

Áhættumat

Virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells



Landsvirkjun



ÁHÆTTUMAT

Virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells

Maí 2008

Skýrsla LV nr: LV-2008/057

Dags: 2008-05-30

Fjöldi síðna: 83+viðaukar Upplag: 50 Dreifing: Opin Takmörkuð til

Titill: ÁHÆTTUMAT. Virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells

Höfundar /
fyrirtæki: Dóra Hjálmarsdóttir/VST, Hörn Hrafnisdóttir/VST, Kristín Martha Hákonardóttir/VST, Ólöf Rós Káradóttir/VST fyrir VST-VGK/Hönnun-Rafrækningu

Verkefnisstjóri: Guðlaugur V. Þórarinsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: --

Útdráttur: Fyrirhuguðum mannvirkjum við neðanverða Þjórsá og hönnunarforsendum þeirra er lýst. Gerð er grein fyrir þeirri vá sem til staðar er á svæðinu, náttúruvá svo sem jarðskjálftum, eldgosum og jökulhlaupum, bilunum og manngerðri vá. Greind eru áhrif á mannvirki og afleiðingar mögulegs tjóns. Kortlögð er útbreiðsla flóða vegna stíflurofs. Gerð er grein fyrir mun á fyrirvaralausum flóðum eins og snjóflóðum, vatnsflóðum á láglandi og flóðum vegna náttúruhamfara. Metin er staðaráhætta vegna skemmda á fyrirhuguðum mannvirkjum og afleiðingum þeirra. Helstu niðurstöður eru þær að staðaráhætta á svæðinu sé innan þeirra marka sem gerðar eru kröfur um í reglugerð nr. 505/2000.

Lykilorð: Áhættumat, stíflur, flóð, stíflurof, náttúruhamfarir, staðaráhætta.

Risk assessment, dams, floods, dambreak, natural disaster, individual risk.

ISBN nr:

ISSN nr:

Undirskrift verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Ceustaugur Þórarinnsson



ÁHÆTTUMAT

VIRKJANIR Í ÞJÓRSÁ NEÐAN BÚRFELLS

Maí 2008

Samantekt

Um nokkurra ára skeið hefur Landsvirkjun unnið að undirbúningi nýrra virkjana í Þjórsá neðan Búrfells. Fyrirhugað er að reisa þar þrjár virkjanir til að nýta fallið í ánni. Efsta virkjunin er nefnd Hvammsvirkjun, síðan kemur Holtavirkjun og neðsta virkjunin er nefnd Urriðafossvirkjun. Mati á umhverfisáhrifum lauk með úrskurði umhverfisráðherra 27. Apríl 2004 þar sem fallist var á fyrirhugaðar framkvæmdir með nokkrum skilyrðum. Varðandi áhættumat var eftirfarandi skilyrði fyrir allar fyrirhugaðar virkjanir í Þjórsá:

...4. Samhliða hönnun mannvirkjana, skal framkvæmdaraðili láta gera áhættumat fyrir virkjunina þar sem sýnt verði fram á að árleg staðaráhætta fólks á svæðinu eftir byggingu mannvirkjana verði ekki meiri en talið er ásættanlegt vegna ofanflóðahættu.“

Undirbúningur og hönnun virkjananna þriggja er í dag í höndum verkfræðistofanna VST hf., VGK-Hönnunar hf. og Rafteikning hf. Áhættumat þetta sem VST hf. hefur gert er hluti af þeirri vinnu. Í þessari skýrslu er farið yfir forsendur og aðferðafræði sem liggur að baki matinu og niðurstöður þess birtar.

Áhætta í lífi einstaklings skapast af mjög fjölpættum orsökum, m.a. af búsetu, lifnaðarháttum og erfðum. Áhætta er mælikvarði á afleiðingar þeirrar hættu sem að fólki steðjar við ákveðnar aðstæður eða atburði og hversu líklegt sé að sá atburður gerist. Áhætta vegna búsetu á ákveðnu svæði getur skapast af hættu af völdum náttúruvár svo sem jarðskjálfta, eldgosa og náttúrulegra flóða og hættu af manna völdum, svo sem umferðar, mengunar og váverka. Hugtakið staðaráhætta er skilgreint í reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats:

„2. gr. Skilgreiningar.

Í reglugerð þessari er merking eftirtalinna orða og orðasambanda sem hér segir:...

Staðaráhætta: Árlegar dánarlíkur einstaklings af völdum ofanflóða ef dvalið er öllum stundum í óstyrktu einbýlishús.

...Ofanflóð: Snjóflóð, skriðufall, berghlaup eða grjóthrun.

...Óstyrkt hús: Hús sem ekki hefur verið styrkt sérstaklega vegna álags frá hugsanlegu ofanflóði.“ (Umhverfisráðuneytið, 2000)

Í samræmi við kröfur ráðherra er staðaráhætta fólks vegna flóða af völdum nýrra mannvirkja á fyrirhuguðu virkjunarsvæði metin og borin saman við viðmiðunarmörk ásættanlegrar staðaráhættu vegna ofanflóða. Umfjöllunin takmarkast við áhættu vegna flóða og ekki er lagt mat á staðaráhættu af öðrum orsökum s.s. vegna jarðskjálfta.

Við ákvörðun á mörkum ásættanlegrar staðaráhættu vegna ofanflóða er ekki gert ráð fyrir að fólk hafi tíma til þess að bregðast við flóði með því að rýma hættusvæði, þar sem ofanflóð eins og snjóflóð falla án viðvörunar á stuttum tíma, oft á nokkrum sekúndum. Flóð vegna stíflurofs á láglandi hefur aftur á móti lengri aðdraganda, oft talinn í klukkustundum eða jafnvel sólarhringum. Þó má telja eðlilegt að ekki séu gerðar minni kröfur til ásættanlegrar staðaráhættu vegna flóða af völdum stíflurofs þar sem um manngerða vá er að ræða, sem kallar á strangari öryggiskröfur.

Flóð á láglandi af völdum úrkomu eða leysinga eða hamfararflóð eins og jökulhlaup falla aftur á móti illa að viðmiðunarmörkum um ásættanlega staðaráhættu samkvæmt reglugerðinni, vegna

langs aðdraganda og þar með mögulegrar rýmingar fólks af hættusvæði. Ennfremur miðast öryggiskröfur vegna ofanflóða eingöngu við fólk inni í húsum en ekki er tekið tillit til fólks utandyra, sem stafar meiri hættu af flóðum. Þó ber að hafa í huga að flóð vegna stíflurofs á láglendi stækka í flestum tilvikum það hægt að fólk utandyra ætti að hafa tækifæri til að komast undan því út af flóðasvæði eða inn í hús.

Í áhættumatinu eru greindar og fjallað um þær hættur sem að mannvirkjum kunna að steðja og afleiðingar þess tjóns sem á þeim kann að verða. Til grundvallar þeirri umfjöllun eru m.a. lagðar rannsóknir helstu hérlendra jarðvísindamanna. Stíflur og mannvirki eru hönnuð til að standast mikla áraun, þar með talið mun stærri flóð en nokkurn tíma hafa mælst á svæðinu og stærstu jarðskjálfta sem taldir eru raunhæfir.

Flóð vegna stíflurofs er atburður sem einna helst kann að valda aukinni hættu á svæðinu. Jarðskjálftar eru taldir líklegasta orsök slíkra flóða og þessi atburður hefur því mest áhrif á staðaráhættuna, en einnig eru váverk og bilanir möguleg orsök slíkra atburða. Rennsli í flóðum vegna stíflurofs meginstíflna Urriðafoss-, Holta- eða Hvammsvirkjunar, í farvegi Þjórsár yrði af svipaðri stærðargráðu og stærstu leysinga- og úrkomuflóð sem hingað til hafa mælst í ánni, nema alveg upp við stífluna sem rofnaði þar sem flóðið brýst fram. Flóðvatnið myndi því að mestu haldast í farvegi árinna. Í flóðum vegna stíflurofs myndi flæða að tveimur byggðum bóllum; Sauðholt II í Ásahreppi, sem stendur á aurum árinna, myndi blotna við flóð vegna rofs Urriðafossstíflu og sumarbústaður við Minni Núp í Skeiða- og Gnúpverjahreppi, sem stendur þétt við árbakkann um 1 km neðan Hvammsstíflu, myndi að öllum líkindum berast brott með flóði vegna rofs flóðvars Hvammsstíflu. Staðaráhætta fyrir Sauðholt II og sumarbústað við Minni Núp er þó innan viðmiðunarmarka í ofangreindri reglugerð þar sem líkur á þeim atburðum sem valda stíflurofi eru mjög litlar. Dæluhús hitaveituborholu í landi Kaldárhólts yrði umflotið í flóðum af völdum stíflurofs Árnes- og Hvammsstífla. Flóð vegna rofs á stíflugörðum meðfram lónunum veldur tiltölulega litlum flóðum sem breiðast yfir takmarkað svæði sem er óbyggt og í flestum tilvikum óræktað, s.s. eyjan Árnes og landsvæði efst í Flóahreppi. Þó myndi flæða upp á tún í landi Skálmholts og Skálmholtshrauns við rof á garði við Heiðarlón og verði ekki byggður garður austan við Heiðarlón myndu tún blotna við Herraðarhól við rof Árnesstíflu og við flóðvarsrof í Hvammsstíflu.

Í undirbúningi fyrirhugaðra framkvæmda og í rekstri verður unnið að forvörnum á svæðinu svo sem merkingum og girðingum og mun Landsvirkjun vinna viðbragðsáætlun vegna hugsanlegs stíflurofs, sem unnin verður í samvinnu við Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra.

Sú áhætta sem íbúar á Þjórsásvæðinu búa við í dag vegna stórra flóða af svæðinu ofan Búrfells helst óbreytt þrátt fyrir tilkomu nýrra virkjana í Þjórsá. Nýjar virkjanir í Þjórsá hafa hvorki áhrif á stærð né útbreiðslu slíkra flóða. Aðdragandi flóðanna mælist í klukkustundum og jafnvel sólarhringum. Mörk staðaráhættu vegna slíkra flóða hafa ekki verið skilgreind og telja má óeðlilegt að setja sömu viðmiðunarmörk um ásættanlega staðaráhættu vegna slíkra flóða eins og fjallað hefur verið um hér að ofan.

Niðurstaða áhættumatsins er sú að árleg staðaráhætta vegna flóða á svæðinu eftir tilkomu fyrirhugaðra mannvirkja verði innan þeirra marka sem talin eru ásættanleg vegna ofanflóðahættu, samkvæmt þeim viðmiðunarmörkum sem sett eru í reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats.

Við gerð áhættumatsins var aflað upplýsinga um náttúruvá úr skýrslum og rannsóknum íslenskra vísindamanna auk þess sem margir þeirra veittu aðgang að óbirtu efni um rannsóknir sínar. Skýrsluhöfundar vilja þakka öllum sem aðstoðuðu við þá upplýsingaöflun, sérstaklega Páli Einarssyni, Jónasi Þór Snæbjörnssyni, Ragnari Sigbjörnssyni, Magnúsi Tuma Guðmundssyni, Guðrúnu Larsen, Tómasi Jóhannessyni, Snorra Páli Snorrasyni og Oddi Sigurðssyni.

Þann 29. maí 2008 þegar unnið var að lokafrágangi þessarar skýrslu urðu stórir jarðskjálftar á Suðurlandi með upptök við Ingólfsfjall. Í kaflanum um jarðvá er því ekki fjallað um þessa skjálfta enda eiga vísindamenn eftir að rannsaka þá og áhrif þeirra nánar. Jarðskjálftarnir eru taldir framhald Suðurlandsskjálftanna árið 2000 og eru í samræmi við spár vísindamanna sem vitnað er til í þessari skýrslu um að næsti skjálfti á eftir Suðurlandsskjálftunum árið 2000 ætti líklegast upptök sín annað hvort á þeim slóðum sem skjálftarnir urðu, eða austast á skjálftabeltinu. Næsti stóri jarðskjálfti á eftir þessum mun líklegast eiga upptök sín austast á Suðurlandsskjálftabeltinu. (Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal 30. maí 2008). Jarðskjálftarnir 29. maí 2008 hafa ekki áhrif á megin niðurstöður þessa áhættumats.

Heimildir

Umhverfisstjórnuneytið, 2000. *Reglugerð nr. 505/2000. Reglugerð um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðamats 505/2000*. 6.júlí.

Munnleg heimild

Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal 30. maí 2008.

Efnisyfirlit

Samantekt	i
Efnisyfirlit	v
Yfirlit yfir myndir	vii
Yfirlit yfir töflur	viii
1 Inngangur	1
2 Virkjanafyrirkomulag og mannvirki	3
2.1 Hvammsvirkjun	4
2.1.1 Yfirlit	4
2.1.2 Stífla	4
2.1.3 Flóðvirki	5
2.1.4 Fiskvegur og lágmarksrennsli	5
2.1.5 Stöðvarinntak og þrýstipípur	5
2.1.6 Stöðvarhús, aðkomu- og sveifflugöng	5
2.1.7 Frárennslisgöng og skurður	5
2.2 Holtavirkjun	6
2.2.1 Yfirlit	6
2.2.2 Veituvirki við Búðafoss	6
2.2.3 Fiskvegur og lágmarksrennsli	6
2.2.4 Stífla	7
2.2.5 Flóðvirki	7
2.2.6 Stöðvarinntak	7
2.2.7 Stöðvarhús	7
2.2.8 Frárennslisskurður	7
2.3 Urriðafossvirkjun	8
2.3.1 Yfirlit	8
2.3.2 Stífla og stíflugarður	8
2.3.3 Flóðvirki	9
2.3.4 Stöðvarinntak og þrýstigöng	9
2.3.5 Fiskvegur, seiðafleyting og sírennsli	9
2.3.6 Stöðvarhús, aðkomu- og sveifflugöng	10
2.3.7 Frárennslisgöng	10
2.4 Stjórnun og vöktun virkjana	10
2.5 Heimildir	11
3 Hættur fyrir tilkomu nýrra mannvirkja	12
3.1 Jarðvá	12
3.1.1 Yfirlit	12
3.1.2 Jarðfræði	13
3.1.3 Jarðskjálftar	14
3.1.4 Eldgos	20
3.1.5 Jökulhlaup	22
3.2 Ísalög	27
3.2.1 Aðstæður fyrir tíma virkjana á Þjórsársvæðinu	27
3.2.2 Breytingar eftir virkjanir í Efri Þjórsá og Tungnaá	29
3.3 Flóð / hlaup	30
3.3.1 Úrkomu- og bráðnunarflóð	30
3.3.2 Flóð vegna ísalaga í ánni	32

3.3.3	Hlaup tengd eldsumbrotum utan jökla.....	33
3.3.4	Jökulhlaup	33
3.3.5	Flóð vegna rofs núverandi stíflna ofan Búrfells	34
3.3.6	Rennslisbreytingar vegna rekstrar aflstöðva.....	34
3.3.7	Flóð vegna bilana	35
3.3.8	Flóð vegna mistaka.....	35
3.3.9	Flóð vegna váverka.....	37
3.4	Niðurstöður.....	37
3.5	Heimildir.....	40
4	Hönnunarforsendur mannvirkja.....	44
4.1	Jarðskjálftahröðun og sprunguhreyfingar	44
4.2	Flóð.....	46
4.3	Heimildir.....	47
5	Áhrif nýrra mannvirkja	48
5.1	Jarðvá.....	48
5.2	Ísalög	48
5.3	Flóð / hlaup.....	48
5.3.1	Flóð vegna bilana	49
5.3.2	Flóð vegna mistaka.....	49
5.3.3	Flóð vegna váverka.....	49
5.4	Niðurstöður.....	50
6	Flóð vegna rofs á mannvirkjum.....	52
6.1	Hvammsvirkjun	53
6.2	Holtavirkjun.....	58
6.3	Urriðafossvirkjun.....	63
6.4	Flóðalíkön.....	68
6.5	Niðurstöður.....	70
6.6	Heimildir.....	70
7	Áhættumat.....	71
7.1	Aðferðir	71
7.1.1	Reglugerð nr. 505/2000.....	71
7.1.2	Mat á áhættu fólks	72
7.2	Líkur á stíflurofi.....	73
7.2.1	Jarðskjálftar og sprungur	74
7.2.2	Mistök.....	75
7.2.3	Váverk	75
7.2.4	Niðurstöður.....	76
7.3	Mat á áhættu	76
7.3.1	Áhætta við núverandi aðstæður	76
7.3.2	Áhætta eftir tilkomu nýrra mannvirkja.....	77
7.3.3	Forsendur og óvissa í mati.....	78
7.4	Viðbrögð og viðbúnaður.....	79
7.5	Heimildir.....	80
8	Niðurstöður.....	81
Viðaukar.....		83
	Viðauki 1 – Skilgreiningar	
	Viðauki 2 – Helstu kennistærðir virkjana og stíflumannvirkja	

- Viðauki 3 – Sprungukort
- Viðauki 4 – Áhrif mannvirkja á flóð
- Viðauki 5 – Kennistærðir flóða vegna stíflurofs
- Viðauki 6 – Áhætta fólks vegna stíflurofs
- Viðauki 7 – Önnur áhrif stíflurofs
- Viðauki 8 – Varnaraðgerðir
- Viðauki 9 – Þjórsárbrýr

Yfirlit yfir myndir

Mynd 2.1.1 Yfirlitsmynd yfir fyrirhugaðar virktanir í Þjórsá neðan Búrfells.....	3
Mynd 2.1.1. Yfirlitsmynd, Hvammsvirkjun.....	4
Mynd 2.2.1. Yfirlitsmynd, Holtavirkjun.....	6
Mynd 2.3.1. Yfirlitsmynd, Urriðafossvirkjun.....	8
Mynd 2.4.1 Virktanir Landsvirkjunar (mynd frá Landsvirkjun).....	10
Mynd 2.4.2 Úr stjórnstöð Landsnets (mynd frá Landsneti).....	11
Mynd 3.1.1 Suðurlandsbrotabeltið. Mynd af vef VÍ (www.vedur.is).....	12
Mynd 3.1.2: Jarðfræðikort Náttúrufræðistofnunar Íslands (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Á kortið eru merkt virkjanasvæði í Neðri-Þjórsá. Kortið sýnir yfirborðsjarðfræði svæðisins.....	14
Mynd 3.1.3 Jarðskjálftar á Suðurlandsbrotabeltinu síðan um 1700. Jarðskjálftarnir raða sér samsíða og eiga sér stað með hægri handar misgengishreyfingu á NS sprungum. Strikin sýna lengd misgengjanna og hringir tákna jarðskjálftamiðju (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006a).....	15
Mynd 3.1.4 Stærð jarðskjálfta (M) í Suðurlandsskjálftahrinum frá 1700 (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006b).....	16
Mynd 3.1.5 Megin sprungur/misgengi (Ragnar Stefánsson o.fl, 2006a; Páll Einarsson, 2008) og yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) á Suðurlandsbrotabeltinu.....	17
Mynd 3.1.6 Virkjanamannvirki, yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) og yfirborðssprungur (Páll Einarsson, 2008; ÍSOR, 2006) við Neðri-Þjórsá.....	17
Mynd 3.1.7 Gjóskumagn í Heklugosum á sögulegum tíma (Guðrún Larsen o.fl., 1999).....	21
Mynd 3.1.8 Veidi vatnasprungubeltið. B: Bárðarbunga, K: Katla, T: Torfajökull, KL: Klofnafell, H: Hekla og Ó: Öræfajökull (Guðrún Larsen, 1984).....	22
Mynd 3.1.9 Jökullón á Íslandi á síðustu öld og stefna jökulhlaupa úr lónunum (Helgi Björnsson, 1992).....	22
Mynd 3.1.10 Staðsetning eldstöðva og vatna tengdra jarðhita undir jökli og leið jökulhlaupa frá þeim á sögulegum tíma (Helgi Björnsson, 1992).....	23
Mynd 3.1.11 Eldstöðvakerfi sem framleitt hafa gjóskulög sem fundist hafa á Vatnajökli (Guðrún Larsen o. fl. 1998). B: Bárðarbunga, G: Grímsvötn, K: Katla.....	24
Mynd 3.1.12 Jarðfræðikort Náttúrufræðistofnunar Íslands, bleikur litur táknar nútímahraun (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Hofsjökull og Tungnafellsjökull. Breidd Hofsjökuls öskjunnar er um 8 – 10 km.....	25
Mynd 3.1.13 Vesturhluti Vatnajökuls og vatnasvið í jöklinum fyrir Gjálpargos eru samkvæmt korti Raunvísindastofnunar og Landsvirkjunar (Magnús T. Guðmundsson, 2004). Skyggð svæði sýna gróflega vatnasvið Köldukvíslar og Tungnaár.....	26
Mynd 3.2.1 Ágangur á vegi milli Villingaholts og Egilsstaða í mars 1997.....	28
Mynd 3.3.1 Stærstu mældu árlegu flóðtoppar við Urriðafoss og mat á náttúrulegum toppum án áhrifa mannvirkja.....	31

Mynd 3.3.2 Þjórsá við Urriðafoss. Tíðnigreining náttúrulegra flóða, þ.e. flóða án áhrifa nokkurra mannvirkja á vatnasviði Þjórsár.	32
Mynd 4.1.1 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Hvammsvirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	45
Mynd 4.1.2 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Holtavirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	45
Mynd 4.1.3 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Urriðafossvirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	46
Mynd 6.1.1 Útbreiðsla flóða í kjölfar flóðvarsrofs Hvammsstíflu eftir tilkomu Holta- og Urriðafossvirkjunar með garði við HERRÍÐARHÓL. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.	55
Mynd 6.1.2 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæðum 1-4.	56
Mynd 6.1.3 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 5-7.	57
Mynd 6.1.4 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á þrýstipípunum stöðvarhúss megin við landmótunina.	58
Mynd 6.2.1 Mannvirki við Búða. Árneslón um 2 m yfir rekstrarvatnsborði.	59
Mynd 6.2.2 Flóðaútbreiðsla í kjölfar stíflurofs Árnesstíflu eftir tilkomu Urriðafossvirkjunar og með garði við HERRÍÐARHÓL. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.	60
Mynd 6.2.3 Hæðarlínur á bilinu 55 – 71 m y.s. á svæðinu meðfram stíflugarðinum við Árnes og skipting garðsins í rofsvæði 1-4.	61
Mynd 6.2.4 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 1.	62
Mynd 6.2.5 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 2.	62
Mynd 6.2.6 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 3.	63
Mynd 6.3.1 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á Urriðafossstíflu. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.	64
Mynd 6.3.2 Mesta rennsli í flóðum frá ósum Þjórsár að Kálfhóli. Flóðtoppur í desember 2006 við Þjórsártún og notmarkaflóð við Urriðafoss eru höfð með til samanburðar sem og staðsetning bæja eftir lengd árinna.	65
Mynd 6.3.3 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði eitt.	66
Mynd 6.3.4 Útbreiðsla vatns ofan við og við svæði þrjú í kjölfar rofs á garði á svæði tvö.	67
Mynd 6.3.5 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 3, 4, 5 og 6.	68

Yfirlit yfir töflur

Tafla 3.2.1 Dagsetningar og upplýsingar úr ísaathugunum í flugferðum. Opinn vatnsflötur þegar áin er auð er um 38 km ²	29
Tafla 3.4.1 Hættur, tíðni þeirra og áhrif á mannvirki ofan Búrfells, rekstur íbúa og umhverfi.	39
Tafla 4.1.1 Lárétt hámarksyfirborðshröðun, PGA (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	44
Tafla 4.1.2 Lóðrétt hámarksyfirborðshröðun, PGA (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	44
Tafla 4.2.1 Hönnunarflóð nýrra mannvirkja í Þjórsá.	46
Tafla 5.4.1 Hættur í neðri hluta Þjórsár eftir tilkomu nýrra virkjana, tíðni þeirra og áhrif á ný mannvirki.	51
Tafla 6.1.1 Vatnsborð við flóðvarsrof Hvammsstíflu á viðmiðunarstöðum.	56
Tafla 6.2.1 Vatnsborð við rof Árnesstíflu á viðmiðunarstöðum.	61
Tafla 6.3.1 Vatnsborð við rof Urriðafossstíflu á viðmiðunarstöðum.	65
Tafla 6.3.2 Lengd skarðs í garði á svæðum 3-7, mesta rennsli og rennsli eftir 1 sólarhring án breytinga í rennsli Þjórsár og stillinga á lokum.	67

Tafla 7.2.1. Hættur í neðri hluta Þjórsár eftir tilkomu nýrra virkjana, tíðni þeirra og hugsanleg áhrif á ný mannvirki.	73
Tafla 7.2.2. Töluleg framsetning á huglægu líkindamati.	73
Tafla 7.2.3. Árlegar líkur á sprunguhreyfingu af ákveðinni stærð. Unnið upp úr skýrslu Rannsóknamiðstöðvar Háskóla Íslands (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).	74
Tafla 7.2.4. Matstilvik.	75
Tafla 7.2.5. Árlegar líkur á stíflurofi nýrra mannvirkja við Þjórsá.	76
Tafla 7.3.1 Hættur við núverandi aðstæður og tíðni þeirra.	77
Tafla 7.3.2 Staðaráhætta vegna nýrra mannvirkja við Þjórsá. Mörk ásættanlegrar staðaráhættu miðast við reglugerð nr. 505/2000.	77
Tafla 7.3.3 Staðaráhætta í húsum á mögulegum byggingarsvæðum. Mörk ásættanlegrar staðaráhættu miðast við reglugerð nr. 505/2000.	78

1 Inngangur

Um nokkurra ára skeið hefur Landsvirkjunun unnið að undirbúningi nýrra virkjana í Þjórsá neðan Búrfells. Fyrirhugað er að reisa þar þrjár virkjanir til að nýta fallið í ánni. Efst virkjunin er nefnd Hvammsvirkjun, síðan kemur Holtavirkjun og neðsta virkjunin er nefnd Urriðafossvirkjun. Mati á umhverfisáhrifum lauk með úrskurði umhverfisráðherra 27. Apríl 2004 þar sem fallist var á fyrirhugaðar framkvæmdir með nokkrum skilyrðum. Varðandi áhættumat var eftirfarandi skilyrði fyrir allar fyrirhugaðar virkjanir í Þjórsá:

...4. Samhliða hönnun mannvirkjana, skal framkvæmdaraðili láta gera áhættumat fyrir virkjunina þar sem sýnt verði fram á að árleg staðaráhætta fólks á svæðinu eftir byggingu mannvirkjana verði ekki meiri en talið er ásættanlegt vegna ofanflóðahættu.“

Undirbúningur og hönnun virkjananna þriggja er í höndum verkfræðistofanna VST hf., VGK-Hönnunar hf og Rafteikningar hf. Áhættumat sem VST hf. gerði er hluti af þeirri vinnu. Í þessari skýrslu er farið yfir forsendur og aðferðafræði sem liggur að baki matinu og niðurstöður þess birtar.

Hugtakið staðaráhætta, er skilgreint í reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats,

„2. gr. Skilgreiningar.

Í reglugerð þessari er merking eftirtalinna orða og orðasambanda sem hér segir:...

Ofanflóð: Snjóflóð, skriðufall, berghlaup eða grjóthrun.

Óstyrkt hús: Hús sem ekki hefur verið styrkt sérstaklega vegna álags frá hugsanlegu ofanflóði. (Umhverfisráðuneytið, 2000)

Staðaráhætta: Árlegar dánarlíkur einstaklings af völdum ofanflóða ef dvalið er öllum stundum í óstyrktu einbýlishúsi.“

Í reglugerðinni eru einnig sett mörk fyrir ásættanlega staðaráhættu vegna ofanflóða.

Í áhættumatinu er skilgreining staðaráhættu vikkuð þ.e. að í stað ofanflóða, eru teknir með þeir atburðir sem valdið geta flóðum og þar með hættu fyrir fólk sem dvelur í hýbýlum sínum.

Í eftirfarandi köflum kemur fram mat á staðaráhættu vegna flóða af völdum fyrirhugaðra mannvirkja við Þjórsá, aðstæðum er lýst á fyrirhuguðu byggingar- og rekstrarsvæði mannvirkjana og því álagi sem mannvirkjunum er ætlað að þola. Matið er unnið samhliða hönnun, af hönnuðum og er eðlilegur þáttur hönnunarferlisins. Það byggist á tilteknum rannsóknum og þekkingu á svæðinu sem aflað hefur verið, sér í lagi á undanföllum árum af helstu sérfræðingum landsins á sviði jarðvísinda, vatnafræði og verkfræði. Að áhættumatinu koma m.a. sérfræðingar í áhættugreiningu, hönnun virkjana og straumfræði.

