

Þorsteinn Arnalds

## Tilraunahættumat fyrir Seyðisfjörð Yfirlit norðurhlíðar

# Efnisyfirlit

<b>1</b>	<b>Inngangur</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Verklag</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Aðferðafræði</b>	<b>6</b>
3.1	Norskar aðferðir . . . . .	6
3.2	Austurrískar og svissneskar aðferðir . . . . .	7
3.3	Íslenskar aðferðir . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Niðurstöður</b>	<b>10</b>
4.1	NGI . . . . .	10
4.2	WLV . . . . .	11
4.3	VÍ . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Samanburður og samræming niðurstaðna</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Lokaorð</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Heimildir</b>	<b>17</b>
<b>A</b>	<b>Kort</b>	<b>19</b>

# 1 Inngangur

Í þessari skýrslu verður gerð grein fyrir hluta af verkefninu *Tilraunahættumat fyrir Seyðisfjörð*. Í verkáætlun (Kristján Jónasson, 1997b) var markmiðum þess lýst:

- i) Að bera íslenskar hættumatsaðferðir við norskar og austurrískar.
- ii) Gert verði hættumat fyrir Seyðisfjörð.
- iii) Samin verði drög að reglugerð um hættumat.

Eftir því sem á vinnu verkefnisins leið breyttist skilgreining markmiða og fluttist vinna við að semja reglugerð að mestu til nefndar á vegum umhverfissráðuneytisins. Megináhersla var því lögð á fyrstu tvö markmiðin. Fyrra markmiðið skiptist í tvo aðskilda þætti, þ.e.

- a) Samanburð á forsendum og niðurstöðum hættumats miðað við íslenskar og erlend- ar reglur í dæmigerðum snjóflóðafarvegum.
- b) Þekkingaröflun um hættumat í snjóflóðafarvegum sem ekki eru dæmigerðir, snjóflóða- saga illa þekkt, eða þar sem hætta er á krapa- og aurflóðum.

Í þessari skýrslu verður sjónum einkum beint að fyrra markmiðinu, þ.e. samanburði á forsend- um og niðurstöðum hættumats miðað við mismunandi reglur og aðferðafræði. Fyrir þennan samanburð var gert hættumat fyrir svæði á norðurhluta Seyðisfjarðar, frá Jókugili og út undir Fornastekk.

Samanburður á íslenskum og erlendum aðferðum var gerður með því að þrír hópar sér- fræðinga lögðu sjálfstætt mat á snjóflóðahættu á svæðinu.

Þáttakendur í verkefninu voru Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds (Veðurstofu Ís- lands), Karstein Lied og Ulrik Domaas (Norsku jarðtæknistofnuninni, NGI) og Siegfried Sau- ermoser (Austurrísku snjóflóða- og flóðastofnuninni, WLW).

## 2 Verklag

Í upphafi verkefnisins voru teknar saman ýmsar grunnupplýsingar, svo sem um snjóflóða- og byggðasögu og veðurfar sem sendar voru til þátttakenda sumarið 1997.

Í ágúst 1997 komu Ulrik og Karstein til Íslands. Dagana 19.–21. ágúst könnuðu Karstein og Ulrik aðstæður norðan ár á Seyðisfirði, undir Bjólfi, til undirbúnings hættumati sínu og tóku Kristján og Þorsteinn þátt í þeirri könnun.

Dagana 22.–24. ágúst könnuðu Kristján, Karstein og Þorsteinn aðstæður sunnan ár á Seyðisfirði, undir Strandartindi, til undirbúnings sameiginlegru hættumati allra þriggja hópa fyrir svæðið.

Í september 1997 kom Siegfried til Íslands og kannaði hann ásamt Kristjáni og Þorsteini aðstæður á norðurhluta Seyðisfjarðar 8.–11. september til undirbúnings hættumati sínu fyrir svæðið.

Þar á eftir, 12.–14. september könnuðu Siegfried, Kristján og Þorsteinn aðstæður á suðurhluta Seyðisfjarðar með sama markmiði og gert hafði verið með Karstein í ágúst.

Niðurstöðum sínum um hættu á norðurhluta Seyðisfjarðar lýstu hóparnir þrír síðan í skýrslum í október og nóvember 1997 (NGI, 1997; WLW, 1997 og Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds, 1997a). Samhliða hættumati Veðurstofunnar var gefin út stutt lýsing á aðferðum sem beitt var við matið (Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds, 1997b) til glöggvunar fyrir aðra þátttakendur.

Á verkefnisfundi í Lechaschau í Austurríki 17.–18. nóvember 1997 ræddu Kristján, Karstein, Siegfried og Þorsteinn niðurstöður sínar, mun á þeim og hvernig unnt væri að samræma þær. Umræðunum er lýst í fundargerð (Kristján Jónasson, 1997c).

Í maí 1998 var mat Veðurstofunnar endurskoðað eftir að gerðar höfðu verið nokkrar tæknilegar breytingar á aðferðum sem beitt var. Endurbótum aðferðanna var lokið haustið 1998 og lauk formlega með útgáfu skýrslu um aðferðirnar (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Á verkefnisfundi í Reykjavík 26.–27. maí 1998 var lagt fram minnisblað um endurskoðað mat og á Veðurstofunni liggja fyrir önnur gögn um það mat. Verkefnisfundinn sátu Kristján, Karstein, Siegfried og Þorsteinn og var hættumat fyrir norðurhluta Seyðisfjarðar þar samræmt. Fundurinn fylgdi í kjölfar vettvangskönnunarferðar sömu manna til Seyðisfjarðar 26.–27. maí þar sem unnið var að hættumati fyrir suðurhluta Seyðisfjarðarkaupstaðar. Á fundinum voru enn fremur rædd fyrirbyggjandi drög að íslenskri reglugerð um hættumat með þátttöku Smára Þorvaldssonar umhverfisráðuneyti.

