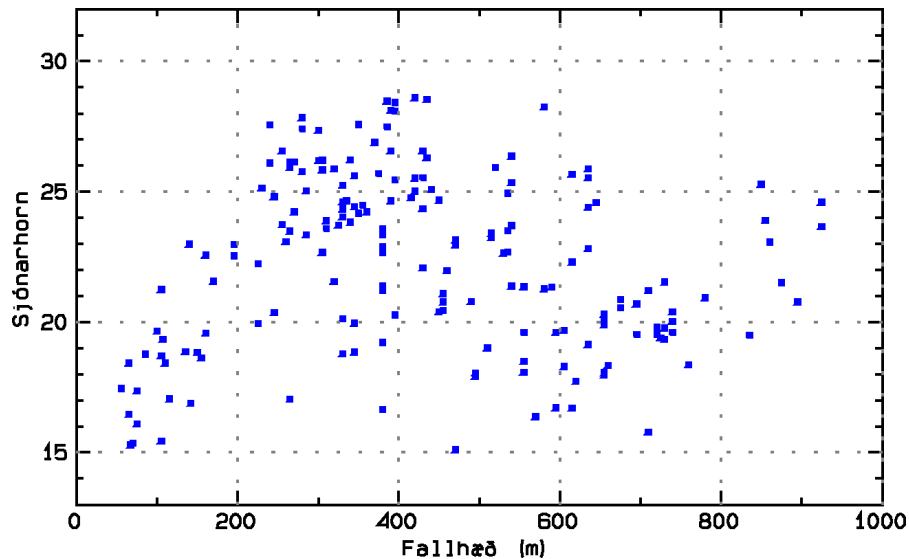
Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds (1997) gerðu tilraun til þess að meta snjóflóðahættu úr tiltölulega lágum hlíðum út frá fyrirbyggjandi gögnum í heimildasafni Veðurstofunnar. Þeir beindu sjónum að nokkur hundruð metra háum hlíðum ofan þéttbýlisstaða, sem taldar höfðu verið fremur „ólíklegar“ til þess að vera snjóflóðahlíðar, og komust að þeirri niðurstöðu að neðri mörk hættusvæðis C kynnu að vera u.þ.b. í rennslisstigi 13 og neðri mörk hættusvæðis B skammt ofan rennslisstigs 14. Byggð undir hlíðum af þessari gerð er talsvert víðáttumikil og heildarbreidd svæðanna sem athugun Kristjáns og Þorsteins náði til er um 5900 m. Athuginin byggir á því að þrátt fyrir að nokkur snjóflóð úr þessum hlíðum séu þekkt (samtals 11 flóð) þá eru margar að því að virðist sambærilegar hlíðar þar sem ekki er vitað um nein flóð. Í hættumati sem síðar hefur verið unnið hefur hætta í þessum hlíðum verið metin talsvert mismunandi út frá snjóflóðasögu og öðrum vísbendingum, þ.e. hættulína C er oftast á rennslisstigabilinu 10–12, hættulína B á bilinu 11–13 og hættulína A á bilinu 12–14. Í nokkrum hlíðanna hefur hætta þó verið metin heldur meiri, t.d. er C-línan undir Kubbanum á Ísafirði í rennslisstigum 12.5–13.5, B-línan í 14–14.5 og A-línan í 15–15.5. Samanborið við „hættulega“ snjóflóðafarvegi af hefðbundinni gerð með meiri fallhæð og allstórum upptakasvæðum eru hættusvæði undir lægri hlíðum talsvert nær hlíðinni í rennslisstigum talið.

Hlíðarnar sem Kristján og Þorsteinn athuguðu eru mun hærri en lágu hlíðarnar sem hér eru til umræðu. Í fyrrnefndu safni tæplega 200 íslenskra flóða, sem liggur til grundvallar í snjóflóðahættumati hér á landi (sbr. Kristján Jónasson o.fl., 1999), eru nánast engin snjóflóð úr lægri hlíðum en u.þ.b. 300 m sem hægt er að styðjast við til þess að meta snjóflóðahættu úr lágum, óafmörkuðum hlíðum. Einungis tvö flóð í safninu gefa e.t.v. vísbendingar sem unnt er að styðast við og féllu þau bæði við Urðir á Patreksfirði, árin 1921 og 1958. Skráð hæð upptaka fyrir þessi tvö flóð er 225 m og 300 m og hugsanlegt er og raunar líklegast að bæði þessi flóð tengist aðalupptakasvæðinu ofan Urða sem er mun hærra. Greining Kristjáns og Þorsteins bendir til þess að áhætta vegna snjóflóða sé minni í sambærilegu rennslisstigi undir lágum hlíðum en háum en gefur hins vegar ekki beinar vísbendingar um áhættu undir hlíðum sem eru einungis nokkrir tugir metra að hæð.

## Úthlaupshorn að hættumatslínu í fyrirbyggjandi hættumati

Þórður Arason (2005) tók saman upplýsingar um sjónarhorn frá A-línu hættumats að efstu mörkum upptakasvæðis á þeim svæðum landsins þar sem hætta hefur verið metin af Veðurstofu Íslands (mynd 1). Sjá má að sjónarhornið dreifist á nokkuð breitt bil fyrir hlíðar sem eru yfir 100–200 m að hæð en nálgast ~15° fyrir lægri hlíðar. Rétt er að hafa í huga að tilhneigingin til þess að hættumatslínan sé staðsett nærri ~15° fyrir lægstu hlíðarnar byggir ekki á gögnum um úthlaupslengd snjóflóða úr slíkum hlíðum heldur er þetta niðurstaða huglægs mats sérfræðinga sem hættumatið unnu í hverju tilviki.





Mynd 1: Áhrif hæðar brekku á sjónarhorn frá hættumatslínu (A-línu) að efstu mörkum upptakasvæðis.

## Gallar fyrirbyggjandi líkanreikninga

Hið mikla misræmi milli úthlaupshornagreiningar ( $\alpha/\beta$ -líkansins) og rennslisstigagreiningar (PCM-líkans í þeirri mynd sem rennslisstigareikningar byggja á), sem lýst er hér að ofan, kann að verulegu leyti að stafa af vanköntum á hefðbundinni beitingu þessara líkana. Þannig leiðir hefðbundið val á líkanstuðlum og föst lengd snjóflóðsins í reikningum með PCM-líkaninu líklega til ofmats á skriðlengd snjóflóða úr lágum hlíðum. Betri uppsetning PCM-líkansins og ekki síður beiting nýrri tvívíðra líkana gefur að öllum líkindum möguleika á að ná raunhæfari niðurstöðum fyrir þrengra bil líkanstuðla. Gera má ráð fyrir að þá yrðu niðurstöður eðlisfræðilegra líkana mun raunhæfari fyrir lágur brekkur og sömu aðferðafræði mætti hugsanlega beita á allar snjóflóðahlíðar óháð fallhæð flóðsins. Hér verður ekki farið nánar út í þá sálma en athyglinni beint að snjóflóðum úr lágum brekkum eingöngu. Síðar þarf að kanna þetta misræmi nánar og samræma aðferðafræði við líkanreikninga þannig að sömu eða samrýmanlega uppsetningu líkana megi nota við hættumat óháð fallhæð snjóflóðanna.

## Þættir sem hafa áhrif á hraða og eyðileggingarmátt snjóflóða úr lágum hlíðum

Þó engum vafa sé undirorpið að snjóflóð úr lágum hlíðum geta valdið tjóni og ógnað lífi fólks er ljóst að eyðileggingarmáttur þeirra er miklu minni en stórra snjóflóða úr mörg hundruð metra háum hlíðum. Hér verður lagt mat á áhættu fólks í húsum af völdum snjóflóða úr lágum hlíðum með samanburði við áhættumat fyrir hefðbundna snjóflóðafarvegi og reynt að taka tillit til nokkurra þátta sem ætla má að dragi úr hættu af völdum flóða úr lágum hlíðum. Þessar hugleiðingar eru til þess að meta svokallaða „staðaráhættu“ vegna snjóflóða í byggð í skilningi hættumats-



reglugerðar og miðast hún við að fólks sé statt í húsum sem lenda í snjóflóðum. Dánarlíkur fólks sem lendir í snjóflóðum utandyra lúta að nokkru öðrum lögmálum þó ætla megi að þær séu einnig að einhverju marki háðar stærð og hraða snjóflóðsins. Hér verður ekki fjallað um hættu sem fólki utandyra stafar af snjóflóðum og eiga þessar hugleiðingar því ekki við þegar lagt er mat á hættu af völdum snjóflóða fyrir skíðasvæði, vegi eða óbyggðir.

**Lítill hreyfiorka:** Dánarlíkur fólks í húsum sem verða fyrir snjóflóði eru því hærri sem hraði flóðsins er meiri. Heildarstöðuorkan sem snjóflóð úr 10–50 m hárrí hlíð hefur úr að spila er miklu minni en fyrir flóð úr mörg hundruð metra hárrí hlíð. Ef engin orka tapast vegna núningsmótstöðu, samsvarar fallhæð á þessu bili hraða frá 15 til 30 m/s, sem er mun minna en snjóflóð úr hærri hlíðum geta náð. Gera má ráð fyrir að hraðinn sé talsvert lægri þegar tekið er tillit til núningsmótstöðu (sjá nánar hér að neðan).

