

FRAMTÍÐ SNJÓFLÓÐAVARNA

**Greinargerð vinnuhóps um endurbætur á
snjóflóðarannsóknnum**

**Gunnar Guðni Tómasson, Helgi Björnsson, Kristján Jónasson,
Magnús Már Magnússon og Trausti Jónsson.**

Háskóla Íslands og Veðurstofu Íslands

Júní 1995

FRAMTÍÐ SNJÓFLÓÐAVARNA

Greinargerð vinnuhóps um endurbætur á snjóflóðarannsóknum

**Gunnar Guðni Tómasson, Helgi Björnsson, Kristján Jónasson,
Magnús Már Magnússon og Trausti Jónsson.**

Háskóla Íslands og Veðurstofu Íslands

Júní 1995

Efni

1. INNGANGUR	3
2. SNJÓFLÓÐASPÁR	4
2.1 Inngangur	4
2.2 Samtenging veðurs og snjóflóða	4
2.3 Staðbundnar athuganir	6
2.4 Hver er ferill snjóflóðaspáa?	6
3. HÆTTUMAT	7
3.1 Inngangur	7
3.2 Mat á dánarlíkum og meðaltíðni snjóflóða á íslenskum snjóflóðasvæðum	8
3.3 Notkun reiknilíkana við gerð hættumats	10
Rennslisstuðull.	11
Brekkuðuðull	13
Áhættukort	15
4. LOKAORÐ	15

1. Inngangur

Að beiðni Ofanflóðanefndar hafa undirritaðir tekið saman greinargerð um stöðu snjóflóðavarna hér á landi og vísbendingar um leiðir til úrbóta. Varnir þessar ná annars vegar yfir spár um yfirvofandi snjóflóðahættu og hins vegar mat á legu hættusvæða.

Snjóflóðaspár eru byggðar á þekkingu á eðli snjóflóða og reynslu af tengslum snjóflóða, veðurs, styrks og festu snjóþekju í fjallshlíð. Hér á landi er þekking um eðli snjóflóða veruleg, reynslan af spám nokkur og upp kominn vísir að víðtækri gagnaöflun. Með auknum rannsóknum á orsökum snjóflóða yrðu snjóflóðaspár hins vegar mun markvissari en nú er. Mikilvægt er að öðlast meiri reyslu með því að vinna frekar úr veðurgögnum frá liðnum tíma um aðdraganda snjóflóða og jafnframt að auka staðbundnar athuganir og eftirlit á snjóflóðasvæðum. Hér er því gerð grein fyrir áætlun um hvernig standa mætti að þessu verki.

Mat á legu hættusvæða hefur verið unnið með tiltækum gögnum um skriðlengd snjóflóða, en þau ná aðeins yfir nokkra áratugi og óvíða lengra en 100 ár. Hættumatið lýsir því aðeins atburðum sem gögn eru til um og gefur óljósa mynd af hættu á komandi áratugum og öld. Þá er hættumatið mismunandi strangt eftir byggðarlögum vegna þess að heimildaskrár um snjóflóð eru mislangar og mismunandi nákvæmar. Hættumatið afmarkar því ekki örugg svæði þegar upp koma aðstæður sem ekki voru í grundvelli að matinu og þess vegna er reynt að fylgjast stöðugt með yfirvofandi snjóflóðahættu og endurmeta í ljósi þess hvar hætta sé og hvort rýma skuli byggð. Þannig hefur þess verið vænst að stöðugt eftirlit með snjóflóðahættu bæti úr því sem vantar á hættumatið. Þetta getur reynst árangursríkt hvað varðar öryggi fólks — en það breytir ekki annmörkum núverandi hættumats hvað snertir skipulag byggðar. Þess vegna var okkur falið að vinna að tillögum um leiðir til þess að ná bættu mati á snjóflóðahættu. Annars vegar með því að ná betri tókum en nú á þeim aðferðum sem notaðar hafa verið og hins vegar með því að leggja fram fræðilegan grunn að aðferðum sem beita mætti til þess að meta líkur á snjóflóðum betur en nú er gert. Í þessari greinargerð eru því settar fram tillögur um hvernig meta megi endurkomutíma snjóflóða á hverjum stað fyrir sig í þéttbýlisstöðum og ennfremur hvernig síðan megi meta áhættu íbúa á snjóflóðasvæðum. Hér er því um að ræða tillögur að nýjum aðferðum við mat á snjóflóðahættu. Að fengnum niðurstöðum af slíku starfi ætti stjórnvöldum að vera auðveldara en nú að marka stefnu um ásættanlega áhættu vegna snjóflóða.

Snjóflóðavarnir, spár jafnt sem mat á hættu og áhættu, krefjast stöðugra rannsókna, víðtækrar reynslu og árvekni, bæði heimamanna í héraði og snjóflóðafræðinga. Því er mikilvægt að starfið sé skipulagt þannig að tryggt sé að þekking og reynsla eflist og henni haldið saman. Við teljum þess vegna nauðsynlegt að drepa á skipulag snjóflóðavarna í lokaorðum greinargerðarinnar.

2. Snjóflóðaspár

2.1 Inngangur

Í nýlegum kynningarbæklingi Alþjóða veðurfræðistofnunarinnar (WMO) um veðurþjónustu má lesa eftirfarandi í lauslegri þýðingu:

„Þótt leikmenn líti oft á snjóflóð sem óvænta tilviljanakennda atburði eru þau í raun oftast fyrirsjáanleg og háð samspili snjóþekju og festu hennar og veðuraðstæðna” (WMO, 1995, On the front line - Public weather services).

Hér taka menn nokkuð stórt upp í sig, en í reynd virðist málið ekki vera alveg svona einfalt, hvorki erlendis né hérlendis. Það mun þó vera rétt að allvel hafi gengið að fylgjast með snjóflóðahættu á stórum skíðasvæðum erlendis og á öðrum þeim stöðum þar sem athuganir hafa verið mjög kröftugar. Í framhaldi af ofangreindri tilvitnun eru í bæklingnum talin upp nokkur þeirra atriða sem þurfa að vera fyrir hendi ef spá á fyrir um snjóflóð. Ekki er ljóst hvaða forgangsröðun höfundar hans beita, en atriðin sem talin eru upp eru þessi:

1. Virkt snjóflóðaeftirlit (þ.e. það að snjóflóð hefur fallið er miklilsverð vísbending um hættu á nálægum slóðum).
2. Veðurathuganir á stað sem næst hættusvæðinu.
3. Mælingar á snjó, snjósöfnun, kristallagerð, þéttleika, hörku, vatnsinnihaldi, auk mælinga á hitadreifingu í snjólaginu.
4. Nákvæm veðurspá fyrir svæðið.