Í kafla 2 í skýrslunni er lýsing á fyrirhuguðum mannvirkjum. Í kafla 3 er þeirri náttúruvá lýst, sem fyrir hendi er á svæðinu og steðjað getur að fyrirhuguðum mannvirkjum og mannvirkjum ofan Búrfells og valdið getur hættu vegna flóða við neðanverða Þjórsá. Fjallað er um jarðskjálfta, eldgos, flóð og ísalög, auk annars konar vár svo sem vegna bilana, mistaka og váverka. Hönnunarforsendum fyrirhugaðra virkjanamannvirkja er lýst í kafla 4. Í kafla 5 er gerð grein fyrir áhrifum fyrirhugaðra mannvirkja á afleiðingar fyrrgreindra hættatburða og í kafla 6 er gerð grein fyrir þeirri hættu sem skapast kann af mannvirkjunum vegna flóða af völdum stíflurofs. Mat á áhættu einstaklinga á svæðinu við neðanverða Þjórsá er loks sett fram í kafla 7 og hún borin saman við þau viðmiðunarmörk sem sett eru fram í reglugerð nr. 505/2000. Einnig

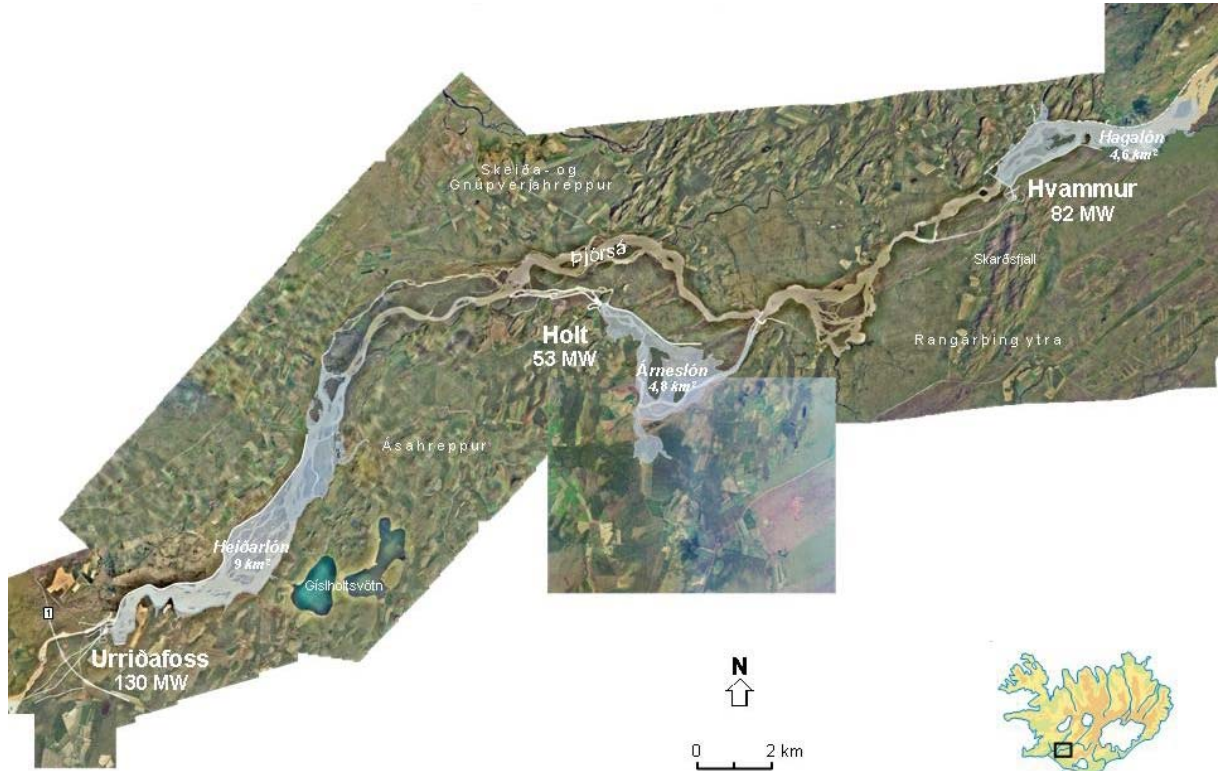
er stuttlega fjallað um þann eðlismun sem er annars vegar á skyndilegum flóðum, s.s. snjóflóðum sem reglugerðin tekur til og flóðum með langan aðdraganda eins og jökulhlaupum og hins vegar um mun á náttúrulegum flóðum, s.s. snjóflóðum og flóðum af völdum manngerðrar hættu, s.s. stíflurofsflóðum. Í kafla 8 eru niðurstöður dregnar saman. Heimildaskrá fylgir hverjum kafla og í viðaukum er gerð nánari grein fyrir ýmsum þáttum sem fjallað er um í skýrslunni.

Heimild

Umhverfísráðuneytið, 2000. *Reglugerð nr. 505/2000. Reglugerð um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðamats 505/2000.* 6. júlí.

2 Virkjanafyrirkomulag og mannvirki

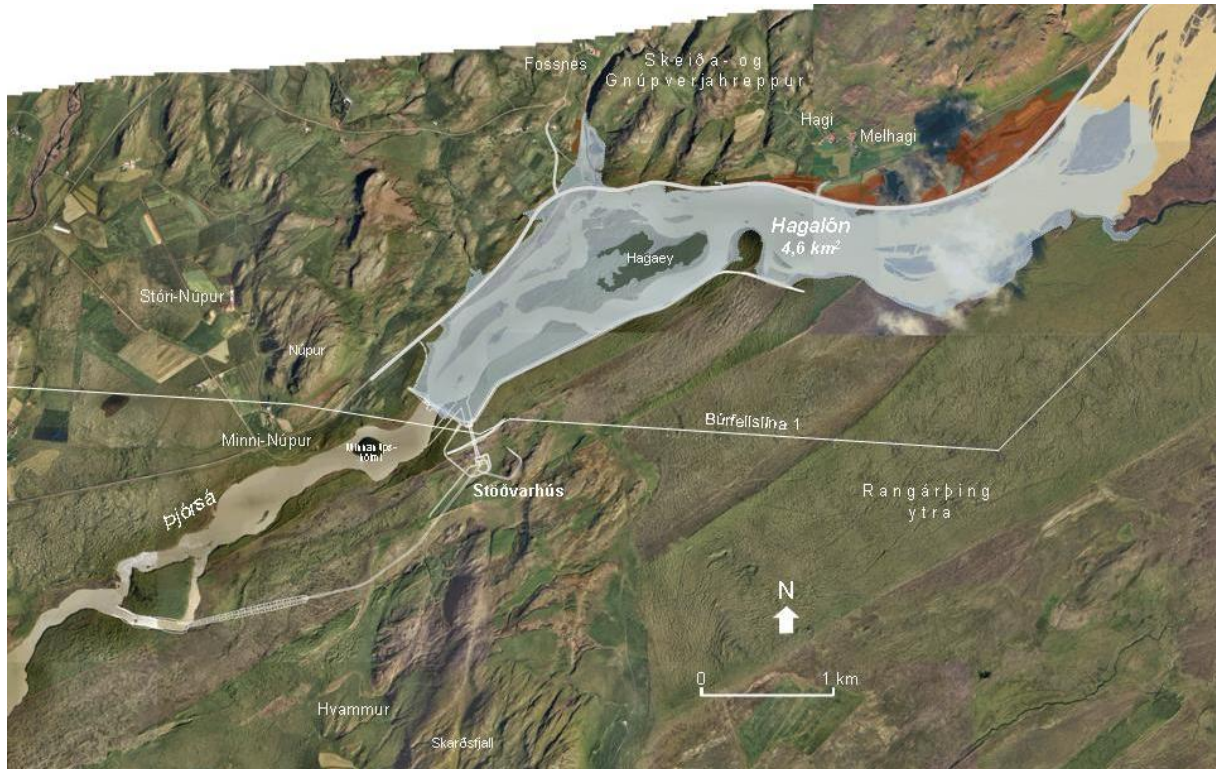
Fyrirhugaðar nýjar virkjanir í Þjórsá eru þrjár. Þær hafa verið nefndar: Hvammsvirkjun, Holtavirkjun og Urriðafossvirkjun, talið frá Búrfelli og niður eftir ánni. Mynd 2.1.1 sýnir staðsetningu þeirra og í töflum í Viðauka 1 er yfirlit yfir helstu kennistærðir virkjananna.



Mynd 2.1.1 Yfirlitsmynd yfir fyrirhugaðar virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells.

Í þessum kafla er fyrirhuguðum virkjunum í Þjórsá neðan Búrfells lýst í samræmi við lýsingu verkáætlunar (Almenna Verkfræðistofan hf. o.fl., 2006a; 2006b; Sweco 2006) ásamt áorðnum breytingum. Í eftirfarandi köflum er hverri virkjun um sig lýst (Kafli 2.1, 2.2, 2.3). Í lokin er fjallað um stjórnun og vöktun virkjana í Kafla 2.4.

2.1 Hvammsvirkjun



Mynd 2.1.1. Yfirlitsmynd, Hvammsvirkjun.

2.1.1 Yfirlit

Hvammsvirkjun er sýnd á Mynd 2.1.1. Hún mun nýta efsta hluta fallsins í Neðri-Þjórsá frá þrengingu í ánni skammt ofan við Viðey þar sem áin er að jafnaði í um 105 m y.s. niður fyrir Ölmóðsey þar sem hún er í um 84 m y.s. Með því að stífla ána ofan við Viðey og mynda þar inntakslón með venjulegt rekstrarvatnsborð í 116 m hæð y.s. fæst um 32 metra virkjanlegt fall. Meðalrennsli árinna þar hefur mælst rúmlega 330 m³/s en virkjað rennsli er ráðgert 310 m³/s og uppsett afl 82 MW.

Frá lóninu verður vatninu veitt um tvær 6,3 m víðar og 270 m langar þrýstípípur að tveimur Kaplan hverflum í stöðvarhúsinu. Stöðvarhúsið verður að miklu leyti niðurgrafið. Frá stöðvarhúsinu er vatni veitt um 1,8 km löng göng og 1 km langan skurð yfir í farveg Þjórsár neðan við Ölmóðsey.

2.1.2 Stífla

Flatarmál lónsins (Hagalóns) verður um 4,6 km² og rúmmál þess um 15,5 milljón m³. Lónið verður rekið með sem næst stöðugu vatnsborði í 116 m y.s. Í farvegi Þjórsár verður steipt flóðgátt með lokum. Báðum megin við flóðgáttina verða jarðstíflur. Austan við farveginn nær stíflan að inntaksmannvirkjum virkjunarinnar. Stíflan verður að mestu hefðbundin jarðstífla með þéttikjarna úr fokmold, malarsíum, stoðfyllingu úr mól og ölduvörn úr sprengdu grjóti. Stíflan verður hæst um 16 m, með 6 m breiðri stíflukrónu í 121 m y.s. Á milli inntaks og steiptu stíflunnar verður flóðvar í stíflunni sem verður byggt upp úr jarðefnum með krónu í 120 m y.s. Flóðvarsfarið verður notað fyrir framhjärennslu á byggingartíma. Norðaustan við inntakið mun liggja nokkurra metra hár stíflugarður 3,5 km upp með Þjórsá.

2.1.3 Flóðvirki

Flóðgáttir verða eins og að ofan segir í farvegi Þjórsár. Eftir að virkjunin tekur til starfa nýtast flóðgáttirnar til þess að hleypa fram flóðvatni sem og tryggja að vatnsborð í Hagalóni haldist innan tiltekinna marka. Í flóðgáttunum verða þrjár geiralokur, hver 12 m breið og 10 m há. Neðan við lokurnar verður steyppt iðupró. Þar er gert ráð fyrir að myndist straumstökk sem hægir á rennslinu áður en vatnið rennur út í Þjórsárfarveg neðan stíflu. Öðru megin við lokurnar er steyppt yfirfall, sem tryggir lágmarksrennsli um farveg Þjórsár. Neðan við yfirfallið verður steyppt iðupró sem er minni en iðupróin neðan við lokurnar. Fyrir ofan flóðgáttirnar og yfirfallið verður brú fyrir umferð vegna daglegs rekstrar virkjunarinnar.

2.1.4 Fiskvegur og lágmarksrennsli

Í hönnunarforsendum fyrir virkjunina segir að tryggja skuli $10 \text{ m}^3/\text{s}$ lágmarksrennsli um núverandi farveg Þjórsár niður fyrir virkjunina. Skilyrðinu verður fullnægt með yfirfalli við hlið flóðgáttarinnar eins og að ofan segir. Jafnframt verður gerður fiskvegur frá iðupró upp fyrir stífluna. Fiskvegurinn verður með steypnum hölfum, um 11 m hár, með halla 1:10 (lóðr.:lár.). Rennsli um hann verður að jafnaði $1\text{--}2 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.1.5 Stöðvarinntak og þrýstipípur

Stöðvarinntakið verður grafið og sprengt ofan í landið skammt austan við flóðvarið. Inntakið verður steyppt mannvirki með tveimur ristarpum og inntaksristum fyrir hvora vatnsrás. Til þess að tryggja öruggan rekstur er miðað við að meðalvatnshraði í gegnum ristarnar fari ekki yfir 1 m/s . Í inntakinu verður lokubúnaður, ein geiraloka og varaloka í hvorri rás með tilheyrandi stjórn- og drifbúnaði.

Frá inntakinu verður vatninu veitt eftir tveimur 270 m löngum, hringlaga þrýstipípum úr stáli, með um 6,3 m þvermál. Pípurar verða niðurgrafnar og standa á steypnum undirstöðum. Fyllt verður yfir þær með jarðvegi.

2.1.6 Stöðvarhús, aðkomu- og sveifflugöng

Stöðvarhúsið verður að stórum hluta niðurgrafið, með tveimur Kaplan hverflum og rafölum á lóðréttum ásum. Stöðvarhúsið verður um 61 m langt, 32 m breitt og allt að 44 m hátt. Í því verður allur hefðbundinn búnaður, auk hverfla og rafala svo sem stjórn- og varnarbúnaður, dælubúnaður, loftræstikerfi, slökkvikerfi og öryggiskerfi. Miðlína vatnshjól verður í 81 m y.s. og fjarlægð milli véla um 20 m. Frá vélunum verða sgrásir út í frárennslisgöngin með sgrásarlokum og tilheyrandi lokuraufum. Til þess að jafna þrýstisveiflur við breytilegt álag og rennsli um stöðina verða grafin sérstök sveifflugöng út frá frárennslisgöngum sem ná upp á yfirborðið og nýtast sem aðkomugöng fyrir frárennslisgöngin á byggingartíma og til viðhalds seinna meir. Aðalspennar verða framan við stöðina. Háspennustrengir verða lagðir frá aðalspennum til tengingar við núverandi háspennulínu og þar með landskerfið í tengivirkishúsi undir Búrfellslínu 1. Ofan við stöðvarhúsið verður komið fyrir lágum varnargarði, til varnar stöðvarhúsi og landsvæði neðan þess ef rof verður á garði meðfram við Hagalón, sem beinir flóðvatni yfir í árfarveginn.

2.1.7 Frárennslisgöng og skurður

Frárennslisgöngin verða um 1,8 km að lengd og munu liggja frá stöðvarhúsinu til suðvesturs og opnast út í frárennslisskurð sem verður um 1 km að lengd. Þversnið ganganna verður um 160 m^2 að flatarmáli. Þau verða fódruð með sprautusteypu og styrkt með bergboltum eftir þörfum. Við gangamunnann verður steyppt lokurauf svo loka megi göngunum með stállokum til viðhalds. Frárennslisskurður verður grafinn í laus yfirborðslög og hraunlög. Skurðurinn endar í farvegi Þjórsár neðan við Ölmóðsey þar sem vatnsborð í ánni er í um 84 m y.s. Botnbreidd skurðar er áætluð um 11 m og verður hann fódruður með sprautusteypu og styrktur með bergboltum eftir þörfum.

2.2 Holtavirkjun



Mynd 2.2.1. Yfirlitsmynd, Holtavirkjun.

2.2.1 Yfirlit

Holtavirkjun er sýnd á Mynd 2.2.1. Hún mun nýta miðhluta fallsins í Neðri-Þjórsá frá Búðafossi, þar sem áin er að jafnaði í um 71 m y.s. ofan við fossinn, niður fyrir Akbraut þar sem hún er í um 52 m y.s. Við Búðafoss verður ánni veitt inn í inntakslón (Árneshól) með lónhæð í 71 m y.s. og þannig fæst um 19 metra hæðarmunur. Meðalrennsli árinna við Búðafoss hefur mælst rúmlega 340 m³/s en virkjað rennsli er ráðgert 330 m³/s og uppsett afl 53 MW.

Úr Árneshólunni verður vatni veitt inn í stöðina um inntak sem er sambyggt stöðvarhúsi. Stöðvarhúsið verður að hluta niðurgrafið með tveimur Kaplan hverflum. Frá stöðvarhúsinu er vatninu veitt um 3,8 km langan frárennisskurð yfir í farveg Þjórsár, neðan við Árneshólunni.

2.2.2 Veituvirki við Búðafoss

Ofan við fossbrún Búðafoss verður steypur yfirfallsþröskuldur upp í 74 m y.s. Við þröskuldinn er gert ráð fyrir að byggja um 10 m breiða rennu með lokubúnaði sem notaður verður til ísfleytingar og til að tryggja lágmarksrennsli niður farveginn. Gert er ráð fyrir ísbómu á ská upp frá rennunni sem mun beina ísreki að henni. Neðan við núverandi fiskveg, vestan megin í Árneshólunni, verður byggt lokuvirki með vökvadrifnum geiralokum sem stýra munu rennsli úr farvegi Þjórsár inn í Árneshólunni. Sunnan við núverandi fiskveg er gert ráð fyrir flóðvari fyrir Árneshólunni. Austan við lokuvirkið verður hlaðin hefðbundin jarðvegsstífla skáhallt yfir farveginn að austurbakka árinna.

2.2.3 Fiskvegur og lágmarksrennsli

Í hönnunarforsendum fyrir virkjunina segir að tryggja skuli 15 m³/s lágmarksrennsli framhjá virkjuninni um núverandi farveg Þjórsár niður fyrir Búðafoss. Skilyrðinu verður fullnægt með lökkun á hluta yfirfallsbrúnar í rennu við enda yfirfallsins. Jafnframt verður núverandi fiskvegur upp fyrir fossinn aðlagður nýjum mannvirkjum eftir því sem þurfa þykir.

2.2.4 Stífla

Flatarmál Árnslóns verður um 4,6 km² og rúmmál þess um 13,6 milljónir m³. Lónið verður rekið með sem næst stöðugu vatnsborði í 71 m y.s. Í farvegi Árnaskvíslar við Akbraut verður steypst stífla (flóðgátt) með lokum. Austan við steypstu stífluna verður jarðvegsstífla sem nær um 3 km eftir Árnasi til austurs. Stíflan verður að mestu hefðbundin jarðvegsstífla með þéttikjarna úr fokmold, malarsíum, stoðfyllingu úr mól og ölduvörn úr sprengdu grjóti. Stíflan verður hæst um 15 m, með 6 m breiðri stíflukrónu í 75 m y.s.

2.2.5 Flóðvirki

Flóðgáttir verða eins og að ofan segir í farvegi Árnaskvíslar. Eftir að virkjunin tekur til starfa nýtast flóðgáttirnar til þess að hleypa fram flóðvatni sem og tryggja að vatnsborð í Árnslóni haldist innan tiltekinnna marka. Í flóðgáttunum verða tvær geiralokur, hvor 8 m breið og 6 m há. Neðan við lokurnar verður, steypst iðupró. Þar er gert ráð fyrir að myndist straumstökk sem hægir á rennslinu áður en vatnið rennur út í farveg Þjórsár neðan stíflu. Báðum megin við lokurnar verða steypst yfirföll í stíflunni. Vatn rennur á yfirföllunum þegar rennsli eykst í kvíslinni. Fyrir ofan flóðgáttirnar og yfirföllin verður brú fyrir umferð vegna rekstrar virkjunarinnar.

2.2.6 Stöðvarinntak

Stöðvarinntak og stöðvarhús eru sambyggð mannvirki og verða grafin og sprengd ofan í landið skammt vestan við flóðgáttirnar. Inntakið verður steypst mannvirki, tvískipt með tveimur ristarpum og inntaksristum fyrir hvora vatnsrás. Til þess að tryggja öruggan rekstur er miðað við að meðalvatnshraði í gegnum ristarnar fari ekki yfir 1 m/s. Í inntakinu verður lokubúnaður í hvorri rás með tilheyrandi stjórn- og drifbúnaði.

Frá inntaki verður vatni veitt að vélum eftir tveimur steinsteypnum stökkum sem verða um 15 m breiðir og 9 m háir.

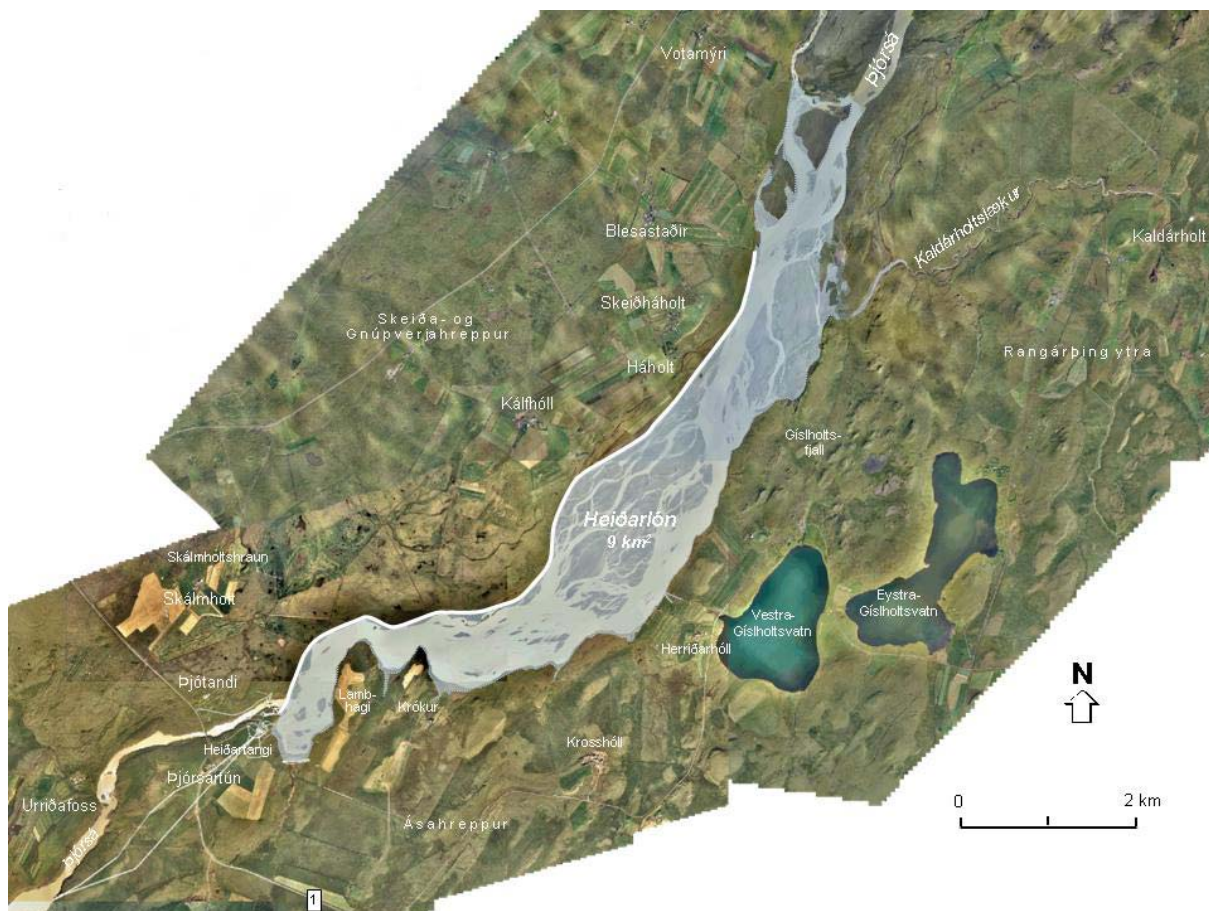
2.2.7 Stöðvarhús

Stöðvarhúsið verður niðurgrafið og sambyggt inntaki, með tveimur Kaplan hverflum og rafölum á lóðréttum ásum. Allar vatnsrásir að vélum verða steinsteypst. Stöðvarhúsið verður um 57 m langt, 35 m breitt og allt að 38 m á hæð. Í því verður allur hefðbundinn búnaður, auk hverfla og rafala svo sem stjórn- og varnarbúnaður, dælubúnaður, loftræsikerfi, slökkvikerfi og öryggiskerfi. Miðlína vatnshjóls verður í 51 m y.s. en fjarlægð milli véla 18 m. Frá vélunum verða sográsir út í frárennslisskurð með sográsarlokum og tilheyrandi lokuraufum. Aðalspennar verða aftan við stöðina og tengivirkisrými sambyggt henni. Háspennustrengir verða lagðir frá stöðinni til tengingar við núverandi háspennulínu og þar með landskerfið í tengivirkishúsi undir Búrfellslínu 1, sem staðsett verður skammt frá Hvammsvirkjun.

2.2.8 Frárennslisskurður

Frárennslisskurður verður grafinn í laus yfirborðslög og klöpp og endar í farvegi Þjórsár um 1 km neðan við Árnslúðir, þar sem vatnsborð í ánni er í um 52 m y.s. Botnbreidd skurðar er áætluð um 75 m eða minni, lengd hans um 3,8 km. Skurðurinn verður fódraður með sprautusteypu og styrktur með bergboltum eftir þörfum.

2.3 Urriðafossvirkjun



Mynd 2.3.1. Yfirlitsmynd, Urriðafossvirkjun.

2.3.1 Yfirlit

Urriðafossvirkjun er sýnd á Mynd 2.3.1. Hún er ráðgerð til þess að nýta neðsta hluta fallsins í Þjórsá frá Heiðartanga ofan við Þjótanda þar sem áin er að jafnaði í um 43 m y.s. niður fyrir Urriðafoss þar sem hún breiðir úr sér í um 9 m y.s. Með því að stífla ána við Heiðartanga og mynda þar inntakslón með vatnsborði í 50 m y.s. næst ríflega 40 m virkjanlegt fall. Meðalrennsli árinna þar hefur mælst rúmlega 350 m³/s en virkjað rennsli er ráðgert 370 m³/s og uppsett afl 130 MW.

Vatnsborð í lóninu verður að jafnaði í 50 m y.s. eins og að ofan segir. Frá því verður vatninu veitt um tvönn, brött, 7,0 m víð göng að neðanjarðar stöðvarhúsi. Í stöðvarhúsinu verða tveir Kaplan hverflar. Frá stöðvarhúsinu verður vatni veitt um 3 km löng göng yfir í farveg Þjórsár, um 1 km neðan Urriðafoss, skammt ofan við bæinn Egilsstaði.

2.3.2 Stífla og stíflugarður

Flatarmál Heiðarlóns verður um 9 km² og rúmmál þess um 17 milljónir m³. Lónið verður rekið með sem næst stöðugu vatnsborði í 50,0 m y.s. Stíflan í Þjórsá við og upp frá Heiðartanga verður að mestu hefðbundin jarðvegsstífla með þéttikjarna úr fokmold, malarsíum, stoðfyllingu úr mól og ölduvörn úr sprengdu grjóti. Stíflan verður hæst um 14 m með krónu í 53,5 m y.s. Sá hluti stíflunnar verður um 150 m langur. Þaðan mun liggja lágur garður á og undan árbakkanum nokkuð norðaustur fyrir Skeiðhólt, alls um 7 km. Garðurinn verður allur með krónu í 53,5 m y.s. en fer lakkandi frá því að vera 6–7 m hár og niður í 1,5 m yfir núverandi árbakka. Nyrsti hluti stíflunnar undan Skeiðhólta er ríflega 4 km langur. Hann verður úr malarfyllingu með þéttilag vatnsmegin sem tengist niður í árbotninn, sem þarna er fremur þéttur ofan á hrauninu

sem áin rennur á og meðfram. Á árbakkanum verður stíflan byggð á 2–3 m þykku, tiltölulega þéttu fokmoldarlagi. Einungis gróðurlagið verður fjarlægð áður en fyllingunni verður komið þar fyrir.

Í landi Kálfhóls mun stíflan liggja á áreyrunum frá þeim stað sem árbakkinn tekur nokkurn sveig til vesturs, norðaustur fyrir Skeiðháholt þangað sem landið er í 51 til 52 m y.s. Á þessum rúmlega 3 km kafla verður stíflan 3–5 m há úr þjappaðri malarfyllingu með ölduvörn.

Lagður verður vinnuvegur meðfram garðinum alla leið til hagræðis á byggingartíma og síðar nýttur sem reiðleið. Grafinn verður skurður meðfram veginum til þess að ræsa fram lekavatr sem síast í gegnum eða undir garðinn, auk þess að tryggja óhindrað afrennsli af landinu með því að tengja núverandi skurðakerfi við hann. Skurðurinn mun opnast út í farveg Þjórsár skammt neðanvert við stífluna við Heiðartanga.

Við austurbakka Þjórsár fer lítið land undir vatn við stíflugerðina nema á tveimur stöðum, við bæinn Herríðarhól og í svonefndri Lónsmýri sem liggur suður af Heiðartanga að austanverðu. Til greina kemur að á báðum þessum stöðum verði byggður lágur garður og dælubúnaður settur upp til þess að halda grunnvatnsborði bak við garðinn sem næst óbreyttu á rekstrartíma virkjunarinnar.

2.3.3 Flóðvirki

Steyptar flóðgáttir verða á Heiðartanga skammt frá stífluendanum á eystri bakka Þjórsár. Á byggingartíma verður ánni veitt um þær meðan árfarvegurinn sjálfur verður stíflaður. Eftir að virkjunin tekur til starfa nýtast flóðgáttirnar til þess að hleypa fram flóðvatni sem og tryggja að vatnsborð í Heiðarlóni haldist innan tiltekinnna marka. Í flóðgáttunum verða þrjár geiralokur, hver 12 m breið og 10 cm há. Neðan við lokurnar verður steipt iðupró um 40 m breið og 25 m löng. Þar myndast straumstökk sem hægir á rennslinu áður en vatnið rennur út í Þjórsárfarveg neðan stíflu.

Á milli stíflunnar og flóðgáttanna verður grafin um 100 m breið rás niður í 48 m y.s. Í rásinni verður flóðvar. Flóðvarið verður jarðvegsstífla með krónu í 51,5 m y.s.

2.3.4 Stöðvarinntak og þrýstigöng

Stöðvarinntakið verður grafið og sprengt inn í hæðina skammt austan við flóðgáttirnar. Inntakið verður tvískipt, steipt mannvirki með tveimur ristarpum og inntaksristum fyrir hvora vatnsrás. Til þess að tryggja öruggan rekstur er miðað við að meðalvatnshraði í gegnum ristarnar fari ekki yfir 1 m/s. Í inntakinu verður lokubúnaður sem samanstendur af einni geiraloku og varaloku í hvorri rás með tilheyrandi stjórn- og vökvabúnaði.

