

Jarðfræðileg ummerki snjóflóða

Þorsteinn Sæmundsson

Unnið fyrir Ofanflóðasjóð

Jarðfræðileg ummerki snjóflóða

Þorsteinn Sæmundsson

Unnið fyrir Ofanflóðasjóð

NÍ-05010

Akureyri, júlí 2005



NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS

		Reykjavík <input type="checkbox"/> Akureyri <input checked="" type="checkbox"/>
Skýrsla nr. NÍ-05010	Dags, Mán, Ár 10.07.2005	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Jarðfræðileg ummerki snjóflóða		Upplag 35
		Fjöldi síðna 21
Höfundur Þorsteinn Sæmundsson		Verknúmer A031124
Unnið fyrir Ofanflóðasjóð		
Samvinnuaðilar Náttúrustofa Norðurlands vestra		
Útdráttur <p>Hérlendis hafa snjóflóð almennt ekki verið talin flytja með sér annað efni en snjó. Snjór sem fellur niður hlíðar fjalla og út á láglandi bráðnar yfirleitt fljótt eftir að flóð fellur (dagar, vikur, mánuðir). Því hefur sú skoðun verið uppi að nær ómögulegt sé að greina yfir hvaða svæði snjóflóð hafa fallið, út frá framburði þeirra einum og sér. Það hefur hins vegar komið í ljós að sú er alls ekki raunin og flest snjóflóð bera með sér mismikið set. Slíkt kom glögglega í ljós í snjóflóðahrinunni sem gekk yfir norðan- og norðvestanvert landið í október árið 1995. Í kjölfar þeirrar snjóflóðannahrinu hófust rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða og hefur gögnum verið safnað á Vestfjörðum, Norðurlandi og á Austurlandi. Rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða geta nýst við gerð hættumats bæði í þéttbýli og dreifbýli. Þessar rannsóknir gefa mikilvægar upplýsingar um virkni snjóflóða og annarra ofanflóða á síðari öldum, sér í lagi á þeim svæðum þar sem lítið er vitað um sögu ofanflóða. Einnig gefa þessar rannsóknir okkur mikilvægar upplýsingar um virkni snjóflóða samfara veðurfarsbreytingum mörg þúsund ár aftur í tímann. Með tímanum getur framburður snjóflóða myndað setlög og jafnvel byggt upp heilu landformin þar sem þau eru tíð. Með því að greina og þekkja þessi ummerki fást vísbendingar um hvort snjóflóð hafa fallið yfir ákveðin landsvæði eða ekki. Á yfirborði er oft hægt að greina framburð og rofform snjóflóða en þar sem þau eru sjaldgæf geta ummerkin grafist í annað set. Einnig geta framkvæmdir af manna völdum spillt yfirborðsummerkjum. Öruggst er því að skoða þversnið af setframburðinum, annað hvort í náttúrulegum opnum eða með því að grafa holur á úthlaupsvæðum.</p>		
Lykilorð Snjóflóð, setlög, landform, snjóflóðagrjót, snjóflóðadyngjur		Yfirfarið HGP, SH

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2 FLOKKUN SNJÓFLÓÐA	5
3 JARÐFRÆÐILEG UMMERKI SNJÓFLÓÐA	6
3.1 YFIRBORÐSUMMERKI	9
3.2 SETFRÆÐILEG UMMERKI	11
4 HÆTTUMATSGERÐ	12
5 STAÐA RANNSÓKNA	14
5.1 FLATEYRI	15
5.2 DÝRAFJÖRÐUR	16
5.3 NESKAUPSTAÐUR, SIGLUFJÖRÐUR OG BOLUNGARVÍK	17
5.4 FNJÓSKADALUR OG BLEIKSMÝRARDALUR	17
6 HEIMILDIR	18
VIÐAUKI 1 - ÚTGEFNAR SKÝRSLUR OG GREINAR	20
VIÐAUKI 2 - FYRIRLESTRAR/VEGGSPJÖLD	21

MYNDIR

Mynd 1: Flokkun ofanflóða	6
Mynd 2: „Jarðefnalaus“ snjóflóð	7
Mynd 3: Stórgrýti borið fram með snjóflóði	7
Mynd 4: Snjóflóðafarvegur ofan við Flateyri	8
Mynd 5: Rúnnaður steinn	9
Mynd 6: Yfirborðsummerki snjóflóða í innanveðum Fnjóskadal	10
Mynd 7: Lengdarprófill aurkeilu í innanverðum Fnjóskadal	11
Mynd 8: Jarðlagasnið neðan við Skollahvilft á Flateyri	12
Mynd 9A: Fíngerður framburður snjóflóðs í innanverðum Fnjóskadal	13
Mynd 9B: Stórgrýti borið fram með snjóflóði í Dýrafirði	13
Mynd 10A: Snjóflóðagrjót í Bleiksmýrardal	14
Mynd 10B: Snjóflóðagrjót í Fnjóskadal	14
Mynd 11A: Plógfar eftir snjóflóðagrjót í Dýrafirði	14
Mynd 11B: Yfirborð aurkeilunnar neðan við Skollahvilft á Flateyri	14
Mynd 12: Aurkeilur við Flateyri	15
Mynd 13: Kort af ummerkjum snjóflóðs í botni Dýrafjarðar í okt. 1996	16

1. INNGANGUR

Á haustmánuðum 1994 vaknaði hugmynd að verkefni sem fælist í að kanna hvort snjóflóð bæru með sér set eða jarðefni út á úthlaupssvæði sín, líkt og önnur ofanflóð og hvort hægt væri að greina og þekkja jarðfræðileg ummerki snjóflóða á Íslandi. Svipaðri rannsókn var þá nýlokið í Noregi með doktorsritgerð frá Háskólanum í Bergen (Blikra 1994). Fram að þeim tíma má segja að það hafi verið almenn skoðun hérlendis og reyndar víða erlendis að snjóflóð væri sá flokkur ofanflóða sem bæru lítið sem ekkert af jarðefnum með sér niður hlíðar fjalla og út á láglandi, en rannsóknir Blikra og félaga hafa valdið nokkrum breytingum þar á (Blikra 1994, Blikra & Nemeč 1998, Blikra & Selvik 1998 og Blikra & Sæmundsson 1998). Það má þó ekki horfa fram hjá því að nokkrir einstaklingar hafa lýst framburði snjóflóða hér á landi. Helgi Hallgrímsson (1981) ritaði um snjóflóðadyngjur á árbökkum. Ólafur Jónsson (1957) nefnir í bók sinni Skriðuföll og snjóflóð að þekkt sé að snjóflóð hafi varpað stórgrýti á tún og getur um „snjóflóðahóla“ á Bleiksmýrardal. Þórarinn Magnússon (1979) lýsir í skýrslu sinni áhrifum snjóflóða á lausan jarðveg og Sigurjón Rist (1973, 1974) getur bæði um snjóflóðadyngjur og snjóflóðagrjót þannig að honum hefur vel verið kunnugt um þessi fyrirbrigði. Almennt hafði þó þessi þekking eða vitneskja ekki verið notuð hér á landi til að meta hættu sem skapast getur af völdum snjóflóða.