Gera má ráð fyrir því að þau almennu atriði sem talin eru upp hér að ofan eigi einnig við um íslensk snjóflóð. Sem stendur má telja að ekkert ofangreindra atriða sé í fullnægjandi horfi hérlendis. Nokkur vísir er þó á öllum sviðum, en brýnt er að ýta þekkingu áfram. Það verður alltaf matsatriði hvað eigi að leggja höfuðáherslu á og hver forgangsröðin eigi að vera. Tillögur okkar um þessi atriði fylgja hér á eftir og verður fyrst fjallað um samtengingu veðurþátta og snjóflóða, en síðan verður stuttlega minnst á athuganir á snjóþekju. Að lokum verður dregin upp framtíðarsýn í þessum málum.

2.2 Samtenging veðurs og snjóflóða

Samband milli veðurs og snjóflóða hefur ekki verið rannsakað mikið hérlendis, en nokkur reynsla er þó fyrir hendi. Ljóst er að snjóflóð geta fallið við nokkuð fjölbreytt veðurskilyrði, en ýmislegt virðist þó benda til þess að „aftakaflóð” og fjóðahrinur fylgi veðri sem á einhvern hátt er afbrigðilegt („aftaka-eitthvað”). Snjóþekja hefur auk þess nokkurra daga minni (eða jafnvel lengra); gamlar hlákur eða frosthörkur geta „geymst” sem lagskipting í snjónum. Þeir veðurþættir sem koma helst við sögu stórra snjóflóða eru úrkomuákefð, hiti, vindátt og vindhraði. Að hluta til má fá upplýsingar um þessa þætti með fortíðarrannsóknnum. Áætla má tíðni vindhraða og vindátta útfrá þrýstisviði, upplýsingar um hita má fá úr venjulegum veðurathugunum, en hins vegar skortir mjög á þekkingu á úrkomuákefð í snjókomu auk þess sem athuganir á eðli snjóþekju hérlendis eru fremur fátæklegar. Nú sem stendur er það fyrst og fremst mat einstakra

veðurfræðinga sem ákveður hversu afbrigðilegt veður sem spáð er (eða er að ganga yfir) telst. Aðvaranir verða því ansi tilviljanakenndar. Þetta verður að bæta. Hér að neðan eru talin nokkur verkefni næstu mánaða (og ára). Ekki þarf endilega að framkvæma þau í þessari röð nema hvað veðurgagnagrunnurinn verður að koma fyrst.

1. **Veðurgagnagrunnur.** Koma þarf öllum veðurathugunum sem nú þegar eru á tölvutæku formi inn í sameiginlegan gagnagrunn en þetta eru athuganir gerðar frá og með árinu 1949. Þetta verk tekur sennilega aðeins fáeina mánuði eftir að gagnaskránum verður fundið heppilegt form. Ekki má gleyma mikilvægi háloftaathugana frá Keflavíkurflugvelli.
2. **Veðurkort.** Sjá þarf til þess að hægt verði að kalla fram úr gagnagrunninum veðurkort fyrir hvaða tíma sem er á öllu tímabilinu frá 1. janúar 1949, og þá helst á svipaðan (eða sama) hátt og samtímakort eru nú kölluð fram í svokölluðum veðurdeiglum.
3. **Snjóflóðagagnagrunnur.** Búa þarf til gagnagrunn yfir þekkt snjóflóð af öllum stærðum. Grunnurinn þarf að spanna allt landið og sem lengst tímabil, og auðvelt þarf að vera að fá úr honum hvers kyns upplýsingar um þau snjóflóð sem fallið hafa. Vinna að slíkum gagnagrunni er þegar hafin á Veðurstofunni.
4. **Nágrannaaðferðin.** Byrjað verði á því að útfæra svokallaða „nágranna-aðferð”. Hún felst í því að leitað er í fortíðinni að veðri sem líkist því sem spáð er nú og athugað hvort þá hafi fallið einhver snjóflóð; hafi það gerst er snjóflóðum spáð. Eðlilegt er að byrja á athugun á þrýstisviðinu. Það er auðfengið úr spám og auk þess er þrýstimunur einn besti mælikvarði á vindhraða og vindátt á fjöllum sem völ er á. Auðvelt er að reikna út tíðni þrýstimunar milli þeirra stöðva sem mæla á öllu tímabilinu. Fyrirsjáanlegt „vandamál” við þessa aðferð er þó að ekki athuga allar stöðvar 8 sinnum á sólarhring, en bent er á lausn á þessum vanda í lið 7 hér að neðan. Snjóflóðasagan er líka götött og það er auðvitað vandamál sem einnig þarf að taka á. Þegar nágrannaaðferð sem byggir á þrýstigögnum hefur verið gangsett er næsta verkefni að taka fleiri veðurþætti með. Þar ber sérstaklega að nefna hita, vindátt á veðurstöðvum, úrkomu, úrkomuákefð (hve hratt rignir/snjóar) auk ýmissa þátta úr háloftaathugunum á Keflavíkurflugvelli. Eigi nágrannaaðferðin að koma að gagni í aðvaranaþjónustu verður hins vegar að vera hægt að nálgast veðurgögn í kortaformi á þann hátt sem lagt er til í lið 2 að framan og upplýsingar um snjóflóð úr gagnagrunninum sem rætt var um í lið 3. Skoða þarf nokkuð ítarlega næstu „nágranna” raunverulegra snjóflóðatílvika og með því verði reynt að átta sig á ástæðum þess að þá féllu ekki snjóflóð.
5. **Hættuboði.** Settur verði upp einskonar sjálfvirkur „hættuboði”, ekki ósvipað og jarðeðlissvið V.Í. er að koma sér upp. Hér er átt við kerfi sem sjálfvirk tilkynnir ef þrýstimunur, úrkomumagn eða snjódyptarbreytingar rjúfa ákveðin mörk eða því er spáð að þau rjúfi þessi mörk. Til að „hættuboði” geti orðið að veruleika þarf sú mikla gagnavinna sem lýst er að framan að fara fram. Sem stendur eru aðvaranir allt of tilviljanakenndar og háðar minni og hugarástandi veðurfræðings.
6. **Aftakasnjór og snjókoma.** Mestu snjókomu- og snjódyptartilvik á sem flestum veðurstöðvum verði könnuð. Þessi vinna er að vissu leyti komin í gang nú þegar á Veðurstofunni. Jafnframt þarf að afla frekari gagna um lagskiptingu og eðli

snævar og gera þau aðgengileg. Spurning er hvort hægt sé að rekja sögu þessara hæstu snjódyptargilda að einhverju marki. Kanna þarf tilvik þegar snjódypt minnkar án þess að það hláni, því það getur þýtt að snjó sé að skafa að mögulegum snjóflóðaupptökum.