Frá inntakinu verður vatninu veitt eftir tvennum þrýstigöngum sem verða sprengd með 60° halla niður að neðanjarðar stöðvarhúsi. Þversnið ganga verður 7,0 m í þvermál með innsteyptri stálfóðringu.

2.3.5 Fiskvegur, seiðafleyting og sírennsli

Í hönnunarforsendum fyrir virkjunina segir að tryggja skuli 10 m³/s lágmarksrennsli um núverandi farveg Þjórsár frá stíflu að munna frárennslisganga. Skilyrðinu verður fullnægt með sérstakri vatnsrás með lokubúnaði í efri enda, við enda Heiðartangastíflu. Jafnframt verður gerður fiskvegur frá vatnsrásinni úti við farveginn upp í lónið ofan við stífluendann. Fiskvegurinn verður með steiptum hólfum, um 11 m hár og rennsli um hann verður að jafnaði 1–2 m³/s. Í stöðvarinntakinu verða gerð sérstök op að framanverðu inn í steipt hólfi ofan við vatnsrásir til aflvéla og byggð steipt renna, svokölluð seiðarennan sem endar í iðupró neðan við flóðgáttalokur. Seiðarennan er gerð til þess að auðvelda seiðum niðurgöngu án þess að fara í gegnum aflvélar virkjunarinnar. Í rennunni verður loka sem stýrir rennsli um hana.

2.3.6 Stöðvarhús, aðkomu- og sveifflugöng

Stöðvarhús verður staðsett neðanjarðar. Í því verða tveir Kaplan hverflar og rafalar á lóðréttum ási. Um 25 m verða frá yfirborði niður á þak hvelvingarinnar. Stöðvarhúsið verður um 62 m á lengd, 16 m breitt og allt að 44 m hátt. Í því verður allur hefðbundinn búnaður, auk hverfla og rafala svo sem stjórn- og varnarbúnaður, dælubúnaður, loftræsikerfi, slökkvikerfi og öryggiskerfi. Miðlína vélanna verður í 6 m y.s. en fjarlægð milli þeirra 28 m. Frá vélunum verða sográsir út í frárennslisgöngin. Til þess að jafna þrýstisveiflur við breytilegt álag og rennsli um stöðina verða grafin sveifflugöng út frá aðkomugöngunum, í hæð 32 m y.s. niður í frárennslisgöngin.

Frá gangi norðan við vélasal verður sprengdur lóðréttur strokkur til yfirborðs en gangurinn jafnframt tengdur vélasalnum um lárétt göng fyrir miðju vélasalarins. Í strokknum verður stigi, lyfta og aflskinnur frá rafölum upp í aðalspenna sem verða í steiptum básum ofanjarðar. Þar verður einnig lítið hús með stjórn- og tengibúnaði. Háspennustrengir verða lagðir frá aðalspennum til tengingar við núverandi háspennulínu Búrfellslínu 2.

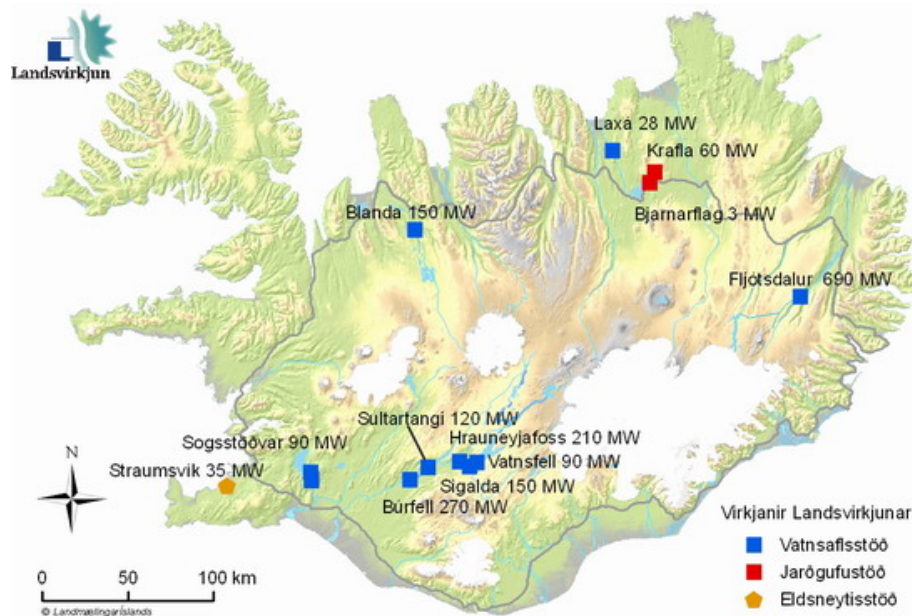
Sérstök lóðrétt göng verða á milli vélasalarins og yfirborðs ætluð til reykraisingar.

2.3.7 Frárennslisgöng

Um 3 km löng frárennslisgöng munu liggja frá stöðvarhúsinu til suðvesturs og opnast út í farveg Þjórsár, um 1 km neðan við Urriðafoss. Þar er áin að jafnaði í um 9 m y.s. Þótt fjarlægð til sjávar sé um 17 km. Göngin verða boruð og sprengd með um 200 m² skeifulaga þversniði. Þau verða föðruð með sprautusteypu og styrkt með bergboltum eftir þörfum.

2.4 Stjórnun og vöktun virkjana

Landsvirkjun á og rekur vatnsaflsvirkjanir dreifðar um landið og jarðgufuvirkjun í Kröflu auk eldsneytisstöðvar í Straumsvík.



Mynd 2.4.1 Virkiðjanir Landsvirkjunar (mynd frá Landsvirkjun).

Allar aflstöðvar Landsvirkjunar eru tengdar raforkuflutningskerfi Landsnets, en Landsnet hefur það hlutverk að annast flutning raforku og kerfisstjórnun. Allar aflstöðvarnar eru fjarstýrðar og hefur stjórnstöð Landsnets umsjón með stýringu og vöktun þeirra í umboði Landsvirkjunar, auk þess að vakta og stýra raforkukerfi landsins. Í stjórnstöð Landsnets er sólarhrings vakt allan ársins hring. Sumar aflstöðvar Landsvirkjunar eru ómannaðar en öryggiskerfi vakta mannvirkin og í starfsstöðvum á hverju virkjanasvæði er bakvakt fyrir svæðið. Mannvirki eru að öðru leyti

aðgengileg almenningi og eru þau ýmist staðsett nærri byggð eða uppi á hálandinu. Þeim tilheyrja auk aflstöðva, stíflur og lón, frárennslis-, veitu- og inntaksskurðir.

Mæligildi frá aflstöðvum Landsvirkjunar og mælingar á vatnshæð í lónum, vatnsþrýstingi í þrýstivatnspípum og rennslis auk viðvarana frá ýmsum vél og rafbúnaði eru tengd til stjórnstöðvar Landsnets auk þess að vera tengd í stjórnborð viðkomandi aflstöðvar. Unnið er sjálfvirkir úr mælingum jafn óðum og þær settar fram á myndrænan hátt, svo sem vatnsborð í lónum. Viðvaranir eru gefnar fari mæligildi út fyrir gefin viðmiðunarmörk. Fylgst er reglulega með mælingum á leka neðan stíflna, vatnsþrýstingi, grunnvatnsborði, hallabreytingum og færslum á sprungum í stíflueftirliti Landsvirkjunar. Raunvísindastofun Íslands, Veðurstofa Íslands, Rannsóknarmiðstöð Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði og Orkustofun eiga og reka mælikerfi víða um land, m.a. á Suðurlandi. Berist merki frá þeim kerfum sem bent gætu til yfirvofandi hamfara er stjórnstöð Landsnets gert viðvart í gegn um almannavarnir. Viðbrögð við slíkum viðvörnum og viðvörnum frá rekstrar- og mælistærðum eru skráð í verklag¹ stjórnstöðvar Landsnets, aflstöðva og neyðarstjórnar Landsvirkjunar. Komi upp bilanir eru bakvaktir kallaðar út samkvæmt verklagi fyrirtækjanna.

Fyrirhugaðar virkjanir við neðanverða Þjórsá, sem lýst hefur verið hér að framan, verða eins og aðrar virkjanir tengdar raforkukerfinu og stjórnstöð Landsnets til stýringar og vöktunar.



Mynd 2.4.2 Úr stjórnstöð Landsnets (mynd frá Landsneti).

2.5 Heimildir

- Almenna verkfræðistofan, Lahmeyer International, Rafhönnun. 2006a. *Hvammsvirkjun Hydroelectric Project. Project Planning Report*. Landsvirkjun, Reykjavík. LV-2006/036.
- Almenna verkfræðistofan, Lahmeyer International, Rafhönnun. 2006b. *Holtavirkjun Hydroelectric Project. Project Planning Report*. Landsvirkjun, Reykjavík. LV-2006/037.
- Sweco International, Hnit, Rafhönnun. 2006. *Urriðafossvirkjun Hydroelectric Project. Project Planning Report*. Landsvirkjun, Reykjavík. LV2006/039.

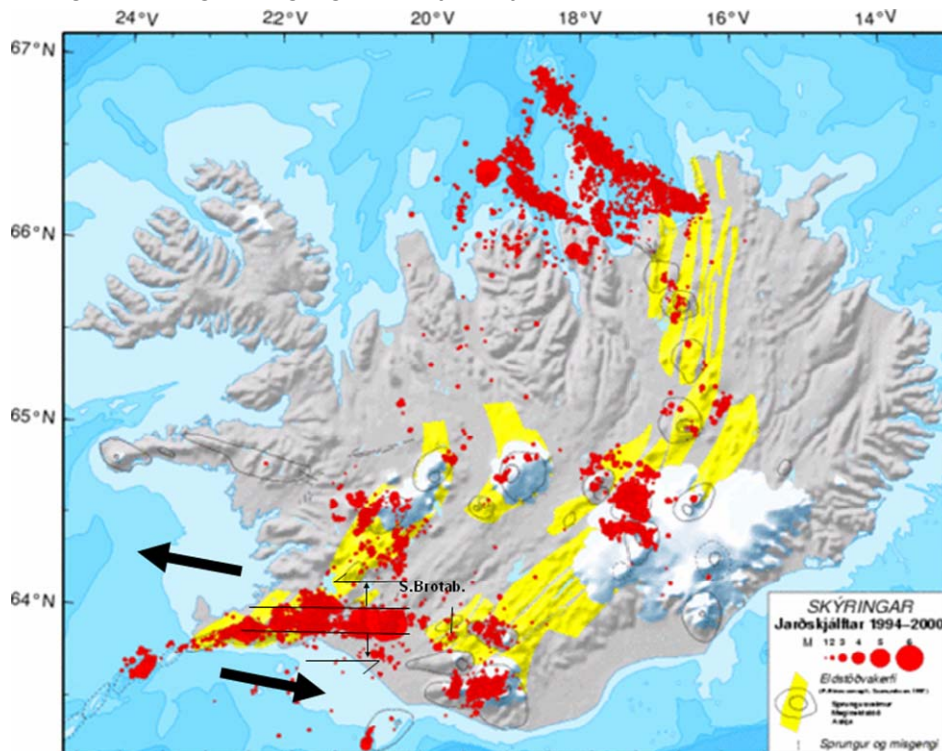
¹ Verklagsreglur, vinnuleiðbeiningar, gátlistar, viðbragðsáætlanir.

3 Hættur fyrir tilkomu nýrra mannvirkja

3.1 Jarðvá

3.1.1 Yfirlit

Virkanasvæðið við Neðri-Þjórsá liggur á Suðurlandsbrotabeltinu, sem staðsett er á flekaskilum Kyrrahafsflekans og Evrasíuflekans, sjá Mynd 3.1.1. Þar sem um bæði þekkt og virkt jarðskjálftasvæði er að ræða hefur jarðfræði og jarðeðlisfræði svæðisins verið rannsökuð fremur ítarlega en einnig eðli og eiginleikar jarðskjálftanna með tilliti til áraunar á mannvirki.



Mynd 3.1.1 Suðurlandsbrotabeltið. Mynd af vef VÍ (www.vedur.is).

Suðurlandsbrotabeltið er 70 – 80 km langt og stefnir í V-A, nokkurn veginn frá Hengli að Heklu, og 10 – 15 km breitt í stefnu N-S. Flekaskilin eru á stöðugri mismunahreyfingu, sem nemur um 2 cm á ári, þar sem svæðið norðan við beltið færir til vesturs miðað við svæðið sunnan við það. Þessi færsla veldur því að beltið skælist eða bognar og streituorka byggist upp í jarðskorpunni. Orka losnar frá austri til vesturs eftir beltinu í mörgum skjálftum í megin sprungum eða svokölluðum misgengjum sem liggja þvert á flekaskilin í stefnu N-S. Misgengin hreyfast með s.k. hægri handar sniðgengishreyfingu (Ragnar Stefánsson o.fl., 2000). Fjarlægð milli sprungukerfa á svæðinu er 1 til 6 km og snúast sprungurnar nærri eða við yfirborð. Yfirborðsprungurnar hafa NNA-SSV stefnu og taka þannig út A-V mismunahreyfingu skjálftabeltisins. (Páll Einarsson, 2002).

Jarðskjálftar á stærðarbilinu M6 – 7 hafa átt sér stað á svæðinu á 45–112 ára fresti, síðast árið 2000. Í hverri stórskjálftahrinu leysir aðeins hluti sprungukerfanna stóra skjálfta úr læðingi. Í skjálftahrinum kann að verða hreyfing á sprungu vegna jarðskjálfta í nálægum sprungum. Sprungurnar geta verið opnar á yfirborði og niður á nokkurra tuga m dýpi en lokast þar. Í opnum sprungum má greina rennandi vatn, þar sem einungis eru um 1 – 2 m niður á grunnvatnsborð á svæðinu. Ennfremur geta svelgir opnast í jarðskjálftum. (VST, 2007 fundargerð fundar með Páli Einarssyni).

Heildaráhrif yfirborðshröðunar getur farið yfir 1 g nálægt upptökum stórra skjálfta á svæðinu en hröðunartoppar eru afskaplega staðbundnir á upptakasvæðum (Ragnar Sigbjörnsson o.fl., 2007; VST, 2007) og háðir jarðfræði svæðisins. Í jarðskjálftunum getur grunnvatnsstreymi breyst tímabundið og grunnvatnsborð hækkað á svæðum þar sem jarðskorpan þrýstist saman og lækkað þar sem á henni tognar (Ragnar Stefánsson o.fl., 2000). Sveifluáraun í Suðurlandskjálftum getur einnig valdið því að laus jarðefni missi tímabundið burðargetu (Jón Skúlason o.fl., 2001).

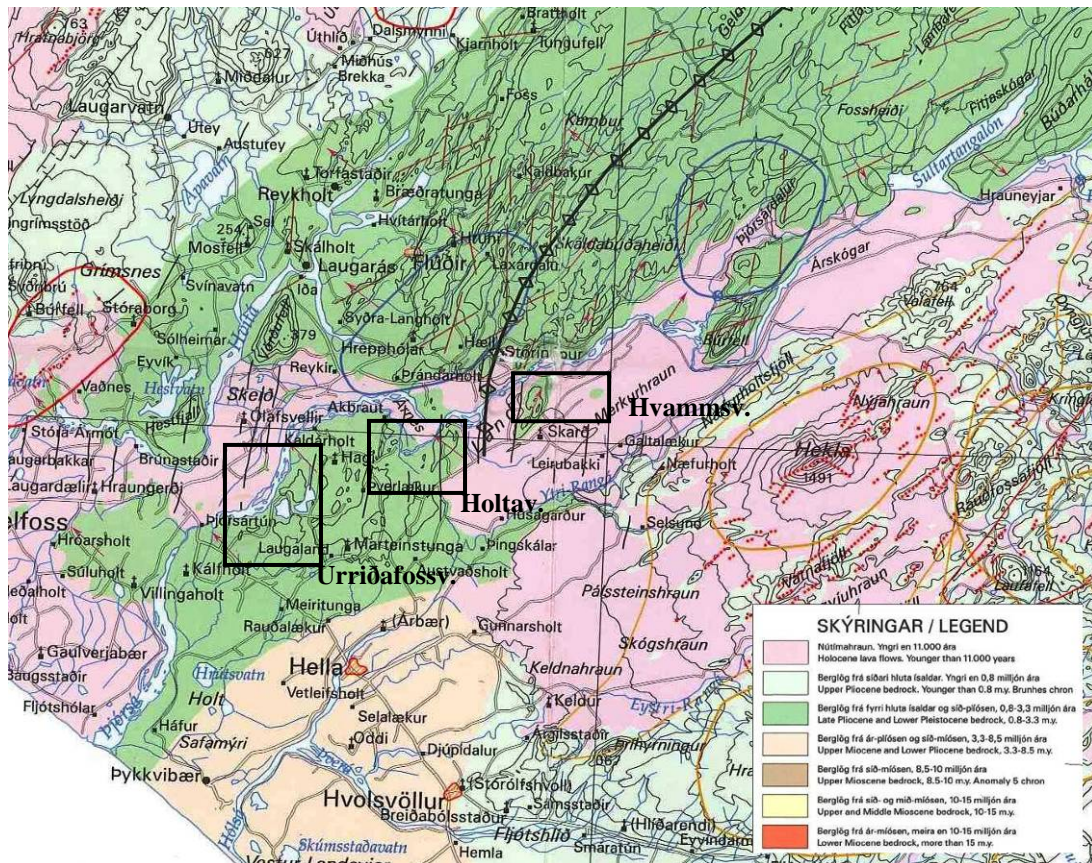
VirkJanasvæðið við Neðri-Þjórsá liggur um 45 km suðvestan við Heklu, eina af virkustu eldstöðvum landsins. Að minnsta kosti 18 gos eru þekkt í Heklu á síðustu 1000 árum (Ármann Höskuldsson o.fl., 2007). Þrjú þekkt gos í Heklu hafa valdið stórum flóðum í Þjórsá vegna vikurstíflna í ánni, síðast fyrir um 2800 árum. Minni gos hafa einnig dreift gjósku yfir Þjórsársvæðið og valdið skammægjum stíflum í vatnsvegum, síðast árið 1947. Á undanförunum áratugum hefur gostíðni Heklu aukist og gýs hún nú á um 10 ára fresti í minni gosum. Ennfremur hafa gos í Veiðivötnum með um 600 – 800 ára millibili stíflað farveg Tungnaár tímabundið. Búist er við slíkum atburði á næstu 100 – 300 árum (Guðrún Larsen, 1984).

Áhrifa jökulhlaupa frá Vatnajökli og Hofsjökli gætir á svæðinu vegna rennslisbreytinga í Þjórsá. Ennfremur geta stór flóð vegna jökulhlaupa flæmst um svæðið óháð virkjunarmannvirkjum, þó slíkir atburðir séu ekki þekktir á síðustu 2000 árum, eða síðan jöklar tóku u.þ.b. sína núverandi mynd.

Í köflunum hér á eftir verður nánar fjallað um þá þætti sem nefndir hafa verið hér að framan og fyrirhuguðum virkjunum við neðanverða Þjórsá stafar ógn af. Í Kafla 3.1.2 er fjallað um jarðfræði svæðisins. Því næst í kafla 3.1.3 er fjallað um jarðskjálfta á Suðurlandsbrotabeltinu og áraun á mannvirki sem þeim geta fylgt. Í Kafla 3.1.4 er fjallað um eldgos í Heklu og Veiðivötnum og áhrif þeirra á rennsli í Þjórsá. Að lokum er fjallað um jökulhlaup sem beinst gætu inn á vatnasvið Þjórsár og Tungnaár (Kafla 3.1.5).

3.1.2 Jarðfræði

Jarðfræðirannsóknir á Neðri-Þjórsársvæðinu voru einkum unnar á árunum 2001 – 2007 (Snorri P. Snorrason o.fl. 2007a; Ágúst Guðmundsson o.fl. 2007; Almenna Verkfræðistofan hf. o.fl., 2006a og 2006b og Sweco o.fl., 2006). Jarðfræði virkjanasvæðisins einkennist af gömlum berggrunni og ungum hraunlögum frá nútíma. Undir hraunlögum eru gjarnan setlög upprunnin í Hvítá og Þjórsá ásamt sjávarseti. Þykkt setlaganna er breytileg, gjarnan frá óveru upp í 40 m en þykkt hraunlaganna er á bilinu 20 – 40 m. Á Mynd 3.1.2 má sjá yfirborðsjarðfræði á virkjanasvæðunum.



Mynd 3.1.2: Jarðfræðikort Náttúrufræðistofnunar Íslands (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Á kortið eru merkt virkjanasvæði í Neðri-Þjórsá. Kortið sýnir yfirborðs-jarðfræði svæðisins.

Virkjunarsvæði Urriðafossvirkjunar einkennist af gömlum berggrunni austan Þjórsár. Á yfirborði vesturbakkans er hið svokallað Þjórsárhraun sem rann fyrir um 8700 árum. Þykkt þess er um 20 – 25 m. Undir hrauninu eru allt að 40 m þykk setlög. Þar fyrir neðan kemur gamli berggrunnurinn sem einkennir austurbakka árinna í ljós (Snorri P. Snorrason o.fl., 2007a; Ágúst Guðmundsson o.fl., 2007).

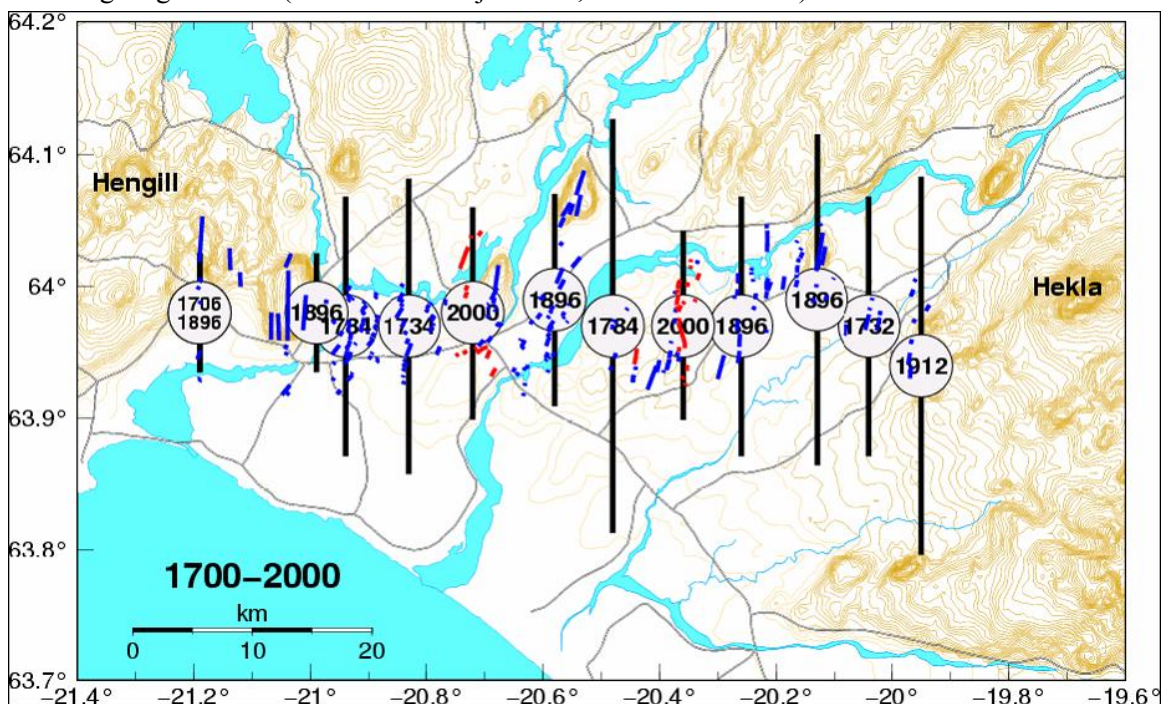
Lón og stíflur Holtavirkjunar lenda að mestu á jaðri Þjórsárhraunsins. Undir 10 – 20 m þykku hrauninu eru allt að 4 m þykk setlög og 5 – 15 m þykkur siltsteinn þar fyrir neðan. Eldri berggrunnur tekur við hjá Akbrautarholti, þar sem stöðvarhúsið er fyrirhugað og áfram til vesturs. Einnig er að finna eldri berggrunn á suður hluta lónstæðis (Snorri P. Snorrason o.fl., 2007a; Snorri Páll Snorrason o.fl., 2007b).

Virkjunarstæði Hvammsvirkjunar verða að mestu á austurbakka Þjórsár á um 20 – 30 m þykku Þjórsárhrauni. Ofan á og undir hrauninu eru misþykk kargalög. Undir hraunlögum taka við misþykk setlög. Nálægt fyrirhuguðu stöðvarhúsi og fallpípum er þykkt setlaga allt að 5 m en stöðvarhúsinu var valinn staður þar sem engin setlög fundust undir hrauninu. Neðan setlaganna er móberg úr Skarðsfjalli. Á vesturbakka Þjórsár er eldri berggrunnur (Snorri P. Snorrason o.fl., 2007a; Snorri Páll Snorrason o.fl., 2007c).

3.1.3 Jarðskjálftar

Í kjölfar Suðurlandsskjálftanna árið 2000 fóru fram viðamiklar rannsóknir jarðeðlisfræðinga og jarðskjálftaverkfræðinga á eðli og eiginleikum jarðskjálftanna, bæði almennt og með sérstöku tilliti til áraunar á mannvirki. Í rannsóknum sínum settu jarðeðlisfræðingar meðal annars fram mögulega atburðarrás í svokallaðri. Suðurlandsskjálftahrinu (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006a). Áreiðanlegar heimildir eru til um Suðurlandsskjálfta frá árinu 1700. Minna er vitað um skjálfta fyrir þann tíma. Á Mynd 3.1.3 eru jarðskjálftar frá 1700 sýndir. Jarðskjálftarnir raða sér samsíða

með nær jöfnu millibili eftir skjálftabeltinu og eiga sér stað á N-S sprungum sem hreyfast með hægri handar misgengishreyfingu. Rétt er að nefna að það er ekki beint samband milli lengdar á sprungu, eða stærðar jarðskjálfta og yfirborðshröðunar. Þannig geta langar sprungur gefið tiltölulega lága hröðun (Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal mars 2008).

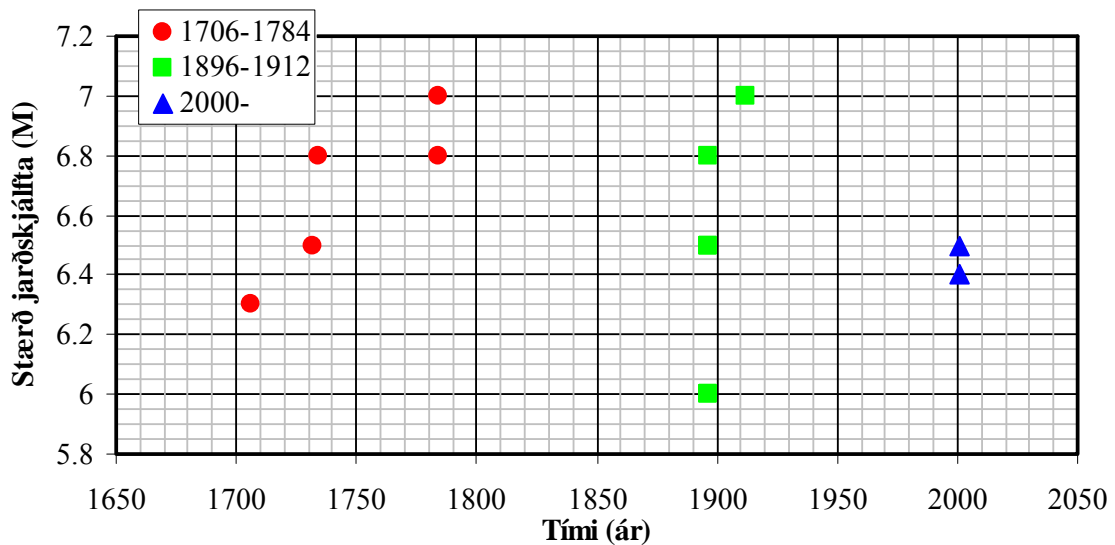


Mynd 3.1.3 Jarðskjálftar á Suðurlandsbrotabeltinu síðan um 1700. Jarðskjálftarnir raða sér samsíða og eiga sér stað með hægri handar misgengishreyfingu á NS sprungum. Strikin sýna lengd misgengjanna og hringir tákna jarðskjálftamiðju (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006a).

Líklegt ferli í Suðurlandskjálftahrinu er eftirfarandi (Ragnar Stefánsson o.fl. 2006a):

1. Spenna losnar á öllu Suðurlandsbrotabeltinu á um 140 ára tímabili.
2. Því lengra sem komið er inn á 140 ára tímabilið þeim mun stærri verða jarðskjálftarnir (stærstu rúmlega M7).
3. Líklegt er að nokkur hundruð ár (um 300 ár) líði milli þess að stór skjálfti verði á sömu sprungunni/misgenginu.
4. Stærstu skjálftarnir eiga upptök sín austarlega á skjálftabeltinu. Þeim fylgja gjarnan minni jarðskjálftar sem færast til vesturs auk eftirskjálfta í næsta nágrenni upptakanna. Slík atburðarrás getur tekið frá nokkrum dögum upp í þrjú ár.