Með þessari skýrslu er að lokum formleg grein gerð fyrir þeim hluta verkefnisins sem snýr að mati á hættu á svæðinu undir Bjólfi og samanburði á íslenskri, norskri og austurrískri aðferðarfræði.

## 3 Aðferðafræði

Eitt af aðalmarkmiðum verkefnisins var eins og áður sagði að bera saman áhrif mismunandi hættumatsaðferða og hættumatsreglna á endanlegt hættumat. Þetta var ekki síst gert vegna þess að aðferðir og reglur eru nokkuð ólíkar milli landa. Hér lýst í stuttu máli aðferðum og reglum um afmörkun hættusvæða í Noregi, Austurríki og á Íslandi.

### 3.1 Norskar aðferðir

Sérfræðingar Norsku jarðtæknistofnunarinnar (NGI) þeir Karstein Lied og Ulrik Domaas afmörkuðu hættusvæði miðað við norskar reglur og þær aðferðir sem þeir beita er þeir gera hættumat í sínu heimalandi. Í Noregi eru hættusvæði afmörkuð á grundvelli metinnar tíðni

**Tafla 1.** Skilgreining á norskum hættusvæðum.

Ör- yggis- flokkur	Hámarks „nominal“ tíðni á ári	Endurkomu- tími snjóflóða (ár)	Leyfilegar byggingar
<b>1</b>	$10^{-2}$	100	Bílskúrar, minni geymsluhús á einni hæð, bátaskýli.
<b>2</b>	$10^{-3}$	1000	Íbúðarhús upp að tveimur hæðum, fjárhús o.fl.
<b>3</b>	$< 10^{-3}$	$< 1000$	Spítalar, skólar, samkomuhús o.s.frv.

snjóflóða. NGI (1997) gerir grein fyrir meginatriðum norskra hættumatsreglna með eftirfarandi hætti.

Mat á náttúruvá er tengt norösku Skipulags- og byggingarlögunum. Samkvæmt tækni-reglum laganna er miðað við þrenns konar snjóflóða- og skriðutíðni, sjá töflu 1. Að auki er kveðið á um í byggingarreglugerð að heimilt sé að endurbyggja hús eftir eldsvoða og aðrar endurbætur séu heimilar fyrir hús í öryggisflokki 2 ef „nominal“ árleg tíðni er minni en  $3 \cdot 10^{-3}$ .

Með því að nota orðið „nominal“, í stað „raunveruleg“ er átt við að nákvæmir útreikningar á úthlaupslengd snjóflóða með tiltekna tíðni eru ómögulegir og nauðsynlegt er að beita huglægu mati að hluta.

Mat NGI á snjóflóðahættu undir Bjólfinum á Seyðisfirði miðast við þessar reglur.

### 3.2 Austurrískar og svissneskar aðferðir

Í austurrískum reglum er varða mat á snjóflóðahættu eru skilgreind tvenns konar hættusvæði (Siegfried Sauermoser, 1997) sem eru

**Rautt svæði:** Engar nýjar byggingar eru leyfðar. Mörk svæðisins eru ákvörðuð þar sem endurkomutími snjóflóða er minni en tíu ár, eða þar sem búast má við að ástreymisþrýstingur snjóflóðs með endurkomutímamann 150 ár sé meiri en  $25 \text{ kN/m}^2$ .<sup>1</sup>

**Gult svæði:** Leyft er að byggja styrktar byggingar. Að jafnaði er ekki leyft að byggja hús á gulum svæðum þar sem búast má við miklum mannsafnaði. Mörk svæðisins eru ákvörðuð þar sem endurkomutími snjóflóða er 150 ár.

Þær tölur sem nefndar eru um endurkomutíma snjóflóða í reglunum vekja að athygli. Ef raunverulega væri metinn endurkomutími eða árlegar líkur þess að snjóflóð falli með sama

<sup>1</sup>Viðmiðunargildinu  $25 \text{ kN/m}^2$  hefur nýlega verið breytt í  $10 \text{ kN/m}^2$  í reglunum. Ekki hefur verið unnið mikið hættumat síðan þá og því eru  $25 \text{ kN/m}^2$  það gildi sem mest allt hættumat í Austurríki miðast við. Sú tala var aukin heldur í gildi er hættumat var gert fyrir Seyðisfjörð miðað við austurrískar reglur og aðferðir.

hætti og reynt er að gera í íslenskum hættumatsaðferðum svaraði matið til þess að árlegar líkur á að snjóflóð færi yfir tiltekinn punkt á rauðu línunni væru 1/150–1/10. Austurrískar reglur eru sniðnar að svissneskri fyrirmynd.

Í svissneskum reglum (Salm o.fl., 1990) er miðað við 30 og 300 ára endurkomutíma til að afmarka hættusvæði. Eðlisfræðilíkan er notað til að meta skriðlengd snjóflóðs með gefna upphafsþykkt. Upphafþykktin er metin út frá þriggja daga aukningu snjódýptar á upptakasvæðunum sem svarar til endurkomutímanna 30 og 300 ára. Kristján Jónasson (1997a) lýsti aðferðum sem beitt er við þessa reikninga.