- 7. Þrýstigagnasafn.** Fengið verði afrit af hnitúðu þrýstigagnasafni fyrir N-Atlantshaf. Hnitgildi verði síðan borin saman við þrýstigögn í lið 1. Hnitgildin verði notuð sem ágiskun við tölvugreiningu á Íslandskortum, sem síðan yrðu notuð til að fylla upp í eyður í athugunum, þannig að hægt sé að reikna þrýstimun allra stöðva á öllum athugunartímum allt tímabilið frá 1949 (og síðar lengra aftur í tímann). Þessi liður er nokkuð tímafekur og vart við því að búast að þetta takist fyrir en eftir nokkur ár. Telja má fullvíst að verk sem þetta myndi vekja áhuga utan snjóflóðageirans og þær skrár sem til yrðu myndu verða eftirsóttar erlendis af þeim fjölmörgu sem nota þrýstigögn í rannsóknum.

2.3 Staðbundnar athuganir

Talsverð aukning þarf að verða á athugunum á einstökum snjóflóðahættusvæðum. Bæði er um að ræða aukningu sjálfvirkra veðurathugana sem og meiri þunga í athuganir snjóeftirlitsmanna á snjóþekjunni. Það er hins vegar spurning hvernig eigi að standa að þessari aukningu í smáatriðum. Um er að ræða bæði tæknilega útfærslu sjálfvirkra athugana, sem og aukna þjálfun og tækjabúnað athuganamanna. Sömuleiðis vantar nánari útfærslu á hlutverki snjóathuganamanna og hvort greina eigi athuganir þeirra algjörlega frá „venjubundnum” veðurathugunum. Útbúa þarf tímaáætlun um uppsetningu sjálfvirkra veðurstöðva í þéttbýlisstöðum þar sem hætta er á snjóflóðum og í grennd við þá. Kanna þarf áhuga sveitarfélaga á þeim stöðum sem lenda neðarlega í forgangsröð, því hugsanlega gætu þau lánað fé til að flýta fyrir uppsetningu.

Þó svo eigi að heita að snjóflóðaeftirlitsmenn séu á flestum þéttbýlisstöðum þar sem snjóflóðahætta er fyrir hendi, vantar talsvert á að starf þeirra flestra sé nægilega virkt í þeim skilningi sem settur er fram hér að ofan. Bæta þarf tölvuskráningu snjóþekjuathugana og leggja þarf áherslu á að snjóþekja sé athuguð þó í fljótu bragði virðist ekki vera um hættu að ræða. Söfnun upplýsinga um snjóþekju fyrir snjóöfnunartímabil (og mögulegt hættuástand) er mikilvæg og mun nýtast vel, einkum þegar fram líða stundir og myndarlegt safn slíkra upplýsinga liggur fyrir. Mjög mikilvægt er að sjálfvirkar úrkomumælingar hefjist sem fyrst.

2.4 Hver er ferill snjóflóðaspáa?

Hér verður lýst „fullkominni snjóflóðaspá” sem raunhæft væri að framkvæma í kjölfar verkefnanna sem talin voru upp hér að framan.

- 1. Reglubundnar athuganir.** Snjóflóðaeftirlitsmenn í einstökum sveitarfélögum og á skíðasvæðum athuga snjóalög rækilega einu sinni til tvisvar í viku bæði með aflestri af snjódyptarstöngum og með gryfjum gerist þeirra þörf. Að aflokinni hverri athugun meta þeir snjóflóðahættu auk þess sem þeir senda athuganir sínar til Veðurstofunnar. Sjálfvirk veðurstöð, nærri eða í þéttbýlinu athugar hita, vind og úrkomu, en önnur stöð nærri upptökum snjóflóða athugar vind og hita. Þessar stöðvar senda upplýsingar í sífellu til Veðurstofunnar auk þess sem snjó-

flóðaeftirlitsmaður getur gengið í upplýsingarnar og bent á bilanir í tækjum og nýtt sér þær við eigið mat.

2. **Reglubundnar veðurspár:** Allar tölvuveðurspár sem berast eru athugaðar sjálfvirkt af „hættuboða“. Fari vindur (eða úrkomumagn eða aðrir þættir) yfir ákveðin mörk skrifast út aðvörðun þar sem tekið er fram um hvers konar „hættu“ sé að ræða. Í sumum tilvikum kæmi slík „aðvörðun“ með meira en viku fyrirvara. Það er hins vegar mat veðurfræðings og snjóflóðasérfræðings hvort einhver ástæða sé til að gera eitthvað í málinu svo snemma eða lýsa yfir einhvers konar „vægu“ hættuástandi. Þó næstu spár falli frá „hættuboðun“, er hið væga hættuástand þó ekki afnumið.
3. **Vægt hættuástand:** Snjóflóðaeftirlitsmanni er gert viðvart. Hann fer sérstaka yfirferð yfir sitt svæði, leitar að snjóflóðum sem kunna að hafa fallið og gerir mælingar. Snjóflóðasérfræðingur er settur á bakvakt hafi hann ekki verið það. Leitað er að „nágrönnum“ þess veðurs sem spáð er í veðurgagnagrunni og hvort snjóflóð hafi orðið við sambærileg skilyrði. Hægt er að skoða nágrannana á myndrænan hátt. Í hvert skipti sem nýjar spár (og athuganir) berast er metið hvort lýsa eigi yfir hættuástandi. Almannaþingarnefndum er gert viðvart, en formleg snjóflóðaspá ekki gefin út í fjölmiðlum.
4. **Hættuástand:** Snjóflóðasérfræðingur (einn eða fleiri) er á samfelldri vakt. Landshlutaaðvörðun er gefin út; þar er getið um hvaða hlíðar séu í mestri hættu. Eldri snjóflóð á hættusvæðum eru könnuð í snjóflóðagagnagrunni. Mælingar eru settar inn í reiknilíkan fyrir hættusvæðin en það má gera með lítilli fyrirhöfn. Gerðar eru spár fyrir einstaka farvegi. Almannaþingarnefndir meta hvort rýma eigi hús þar sem hætta er talin vera.
5. **Hættuástandi aflýst:** Hættuástandi er ekki hægt að aflýsa fyrr en í fyrsta lagi eftir að sá tími þegar hætta var metin mest er liðinn; þannig er ekki hægt að „hringla“ með spána. Athuganir á snjóþekju eru mjög tíðar meðan framhald hættuástands er metið, sem og eftir að því er aflýst.
6. **Leitað að snjóflóðum og þau skráð:** Leitað verði að ummerkjum um snjóflóð strax og veðri slotar. Ef engin finnast er athugað hvort yfirlýsing hættuástands hafi verið ástæðulaus og reynt er að finna ástæðu þess að snjóflóð féllu ekki. Snjóflóð sem finnast eru skráð.