**Hlutfallslega lágt upptakasvæði:** Snjóflóð leggur ekki allt af stað í einum punkti. Í flekaflóðum brestur snjóþekjan á allstóru svæði og í lausasnjóflóðum kemst á endanum los á snjó á stóru svæði þó slík flóð hefjist að heita má í einum punkti. Fyrir snjóflóð úr háum hlíðum má gera ráð fyrir að meginupptakasvæðið sé í efsta hluta hlíðarinnar og stærð upptakasvæðisins hefur ekki úrslitaáhrif á hraða flóðsins á úthlaupssvæðinu þegar borin eru saman snjóflóð sem hafa svipaðan heildarmassa. Öðru máli gegnir um snjóflóð úr lágum hlíðum. Þar má ætla að flekinn sem af stað fer nái langleiðina niður fallbraut flóðsins. Meðalfallhæð snævarins sem fer af stað er því verulega minni en fallhæðin frá efsta punkti upptakasvæðisins niður á úthlaupssvæðið og stöðuorkan sem flóðinu er tiltæk er sem því nemur minni.

**Lengd snjóflóðsins á úthlaupssvæðinu:** Í snjóflóðalíkanreikningum er oft miðað við að lengd snjóflóðs sé mjög lítið hlutfall af heildarlengd viðkomandi snjóflóðafarvegjar. Hefðbundið PCM-líkan tekur ekki tillit til lengdar snjóflóðs nema með óbeinum hætti. Eins og fyrr var nefnt gerir sú útgáfa PCM-líkansins sem notuð er við reikninga á rennslisstigum á Veðurstofunni ráð fyrir fastri lengd á snjóflóðinu (75 m). Ætla má að snjóflóð sem fellur úr nokkurra tuga metra hárrí hlíð teygi úr sér og sé nokkru lengra þegar það stöðvast en í upphafi. Teyging í flóðstefnuna hefur væntanlega nokkur áhrif á hraðann og fremsti hluti flóðsins fer mun lengra en massamiðja þess. Fyrir flóð úr lágum hlíðum er nauðsynlegt að taka tillit til lengdar flóðsins og e.t.v. breytinga á henni niður brekkuna til þess að unnt sé að skýra skriðlengd og reikna raunhæfan hraðaferil.

**Áhrif stærðar flóðsins á ástreymisþrýsting:** Venjulega er ástreymisþrýstingur snjóflóðs reiknaður sem fall af eðlismassa snævarins og hraða flóðsins með formúlunni  $p = \rho u^2$ . Ekki er tekið neitt tillit til stærðar flóðsins. Ætla má að flóð sem einungis er nokkrir tugir metra að lengd geti ekki „fylgt eftir“ upphafsálagi á fyrirstöðu með sama hætti og flóð sem er mörg hundruð metrar að lengd. Erfitt er að meta þessi áhrif en hér að neðan verður gert ráð fyrir að dánarlíkur fólks sem lendir í snjóflóði úr nokkurra tuga metra hárrí hlíð séu fyrir sama hraða e.t.v. þrefalt til tífalt lægri en metið hefur verið fyrir stór snjóflóð á grundvelli gagna um snjóflóðin í Súðavík og á Flateyri árið 1995. Þetta er í sjálfu sér hrein ágiskun





en byggir á þeirri skoðun að eyðileggingarmáttur og þar með dánarlíkur af völdum stórs snjóflóðs úr hárrí hlíð, sem fylgir eftir álagi með hundrað eða hundruð metra langri snjódyngju á hreyfingu, sé allt að stærðarþrepi meiri en fyrir snjóflóð úr nokkurra tuga metra háum bakka. Jafnframt er haft í huga að styrkingarkröfur hættumatsreglugerðar fyrir A- og B-svæði tiltaka ástreymisþrýsting sem er mjög hár miðað við ástreymisþrýsing sem vænta má undir lágum hlíðum (sjá hér að neðan).

**Upptökin eru í næsta nágrenni byggðarinnar:** Að lokum er rétt að nefna atriði sem skiptir máli varðandi líkur á því að slysn verði á fólki af völdum snjóflóðs úr lágri hlíð. Allt aðrir möguleikar eru á því að fylgjast með snjósöfnun í lágri hlíðar, sem eru í næsta nágrenni viðkomandi byggðar, samanborið við upptakasvæði sem eru 500–1000 m hæð yfir byggðinni. Í lýsingu á aðdraganda snjóflóðanna úr lágum hlíðum hér að framan hafa íbúar oft orðið varir við mikla snjósöfnun og haft af henni áhyggjur áður er flóð falla. Því má ætla að meiri möguleikar séu á því að fólk geti haft varann á og forðað slysi þó slíkt hafi ekki áhrif á „staðaráhættuna“ sem ofanflóðahættumat byggir á skv. reglugerð. Þessi röksemd getur ekki með beinum hætti haft áhrif á hættumatslínur en hana má hafa í huga varðandi stærðarþrepsmatið á lækun á dánarlíkum fyrir lágri hlíðar sem lagt var til í liðnum hér að framan.

## Einfalt líkan af hraða snjóflóðs úr lágri hlíð

Hér verður lýst einföldu líkani af hreyfingu snjóflóðs sem fellur úr lágri hlíð þar sem gert er ráð fyrir að flóðið hægi á sér með Coulomb-sku viðnámi eingöngu, þ.e. viðnámið er ekki háð hraða flóðsins. Reynt er að taka tillit til þess að flóðið fer af stað sem fleki sem nær niður verulegan hluta fallbrautarinnar, að tagnað getur á flóðinu á leiðinni niður hlíðina, og að flóðtungan nær mun lengra en sem svara skriðlengd massamiðju flóðsins.

Gert er ráð fyrir að lögum hlíðarinnar megi lýsa með tveimur „skábrettum“ sem koma saman í brekkufæti (mynd 2).

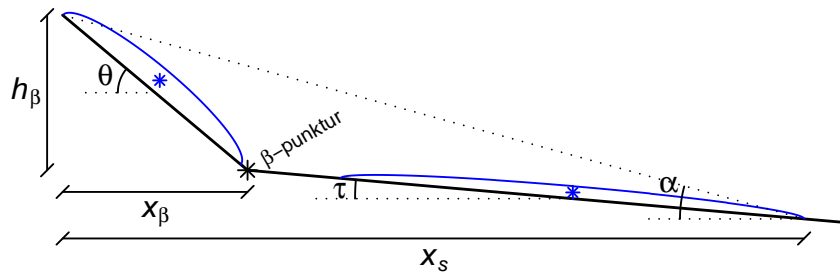
Gengið er út frá því að hreyfingu flóðsins megi lýsa með orkujöfnu fyrir massamiðju þess og að teygning á flóðmassanum í hreyfingarstefnuna sé jöfn milli enda flóðsins og fari vaxandi jafnt og þétt meðan á hreyfingunni stendur í hlutfalli við vegalengdina sem massamiðjan leggur að baki. Þá má rita eftirfarandi jöfnu fyrir hraða massamiðjunnar þegar hún fer yfir brekkufótinn

$$\frac{1}{2}u_{\beta}^2 = g(h_{\beta} - \frac{1}{2}l_u \sin \theta) - \mu g(h_{\beta} - \frac{1}{2}l_u \sin \theta) / \tan \theta = g(h_{\beta} - \frac{1}{2}l_u \sin \theta)(1 - \mu / \tan \theta),$$

þar sem  $\mu$  er núningsstuðull,  $g$  er þyngdarhröðun og önnur tákni eru skilgreind í skýringu með mynd 2. Með sama hætti verður hraði massamiðjunnar á úthlaupssvæðinu

$$\frac{1}{2}u_c^2 = \frac{1}{2}u_{\beta}^2 + g(\xi - x_{\beta}) \tan \tau - \mu g(\xi - x_{\beta}) = \frac{1}{2}u_{\beta}^2 - g(\xi - x_{\beta})(\mu - \tan \tau),$$

þar sem  $\xi > x_{\beta}$  er  $x$ -hnit massamiðjunnar.



Mynd 2: Snjóflóðsbrekka sem gengið er út frá í einföldu líkani af flæði snjóflóðs úr lágum hlíðum. Upptakahalli er  $\theta$ , halli úthlaupssvæðisins er  $\tau$ ,  $\beta$ -punktur er á mótum fallbrautar og úthlaupssvæðis. Upptakasvæðið spannar hæðarbilið  $h_\beta$  og lárétt lengd þess er  $x_\beta$ . Lengd snjóflóðsins þegar það fer af stað er  $l_u$  en  $l_s$  þegar það stöðvast. Heildarskriðlengd flóðsins  $x_s$  er mæld frá efsta punkti upptaka niður að stöðvunarpunkti. Úthlaupshorn snjóflóðsins  $\alpha$  er einnig mælt frá efsta punkti upptaka niður að stöðvunarpunkti. Massamiðja snjómassans áður en flóðið fer af stað og eftir að það stöðvast er sýnd með stjörnum.