Snjóflóð sem svara til 3 daga aukningar snjódýptar í upptakasvæðum með 30 eða 300 ára endurkomutíma samsvara ekki snjóflóðum með 30 eða 300 ára endurkomutíma. Fyrir því eru einkum tvær ástæður. Sú fyrri er að þó að tiltekið magn snævar safnist í upptakasvæði er ekki víst að snjóflóð falli. Í öðru lagi er óvíst að eðlisfræðilíkanið sem beitt er gefi „rétt skriðlengd“ snjóflóðs með þessa snjódýpt. Áréttað skal að hugtakið „rétt skriðlengd“ hefur ekki mjög skýra merkingu í þessu samhengi, þar sem öruggt er að öll snjóflóð með tiltekna upptakaþykkt eru ekki jafn löng, heldur lúta þau einhverri líkindadreifingu. Því er væntanlega eðlilegast að túlka „rétt skriðlengd“ sem meðalskriðlengd snjóflóðs með þessa upptakaþykkt.

Í umræðum sem starfsmenn Væðurstofu Íslands hafa átt við Siegfried Sauermoser við úrlausn verkefnanna *Tilraunahættumat fyrir Seyðisfjörð* og *Tilraunahættumat fyrir Ísafjörð, Siglufjörð og Neskaupstað* hefur komið fram að þó að hús hafi staðið allt að nokkur hundruð ár á tilteknum stað kemur það ekki veg fyrir að það lendi á rauðu hættusvæði. Þetta samræmist því ekki vel að árlegar líkur á snjóflóðum á tilteknum stað á rauðu línunni séu 1/150–1/10 og bendir til þess að umtalsvert aukið öryggi felist í útfærslu austurrísku reglnanna.

Þó að valdar séu aðrar viðmiðunartölur í austurrískum reglum en svissneskum bendir flest til þess að áhættan á austurrískum hættusvæðum sé sambærileg og á svissneskum og líkur á snjóflóð falli á svæðin því sambærilegar. Starfsmenn Væðurstofunnar hafa talsvert rætt áhættu og endurkomutíma snjóflóða á svissneskum hættusvæðum við svissneska samstarfsmenn einkum þá Stefan Margreth og Christian Wilhelm. Niðurstaða þeirra umræðna er í stuttu máli sú að endurkomutími á mörkum rauðs og blás<sup>2</sup> svæðis geti verið af stærðarþrepinu 100 ár og 1000 ár á útmörkum bláa svæðisins.

Svissneskar og austurrískar hættumatsreglur voru ræddar á fundi í Neskaupstað 1997 með þátttöku Stefan Margreth og Joseph Hopf (Tómas Jóhannesson og Sigurður Kiernan, 1997). Í doktorsritgerð sinni ræðir Christian Wilhelm (1997) áhættu á snjóflóðahættusvæðum í Sviss og hagkvæmni varnaraðgerða. Hann setur fram mat á áhættu á mismunandi stöðum innan snjóflóðahættusvæða fyrir og eftir byggingu varnarvirkja.

---

<sup>2</sup>Í svissneskum reglum er svæði þar sem byggja má styrkt hús auðkennt með bláum lit en ekki gulum eins og í Austurríki

**Tafla 2.** Skilgreiningar íslenskra hættusvæða.

Svæði	Neðri mörk stað-aráhættu	Efri mörk stað-aráhættu	Leyfilegar byggingar
<b>C</b>	$3 \cdot 10^{-4}$ /ári	$1 \cdot 10^{-4}$ /ári	Engar nýbyggingar nema frístundahús*, og húsnæði þar sem viðvera er lítil.
<b>B</b>	$1 \cdot 10^{-4}$ /ári	$0.3 \cdot 10^{-4}$ /ári	Atvinnuhúsnæði má byggja án styrkinga. Minni íbúðarhús þarf að styrkja og hús þar sem búist er við miklum mannsafnaði (s.s. sjúkrahús, skóla o.þ.h.) og stærri íbúðarhús má einungis byggja við og þá styrkt.
<b>A</b>	$0.3 \cdot 10^{-4}$ /ári	–	Minni íbúðarhús og atvinnuhúsnæði má byggja án styrkinga. Hús þar sem búist er við miklum mannsafnaði (s.s. skóla, sjúkrahús o.s.frv.) og stærri íbúðarhús (fleiri en 4 íbúðir) þarf að styrkja.

\*Ef áhætta er minni en  $5 \cdot 10^{-4}$  á ári.

### 3.3 Íslenskar aðferðir

Við afmörkun hættusvæða á Íslandi hefur síðustu árin verið unnið með það í huga að svæði verði afmörkuð miðað við áhættu einstaklinga, þ.e. árlegar dánarlíkur manns vegna ofanflóða sem býr á tilteknum stað. Miðast afmörkun hættusvæða við staðaráhættu sem er skilgreind sem dánarlíkur manns sem dvelur öllum stundum í óstyrktu húsi. Raunveruleg áhætta fæst með því að taka tillit til þess hversu líklegt er að maður sé staddur í húsi er snjóflóð fellur og öryggisaukningar sem fólgin er í styrkingum húsa. Aukið öryggi vegna rýminga og annarra tímabundinna öryggisráðstafana er ekki tekið með í reikninginn við hættumat. Yfirvöld hafa ákveðið að áhættan  $0.2 \cdot 10^{-4}$  á ári sé *viðunandi* eða *ásættanlega áhætta* (umhverfisráðuneytið, 1997). Þessi áhætta svarar til mismunandi mikillar staðaráhættu eftir því hvers konar byggingar er um að ræða og því hversu lengi má búast við að menn dvelji þar (gert er ráð fyrir að dæmigerð viðvera sé 75% í íbúðarhúsum og 40% í atvinnuhúsnæði).