Í framhaldi af þessari lýsingu má geta þess að nýlega hefur verið tekin í notkun samræmd evrópsk flokkun á hættuástandi. Eðlilegt er að kannað verði hvernig hún falli að íslenskum aðstæðum.

3. Hættumat

3.1 Inngangur

Á Íslandi, ólíkt því sem gerist víðast erlendis, er talsvert mikil og þétt byggð innan þegar skilgreindra hættusvæða. Auk þess er enn stærri hluti byggðarinnar vafalaust

innan raunverulegra snjóflóðahættusvæða. Því er mjög brýnt að hættumat gefi sem besta mynd af raunverulegri hættu af völdum snjóflóða.

Merking orðanna hætta og áhætta og munurinn á hættumati og áhættumati hefur verið nokkuð á reiki. Margir hafa þó lagt þann skilning í orðin að með hættumati meti menn hvar hætta sé á snjóflóðum, en með áhættumati meti menn hve mikil hættan sé. Í þessari skýrslu verður þessi skilningur viðhafður.

Við teljum nauðsynlegt að í stað núverandi hættumats, þar sem reynt er að greina milli svæða þar sem hætta er á snjóflóðum annars vegar og hættulausra svæða hins vegar, verði leitast við að meta sem nákvæmast endurkomutíma snjóflóða á hverjum stað fyrir sig og í framhaldi af því áhættu íbúa svæðisins gagnvart því að farast í snjóflóðum. Þannig yrði í raun sett fram áhættumat í stað núverandi hættumats. Með slíkri framsetningu ætti að verða ljósara en áður að ekki er hægt að draga línur milli hættusvæða og hættulausra svæða, heldur getur snjóflóðahætta verið til staðar nokkuð víða, þótt hún sé sums staðar innan ásættanlegra marka. Auk þess fengist með þessu móti mat á hlutfallslegri áhættu milli svæða, bæði innan byggðarlaga og á milli þeirra. Slík vitneskja gæti orðið gagnleg við ýmsa ákvarðanatöku, t.d. vegna rýmingar húsa á áhættutímum, vegna varnarsvæðis eða vegna hugsanlegra kaupa hins opinbera á fasteignum á mestu hættusvæðunum.

Til að unnt sé að meta áhættu á stað með þekktum endurkomutíma snjóflóða (þ.e. dánarlíkur vegna þeirra) þarf að finna út hve miklar líkur séu á að deyja lendi maður í snjóflóði. Þótt fengist hafi mat á áhættu er samt ekki öll sagan sögð, því þá er eftir að ákveða hve mikil áhætta sé ásættanleg. Til þess þarf að bera dánarlíkur vegna snjóflóða saman við dánarlíkur af öðrum orsökum. Þessi atriði verða skoðuð í grein 3.2, þar sem jafnframt verður minnst á það verkefni að meta meðalendurkomutímamann þar sem byggð er nú í hættu vegna snjóflóða. Slíkt mat er mikilvægt af tveimur ástæðum: Í fyrsta lagi gefur það til kynna hvernig ástandið er í dag hvað varðar þá áhættu sem fólk býr við, bæði beint og í samanburði við önnur lönd. Í öðru lagi gefur það möguleika á að kvarða aðferðir til mats á endurkomutíma snjóflóða.

Í grein 3.3 verða síðan settar fram hugmyndir að því hvernig gera megi áhættumat og hvaða rannsóknir séu áður nauðsynlegar. Fyrst og fremst verður fjallað um hvernig meta megi á tölfraðilegan hátt með aðstoð reiknilíkana mestu skriðlengd snjóflóða í þekktum snjóflóðafarvegum, en ekki er fjallað um hvernig hugsanlegir snjóflóðafarvegir eru ákvarðaðir.

3.2 Mat á dánarlíkum og meðaltíðni snjóflóða á íslenskum snjóflóðasvæðum

Þann 4. mars s.l. birtist í Morgunblaðinu grein eftir einn unirtitaðra (Kristján Jónasson) (Snjóflóð: Hve mikil er hættan?) þar sem hann mat (1) líkur þess maður deyji sé hann staddur í húsi sem lendir í snjóflóði og (2) meðaltíðni snjóflóða á snjóflóðahættusvæðum á Íslandi. Helstu niðurstöður voru þær að líkur þess að maður deyji væru 34% og að meðalendurkomutíminn á íslenskum hættusvæðum væri 1000 ár. Í framhaldi var rökstutt að eðlileg krafa um lágmarksendurkomutíma í íbúabyggð væri 10000 ár, og að á stað með þann endurkomutíma mætti búast við 30% hærri banaslysatiðni barna en utan hættusvæða og 15% hærri dánartíðni barna. Norðmenn hafa hinsvegar ákveðið að 1000 ára endurkomutími sé ásættanlegur og rökstutt það svo að samkvæmt þeirra

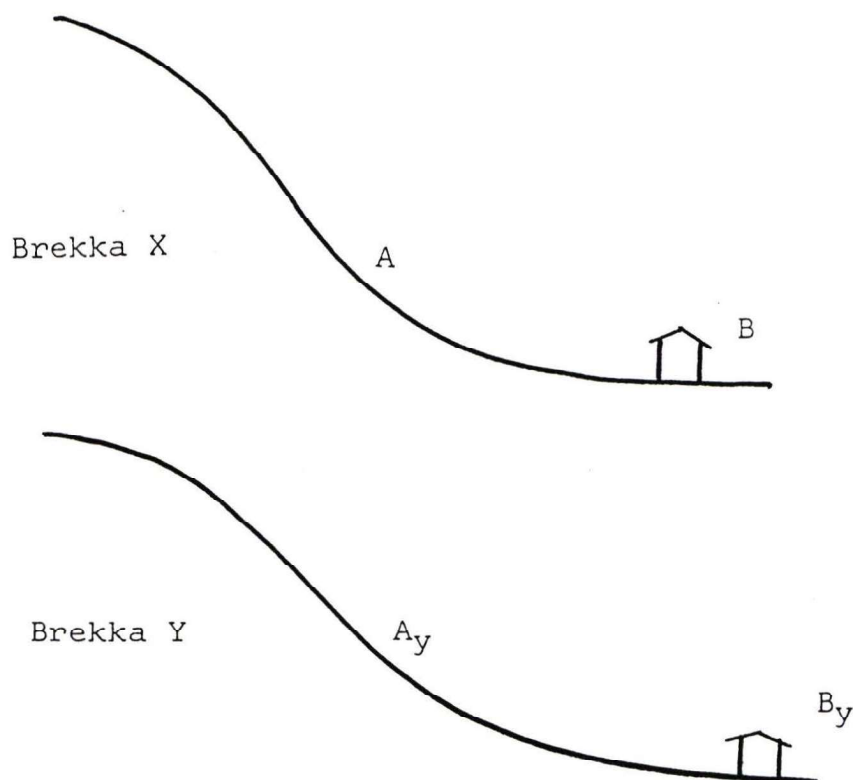
reynslu deyi að jafnaði 0,1 maður þegar snjóflóð fellur á hús. Þetta þýðir að í húsi þar sem meðaltíðni snjóflóða er 1/1000 á ári megi búast við einu banaslysi á hverjum 10000 árum. Skv. talningu Kristjáns í Morgunblaðinu deyr hins vegar rúmlega einn þegar hús lendir í snjóflóði á Íslandi.