Síðasta 140 ára hrina hófst árið 1896 og henni lauk 1912 með stórum skjálfta (M7) í Landssveit sjá Mynd 3.1.3-5. Þar á undan hófst jarðskjálftahrina árið 1706 og lauk árið 1784 með stórum skjálfta (M7) í Holti. Líklegt er að sambærileg skjálftahrina hafi hafist árið 2000 og að henni ljúki með stórum skjálfta (um M7) austarlega á Suðurlandsbrotabeltinu nálægt 20°V og/eða vestarlega nálægt 21,1°V á næstu áratugum. Holta-svæðið, nálægt 20,5°V er einnig hugsanlegt upptakasvæði slíks skjálfta (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006a). Bylgjuhreyfing jarðskjálfta með upptök á þessum svæðum hefði svipuð eða minni áhrif á virkjanasvæðin við Neðri Þjórsá en t.d. jarðskjálftarnir árið 2000, en Holtavirkjun og Urriðafossvirkjun hefðu verið í miðju upptakasvæði þeirra skjálfta. Hins vegar verða ekki mismunahreyfingar á sprungum á virkjanasvæðunum af völdum skjálfta á 20°V eða 20,5°V (Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal maí 2008).



Mynd 3.1.4 Stærð jarðskjálfta (M) í Suðurlandsskjálftahrinum frá 1700 (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006b)

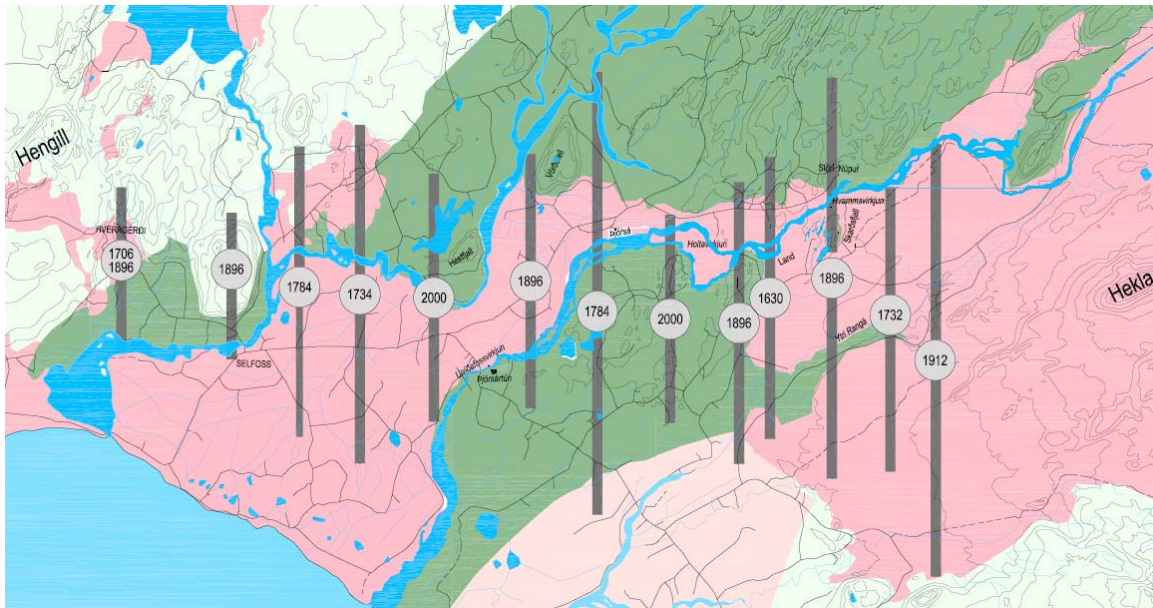
Ferlið sem lýst er hér að framan miðast við að uppsöfnuð streituorka á svæðinu hafi ekki öll losnað í jarðskjálftunum árið 2000. Ragnar Sigbjörnsson og Símon Ólafsson (2004) hafa lagt mat á jarðskjálftavægi jarðskjálftanna árið 1896 og 1912. Niðurstaða þeirra er að samanlagt jarðskjálftavægi jarðskjálftanna árið 2000 hafi verið u.þ.b. það sama og skjálftanna 1896. Hjá þeim kemur einnig fram að jarðskjálftavægi jarðskjálftans árið 1912, sem er oft talinn vera stakur atburður austast á svæðinu, var meira en tvisvar sinnum stærra en allra jarðskjálftanna árið 1896. Ragnar Stefánsson o.fl. (2000) hafa einnig lagt mat á jarðskjálftavægi skjálftanna árið 1896 og 1912 og áætlað með því að leggja saman jarðskjálftavægi þeirra atburða að einungis um 25% af uppsafnaðri streituorku á svæðinu hafi losnað í jarðskjálftunum árið 2000.

Óvíst er hvort frekari losun á streituorku á brotabeltinu, umfram þá orkulosun sem varð í jarðskjálftunum árið 2000, hafi átt sér stað í nýlegum jarðhræringum við Heklu síðustu 35 ár og á Hengilssvæðinu í tengslum við eldsumbrota-jarðhræringar 1994 – 1998 (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006a).

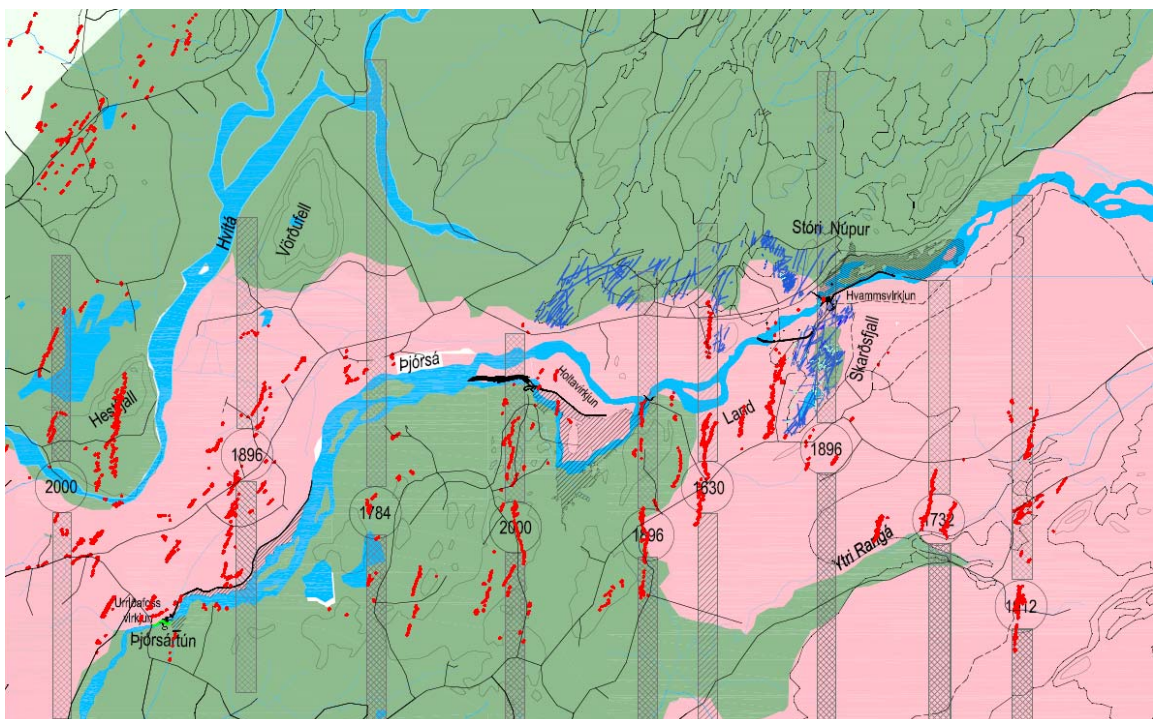
Núverandi virkjanir í Þjórsá standa utan við Suðurlandsbrotabeltið. Möguleg jarðskjálftaáraun á mannvirki núverandi virkjana er því mun minni en á Suðurlandsbrotabeltinu, einkum á það við ofan Búrfells (Ragnar Sigbjörnsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, 2008; Þjóðarskjal FS ENV 1998-1-1, 1994). Áhrif Suðurlandsskjálftanna árið 2000 á virkjanir í Þjórsá hafa verið könnuð. Niðurstöður þeirra athugana leiddu í ljós að mannvirkin stóðust þá áraun án nokkurra teljandi skemmda (Örn Arason, 2001; Landsvirkjun, 2001a; Landsvirkjun, 2001b; Landsvirkjun, 2001c; Landsvirkjun, 2001d).

Virðjanasvæðin við Neðri-Þjórsá liggja aftur á móti á Suðurlandsbrotabeltinu. Áraun á mannvirki á svæðinu í Suðurlandsskjálftum getur því orðið mun meiri en á mannvirki við ofanverða ána, vegna: 1) Snöggra hreyfinga á yfirborði (yfirborðshröðunar), 2) varanlegrar mismunafærslu á undirstöðum mannvirkja (sprunguhreyfinga) og 3) skyndilegrar minnkunar á burðargetu lausra jarðlaga (ysjunar). Að auki geta jarðskjálftar valdið tímabundnum breytingum á stöðu og rennsli yfirborðsvatns og grunnvatns. Þessum þáttum verða gerð skil hér að neðan.

Á Mynd 3.1.5 og Mynd 3.1.6 er yfirlit yfir mannvirki, sprungur og jarðfræði virðjanasvæðisins, stærri útgáfu myndanna ásamt skýringum er að finna í Viðauka 3.



Mynd 3.1.5 Megin sprungur/misgengi (Ragnar Stefánsson o.fl, 2006a; Páll Einarsson, 2008) og yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) á Suðurlandsbrotabeltinu.



Mynd 3.1.6 Virkjanamannvirki, yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) og yfirborðssprungur (Páll Einarsson, 2008; ÍSOR, 2006) við Neðri-Þjórsá.

1. Yfirborðshröðun

Hreyfing yfirborðs í jarðskjálftum er gjarnan mæld sem hröðun og sett fram sem hlutfall af þyngdarhröðun jarðar, g ($9,82 \text{ m/s}^2$). Yfirborðshröðun í jarðskjálftum er mest næst skjálftamiðju og minnkar út frá henni (Ragnar Sigbjörnsson o.fl., 2000).

Rannsóknamiðstöð Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði rekur net jarðskjálftamæla. Á mælaneti þeirra mældist mesta hröðun í Suðurlandskjálftunum árið 2000 $0,84 g$ á vester stöpli Þjórsárbrúar, í um $4,4 \text{ km}$ fjarlægð frá jarðskjálftamiðjunni. Hröðun á

austur stöpli brúarinnar mældist mest 0,54 g (Bjarni Bessason og A.M. Kaynia, 2002). Munurinn á mældu hágildi hröðunar austan og vestan Þjórsár helgast af muni á berggrunni austan og vestan Þjórsár við brúna. Meiri hröðun mældist á vesturbakkanum þar sem stíft hraunlag liggur ofan á 18 – 20 m þykku seti. Þessi munur á berggrunni breytir svörun yfirborðsins við jarðskjálftum og magnast jarðskjálftahröðun vegna hreyfinga hraunlags ofan á setlögnum. Mælingar Rannsóknarmiðstöðvar Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði sýna að svörun yfirborðs á virkjanasvæðinu við jarðskjálftum er breytileg eftir aðstæðum og getur orðið meiri en lárétt hönnunarhröðun fyrir svæðið sem gefin er upp í Þjóðarskjali með FS ENV 1998-1-1:1994 frá 2003. Sérstakar hönnunarforsendur vegna jarðskjálfta verða gerðar fyrir fyrirhugaðar virkjanir í Neðri Þjórsá (sjá kafla 4.1).

Rannsóknamiðstöð í jarðskjálftaverkfræði hefur rannsakað ítarlega eðli og eiginleika Suðurlandsskjálftanna árið 2000 með sérstöku tilliti til áraunar á mannvirki og í þeim rannsóknnum einnig lagt til grundvallar eldri heimildir um jarðskjálfta á þessu svæði. Megin niðurstöður varðandi yfirborðshröðun á virkjanasvæðunum þremur við Neðri-Þjórsá eru teknar saman í Kafla 4.1 þar sem fjallað er um hönnunarforsendur vegna jarðskjálfta. (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008; Ragnar Sigbjörnsson o.fl. 2007).

2. Sprungur

Páll Einarsson hefur unnið að kortlagningu sprungna á Suðurlandi um árabíl. Hann vann skýrslu fyrir Landsvirkjun um kortlagningu á virkum sprungum við Neðri-Þjórsá (Páll Einarsson, 2002). Sprungur sem hreyfðust í jarðskjálftunum 1630, 1896, 1912 og sér í lagi 2000 er hægt að greina á yfirborði og kortleggja (sjá Mynd 3.1.6). Þegar sprungukort af svæðinu eru skoðuð ber að hafa í huga að auðveldara er að finna sprungur í Þjórsárhrauninu en í gamla berggrunninum, þar sem grunnvatnsstreymi í Þjórsárhrauninu hreinsar sprungurnar en sprungur í gamla berggrunninum fyllast gjarnan af lausum jarðlögum. Líklegt er að fleiri sprungur leynist á svæðinu en hafa fundist við kortlagningu.

Megin sprungur eða misgengi liggja á um 10 km dýpi ofan í jörðinni. Þær hafa N-S stefnu og raða sér upp eftir Suðurlandsbrotabeltinu með 5 – 10 km millibil, eins og sýnt er á Mynd 3.1.5. Misgengin hreyfast sem hægri handar sniðgengi. Þessar megin sprungur snúa upp á sig við yfirborðið og koma þar fram sem sprungur með stefnu í NNA. Sprungurnar geta verið opnar frá yfirborði og niður á talsvert dýpi. Yfirborðssprungurnar raða sér í sprunguhneppi eftir misgenginu. Stefna sprunguhneppanna er N-S eins og misgengisins sem undir er og eru þau 0,3 – 3 km löng. Yfirborðssprungur eru teiknaðar rauðar á Mynd 3.1.6. Á myndinni eru undirliggjandi misgengi einnig sýnd.

Mesta opnun á sprungu í jarðskjálftunum 21. júní árið 2000 var um 1 m (VST, 2007 fundargerð fundar með Páli Einarssyni). Opnunin varð nálægt bænum Bitru sem stendur við syðri enda upptakasprungu jarðskjálftans. Mikla opnun á þessu svæði má tengja við staðsetningu bæjarins á jaðri Þjórsárhraunsins, sem tiltölulega auðvelt er að rífa í sundur þar sem það hefur engan stuðning sunnan megin (Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal mars 2008). Líkanútreikningar gefa til kynna að sniðgengishreyfingar geti numið um 2 m á 6 – 7 km dýpi og hreyfingar greinast niður á 10 – 12 km dýpi. (VST, 2007).

Önnur tegund af sprungum liggur samsíða Þjórsárhraunskantinum á vesturbakka Þjórsár við Skeið (nálægt Urriðafossvirkjun). Þessar sprungur eru aðeins í hrauninu sjálfu en ná ekki niður í gegnum berggrunninn. Hreyfing kann að verða á þeim í jarðskjálftum. (VST, 2007).

Þekktir jarðskjálftar og virkar sprungur á lón og stíflustæðum skv. forhönnunargögnum (Sweco o.fl., 2006; Almenna Verkfræðistofan hf o.fl., 2006a og 2006b) og skýrslu Páls Einarssonar (2002) eru taldar upp hér að neðan, sjá einnig Mynd 3.1.6.

Urriðafossvirkjun.

Þann 21. júní árið 2000 átti jarðskjálfti af stærðinni M6,5 upptök sín á sprungu sunnan Hestfjalls, sem liggur um 3 km vestan lónstæðisins. Tvö þekkt sprungubelti þvera stíflustæðið. Annað við Heiðartanga, nálægt inntaksmannvirkjum, yfirfalli og aðalstíflu og hitt beltið er milli bæjanna Kálfhóls og Króks og nefnist Kálfhólssprungan. Kálfhólssprungan liggur að vesturenda Vörðufells. Jarðskjálfti af stærðinni M6,25 átti upptök sín í sprungunni 5. september árið 1896. Merki um þriðja sprungubeltið hafa fundist 1 km austan við Kálfhólssprunguna á vesturbakka Þjórsár og er talið líklegt að það nái suður fyrir lónstæðið (Páll Einarsson, 2002).

Holtavirkjun.

Þann 17. júní árið 2000 átti jarðskjálfti af stærðinni M6,5 upptök sín í sprungu með stefnu N-S við vesturenda fyrirhugaðs lóns og stíflu. Þær sprungur sem hreyfðust og opnuðust í skjálftanum eru greinilegastar á svæðinu. Sprungunum má skipta í tvö sett, annað er í lónstæðinu við Hestafoss, þær sprungur eru galopnar. Hitt er um 0,5 km vestar, við Þinghóla, norðan lónstæðis og þverar það stíflustæði við vesturenda lónsins. Eldra sprunguhneppi er um 250 m vestan fyrirhugaðs stöðvarhúss. Mögulega er sprungusettt vestan Flagbjarnarholts og þverar þar lón- og stíflustæði allt að Minna Hofi norðan Þjórsár. Ummerki þess eru óljós og hefur sprungusettið ekki verið kortlagt (Marayam Khodayar o.fl., 2007b; Almenna Verkfræðistofan hf o.fl., 2006b; Páll Einarsson, 2002).

Hvammsvirkjun.

Þrjú sett af sprungum hafa fundist á svæðinu. Eitt er nálægt áformuðu stöðvarhúsi og þverar líklega vesturhluta fyrirhugaðra stíflu og fallpípu. Hin tvö settin eru 1 og 2 km vestar og þvera því hvorki stíflu né lónstæði (Marayam Khodayar o.fl., 2007a; Almenna Verkfræðistofan hf o.fl., 2006a; Páll Einarsson, 2002). Þann 26. ágúst, 1896 átti jarðskjálfti af stærðinni M6,5 upptök sín á sprungu sem liggur í stefnu N-S í gegnum Skarðsfjall og yfir vesturenda væntanlegs lóns og stíflu (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006). Austan Skarðsfjalls er mjög erfitt að greina sprungur í hrauninu við Þjórsá. Talið er líklegt að sprungur séu þar (Páll Einarsson, 2002). Árið 1732 átti jarðskjálfti af stærðinni M6,5 upptök sín á sprungu sem gæti þverað austurenda lónstæðisins (austan stíflu).

Rannsóknamiðstöð í jarðskjálftaverkfræði hefur reiknað árlegar líkur á hreyfingu af tiltekinni stærð ef upptök jarðskjálfta verða á misgengjum á virkjanasvæðinu (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008). Þær niðurstöður má nota til þess að meta á íhaldssaman hátt árlegar líkur á að tiltekin hreyfing verði á sprungu undir stíflum á svæðinu sem gæti e.t.v. leitt til stíflurofs, sjá umfjöllun í Kafla 4.1. Fjallað er um líkur á stíflurofi í Kafla 7.2.

3. Ysjun

„Ysjun er fyrirbæri sem á sér stað í jarðvegi þegar aukinn vatnsþrýstingur veldur minnkandi skerstyrk (burðarþoli) jarðefna, jafnvel svo að hann tapast algerlega.“ (Jón Skúlason o.fl., 2001).

Áraun frá jarðskjálfta getur valdið ysjun jarðlaga. Erlendar rannsóknir hafa sýnt að þjöppun hefur mikil áhrif á mótstöðu gegn ysjun og fer hún vaxandi með aukinni þjöppun. Líkur á ysjun í jarðskjálfta eru því litlar ef fyllingarefni eru vel þjöppuð gróf mól með lágu finefnahlutfalli.

Ysjun jarðlaga undir mannvirkjum getur þannig valdið tjóni á mannvirkjunum en koma má fyrir það með vali á fyllingarefni og þjöppun á undirstöðum mannvirkja, þ.e.a.s. séu þau á annað borð grunduð á jarðlögum sem hætta er á að ysjist.

4. Grunnvatn

Í jarðskjálftum getur grunnvatnsstreymi breyst tímabundið og grunnvatnsborð hækkað á svæðum þar sem jarðskorpan þrýstist saman og lækkað þar sem á henni tognar. Heitt

vatn getur einnig tekið að streyma á nýjum stöðum. Opnar sprungur og myndun nýrra getur verið forsenda fyrir nýtingu jarðhita.

Í jarðskjálftunum árið 2000 varð t.d. Geysir, sem er 40 – 50 km frá skjálftasvæðunum, virkur aftur eftir að gos höfðu að mestu legið þar niðri í um hálfra öld. Ennfremur jókst streymi heits vatns töluvert á stóru svæði í kringum sprungurnar tvær sem skulfu í skjálftunum. Aukning á streymi heits vatns til yfirborðs á svæðinu hefur verið áætlað að svari til um 100 MW (Ragnar Stefánsson o.fl., 2000).

3.1.4 Eldgos

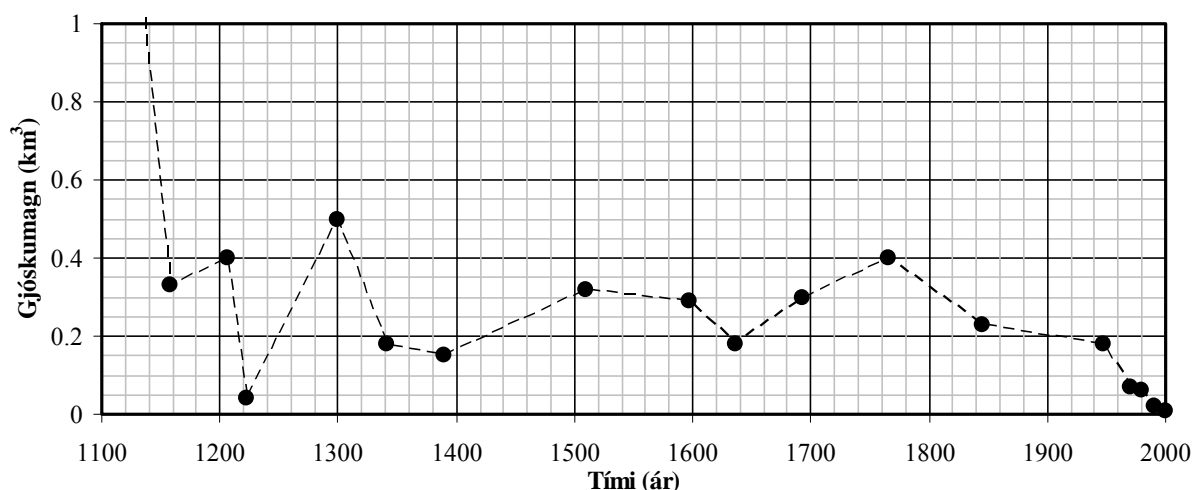
Hekla er ein af virkustu eldstöðvum landsins. Að minnsta kosti 18 gos eru þekkt í Heklu á síðustu 1000 árum. Síðustu aldir var endurkomutími Heklugosa um eitt til tvö gos á öld. Skyndileg breyting varð á um 1970 og Hekla hefur nú um sinn gosið á um 10 ára fresti, síðast 26. febrúar – 8. mars 2000. Upphafshrina hvers Heklugoss einkennist af öflugum þeytigosum með háum gosmekki (12 – 30 km) og gjóskufalli. Ummerki um gjóskufloð, þar sem gosmökkurinn fellur saman og skríður niður hlíðar Heklu hafa einnig fundist, nú síðast árið 2000 (Ármann Höskuldsson o.fl., 2007). Því lengra sem undanfarandi goshlé hefur verið, því öflugri hefur fyrsti gosfasinn að jafnaði verið (Sigurður Þórarinnsson 1967; Ármann Höskuldsson o.fl., 2007). Í næsta fasa gosanna er hraunrennsli ríkjandi. Hraun frá Heklu eru seig og stöðvast flest eftir að þau hafa náð niður í undirhlíðarnar.

Samband milli hegðunar Heklu og hreyfinga á Suðurlandsbrotabeltinu er ekki vel þekkt (Ragnar Stefánsson o.fl., 2006). Mælingar á kvikusöfnun djúpt undir Heklu benda til þess að Hekla hagi sér nú sem sjálfstæð eldkeila fremur en flekaskilaeldstöð sem stjórnast af flekahreyfingum. Mælingar sem gefa vísbendingu um þrýstingsbreytingar í kvikuhólfi Heklu benda til þess að þrýstingur í kvikuhólfinu hafi tekið að vaxa strax eftir gosið 2000 og virðist nú þegar vera orðinn hærri en hann var fyrir gosið. Hekla virðist því þegar vera tilbúin í næsta gos (Erik Sturkell o.fl., 2005).

Nokkur stórhlaup eru þekkt í Þjórsá vegna vikurstíflna, svokölluð vikurhlaup. Þau má rekja til stórgosa frá því fyrir um 3000 árum (H3), fyrir um 3800 árum (HSv) og fyrir um 4300 árum (H4). Óljós ummerki um vikurhlaup í Þjórsá í kjölfar goss árið 1104 er einnig að finna (Elsa G. Vilmundardóttir og Árni Hjartarson, 1985).

Á sögulegum tíma hafa hlaup oft komið í Ytri-Rangá í upphafshrinu Heklugosa (1300, 1766, 1845, 1947). Snjór og jökull bráðnar af fjallinu þegar heit gjóska fellur yfir eða flæðir niður hlíðarnar og bræðsluvatnið rennur niður í Rangárbotna. Í Heklugosinu 1947 er talið að 0,003 km³ vatns hafi hlaupið í Ytri-Rangá. Olli hlaupvatnið umtalsverðum vatnsborðshækkunum í ánni (Elsa G. Vilmundardóttir og Árni Hjartarson, 1985). Auk þess getur gjóskufall valdið truflunum á rennsli og skammægum stíflum sem bresta með tilheyrandi vatnagangi og vikurburði. Í stórum gosum, t.d. árið 1300 hefur öskufall einnig valdið truflunum á rennsli Þjórsár (Elsa G. Vilmundardóttir og Árni Hjartarson, 1985).

Á Mynd 3.1.7 hefur áætlað gjóskumagn í Heklugosum á sögulegum tíma verið teiknað sem fall af tíma. Síðasta gos varð í Heklu árið 2000. Á næstu 50 árum getur hámarkshvildartími eldfjallsins orðið um 60 ár. Sé gengið út frá gossögunni á Mynd 3.1.7 má ætla að ólíklegra en ella sé að stórt gjóskugos eigi sér stað á þessum tíma, svipað gosum 1947, 1845, 1766, og 1300. Þau gos ollu vikurstíflum í Rangá og höfðu einnig áhrif á rennsli Þjórsár (Elsa G. Vilmundardóttir og Árni Hjartarson, 1985). Goshlé fyrir gos af þeirri stærðargráðu hafa varað í 50 – 120 ár. Ennfremur má gera ráð fyrir að líklegast sé að Hekla hegði sér áfram á sama hátt og hún hefur gert síðustu þrjá áratugi eða jafnvel að goshlé stýttist (Ágúst Guðmundsson o.fl., 1992). Ef sú yrði raunin má búast við minni gosum í Heklu á um 10 ára fresti.

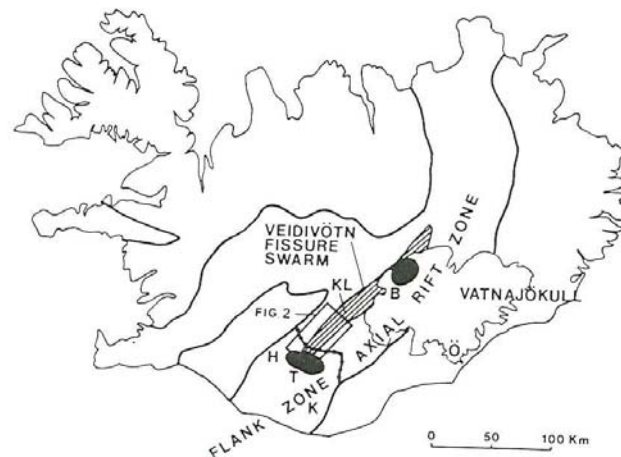


Mynd 3.1.7 Gjós-kumagn í Heklugosum á sögulegum tíma (Guðrún Larsen o.fl., 1999).

Vindátt í upphafi Heklugoss (fyrstu klukkustundirnar) stýrir dreifingu á stærsta hluta gjóskunnar og ræður því hversu mikið gjóskufall verður á Þjórsásvæðinu. Í gosinu árið 2000 blés til dæmis úr suðvestri og dreifðist gjóska til norðurs og norðausturs. Fyrsti gosfasinn var skammlífur og lækkaði hæð gosmakkarins úr um 12 km hæð niður í um 6 km hæð á u.þ.b. 12 klst. Stefna gosmakkar í rúmlega helmingi gosa á sögulegum tíma hefur verið í norður, norðvestur og norðaustur en í tæplega helmingi gosa hefur gosmökkurinn tekið stefnu í suður, suðvestur eða suðaustur (Guðrún Larsen o.fl., 1999). Síðustu þrjú áhrundruð hefur stefna gosmakkar frá Heklu verið í norðurvestur, norður eða norðaustur (1693, 1766, 1970, 1980, 1991 og 2000). Í þeirri stefnu verða áhrif gjóskufalls mest ofarlega í Þjórsá og berast niður með ánni.

Eitt stórt hraunflóð frá Heklu hefur náð inn á Neðri-Þjórsásvæðið á nútíma (Snorri P. Snorrason o.fl., 2007b og 2007c). Þjórsáhraunið, sem er stærsta nútímahraun á Íslandi (Árni Hjartarson, 1994), rann af Veiðivatnasvæðinu alla leið suður að Eyrarbakka fyrir um 8700 árum.