Í reglugerð um hættumat (umhverfisráðuneytið, 2000) er lögð til afmörkun hættusvæða á grundvelli mismunandi áhættu og voru sambærilegar skilgreiningar notaðar við afmörkun hættusvæða á Seyðisfirði 1997–98. Í reglugerðinni eru skilgreind þrenns konar hættusvæði, sjá töflu 2.

Nýtingarreglur hættusvæðanna er ætlað að ná viðunandi áhættu ( $0.2 \cdot 10^{-4}$  á ári) í íbúðarhúsum þegar tekið hefur verið tillit til viðveru og aukins öryggis vegna styrkinga. Áhætta í atvinnuhúsnæði er litlu hærrí. Sú aðferðafræði sem notuð var af Kristjáni Jónassyni og Þorsteini Arnalds við mat á ofanflóðahættu á Seyðisfirði var þróuð við Háskóla Íslands og Væðurstofu Íslands 1995–1998. Kristján Jónasson o.fl. (1999) lýsa aðferðunum eins og staða þeirra var í árslok 1998.

Í umfjöllun um norskar og austurrískar hættumatsaðferðir hér að framan var nokkuð fjallað um endurkomutíma snjóflóða. Mat á áhættu felur sér í lagi í sér mat á líkum þess að snjóflóð falli og þar með endurkomutíma. Til þess að finna áhættuna þarf að auki að meta líkur þess að menn lendi í snjóflóði og afleiðingar þess, þ.e. dánarlíkur.

## 4 Niðurstöður

Hér verða dregin fram meginatriði niðurstaðna hvers hóps fyrir sig og rakin meginrök þeirra fyrir afmörkun svæða þar sem við á. Sá rökstuðningur er eðli máls samkvæmt misjafn eftir því hvaða verkþópur á í hlut vegna ólíkra reglna og mismunandi aðferðarfræði.

### 4.1 NGI

Á korti 1 er sýnd niðurstaða hættumats NGI miðað við norskar reglur. Dregnar eru þrjár línur, þar sem árlegar líkur á snjóflóðum eru metnar 1/100, 1/300 og 1/1000.

Í rökstuðningi með hættumati NGI er metnu svæði skipt upp í þrjú minni svæði sem eru afmörkuð á kortinu.

#### 1. Ysti hluti svæðisins, frá Nautabási inn að Liverpool.

Ljóst er af snjóflóðasögunni að snjóflóð eru mjög tíð á öllu svæðinu og kemst NGI að þeirri niðurstöðu að tíðni snjóflóða við sjávarmál sé á bilinu 1/200 til 1/100 á ári á svæðinu.

#### 2. Hafnarsvæðið og inn fyrir Fjörð og Tungu að brú yfir Fjarðará.

Reynt var að leggja mat á tíðni snjóflóða úr Kálfabotni/Hlaupgjá með athugun á snjóflóðasögu og reikningum með  $\alpha/\beta$ -líkani,<sup>3</sup> PCM-líkani og Gumbelgreiningu á úthlaupslengd skráðra snjóflóða. Út frá þeim athugunum og með hliðsjón af staðháttum og veðurfari er talið að í  $\alpha - 2\sigma$  séu árlegar líkur á snjóflóði neðan Kálfabotns 1/1000 og 1/100 í  $\alpha$ .

Með hliðsjón af landfræðilegum aðstæðum, bæði á upptakasvæði og úthlaupssvæði og í ljósi þess hversu lengi bærinn Fjörður hefur staðið telur NGI óhætt að álykta að tíðni snjóflóða við bæinn Fjörð sé minni en 1/300 á ári og er sú lína því dregin rétt ofan bæjarins.

#### 3. Svæðið innan Tungu, frá Elverhøj og inn að Skaga.

Ljóst er að tíðni snjóflóða á svæðinu er mun minni en neðan Kálfabotna/Hlaupgjár. Auk þess munu Fálkagil og Jókugil draga afl úr flóðum sem eiga upptök ofan þeirra. Slík áhrif er ekki

---

<sup>3</sup>Notað er líkan aðlagð að norsku flóðasafni, nánar tiltekið  $\alpha = 0.96\beta - 1.4$ ,  $\sigma = 2.3^\circ$



hægt að meta með hefðbundnum skriðlengdarlíkönum og því eru áhrif þeirra metin út frá reynslu og huglægu mati.

Utan Fálkagils og innan Fjarðar er svæði sem ekki nýtur verndar giljanna. Þar er talið að árlegar líkur á snjóflóðum séu  $1/1000$  á milli  $\alpha - \sigma$  og  $\alpha - 2\sigma$ .

Vegna verndar Jókugils og Fálkagils eru hættusvæði minnkuð um um 100 m neðan giljanna, í Bakkahverfi.

Innan Bakkahverfis er hættan talin nokkru meiri en í hverfinu, en vegna eiginleika brautarinnar á mörkum fallbrautar og úthlaupssvæðis er ekki talið að um sé að ræða farveg þar sem mjög löng snjóflóð falla og lína sem sýnir hvar líkur á snjóflóði eru  $1/1000$  á ári er um 100 m ofan árinna.