Hluti skýringarinnar á þessu misræmi er að í Morgunblaðsgreininni var hús talið hafa lent í flóði ef það skemmdist verulega, en í Norsku tölunum eru öll hús sem snjóflóð snerta talin með. Þetta getur þó ekki verið öll skýringin, því þótt skilgreining þess að hús lendi í flóði væri endurskoðuð á þennan hátt myndi íslenska talan um fjölda húsa varla aukast meira en tvö- til þrefalt. Afgangurinn af muninum gæti stafað af því að á Íslandi séu tiltölulega fleiri hús langt inni á hættusvæði en í Noregi, þannig að mun algengara sé hér en þar að snjóflóð hreinlega sópi húsum burtu. Þess vegna þarf að endurskoða það mat Kristjáns að 10000 ár sé ásættanlegur endurkomutími, því þegar hús í 10000 ára hættu lendir í snjóflóð er líklegast að það lendi í jaðri flóðsins og sópist ekki í burtu. Ásættanlegur endurkomutími gæti því verið 3-4000 ár.

Hér er sem sé greinilega þörf á endurskoðun og samræmingu. Afla ætti nákvæmara mats á þeim forsendum sem byggt er á í grein Kristjáns og að setja þarf fram nákvæma skilgreiningu þess að snjóflóð lendi á húsi. Í framhaldi verði reynt að meta hvaða meðaltíðni snjóflóða sé ásættanleg, þar sem tekið verði tillit til þess að fólk er í mismikilli hættu eftir því hve langt inni í snjóflóði það lendir. Mælt er með eftirfarandi viðbótum og endurskoðun á tölunum sem byggt var á og niðurstöðunum í Morgunblaðsgreininni:

1. Skoðuð verði dánartíðni af öðrum ástæðum heldur en snjóflóðum árin 1991-1994. Athugað verði hver dánartíðni af slysförum er, annarsvegar á höfuðborgarsvæðinu og hinsvegar úti á landi.
2. Metið verði aftur hve líklegt sé að farast lendi maður í snjóflóði. Hér þarf að taka tillit til ýmissa þátta, m.a. hvort líklegra sé að hús lendi í jaðri snjóflóðs en langt inni í því og hve langan tíma fólk er heima að meðaltali. *Nes. fólkinn að hvarfningu*
3. Í framhaldi verði fengið nýtt mat á því hve langur endurkomutími sé ásættanlegur. Hér er mikilvægt að gætt sé samræmis við Noreg og önnur lönd sem hafa skilgreint þennan tíma.
4. Talan eitt flóð á 1000 árum sem meðaltíðni flóða á íslenskum hættusvæðum verði endurskoðuð. Til þess mætti skoða eftirfarandi atriði:
 - Í stað þess að skoða hlutfall húsa „úti á landi” mætti athuga hvaða hlutfall húsa á Austfjörðum, Vestfjörðum og í grennd við Siglufjörð hefur lent í flóði í gegn um tíðina.
 - Til þess að fá meiri gögn (og þar með marktækari og sambærilegri við norsk) mætti telja hve oft flóð hefur fallið að húsi án þess að valda (miklu) tjóni.
 - Athuga mætti byggingarár allra húsa á hættusvæðum og koma þeim upp- lýsingum á einhvern hátt inn í matið á þessari meðaltíðni.

Eins og að framan segir er hægt að nota meðaltíðnina sem reiknuð er á þennan hátt til að kvarða aðferðir til að meta endurkomutíma á hverjum stað. Það er gert þannig að slík aðferð er notuð til að meta endurkomutíma fyrir sérhvert hús innan hættumarka.



MYND 1

Meðaltal allra þessara endurkomutíma er síðan borið saman við meðaltíðnina sem fyrr var reiknuð. Ef litlu munar þarf engrar leiðréttingar við, en sé munurinn meiri fæst leiðréttingarstuðull sem nota mætti til að bæta aðferðina ef maður trúir á hina reiknuðu meðaltíðni.

3.3 Notkun reiknilíkana við gerð hættumats

Að okkar mati má fá mun betra mat á endurkomutíma snjóflóða en nú er mögulegt með því að vinna betur tölfræðilega úr þeim gögnum sem til eru hér heima og erlendis um löng snjóflóð. Hugmyndir okkar eru þær að skipta megi snjóflóðahættu á tilteknum stað í tvennt og lýsa hvorum hluta fyrir sig með hættustuðli. Annars vegar stuðli sem kalla mætti „rennslisstuðul“ og lýsir hlutfallslegri áhættu innan hvers snjóflóðafarvegar, og hins vegar stuðli sem kalla mætti „brekkustuðul“, og lýsir hlutfallslegri áhættu á snjóflóðum milli farvega. Þessa tvo stuðla má síðan nota til að reikna árlegar líkur á snjóflóði á gefnum stað.

Rennslisstuðull staðar í brekku er skilgreindur miðað við ákveðinn viðmiðunarstað í brekkunni, segjum t.d. stað A á mynd 1. Rennslisstuðullinn við stað B mælir líkur þess að snjóflóð sem fer framhjá A nái að renna niður fyrir B. Hann mælir þannig hlutfallslega áhættu milli A og B. Á sama hátt og rennslisstuðullinn er skilgreindur miðað við viðmiðunarstað þá er brekkustuðullinn skilgreindur miðað við viðmiðunarbreykku. Ef brekkan X er viðmiðunarbreykka þá segir brekkustuðull brekku Y til um hve margföld tíðni snjóflóða sem leggja af stað efst í Y er miðað við X¹.