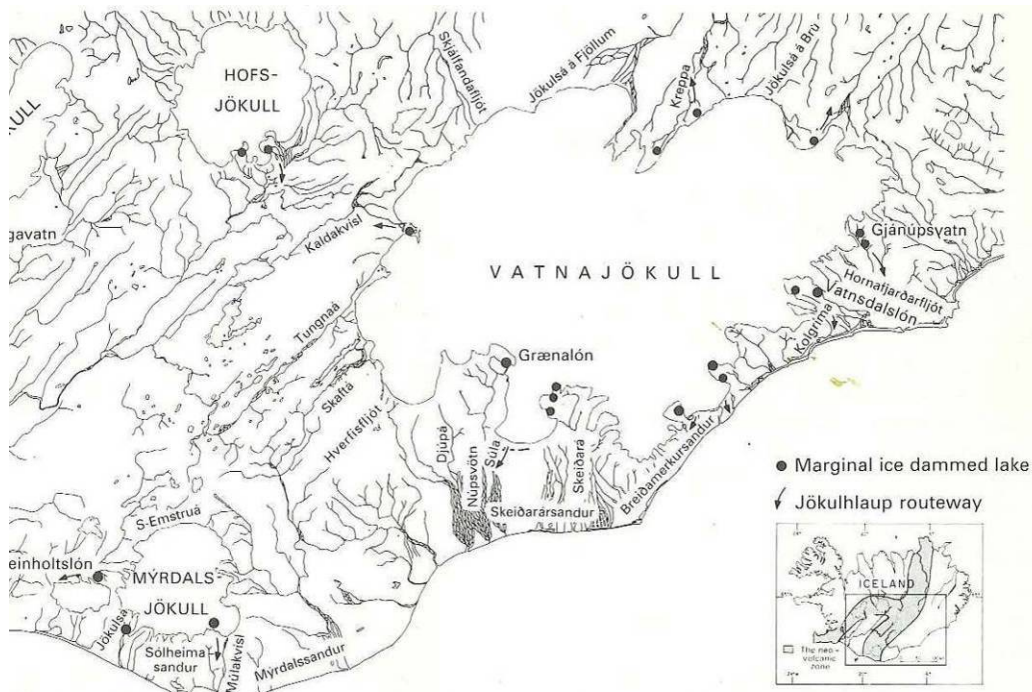
Þrjú gos hafa orðið á Veiðivatnasprungukerfinu, sem er ofar á vatnasviði Þjórsár, síðustu 2700 ár, sjá Mynd 3.1.8. (Guðrún Larsen, 1984, 2005). Þau hafa orðið með 600 – 800 ára millibili, síðast nálægt árinu 1477, á allt að 67 km löngum, ósamfelldum sprungum. Gosefnin í hverju þessara gosa svara til um 1–2 km³ af þéttu bergi. Allar þrjár sprungurnar þvera farveg Tungnaár og hafa gosefni stíflað hana tímabundið. Um 140 ferkílómetra lón með um 1 km³ miðlunarrými, nefnt Langalón, er talið hafa myndast í Veiðivatnadældinni og í farvegi Tungnaár eftir gosið í Vatnaöldum um 870 (Guðrún Larsen, 1984; 2005). Þegar gjóskustíflan brast og lónið hljóp fram rann hlaupvatn um Tungnaá og hraunin sunnan og vestan hennar, en ekki hafa fundist merki um að Þjórsá hafi flætt upp úr farvegi sínum (Guðrún Larsen, samtöl í apríl og maí 2008). Því má telja líklegt að hámarksrennsli hafi ekki farið yfir 10 000 m³/s (Magnús T. Guðmundsson, samtöl apríl 2008). Ennfremur er talið líklegt að á næstu 100 – 300 árum megi búast við eldgosi sem þessum á svæðinu (Guðrún Larsen, 1984), en aðstæður til að mynda svo stórt lón eru ekki lengur til staðar. (Guðrún Larsen, samtöl apríl og maí 2008).



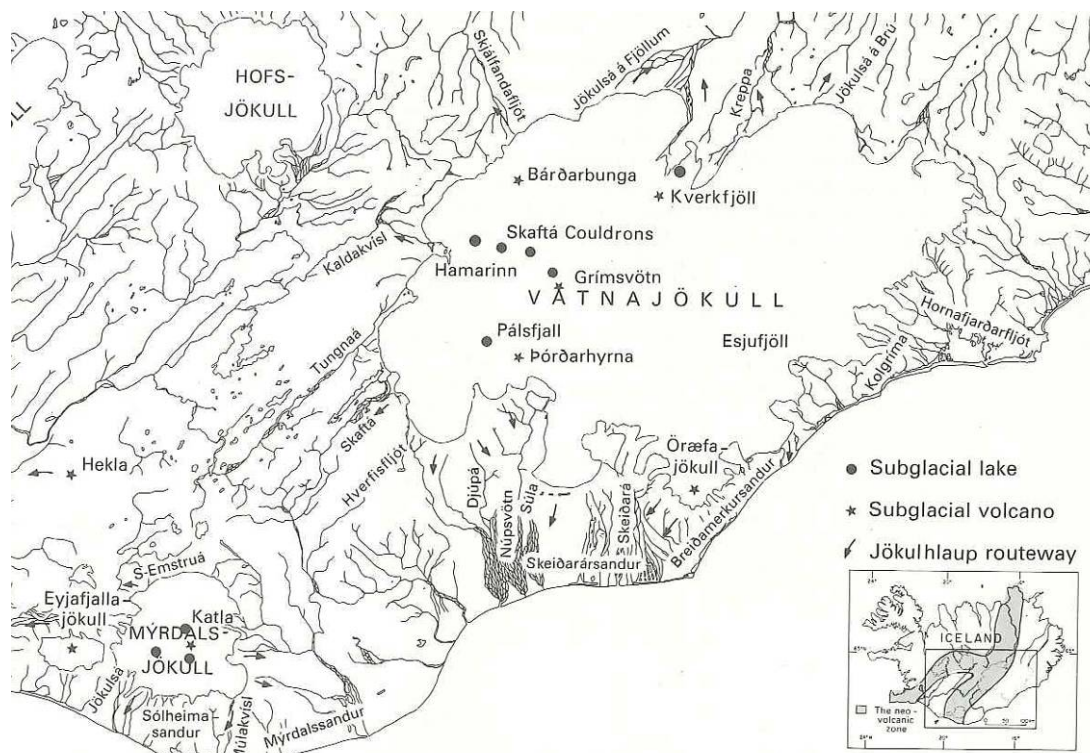
Mynd 3.1.8 Veidivatnasprungubeltið. B: Bárðarbunga, K: Katla, T: Torfajökull, KL: Klofnafell, H: Hekla og Ö: Öræfajökull (Guðrún Larsen, 1984).

3.1.5 Jökulhlaup

Vatnssöfnun í og við jökla og hlaup sem bráðnun jökulvatns hefur í för með sér eru gjarnan flokkuð í þrennt eftir eðli þeirra (Helgi Björnsson, 1992). Hlaup sem rekja má til 1) vatna undir jökli á jarðhitasvæðum, s.s. Skaftárhlaup, 2) hlaup sem myndast við bráðnun jökuls við eldgos undir jökli s.s. Kötluhlaup og 3) jökulstífluð vötn sem myndast úr bráðunarvatni við jökuljaðar, svokölluð jökullón, t.d. Grænalón. Mynd 3.1.9 sýnir jökullón á Íslandi á síðustu öld og stefnu jökulhlaupa úr lónunum (Helgi Björnsson, 1992). Mynd 3.1.10 sýnir staðsetningu eldstöðva og vatna undir jökli og farvegi jökulhlaupa á sögulegum tíma (Helgi Björnsson, 1992). Bent er á að gosið í Gjálpi átti sér stað eftir gerð þessarar myndar.



Mynd 3.1.9 Jökullón á Íslandi á síðustu öld og stefna jökulhlaupa úr lónunum (Helgi Björnsson, 1992).

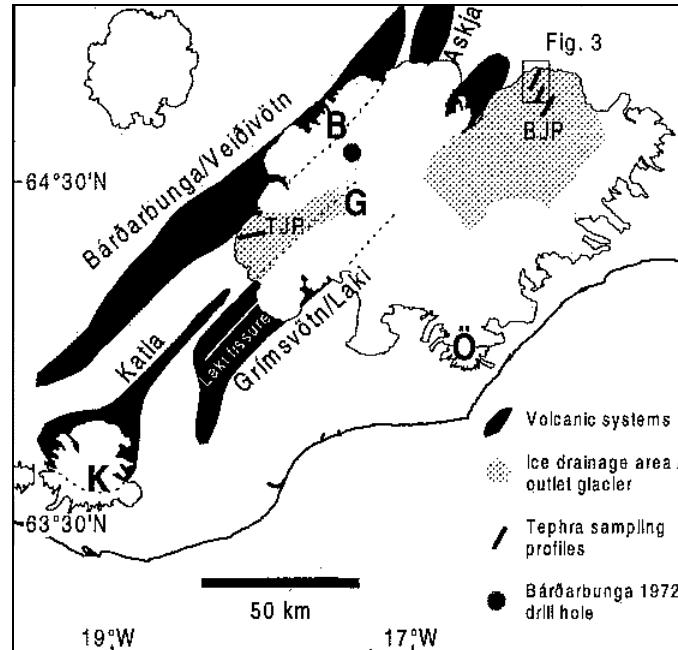


Mynd 3.1.10 Staðsetning eldstöðva og vatna tengdra jarðhita undir jökli og leið jökulhlaupa frá þeim á sögulegum tíma (Helgi Björnsson, 1992).

Vatnaskil Þjórsár- Tungnaásvæðisins liggja um vesturhluta Vatnajökuls og stóran hluta Hofsjökuls. Jökulhlaup frá bæði Vatnajökli og Hofsjökli geta því valdið flóðum inn á svæðið. Vatnajökull er um 8 100 km² að flatarmáli og er að stórum hluta 400 – 700 m þykkur (Helgi Björnsson o.fl., 1992; Magnús T. Guðmundsson o.fl., 2004). Vesturhluti jökulsins liggur yfir hluta af austara gosbelti landsins. Nokkur eldstöðvakerfi ná inn undir jöklinum (sjá Mynd 3.1.11). Hvert þeirra er gjarnan nokkrir tugir kílómetra að lengd og megineldstöðvar þriggja þessara eldstöðvakerfa, sem eru virkasti hluti þeirra, eru undir jöklinum (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 1998). Eldvirkni undir jöklinum virðist vera lotubundin með 130 – 140 ára lotu (Guðrún Larsen o.fl., 1998). Eldvirkni síðustu ára virðist benda til að lota með mikilli eldvirkni undir jöklinum sé hafin (Guðrún Larsen o.fl., 1998; Magnús T. Guðmundsson, 2004).

Gos á vestasta hluta þessa svæðis gætu valdið jökulhlaupum til vesturs út í Köldukvísl og Tungnaá. Hvorki eru til heimildir um né hafa fundist merki um stórflóð sem hafa yfirfyllt farvegi ána (hámarksrennsli um 10 000 m³/s) í kjölfar goss undir jökli (Guðrún Larsen og Magnús T. Guðmundsson, samtal apríl 2008). Því er talið ólíklegt að slíkt stórflóð hafi átt sér stað á nútíma, eða síðan Vatnajökull fékk sína núverandi mynd, fyrir um 2000 árum síðan. Leit að setlögum á Suðurlandi kringum Þjórsá gagngert til að kanna slíkt hefur aftur á móti ekki farið fram (Magnús T. Guðmundsson, samtal apríl 2008). Gljúfur er á milli Hágöngu og suðurhlíða Syðri Hágöngu sem nær alveg upp að Köldukvísl en endar þar í grjótstíflu. Talið er að farvegur Köldukvíslar hafi áður legið um gljúfrið meðfram hraunjaðrinum suður fyrir Skrokköldu og í Þjórsá. Ummerki eru um stórt flóð í gamla farveginum, en aldur þess og uppruni er ekki þekktur. Vera má að grjótstíflan hafi myndast í því flóði og að áin hafi grafið sér núverandi farveg sem liggur um Köldukvíslarhraun en aldur þess og uppruni er ekki þekktur (Sigmundur Freysteinsson, 1972). Ummerki, sem gætu verið eftir stórt jökulhlaup í ísaldarlok, fyrir 10 000 – 11 000 árum, má finna víða við Þjórsá. Þar er einkum um að ræða þykka svarta gjósku undir Þjórsárrauninu (Snorri P. Snorrason o.fl., 2007b; Snorri P. Snorrason o.fl.,

2007c). Færa má rök fyrir því að gosið hafi átt upptök sín í Vatnajökli, hugsanlega nálægt Skaftárkötlum og Hamrinum (Snorri P. Snorrason, samtal maí 2008).



Mynd 3.1.11 Eldstöðvakerfi sem framleitt hafa gjóskulög sem fundist hafa á Vatnajökli (Guðrún Larsen o. fl. 1998). B: Bárðarbunga, G: Grimsvötn, K: Katla.

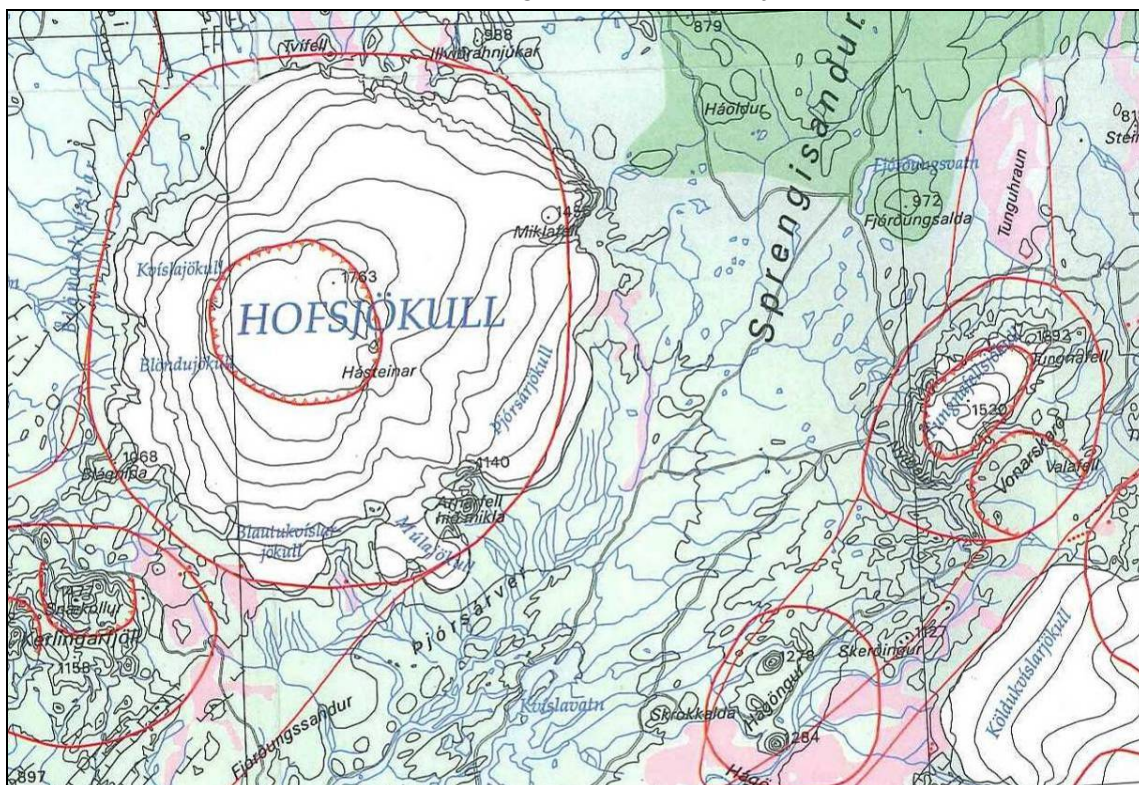
Ennfremur hafa orðið 4 stórgos á síðustu 1 000 árum á svæðinu, utan Vatnajökuls (að meðtöldum Skaftáreldum og gosi í Eldgjá). Yrði gos af þessari stærðargráðu undir jökli, og jafnvel þó aðeins hluti sprungu væri í jöklinum, ylli slíkt gos hlaupi sem næmi nokkrum tugum þúsunda m^3/s (Magnús T. Guðmundsson, samtal maí 2008). Þó svo jökulhlaup af þessari stærðargráðu séu ekki þekkt á þessu svæði síðustu 2 000 árum, eða síðan Vatnajökull tók sína núverandi mynd, benda gosin til þess að stór jökulhlaup gætu orðið tíðar en á 2 000 ára fresti.

Engin stórhlaup eru þekkt úr Hofsjökli á nútíma, eða síðan jökullinn fékk u.þ.b. sína núverandi mynd, fyrir um 2000 árum síðan (Oddur Sigurðsson, samtal maí 2008). Í dag er Hofsjökull að stórum hluta um 200 – 400 m þykkur og um $900 km^2$ (Oddur Sigurðsson, 2001). Jökullinn hvílir á einu mesta eldfjalli Íslands, með um 650 m djúpa og 8 km breiða öskju. Ís rennur úr skarði í öskjunni til vesturs niður á vatnasvið Blöndu (Oddur Sigurðsson, 2001). Frá Hofsjökli liggja mikil sprungukerfi til suðvesturs um Kerlingarfjöll og til norð-norðvesturs um Hofsafrétt og Eyvindarstaðaheiði (Oddur Sigurðsson, 2001).

Líklegt er talið að Hofsjökull hafi gosið um 5 sinnum á nútíma, á meðan jökullinn var minni um sig og því hafi jökulhlaup ekki fylgt gosunum (Oddur Sigurðsson, samtal maí 2008). Samkvæmt jarðfræðikortum er eitt nútímahraun þekkt út frá jöklinum til suðurs, sjá Mynd 3.1.12 (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Tvö slík hraun eru norðan jökulsins og eitt austan hans. Ef gert er ráð fyrir að jökulhlaup leituðu í svipaðar áttir og að eitt óþekkt hlaup hafi runnið til suðurs eða austurs væri tíðni hlaupa inn á vatnasvið Þjórsár að hámarki $3/10\,000$ á ári. Hlaupvatn úr sjálfri öskjunni rynni til vesturs í Blöndu um áðurnefnt skarð.

Tungnafellsjökull liggur á milli Vatnajökuls og Hofsjökuls. Jökullinn er um $40 km^2$. Gos í jöklinum gætu valdið jökulhlaupum til vesturs út í Þjórsá, eða austurs eða norðurs út í Skjálfafljót. Jökullinn er megineldstöð, vestan við Bárðarbungu-Veiðivatna eldstöðvakerfið. Í jöklinum er um 4 – 10 km breið og allt að 200 m djúp askja. Hlaup frá jöklinum eru ekki þekkt og nútímahraun liggja ekki út frá honum, samkvæmt jarðfræðikortum (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Stærð jökulsins takmarkar ennfremur stærð jökulhlaupa frá

honum. Tíðni hlaupa yfir á vatnasvið Köldukvíslar og Þjórsár frá jöklinum gæti því verið metin minni en 1/10 000 á ári, með sömu rökum og nefnd eru um Hofsjökul hér að framan.



Mynd 3.1.12 Jarðfræðikort Náttúrufræðistofnunar Íslands, bleikur litur táknar nútímahraun (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998). Hofsjökull og Tungnafellsjökull. Breidd Hofsjökuls öskjunnar er um 8 – 10 km.

Nokkur minni hlaup eru þekkt inn á Þjórsár- Tungnaársvæðið frá Vatnajökli vegna bæði jarðhita undir jökli og smáhlaup hafa einnig komið úr jökullónum og vegna tæmingar jökullóna við suðurrætur Hofsjökuls. Stærð slíkra hlaupa minnkar þegar jöklar þynnast þar sem ísstíflur þynnast og hámarks rúmmál vatnanna minnkar (Helgi Björnsson, 1992).

Helstu jökulhlaup sem geta tekið stefnu inn á Þjórsár- Tungnaársvæðið og valdið flóðum í Þjórsá, Köldukvísl eða Tungnaá sem enda í Þjórsáeru talin upp hér að neðan:

1. Jökulstífluð vötn á jarðhitasvæðum undir jökli

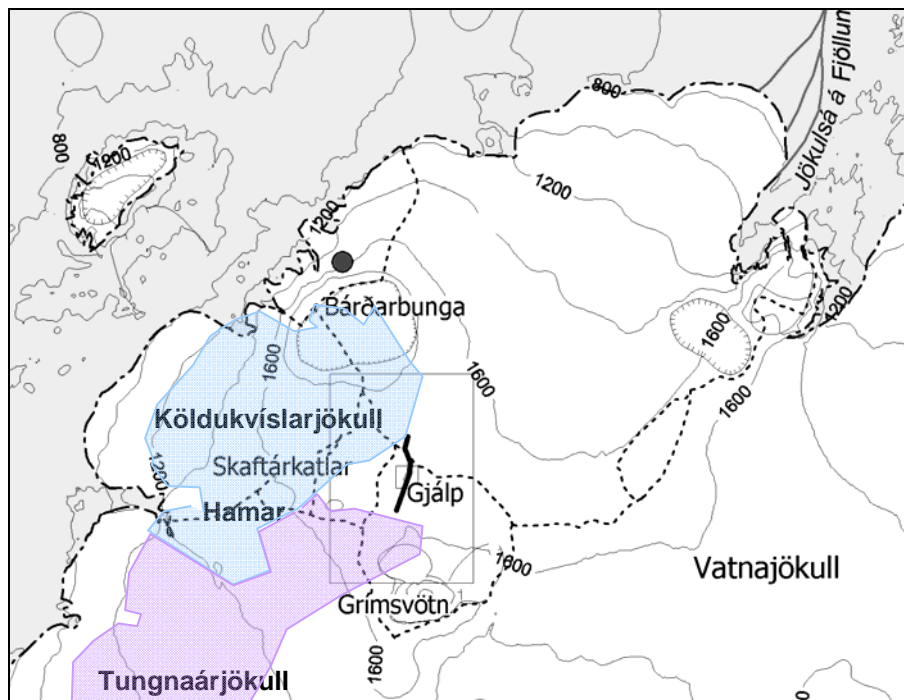
Hlaup úr dæld vestan Skaftárkatla í Vatnajökli geta valdið flóðum í Köldukvísl (Helgi Björnsson, 1992). Samkvæmt jökulhlaupaánnál 1989-2004 (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005) eru þau ekki þekkt síðustu tvo áratugi. Ketill í vesturbrún Bárðarbungu hefur valdið hlaupum í Bálká í Vonarskarði sem rennur í Köldukvísl. Ekki hefur orðið vart við hlaupin á síðustu tuttugu árum (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005). Ketillinn er lítill og getur varla orsakað stærri hlaup en um $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Magnús T. Guðmundsson, samtal maí 2008). Mikil aurkeila í Vonarskarði undan upptökum Bálkár sýnir að þar hefur komið stórhlaup eða (líklegra) margendurtekin hlaup (Oddur Sigurðsson, samtal maí 2008).

Mat á mögulegu hámarksrennsli í hlaupum sem þessum, mætti e.t.v. miða við hámarksstærð hlaupa úr Skaftárkötlum síðustu tvo áratugi. Stærstu hlaup úr Skaftárkötlum hafa numið að hámarki $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005).

2. Eldgos undir jökli

Gos úr þeim hluta Bárðarbungu–Veiðivatna eldstöðvakerfisins sem liggur undir Vatnajökli geta valdið flóðum í Köldukvísl. Gjósulög úr 17 gosum á Bárðarbungu – Veiðivatna-eldstöðvakerfinu eru þekkt frá síðustu 800 árum (Guðrún Larsen o.fl., 1998), þar af urðu sjö gos á 40 ára tímabili í hrinu eldgosa þar snemma á 18. öld. Á þeim hluta kerfisins sem liggur undir Vatnajökli hefur gosið á u.þ.b. 100 ára fresti, líklega síðast árið 1910 (Guðrún Larsen, 1984). Vart varð við minni háttar eldvirkni á svæðinu árið 1996 í tengslum við gosið í Gjalp, sjá umfjöllun hér að neðan.

Bárðarbunga er talin vera megineldstöð kerfisins. Í henni hefur myndast askja sem er um 10 km í þvermál og 400–800 m djúp. Askjan getur safnað umtalsverðu vatnsmagni og jökulhlaup úr öskjunni orðið stór hamfaraflóð. Stærstur hluti Bárðarbunguöskjunnar er innan vatnasviðs Jökulsár á Fjöllum, Mynd 3.1.13. Talið er að Jökulsárgljúfur gætu hafi grafið í hlaupi frá Bárðarbungu eða Kverkfjöllum og að rennslið hafi numið að hámarki 400 000 m³/s (Helgi Björnsson, 1992). Slík hamfaraflóð til vesturs úr Bárðarbungu eru ekki þekkt síðan Vatnajökull tók á sig núverandi mynd fyrir um 2 000 árum.



Mynd 3.1.13 Vesturhluti Vatnajökuls og vatnasvið í jöklinum fyrir Gjalpargos eru samkvæmt korti Raunvísindastofnunar og Landsvirkjunar (Magnús T. Guðmundsson, 2004). Skyggð svæði sýna gróflega vatnasvið Köldukvíslar og Tungnaár.

Gos við Hamarinn undir Köldukvíslarjökli myndi líklega hlaupa strax fram og hámarks rennsli að öllum líkindum vera nokkrum stærðargráðum minna en hamfaraflóðs úr Bárðarbungu. Talið er líklegt að gos í vesturhluta Vatnajökuls árið 1910 hafi verið nálægt Hamrinum (Sigurður Þórarinsson, 1974). Því gosi fylgdu engin jökulhlaup. Því er talið líklegt að gosið hafi verið nálægt jökuljaðrinum þar sem jökullinn er þunnur (Sigurður Þórarinsson, 1974). Gos mitt á milli Bárðarbungu og Grímsvatna, í Gjalp 1996 er dæmi um sprungugos undir þykkari hluta Vatnajökuls. Vatn frá gosstöðinni rann strax fram og inn í Grímsvötn, þar sem það safnaðist fyrir. Hámarksrennsli frá gosstöðinni inn í Grímsvötn nam um 8 000 m³/s, eða að meðaltali um 5 000 m³/s yfir sólarhringinn (Magnús T. Guðmundsson, 1997, Magnús T. Guðmundsson o.fl., 2004). Gosið var sprungugos á um

6 km langri sprungu. Þykkt jökulíss ofan á sprungunni nam í upphafi goss um 550-750 m (Magnús T. Guðmundsson, 2004).

Gos undir Tungnaárjökli gæti veitt hlaupvatni út í Tungnaá. Slíkt er talið hafa átt sér stað sumarið 1766. Í heimildum er getið um allmikil hlaup í Þjórsá sem talin eru hafa stafað af hlaupum í Tungnaá vegna gossins (Sigurður Þórarinnsson, 1974). Hlaupin hafa líklega ekki flætt út fyrir farvegi Tungnaár og Þjórsár.

Eldgos undir Hofsjökli, utan sjálfrar öskjunnar geta valdið stórhlaupum í Þjórsá. Mat á stærð slíkra hlaupa hefur ekki farið fram. Ef þau renna strax undan jöklinum þar sem hann er um 200 – 400 m þykkur væri e.t.v. um nokkur þúsund m^3/s af hlaupvatni að ræða.

3. Jökullón

Hamarslón og Hvítalón eru staðsett í Hamarskrika vestan Hamarsins milli Köldukvíslarjökuls og Sylgjujökuls. Lónin hafa tekið tíðum breytingum undanfarna áratugi. Hvítalón fyllist þegar Köldukvíslarjökull gengur fram og Hamarslón þegar Sylgjujökull hleypur fram. Jökulhlaup úr Hvítalóni eða Hamarslóni eru talin árviss um nokkurra ára skeið í senn, þegar jöklarnir eru í vissri stöðu (Sigmundur Freysteinnsson, 1972). Sigmundur Freysteinnsson (1972) mat hámarksrennsli úr lónunum nokkur hundruð m^3/s .

Við suður rætur Hofsjökuls eru þrjú jökullón sem veita hlaupvatni í Þjórsá (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005). Líklega er tæming lónanna árviss atburður (Oddur Sigurðsson, samtal maí 2008). Lónin eru vestan Nauthagajökuls, milli Nauthagajökuls og Múlajökuls og Jökulker, austan við Múlajökul. Hlaupa úr vestasta lóninu hefur orðið vart nær árlega síðustu tuttugu ár. Hámarksrennsli í hlaupum hefur mælst um $100 m^3/s$ (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005). Hlaupa úr Jökulkeri gætir ekki á vatnshæðarmæli í Þjórsá við Norðlingaöldu (Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005).

Með tilliti til þeirra upplýsinga sem hér hafa komið fram er eftirfarandi fyrsta mat á stærðum og hugsanlegri tíðni jökulhlaupa inn á vatnasvið Þjórsár og Tungnaár sett fram. Búast má við því að tæming jökullóna inn í Köldukvísl og Þjórsá séu árvissir atburðir og að þeir geti haft í för með sér rennislisaukningu sem er að hámarki nokkur hundruð m^3/s . Á næstu áratugum má einnig gera ráð fyrir að jarðhiti undir Vatnajökli valdi hlaupum í Köldukvísl. Við núverandi aðstæður yrði hámarksrennsli í slíku hlaupi um $100 m^3/s$ en mögulegt hámarksrennsli gæti numið um $1200 m^3/s$ ef aðstæður breyttust. Eldgos undir Vatnajökli geta valdið hlaupum í Köldukvísl og Tungnaá. Rennsli slíkra hlaupa er breytilegt frá nokkur hundruð m^3/s upp í tugi þúsunda m^3/s eftir umfangi og staðsetningu eldsumbrota. Hámarksstærð slíks atburðar, t.d. út úr Bárðarbunguöskjunni hefur ekki verið metin. Gera má ráð fyrir að tíðni hlaupa af stærðargráðunni nokkur þúsund m^3/s geti verið 1/500 á ári, sbr. gosið undir Tungnaárjökli 1766 en tíðni stórra jökulhlaupa með rennsli um eða yfir $10\,000 m^3/s$ sé e.t.v. um 1/1 000 á ári, að teknu tilliti til þeirra fjögurra storgosa sem orðið hafa í nágrenni jökulsins á síðustu 1 000 árum. Eldgos undir Hofsjökli geta valdið stórhlaupum, e.t.v. með nokkur þúsund m^3/s rennsli inn í Þjórsá. Tíðni slíkra atburða gæti verið um 1/3 000 á ári.