## 4.2 WLW

Á korti 2 er sýnd niðurstaða hættumats WLW byggðu á austurrískum aðferðum. Tekið var til mats svæðið Liverpool og inn fyrir Langatanga.

Mat á skriðlengdum snjóflóða er byggt á samanburði við þekktar skriðlengdir snjóflóða í Austurríki, mat á landfræðilegur aðstæðum með tilliti til snjóflóða og notkun skriðlengdarlíkana.

Gerð er grein fyrir aðstæðum í fjórum brautum á svæðinu sem metið var. Neðri hlutar brautanna eru sýndar á korti 2.

### 1. Innan Bakkahverfis og neðan Jókugils.

Tekin eru til athugunar tvö upptakasvæði ofan og neðan stalls í um 650 m h.y.s. Tíðni snjóflóða á svæðinu er metin mjög lítil vegna þess að upptakasvæði neðan stalls mun sjaldan safna snjó vegna ríkjandi norðanáttar. Í sterkri vestanátt gæti hins vegar safnast snjór á efra upptakasvæðið.

### 2. Innri hluti Bakkahverfis

Tekin eru til athugunar tvö upptakasvæði ofan og neðan stalls í um 650 m h.y.s. Við ákvörðun hættumarka er tekið mið af óljósum heimildum um snjóflóð á svæðinu. Erfitt er hins vegar að meta tíðni með nokkurri vissu og eru ytri mörk gula svæðisins ákvörðuð þannig að þau séu nokkuð utan við hugsanlegan stöðvunarstað snjóflóðs 1885.

### 3. Neðan Kálfabotns

Upptakasvæðið er Kálfabotn, lægð neðan stalls í um 650 m h.y.s. Á 100 árum hafa 5 snjóflóð verið skráð niður á Ránargötu sem gefur árlegar líkur á snjóflóði  $1/20$ . Snjóflóðið 1885 gæti

haft endurkomutíma á bilinu 50–100 ár. Vegna þessa eru mörk hættusvæðis dregin um 70 m utan marka flóðsins 1885. Hryggur ofan Fjarðar gæti aukið öryggi þar og skýrt það að Fjörður hefur ekki orðið fyrir snjóflóði og eru mörk rauða hættusvæðisins því dregin nokkuð upp á því svæði.

#### 4. Ofan Liverpool

Af snjóflóðasöggunni er ljóst að tíðnin í farveginum er mikil og úthlaupsvegalengdin frá fjallsrótum til sjávar er stutt og eru mörk rauðs hættusvæðis dregin nærri ströndinni og í sjávarmálinu á ysta hluta svæðisins sem metið er.

### 4.3 VÍ

Niðurstöður áhættumats Veðurstofunnar eru sýndar á korti 3. Á korti 4 er jafnframt sýnt endurkomutímamat sem svarar til þeirra áhættulína.

Metið var svæði frá hesthúsum og út að Nautabási. Svæðinu er skipt í sjö minni svæði og gerð grein fyrir mati á tíðni snjóflóða á hverju svæði fyrir sig. Mörk svæða 1–6 eru dregin á korti 3. Hættumatslínur eru einungis dregnar fyrir þann hluta svæðisins sem samanburður nær til.

#### 1. Hesthús

Upptakasvæði sem tekið er til skoðunar er bæði ofan stalls í um 420 m h.y.s. og neðan hans. Á þessu svæði er stallurinn það breiður að snjóflóð munu flest stöðvast á honum eða afl þeirra a.m.k. minnka til mikilla muna. Rétt þykir að ákvarða tíðni snjóflóða á svæðinu nokkuð minni en á svæði 2. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.015, þ.e. 1.5 snjóflóð á öld.

#### 2. Skagi

Ofan svæðisins eru tvær skálar í efsta hluta upptakasvæðisins. Þær eru hins vegar ekki brattar og því ekki talin ástæða til að gera greinarmun á tíðni snjóflóða úr skálunum og hlíðinni innan þeirra. Ekki er heldur gerður greinarmunur á tíðninni á þessu svæði og 3. svæði en þau eru aðskilin. Ekki hefur verið nein byggð á þessu svæði, ólíkt 3. svæði. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.02, þ.e. 2 snjóflóð á öld.

#### 3. Jókugil–Fálkagil

Gilin munu að einhverju leyti breyta stefnu flóða sem eiga upptök ofan þeirra. Það er þó helst Fálkagil sem mun minnka hættu í innsta hluta byggðarinnar, en Jókugil minnkar frekar

hættuna innan byggðarinnar. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.02, þ.e. 2 snjóflóð á öld og er þar ekki tekið tillit til áhrifa giljanna til minnkunar áhættunnar.

#### 4. Fjörður

Talið er að bærinn Fjörður hafi staðið þar sem hann er nú síðan um árið 1000 án þess að hafa orðið fyrir snjóflóði. Þetta rennir stóðum undir að tíðni á svæðinu sé mun minni en a.m.k. utar og gæti tiltölulega kúpt upptakasvæði ofan bæjarins skýrt þessa lágu tíðni snjóflóða. Á úthlaupssvæðinu ofan bæjarins er einnig hryggur sem gæti hafa bjargað bænum frá því að lenda í snjóflóðinu 1885. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.004, þ.e. 4 snjóflóð á árþúsundi.