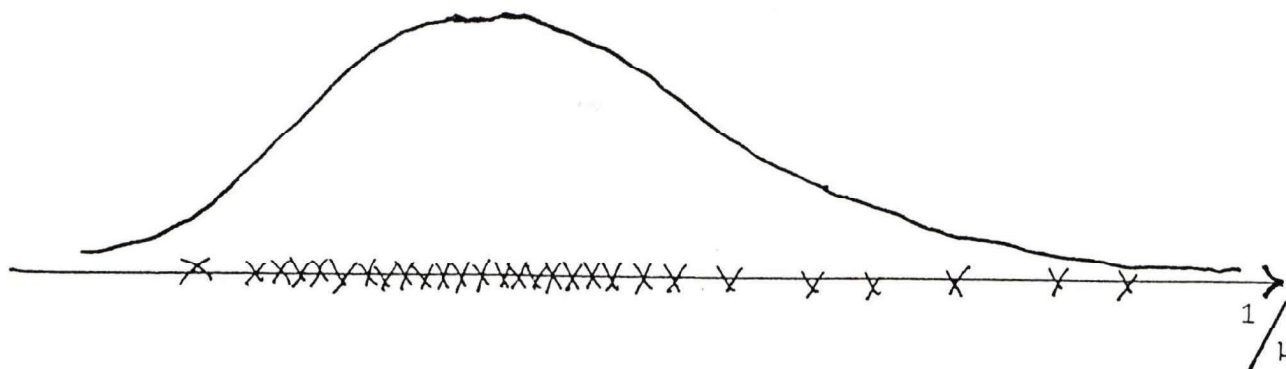
Hér að neðan verður gerð grein fyrir hugmyndum okkar um hvernig meta megi þessa stuðla og um leið settar fram tillögur að þeim rannsóknum sem við teljum nauðsynlegar til þess að það takmark náist.

Rennslisstuðull.

Rennslisstuðullinn teljum við mögulegt að meta á tölfræðilegan hátt á grundvelli þeirra gagna sem þegar eru til um langskreið snjóflóð. Í ljósi samvinnu Íslendinga og Norðmanna í snjóflóðarannsóknum og því að ætla má að veðurfars- og landslagsaðstæður séu tiltölulega líkar í Noregi og á Íslandi, er hér lagt til að slík vinna grundvallist á þeim gögnum sem til eru um löng snjóflóð í Noregi, auk tilsvareandi gagna um löng íslensk flóð. Rétt er að athuga hvort gögn annars staðar frá séu fáanleg t.d. Alaska. Að okkar mati er æskilegt að nota svonefnd eðlisfræðileg reiknilíkön sem grunn að slíku tölfræðilegu mati, t.d. líkan sem Tómas Jóhannesson og Gunnar Guðni Tómasson hafa þróað og byggt er á eldra líkani Þorsteins Jóhannessonar (hér á eftir kallað íslenska líkanið), eða eðlisfræðilegt líkan Norðmanna, svokallað NIS líkan. Eins kæmi til greina að styðjast við annars konar líkön, t.d. tölfræðilegt líkan Norðmanna (α - β líkan), eða jafnvel einhvers konar samsetningu þessara líkana.

Framgangsmáti við að nýta eðlisfræðilegt líkan byggir á eftirfarandi hugmyndum sem Kristján Jónasson hefur sett fram. Fyrst eru allir frjálsir stikar hins eðlisfræðilega líkans festir með því að besta líkanið að tilteknu gagnasafni, t.d. safni langskreiðra norskra flóða. Næst er einum tilteknum stika, t.d. núningsstuðlinum sleppt lausum og fyrir hvert flóð í viðmiðunarsafninu fundið það gildi á honum sem gefur reiknaða flóðinu sömu skriðlengd og því raunverulega. Að þeirri forsendu gefinni að viðmiðunarflóðin séu allgott tilviljunarúrtak langskreiðra snjóflóða má nú meta líkindadreifingu núningsstuðla í slíkum flóðum. Hún gæti t.d. litið út eins og sýnt er á mynd 2, þar sem hver kross svarar til reiknaðs gildis á núningsstuðli í einu flóði viðmiðunarsafnsins og þéttifallið hefur verið metið út frá dreifingu krossanna.

¹ Það er þó ekki alltaf nauðsynlegt að miða við tíðni snjóflóða sem leggja af stað. Segjum að A_y sé á tilsvareandi stað og A í þeim skilningi að snjóflóð sem hefur sömu eiginleika (sömu þykkt, núningur við botn sá sami o.s.frv.) og flóð sem rennur niður að A muni staðnæmast við A_y . Gefum okkur síðan að líkindi þess að flóð sem leggur af stað renni niður fyrir A séu þau sömu og að flóð renni niður fyrir A_y . Þetta gildir ef líkindadreifing þeirra eiginda snjóflóða (annarra en lögunar brekkunnar), sem hafa áhrif á skriðlengd þess eru eins í brekkunum X og Y. Þá segir brekkustuðull Y líka til um hve mörgum sinnum oftar (eða sjaldnar) snjóflóð færa A_y í kaf en A. Segjum nú að viðmiðunarbreykkan og staðurinn A séu valin þannig að snjóflóð falli að jafnaði einu sinni á ári framhjá A. Þá verður brekkustuðull Y jafn árlegri tíðni snjóflóða við A_y og rennslisstuðull við B_y segir til um hve hátt hlutfall þessara flóða falla yfir B_y . Raunveruleg snjóflóðaáhætta við B_y , mæld sem árlegar líkur á snjóflóði, er síðan margfeldi þessara tveggja stuðla.



MYND 2 Dreifing núningsstuðla í langskreiðum snjóflóðum

Segjum nú að meta skuli áhættu vegna snjóflóða á ákveðnum stað B undir tiltekinni brekku. Gefum okkur fyrst eitthvert gildi á núningsstuðlinum (t.d. meðaltal gildanna sem fengust úr viðmiðunarsafninu) og táknum með A staðinn sem svarar til þessa núnings. Næst er fundinn með hjálp líkansins sá núningsstuðull sem þarf til að snjóflóð nái niður fyrir B. Segjum til dæmis að líkindin á svo lágum núnungi séu 10-falt minni en á þeim núnungi sem svarar til A.² Þá er rennslisstuðullinn 0,1 og staður B í tífalt minni hættu en A.³

Áður en hægt verður að meta rennslisstuðul snjóflóða hér á landi á þennan hátt þurfa að koma til verulegar rannsóknir, sem skipta má í eftirfarandi þætti:

1. Könnun reiknilikana og öflun gagna.

Auk íslenska snjóflóðalíkansins þarf að skoða nokkur önnur reiknilíkön, PCM líkanið (massamiðjulíkan), NIS líkanið (eðlisfræðilegt líkan Norðmanna) og α - β líkanið (tölfræðilegt líkan Norðmanna). Útvega þarf erlendu líkönin og setja þau upp til notkunar, auk þess sem forsendur og uppbyggingu líkananna þarf að skoða nánar. Þegar hafa verið fengin hingað til lands gögn um 430 langskreið norsk snjóflóð, en þau þarf að skoða gaumgæfilega og gera aðgengileg. Sambærilegum

² Flatarmálið undir ferlinum á 1. mynd, hægra megin við B er þá tífalt minna en flatarmálið undir ferlinum hægra megin við A.