Eins og áður segir er hér um bráðabirgðamat að ræða á stærð og tíðni jökulhlaupa inn á vatnasvið Þjórsár og Tungnaár út frá þeirri vitneskju sem liggur fyrir í dag. Frekari rannsóknir og úttekt þarf að fara fram svo hægt sé að setja matið fram af meiri vissu.

3.2 Ísalög

3.2.1 Aðstæður fyrir tíma virkjana á Þjórsársvæðinu

Greinargóð lýsing á Þjórsárisum fyrir daga virkjana og miðlana er í grein Sigurjóns Rist í Jökli (Sigurjón Rist, 1962). Upphaflegt rennsli Þjórsár var mjög breytilegt með tíðarfari og árstíma, enda er hún blanda af dragám, jökulám og lindám. Vetrarrennsli var jafnan miklu minna en sumarrennsli og gat áin orðið mjög lítil í miklum frostum. Stórflóð að vetrarlagi voru þó ekki óalgeng.

Venjuleg ísalög um miðjan vetur voru þannig að efsti hluti ána, Þjórsár, Tungnaár og Köldukvíslar, var lokaður. Geysimikil straum- og lindavök var upp Þjórsá að Tungnaá og áfram upp Tungnaá að Hófsvaði og Köldukvísl að Sauðafelli. Gríðarlegt ísskrið (krap) myndaðist á þessu svæði í frostum. Ísskriðið barst niður fyrir Þjófafoss sunnan við Búrfell og hrannaðist upp á eyrunum vestan Búrfells. Hrönnin byrjaði að myndast upp frá spöng í þrengslum við Lambhaga neðan eyranna. Hrönnin gat orðið stærsta hrönn á vatnasviðinu; samkvæmt mælingum var rúmtak hrannarinnar 30-milljón m³ í mars 1965. Lengd hrannarinnar var um 7 km og mesta þykkt um 15 m. Þessi hrönn var ekki til vandræða og ágangur fylgdi henni ekki, nema neðst í Fossá.

Yfirleitt kom lítill ís undan hrönninni. Í vetrarbyrjun var samfelld vök þaðan og allt í sjó fram, en í miklum frostum lokaðist áin niður að Gaukshöfða. Vökin hélst oft allan veturinn niður fyrir Urriðafoss, stundum slitin sundur í Þjórsáholtsgljúfrum og við Árnes. Í Þjórsáholtsgljúfrum var jafnan spöng. Stundum lokaðist Þjórsá vestan Árness við Þrándarholt og hrönn óx upp farveginn, jafnvel upp fyrir Búða og upp í Þjórsáholtsgljúfur. Þessu fylgdu vatnsborðshækkunarir, en ágangur var ekki mikill.

Á Skeiðum lokaðust allir minni álar, en samfelld straumvök var allajafna allt niður fyrir Urriðafoss. Á Skeiðum safnaðist krapíð í íslummur sem frusu saman í jaka. Í mestu aftökum gat áin lokast upp með Skeiðum, t.d. í mars 1967. Samkvæmt korti Sigurjóns Rist var mesta vatnsborðshækkun frá venjulegu vatnsborði 2 m og 4-6 m neðan við Árnes.

Í gljúfrunum hjá Þjótanda tættist skriðið sundur og varð aftur að sundurlausu krapí. Í vetrarbyrjun barst það niður fyrir Urriðafoss og þaðan til sjávar, um 18 km vegalengd.

Á áreyrunum ofan við Þjórsárós, þar sem straumur er lítill og háður stöðu sjávar, stöðvaðist skriðið og fraus saman og ísþekjan skreið upp eftir ánni að Urriðafossi. Frá Urriðafossi að Egilsstöðum hrannaðist ísinn upp. Hrönnin var hæst við Urriðafoss, allt að 18 m og skreið með rykkjum og skrykkjum niður farveginn. Þegar hrönnin var hæst gekk hún upp á tún á Urriðafossi og bæjarlækurinn stóð uppi og lónaði hátt upp í hlaðvarpabrekku þannig að ófært var um veginn hjá bænum. Enginn ágangur var við bakkaháan farveginn niður fyrir Egilsstaði. Fyrir neðan Egilsstaði skreið hrönnin út á eyrarnar. Vatnsborðshækkun efst eyrunum gat orðið 5 m samkvæmt grein Sigurjóns og mikill ágangur, einkum á vesturbakkanum. Áin fór upp úr farveginum neðan við Villingaholt og Mjósyndi og gat flæmst um mýrarnar niður undir Fljótshóla. Nánari lýsing á áganginum þarna á fyrri árum er ekki tiltæk.



Mynd 3.2.1 Ágangur á vegi milli Villingaholts og Egilsstaða í mars 1997.

3.2.2 Breytingar eftir virkjanir í Efri Þjórsá og Tungnaá

Með virkjunum og miðlunum í Þjórsá ofan Búrfells breyttust rennslishættir, aurburður og ísalög vatna mjög.

Fyrsta virkjunin, Búrfellsvirkjun, 1969-1972, hafði engin áhrif á ísalög, og voru mannvirki hönnuð til að skola ísnum framhjá virkjuninni. Þetta gekk þó ekki alltaf sem skyldi og rennsli til virkjunarinnar truflaðist oft vegna hranna ofan við ísskolunarvirkin. Með Þórisvatnsmiðlun, 1971-1972, bötnuðu rekstararaðstæður nokkuð. Ís frá Tungnaá ofan Sigöldu stöðvast allur í lóninu eftir byggingu stíflunnar. Með Hrauneyjafossstíflu, 1981, minnkaði virkur vatnsflötur enn. Ísskrið við Búrfell var þó áfram mikið allt þar til Sultartangastíflavar byggð 1983. Með tilkomu Sultartangavirkjunar, 2000, og mjóum skurði í stað Þjórsárfarvegarins neðan Sultartanga má segja að ísvandamál við Búrfell séu úr sögunni. Ístruflanir nú eru helst vegna grunnstinguls á ristum við Hrauneyjafoss og Búrfell, en þetta er leyst með því að taka ristarnar upp.

Með tilkomu Sultartangastíflu tók fyrir grófkorna aurburð frá Efri-Þjórsá og Tungnaá þar sem einungis fínasti aurinn nær að berast í gegnum lónið. Áin hefur lækkað og mjókkað verulega ofan Gaukshöfða þar sem upptökugeta hennar á aur í farvegi (grafargeta hennar) jókst við það að missa aurinn ofan að í lón. Á nokkurra kílómetra kafla neðan við Árnes er meginhluti árinna nú í vel þróuðum farvegi sunnan og austan við eyrnar, en tiltölulega lítil kvísl, Murneyrakvísl, er norðan megin. Neðst á Skeiðum er aurburður ennþá mikill þar sem áin hefur haft langan kafla neðan við Búrfell til að byrgja sig upp að nýju, einkum í flóðum.

Á vetrum er rennsli Neðri-Þjórsár aðeins frárennsli Búrfellsvirkjunar auk Fossár, Þverár og lækja og lindainnrennslis, nema í flóðum eða þegar vatni er veitt framhjá Búrfelli af öðrum ástæðum. Rekstur Búrfellsvirkjunar hófst haustið 1969 og var virkjað rennsli þá 113 m³/s. Á tímabilinu nóv. 1971 fram í júlí 1972 bættust við þrjár vélar og var virkjað rennsli þá orðið 225 m³/s. Eftir endurnýjun véla og búnaðar 1997-98 er virkjað rennsli Búrfellsvirkjunar 270 m³/s.

Á árunum 1969 til 1984 voru farnar 19 flugferðir á vegum Landsvirkjunar til könnunar á ísalögum Þjórsár. Haustið 2000 hófust ísaathuganir aftur í Neðri Þjórsá á vegum Landsvirkjunar. (LV, 2002a og b, 2003 og 2006a) Fyrst beindust athuganir einkum að Urriðafosshrönn, en síðar að allri ánni frá Búrfelli til sjávar og stundum einnig ofar. Athugunum 2005 til 2008 hafa verið gerð skil í skýrslum. Veturna 2005-06 og 2006-07 var ísmyndun hverfandi lítil og sömuleiðis haustið 2007. Á árunum 2002 til 2005 voru farnar tíu flugferðir til ísaathugana. Kort af opnum vatnsfleti neðan Búrfells voru gerð fjórum sinnum. Dagsetningar og fleiri upplýsingar í sambandi við fyrrnefnd kort eru í töflu 3.2.1.

Tafla 3.2.1 Dagsetningar og upplýsingar úr ísaathugunum í flugferðum. Opinn vatnsflötur þegar áin er auð er um 38 km².

Dags.	Rennsli, m ³ /s	Opinn vatnsflötur neðan Búrfells, km ²
2003 09 22	345 ístruflað	13,9
2004 01 29	283	14,1
2004 02 02	275	13,7
2005 01 20	265	15,6

Í stuttu máli eru niðurstöður ofangreindra athugana að ísalög frá Búrfelli til sjávar eru í stórum dráttum eins og fyrir tíma virkjana að öðru leyti en því að Búrfellshrönnin er úr sögunni. Vatn frá Búrfellsvirkjun er allajafna mjög kalt að vetrarlagi, vel innan við 1°C, og í frostum byrjar ísmyndun 1 til 2 km neðan stöðvarinnar. Oft er samfelld vök niður fyrir Urriðafoss og þegar hrönnin myndast getur hún orðið jafnmikil og áður. Þó hefur það komið fyrir að áin lokist ofan við Gaukshöfða og einnig hafa hrannir myndast við Þjórsárholt og neðan Búða. Dæmi eru um að áin hafi lokast á Skeiðum frá Árnesi niður að Kaldárholti. Í desember 1973 hafði

Urriðafosshrönnin náð upp fyrir gljúfrið hjá Þjótanda og sennilega allt upp að Króki og var þá allt lokað á Skeiðum. Rennsli við vatnshæðarmæli við Urriðafoss (vbm 30) á þessum tíma var 200–300 m³/s. Ágangur á vesturbakkanum við Villingaholt var oft mikill (Mynd 3.2.1) en mun hafa minnkað eftir að varnargarðar voru byggðir.

Í janúar og febrúar 2008, voru farnar flugferðir til að kortleggja ísalög. Niðurstöður eru ekki komnar út, en vök frá Búrfelli niður fyrir Urriðafoss mun hafa verið svipuð og áður.

3.3 Flóð / hlaup

Áður en fjallað er um flóð og hlaup í Þjórsá er gagnlegt að taka saman upplýsingar um venjulegt rennsli árinna. Fyrir tilkomu miðlunarlóna á vatnasviði árinna var mikill munur á sumar- og vetrarrensli. Fyrir kom að áin yrði nær vatnslaus í miklum frostum að vetri til (Sigurjón Rist, 1962). Með miðlunarlónum jafnaðist rennslið út og er nokkuð stöðugt í dag miðað við það sem áður var. Megin hluta ársins er meðalrensli árinna rétt innan við 300 m³/s og hækkar upp í tæplega 400 m³/s yfir sumarmánuðina þrjá.

Úrkoma og snjó- eða jökulbráð á vatnasviði árinna eru náttúrulegir flóðavaldar Þjórsár. Ís og hrannarmyndun hefur oft leitt til þess að áin hefur flæmst úr farvegi sínum, jafnvel þótt ekki sé um aukið rennsli að ræða. Flóð af völdum úrkomu, bráðnunar og hrannarmyndunar hafa verið tíð en þó minnkað með tilkomu virkjana á vatnasviði árinna. Því verður rætt ítarlega um þau í þessum kafla.

Aðrir þættir sem valdið geta flóði í ánni eru vikurstíflur og gjóskustíflur í kjölfar Heklugosa, gjóskustíflur vegna gosa í Veiðivötnum, ísalög í ánni, jökulhlaup, mannleg mistök tengd virkjunum ofar á vatnasviði árinna og stíflurof.

Auk þessa geta rennslisbreytingar orðið í ánni vegna rekstrar virkjana og er í kaflanum stuttlega fjallað um ástæður þeirra.

3.3.1 Úrkomu- og bráðnunarflóð

Flóð af völdum úrkomu, jökul- og/eða snjóbráðnunar má flokka sem úrkomu- og bráðnunarflóð.

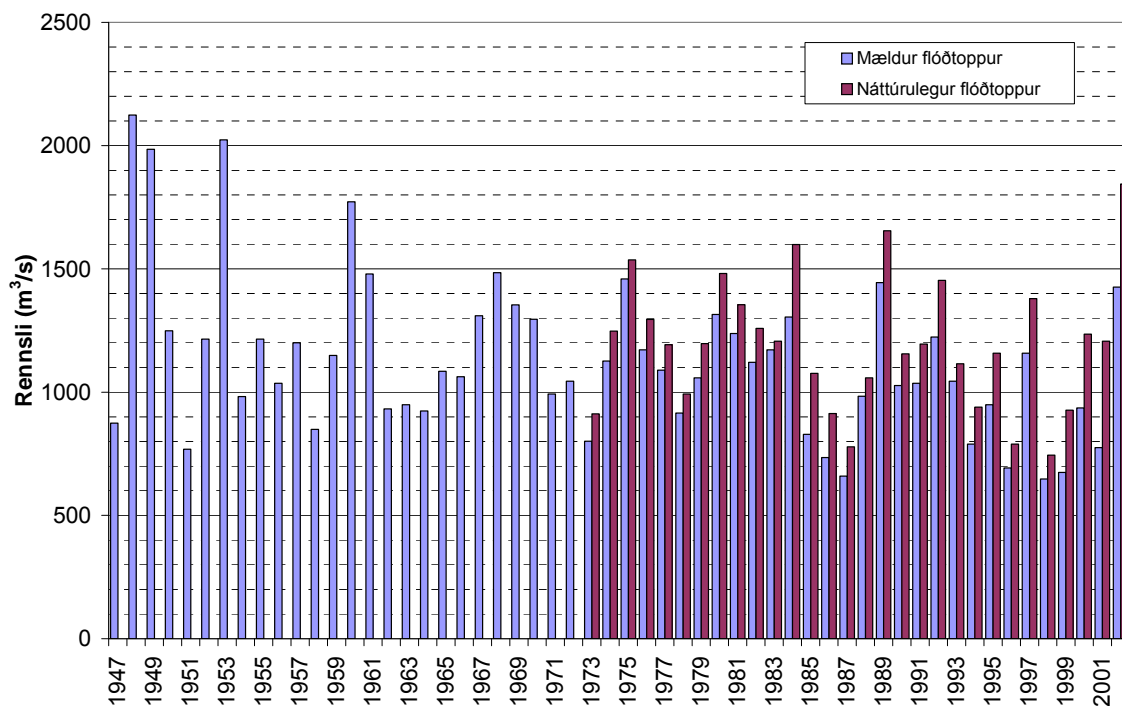
Á árunum 2001–2006 var unnin ítarleg greining á flóðum á Þjórsár- Tungnaárvæðinu. Verkið var unnið í samstarfi verkfræðistofanna VST hf., Hönnunar hf. og Almennu Verkfræðistofunnar hf. að beiðni Landsvirkjunar. Tilgangur með verkefninu var að fá betri yfirsýn og samræma mat á flóðum á öllu vatnasviðinu sem og að leggja mat á áhrif mannvirkja á stærð flóða og hegðun þeirra. Í þessum kafla verður að mestu stuðst við niðurstöður þess verkefnis (VST hf. o.fl., 2006). Í Kafla 4.2 er fjallað um endurskoðun á hönnunarflóðum sem unnin var samhliða hönnunarvinnu fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá neðan Búrfells.

Í grófum dráttum má skipta flóðum vegna úrkomu og/eða bráðnunar í tvennt. Annars vegar snögg vetrarflóð og hins vegar vatnsmikil vorleysingaflóð. Snöggv vetrarflóðin verða á tímabilinu desember til mars og standa einungis yfir í 3–5 daga. Flóðtoppurinn er yfirleitt um helmingi stærri en meðalrensli þess sólarhrings þegar rennslið er mest. Vorleysingarflóðin koma í maí og júní og eru löng og vatnsmikil. Þessi flóð standa yfir í um 2–3 vikur og flóðtoppurinn er einungis litlu hærri en meðalrensli þeirra daga sem flóðið er í hámarki. Þetta eru því gríðarlega vatnsmikil flóð.

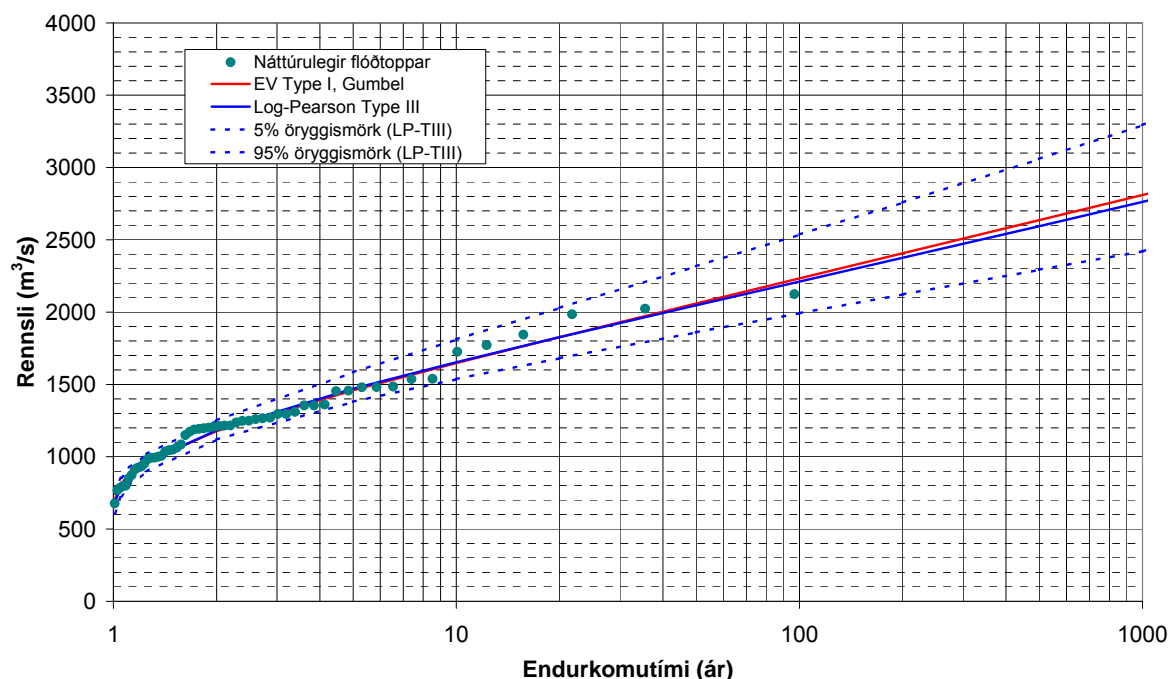
Bygging virkjana á Þjórsár- Tungnaárvæði hófst á sjöunda áratug síðustu aldar með Búrfellsvirkjun sem tók til starfa haustið 1969. Síðan hefur verið nær samfelld uppbygging virkjana, miðlana og veitna á svæðinu. Margar þessara framkvæmda hafa mikil áhrif á flóð á svæðinu. Í töflu í Viðauka 4 er yfirlit yfir framkvæmdir og áhrif þeirra á stór flóð. Langflestar framkvæmdanna minnka stór flóð í Þjórsá neðan Búrfells og staðfesta rennslismælingar við Urriðafoss það, en samfelldar rennslismælingar hófust í Þjórsá við Urriðafoss árið 1947. Um 1960 hófust svo mælingar á fleiri stöðum ofar á vatnasviðinu.

Stýringar á flóðlokum og aflvélum geta stækkað minni flóð, s.s. þegar lokur eru opnaðar verður til flóð sem að öðrum kosti hefði ekki orðið. Þess konar flóð eru hins vegar svo lítil að þau valda engri hættu á að vatn flæði upp úr farvegi ána og eru þau í flestum tilfellum mun minni en öll hönnunarflóð. Undantekning er við Sauðafell og Sultartanga, þar sem framkalla má stórt flóð með stýringu á gúmmilokum. Slík flóð frá Sauðafelli hjaðna á leið sinni niður að Sultartanga og hverfa alveg í Sultartangalóni svo þeirra verður ekki vart í Þjórsá neðan Búrfells.

Sérhver á og staður í á hefur sitt flóðaeðli eða „flóðróf“ ef svo má að orði komast. Það er greint með svokallaðri hágildadreifingu sem er líkindadreifing stærstu flóðtoppa hvers árs. Til grundvallar dreifingunni þurfa að liggja upplýsingar um stærsta flóðtopp hvers árs í fjölda ára. Hágildaröðin þarf að vera einsleit, þ.e. aðstæður ofan viðkomandi staðar í ánni eiga að vera eins á því tímabili sem er til skoðunar. Við Urriðafoss eru til samfelldar rennismælingar allt frá 1947 en uppbygging virkjana á Þjórsár- Tungnaásvæðinu veldur því að flóðtopparöðin í Þjórsá neðan Búrfells er ekki einsleit eftir 1969. Í vinnu við endurmat flóða á Þjórsár- Tungnaásvæði (VST hf. o.fl., 2006) var lagt mat á áhrif mannvirkja á stærstu mældu flóðtoppana. Út frá því mati var áætlað hversu stórir flóðtoppar hefðu verið ef mannvirki hefðu ekki verið til staðar og í framhaldi af því gerð hágildadreifing fyrir náttúruleg flóð á svæðinu, þ.e. flóð án allra mannvirkja. Niðurstöðurnar fyrir Urriðafoss má sjá á stöplaritinu á Mynd 3.3.1. Við leiðréttinguna fjölgaði þar flóðum sem eru stærri en 1500 m³/s úr fjórum í átta.



Mynd 3.3.1 Stærstu mældu árlegu flóðtoppar við Urriðafoss og mat á náttúrulegum toppum án áhrifa mannvirkja.



Mynd 3.3.2 Þjorsá við Urriðafoss. Tíðnigreining náttúrulegra flóða, þ.e. flóða án áhrifa nokkurra mannvirkja á vatnasviði Þjorsár.

Hágildadreifingin er sýnd á Mynd 3.3.2. Af myndinni má lesa stærð flóðtoppa í náttúrulegum flóðum með tiltekinn endurkomutíma. Flóðtoppur í náttúrulegu flóði með 1000 ára endurkomutíma er um 2800 m³/s en flóðtoppur með 10 ára endurkomutíma um 1600 m³/s. Ef engin mannvirki væru á vatnasviði Þjorsár væru líkur á því að flóðtoppur ársins yrði hærri en 2800 m³/s 1/1000, en einungis 1/10 að hann yrði hærri en 1600 m³/s. Að meðaltali, yfir langan tíma, liðu því 1000 ár á milli flóða með 2800 m³/s flóðtopp ef engin mannvirki sem hafa áhrif á flóð væru á svæðinu.

Þau mannvirki sem nú þegar hafa verið byggð á vatnasviði Þjorsár minnka almennt flóðtoppa í náttúrulegum flóðum þar sem hluti þeirra verður eftir í miðlunarlónum. Þannig hjaðna þau í miðlunarlónum á leið sinni niður eftir farveginum. Flóðtoppur í flóði með 1000 ára endurkomutíma, að teknu tilliti til áhrifa núverandi mannvirkja, er hér auðkenndur sem Q_{1000} og flóðið kallað *1000 ára flóð*. Flóðtoppur við Urriðafoss í flóði með 1000 ára endurkomutíma að teknu tilliti til núverandi mannvirkja (Q_{1000}) hefur verið metinn 2350 m³/s.

Meðalflóð við Urriðafoss við núverandi aðstæður er um 1000 m³/s. Meðalflóð er meðaltal stærstu árlegu flóðtoppa á ákveðnum stað og er endurkomutími þess um 2,3 ár.

3.3.2 Flóð vegna ísalaga í ánni

Í Kafla 3.1 er fjallað um ísmyndun í Þjorsá og flóð vegna hennar bæði fyrir og eftir tilkomu mannvirkja við ofanverða ána.

Í stuttu máli eru niðurstöður athugana á ísalögum þær að ísalög frá Búrfelli til sjávar eru í stórum dráttum eins og fyrir tíma virkjana í Þjorsá að öðru leyti en því að Búrfellshrónn er úr sögunni. Vatn frá Búrfellsvirkjun er allajafna mjög kalt að vetrarlagi, vel innan við 1°C, og í frostum byrjar ísmyndun 1 til 2 km neðan stöðvarinnar. Oft er samfelld vök niður fyrir Urriðafoss og hrönnin þar verður jafnmikil og áður. Þó hefur það komið fyrir að áin lokist ofan við Gaukshöfða og einnig hafa hrannir myndast við Þjorsárholt og neðan Búða. Dæmi eru um að áin hafi lokast á Skeiðum frá Árnesi niður að Kaldárholti. Í desember 1973 hafði Urriðafosshrónnin náð upp fyrir gljúfrið hjá Þjótanda og sennilega allt upp að Króki og var þá allt lokað á Skeiðum. Rennslí við Urriðafoss á þessum tíma var 200-300 m³/s. Ágangur á

vesturbakkanum við Villingaholt var oft mikill en mun hafa minnkað eftir að varnargarðar voru byggðir.

3.3.3 Hlaup tengd eldsumbrotum utan jökla

Fjallað er um eldgos á Þjórsár- Tungnaárvæðinu í kafla 3.1.4. Þar kemur fram að á sögulegum tíma hafa hlaup komið í Rangá í upphafi Heklugosa og að vikurstíflur hafi valdið hlaupum í Þjórsá. Tíminn sem liðinn er frá þessum atburðum er talinn í þúsundum ára. Með styttri biðtíma á milli gosa í Heklu hefur hætta á miklum vikri og flóðum samfara þeim minnkað til muna og gætir áhrifa Heklu aðallega í Rangá. Minni hlaup samfara Heklugosum eiga sér stað þegar snjór og jökull bráðnar af fjallinu og vatnsgufa í gosmekkinum þéttist. Hlaupvatn af Heklu leitar aðallega í Rangá en áhrifa öskufalls gætir einnig í Þjórsá.

Því er hér talið líklegt að áhrif Heklugosa á virkjanir í Neðri-Þjórsá gætu orðið á um tíu ára fresti vegna skammæs öskufalls sem næði til Þjórsár og væri af svipaðri stærðargráðu og öskufall í gosum undanfarna áratugi. Slíkt öskufall hefur hvorki valdið flóðum í Þjórsá né skemmdum á mannvirkjum en minniháttar truflanir hafa orðið á starfsemi virkjana í ánni.²

Gos á tugum kílómetra löngum sprungum hafa orðið á Veiðivatnasvæðinu með 600 – 800 ára millibili, síðast nálægt árinu 1477. Sprungurnar þvera farveg Tungnaár og hafa gosefni stíflað ána tímabundið. Um 870 varð hlaup í ánni þegar gjóskustífla brast, en talið er að hámarksrennsli í því hafi ekki farið yfir 10 000 m³/s. Talið er að á næstu 100 – 300 árum megi búast við atburði sem þessum á svæðinu, en flóð yrði minna en varð um 870 þar sem ekki eru lengur aðstæður til að mynda eins stórt lón og myndaðist þá Flóð í farvegi Tungnaár renna í Krókslón, þaðan í Sultartangalón um Hrauneyjalón áður en þau fara niður farveg Þjórsár til sjávar. Hámarksstærð hlaupa af völdum eldsumbrota er mjög óviss en þau gætu valdið tjóni á stíflumannvirkjum við Krókslón, Hrauneyjalón og Sultartanga. Þau lón sem flóðbylgjan færir um þurfa að fyllast upp að krónuhæð áður en vatn fer að renna yfir stíflur og skemma þær, þar með verður sá fyrirvari sem alltaf er á hlaupum vegna brots á gosefnastíflum enn lengri.

3.3.4 Jökulhlaup

Fjallað er um jökulhlaup í Kafla 3.1.5. Í kaflanum er sú ályktun dregin að búast megi við því að tæming jökullóna inn í Köldukvísl og Þjórsá séu árvissir atburðir og að þeir geti haft í för með sér rennslisaukningu sem er að hámarki nokkur hundruð m³/s og hafa engin áhrif á virkjanir í ánni.

Á næstu áratugum má einnig gera ráð fyrir að jarðhiti undir Vatnajökli valdi hlaupum í Köldukvísl. Líkleg stærð slíkra hlaupa við núverandi aðstæður er um 100 m³/s en hámarksrennsli gæti numið um 1200 m³/s ef aðstæður breyttust. Slík flóð myndu renna í Hágöngulón og fylgja síðan farvegi Köldukvíslar yfir í Sauðafellslón, þaðan rynni það annars vegar um veituskurð í Þórisvatn og hins vegar á yfirfalli á Köldukvíslarstíflu áfram eftir farvegi Köldukvíslar í Sultartangalón. Öll mannvirki myndu standast nokkur hundruð m³/s flóð án skemmda, en 1200 m³/s flóð inn í Hágöngulón sem stæði lengur en rúma tvo sólarhringa mundi valda rofi á flóðvari í Hágöngulóni og rofi á flóðvarsskurði og e.t.v. stíflum í Kvíslavatni, mögulegt er að flóðvar í Sultartangastíflu rofnaði en áhrif á Sultartangastíflu væru háð því hvaða stíflur við Kvíslavatn rofnuðu.

Eldgos undir Vatnajökli geta valdið hlaupum í Köldukvísl og Tungnaá. Rennsli slíkra hlaupa er breytilegt frá nokkur hundruð m³/s upp í tugi þúsunda m³/s eftir umfangi og staðsetningu eldsumbrota. Hámarksstærð slíks atburðar, t.d. út úr Bárðarbungu öskjunni hefur ekki verið metin. Gera má ráð fyrir að tíðni hlaupa að stærðargráðunni nokkur þúsund m³/s geti verið 1/500 á ári, sbr. gosið undir Tungnaárjökli 1766, en tíðni stórra jökulhlaupa með rennsli um eða yfir 10 000 m³/s sé 1/1 000 á ári. Eldgos undir Hofsjökli geta valdið stórhlaupum, e.t.v. með nokkur þúsund m³/s rennsli, inn í Þjórsá. Tíðni slíkra atburða gæti verið um 1/3 000 á ári.