Þegar flóðið stöðvast er  $u_c = 0$  og þá gildir

$$0 = g(h_\beta - \frac{1}{2}l_u \sin \theta)(1 - \mu/\tan \theta) - g(\xi_s - x_\beta)(\mu - \tan \tau),$$

og því reiknast lárétt skriðlengd massamiðjunnar umfram brekkufótinn

$$\xi_s - x_\beta = (h_\beta - \frac{1}{2}l_u \sin \theta)(1 - \mu/\tan \theta)/(\mu - \tan \tau).$$

Úthlaupshornið  $\alpha$  má þá reikna

$$\tan \alpha = \frac{h_\beta + (\xi_s - x_\beta) \tan \tau + \frac{1}{2}l_s \sin \tau}{h_\beta/\tan \theta + (\xi_s - x_\beta) + \frac{1}{2}l_s \cos \tau}.$$

Hraða snjóflóðsins í mismunandi fjarlægð frá massamiðjunni má á úthlaupssvæðinu neðan brekkufótar reikna út frá hraða massamiðjunnar  $u$  og teygingarhraðanum  $\epsilon$  sem í þessu tilviki er

$$\dot{\epsilon} = \frac{dl}{(d\xi/\cos \tau)} \frac{u_c}{l} = \frac{l_s - l_u}{\xi_s - \xi_u} \frac{u_c \cos \tau}{l},$$

þar sem  $l$  er lengd flóðsins þegar massamiðjan er í  $\xi$  og gert er ráð fyrir að lengd flóðsins  $l$  vaxi línulega með láréttri tilfærslu massamiðjunnar  $\xi$ . Hraði flóðsins á staðnum  $x$  þegar massamiðjan er í  $\xi$  er þá

$$u = u_c + \dot{\epsilon}(x - \xi)/\cos \tau = u_c \left( 1 + \frac{l_s - l_u}{\xi_s - \xi_u} \frac{(x - \xi)}{l} \right)$$



og ástreymisþrýsting á hverjum stað innan flóðsins má reikna

$$p = \rho u^2 .$$

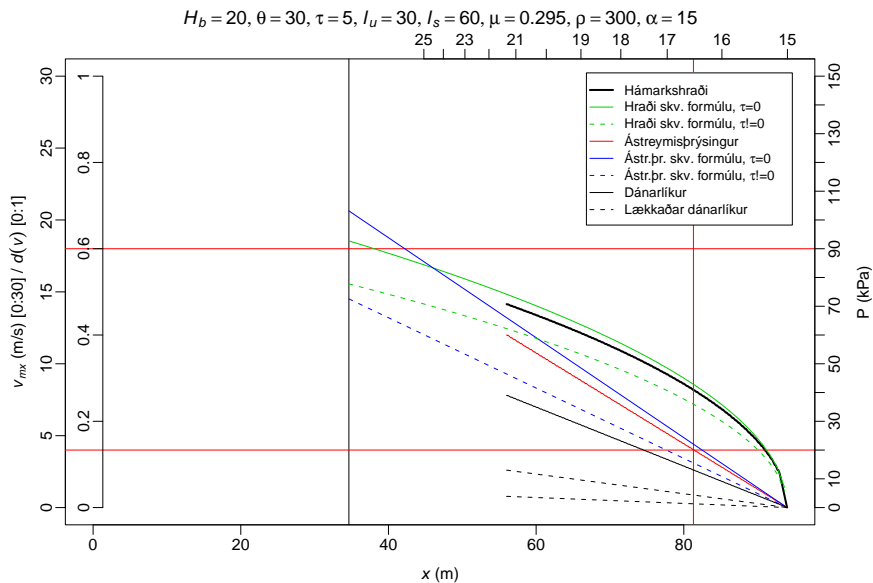
Unnt er að reikna hraða sem fall af vegalengd fyrir röð af staðsetningu massamiðjunnar frá brekkufæti að stöðvunarstað og finna hámarkshraðann sem snjóflóðið nær á hverjum stað að gefinni tiltekinni skriðlengd.

Reikningar þessir eru augljóslega gróf lýsing á flæði flóðs úr lágri hlíð, m.a. er lenging flóðsins ekki reiknuð út frá aflfræðilegum forsendum heldur bætt við eftir á án þess að tekið sé tillit til hraðaorku sem felst í mismunandi hraða flóðsins á mismunandi stöðum í farveginum. Líkanið ætti þó í fyrstu nálgun að geta tekið tillit til áhrifa flóðlengdar á hraða og ástreymisþrýsting, sem gerir kleift að nota „sennileg“ gildi á viðnámsstuðlinum  $\mu$  við reikninga á hámarkshraða sem falli af fjarlægð frá stöðvunarstað. Þetta er ótvíræð framför frá stuðlunum sem notaðir eru við rennslisstigareikninga þar sem  $\mu < 0.2$  fyrir rennslisstig yfir 16, og  $\mu < 0.15$  fyrir rennslisstig yfir 17, sem verður að teljast óraunsað. Hin lágu gildi á  $\mu$  sem notuð eru við rennslisstigareikninga leiða ekki til óraunhæfra niðurstaðna í líkanreikningum á snjóflóðum úr háum hlíðum vegna þess að hraðaháð viðnám dregur í því tilviki úr hraða og skriðlengd. Fyrir mjög lágur brekkur þar sem hraði snjóflóðs er óhjákvæmilega lítill leiða óeðlilega lág gildi á  $\mu$  til mjög mikillar og ótrúverðugrar skriðlengdar eins og rætt var hér að framan.

## Hámarkshraði sem fall af fjarlægð frá stöðvunarstað

Mynd 3 sýnir hámarkshraða snjóflóðs sem fellur úr 20 m hárru brekku skv. líkaninu sem lýst er hér að framan og myndir 4 og 5 sýna hraðann fyrir 10 og 50 m háa brekkur. Í báðum tilvikum er halli upptakasvæðisins  $\theta = 30^\circ$  og halli úthlaupssvæðisins  $\tau = 5^\circ$ . Núningsstuðullinn  $\mu$  er valinn þannig að flóðin ná  $15^\circ$  úthlaupshorni. Myndirnar sýna að hámarkshraðinn er um 15 m/s í um 20 m fjarlægð frá brekkufæti fyrir 20 m brekkuna, um 10 m/s í um 10 m fjarlægð frá brekkufæti fyrir 10 m brekkuna og um 23 m/s í um 50 m fjarlægð frá brekkufæti fyrir 50 m brekkuna. Hraðinn er ekki fjarri því að fylgja kvaðratrótarlögun með fjarlægð frá stöðvunarpunkti flóðsins. Formúlan  $u = \sqrt{2(\mu - \tan \tau)g(x_s - x)}$  reynist segja vel til um breytingu hraðans með fjarlægð frá stöðunarpunkti fyrir breytileg gildi á halla úthlaupssvæðisins  $\tau$  þó formúlan sem ekki tekur tillit til  $\tau$  (sjá skýringu sem fylgir myndinni), sem einnig er sýnd í myndum 3, 4 og 5, gefi svipaða raun fyrir gildið  $\tau = 5^\circ$  sem myndirnar sýna.

Vekja má athygli á því að ástreymisþrýstingur snjóflóða sem ná  $15^\circ$  úthlaupshorni er fremur lágur miðað við það sem menn eiga að venjast fyrir hærri snjóflóðafarvegi. Þannig nær ástreymisþrýstingurinn fyrir slíkt flóð úr 10 m bakkanum ekki nema um 30 kPa, og um 60 kPa fyrir 20 m brekku eftir að snjóflóðið er komið að mestu niður á jafnsléttu (rauðar línur í myndunum). Þetta er mikill þrýstingur miðað við vindálag eða annað álag sem byggingar verða fyrir af öðrum orsökum en tiltölulega lágur miðað við snjóflóðaálag almennt. Því má gera ráð fyrir að styrkingar bygginga gagnvart snjóflóðum hafi mikil áhrif til þess að minnka dánarlíkur fólks undir lágum brekkum, mun meiri en fyrir aðra snjóflóðafarvegi. Taka þarf tillit til þessa þegar styrkingar kröfur eru tilgreinar fyrir byggingar undir lágum brekkum. Ljóst er að mun minni styrkingar þarf til þess að bæta öryggi fólks undir lágum hlíðum en þörf er á undir hærri farvegum.



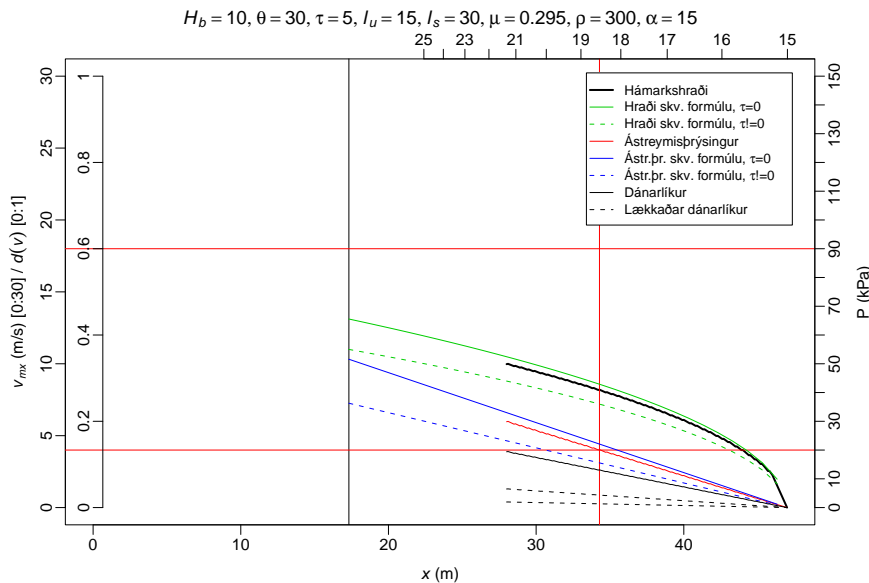
Mynd 3: Hámærkshraði snjóflóðs sem fellur úr 20 m háum bakka og nær  $15^\circ$  úthlaupshorni (sjá mynd 2 til skýringar á lögun brekkunnar). Lengd flóðsins þegar það fer af stað er sem svarar  $3/4$  hlutum af lengd brekkunnar. Stuðlar líkansins koma fram í titli myndarinnar. Úthlaupshornið  $\alpha$  á mismunandi stöðum á úthlaupssvæðinu er sýnt með kvarða á efri  $x$ -ásnum. Hraðinn er einungis sýndur eftir að flóðið er að mestu leyti komið niður á úthlaupssvæðið. Myndin sýnir einnig ástreymisþrýsting,  $p = \rho u^2$ , sem samsvarar hraðanum m.v.  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ . Lóðrétt svört lína sýnir staðsetningu brekkufótar og láréttar og lóðréttar rauðar línur sýna hvar ástreymisþrýstingur nær 20 og 90 kPa, en það samsvarar styrkingarkröfum fyrir íbúðarhús við efri mörk hættusvæða A og B skv. reglugerð um hættumat. Grænar línur sýna reiknaðan hraða með formúlunni  $u = \sqrt{2\mu g(x_s - x)}$  (heildregin lína) og  $u = \sqrt{2(\mu - \tan \tau)g(x_s - x)}$  (slitin lína). Bláar línur sýna reiknaðan ástreymisþrýsting með formúlunni  $p = \rho 2\mu g(x_s - x)$  (heildregin lína) og  $p = \rho 2(\mu - \tan \tau)g(x_s - x)$  (slitin lína). Svartar línur sýna metnar dánarlíkur eins og nánar er lýst í næsta undirkafla (kvarði fyrir dánarlíkurarnar er til vinstri á myndinni innan við hraðakvarðann).