#### 5. Hlaupgjá

Á þessu svæði eru flest snjóflóð skráð. Ofan svæðisins er skálin Kálfabotn sem er talin hafa verið hluti upptakasvæðis snjóflóðsins 1885. Snjóflóðasaga svæðisins er það ríkuleg að þar má áætla tíðnina með reikningslegum hætti (Kristján Jónasson o.fl., 1999). Er tíðnin metin í samhengi við tíðni á 6. svæði (Liverpool) og var miðað við að tíðni neðan Hlaupgjár væri þreföld tíðnin á Liverpool-svæði. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.066, þ.e. rúmlega 6 snjóflóð á öld.

#### 6. Liverpool

Í um 150–300 m h.y.s. er hliðin skorin af mörgum giljum og gæti það skýrt mikla tíðni tiltölulega lítilla flóða á svæðinu. Tíðni snjóflóða með rennslisstig stærra eða jafnt 13 er ákvörðuð 0.022, þ.e. rúmlega 2 snjóflóð á öld.

#### 7. Nautabás

Á þessu svæði eru snjóflóð tíðust á Seyðisfirði. Tíðni á svæðinu er mjög mikil og hefur verkmiðja Hafsildar/Vestdalsmjöls sem byggð er 1965 orðið fyrir mörgum snjóflóðum. Tíðnin er ekki metin með formlegum hætti en ljóst er að hún er umtalsvert meiri en 1/100 við ströndina og líklega nærri 1/10.

## 5 Samanburður og samræming niðurstaðna

Eins og vikið var að í lýsingu á aðferðafræði eru forsendur fyrir afmörkum svæða ólíkar eftir því hvort farið er eftir íslenskum, norskum eða austurrískum reglum. Því hefur verið reynt að greina hvernig reglur séu frábrugðnar og af hverju munur verði á niðurstöðum. Mikilvægt er

að greina á milli áhrifa ólíkra nýtingarreglna og hins ef að aðferðir eða aðstæður leiða til ólíks mats á hættu.

Í norskum reglum er eins og að framan sagði miðað við endurkomutíma og endurkomutími er einnig lagður til grundvallar við íslenskt hættumat, þó gengið sé einu skrefi lengra með því að reikna áhættu. Skilningur sá sem notaður er í skilgreiningu endurkomutíma eða tíðni snjóflóða virðist vera sambærilegur í Noregi og á Íslandi; sé um raunverulega rétt metna tíðni að ræða t.d.  $1/1000$  á tiltekinni línu þá séu líkurnar  $1/1000$  á hverju ári á að tiltekinn punktur á línunni verði fyrir snjóflóði.

Samanburður við austurrískar niðurstöður er aftur á móti mun erfiðari og til þess að hægt sé að bera þær saman við íslenskar og norskar er nauðsynlegt að endurskoða skilgreiningu línanna, þannig að hún falli að hinum tveimur aðferðunum. Eins og vikið var að í umfjöllun um austurríska og svissneska aðferðafræði þykir líklegt að raunveruleg tíðni snjóflóða á ytri mörkum gula svæðisins sé um  $1/1000$  á ári. Með hliðsjón af þessu var ákveðið að líta á mörk gula svæðisins sem línu sem sýndi hvar tíðnin væri  $1/1000$ .

Á korti 5 eru sýndar þær þrjár línur sem taldar eru tákna að tíðni sé  $1/1000$ . Í ljós kemur að nokkur munur er á línunnum, en um sérhverja línu gildir að finna má stað þar sem hún er annað hvort fjær eða nær fjallinu en báðar hinar.

Ofan Bakkahverfis er lína NGI næst fjallinu enda lagði Karstein Lied á samræmingarfundi mest upp úr áhrifum Jóku- og Fálkagils til verndar hverfisins. Rétt er að vekja athygli á því að lína Veðurstofunnar sýnir reiknaðan endurkomutíma áður en að tekið hefur verið með formlegum hætti tillit til verndandi áhrifa giljanna.

Við Fjörð má svo sjá að í mati Veðurstofunnar er mest tillit tekið til byggðasögu Fjarðar en í bæði austurrísku og norsku mati. Undir Kálfabotnum/Hlaupgjá og út að Liverpool er mat Veðurstofunnar íhaldsamast en það er þó ekki mjög frábrugðið mati NGI en hins vegar munar nokkru meiru á þeim tveimur og mati WLW.

Af framansögðu er ljóst að sé sú forsenda rétt, að með gulri línu WLW og tíðnilínunni  $1/1000$  hjá VÍ og NGI sé verið að setja fram svipaða niðurstöðu, er ekki hægt að álykta að um kerfisbundinn mun á niðurstöðum aðferða sé að ræða.

Ef borin er saman niðurstæða hættumatsins m.t.t. þess hvaða áhrif það hefur á nýtingu svæða verður niðurstæðan allt önnur. Neðan gulu línu WLW og línu NGI, sem sýna tíðnina  $1/1000$  á ári, væri í Austurríki og Noregi heimilt að reisa hvaða byggingu sem er. Sambærileg lína (útmörk hættusvæðis A), sem metin er með íslenskum aðferðum, teygir sig hins vegar um 150–200 m lengra í og að hluta yfir Fjarðará.

Ákveðið var að samræma hættumatið með þeirri forsendu að íslensk hættusvæði væru að gefnu sama tíðnimati stærri en bæði norsk og austurrísk. Á korti 6 er sýnd niðurstæða samræmingarinnar. Sjá má að miðað við hana er nánast ekkert svæði í núverandi byggð norðan ár á Seyðisfirði utan hættusvæða, hættusvæði A teygir sig niður í Fjarðará og einungis tvö hús á tanganum lenda utan hættusvæða. Mörk hættusvæðis C eru víða ekki fjarri mörkum hættusvæða NGI og WLW.