Tilgangurinn með þessum rannsóknum er að kanna hvort unnt sé að greina ummerki snjóflóða hér á landi og þekkja þau frá ummerkjum annarra ofanflóða. Þessar rannsóknir geta gefið vísbendingar um hvort snjóflóð hafi fallið yfir ákveðin svæði eða ekki. Slík vitneskja getur nýst vel við gerð hættumats bæði fyrir þéttbýlissvæði og einnig fyrir dreifðari byggðir svo sem lögbýli og sumarhúsabyggðir.

Í þessi greinargerð til Ofanflóðasjóðs er fjallað um stöðu þessara rannsókna í dag. Unnið hefur verið að gagnasöfnun víða á landinu frá árinu 1995. Fyrsta verkefnið var unnið á Flateyri í kjölfar snjóflóðsins þar í október 1995. Einnig voru könnuð ummerki snjóflóðs sem féll í botni Dýrafjarðar í sömu snjóflóðahrinu. Ummerki snjóflóða á Siglufirði, Bolungarvík og í Neskaupstað hafa verið könnuð og rannsóknir á ummerkjum snjóflóða í Bleiksmýrardal og Fnjóskadal eru hafnar. Eins og sést á ritlista hér fyrir aftan hafa þessi verkefni verið kynnt á ýmsum stöðum, bæði í fyrirlestrum, greinum, skýrslum og námsritgerðum (sjá viðauka 1 og 2).

2 FLOKKUN SNJÓFLÓÐA

Snjóflóð eru einn af fjölmörgum flokkum ofanflóða en sökum þess hve þau hafa verið talin bera lítið af jarðefnum með sér eru þau oftast nær ekki flokkuð með öðrum ofanflóðum svo sem aurskriðum, grjóthruni eða berghlaupum (mynd 1). Það hefur þó komið berlega í ljós, bæði hér á landi og erlendis að snjóflóð geta verið mikilvægur þáttur hvað setflutning varðar. Það er þó mismunandi eftir gerð og eðli snjóflóða hversu mikið af jarðefnum þau bera með sér.

Í gegnum tíðina hafa snjóflóð verið flokkuð á ýmsan hátt og til eru mörg flokkunarkerfi. Í þessar skýrslu eru þau flokkuð í tvo megin flokka, kófhlaup (e. powder snow avalanches) og þurr snjóflóð (e. dry snow avalanches) annars vegar og vot snjóflóð (e. wet snow avalanches) og krapahlaup (e. slush flows) hins vegar (Hopefinger 1983). Þessi flokkun byggir aðallega á vatnsinnihaldi en að auki eru snjóflóð einnig flokkuð í flekahlaup og lausasnjóflóð.

Af þessum flokkum snjóflóða bera vot snjóflóð og krapahlaup að öllu jöfnu með sér mest af jarðefnum. Slíkt fer þó eftir snjálögum og veðurfari þegar flóðin falla og hvort þau ná að rjúfa undirlag sitt eða ekki. Bæði krapaflóð og vot snjóflóð eiga það til að rjúfa undirlag sitt, bæði á upptakasvæði flóðsins og þó sennilega fyrst og fremst í fallbraut og úthlaupssvæði þess. Krapaflóð eru þó að öllu jöfnu afkastameiri í setflutningi eins og kom berlega í ljós í krapaflóðum í Bíldudal árin 1997 og 1998 (Þorsteinn Sæmundsson 1997, Þorsteinn Sæmundsson & Sigurður Kiernan 1998).



Mynd 1: Ofanflóð eru flokkuð eftir gerð efnis sem fellur niður hverju sinni. Á þessari mynd er sýndir hinir þrjú megin efnisflokkar ofanflóða: jarðefni (e. debris), snjór (e. snow) og vatn (e. water). Sjaldan falla þessir efnisflokkar einir og sér og er því oftast um blöndu þeirra að ræða. Flokkun ofanflóða fer því eftir hlutfalli hvers efnisflokks fyrir sig (Blikra & Nemeč 1998).

3 JARÐFRÆÐILEG UMMERKI SNJÓFLÓÐA

Snjóflóð hér á landi hafa almennt ekki verið talin til þeirra ofanflóða sem flytja með sér annað efni en snjó. Snjór sem fellur niður hlíðar fjalla og út á láglandi hefur þann eiginleika að bráðna fljótlega eftir að flóðið fellur (dagar, vikur, mánuðir) og því hefur sú sköðun verið uppi að seinna sé næri ómögulegt að greina yfir hvaða svæði snjóflóð hafa fallið. Það hefur hins vegar komið í ljós að sú er ekki raunin því flest öll snjóflóð bera með sér mismikið jarðefni auk þess að rjúfa undirlag sitt (myndir 2 og 3).

Þau snjóflóð sem yfirleitt bera með sér mest af jarðefnum eru vot snjóflóð og krapaflóð sem ná að rjúfa undirlag sitt. Aftur á móti bera þurr flóð, sem renna t.d. ofan á skaralögum, minna af jarðefnum með sér. Almennt má þó segja að öll snjóflóð beri með sér einhver jarðefni. Magn jarðefna í snjóflóði getur verið mjög misdreift innan flóðsins sjálfs sem endurspeglar hvar flóðið nær að rjúfa undirlag sitt (Luckman 1971). Með tímanum getur framburður snjóflóða myndað setlög og jafnvel byggt upp heilu landformin, eftir því hversu tíð þau eru. Með því að greina og þekkja þessi ummerki er hægt að komast nær því hvort snjóflóð hefur fallið yfir ákveðið landsvæði eður ei, líkt því sem gert er með önnur ofanflóð svo sem aurskriður og grjóthrun. Oft á tíðum er hægt að greina framburð sem borinn er með snjóflóðum á yfirborði en þar sem atburðirnir eru sjaldgæfir geta bæði framburður og landform grafið undir annað set. Því verður að skoða þversnið af setframburðinum, annað hvort í náttúrulegum opnum eða með því að grafa gryfjur á úthlaupsvæðum þeirra.



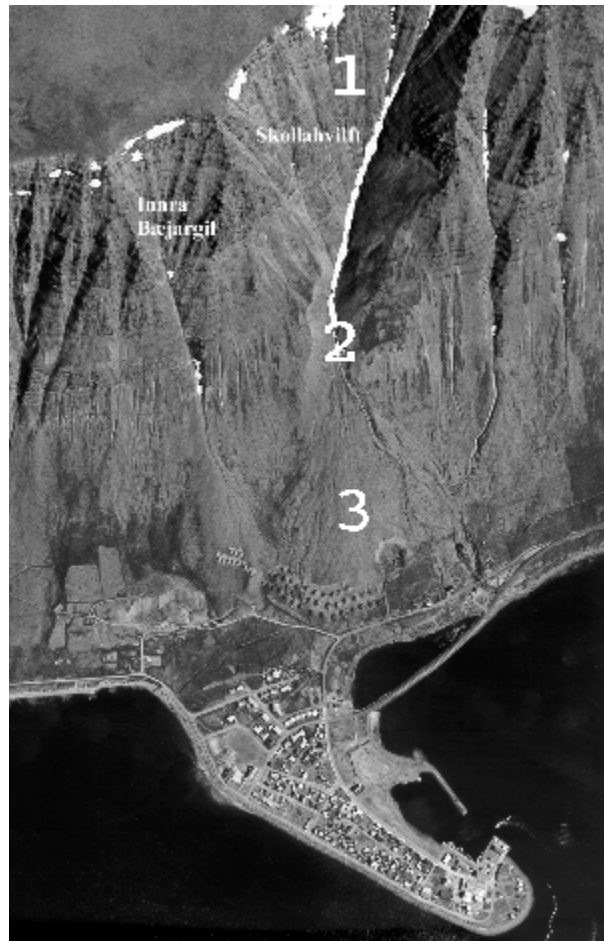
Mynd 2: „Jarðefnalaus“ snjóflóð í Mýrdal árið 1996 (Ljósmynd: Þorsteinn Sæmundsson 1996).