## Dánarlíkur

Dánarlíkur í snjóflóðum hafa verið metnar út frá upplýsingum um örlög fólks sem lenti í snjóflóðunum í Súðavík og á Flateyri árið 1995 (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Dánarlíkurarnar,  $d$ , eru fall af hraða snjóflóðsins,  $u$ ,

$$d(u) = \begin{cases} ku^2 & \text{ef } u < u_1 \\ 1 - c - \frac{a}{u-b} & \text{ef } u \geq u_1 \end{cases},$$

þar sem  $k = 0.00130 \text{ (m/s)}^{-2}$ ,  $c = 0.05$ ,  $a = 1.151 \text{ m/s}$ ,  $b = 18.61 \text{ m/s}$  og  $u_1 = 23.0 \text{ m/s}$ . Þessi formúla gefur til kynna að dánarlíkur fari línulega vaxandi með ástreymisþrýstingi,  $p = \rho u^2$ , að ákveðnu marki en ákveðnar lífslíkur séu jafnvel fyrir mjög öflug flóð þannig að þegar hraðinn er kominn upp fyrir rúmlega 20 m/s dragi úr halla ferilsins. Fyrir eðlisþyngdina  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$



Mynd 4: Hámarkshraði snjóflóðs sem fellur úr 10 m háum bakka og nær  $15^\circ$  úthlaupshorni (sjá mynd 2 til skýringar á lögun brekkunnar). Lengd flóðsins þegar það fer af stað er sem svarar 3/4 hlutum af lengd brekkunnar. Stuðlar líkansins koma fram í titli myndarinnar. Nánari skýringar koma fram neðan við mynd 3. Athyglisvert er að reiknaður ástreymisþrýstingur snjóflóða er mest 30–50 kPa sem er langt undir styrkingarkröfum sem gerðar eru til bygginga á B-svæðum skv. reglugerð um hættumat (90 kPa).

má rita dánarlíkurnar sem fall af ástreymisþrýstingnum  $p$

$$d(p) = 0.0043 \frac{p}{1 \text{ kPa}}$$

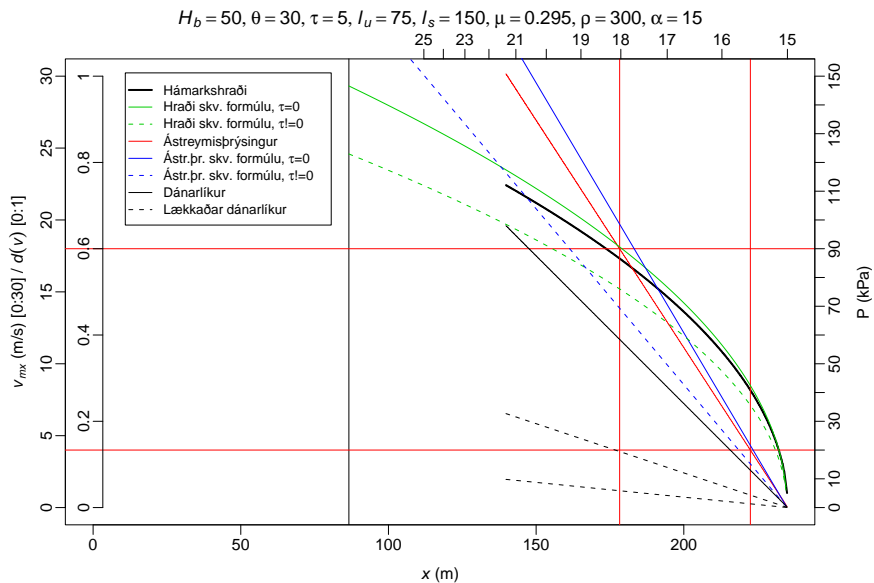
fyrir hraða  $u < u_1 = 23 \text{ m/s}$  eða ástreymisþrýsting  $p < 159 \text{ kPa}$  (u.þ.b. 16 tonn á fermetra).

Myndir 3, 4 og 5 sýna metnar dánarlíkur skv. þessum formúlum fyrir snjóflóð sem nær  $15^\circ$  úthlaupshorni úr 20, 10, og 50 m háum brekkum. Bæði eru sýndar dánarlíkur eins og þær reiknast fyrir formúlur sem leiddar eru út fyrir snjóflóð úr háum snjóflóðafarvegum (heildregnar línur) og einnig þrefalt og tífalt lægri dánarlíkur (slitnar línur). Sjá má að lækkuðu dánarlíkurnar eru á bilinu 0–10% fyrir 20 m brekkuna, á bilinu 0–5% fyrir 10 m brekkuna og á bilinu 0–20% fyrir 50 m brekkuna fyrir vegalengdarbilið þar sem hraðinn er reiknaður.

## Skriðlengdardreifing og áhætta

Áhætta af völdum snjóflóða er háð tíðni eða skriðlengdardreifingu snjóflóða úr viðkomandi brekku auk hraða eða ástreymisþrýstings snjóflóðs með ákveðna skriðlengd. Staðaráhætta í hefðbundnu íslensku hættumati fyrir snjóflóð úr háum hlíðum er metin með formúlunni

$$R(r) = F_{13} \int_r^\infty f(t) d(u_r(t)) dt$$



Mynd 5: Hámærkshraði snjóflóðs sem fellur úr 50 m hárrí brekku og nær  $15^\circ$  úthlaupshorni (sjá mynd 2 til skýringar á lögum brekkunnar). Lengd flóðsins þegar það fer af stað er sem svarar 3/4 hlutum af lengd brekkunnar. Stuðlar líkansins koma fram í titli myndarinnar. Nánari skýringar koma fram neðan við mynd 3. Reiknaður ástreymisþrýstingur snjóflóða næst brekkufætinum er á bilinu 180–260 kPa sem er talsvert yfir mestu styrkingarkröfum sem gerðar eru til bygginga á B-svæðum skv. reglugerð um hættumat.

(Kristján Jónasson o.fl., 1999).  $R(r)$  er áhætta eða árlegar dánarlíkur í skriðlengd eða rennslisstigi  $r$ ,  $F_{13}$  er tíðni snjóflóða sem ná niður fyrir rennslisstig 13,  $t$  er skriðlengd snjóflóða sem ná niður fyrir viðmiðunarskriðlengdina  $r$  þar sem áhætta er reiknuð,  $f(t)$ , eða öllu heldur  $F_{13} f(t)$ , er dreififall skriðlengdarinnar, og  $d(u_r(t))$  eru dánarlíkur í skriðlengdinni  $r$  af völdum snjóflóðs sem nær skriðlengdinni  $t$ . Þessa formúlu er ekki unnt að nota óbreytta fyrir lágur brekkur eða bakka vegna þess að ætla má að rennslisstig séu ekki viðeigandi sem mælikvarði á skriðlengdina þegar lóðrétt fallhæð snjóflóða er mjög lítil eins og áður er nefnt.