² Álag var tekið af Búrfellsstöð um tíma í gosinu 1970 vegna eldinga og ljósagangs og eftir gosið 2000 þurfti að hreinsa árvatnssiur í Sultartanga og var stöðin stöðvuð á meðan á því stóð (Landsvirkjun, 2006b).

Jökulhlaup af stærðargráðunni 10 000 m³/s í kjölfar eldgoss úr t.d. Bárðarbungu sem bærast inn í Hágöngulón myndi valda því að hjástífla vestan Syðri Hágöngu rofnaði. Flóðið myndi berast í Kvíslavatn eftir gömlum farvegi Köldukvíslar og ein eða fleiri stíflur við Kvíslavatn myndu rofna. Flóðið bærast áfram í Sultartangalón, og flóðvar þar rofnaði. Miðlunarlón á Þjórsár-Tungnaársvæðinu eru ekki nógu stór til að minnka áhrif þessa flóðs þar sem það er vatnsmikið og gæti varað lengi. Fyrirvari slíks atburðar er hins vegar nokkur og lón myndu lengja hann.

Flóð af stærðargráðunni 5 000 m³/s í kjölfar eldgoss á sömu slóðum í jöklinum myndi valda því að flóðvar í hjástíflu Hágöngulóns rofnaði, flóðið rynni áfram í Kvíslavatn og þar rofnaði a.m.k. ein stífla. Stærð flóðsins réði því hvort flóðvar á Sultartangastíflu rofnaði, en væri það í minna lagi gætu flóðvirki Sultartangavirkjunar flutt það án skemmda.

Eldgos undir Hofsjökli geta valdið stórhlaupum inn í Þjórsá, e.t.v. með nokkur þúsund m³/s rennsli. Tíðni slíkra atburða gæti verið um 1/3 000 á ári. Flóð vegna eldgoss í Hofsjökli myndi renna í farveg Þjórsár, breiða úr sér yfir Þjórsárver og berast áfram í Sultartangalón. Eins og kemur fram í umfjöllun hér að ofan fer það eftir stærð flóðs hvort Sultartangastífla myndi standast það.

Án allra mannvirkja á svæðinu myndu flóð af stærðargráðunni 5 - 10 000 m³/s flæmast upp úr farvegi og aurum Þjórsár.

3.3.5 Flóð vegna rofs núverandi stífla ofan Búrfells

Rofni núverandi stíflur á Þjórsár- Tungnaársvæðinu getur orðið stórt flóð (VST o.fl., 2006). Um helmingur þeirra eru þó svo smáar að þótt þær rofnuðu flæddi áin ekki upp úr farvegi og aurum neðan Búrfells. Mestar afleiðingar hefði rof hæstu stíflnanna, en til að draga úr líkum á að þær rofni hafa verið sett flóðvör við þær. Þau eru hönnuð til að rofna löngu áður en meginstíflurnar eru í hættu. Afleiðingar af flóðvarsrofi eru mun minni en af rofi meginstíflu, þar sem þau eru almennt grynri, lægri og styttri og rofna því við lægra vatnsborð og hleypa fram minna vatni. Samhliða lækkar vatnsborð í lóninu svo álag minnkar á meginstíflurnar.

Rofni engu að síður stór núverandi stífla gæti það valdið keðjuverkun, þar sem stíflur á leið flóðsins kynnu að rofna. Mestur hluti flóða frá stíflurofi færi um Sultartangalón, um fullopið yfirfall til að byrja með, en svo myndi flóðvar rofna og flóðið smám saman stækka uns flóðvarið væri að fullu rofið. Með þessu móti myndi stærstur hluti flóðsins tefjast í Sultartanga um nokkrar klukkustundir, eða þann tíma sem það tæki flóðvarið að rofna. Sá hluti flóðsins sem færi framhjá Sultartanga kæmist hins vegar fyrir að byggð. Tími frá því að flóðbylgja rennur frá Sultartanga og þar til vatnsborð byrjar að hækka í efstu byggð, þ.e. við Búrfell, er um fimm klukkustundir, um tveimur stundum síðar yrði vart vatnsborðshækkunar í Hagalóni, tæpri klukkustund síðar í Búða og rúmum tveimur stundum síðar í Heiðarlóni.

Stærð flóðsins fer að öllu leyti eftir því hvaða stífla rofnaði, en flóðtoppur frá Sultartanga gæti orðið stærri en 10 000 m³/s. Slíkt flóð myndi flæða upp úr farvegi Þjórsár og valda hættu fyrir byggð við ána. Gera má ráð fyrir að rekstraraðilar yrðu varir við flóðið í síðasta lagi þegar það er við Sultartanga og því eru ofangreindir tímar lágmarkstímar, a.m.k. 5 klst, sem gæfi tækifæri til viðbragða og rýmingar. Ferli flóða vegna mögulegs rofs núverandi stíflna hefur ekki verið skoðað af sambærilegri nákvæmni og flóð vegna nýrra mannvirkja í Kafla 6.

3.3.6 Rennslisbreytingar vegna rekstrar aflstöðva

Hætta getur skapast við virkjanamannvirki, svo sem við frárennsli aflstöðva og lóna þar sem geta orðið skyndilegar rennslisbreytingar. Á þeim stöðum eru því staðsett viðvörunarskilti og einnig á völdum stöðum þar sem varað er við djúpum skurðum.

Rennslisbreytingar vegna rekstrar í ám neðan aflstöðva geta haft áhrif á veiði- og aðra hagsmunaaðila á starfssvæðum Landsvirkjunar. Þær geta komið upp vegna:

- Aðgerða í eðlilegum rekstri, svo sem við yfirvofandi flóða þar sem hleypa þarf framhjá miklu umframvatni.

- Bilana eða mistaka, sem gerast óvænt.
- Handstýringa sem nauðsynlegar eru vegna bilana eða viðhalds.

Fyrirtækið leitast við að halda góðum samskiptum við þessa aðila og er áhersla lögð á að láta þá vita með fyrirvara sé von á rennslibreytingum sem skapað gætu hættu í árfarveginum á veiðitímabilinu. Verði slíkar rennslibreytingar á veiðitímabilinu fyrirvaralaust er látið vita eins fljótt og unnt er. Slíkt vinnufyrirkomulag hefur tíðkast gagnvart þeim aðilum sem stunda veiðar m.a. í Þjórsá neðan Urriðafoss, í Blöndu neðan Blönduvirkjunar og í Soginu neðan Sogsvirkjana. Á einum stað, neðan Írafoss, er unnt að virkja hljóðmerki til viðvörunar vegna rennslibreytinga.

3.3.7 Flóð vegna bilana

Með bilunum er hér átt við bilanir í tækjabúnaði, s.s. vél-, loku- eða rafbúnaði virkjana. Í útboðsgögnum eru almennt gerðar strangar kröfur til áreiðanleika tækjabúnaðar. Þessar kröfur eru hafðar að leiðarljósi við val á framleiðendum búnaðar auk þess er í rekstri fylgst með virkni búnaðar og honum reglulega viðhaldið til að tryggja sem áfallaminnstan rekstur. Bilanatíðni tækjabúnaðar er því almennt mjög lág (Bloch o.fl., 1999, Barringer, 2004).

Þær bilanir sem valdið gætu ótímabæru auknu rennsli eða smærri flóðum væru helst bilanir á lokuvirkjum³. Í flestum virkjunum eru geira- eða hjólalokur í lokuvirkjum, en í Sultartangastíflu og við Sauðafell eru yfirfallsvirki uppblásnar gúmmilokur. Aðrar lokur eru úr stáli, þéttingar eru úr gúmmíi, brautir og hjólabúnaður úr stáli. Almennt er stýringum á lokuvirkjum þannig háttáð að þær opnast ekki, heldur stöðvast í viðkomandi stöðu eða lokast verði bilun á stjórnbúnaði eða komi til rafmagnsleysis. Stýring á gúmmilokum í yfirfallsvirkjum er þannig háttáð að þær falla saman við ákveðna hækkun á vatnsborði lóns. Bilun á stýringum gúmmiloku eða bilun í lokunni sjálfri getur valdið því að lokan sígi saman og valdi þannig auknu rennsli. Smávægilegur leki um lokuvirki er eðlilegur, en bilanir geta orðið á þéttingum lokubúnaðar þannig að aukins leka verði vart. Styrkur lokuvirkja er miðaður við þá áraun sem þau eiga að þola út frá jarðskjálftum og vatnsþrýstingi og eru bilanir á suðum eða á efni lokubúnaðar afar fátíðar.

Bilanir á lokuvirkjum og búnaði þeirra koma helst fram þegar grípa á til opunar þeirra (Pohl, R., 2000), en bilanir sem valda því að lokuvirkin opnast og valdi ótímabært auknu rennsli eru mjög fátíðar. Það getur þó gerst ef um gúmmilokur er að ræða. Umfang þeirra flóða takmarkast af flutningsgetu lokuvirkja. Bilanir á inntakslokum virkjana eða stýringum þeirra valda ekki flóðum.

Einna mest rennsli getur skapast við bilun á gúmmiloku í Sultartanga geta valdið því að loka fellur og veldur ótímabæru auknu rennsli í farvegi Þjórsár. Slíkt rennsli getur orðið 620 m³/s, en bili allar lokurnar fimm gæti flóðtoppur við Sultartanga í slíku flóði verið um 3000 m³/s, en þegar komið væri niður undir Haga væri hann um 2100 m³/s. Slík flóð eru minni en 1000 ára flóð (Q_{1000} , sjá kafla 3.3.1) og yllu ekki neinu tjóni á mannvirkjum og litlu eða engu tjóni á umhverfi. Slíkt tilvik hefur ekki komið fyrir, en skv. gagnagrunni LV hefur einu sinni orðið bilun í gúmmilokum við Sauðafell sem olli því að ein lokan seig og vatn hljóp niður Köldukvísl. Engin rennslibreyting varð af þessum sökum neðan Sultartanga. Út frá því er metið að tíðni slíks atburðar sé um það bil $3 \cdot 10^{-3}$.

Bilanir á vélbúnaði til rafmagnsframleiðslu í virkjununum hafa engin áhrif á flóðahættu. Slíkar bilanir geta valdið rekstrartruflunum eða í versta falli rekstrarstöðvun viðkomandi mannvirkis. Ekki verður séð að jafnvel stórfelldar bilanir í tækjabúnaði geti valdið stórum flóðum.

3.3.8 Flóð vegna mistaka

Hversu vel sem staðið er að undirbúningi, framkvæmd og rekstri er aldrei alveg hægt að útiloka að mistök verði gerð á einhverju stigi framkvæmdarinnar. Mistök í undirbúningi geta m.a. falist í röngum útreikningum, mistökum eða ósamræmi við gerð teikninga, röngu mati á aðstæðum

³ Lokuvirki: Flóðgáttir, flóðvirki, árlokur, botnrásarlokur, inntakslokur.

eða forsendum, ónógum rannsóknum, röngu vali á efni, efnisgæðum eða vinnuafli. Mistök í framkvæmdum geta m.a. orðið þegar stjórnun og eftirlit uppfylla ekki þau skilyrði sem stefnt er að, færni starfsmanna er ónóg svo og eftirlit með framkvæmdum, sem getur valdið því að hvorki séu viðhöfð rétt vinnubrögð eða réttum aðferðum beitt við efnisval. Mistök í rekstri geta orðið ef stjórnun, rekstur, viðhald og vöktun mannvirkja í rekstri eru ekki sem skyldi.

Afleiðingar mistaka geta verið þær að mannvirkin séu ekki eins traustbyggð og stefnt var að, sem síðar gæti leitt til ótímabærra og jafnvel stórfelldra bilana, endurbóta eða aukins kostnaðar vegna viðhalds í rekstri. Auk þess geta slík mistök leitt til alvarlegrí áhrifa af hættuatburðum en annars hefði orðið.

Til þess að lágmarka hættu á mistökum er verkið unnið eftir ákveðnum reglum á öllum stigum framkvæmdarinnar. Helstu reglur sem unnið er eftir á undirbúnings-, framkvæmdar- og rekstrarstigum eru taldar upp hér að neðan.

Undirbúningur. Hluti af undirbúningi framkvæmda vegna nýrra virkjana við Þjórsá eru umfangsmiklar rannsóknir á svæðinu og á áhrifum framkvæmdarinnar. Forsenda þess að leyfi fáiast fyrir framkvæmd sem þessari er að undangengið sé mat á umhverfisáhrifum framkvæmdarinnar. Í slíku mati fer fram skoðun á öllum þeim þáttum sem framkvæmdin kann að hafa áhrif á í umhverfinu. Að slíku mati koma fjölmargir sérfræðingar úr ýmsum greinum vísinda. Skýrslu um mat á umhverfisáhrifum fylgja ítarlegar greinargerðir og ábendingar frá helstu vísindamönnum landsins og í úrskurði umhverfisráðherra kom fram að fram skyldi fara sérstök skoðun á því hver áhætta fólks væri á svæðinu og ákveðnar kröfur voru gerðar um ásættanlega áhættu.

Framkvæmd. Við val á verktaka fyrir framkvæmdirnar eru í útboðsferlinu gerðar kröfur til hæfni þeirra. Verktaki ber ábyrgð á að framkvæmd verksins sé í fullu samræmi við hönnun. Verkaupi ræður sérfróða aðila til framkvæmdaefirlits til að tryggja að framkvæmd sé í samræmi við hönnun og til að fyrirbyggja mistök. Verktaki ber ábyrgð á því að framfylgja öllum gildandi reglum hvað varðar öryggi starfsemi sinnar við framkvæmdina.

Rekstur. Rekstur virkjana Landsvirkjunar felur m.a. í sér reglulegt eftirlit og viðhald með mannvirkjum. Fylgst er reglulega með mælitækjum sem sett eru upp í mannvirkjum. Í stíflum er fylgst með mögulegum hreyfingum, vatnsþrýstingi og leka. Regluleg skoðun mannvirkja er framkvæmd og gripið til aðgerða ef upp koma frávik frá eðlilegu ástandi þeirra. Auk reglulegs eftirlits eru stíflumannvirki skoðuð sérstaklega eftir jarðskjálfta eða aðra óvenjulega atburði.

Í forsendum er lýst hvaða grundvallarreglum er gengið út frá við vinnslu ofangreindra þátta sem sýnir að til ýmissa aðgerða er gripið til að koma í veg fyrir mistök sem gætu haft alvarlegar afleiðingar fyrir bæði mannvirki og umhverfi þeirra. Ætla má að flest mistök komi fram við framkvæmdina og því sé unnt að bæta úr áður en mannvirkin eru tekin í notkun.

Mistök tengd núverandi mannvirkjum við Þjórsá

Elstu mannvirkin við efri hluta Þjórsár eru Búrfellsstöð og tengd mannvirki sem tekin voru í notkun árið 1969. Nýjustu mannvirkin tilheyrta Vatnsfellsstöð sem tekin var í notkun árið 2002.

Öruggt má telja að merki um mistök í hönnun eða byggingu núverandi mannvirkja, sem valdið gætu stórfelldu tjóni á mannvirkjum og flóðum, væru komin í ljós nú þegar. Sérstaklega á þetta við um stíflumannvirki, þar sem mestar líkur eru á því að gallar komi fram við fyllingu lóna eða á fyrstu rekstrarárunum.

Þær aðgerðir sem valdið gætu auknu rennsli eða flóðum í farvegi neðan virkjunar, eru því rangar stjórnunaraðgerðir, svo sem ótímabær opnun á lokuvirkjum. Einnig gæti komið fyrir að ekki væri látið vita um fyrirhugaðar rennslisbreytingar. Til að fyrirbyggja slík mistök hljóta starfsmenn sem hafa með höndum stjórnun vél-, raf- og lokubúnaðar virkjana þjálfun skv. gildandi verklagi Landsvirkjunar og Landsnets.

Ótímabær opnun lokuvirkja gæti valdið flóði allt að 3000 m³/s við Sultartanga, opnast allar lokurnar. Þetta flóð myndi þó hjaðna fljótt og væri flóðtoppur um 2100 m³/s við Haga um fimm klst. eftir opnun. Flóðtoppur við Haga af þessum orsökum væri minni en í flóði af völdum

úrkomu og leysinga með 1000 ára endurkomutíma. Slík flóð gætu valdið hættu fyrir fólk sem stætt væri í eða við farveginn rétt neðan Búrfells, en engar upplýsingar um slík mistök er að finna í gagnagrunni Landsvirkjunar.

Í flóðum fer fram stýring á rennsli með lokuvirkjum og við slíkar aðstæður er af náttúrunnar hendi aukið rennsli í Þjórsá. Engar tilkynningar eru gefnar út við slíkar aðstæður.

3.3.9 Flóð vegna váverka

Til váverka teljast hryðjuverk, hermdarverk, spellvirki, skemmdarverk og hótanir (Landsvirkjun, 2005; Landsvirkun, 2006c). Ástæður þeirra geta verið margvíslegar. Í heiminum í dag ber mest á váverkum sem unnin eru í nafni trúarbragða eða í pólitískum tilgangi. Ýmis samtök eða einstaklingar standa að baki slíkum aðgerðum. Aðrar ástæður váverka geta verið alvarlegar deilur um málefni, jafnvel skipulögð glæpastarfsemi eða geðveiki. Þau skemmdarverk sem unnin hafa verið á Íslandi á síðustu áratugum hafa falist í innbrotum og/eða eyðileggingu á búnaði eða mannvirkjum fyrirtækja. Að baki þeim hafa staðið einstaklingar eða hópar manna.

Þegar litið er á skotmörk alvarlegra váverka kemur í ljós að í tiltölulega fáum tilvikum er um veitumannvirki að ræða, hvort sem um er að ræða vatns-, hita- eða rafveitur og tengd mannvirki. Slík mannvirki virðast ekki vera á áhugasviði þeirra sem að slíkum verkum standa.

Veitufyrirtæki á Íslandi hafa þó orðið fyrir váverkum, en í flestum tilvikum hefur verið um að ræða minniháttar skemmdir við veggjakrot eða innbrot í mannvirki. Engin alvarleg váverk hafa verið unnin á stórum stíflum. Einungis einu sinni hefur alvarlegt váverk verið unnið á veitumannvirki og er þar vísað til sprengingar Miðkvíslarstíflu í Laxá árið 1970, sem olli tjóni á mannvirkinu en ekki alvarlegum flóðum. Með þá fyrirhuguðu miðlunarlóni hefði mikið ræktarland farið undir vatn, auk þess sem fiskigengd og fuglalíf hefðu stórlega spillst. Miklar deilur spunnust um framkvæmdina, sem lyktaði með samkomulagi um að hætt yrði við frekari stíflugerð í Laxá (Helgi M. Sigurðsson, 2002). Þrátt fyrir að ýmsar framkvæmdir Landsvirkjunar hafi verið umdeildar hefur það ekki leitt til alvarlegra árekstra. Atburðurinn við Laxá var einstakur í sögu íslenskra virkjana, sem nær aftur til ársins 1904. Út frá honum og um það bil 100 ára sögu stíflugerðar á Íslandi er ályktað að tíðni slíkra atburða sé ekki meiri en 1×10^{-2} á ári.

Váverk gegn núverandi mannvirkjum við Þjórsá

Fram til þessa hafa ekki verið unnin váverk gegn núverandi mannvirkjum á Þjórsár-Tungnaársvæðinu.

Váverk sem valda kynni stórfelldum skaða á mannvirkjunum ofan Búrfells eða rekstri þeirra þyrfti að vera þaulskipulagt og framkvæmt af mikilli þekkingu og færni, sem tæplega er á færi einstaklings og einungis á færi aðila sem þaulkunnugir eru öllum aðstæðum og hefðu jafnvel yfirgripsmikla þekkingu á stjórnun, búnaði og rekstri mannvirkjana. Verstu afleiðingar slíkrar aðgerðar gætu orðið stíflurof og stórfelld flóð af þess völdum, sem skapað gætu hættu fyrir byggð og fólk neðar við Þjórsá.

Váverk gæti falist í því að stíflur ofan Sultartanga yrðu rofnar af mannavöldum en sumar þeirra eru mun stærri en fyrirhugaðar stíflur við Hvamms-, Holta- og Urriðafossvirkjun. Afleiðingar yrðu þær sömu og lýst er í kafla 3.3.5.

Mögulegt er að flóð vegna váverka í formi stýriaðgerða t.d. ótímabær opnun á lokuvirkjum valdi hættu fyrir þá sem staddir eru nærri farvegi. Við slíkar aðstæður gæti orðið sambærilegt flóð og lýst er hér að framan við ótímabæra opnun lokuvirkja við Sultartanga vegna mistaka.

3.4 Niðurstöður

Hér að framan hafa verið tilgreind þau tilvik náttúruvár og annarrar hættu, sem fyrir hendi eru á svæðinu og gætu haft áhrif á mannvirki ofan Búrfells og skapað flóðahættu á svæðinu við neðanverða Þjórsá. Mesta hættan getur skapast af stórflóðum af völdum náttúruhamfara eða

stíflurofs. Takmörkuð hætta getur skapast af völdum aukningar á rennsli Þjórsár vegna rekstraraðstæðna.

Tafla 3.4.1 sýnir yfirlit yfir tíðni atburða og það hvort þeir eru taldir hafa einhver áhrif á mannvirkin ofan Búrfells. Ennfremur eru tíunduð helstu áhrif af skemmdum á mannvirkjunum á rekstur þeirra, íbúa við farveg neðan þeirra og umhverfi.

Tafla 3.4.1 Hættur, tíðni þeirra og áhrif á mannvirki ofan Búrfells, rekstur íbúa og umhverfi.

Hætta	Tíðni hættu 1/ár	Áhrif á núverandi mannvirki	Áhrif tjóns á núverandi mannvirkjum á:		
			Rekstur	Íbúa	Umhverfi
JARÐSKJÁLFTAR Gliðnun, sig- eða sniðgengi	10^{-2}	Minniháttar skemmdir	Engin	Engin	Engin
ELDGOS					
Heklugos: Gjóskustíflur í Þjórsá	10^{-1}	Minniháttar eða engar skemmdir	Truflanir	Engin	Engin
Heklugos: Vikurhlaup í Þjórsá ⁴	$< 10^{-3}$	-	-	-	-
Veiðivatnagos: Gjóskustíflur í Tungnaá ⁵	$10^{-2} - 10^{-3}$	-	-	-	-
Hraunflóð: Við Neðri-Þjórsá ⁶	10^{-4}	-	-	-	-
ÍSALÖG	1	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
VENJULEG FLÓÐ: Úrkoma eða leysingar	$1 - 1 \cdot 10^{-3}$	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
JÖKULHLAUP					
Tæming jökullóna	1	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
Tæming katla undir jökli	$10^{-1} - 10^{-2}$	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli um 5 000 m ³ /s	10^{-3}	Rof flóðvara eða stíflurof	Truflanir / Stöðvun	Hætta	Skemmdir
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli > 10 000 m ³ /s	$< 5 \cdot 10^{-4}$	Rof flóðvara eða stíflurof	Truflanir / Stöðvun	Hætta	Skemmdir
Eldgos undir Hofsjökli, rennsli um 5 000 m ³ /s	$3 \cdot 10^{-4}$	E.t.v. rof flóðvara	Truflanir / Stöðvun	Hætta	Skemmdir
BILANIR Stýring á gúmmilokum	$< 3 \cdot 10^{-3}$	Minniháttar eða engar skemmdir, rekstrartruflun	Truflanir	Hætta	Engin
MISTÖK Rangar aðgerðir í rekstri er valda flóði. ⁷	0	Engar skemmdir	Engin	Hætta	Engin
VÁVERK					
Stýriaðgerðir ⁸	0	Minniháttar eða engar skemmdir	Truflanir / Stöðvun	Hætta	Engin
Eyðilegging	$< 10^{-2}$	Stíflurof	Truflanir / Stöðvun	Hætta	Skemmdir

⁴ Afleiðingar atb. hafa ekki verið metnar þar sem breytingar hafa orðið í gosvirkni Heklu síðustu áratugi (K. 3.1.4)

⁵ Möguleg Rennsli í stærsta flóði vegna rofs á gjóskustíflu sem þekkt er var líklega minna en 10 000 m³/s, árið 870. Mögulegt flóð v. gjóskustíflu er enn minna þar sem aðstæður til að mynda eins stórt jökulstíflað lón og þá myndaðist eru ekki lengur til staðar. Afleiðingar ekki metnar þar sem stærð flóðs er mjög óljós.

⁶ Þar sem um afar fátíðan atburð er að ræða hefur ekki verið lagt mat á afleiðingar hans.

⁷ Geta tímabundið valdið auknu rennsli í farvegi. Engar upplýsingar um slík tilvik í gagnagrunnum LV eða LN.

⁸ Geta tímabundið valdið auknu rennsli í farvegi. Hefur ekki gerst á rekstartíma virkjana hér á landi.

3.5 Heimildir

- Almenna Verkfræðistofan hf., Lahmeyer International og Rafhönnun, 2006a. *Hvammsvirkjun hydroelectric project. Project planning report*. LV-2006/037.
- Almenna Verkfræðistofan hf., Lahmeyer International og Rafhönnun, 2006b. *Holtavirkjun hydroelectric project. Project planning report*. LV-2006/037.
- Ágúst Guðmundsson, Sarah Kaiser, Timothy Ward, Haraldur Hallsteinsson og Walter Fahrnberger/Jarðfræðistofan, 2007. *Urriðafoss hydroelectric project. Geological investigations 2001 to 2007. Dam and tunnelling area. Report and drawings*. LV-2007/060.
- Ágúst Guðmundsson, Niels Óskarsson, Karl Grönvold, Kristján Sæmundsson, Oddur Sigurðsson, Ragnar Stefánsson, Sigurður R. Gíslason, Páll Einarsson, Bryndís Brandsdóttir, Guðrún Larsen, Haukur Jóhannesson og Þorvaldur Þórðarson. 1992. *The 1991 eruption of Hekla, Iceland. Bull. Vulcanol.* **54**, bls 238-246.
- Ármann Höskuldsson, Niels Óskarsson, Rikke Pedersen, Karl Grönvold, Kristín Vogfjörð og Rósa Ólafsdóttir, 2007. *The millenium eruption of Hekla in February 2000. Bull. Vulcanol.*, doi 10.1007/s00445-007-0128-3.
- Árni Hjartarson, 1994. *Environmental changes in Iceland following the great Thjórsá lava eruption 7800 14C years bp. Environmental Change in Iceland*. Ed. J. Stötter & F. Wilhelm, Munchen, 147–155. Munchener Geographische Abhandlungen. Reihe B.
- Barringer, 2004. *Weibull Database*. www.barringer1.com/wdabase.htm, 7/15/2004.
- Bjarni Bessason, Amir M. Kaynia, 2002. *Site amplification in lava rock on soft sediments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, Vol. 22, 7, 525-540.
- Bloch, Heinz P. og Geitner, Fred K., 1999. *Practical Machinery Management for Process Plants, Volume 2: Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*. Gulf Professional Publishing, Houston, TX.
- Elsa G. Vilmundardóttir og Árni Hjartarson. 1985. *Vikurhlaup í Heklugosum. Náttúrufræðingurinn* **54** (1), bls. 17–30.
- Erik Sturkell, Krisján Ágústsson, Alan T. Linde, Selwyn I. Sacks, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson, Halldór Geirsson, Halldór Ólafsson, Rikke Pedersen og Peter La Femina, 2005. *Geodetic constraints on the magma chamber of the Hekla volcano, Iceland, Eos Trans. AGU* **86** (52), Fall Meet. Suppl., Abstract V21D-0636.
- Guðrún Larsen, 1984. *Recent volcanic history of the Veidivötn fissure swarm, Southern Iceland. An approach to volcanic risk assessment. Journ. Volcanol. Geotherm. Res.* **22**, bls. 33–58.
- Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson og Helgi Björnsson, 1998. *Eight centuries of periodic volcanism at the center of the Iceland hotspot revealed by glacier tephostratigraphy. Geology* **26** (10), bls. 943–946.
- Guðrún Larsen, A.J. Dugmore og A.J. Newton, 1999. *Geochemistry of historical-age silicic tephros in Iceland. The Holocene* **9**, bls 463–471.
- Guðrún Larsen, 2005. *Explosive Volcanism in Iceland: Three examples of hydromagmatic basaltic eruptions on long volcanic fissure within the past 1200 years. Geophysical Research Abstracts* **7**, 10158, 2005
- Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús T. Guðmundsson, 1992. *Vatnajökull, norðvesturhluti, 1:100.000. Ísþykkt*. Landsvirkjun og Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998. *Jarðfræðikort af Íslandi. 1:500 000. Höggun*. Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík (1. útgáfa).
- Helgi Björnsson, 1992. *Jökulhlaups in Iceland: prediction, characteristics and simulations. Annals of Glaciology* **16**, bls. 95–106.