Mynd 3: Stórgrýti borið fram með snjóflóðinu sem féll á Flateyri í október 1995 (Ljósmynd: Þorsteinn Sæmundsson 1996).

Það set sem berst niður með snjóflóðum geta flóðin tekið upp á mismunandi stöðum í farvegi sínum (mynd 4). Á upptakasvæði sínu getur flóðið tekið með sér jarðefni sem falla úr klettabeltum ofan á snjóþekjuna, til dæmis við frostveðrun. Úr fallbrautum snjóflóða og efsta hluta aurkeilna er talið að stærsti hluti þeirra jarðefna sem þau bera með sér sé ættaður. Helsta skýringin á því er að þar eru oft þrængingar í farvegi flóðanna, hraði þeirra er mestur og mestur möguleiki á því flóðin rjúfi undirlag sitt. Magn lausra jarðefna er oft á tíðum mikið á þessum stað þar sem grjóthrun, litlar aurskriður, leysingavatn og áfök bera oft mikið efni í neðsta hluta upptakasvæðis og efsta hluta aurkeilna. Einnig getur flóðið rofið jarðefni úr klettaveggjum þar sem þrængingar eru miklar. Á úthlaupssvæði á sér eðlilega stað setmyndun en þar getur einnig orðið mikil upptaka jarðefna og efnisflutningar þar sem flóðið nær að rjúfa undirlag sitt. Þar sem snjóflóð falla yfir strandsvæði eða árfarvegi getur flóð

kastað rúnnuðu grjóti til (mynd 5) og þar sem flóðið fellur þvert á árfarveg byggjast oft upp snjóflóðadyngjur.



Mynd 4: Snjóflóðafarvegur Innra Bæjargils og Skollahvilftar fyrir ofan Flateyri. 1) Upptakasvæði, 2) fallbraut og 3) úthlaupssvæði.

Það set sem snjóflóð bera með sér út á úthlaupssvæði sín mynda og móta landslagið mun meira en hingað til hefur verið gert ráð fyrir. Þessi ummerki eru misjöfn af gerð og þar af leiðandi missýnileg. Þau geta bæði verið mynduð sem setform, þ.e. byggð upp úr seti sem snjóflóðin bera með sér eða sem rofform, þ.e. mynduð af völdum rofs. Þessi jarðfræðilegu ummerki er bæði að finna á og undir yfirborðinu.

Rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða beinast einnig að því skoða hvernig snjóflóðavirkni hefur breyst í tímans rás, það er hvernig veðurfarsveiflur liðinna alda og árpúsunda hafa haft áhrif á snjóflóðavirkni. Slíkt er meðal annars gert með því að aldursgreina jarðlög sem eru mynduð úr framburði snjóflóða og bera þau gögn saman við veðurfarsöguna eins og við þekkjum hana í dag (Blikra & Nemeč 1998). Slíkur samanburður er mjög mikilvægur því vitað er að veðurfari er sá þáttur sem ræður hvað mestu um virkni snjóflóða og allar breytingar á veðurfari geta því haft mikil áhrif á tíðni og stærð þeirra.

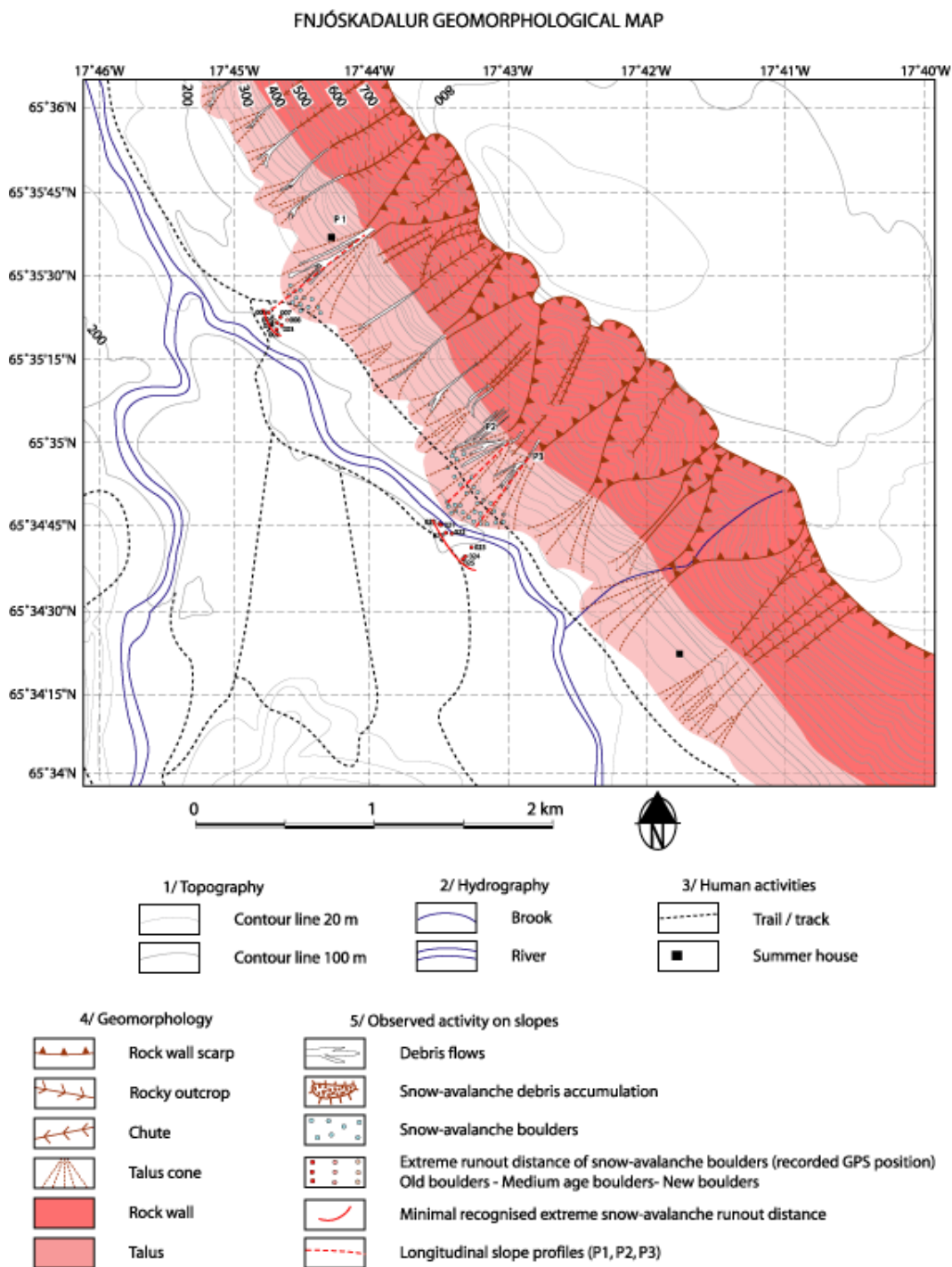


Mynd 5: Rúnnaður steinn sem var borin með snjóflóði í október árið 1995 úr farvegi Botnsár í botni Dýrafjarðar 1995 (Ljósmynd: Þorsteinn Sæmundsson 1996).