## 6 Lokaorð

Sá samamburður á mismunandi hættumatsaðferðum og -reglum sem lýst er hér að framan hefur reynst gagnlegur. Svör sem fengust við úrlausn verkefnisins kalla hins vegar fram nýjar spurningar sem mikilvægt er að reyna að svara. Sú sem hæst ber er að sjálfsögðu sú að fram kemur umtalsverður munur á umfangi hættusvæða, þrátt fyrir að álíta megi að mat á tíðni flóða sé sambærilegt. Á þessu geta í meginatriðum verið þrjár skýringar.

- i) Viðmiðunargildi áhættu sem valið hefur verið á Íslandi, þ.e. árlegar dánarlíkur 0.2 af 10 000 sem svarar til staðaráhættu 0.3 af 10 000 er lægri en sú áhætta sem raunverulega er tekin með afmörkun hættusvæða í Noregi og í Ölpunum.
- ii) Íslensk snjóflóð eru hættulegri en norsk og austurrísk. Með þessu er átt við að meðaldánarlíkur í flóðum séu hærrí hér á landi en erlendis. Þetta gæti bæði verið vegna eðlismunar á snjóflóðunum og svo hins að íslensk hús veiti minni vernd en erlend.
- iii) Áhættureikningarnir sem íslenska aðferðafræðin byggir á og skila áhættu að gefnu tilteknu tíðnimati eru rangir.

Ýmislegt bendir til þess að viðmiðunaráhættan sem valin hefur verið á Íslandi sé lægri en sú sem raunverulega er tekin með skilgreiningu hættusvæða í Noregi, Sviss og Austurríki. Þó að ekki sé hægt að segja að formleg niðurstaða hafi fengist um það mál virðist margt benda til þess að viðunandi áhætta sem valin hefur verið á Íslandi geti verið um þrefalt lægri en í raun er í gildi í Noregi og Austurríki. Þetta myndi svara til þess að hættusvæði A væri séríslenskt „auka“ varúðarsvæði. Það hefði því ekki komið á óvart þó að sá munur væri á íslenskum og erlendum niðurstöðum.

Umdeildanlegt er hvort að rétt sé að velja lægri viðmiðunaráhættu en gert hefur verið erlendis. Við ákvörðun ásættanlegrar áhættu hefur sem mest verið reynt að horfa til annarra áhættuþátta og krafna um öryggi vegna annarrar vár, bæði hér á landi og erlendis. Það verður að hafa í huga að reglur um hættumat í Noregi og Austurríki eru nokkurra áratuga gamlar og á þeim tíma hafa almennar kröfur um öryggi aukist mikið.

Skýringar ii) og iii) eru nátengdar. Ef íslensk snjóflóð eru hættulegri en erlend er eðlilegt að áhættureikningar leiði til óhagstæðari niðurstöðu en annars væri. Ef hins vegar þau eru ekki hættulegri væri það ótvíræð vísbending um að áhættureikningarnir væru rangir. Því er einfaldast að reyna að athuga þriðju skýringuna.

Samband tíðni og áhættu svarar til þess að verði hús sem maður er staddur í fyrir flóði séu líkur þess að farast 11-30% undir Bjólfi.

Til samamburðar þá lentu 48 í snjóflóðinu á Súðavík (þ.e. voru í húsi sem skemmdist umtalsvert af völdum flóðsins). Af þeim fórust 14 eða 29%. Á Flateyri fórust 20 af 45 sem í flóðinu lentu eða 44%. Séu skoðaðar upplýsingar um öll snjóflóðaslys frá 1850 kemur fram að af 456 sem dvöldust í íbúðarhúsum sem urðu fyrir snjóflóði og skemmdust umtalsvert fórust 158 eða 35%.

Rétt er að undirstrika að tölurnar um reiknaðar meðaldánarlíkur á Seyðisfirði og sögulegar dánarlíkur eru ekki sambærilegar; annars vegar er verið að tala um að flóð lendi á húsi, án þess að tilgreint sé hvort það veldur nokkru tjóni og hins vegar að flóðið valdi tjóni sem er umtalsvert. Það er því eðlilegt að reiknaðar meðaldánarlíkur séu að jafnaði nokkru lægri en söguleg gögn sem safnað hefur verið með þeim hætti sem að framan er greint. Erfitt er hins vegar að meta hversu mikill munur er eðlilegur.

Án þess að hér verði farið út í mikla tæknilega umræðu um eiginleika þeirrar aðferðafræði sem beitt er við áhættureikninga er rétt að nefna til sögunnar tvö atriði sem leitt gætu til þess að áhættureikningarnir séu rangir á Seyðisfirði frekar en í öðrum snjóflóðafarvegum.

Nefnt var að meðaldánarlíkur manns sem staddur er í húsi sem lendir í snjóflóði undir Bjólfi reiknast 11-30%. Helsta ástæðan fyrir því að bilið er svona breitt er sú að tíðni snjóflóða hefur að gefinni þeirri skriðlengdardreifingu sem notuð er áhrif á meðaldánarlíkur; því meiri sem tíðnin er, þeim mun minni eru meðaldánarlíkur á stað þar sem endurkomutími er tiltekinn. Vegna þessa verða meðaldánarlíkur nokkuð háar á svæði eins og við Fjörð, þar sem tíðnin er metin lág.