³ Ef brekkustuðull brekkunnar miðað við staðinn A (sbr. neðanmálsgrein 1 að framan) er einnig þekktur má líka reikna beina áhættu á staðnum B. Sé brekkustuðullinn t.d. 0,01 þá reiknast áhættan við B 0,001, þ.e.a.s. eitt snjóflóð á 1000 ára fresti

gögnum um löng íslensk snjóflóð þarf að safna saman. Hjá Veðurstofu Íslands er talið að til séu nothæf gögn um a.m.k. 10 flóð, auk þess sem kanna þarf söguleg gögn og freista þess að bæta við gagnasafnið.

2. Aðlögun líkana.

Íslenska snjóflóðalíkanið þarf að aðlaga að gögnum um norsk og íslensk snjóflóð. Ákveða má stika líkansins með bestun og bera árangur þess saman við árangur norskú líkananna, sem yrðu prófuð á sama hátt. Sér í lagi verði kannað eins og kostur er hvort einhver eðlismunur kunni að vera á íslenskum og norskum snjóflóðum, þannig að velja þurfi aðra líkanstika. Hugsanlega þarf að endurbæta íslenska líkanið, auk þess sem áhrif ýmissa þátta á niðurstöður líkananna þarf að kanna.

3. Val á líkani.

Í framhaldi af þessu verði valið líkan til notkunar við mat á rennslisstuðli. Hér kemur til greina að velja eitthvert ofangreindra líkana, eða hugsanlega samsetningu þeirra. Líkanið verði aðlagað að norskum snjóflóðum og fundin líkindadreifing mikilvægasta stika þess, þar sem öðrum stikum er haldið föstum. Það sama yrði gert fyrir íslensk flóð, niðurstöður bornar saman og tekið tillit til hugsanlegs mismunar við notkun líkansins.

Að þessu loknu má meta rennslisstuðul snjóflóða í sérhverjum farvegi með hjálp líkansins og þeirrar líkindadreifingar sem fundin hefur verið fyrir mikilvægasta stika þess.

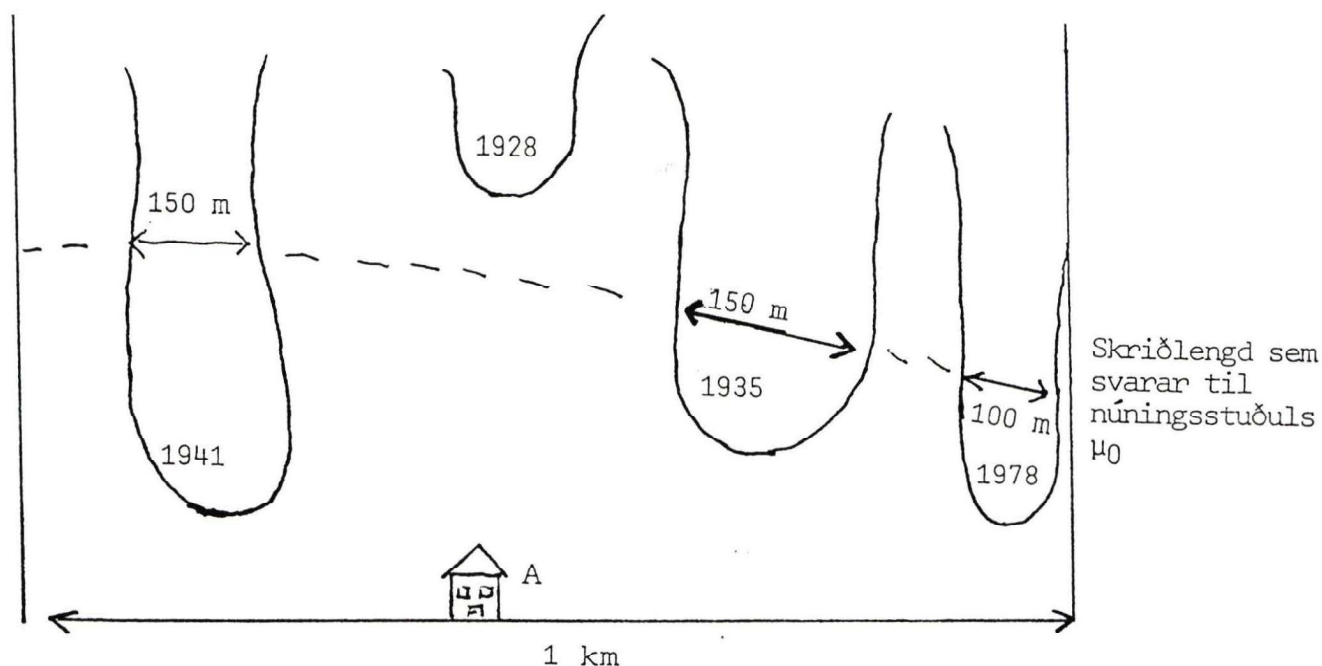
Brekkustuðull

Brekkustuðla má meta á tvo vegu, út frá sögulegum gögnum eða út frá landfræðilegum og veðurfræðilegum aðstæðum á hverjum stað. Ef snjóflóðasaga brekku er nokkuð vel þekkt má beita tölfræðilegum aðferðum við mat á brekkustuðlinum. Lítum t.d. á mynd 3 sem sýnir ímyndaða snjóflóðasögu 1000 metra breiðrar brekku, sem við hugsum okkur að hafi eins upptakasvæði yfir alla breidd sína. Gerum einnig ráð fyrir að fylgst hafi verið með snjóflóðum úr brekkunni í 80 ár. Þá fæst að fyrir staði á strikalínunni (sem svarar til núningins μ_0) verður mat á árlegum snjóflóðalíkum

$$(150 + 150 + 100)/1000 \times 1/80 = 5 \times 10^{-3}$$

þ.e. endurkomutíminn er 200 ár. Hér höfum við í raun metið brekkustuðulinn miðað við stað á strikalínunni. Síðan má beita aðferðunum sem skoðaðar voru í greininni um rennslisstuðul hér á undan til að meta rennslisstuðul fyrir stað A og þar með áhættuna þar. Ef t.d. $P(\mu \leq \mu_A) = 0,2 \times P(\mu \leq \mu_0)$, þ.e. líkindi á minni núningi en þarf til að ná stað A eru fimmtungur af líkum á minni núningi en μ_0 , fæst að A er á 1000 ára hættulínu.