3.1 Yfirborðsummerki

Eins og áður hefur komið fram geta ummerki snjóflóða á yfirborði annað hvort verið vegna setmyndunar eða rof og útlit þeirra þar af leiðandi mismunandi. Þegar komið er að því að greina ummerki á yfirborði er hafist handa við gerð nákvæms landmótunarkorts af viðkomandi svæði (mynd 6).

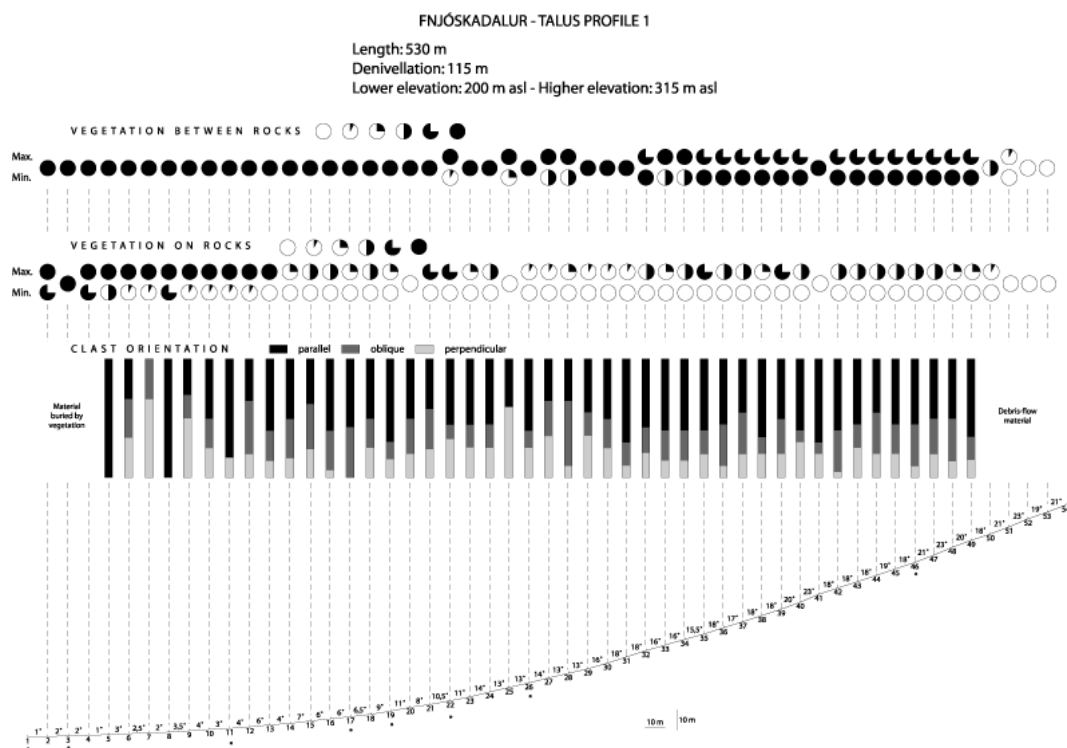
Þau svæði sem tekin eru fyrir við þessa kortlagningu ná frá fjallatoppum og oft niður undir, og þar sem það á við, niður fyrir sjávarmál. Öll landform og ummerki á svæðinu eru kortlögð með loftmyndatúlkun, rissuð upp drög að landmótunarkorti og svæðið gengið og nákvæmar upplýsingar skráðar. Aðgreind eru svæði þar sem ofanflóðavirkni er til staðar svo sem farvegir, hugsanleg upptakasvæði, aurkeilur, grjótdreif og önnur landform. Síðan eru valdir staðir þar sem hallaprófílar eru teknir, annað hvort beint af kortum (ef nákvæm kort eru til af svæðinu) eða með nákvæmri bandmælingu og lengdar- og þversnið teiknuð upp (mynd 7). Yfirborðsummerkjum er lýst svo sem gróðurfari (þéttleiki, tegundagreining, stærð fléttna o.s.frv.), gerð yfirborðs (hrjúfleiki, kornastærð, farvegir, aurkeilur, rofform), dreifing grjóts er mæld svo sem stefna, staðsetning, úthlaupslengd og úthlaupshorn. Að lokum eru þessar upplýsingar færðar inn á landmótunarkortið. Út frá þessum upplýsingum er hægt að greina set- og rofform sem eru mynduð af völdum snjóflóða frá öðrum ummerkjum ofanflóða á svæðinu. Einnig er hægt að greina hversu tíð snjóflóðin eru út frá stærð ummerkjanna (set- eða rofform) og „ferskleika“ (þ.e. hversu nýleg ummerkin eru).



Mynd 6: Dæmi um kortlagningu yfirborðsummerkja snjóflóða í innanverðum Fnjóskadal að austanverðu, rétt innan við Illugastaði og Þórðarstaði. Á kortið eru teiknaðar hæðarlínur (e. topography), vatnafar (e. hydrology), helstu mannvirki (e. human activities), landmótun (e. geomorphology) og athuganir framkvæmdar á völdum stöðum (e. observed activity on slopes) (Sæmundsson & Decaulne, í handriti).

Snjóflóð valda oft miklum skemmdum á gróðri og því eru gerðar gróðurathuganir við kortlagningu eins og lýst var hér að framan. Ef trjágróður er til staðar þá eru skemmdir á honum metnar og reynt er að segja til um aldur hans og þéttleika. Hægt er að mæla aldur trjáa með því taka sýni úr stofni þeirra til að telja trjáringi. Til slíkrar sýnatöku þarf trjábólurinn a.m.k að vera 10 cm að það þvermálin en að öðrum kosti þarf að fella tréð. Lítið