Í kafla hér að framan voru nefnd ýmis dæmi um snjóflóð úr lágum brekkum sem náð hafa úthlaupshorni á bilinu  $20\text{--}15^\circ$ . Einnig var lýst einföldu líkani fyrir snjóflóð úr slíkum brekkum þar sem gera má ráð fyrir nánu sambandi milli úthlaupshorns snjóflóða og viðnámsstuðuls milli snævarins og undirlagsins ( $\mu$ ). Fyrir svipaðar viðnámsaðstæður (og aðrar aðstæður svo sem lög-un brekku og snjósöfnunaraðstæður) má ætla út frá þessu líkani að snjóflóð með mismunandi fallhæð hafi tilhneigingu til þess að ná svipuðu úthlaupshorni. Því virðist geta hentað að skilgreina úthlaupshornið sem skriðlengdarmælikvarða og nota það til þess að leggja mat á tíðni og skriðlengdardreifingu snjóflóða úr lágum brekkum. Það er til einföldunar að skriðlengdarmælikvarðinn vaxi með vaxandi skriðlengd og er því hér skilgreint hornið  $\gamma = \alpha_0 - \alpha$ , þar sem  $\alpha_0 = 25^\circ$ ,





Áhættuformúlan hér að framan verður þá

$$R(\gamma) = F_{\gamma_0} \int_{\gamma}^{\infty} f(t) d(v_{\gamma}(t)) dt ,$$

þar sem breytur hafa sömu merkingu og áður nema  $f(t)$ , eða öllu heldur  $F_{\gamma_0} f(t)$ , er dreififall skriðlengdarinnar í úthlaupshornsfrávikinu  $\gamma$  (í stað rennslisstigsins  $r$ ), og  $t$  er heildunarbreyta sem spannar úthlaupshornsfrávik  $t > \gamma$ . Hér er gert ráð fyrir að viðmiðunartíðni snjóflóða,  $F(\gamma_0) = F_{\gamma_0}$ , sé metin fyrir frávikshornið  $\gamma_0$  með sambærilegum hætti og tíðni snjóflóða í rennslisstigi 13,  $F_{13}$ , er metin í hættumati sem byggir á rennslisstigum.

Í hefðbundna hættumatinu fyrir háa snjóflóðafarvegi er skriðlengdardreifing snjóflóða metin á grundvelli gagnasafns um skriðlengd íslenskra snjóflóða sem telur tæplega 200 snjóflóð sem fallið hafa úr hlíðum í grennd við byggð hér á landi. Fátæklegar upplýsingar um skriðlengd snjóflóða úr lágum brekkum gera það að verkum að hér verður að notast við ágiskanir. Miðað er við að líkur á því að snjóflóð nái lengra en úthlaupshornsfrávikinu  $\gamma$  fari minnkandi sem veldisfall

$$F(\gamma) = F_{\gamma_0} e^{-(\gamma-\gamma_0)/\lambda} ,$$

þar sem  $\lambda$  er úthlaupshornsbil sem þarf til þess að líkurnar minnki í hlutfallinu  $e^{-1}$ . Jafnframt þarf að taka tillit til sk. tunguáhrifa en þau fela í sér að í tíðnimati er einfaldast að miða við skriðlengd eða úthlaupshorn þess hluta snjóflóðsins sem lengst nær frá brekkunni. Tíðnimatið sem notað er í áhættureikningum þarf hins vegar að vera mat á tíðni snjóflóðs á tilteknum stað sem kann að vera svolítið til hliðar við staðinn þar sem flóðið náði lengst. Hér verður miðað við að sk. tungustuðull sé 0.5, þ.e. að lækka þurfi tíðni snjóflóðs um helming til þess að taka tillit til þessara áhrifa.

Hinn litli hraði sem snjóflóð úr lágum brekkum ná gerir mögulegt að einfalda áhættulíkanið með því að nýta sér að  $d(v) \approx kv^2$  fyrir hraða undir u.þ.b. 20 m/s og nota hraða sem reiknaður er með einfalda úthlaupslíkaninu sem lýst er hér að framan. Þá má reikna áhættu með því að heilda áhættuformúluna

$$R(\gamma) = F_{\gamma_0} \frac{d_{lb}}{d} k (\mu - \tan \tau) g \frac{h_{\gamma_0}}{(\alpha_0 - \gamma_0)^2} \lambda e^{-\gamma/\lambda} , \quad \frac{d_{lb}}{d} = \frac{1}{3} \text{ til } \frac{1}{10}$$

þar sem  $h_{\gamma_0}$  er fallhæð flóðsins niður að viðmiðunarstað með úthlaupshornið  $\alpha_0 - \gamma_0$  þar sem tíðni flóðanna er metin. Þá er gert ráð fyrir að dánarlíkur vegna snjóflóða úr lágum brekkum ( $d_{lb}$ ) séu þrefalt til tífalt lægri en fyrir snjóflóð úr háum snjóflóðafarvegum ( $d$ ) eins og áður var á minnst, að lækun á tíðni snjóflóða vegna tunguáhrifa sé um 0.5, hraði snjóflóða er nálgður með formúlunni  $v^2 = 2(\mu - \tan \tau)g(x_s - x)$ , og notaðar eru nálgunarformúlur fyrir  $\tan \alpha$  fyrir lág gildi á  $\alpha$ .

Formúlan fyrir  $R(\gamma)$  sýnir eins og vænta mátti að áhætta í sambærilegu úthlaupshorni lækkar fyrir lágur brekkur í hlutfalli við fallhæð snjóflóðanna (liðurinn  $h_{\gamma_0}$ ) fyrir sömu viðmiðunartíðni flóða niður í ákveðið úthlaupshorn. Þetta stafar af því að hraði snjóflóðanna er háður fjarlægð frá stöðvunarstað. Fyrir lágur brekkur minnka allar fjarlægðir í hlutfalli við hæð brekkunnar þannig að fjarlægðir frá stöðvunarstað minnka og þar með hraði flóðanna eftir því sem brekkan



verður lægri. Þetta er frábrugðið því sem gildir fyrir hærri snjóflóðafarvegi. Þar hefur áhætta í ákveðnu rennslisstigi tilhneigingu til þess að vera svipuð fyrir farvegi af mismunandi hæð ef tíðni í viðkomandi rennslisstigi er svipuð. Þetta atriði hefur úrslitaáhrif við mat á snjóflóðahættu úr mjög lágum brekkum.

Ef gert er ráð fyrir því að tíðni flóða minnki tífalt þegar úthlaupshorn lækkar um  $5^\circ$  (sjá nánar hér að neðan), þ.e. að  $\lambda = 5^\circ / \log_e(10) = 2.17^\circ$ , og litið til úthlaupshorna nærri  $20^\circ$  ( $\alpha_0 = 25^\circ$ ,  $\gamma_0 = 5^\circ$ ), og gert ráð fyrir  $\mu = 0.3$  og  $\tau = 5^\circ$  þá fæst staðaráhættan (athugið að horn eru tiltekin í radfönum nema þegar þau eru gefin upp með gráðumerki)

$$R(\gamma) = F_{\gamma_0} (0.8 - 2.6) \cdot 10^{-4} h_{\gamma_0} e^{-\gamma/\lambda} .$$

Ef endurkomutími snjóflóða niður í  $\alpha = 20^\circ$  er t.d. 200 ár, sem er talsvert há tíðni, þá leiðir þessi röksemdafærsla til áhættunnar  $R(\alpha = 20^\circ) = (0.04 - 0.13) \cdot 10^{-4}$  á ári fyrir 10 m háa brekku,  $R(\alpha = 20^\circ) = (0.08 - 0.26) \cdot 10^{-4}$  á ári fyrir 20 m brekku og  $R(\alpha = 20^\circ) = (0.19 - 0.65) \cdot 10^{-4}$  á ári fyrir 50 m brekku, þ.e. hættusvæði A kann að ná niður í u.þ.b.  $20^\circ$  úthlaupshorn, heldur lengra fyrir hærri brekkur og skemmra fyrir lægstu bakkana. Fyrir 10 og 20 m brekkurnar fæst að áhættan í  $\alpha = 25^\circ$  er á bilinu  $(0.4 - 2.6) \cdot 10^{-4}$  á ári sem er nokkuð undir markalínu hættusvæðis C skv. hættumatsreglugerð ( $3 \cdot 10^{-4}$  á ári), en markalína hættusvæðis C undir 50 m hárra brekku yrði ekki fjarri  $25^\circ$  úthlaupshorninu. Áhættubílin sem hér eru tiltekin eiga við annars vegar tífalda og hins vegar þrefalda lækkun á dánarlíkum fyrir flóð úr lágum brekkum miðað við hina háu farvegi sem upprunalega dánarlíknamatíð byggir á.

Eins og vænta má er endurkomutími snjóflóða nærri hættumatslínunni (A-línunni) miklu lægri fyrir lágur brekkur en fyrir háa snjóflóðafarvegi af hefðbundinni gerð. Fyrir hefðbundna snjóflóðafarvegi er endurkomutími flóða niður fyrir hættumatslínu talinn í þúsundum ára sem er stærðarþrepi lengra en hér er rökstutt að sé hæfilegt fyrir lágur brekkur.

## Skilgreining hættusvæða

Bil milli hættumatslína A og B eða B og C undir lágum hlíðum skv. formúlunum hér að framan yrði mjög lítið, þ.e.  $\sim 5$  m undir 10 m háum bakka og  $\sim 10$  m undir 20 m brekku. Fjarlægðin frá brekkufæti, þar sem upptaksvæðið með hallanum  $\theta = 30^\circ$  mætir úthlaupssvæðinu, að staðnum þar sem úthlaupshornið er  $25^\circ$  er einnig um 5–10 m fyrir 10–20 m háar brekkur. Svo stuttar fjarlægðir milli hættulína og frá C-línu að brekkufæti eru að ýmsu leyti marklausar, bæði í ljósi óvissunnar sem ríkir um þessar hugleiðingar og einnig vegna þess að stærð hættusvæða yrði þá vart meiri en stærð einstakra bygginga eða lóða.