Enn hefur ekkert verið sagt um hvernig velja skuli μ_0 . Til að unnt sé að beita tölfræði á þann hátt sem hér hefur verið lýst þarf μ_0 að vera það stórt (og strikalínan þar með það ofarlega í brekkunni) að nokkur snjóflóð hafi mælst við þennan núning eða lægri. En μ_0 má hins vegar ekki vera of stórt því í fyrsta lagi gæti strikalínan þá lent svo ofarlega í fjallshlíðinni að saga snjóflóða þar sé ekki þekkt af neinni nákvæmni, og í öðru lagi gæti



MYND 3

$1/\mu_0$ verið það lágt að þéttfallið væri illa metið í grennd við gildið, en þéttfallið var eingöngu metið út frá sögu langskreiðra flóða og í það vantar upplýsingar um stutt flóð (stóra núningstuðla). Við val á μ_0 er hugsanlegt að til að samrýma þessi tvö andstæðu skilyrði verði eitt ákveðið gildi μ_0 augljóslega best, en það er líka mögulegt að fleiri gildi kæmu til greina. Í því tilviki mætti reikna áhættuna við fyrnefnt hús A út frá mörgum μ_0 gildum og taka meðaltal. Öll þessi atriði þarf að skoða nánar.

Ekki er víst að unnt sé að nota aðferðina sem hér hefur verið lýst til að meta brekkustuðulinn vegna þess að söguleg gögn gætu verið af skornum skammti. Hann þarf þá að meta út frá snjósöfnun á upptakasvæði farvegarins og líkum á að flóð fari af stað í honum. Jafnvel þótt unnt sé að meta brekkustuðulinn út frá sögulegum gögnum, er mikilvægt að meta hann jafnframt út frá snjósöfnun og staðfesta þannig hvort mat fyrir sig. Þrátt fyrir að erfitt geti virst að meta slíkan stuðul með því að skoða snjósöfnun, er það trú okkar að með öflugum rannsóknum megi þróa aðferð til slíks mats.

Rannsóknum vegna mats á brekkustuðli mætti skipta í eftirfarandi hluta, auk þess sem þær gætu tengst að einhverju leyti nauðsynlegum rannsóknum vegna gerðar snjóflóðaspáa, sem fjallað var um að framan.

1. Könnun sögulegra gagna

Nauðsynlegt er að yfirfara sögulegar heimildir, sérstaklega þær sem ekki hafa verið nýttar fram til þessa.

2. Mat á brekkustuðli út frá snjóflóðasögu.

Kannaðir verði staðir þar sem snjóflóðasaga er það vel þekkt að meta megi brekkustuðulinn út frá henni eins og lýst hefur verið hér að ofan.

3. Athugun á tíðni snjóflóða eftir landshlutum, hæð yfir sjó og viðhorfi farvegar.

Skoða ætti þær brekkur sem hafa allvel skráða snjóflóðasögu og bera snjóflóðatíðni þar saman við tíðni þeirra hvassviðra sem helst má búast við að valdi snjóflóðum.

4. Rannsóknir á tíðni snjóflóða eftir lögun upptakasvæðis.

Hér mætti hafa í huga að snjór getur safnast í gil og skálar í fleiri vindáttum en í fjallsbrúnir.

5. Rannsókn á tengslum snjóflóðatíðni við halla upptakasvæðis.

Skoða mætti dreifingu halla upptakasvæðis í norska gagnasafninu og líta nánar á þær brekkur sem nefndar voru undir 3. lið.

6. Samþætting ofangreindra áhrifaþátta og tenging þeirra við tölfraðilega matið á brekkustuðlinum.

Eftir að þeir þættir sem taldir eru hafa áhrif á tíðni snjóflóða hafa verið athugaðir og fengist hefur aðferð til að meta snjóflóðatíðni út frá þeim, þarf að skoða hvernig því tíðnimati ber saman við tíðnimat í brekkunum út frá sögulegum gögnum, þar sem slíkur samanburður er mögulegur.

Áhættukort

Með mati á brekkustuðli farvegar og rennslisstuðli innan hans má ákveða endurkomutíma snjóflóða innan farvegarins. Ef metnar hafa verið líkur á að farast lendi menn í snjóflóði af gefinni stærð (sjá grein 3.2), má setja fram áhættukort, þar sem teiknaðar eru línur sem sýna jafna áhættu. Áhættuna á hverjum stað má sýna sem árlegar líkur þess að þeir sem búi á staðnum farist í snjóflóði, að því gefnu að engar sérstakar varnir séu viðhafðar.

4. Lokaorð

Í kjölfar atburða síðasta vetrar er flestum ljóst að snjóflóðavarnir þarf að stórefla á Íslandi, enda er hér mikil og þétt byggð í hættu af völdum snjóflóða. Hér á undan höfum við gert grein fyrir hugmyndum okkar um hvernig endurbæta megi snjóflóðaspár og áhættumat vegna snjóflóða frá því sem nú er, og þá sérstaklega fjallað um þær rannsóknir sem við teljum nauðsynlegar til þess að það markmið náist.

Drátt fyrir að hér að framan hafi ekki verið fjallað sérstaklega um skipulag snjóflóðarannsóknna og snjóflóðavarna, teljum við það eina höfuðforsendu þess að árangur náist í þessum efnum að skipulag þessara mála verði endurskoðað og gert mun markvissara en nú er. Meginmarkiðið hlýtur að vera að auka þekkingu hér innanlands eins og kostur er, jafnframt því sem gætt verði að því að sú reynsla sem verður til varðveitist á sem bestan hátt.

Eðlilegt er að öflun gagna um snjóflóð og vinna við snjóflóðaspár fari fram á Veðurstofu Íslands, enda tengist slík vinna mörgum öðrum verkefnum stofnunarinnar á ýmsan hátt. Gæta þarf þess þó að haft sé sem nánast samráð við heimamenn þannig að staðbundin þekking þeirra og reynsla nýtist sem best við spárnar.

Enn er of snemmt að leggja til hvar vinnu við hættumat eftir nýjum aðferðum verði best komið fyrir, enda á eftir að kanna hvernig þær aðferðir sem hér er bent á reynast við gerð hættumats. Þó teljum við afar mikilvægt að hættumatið vinni fleiri en einn sérfræðingur með víðtæka reynslu og sérþekkingu.

Starfið verður alltaf að talsverðu leyti að byggjast á faglegu mati sérfræðinganna og hvorki er mögulegt né æskilegt að setja fram fastbundnar staðlaðar vinnureglur, en mikilvægt markmið er að forsendur og aðferðir við hættumatið verði þær sömu frá einum stað til annars. Það er álit okkar að ef þær tillögur sem við höfum sett fram í þessari greinargerð verða að veruleika muni þetta markmið nást og stjórnvöldum verður auðveldara en nú að marka stefnu um ásættanlega áhættu vegna snjóflóða.