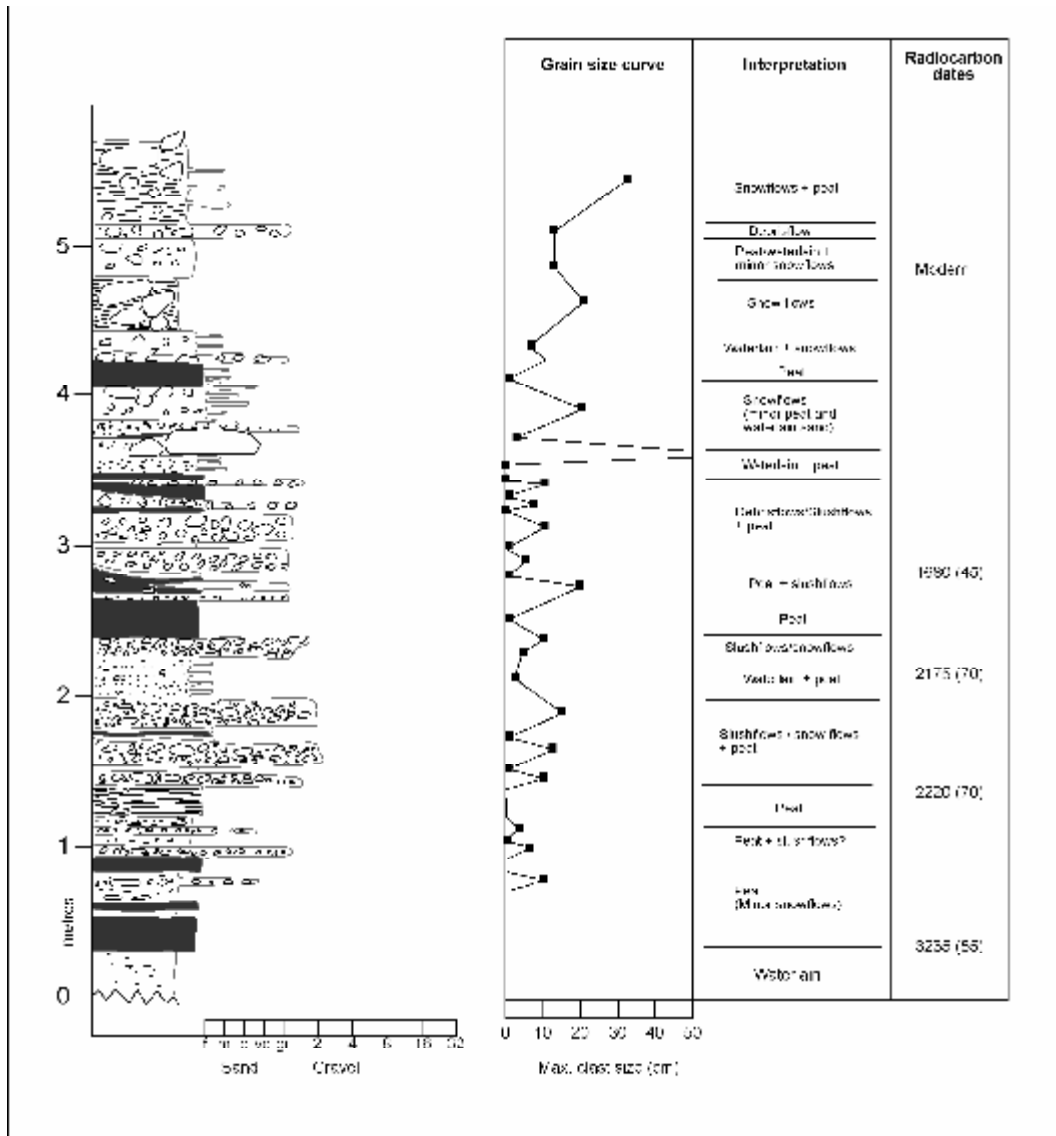
hefur verið gert af slíkum rannsóknum hér á landi enn sem komið er. Skemmdir á öðrum gróðri eru einnig metnar og plöntur greindar til tegundar.



Mynd 7: Lengdarprófill aurkeilu í innanverðum Fnjóskadal að austanverðu, rétt innan við Illugastaði og Þórðarstaði. Á myndinni sjást einnig niðurstöður athugunar á gróðurfari á yfirborði á milli steina (e. vegetation between rocks), á steinum sjálfum (e. vegetation on rocks) og stefna langáss þeirra (e. clast orientation) (Sæmundsson & Decaulne, í handriti).

3.2 Setfræðileg ummerki

Greining á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða eins og lýst var hér að framan (kafli 3.1) gengur út frá því að lítið sem ekkert rask hafi átt sér stað, þ.e. að framkvæmdir hafi ekki spillt þeim ummerkjum sem myndast hafa á yfirborði. Þessu er þó allvíða þannig farið að töluverðar framkvæmdir hafa verið gerðar á þeim svæðum sem til skoðunar eru, þó helst á úthlaupssvæðunum. Þessar framkvæmdir geta verið af völdum bygginga, vegna ræktunar túna, vegagerðar og svo mætti lengi telja. Áhrifa slíkra framkvæmda ná þó misjafnlega langt niður fyrir yfirborðið og oft á tíðum eru varðveitt ummerki undir þeim, t.d. þar sem tún hafa verið ræktuð yfirborði. Með því að grafa gryfjur á úthlaupssvæðum eða því svæði sem er til könnunar er hægt að skoða hvernig undirliggjandi jarðlög hafa myndast. Hægt er að greina hvort slík jarðlög séu mynduð til dæmis af völdum snjóflóða, aurskriðna, grjóthruns eða jarðvegsmyndunar. Við slíkar rannsóknir eru jarðlög skoðuð og þeim lýst samkvæmt ákveðnu ferli og þau túlkuð. Jarðlagasnið er teiknað upp þar sem koma fram allar helstu athuganir (mynd 8) og þar sem nægilegar lífrænar leifar plantna finnast eru sýni tekin til 14C-aldursgreininga. Þar sem öskulög eru áberandi í jarðvegi, svo sem á Miðnorðurlandi og á Austfjörðum geta þau nýst vel við aldursgreiningar en þar sem þau eru fátíðari svo sem á Vestfjörðum verður nær eingöngu að notast við 14C-aldursgreiningar.



Mynd 8: Dæmi um jarðlagasnið úr aurkeilunni fyrir neðan Skollahvilt á Flateyri. Þau atriði sem skoðuð eru þegar slík rannsókn fer fram er meðal annars:

Innri bygging (e. Structure/ texture), Meðal kornastærð (e. Mean clast size), Mesta kornastærð (e. Max clast size), Vefta (e. Fabric), Röðun (e. Grading), Þykkt jarðlaga (e. Bed thickness), Geislakolsaldursákvörðun (e. Radiocarbon dating).

Á myndinni er teiknað upp jarðlagasnið þar sem kornastærð setlags kemur fram. Stærð stærsta korns í laginu er skráð (e. grain size curve), túlkun gerð (e. interpretation) og niðurstöður geislakolsaldursákvæðanna (e. radiocarbon dates) (Þorsteinn Sæmundsson, í handriti).

4 HÆTTUMATSGERÐ

Með rannsóknum á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða og annarra ofanflóða er hægt að afla mikilvægra upplýsinga um virkni ofanflóða, bæði á yfirborði (nýliðnir atburðir) og einnig í jarðlagasniðum undir yfirborðinu (eldri atburðir). Slíkar upplýsingar er hægt að nota, samfara öðrum aðferðum við gerð hættumats bæði fyrir snjóflóð, aurskriður og grjóthrun hvort sem er í þéttbýli eða dreifbýli.

Snjóflóð geta flutt með sér mikið magn jarðefna, þar sem kornastærð er allt frá fínu efni upp í 30-40 tonna stórgrýti (mynd 9A og B). Það eru þó ekki öll snjóflóð sem bera með sér jarð-

efni þó flest geri þar að einhverju magni. Þau snjóflóð sem bera með sér mesta magn jarðefna eru vot snjóflóð og krapaflóð en þurrari flóð minna. Með nákvæmri yfirborðskortlagningu er hægt að greina ólíkar setgerðir og landform og þar með hægt að segja til um hvaða ferli voru virk við myndun þeirra. Meðal annars er hægt að meta úthlaupslengd flóða og jafnvel tíðni út frá dreifingu stórgrýtis (mynd 10 A og B). Rofform eftir snjóflóð eru einnig nýtsamlegt tæki til að greina ummerki snjóflóða (mynd 11 A og B). Með gróðurfarsrannsóknum, mælingum á fléttum og ummerkjum á skógi, þar sem það á við, er hægt að meta aldur og tíðni liðinna atburða á yfirborði.