Í öðru lagi er brekkan ekki mjög dæmigerð fyrir þá snjóflóðafarvegi sem skriðlengdardreifing snjóflóðanna var metin fyrir. Hún er mjög kröpp, þ.e. svokallað  $\beta$ -horn er hátt. Vísbendingar eru um að neikvæð fylgni sé milli skriðlengdar og  $\beta$ -horns, þ.e. að skriðlengdarlíkanið sem notað er ofmeti skriðlengd í kröppum brekkum. Á móti þessu kemur að sé tíðni flóða metin út frá raunverulegri flóðasögu eyðast áhrif þessarar skekkju út, þar sem skráð flóð mælast styttri en þau í raun og veru ættu að mælast.

Til þess að reyna að greina muninn á afmörkun svæða betur mætti endurtaka samanburðinn fyrir brekkur með aðra lögun. Einnig má gera frekari athuganir á því hvert raunverulegt áhættustig sé í Alpalöndum og Noregi. Veturinn 1998/99 gekk mesta snjóflóðhrina síðan 1954 yfir Alpalönd. Í Austurríki, Sviss og Frakklandi fórust samtals um 70 manns í byggð og á vegum. Erfitt er að meta raunverulega áhættu íbúa við mörk hættusvæða út frá upplýsingum um fjölda látinna og íbúafjölda á svæðununum. Þessar tölur má þó túlka yfir í mat á stærðarþrepi áhættunnar á svæðum skammt innan og nokkuð utan hættumatslínununnar. Virðist áhættan á þessum svæðum vera á bilinu  $0.3-1 \cdot 10^3$  á ári sem er nokkru hærra en talið er viðunandi í íslenskum reglum.

Að öllu samanlögðu er ekki hægt að gefa afdráttarlausu skýringu á stærri íslenskum hættusvæðum en norskum og austurrískum. Líklegt er þó að a.m.k. hluta skýringarinnar megi rekja til strangari öryggiskrafna. Þó virðast mörk viðunandi áhættu ekki vera fjarri raunáhættu nærri hættumatslínu í öðrum löndum. Það er hins vegar erfiðara að meta hvort önnur hvort eða báðar þeirra skýringa að íslensk snjóflóð séu hættulegri og að áhættureikningar séu rangir eigi við.

## 7 Heimildir

- Kristján Jónasson. 1997a. *Hvernig standa Svisslendingar að snjóflóðavörnum? Heimsókn til Snjóflóðastofnunar Sviss í Davos 21.–25. nóvember 1996*. VÍ, greinargerð VÍ-G97007-ÚR05.
- Kristján Jónasson. 1997b. *Tilraunahættumat fyrir Seyðisfjörð — Verkáætlun*. VÍ, greinargerð VÍ-G97017-ÚR13.
- Kristján Jónasson. 1997c. *Pilot hazard zoning for Seyðisfjörður. Minutes of a meeting held in Lechaschau, Austria, 17th–18th Nov. 1997*. Óútgefið minnisblað.
- Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds 1997a. *Pilot Hazard Zoning for Seyðisfjörður. IMO hazard zoning for the north side*. VÍ, greinargerð VÍ-G97035-ÚR27.
- Kristján Jónasson og Þorsteinn Arnalds. 1997b. *A Method for Avalanche Risk Assessment Short description*. VÍ, greinargerð VÍ-G97035-ÚR28.
- Kristján Jónasson, Sven Þ. Sigurðsson og Þorsteinn Arnalds. 1999. *Estimation of Avalanche Risk*. VÍ, rit VÍ-R99001-ÚR01.
- NGI. 1997. *Seyðisfjörður. Assessment of natural hazard zones*. NGI, skýrsla 974080-1. (Höfundar Karstein Lied og Ulrik Domaas).
- Salm, B., A. Burkard og H. U. Gubler. 1990. Berechnung von Fliesslavinen. Eine Anleitung für den Praktiker mit Beispielen. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, *Mitteilungen* 47, Davos.
- Sauermoser, S. 1997. *Elaboration of hazard zone maps in Austria*. Forsttechnical Service in Torrent and Avalanche Control.
- Tómas Jóhannesson og Sigurður Kiernan. 1997. *Minutes from a meeting about avalanche protection for Neskaupstaður held at Hótel Egilsbúð on 4 and 5 September 1997*. VÍ, greinargerð VÍ-G97032-ÚR26.
- Umhverfissráðuneytið. 1997. *Bréf varðandi reglur um hættumat vegna ofanflóða*.
- Umhverfissráðuneytið. 2000. *Reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats*. Júlí 2000.
- Wilhelm, C. 1997. Wirtschaftlichkeit im Lavinenschutz — Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, *Mitteilungen* 54, Davos.
- WLV. 1997. *Hazard zone plan. Seyðisfjörður north. Austrian Foresttechnical Service in Torrent and Avalanche Control*. Austurríki. (Höfundur Siegfried Sauermoser).

## A Kort

**Kort 1.** Hættumat í samræmi við norskar reglur.

**Kort 2.** Hættumat í samræmi við austurrískar reglur.

**Kort 3.** Hættumat (VÍ) í samræmi við íslenskar reglur.

**Kort 4.** Endurkomutímamat VÍ.

**Kort 5.** Samanburður á þrenns konar hættumati.

**Kort 6.** Samræmt hættumat verkhópa í samræmi við íslenskar reglur.