Hér er lagt til að þreföld lækkun á dánarlíkum miðað við háa farvegi verði lögð til grundvallar neðri mörkum A-svæðisins en tíföld lækkun notuð til þess að staðsetja neðri mörk B-svæðisins undir lágum brekkum. Jafnframt verði C-svæði almennt ekki skilgreind undir slíkum brekkum nema í algerum undantekningartilvikum. Með þessu breikka hættusvæðin nokkuð miðað við það sem ella yrði. Svigrúmið sem óvissa um dánarlíknar gefur er með þessu notað til þess að stækka A-svæðið og þar með svæðið þar sem hættumatið lýsir yfir að snjóflóðahættu gæti. B-svæðið er hins vegar minnkað á þeim forsendum að allar líkur bendi til að dánarlíkur í snjóflóðum undir slíkum lágum hlíðum séu miklu lægri en fyrir hærri farvegi.



Með „lágum“ brekkum er hér átt við brekkur sem eru lægri en u.þ.b. 50 m. Þessi skilgreining er ekki hnífskörp og meta þarf í hverju tilviki hvort eðlilegt er að nota þá aðferðafræði sem hér lögð til. Í sumum tilvikum getur verið rökrétt að nota þessa aðferðafræði fyrir brekkur sem eru hærri en 50 m, e.t.v. allt að 100 m, einkum þegar klettabelti, sem ekki er eðlilegt að skoðist sem upptakasvæði fyrir snjóflóð, eru efst í viðkomandi brekku.

Skilgreining á C-svæði felur í sér mjög ákveðna yfirlýsingu um yfirvofandi snjóflóðahættu. Samkvæmt reglugerð er sú skylda lögð á yfirvöld að grípa til varnaraðgerða eða kaupa upp eignir á slíkum svæðum. Þó vissulega sé ástæða til þess að hafa áhyggjur af snjóflóðahættu undir lágum hlíðum, eins dæmin hér að framan sýna, er hér almennt ekki talin ástæða til þess að skilgreina C-svæði undir hlíðum sem eru lægri en  $\sim 50$  m. Engu að síðar er ekki unnt að útiloka að rétt sé að skilgreina C-svæði undir lágum hlíðum, t.d. ef snjóflóðasaga bendir til meiri hættu en hér er miðað við.

Skv. hættumatsreglugerð er heimilt að reisa sumt atvinnuhúsnæði á þegar skipulögðum B-svæðum og sumt íbúðarhúsnæði á þegar skipulögðum A-svæðum án þess að krafist sé neinna styrkinga (sjá nánar í reglugerðinni). Þegar ekki er skilgreint neitt C-svæði nær B-svæðið alveg að brekkunni, og í raun til allrar brekkunnar ef út í það er farið. Þó þetta endurspeglir þá skoðun að dánarlíkur undir lágum brekkum séu annars eðlis og miklu lægri en undir nokkur hundruð metra háum hlíðum, er augljóslega ekki skynsamlegt að byggja t.d. fjárhús eða skemmu þar sem búast má við umtalsverðri viðveru fólks þar sem snjóflóð kunna að falla með endurkomutíma á stærðarþrepinu hundruð ár eða skemmra. Hér er því mælt með því að undantekningarákvæðum hættumatsreglugerðar um óstyrkt atvinnuhúsnæði á B-svæðum og óstyrkt íbúðarhúsnæði á A-svæðum sé ekki notað til þess að reisa nýtt atvinnu- eða íbúðarhúsnæði undir lágum brekkum. Undir lágum brekkum eru hættusvæði í flestum tilvikum lítil að umfangi og víðáttumikil athafnasvæði fyrir nýjar byggingar utan hættusvæða í þeim tilvikum þar sem fyrirsjáanlega þarf að gera hættumat við þessar aðstæður. Því er ekki miklu til kostað að fara varlegar en reglugerðin heimilar að þessu leyti. Tilmæli um að svona verði staðið að málum munu fylgja hættumati undir lágum hlíðum þar sem B- eða A-svæði ná alveg að brekkurótum.

Samkvæmt ofangreindu verður eftirfarandi formúla notuð til þess að staðsetja hættumatslínuna, þ.e. markalínu A-svæðis, undir lágum brekkum

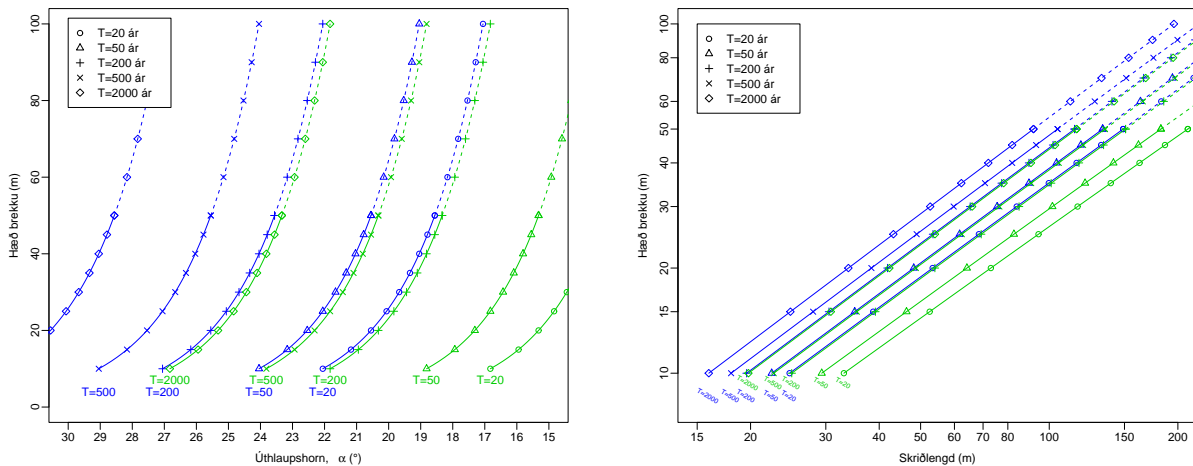
$$R(\gamma) = F_{\gamma_0} 2.6 \cdot 10^{-4} h_{\gamma_0} e^{-\gamma/\lambda} = 0.3 \cdot 10^{-4} \text{ ár}^{-1},$$

en formúlan

$$R(\gamma) = F_{\gamma_0} 0.8 \cdot 10^{-4} h_{\gamma_0} e^{-\gamma/\lambda} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ár}^{-1}$$

notuð til þess að staðsetja B-línuna. Fyrir 200 ára endurkomutíma niður í  $\alpha = 20^\circ$  og tífalda lækkun á tíðni fyrir hverjar  $5^\circ$  í úthlaupshorninu, eins og áður var notað, fæst að undir 10 m bakka lendir A-línan í  $22^\circ$  og B-línan í  $27^\circ$ . Fyrir 20 m háa brekku lendir A-línan hins vegar í  $20^\circ$  og B-línan í  $26^\circ$  og fyrir 50 m háa brekku lendir A-línan í  $18^\circ$  og B-línan í  $24^\circ$ .

Mat á tíðni snjóflóða ræður eins og vænta má úrslitum um legu hættumatslínanna. Ef talið er að tíðni snjóflóða sé svo há að flóð með nokkurra áratuga endurkomutíma nái niður í  $\alpha = 20^\circ$  þá mun hættumatslína (A-lína) undir 10–20 m háum bökkum ná út undir úthlaupshornið  $\alpha = 15^\circ$ . Ef hins vegar tíðni flóða út í  $\alpha = 20^\circ$  er hins vegar svo lítil að þangað ná flóð ekki nema á nokkur



Mynd 6: Neðri mörk hættusvæða A (grænar línur) og B (bláar línur) fyrir lágur brekkur fyrir mismunandi endurkomutíma snjóflóða  $T$  niður í úthlaupshornið  $\alpha = 20^\circ$ . Myndin til vinstri sýnir úthlaupshorn niður að markalínum hættusvæðanna en myndin til hægri sýnir lárétta vegalengd frá efri mörkum upptakasvæðis. Mörk hættusvæðanna fyrir fallhæð á bilinu 50–100 m eru sýnd með slitnum línum vegna þess að álitamál er hvort hættusvæðin sem sýnd eru eiga við fyrir svo háar brekkur. Tíuföld breyting í tíðni svarar til þess að markalína hættusvæðis A fyrir lægri tíðnina (lengri endurkomutíma) fellur sem næst saman við markalínu svæðis B fyrir hærri tíðnina (skemmri endurkomutíma) í samræmi við forsendurnar sem lýst er í textanum.

Þúsund ára fresti að meðaltali þá er eðlilegast að staðsetja A-línuna undir nokkurra tuga metra háum bökkum nærri úthlaupshorninu  $\alpha = 25^\circ$ . Mynd 6 sýnir mörk hættusvæða A og B sem fall af hæð brekku samkvæmt þessum forsendum fyrir nokkur valin gildi á endurkomutíma niður í  $\alpha = 20^\circ$ .