A



B

Mynd 9 A: Fíngerður framburður snjóflóðs sem féll í október 1995 í innanverðum Fnjóskadal. Takið eftir fína efninu sem liggur ofan á snjónum. **B:** Stórgrýti sem barst með snjóflóði sem féll í október 1995 í botni Dýrafjarðar. Þessi steinn sem Oddur Pétursson snjóeftirlitsmaður á Ísafirði stendur fyrir framan er um 35 tonn (Ljósmyndir: Þorsteinn Sæmundsson 1996).

Með nákvæmum setfræðilegum mælingum í jarðlagasniðum er hægt að greina jarðlög mynduð af framburði snjóflóða frá öðrum jarðlögum. Hægt er að meta tíðni snjóflóða og annara ofanflóða í jarðlagasniðum með því að aldursgreina leifar plantna, sem finnast í mólögum og jarðvegi sem myndast hefur milli setframburðs ofanflóðanna (mynd 8). Með því að aldursgreina slík jarðlög er einnig hægt að bera saman veðurfars sögu liðinna alda og árþúsunda við tíðni snjóflóða og annarra ofanflóða á svæðinu í dag og afla þannig mikilvægra gagna um breytingar á snjóflóðavirkni tengdu veðurfari. Úthlaupslengdir snjóflóða er hægt að finna með því að grafa gryfjur á mismunandi stöðum á hugsanlegu úthlaupssvæði snjóflóða eða á því svæði sem athugunin nær yfir. Með þeim gögnum er eins og áður sagði hægt að finna hámarks úthlaupslengd flóða og einnig er hægt að meta tíðni snjóflóða í mismunandi fjarlægð frá upptökum (Blikra & Aa 1996).

Þær upplýsingar sem hægt er fá með rannsóknum á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða geta gefið okkur mikilvægar upplýsingar og vísbendingar um virkni snjóflóða og úthlaupslengdir þeirra. Með því að skoða eingöngu yfirborðsummerki snjóflóða á röskuðum svæðum eða þar sem áhrifa mannsins hefur gætt er auðvelt að sjást yfir þau. Einnig er auðvelt að sjást yfir þessi ummerki þar sem snjóflóðavirkni er lítil við ríkjandi veðurfar. Eins og greint var frá hér að framan þá er snjóflóðavirkni í beinum tengslum við veðurfarsbreytingar og því geta þær annað hvort endurvakið eldri hættu eða dregið út henni.

**A****B**

Mynd 10 A: Snjóflóðagrjót sem borist hefur fram með snjóflóðum í innanverðum Bleiksmýrardal. Stóri steinninn er kantaður, með hvassar brúnir og er mun eldri, líklega ættaður beint úr klettabeltinu. Sá minni sem ofaná liggur er rúnnaður og hefur flóðið kastað honum upp úr árfarvegi. **B:** Grjót sem berst með snjóflóðum berst mun lengra en grjót sem berst með aurskriðum og grjóthruni. Þessi steinadreif liggur undir virkum snjóflóðafarvegi í innanverðum Fnjóskadal (Ljósmyndir: Þorsteinn Sæmundsson 2004).

**A****B**

Mynd 11: Snjóflóð sem bera með sér mikið af jarðefnum og ná að rjúfa undirlag sitt skilja oft eftir sig áberandi ummerki á yfirborði. **A:** Plógfar eftir stóran stein sem barst fram með snjóflóði í botni Dýrafjarðar 1995. **B:** Yfirborð aurkeilunnar neðan við Skollahvilt á Flateyri eftir snjóflóðið í október 1995 (Ljósmyndir: Þorsteinn Sæmundsson 1996).

Þegar er unnið hættumat út frá jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða þarf að hafa í huga að dreifing jarðefna er sýnir einungis lágmarks úthlaupslengd flóðanna vegna þess að flutningsgeta þeirra minnkar til mikilla muna þegar hraði og þykkt minnkar. Slíkt kom berlega í ljós við rannsóknir á snjóflóðinu í botni Dýrafjarðar, sem féll í október 1995, þar sem að um 100-150 m voru frá grjótdreifinni að jaðri flóðsins og eru þá undanskilin áhrif af völdum höggbylgju flóðsins.

5 STAÐA RANNSÓKNA

Undanfarin 10 ár hafa verið stundaðar rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða víða á Íslandi. Þessar rannsóknir hafa aðallega verið framkvæmdar af Dr. Þorsteini Sæmundssyni jarðfræðingi, fyrst þegar hann vann á Veðurstofu Íslands (1995-1999) og síðar á Náttúrustofu Norðurlands vestra (2000-). Þorsteinn hefur verið í samvinnu við nokkra innlenda og erlenda aðila í þessum rannsóknum (sjá ritlista). Þar má nefna Halldór G. Pétursson jarðfræðing á Náttúrufræðistofnun Íslands, Akureyrarsetri en mikið samstarf hefur verið á milli þessara aðila í rannsóknum á ummerkjum og orsakavöldum ofanflóða á Íslandi. Þá má einnig nefna Lars Harald Blikra jarðfræðing á Jarðfræðistofnun Noregs (NGU) í

Prándheimi, en hann hefur stundað slíkar rannsóknir víða í Noregi og vann við rannsóknir hér á landi árið 1996-7 og Armelle Decaulne landfræðing við Háskólann í Glermont-Ferrand, Laboratory of Physical Geography Frakklandi en hún hefur meðal annars stundað rannsóknir víða á Vestfjörðum.

Í köflunum hér að aftan er gerð grein fyrir helstu rannsóknum sem hafa verið gerðar á þessu sviði og er verið að vinna að hér á Íslandi á undanförunum 10 árum. Einnig er birtur listi yfir útgefið efni og fyrirlestra sem haldnir hafa verið (sjá viðauka 1 og 2).

5.1 Flateyri

Á Flateyri voru framkvæmdar fyrstu rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða hér á landi. Þær hófust haustið 1995 en meginhluti rannsóknarinnar var framkvæmdur eftir snjóflóðið sem féll á Flateyri í október 1995.

Yfirborðsummerki eftir snjóflóðið, þ.e. rofform og grjótdreif, voru kortlögð og mæld voru úthlaupshorn stórgrýtis og stefna langáss steina á yfirborði (mynd 12). Samfara gerð snjóflóðaleiðnigarða fyrir ofan Flateyri voru mæld upp fjölmörg jarðlagasnið í aurkeilur Skollahvilftar og Innra Bæjargils (mynd 8). Tilgangurinn með því var að skoða hvort hægt væri að greina jarðlög mynduð af framburði snjóflóða frá öðrum jarðlögum hér á landi. Einnig að skoða hvernig ásýnd jarðlaga breyttist frá frambrún aurkeilanna og upp hlíðina, þ.e. hvernig upphleðsla jarðlaga breyttist eftir því sem orkan í umhverfinu breyttist en hún er mest efst í aurkeilunum. Í þessum rannsóknum voru einnig framkvæmdar 14C-aldursgreiningar á gróðurleifum og gáfu þær vísbendingar um upphleðsluhraða aurkeilanna. Út frá þessum upplýsingum er gerð tilraun til að meta tíðni snjóflóða á svæðinu.



Mynd 12: Aurkeilurnar fyrir neðan Skollahvilft og Innra Bæjargil ofan við Flateyri. Fjölmörg jarðlagasnið voru mæld upp samfara gerð snjóflóðaleiðnigarðs ofan við þorpið. Meðal annars var mæld stefna langása steina og aldur þeirra var metinn.

Greint hefur verið frá þessum rannsóknum í nokkrum fyrirlesturum og á veggspjöldum (Blikra & Sæmundsson 1998, Þorsteinn Sæmundsson 1998, Þorsteinn Sæmundsson 2000a, 2000b, 2000c, Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson 2002, Þorsteinn Sæmundsson, Halldór G. Pétursson & Armelle Decaulne 2003, Þorsteinn Sæmundsson & Armelle Decaulne 2005).

Niðurstöður þessarar rannsóknar eru væntanlegar á næsta ári í grein í tímaritinu Jökli (Þorsteinn Sæmundsson, í handriti a).



Mynd 13: Ummerki snjóflóðsins sem féll í botni Dýrafjarðar í október 1995. Flóðið féll niður farveg Bjartalæks, yfir gil Botnsár og um 300 m upp í sunnaverða hlíð dalsins. Rauða línan táknar útlínur fljóðsins eins og Oddur Pétursson, snjóeftirlitsmaður mældi þær upp tveimur vikum eftir að flóðið féll. Deplarnir tákna grjótdreif sem flóðið bar með sér og takið eftir því hversu langt frá jaðri fljóðsins grjótdreifin endar eða um 100–150 m (Þorsteinn Sæmundsson, í handriti b).

5.2 Dýrafjörður

Í snjóflóðahrinunni í október 1995 féllu nokkur snjóflóð í botni Dýrafjarðar. Það stærsta féll í innanverðum dalnum, rétt innan við Skógrækt Dýrfirðinga. Upptök flóðsins voru í um 600 m hæð í norðanverðri hlíð dalsins. Flóðið hljóp niður farveg Bjartalæks, yfir gil Botnsár, sem er um 25 m breitt og 12 m djúpt og um 300 m vegalengd upp suðurhlíð dalsins (mynd 13).

Aðaltunga flóðsins var áætluð 450 m löng, 350 m breið og að meðaltali 0,8 m þykk. Heildar snjómagn var áætlað um 65.000 m³. Þetta snjóflóð flutti með sér ógrynni jarðefna út á úthlaupssvæði sitt, skemmdi gróður og skildi eftir sig mikil rofmerki (mynd 9B og 11A). Mest af jarðefnunum komu úr farvegi Bjartalæks en einnig tók snjóflóðið upp mikið af stórgrýti á úthlaupssvæði sínu og flutti lengra niður á láglendið. Töluvert af grjóti barst yfir gil Botnsár og yfir á syðri hlíð dalsins og einnig flutti flóðið rúnnaða steina úr farvegi árinna og kastaði upp á bakkann sunnan megin (mynd 5). Umfangsmiklar rannsóknir hafa verið gerðar á jarðfræðilegum ummerkjum þessa flóðs. Útlínur flóðsins voru kortlagðar um tveimur vikum á eftir að flóðið féll og sumarið 1996 var framkvæmd nákvæm kortlagning á setframburði flóðsins. Einnig hefur verið fylgst með breytingum á ásýnd landsins sem eiga sér stað á úthlaupssvæði þess síðastliðin 10 ár.

Niðurstöður rannsókna á þessu snjóflóði hafa birst í BS-ritgerð Grétu Bjarkar Kristjánsdóttur (1997) við Háskóla Íslands en leiðbeinendur hennar voru þeir Þorsteinn Sæmundsson og Hreggviður Norðdahl. Að auki hefur verið greint frá niðurstöðum þessara rannsókna í nokkrum fyrirlestrum og á veggspjöldum (Þorsteinn Sæmundsson 1998, Þorsteinn Sæmundsson 2000a, 2000b, 2000c, Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson 2002; Þorsteinn Sæmundsson, Halldór G. Pétursson & Armelle Decaulne 2003; Þorsteinn Sæmundsson & Armelle Decaulne 2005)

Niðurstöður þessara rannsókna munu birtast á næsta ári, í grein í tímaritinu Jökli (Þorsteinn Sæmundsson, í handriti b).

5.3 Neskaupstaður, Siglufjörður og Bolungarvík

Framkvæmdar hafa verið kannanir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða í og fyrir ofan byggð á þremur þéttbýlisstöðum, Bolungarvík, Siglufirði og Neskaupstað. Við þær athuganir voru grafnar gryfjur á þekktum og hugsanlegum úthlaupssvæðum snjóflóða. Einnig voru yfirborðsummerki skoðuð. Niðurstöður þessara kannana voru birtar í greinargerðum frá Náttúrustofu Norðurlands vestra árið 2002 (Þorsteinn Sæmundsson 2002a, 2002b, 2002c).

5.4 Fnjóskadalur og Bleiksmýrardalur

Árið 2002 hófust rannsóknir á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða á nokkrum stöðum á Norðurlandi. Valdir voru staðir þar sem vitað var um mikla snjóflóðavirkni og rask eða áhrifa mannsins voru með minnsta móti. Þeir staðir sem valdir voru eru staðsettir innarlega í Bleiksmýrardal og í syðsta hluta Fnjóskadals (mynd 6 og 7). Vitað er að mikil snjóflóðavirkni er á þessum svæðum og þar hægt að rannsaka og kortleggja óhreyfð ummerki snjóflóða. Þessar rannsóknir beinast fyrst og fremst af yfirborðsummerkjum snjóflóða, en þar sem náttúrulegar opnur eru til staðar hefur jarðlagaskipan verið könnuð. Þessar rannsóknir eru meðal annars unnar í samvinnu við Armelle Decaulne og Halldór G. Pétursson. Er gert ráð fyrir að þeim verið haldið áfram í sumar og niðurstöður birtar í grein árið 2006 eða 2007 (Þorsteinn Sæmundsson & Armelle Decaulne, í handriti).

6 HEIMILDIR

- Blikra, L.H. 1994: Postglacial colluvium in western Norway, sedimentology, geomorphology and palaeoclimatic record. Unpubl. Dr.Scient. thesis, University of Bergen, 261 pp.
- Blikra, L.H. & Aa, A.R. 1996: Skredfarekartlegging í Lærdal i samband med den nye stamveien Oslo-Bergen. NGU Rapport, 96.055, 58 pp.
- Blikra, L.H. & Nemec, W. 1998: Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology*, 45, 909-959.
- Blikra, L.H. & Selvik, S.F. 1998: Climatic signals recorded in snow avalanche-dominated colluvium in western Norway: depositional facies successions and pollen records. *The Holocene* 8, 6., 631-658.
- Blikra, L.H. & Sæmundsson, Th. 1998: The potential of sedimentology and stratigraphy in avalanche-hazard research. 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12-16 May 1998. Norwegian Geotechnical Institute. Publication Nr.203.
- Decaulne, A. & Sæmundsson, Th. 2003: Debris flow characteristics in the Gleidarhjalli area, north-western Iceland. In: Rickernmann & Chen (eds). *Debris – Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*. pp. 1107-1118. Millpress, Rotterdam.
- Gréta Björk Kristjánsdóttir 1997: Jarðfræðileg ummerki eftir snjóflóð í botni Dýrafjarðar. BS-verkefni við Jarð- og landfræðiskor. Háskóli Íslands Raunvísindadeild. 62 bls.
- Helgi Hallgrímsson 1981: Um snjóflóðadyngjur á árbökkum. *Týli*, 11 (2). Bls. 60-61.
- Hopefinger, E.J. 1983: Snow avalanche motion and related phenomena. *Annual Review Fluid Mechanics* 15, 47-76.
- McClung, D.M. & Schaerer, P.A. 1983: Determination of avalanche dynamics friction coefficients from measured speeds. *Ann. Glaciol.* 4, 170-173.
- Luckman, B.H. 1971: The role of snow avalanches in the evolution of alpine talus slopes. *Slopes - Form and Process. Spec. Publ. Inst. British Geogr.*, 3, 93-109.
- Ólafur Jónsson 1957: Skriðuföll og snjóflóð I og II. Bókaútgáfan Norðri, Akureyri, 586 og 555 bls.
- Sigurjón Rist 1973: Nýibær og Eyjafjarðardalur. *Ferðir* 32, bls. 18-32.
- Sigurjón Rist 1974: Snjóflóðahætta í Öxnadal. Orkustofnun OSV7406, 5 bls.
- Þorsteinn Sæmundsson 1997: Krapaflóðin á Bíldudal 28. janúar 1997. Veðurstofa Íslands, Greinargerð VÍ-G97028-ÚR23
- Þorsteinn Sæmundsson, Sigurður Kiernan. 1998. Krapaflóð úr Gilsbakkagili á Bíldudal, þann 14. mars 1998. Veðurstofa Íslands, Greinargerð. VÍ-G98021-ÚR17.
- Þorsteinn Sæmundsson 1998: Sedimentary transport with snow-avalanches, examples from northern and northwestern parts of Iceland. In Abstract volume, Nordic Geological Winter Meeting, Aarhus, Denmark 1998.
- Þorsteinn Sæmundsson 2000a: Sedimentary transport with snow-avalanches. Does it occur? Iceland 2000, Modern processes and Past Environments. International Conference, Keel University, April 27.-29. 2000. Abstract volume, pp 101.