Hættumat undir lágum brekkum af þeim toga sem hér eru til umfjöllunar er óhjákvæmilega byggt á ýmsum matskenndum þáttum og huglægum forsendum vegna skorts á upplýsingum um snjóflóð úr slíkum upptakasvæðum. Upptakasvæðin eru í næsta nágrenni við byggingar sem kunna að verða fyrir flóðum og íbúar hafa ýmsa möguleika til þess að fylgjast með snjósöfnun í upptakasvæðin og yfirvofandi hættu sem ekki er til að dreifa fyrir háar hlíðar þar sem helstu mannskæð flóð hér á landi hafa átt upptök. Hér að ofan hafa verið færð rök fyrir því að rétt sé að hafa áhyggjur af snjóflóðahættu undir lágum hlíðum en engu að síður er lagt til að meta áhættuna mun minni en leiðir beint af forsendum sem notaðar eru við hættumat fyrir hærri hlíðar. Þessar tillögur eru því háðar verulegri óvissu sem rétt er að hafa í huga við notkun hættumatsins. Almennt er rétt að skipuleggja ekki *nýja byggð* í næsta nágrenni við hættumatslínur þar sem unnt er að komast hjá því og reyna að halda byggðinni utan við t.d.  $15\text{--}20^\circ$  úthlaupshorn. Undir mjög lágum brekkum er ekki miklu til kostað með slíkri varkárni vegna þess hve lítil svæði um er að ræða. Undir heldur hærri hlíðum, t.d. 50–100 m háum, eru svæðin sem um er að tefla hins vegar orðin talsvert stór. Þar verður að meta aðstæður í hverju tilviki. Rétt er að hafa í huga að snjóflóðahætta getur komið upp undir öllum hlíðum sem ná upptakahalla þar sem snjóflóð geta



farið af stað, þ.e. þar sem halli er yfir u.þ.b. 28–30°. Þó talið sé að snjósöfnun sé lítil og engar heimildir séu um snjóflóð er ekki unnt að útiloka snjóflóðahættu neins staðar þar sem skilyrði um upptakahalla eru til staðar.

## Tíðni snjóflóða

Gerð verður grein fyrir tíðnimati fyrir hvern stað í einstökum hættumatsskýrslum. Hér verða nefndar nokkrar almennar vísbendingar um tíðni snjóflóða úr lágum brekkum sem draga má ályktanir um af umfjöllun um heimildir um slík flóð hér að framan. Nokkrar heimildir eru um snjóflóð úr lágum hlíðum niður undir og niður fyrir 15° úthlaupshorn en jafnframt er ljóst að slík snjóflóð eru fremur eða mjög sjaldgæf þegar litið er til þess að heildarlengd slíkra hlíða þar sem byggð hefur verið í allmarga áratugi eða jafnvel aldir nemur væntanlega nokkrum kílómetrum. Ef gert er ráð fyrir að breidd snjóflóðanna sem hér er um að ræða sé frá nokkrum tugum metra upp í e.t.v. 100 m, að flóðin sem heimildir eru um séu til marks um tíðni snjóflóða úr hlíðum sem samtals eru nokkrir kílómetrar að lengd og að áhorfstími sem heimildir um flóðin ná til sé frá nokkrum áratugum upp í eina eða fleiri aldir þá fæst að endurkomutími flóða niður fyrir 15° kunni að vera á stærðarþrepinu þúsund ár á hverjum stað. Hér er ekki tekið tillit til mismunandi snjósöfnunaraðstæðna eða annarra atriða sem kunna að vera mismunandi á mismunandi stöðum, en flestar heimildanna eru frá snjóþungum héruðum og vænta má að heildarlengd hlíða sem svipað háttar til um séu einnig nokkrir kílómetrar.

Fyrir Drangsnæs eru heimildir um tvö flóð niður í  $\alpha = 19^\circ$  og eitt sem væntanlega hefði farið vel niður fyrir  $\alpha = 30^\circ$  ef það hefði ekki lent á fjárhúsi og stöðvast fyrr en ella hefði verið. Endurkomutímagreining með þremur flóðum er ekki til fyrirmyndar en hér verður engu að síður gerð tilraun til slíkrar greiningar. Heildarlengd hlíðarinnar á Drangsnæsi, þar sem vænta má flóða með svipuðum líkindum og þar sem þessi þrjú féllu, er e.t.v. um 400 m. Breidd flóðanna á níunda áratugnum er illa þekkt en e.t.v. má meta stærðarþrep breiddarinnar fyrir flóðin þrjú um 30 m. Erfitt er að meta áhorfstímann svo vel sé. Mörg hús hafa staðið undir bakkanum ofan Aðalbrautar síðan skömmu eftir síðari heimstýrjöldina þó mörg húsanna í þorpinu hafi ekki verið byggð fyrr en um 1980. Tvö húsanna voru byggð á þriðja áratug 20. aldar. Nokkur peningshús, sem nú eru horfin, stóðu undir brekkunum við Aðalbraut og Grundargötu áður en núverandi byggð þar reis. Áhorfstíminn er því a.m.k. allmargir áratugir en væntanlega styttri en öld. Öll skráð snjóflóð eru síðan eftir um 1980. Það bendir til þess að snjóflóðasagan sé gloppótt og að einhver flóð sem fallið kunna að hafa á 20. öld hafi ekki ratað í heimildir. Líklega er varlegast að reikna með um 30 ára áhorfstíma, þ.e. tímabilinu frá því að fyrstu þekktu snjóflóðin féllu.

Ef gert er ráð fyrir því að endurkomutími flóða niður í  $\alpha = 20^\circ$  sé um 200 ár og að hann vaxi um stærðarþrep fyrir hverjar 5° í (lækkun) úthlaupshorni þá fæst að endurkomutími flóðanna á níunda áratugnum er um eða yfir 200 ár en endurkomutími flóðsins sem lenti á Aðalbraut 6 reiknast nokkrir áratugir. Endurkomutími flóða niður á veginn meðfram ströndinni utan við Aðalbraut 14 og 18 og við Grundargötu 8 og 10 reiknast hins vegar á stærðarþrepinu þúsund eða nokkur þúsund ár. Ef endurkomutími flóða niður í  $\alpha = 20^\circ$  væri mun skemmri en þetta mat, t.d. ~50 ár, þá má ætla að endurkomutími flóða niður í  $\alpha = 25^\circ$  væri á stærðarþrepinu áratugur.



Það virðist of stutt. Ef endurkomutími flóða niður í  $\alpha = 20^\circ$  væri hins vegar mun lengri en 200 ár, t.d. 500–1000 ár, þá yrði að teljast mjög ólíklegt að tvö flóð niður í  $\alpha = 19^\circ$  hefðu fallið síðan um 1980 á ekki stærra svæði.

Hér verður vegna skorts á nánari upplýsingum að gera ráð fyrir því að snjósöfnunaraðstæður á Drangnesi og nokkrum eða flestum stöðum þar sem heimildirnar hér að framan greina frá alllögum eða löngum flóðum úr lágum brekkum séu í aðalatriðum sambærilegar. Ef stærðarþrepsmatið á tíðni og tíðnidreifingu fyrir Drangnes er notað fæst að endurkomutími snjóflóða niður í  $\alpha = 14^\circ$ , en um slík flóð eru tvö þekkt dæmi, kann að vera á stærðarþrepinu nokkur þúsund ár (endurkomutíminn 200 ár í  $\alpha = 20^\circ$  og tífold lækkun á tíðni fyrir hverjar  $5^\circ$ , þ.e.  $\lambda = 5^\circ / \log_e(10)$ , svarar til endurkomutímans 3200 ár í  $\alpha = 14^\circ$ ). Jafnframt fæst að vænta má snjóflóða niður í  $\alpha = 25^\circ$  úr slíkum hlíðum á nokkurra áratuga fresti. Þetta tíðnimat virðist í grófu samræmi við fyrirliggjandi heimildir en er augljóslega verulegri óvissu undirorpið.

## Viðmiðunarreglur til hliðsjónar við hættumat

Ekki er nægilegt að meta eingöngu tíðni úr hlíðum sem eru sambærilegar að lögun og snjóþyngslum við brekkurnar á Drangnesi eða hlíðarnar í Mýrdal og Reykhólasveit þar sem þekkt er að löng flóð hafa fallið úr lágum hlíðum. Einnig þarf að huga að tíðni flóða í snjóléttari héruðum og úr hlíðum sem eru kúptar þannig að þær hreinsa sig að miklu leyti af snjó í flestum veðrum þegar snjór safnast annars staðar. Þar eru enn minni upplýsingar við að styðjast en fyrir snjóþyngri hlíðar. Eftirfarandi viðmiðunarreglur eru hér lagðar til fyrir hættumat fyrir hlíðar sem eru að einhverju leyti ekki sambærilegar við hlíðarnar sem hér hefur verið fjallað um fram að þessu. Sökum þess hversu litlar upplýsingar er við að styðjast eru þessar viðmiðunarreglur settar fram sem stærðarþrepsmat. Gerð er grein fyrir aðstæðum sem leiða til þess að hætta er metin heilu og hálfu stærðarþrepi meiri eða minni en sem svarar endurkomutímamatinu fyrir Drangnes og aðrar snjóþungar lágur brekkur sem lýst er hér að framan.

**Snjóflóðasaga:** Þar sem heimildir eru um að snjóflóð hafi fallið kann að vera ástæða til þess að draga hættumatslínur heldur fjær brekkufæti þó tíðnimati sé ekki breytt formlega af þeim sökum. Í sumum tilvikum má sjá af lögun upptakasvæðis eða af landslagi ofan brekkubrúnar að ekki er tilviljun að snjóflóð hafa fallið á þeim stöðum þar sem þau eru skráð. Í tíðnimati er hins vegar oft litið til stærri svæða og margra keimlíkra farvega og leiddar líkur að meðaltíðni sem á við allt viðkomandi svæði. Á einstökum stöðum innan svæðisins getur verið tilefni til þess að draga hættumatslínur svolítið fjær eða nær hlíðinni eftir staðbundnu mati á aðstæðum.