- Þorsteinn Sæmundsson 2000b: Debris Transport with snow-avalanches. Does it occur? Environmental changes in Fennoscandia during the Late Quaternary, Lund, Sweden, 28.-30. May 2000. Lundqua Report 37, pp. 138.
- Þorsteinn Sæmundsson 2000c: Debris transport with snow-avalanches. LACDE 2000 International conference of LACDE (Local Authorities Confronting Disasters & Emergencies) 27.-30. August 2000, Reykjavík, Iceland. Abstract book, pp 26-27.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002a: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða á Siglufirði. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-001.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002b: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða í Bolungarvík. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-002.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002c: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða á Neskaupstað. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-003.
- Þorsteinn Sæmundsson, í handriti a: Sedimentary transport by snow avalanches, a case study from the Dýrafjörður fjord, northwestern Iceland.
- Þorsteinn Sæmundsson í handrit b: Characteristics of snow-avalanche (colluvial deposits) deposits in a colluvial fan above Flateyri, northwestern Iceland.
- Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson 2002: Triggering factors for rapid mass-movements in Iceland. In: Sigurður Sveinn Jónsson (ed.): Abstract volume: The 25th Nordic Geological Winter Meeting, Reykjavík, Iceland, January 6th – 9th 2002, pp 212. Geoscience Society of Iceland.
- Þorsteinn Sæmundsson. & Armelle Decaulne, í handriti: Characteristics of snow-avalanche deposits in the innermost part of the Fnjóskadalur and the Bleiksmýrardalur valleys, North Iceland.
- Þorsteinn Sæmundsson, Halldór G. Pétursson & Armelle Decaulne 2003: Triggering factors for rapid mass movements in Iceland. In: Rickernmann & Chen (eds). Debris – Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment.. Millpress, Rotterdam. pp. 167 -178
- Þorsteinn Sæmundsson & Armelle Decaulne 2005: Morphological impact of ground snow avalanches in Iceland. In: Samuel Etienne (ed). Shifting lands, new insights into periglacial geomorphology. pp. 98-99.
- Þórarinn Magnússon 1979: Snjór og snjóflóð. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. 42 bls.

Viðauki 1 - Útgefnar skýrslur og greinar

- Blikra, L.H. & Sæmundsson, Th. 1998: The potential of sedimentology and stratigraphy in avalanche-hazard research. 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12-16 May 1998. Norwegian Geotechnical Institute. Publication Nr.203.
- Decaulne, A. & Sæmundsson, Th. 2003: Debris flow characteristics in the Gleidarhjalli area, northwestern Iceland. In: Rickernmann & Chen (eds). Debris – Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment.. Millpress, Rotterdam. 1107-1118
- Gréta Björk Kristjánsdóttir 1997: Jarðfræðileg ummerki eftir snjóflóð í botni Dýrafjarðar. BS-verkefni við Jarð- og landfræðiskor. Háskóli Íslands Raunvísindadeild. 62 bls.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða á Siglufirði. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-001.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða í Bolungarvík. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-002.
- Þorsteinn Sæmundsson 2002: Könnun á jarðfræðilegum ummerkjum snjóflóða á Neskaupstað. Náttúrustofa Norðurlands vestra. Greinargerð NNV-2002-003.
- Þorsteinn Sæmundsson, Halldor G. Petursson & Armelle Decaulne 2003: Triggering factors for rapid mass movements in Iceland. In: Rickernmann & Chen (eds). Debris – Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Millpress, Rotterdam. 167 - 178.

Viðauki 2 - Fyrirlestrar/veggspjöld

- Þorsteinn Sæmundsson 1998: Sedimentary transport with snow-avalanches, examples from northern and northwestern parts of Iceland. Nordic Geological Winter Meeting, Aarhus, Danmark 1998.
- Þorsteinn Sæmundsson 2000a: Sedimentary transport with snow-avalanches. Does it occur? Iceland 2000, Modern processes and Past Environments. International Conference, Keele University, April 27.-29. 2000.
- Þorsteinn Sæmundsson 2000b: Debris Transport with snow-avalanches. Does it occur? Environmental changes in Fennoscandia during the Late Quaternary, Lund, Sweden, 28.-30. May 2000.
- Þorsteinn Sæmundsson 2000c: Debris transport with snow-avalanches. LACDE 2000 International conference of LACDE (Local Authorities Confronting Disasters & Emergencies) 27.-30. August 2000, Reykjavík, Iceland.
- Þorsteinn Sæmundsson & Halldór G. Pétursson 2002: Triggering factors for rapid mass-movements in Iceland. The 25th Nordic Geological Winter Meeting, Reykjavík, Iceland, January 6th – 9th 2002
- Þorsteinn Sæmundsson, Halldór G. Pétursson & Armelle Decaulne 2003: Triggering factors for rapid mass movements in Iceland. The third international conference on debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction and assessment. Davos, Switzerland, September 10-12, 2003.
- Armelle Decaulne & Þorsteinn Sæmundsson 2003: Debris flow characteristic in the Gleiðarhjalli area, north-western Iceland. The third international conference on debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction and assessment. Davos, Switzerland, September 10-12, 2003.
- Þorsteinn Sæmundsson & Armelle Decaulne 2005: Morphological impact of ground snow avalanches in Iceland. The second SEDIFLUX meeting: Shifting lands, new insights into periglacial geomorphology. Clermont-Ferrand, France, 20-22. January 2005.
- Armelle Decaulne & Þorsteinn Sæmundsson 2005: Slush flows in North-western Iceland and their geomorphological impact – the case study of Bíldudalur . The second SEDIFLUX meeting: Shifting lands, new insights into periglacial geomorphology. Clermont-Ferrand, France, 20-22. January 2005.