**Lögun hlíðarinnar:** Þar sem hlíð er kúpt (ávöl) þannig að vænta má minni snjósöfnunar eða íhvolf (skálarlaga) þannig að snjósöfnun er meiri en ella er e.t.v. hæfilegt að meta hættuna þrefalt minni eða meiri en ella væri. Þetta þarf að meta í hverju tilviki fyrir sig, m.a. með hliðsjón af heimildum um snjósöfnun þar sem þeim er til að dreifa. Oft þarf ekki mikla breytingu frá sléttri lögun til þess að það hafi veruleg áhrif á snjósöfnun í hlíð.





**Aðsópssvæði og viðhorf hlíðar:** Alþekkt er að hlíðar innan sama landsvæðis safna mismiklum snjó eftir lögun og viðhorfi. Í sumar fjallshlíðar eða ákveðna hluta þeirra safnast mikill snjór í flestum eða öllum vetrum en aðrar haldast mikið til snjólausar flesta vetur. Hér er lagt til að miða einungis við tvö tilvik í þessu annars flókna máli. Annars vegar eru hlíðar sem snúa þannig að þar safnast snjór í tíðustu vindáttum þegar snjóar að vetrarlagi, sér í lagi ef ofan brúnar eru víðáttumikil aðsópssvæði sem getur skafið af niður í upptaksvæði. Einnig eru rök fyrir því að fella hlíð í þennan flokk ef hún er snjópung miðað við aðrar hlíðar í nágrenninu að mati heimamanna. Í þennan flokk falla brekkurnar á Drangnesi og flestar, en ekki allar, brekkur sem nefndar voru í frásögn af snjóflóðum úr lágum hlíðum hér að framan. Hér er lagt til að snjóflóðahætta neðan annarra hlíða reiknist þrefalt minni en neðan þessara tiltölulega snjópungu hlíða. Þessi áhrif koma til viðbótar þeim áhrifum sem lagt er til að lögun hlíðarinnar hafi skv. liðnum hér næst á undan.

**Hæð hlíðar yfir sjó:** Byggð hér á landi er alla jafna á láglandi þannig að hæð hlíðar yfir snjó kemur sjaldan með beinum hætti við sögu þegar meta þarf snjóflóðahættu í þéttbýli. Hins vegar þarf stundum að meta hættu ofar í landinu fyrir sveitabæi og frístundahús og í nokkrum tilvikum fyrir mannvirki sem tengjast virkjunum, dreifiveitum o.þ.h. Þá þarf að taka tillit til þess að snjóþyngsl, og þar með snjóflóðahætta, fara að öðrum jöfnu vaxandi með hæð yfir sjó. Um þetta er erfitt að tilgreina almennar viðmiðunarreglur en rétt er að taka fram hér að almennt má gera ráð fyrir snjóflóðahætta sé meiri ofarlega í landinu en við sjávarsíðuna ef lögun og viðhorf hlíðarinnar er að öðru leyti sambærilegt. Þessi áhrif þarf að meta með huglægum hætti í hverju tilviki fyrir sig.

**Snjódýpt í viðkomandi landshluta:** Svæði landsins eru mjög misjafnlega snjópung. Þó snjóflóðahætta geti verið mikil í héruðum þar sem almenn snjódýpt á láglandi er nærri meðallagi má engu að síður gera ráð fyrir því að snjóflóðahætta sé að öðru jöfnu meiri í snjópungum héruðum en annars staðar. Kristján Jónasson og Trausti Jónsson (1997) hafa metið 50 ára snjódýpt á landinu og er henni skipt í fjóra flokka þannig að í flokki 1 er snjódýptin minnst og mest í flokki 4. Drangnes og svæðið nærri Vík í Mýrdal flokkast í flokki 3 í þessari snjódýptarflokkun, svo og stór hluti Vestfjarða og norðanverðir Austfirðir. Hér er lagt til að eitt skref í þessari snjódýptarflokkun auki eða minnki snjóflóðahættu þrefalt og tvö skref tífalt. Til viðmiðunar er þá að endurkomutími í  $\alpha \sim 20^\circ$  í fremur snjópungum héruðum, þ.e. í snjódýptarflokki 3, sé á stærðarþrepinu 200 ár eins og leidd eru rök að hér að ofan.

Að lokum er rétt að slá þann fyrirvara að snjósöfnun í lágur hlíðar getur breytt lögun þeirra og fjarlægð í næstu byggingar þannig að verulegu máli skiptir fyrir snjóflóðahættu neðan brekkunnar. Þannig eru heimildir um slíka snjósöfnun í sumar lágu hlíðanna þar sem snjóflóð hafa fallið að næstu byggingar hafa farið á kaf í snjó. Ef snjóar og veik lög myndast eftir að mikil snjósöfnun hefur átt sér stað er ljóst að mat á snjóflóðahættu, sem byggir á greiningu á lögun snjólausrar hlíðarinnar, á ekki að fullu við. Hins ber að geta að tíðnimatið sem hér er stuðst við byggir á úthlaupshornum sem reiknuð eru út frá lögun hlíðanna þegar þær eru snjólausar þannig að samræmi er í greiningunni að því leyti. Engu að síður er rétt að hafa varann á ef sú



staða kemur upp að snjósöfnun í viðkomandi brekku eru orðin svo mikil að hún breytir verulega fjarlægð í næstu byggingar og þar með forsendum hættumats. Hér er lagt til að tekið verði á þessum vanda með staðbundinni rýmingu húsnæðis, þ.e. að þetta atriði hafi ekki bein áhrif á hættumat. Hins vegar þurfa heimamenn og almannavarnayfirvöld að vera meðvituð um þennan möguleika og bregðast við ef vísbendingar eru um yfirvofandi hættu af þessum toga. Þar má við aftakaaðstæður ganga út frá því að snjóflóð kunna að geta náð út í 15–20° úthlaupshorn frá efstu brún upptakasvæðis, eins og fyrr var nefnt, og miða við brekkubrún að teknu tilliti til færslu hennar nær byggðinni vegna snjósöfnunar.

## Heimildir

- Árni Magnússon og Páll Vídalín. Skrásett um 1710, útgefin 1938. Jarðabók. Dala- og Barðastrandarsýsla. Hið íslenska fræðafélag í Kaupmannahöfn, Kaupmannahöfn.
- Halldór G. Pétursson, Björn Jóhann Björnsson og Jón Skúlason. 2005. *Hrun og skriðuhætta úr Akureyrarbrekkum og Húsavíkurbökkum*. Náttúrufræðistofnun Íslands, Akureyri, greinarg. NÍ-05009.
- Harpa Grímsdóttir. 2006. *Bráðabirgðahættumat vegna fyrirhugaðrar staðsetningar íbúðarhúss að Grund í Reykhólasveit*. Veðurstofa Íslands, bréf dags. 22. júní 2006.
- Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds. 1997. *Könnun á snjóflóðahættu undir lágum brekkum*. Veðurstofa Íslands, minnisbl. KJ/ÞA-1997-04.
- Kristján Jónasson, Sven Þ. Sigurðsson og Þorsteinn Arnalds. 1999. *Estimation of avalanche risk*. Veðurstofa Íslands, rit 99001.
- Kristján Jónasson og Trausti Jónsson. 1997. *Fimmtíu ára snjódýpt á Íslandi*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 97025.
- Lied, K., og S. Bakkehøi. 1980. Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographical parameters. *J. Glaciol.*, **26**(94), 165–177.
- Magnús Már Magnússon og Leah Tracy. 2003. *Snjóflóðahrina í Mýrdalnum 5. til 12. marz 2002*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 03021.
- Ólafur Jónsson. 1992. *Skriðuföll og snjóflóð, I*. Reykjavík, Bókaútgáfan Skjaldborg.
- Ólafur Jónsson og Halldór G. Pétursson. 1992. *Skriðuföll og snjóflóð. II. Skriðuannáll*. Reykjavík, Bókaútgáfan Skjaldborg.
- Ólafur Jónsson, Sigurjón Rist og Jóhannes Sigvaldason. 1992. *Skriðuföll og snjóflóð. III. Snjóflóðaannáll*. Reykjavík, Bókaútgáfan Skjaldborg.
- Perla, R., T. T. Cheng og D. M. McClung. 1980. A two-parameter model of snow-avalanche motion. *J. Glaciol.*, **26**(94), 197–207.
- Perla, R., K. Lied, K. Kristensen. 1984. Particle simulation of snow avalanche motion. *Cold Regions Science and Technology*, **9**, 191–202.
- Tómas Jóhannesson. 1998. Icelandic avalanche runout models compared with topographic models used in other countries. *Í: 25 years of snow avalanche research*. Publikation nr. 203, Erik Hestnes, ritstj., s. 43–52, NGI, Osló.



- Tómas Jóhannesson og Kristján Ágústsson. 2002. *Hættumat vegna aurskriðna, grjóthruns, krapaflóða og aurblandaðra vatns- og krapaflóða í bröttum farvegum*. Veðurstofa Íslands, minnisbl. TóJ/Kri-2002-01.
- Þorsteinn Arnalds, Siegfried Sauermoser og Harpa Grímsdóttir. 2001a. *Hazard zoning for Neskaupstaður. Technical report*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01010.
- Þorsteinn Arnalds, Siegfried Sauermoser, Tómas Jóhannesson og Harpa Grímsdóttir. 2001b. *Hazard zoning for Siglufjörður. Technical report*. Veðurstofa Íslands, greinarg. 01020.
- Þórður Arason. 2005. *Sjónarhorn til upptakasvæða*. Veðurstofa Íslands, minnisbl. ÞA-0503.