- Helgi M. Sigurðsson, 2002. *Vatnsaflsvirkjanir á Íslandi*. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf, Reykjavík, 2002.
- Jón Skúlason, Bjarni Bessason, Eyjólfur Árni Rafnsson og Haraldur Sigursteinsson, 2001. *Ysjun setlaga í Suðurlandsskjálftum 2000*. Vegagerðin og Landsvirkjun, desember 2001.
- Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008. *Earthquake hazard and seismic action for proposed power plants in the South Iceland Lowland*. Reykjavík. LV-2008/056.
- Landsvirkjun, 2001a. *Hrauneyjafossvirkjun. Stíflueftirlit 2000*. Greinargerð, janúar 2001.
- Landsvirkun, 2001b. *Hágöngumiðlun. Stíflueftirlit 2000*. Greinargerð, janúar 2001.
- Landsvirkun, 2001c. *Kvíslaveita. Stíflueftirlit 2000*. Greinargerð, janúar 2001.
- Landsvirkun, 2001d. *Sultartangastífla. Stíflueftirlit 2000*. Greinargerð, mars 2001.
- Landsvirkjun, 2002a. *Notes on ice gathering at and below Urriðafoss in Þjórsá the winter 2000 – 2001*. Engineering and construction Research and surveying dept. 11.02.2002. Mál: Urr-ís.
- Landsvirkjun, 2002b. *Notes on ice gathering at and below Urriðafoss in Þjórsá 2001 – 2002*. LV-2002/094.
- Landsvirkjun, 2003. *Investigation on ice formation in Lower Þjórsá. Estimation of total ice production and annal of the winter 2002/03*. LV-2003/118.
- Landsvirkjun, 2005. *Neyðarstjórnun Landsvirkjunar og Landsnets: Skýrsla vinnuhóps um skemmdarverk*. Landsvirkjun, Reykjavík. LV-2005/032.
- Landsvirkjun, 2006a. *Ice conditions in Þjórsá River 2003-2005*. LV-2006/065.
- Landsvirkjun, 2006b. *VIN-98 Viðbragðsáætlanir vegna Heklugoss*. Netútgáfa í Lotus Notes kerfi LV. Reykjavík
- Landsvirkjun, 2006c. *SKI-58 Válisti*. Netútgáfa í LotusNotes kerfi LV. Reykjavík.
- LOV-2000-11-24-82 (Norge), 2000. *Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)*. Olje- og energidepartementet.
- Magnús T. Guðmundsson, Freysteinn Sigmundsson, Helgi Björnsson, Þórdís Högnadóttir, 2004. *The 1996 eruption at Gjálp, Vatnajökull ice cap, Iceland: efficiency of heattransfer, ice deformation and subglacial water pressure*. *Bull Volcanol.* **66** bls. 46–65.
- Magnús T. Guðmundsson, 1997. *Gosið í Vatnajökli í október 1996. Einkenni, bræðsla íss og breytingar á jöklinum*. Í: Hreinn Haraldsson (ritsj.): *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*, Vegagerðin, Reykjavík, bls. 37–59.
- Maryam Khodayar, Hjalti Franzson, Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, Hjalti Franzson, 2007a. *Hvammsvirkjun. Geological investigation of Skarfjall in the South Iceland Seismic Zone. Basement tectonics, Holocene surface ruptures, leakage, and stratigraphy*. ÍSOR-2007/017; LV-2007/065.
- Maryam Khodayar, Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, Hjalti Franzson, 2007b. *Holtavirkjun – Memorandum: Preliminary map of fractures and leakages in Akbraut in Holt and laugar in Landsveit*. ÍSOR-2007/010.
- Oddur Sigurðsson, 2001. *Kjalverðir – jöklar við Kjöl*. Árbók 2001. Ferðafélag Íslands, bls. 184–223.
- Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson, 2005. *Jökulhlaupaannáll 1984–2004*. Auðlindadeild Orkustofnunar OS-2005/031.
- Páll Einarsson, 2002. *Faults and fractures of the South Iceland Seismic Zone near Þjórsá*. Landsvirkjun, greinargerð LV-2002/090, nóvember 2002.
- Pohl, R., 2000. *Failure frequency of gates and valves at dams and weirs*. *The International Journal on Hydropower and Dams*, volume 7, issue 6, 2000, bls.77-81.

- Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Bjarni Bessason, Gunnar I. Baldvinsson og Óðinn Þórarinnsson, 2000. Rannsóknamiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Háskóli Íslands, skýrsla nr. 1, 2000.
- Ragnar Sigbjörnsson og Símon Ólafsson, 2004. *On the South Iceland earthquakes in June 2000: strong-motion effects and damage. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* **45** (3), bls. 131-152.
- Ragnar Sigbjörnsson, Símon Ólafsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, 2007. *Macroseismic effects related to strong ground motion: a study of the South Iceland earthquakes in June 2000. Bull Earthquake Eng* **5**, bls. 591-608.
- Ragnar Sigbjörnsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, 2008. *Horizontal peak ground acceleration (PGA) for power plants in the Tungnár River area. Minnisblað*, 9. maí 2008.
- Ragnar Stefánsson, Gunnar B. Guðmundsson, Páll Halldórsson, 2000. *Jarðskjálftarnir miklu á Suðurlandi 17. og 21. júní, 2000. Grein á vef Veðurstofu Íslands*, júlí 2000.
- Ragnar Stefánsson, Maurizio Bonafede, Frank Roth, Páll Einarsson, Þóra Árnadóttir, Gunnar B. Guðmundsson, 2006a. *Modelling and parameterizing the Southwest Iceland earthquake release and deformation process. Veðurstofa Íslands, greinargerð nr. 06005, febrúar 2006.*
- Ragnar Stefánsson, Francoise Bergerat, Maurizio Bonafede, Reynir Böðvarsson, Stuart Crampin, Páll Einarsson, Kurt L. Feigl, Christian Goltz, Ágúst Guðmundsson, Frank Roth, Ragnar Sigbjörnsson, Freysteinn Sigmundsson, Peter Suhadolc, Max Wyss, Jacques Angelier, Þóra Árnadóttir, Maria Elina Belardinelli, Grímur Björnsson, Amy Clifton, Loic Dubois, Gunnar B. Guðmundsson, Páll Halldórsson, Sigurlaug Hjaltadóttir, Ásta Rut Hjartardóttir, Gísli Jónsson, Maryam Khodayar, Björn Lund, Benedikt Ófeigsson, Símon Ólafsson, Sandra Richwalski, Ragnar Slunga, Páll Theodórsson, Kristín S. Vogfjörð, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Barði Þorkelsson. 2006b. *PREPARED – third periodic report, February 1, 2005- July 31, 2005. VÍ, skýrsla nr. 6008, mars 2006.*
- Sigmundur Freysteinnsson, 1972. *Jökulhlaup í Köldukvísl. Jökull* **22**, bls. 83 – 88.
- Sigurjón Rist, 1962. Þjórsárísar. *Jökull* **12**, bls. 1-30.
- Sigurður Þórarinnsson, 1974. *Vömin stríð. Saga Skeiðarárgosa og Grímsvatnagosa. Bókaútgáfa Menningarsjóðs, Reykjavík.*
- Sigurður Þórarinnsson, 1967. *Heklueldar. Sögufélagið, Reykjavík.*
- Snorri P. Snorrason, Ágúst Guðmundsson, Gunnlaugur Þorbergsson, Melkorka Matthíasdóttir Gunnar Orri Gröndal, 2007a. *Lower Þjórsá river basin. Hydroelectric projects. Geological investigations 2006. LV-2007/002.*
- Snorri Páll Snorrason, Áki Thoroddsen, Gunnlaugur Brjáll Þorbergsson, Melkorka Matthíasdóttir, Sigmundur Einarsson, Marayam Khodayar, 2007b. *Holtavirkjun Geological Report – Geological investigations 2001-2006. LV-2007/054.*
- Snorri Páll Snorrason, Áki Thoroddsen, Gunnlaugur Brjáll Þorbergsson, Melkorka Matthíasdóttir, Sigmundur Einarsson, Marayam Khodayar, 2007c. *Hvammsvirkjun Geological Report – Geological investigations 2001-2006. LV-2007/053.*
- Sweco international, Hnit hf. og Rafhönnun, 2006. *Urriðafoss hydroelectric project. Project planning report. LV-2006/039.*
- VST hf., AV hf., Hönnun hf., 2006. *Flóð á Þjórsár- Tungnaársvæði. Samantektarskýrsla. Landsvirkjun LV-2006/027.*
- VST hf., 2007. *Fundur um jarðskjálfta og sprungur, NTH-60 neðri Þjórsá, 2007-08-01. MO-VST/FGS-01.*
- Þjóðarskipti FS ENV 1998-1-1:1994 Eurocode 8. *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures – Part 1-1: General Rules – Seismic Actions and General Requirements for Structures.*

Örn Arason, 2001. Landsvirkjun: *Suðurlandsskjálftar – forvarnir og árangur þeirra*. Ráðstefna Verkfræðingafélags Íslands og Tæknifræðingafélags Íslands, 10. – 11. maí, 2001. Ráðstefnugögn.

Munnlegar heimildir:

Guðrún Larsen, samtöl apríl og maí 2008.

Jónas Þór Snæbjörnsson, samtál mars 2008.

Magnús T. Guðmundsson, samtál apríl 2008.

Magnús T. Guðmundsson, samtál maí 2008.

Oddur Sigurðsson, samtál maí 2008.

Snorri P. Snorrason, samtál maí 2008.

Jónas Þór Snæbjörnsson, samtál mars 2008.

Jónas Þór Snæbjörnsson, samtál maí 2008.

4 Hönnunarforsendur mannvirkja

4.1 Jarðskjálftahröðun og sprunguhreyfingar

Rannsóknamiðstöð í jarðskjálftaverkfræði hefur reiknað hönnunargildi yfirborðshröðunar vegna jarðskjálftahönnunar mannvirkja á virkjanasvæðunum þremur við Neðri-Þjórsá fyrir Landsvirkjun (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008). Gildi hönnunarhröðunar fyrir hvert virkjunarsvæði fyrir sig er ákvarðað fyrir mismunandi meðalendurkomutíma. Í notástandi miðast hönnun mannvirkja við hröðun með 144 ára meðalendurkomutíma sem samsvarar endurkomutíma stórra skjálfta á svæðinu. Gildi hönnunarhröðunar miðast við 475 ára meðalendurkomutíma, ennfremur er miðað við að helstu mannvirki, t.d. stíflur, gefi sig ekki í atburði á svæðinu með 3000 – 10 000 ára meðalendurkomutíma, þó á þeim verði skemmdir. Hönnunargildi hröðunar eru talin upp í Töflu 4.1.1 og Töflu 4.1.2.

Tafla 4.1.1 Lárétt hámarksyfirborðshröðun, PGA (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).

Meðal endurkomutími (ár)	Árslíkur á stærri atburði (%)	Líkur á stærri atburði á 50 árum (%)	Holta-virkjun stöðvarhús PGA (g)	Hvamms-virkjun stöðvarhús PGA (g)	Urriðafoss-virkjun stöðvarhús PGA (g)
95	1,05	40,92	0,34	0,32	0,32
144	0,69	29,30	0,39	0,35	0,34
475	0,21	10,0	0,47	0,44	0,44
1 000	0,10	4,88	0,52	0,50	0,49
3 000	0,03	1,65	0,61	0,58	0,57
10 000	0,01	0,50	0,70	0,66	0,66

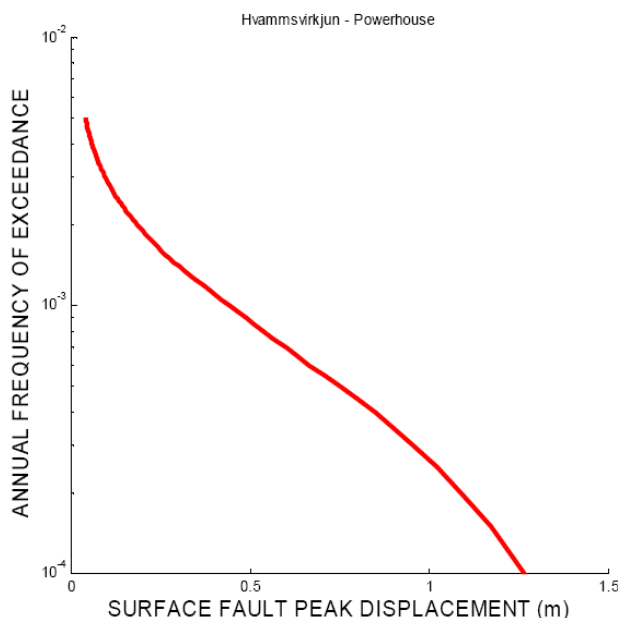
Tafla 4.1.2 Lóðrétt hámarksyfirborðshröðun, PGA (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).

Meðal endurkomutími (ár)	Árslíkur á stærri atburði (%)	Líkur á stærri atburði á 50 árum (%)	Holta-virkjun stöðvarhús PGA (g)	Hvamms-virkjun stöðvarhús PGA (g)	Urriðafoss-virkjun stöðvarhús PGA (g)
95	1,05	40,92	0,22	0,19	0,19
144	0,69	29,30	0,26	0,22	0,22
475	0,21	10,0	0,36	0,31	0,32
1 000	0,10	4,88	0,42	0,37	0,38
3 000	0,03	1,65	0,51	0,46	0,47
10 000	0,01	0,50	0,61	0,53	0,57

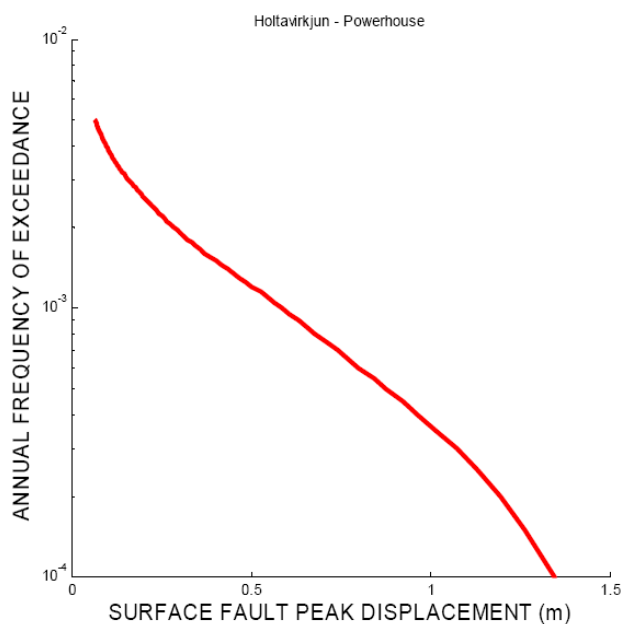
Rannsóknamiðstöð í jarðskjálftaverkfræði hefur sett fram váferla sprunguhreyfinga fyrir virkjanirnar þrjár (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008). Ferlarnir gefa árleg líkindi fyrir sniðgengishreyfingu af tiltekinni stærð á yfirborði fyrir upptakasprungu jarðskjálfta á viðkomandi virkjunarsvæði, sjá Mynd 4.1.1, Mynd 4.1.2 og Mynd 4.1.3. Þessir ferlar verða hluti hönnunarforsenda mannvirkja á virkjanasvæðunum. Í þessu áhættumati hafa ferlarnir verið

lagðir til grundvallar mati á árlegum líkum á sprunguhreyfingu undir stíflum á svæðinu, sem kynni að leiða til stíflurofs. Sjá umfjöllun í kafla 7.2.1 Jarðskjálftar og sprungur.

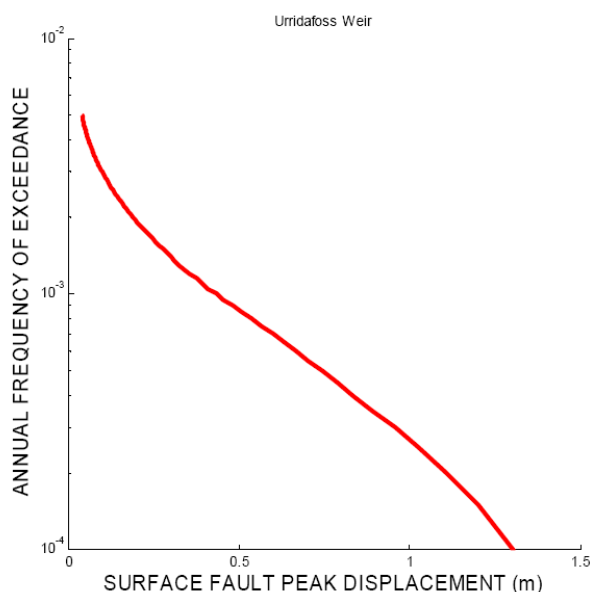
Jarðskjálfti með upptök annars staðar á Suðurlandsbrotabeltinu, utan virkjanasvæðanna, getur valdið smáskjálftavirkni á nálægum misgengjum og titringi og gjökti á yfirborðssprungum (Páll Einarsson, samtal 31. mars 2008). Gengið verður svo frá við hönnun að mannvirkjum sé ekki hætt þó sprungur gjökti undir þeim.



Mynd 4.1.1 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Hvammsvirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).



Mynd 4.1.2 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Holtavirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).



Mynd 4.1.3 Váferill. Árlegar líkur á yfirborðsfærslu á upptakasprungu við Urriðafossvirkjun. Áhættulínan er meðaltal 100 sams konar lína (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).

4.2 Flóð

Ákvörðun um stærð hönnunarflóða nýju stíflnanna byggist á aðferðafræði sem sett var fram við endurmat á flóðum á Þjórsár- Tungnaásvæði (VST hf. o.fl., 2006) og á norsku vatnalögunum (LOV-2000-11-24-82).

Nýju virkjanirnar verða neðst í farvegi, en ýmis lón og mannvirki eru ofar í farveginum sem geta haft mikil áhrif á stærð flóða. Notmarkaflóð nýju stíflnanna vegna úrkomu og snjóbráðnunar er flóð með 1000 ára endurkomutíma (Q_{1000}) þar sem tekið hefur verið tillit til áhrifa allra mannvirkja ofar á vatnasviðinu og gert ráð fyrir að stýringar á flóðvirkjum núverandi mannvirkja séu raunhæfar en óhagstæðar. Stíflur, yfirföll og vatnsvegi skal hanna svo virkin standist slíkt flóð með fyllsta öryggi.

Stíflur skulu standast brotmarkaáburð án stíflurofs. Í slíkum atburði eru takmarkaðar skemmdir mannvirkja viðunandi. Við brotmarkaflóð er miðað við að innrennsli í lón sé 50% meira en innrennsli í notmarkaflóði ($1,5 \cdot Q_{1000}$).

Fyrirhugaðar stíflur verða ekki hannaðar til að standast hamfaraflóð eins og t.d. jökulhlaup vegna goss undir Vatnajökli. Slík flóð eru ekki þekkt á sögulegum tíma og stærð þeirra getur orðið slík að mannvirki breyttu engu um útbreiðslu þeirra. Á hinn bóginn munu lón og flóðvör í stíflum takmarka minni slík flóð.

Tafla 4.2.1 hér að neðan sýnir hönnunarflóð vegna nýrra mannvirkja í Þjórsá.

Tafla 4.2.1 Hönnunarflóð nýrra mannvirkja í Þjórsá.

Lón	Flóðtoppur í innrennsli í lón	
	Notmarkaflóð Q_{1000}	Brotmarkaflóð $1,5 \cdot Q_{1000}$
Hagalón (Hvammsvirkjun)	2 200 m ³ /s	3 300 m ³ /s
Búði (Holtavirkjun)	2 250 m ³ /s	3 375 m ³ /s
Heiðarlón (Urriðafossvirkjun)	2 350 m ³ /s	3 525 m ³ /s

4.3 Heimildir

Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008. *Earthquake hazard and seismic action for proposed power plants in the South Iceland Lowland*. Reykjavík. LV-2008/056.

LOV-2000-11-24-82 (Norge), 2000. *Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)*. Olje- og energidepartementet.

VST hf., Almenna Verkfræðistofan hf., Hönnun hf., 2006. *Flóð á Þjórsár- Tungnaárvæði. Skýrsla 1. Gagnasöfnun og aðferðafræði*. LV-2006/024.

Munnleg heimild

Páll Einarsson, samtali 31. mars 2008.

5 Áhrif nýrra mannvirkja

Í kafla 3 er fjallað um hættur sem stöðja að mannvirkjum í og við Þjórsá fyrir tilkomu fyrirhugaðra virkjana, þ.e. við núverandi aðstæður. Í þessum kafla er fjallað um áhrif nýrra mannvirkja neðan Búrfells á sömu hættur og áður var lýst, auk þeirrar hættu sem getur stafað af umræddum mannvirkjum. Niðurstöður hættugreiningarinnar eru teknar saman í Kafla 5.4 og í Kafla 6 er umfangi og dreifingu hugsanlegra flóða vegna stíflurofs lýst.

5.1 Jarðvá

Um jarðvá á Þjórsársvæðinu er fjallað í Kafla 3.1. Nýjar virkjanir við Þjórsá munu ekki hafa áhrif á eðli þeirra.

Þrátt fyrir að stíflur verði hannaðar til að standast þá jarðskjálftaáraun sem búast má við á svæðinu, og fjallað er um í Kafla 4.1, gætu orðið skemmdir á þeim af völdum jarðskjálfta, sérstaklega séu upptök hans við eða undir stíflum. Skemmdirnar kynnu að leiða til stíflurofs og flóðs í kjölfarið.

Í kjölfar jarðskjálfta eru mannvirki skoðuð og fylgst náið með því hvort einhverjar breytingar hafi orðið, metið er hvort um hættu geti verið að ræða og gripið til aðgerða til að koma í veg fyrir rof sé einhver hætta á því.

5.2 Ísalög

Í Kafla 3.1 er fjallað um ísmyndun fyrir og eftir tilkomu núverandi virkjana. Með tilkomu nýrra mannvirkja í Þjórsá munu ísalög árinna breytast. Við Hvammsvirkjun mun inntakslónið leggja fljótt með krapí ofan að.

Frá útrennsli Hvammsvirkjunar við Ölmóðsey verður opin vök niður að Ánesi þar sem veituinntak Holtavirkjunar er. Vatnsflötur vakarinnar hefur mælst 1,9 til 2,3 km² og verður þar töluverð ísmyndun. Krapinu verður skolað niður fyrir Búða og mun hrannast upp vestan Áness. Væntanlega gerist þetta af sjálfu sér, en ef ekki þá verða lagðir garðar til að stöðva ísinn. Inntakslón Holtavirkjunar verður skilið frá ánni með ísvarnarvegg og lokuvirki þannig að krap kemur ekki til með að hrannast upp þar.

Heiðarlón er í 50 m y.s. og krap þar mun mynda ísþekju, sem ekki berst niður fyrir virkjun. Urriðafosshrónn verður úr sögunni og ágangurinn sem hún olli við Villingaholt og þar neðar. Ofan Heiðarlóns er rúmlega 6 km vel þróaður farvegur upp að Ánesi sunnan og austan við eyrarnar, en tiltölulega lítil kvísl, Murneyrarkvísl við norðan megin, Flóamegin. Frárennsli Holtavirkjunar er um 2 km upp með Ánesi í Áneskvísl og frárennisskurði. Vatnsflötur Þjórsár frá efri enda Heiðarlóns að Ánesi hefur mælst 1,6 til 2,7 km² í frostum. Þarna verður töluverð ísmyndun ef állinn helst opinn, því að frárennsli frá Holtavirkjun getur verið komið í 0°C strax neðan við Ánes. Við núverandi aðstæður eru dæmi um að áin hafi lokast frá Ánesi niður fyrir Kaldárholt, en óljóst er hvort áin muni lokast ofan lónsins án hrannarmyndunar. Ef nauðsynlegt reynist er unnt að móta farveg árinna án skemmda á landi.

5.3 Flóð / hlaup

Í Kafla 3.3 er fjallað um flóð og hlaup í ánni bæði fyrir tilkomu virkjana í ánni og miðað við núverandi mannvirki. Hér er fjallað um flóð og hlaup eftir tilkomu fyrirhugaðra virkjana neðan Búrfells.

Almennt draga uppistöðu- og miðlunarlón úr stærð flóða en uppistöðulón hinna fyrirhuguðu virkjana í Þjórsá neðan Búrfells eru tiltölulega lítil og virkjanirnar í raun rennslisvirkjanir sem verða reknar við stöðugt vatnsborð. Af því leiðir að þær hafa óveruleg áhrif á flóðtoppa í stórum flóðum. Flutningsgeta flóðgátta mun þó leiða til þess að virkjanirnar leiða frekar til lægri

flóðtoppa í slíkum flóðum. Leiðigarðar meðfram lónunum munu valda því að áin helst frekar í farvegi sínum í stærri flóðum og þannig draga úr útbreiðslu flóða.

Ný mannvirki munu ekki hafa nein teljandi áhrif í stórum flóðum vegna jökulhlaupa eða eldsumbrota utan jökla, enda mun áin þá flæða óháð mannvirkjunum.

Mannvirkin munu hafa hverfandi eða engin áhrif á flóð vegna stíflurofs núverandi mannvirkja ofan Búrfells. Leiðigarðar meðfram lónum munu þó heldur draga úr útbreiðslu slíkra flóða.

Í kafla 3.3.6 hér að framan er fjallað um rennslisbreytingar vegna reksturs núverandi virkjana og á það sama við um fyrirhugaðar virkjanir.

5.3.1 Flóð vegna bilana

Í Kafla 3.4 hér að framan er fjallað almennt um forsendur bilana á tækjabúnaði virkjana ofan Búrfells. Hið sama gildir um tækjabúnað í fyrirhuguðum virkjunum. Fram kemur í Kafla 3.4 að stærsta flóð vegna bilana á flóðgáttum gæti haft flóðtopp um 3000 m³/s við Sultartanga. Við Haga væri sami toppur með rennsli um 2100 m³/s. Slík flóð eru minni en 1000 ára flóð (Q_{1000} , sjá kafla 3.3.1) og yllu ekki neinu tjóni á mannvirkjum og einungis óverulegu tjóni á umhverfi. Hætta gæti þó skapast í farvegi árinna við slík flóð sé ekki varað við auknu rennsli.

Flóðgáttir í fyrirhuguðum meginstíflum í farvegi eru geiralokur. Sama gildir um útbúnað þeirra og segir um geira- og hjólalokur í kafla 3.3.7 hér að framan. Mesta rennsli um eina loku getur orðið um 700 m³/s.

Jafnvel stórfelldar bilanir í vél-, raf- eða lokubúnaði mannvirkjana valda því ekki stórflóðum, en hætta gæti skapast fyrir þá sem staddir eru í farvegi árinna neðan viðkomandi stíflu vegna aukins rennslis, sé ekki gert viðvart tafarlaust.

5.3.2 Flóð vegna mistaka

Um mistök vegna nýrra mannvirkja við Þjórsá gilda almennt sambærilegar grunnforsendur og lýst er í Kafla 3.3.8 hér að framan.

Líklegt er að hugsanleg mistök í hönnun og byggingu nýrra stíflna, sem valdið gætu stórflóðum, komi fram annað hvort á framkvæmdatíma, við fyrstu lónfyllingu eða á fyrstu rekstrarárum virkjananna. Þau mistök myndu sýna sig með óeðlilega miklum eða auknum leka í gegn um jarðvegsstíflur, sem leitt gæti til innanrofs og síðan stíflurofs. Stíflurof sambærilegra mannvirkja og hér um ræðir, af völdum slíkra mistaka er ekki þekkt hér á landi.

Mistök við stýringu nýrra mannvirkja sem valdið gætu flóðum, felast í ótímabærri opnun á lokuvirkjum. Slík flóð yrðu mun minni en stíflurofsflóð, en gætu engu að síður valdið hættu fyrir þá sem staddir eru í árfarveginum t.d. við veiðar eða aðra iðju. Mesta rennsli um eina loku gæti orðið um 700 m³/s.

Eins og fram kemur í Kafla 3.3.8 hér að framan eru stærstu flóð sem orðið geta vegna mistaka við ótímabæra opnun flóðgátta með flóðtopp um 3000 m³/s við Sultartanga, flóðið hjaðnaði tiltölulega hratt og myndi ekki valda tjóni á mannvirkjum neðan Búrfells. Það getur þó eins og áður hefur fram komið valdið hættu fyrir þá sem staddir eru í farvegi Þjórsár, komi ekki til viðvarana um aukið rennsli.

5.3.3 Flóð vegna váverka

Almennt gildir það sama um váverk gegn mannvirkjum við neðanverða Þjórsá og fram hefur komið í umfjöllun um mannvirkin ofar í ánni, kafla 3.3.9. Framkvæmdir við neðanverða Þjórsá eru umdeildar og ekki er hægt að útiloka að gripið verði til aðgerða til að reyna að tefja eða koma í veg fyrir þær, eða aðgerða til að trufla starfsemina eftir að framkvæmdatíma lýkur.

Mögulegt er að flóð vegna váverka í formi stýriaðgerða t.d. ótímabær opnun á lokum valdi hættu fyrir þá sem staddir eru í eða nærri farvegi, áhrifin yrðu sambærileg og nefnd eru hér að framan í kaflanum um mistök.

Váverk sem valda kynnu stíflurofi gætu valdið flóðum með sambærilegum afleiðingum og flóð vegna stíflurofs af öðrum orsökum.

Áhrif flóða af völdum váverka á efra svæði Þjórsár hafa engin áhrif á mannvirki á neðra svæðinu, nema ef um stíflurof væri að ræða. Við flóð vegna stíflurofs af efra svæði gætu fyrirhuguð mannvirki skemmst, en þær skemmdir hefðu lítil sem engin áhrif á útbreiðslu eða umfang slíks flóðs.

5.4 Niðurstöður

Eins og fram kemur hér að framan eru jökulhlaup eða váverk á efra svæðinu þeir atburðir sem valdið geta það stórum flóðum í Þjórsá neðan Búrfells að íbúar og umhverfi gætu verið í hættu. Þeir atburðir sem valdið gætu stórum fólum á neðra svæðinu eru atburðir sem leitt gætur til stíflurofs eins og jarðskjálftar, mistök eða váverk.

Tafla 5.4.1 Hættur í neðri hluta Þjórsár eftir tilkomu nýrra virkjana, tíðni þeirra og áhrif á ný mannvirki.

Hætta	Tíðni hættu 1/ár	Áhrif á ný mannvirki	Áhrif tjóns á nýjum mannvirkjum á:		
			Rekstur	Íbúa	Umhverfi
JARÐSKJÁLFTAR Sprunguhreyfingar og yfirborðshröðun	10 ⁻²	Minniháttar	Truflanir	Engin	Engin
		Stíflurof	Stöðvun/ truflanir	Hætta	Lítill
ELDGOS					
Heklugos: Gjóskustíflur í Þjórsá	10 ⁻¹	Minniháttar eða engar skemmdir	Truflanir	Engin	Engin
Heklugos: Vikurhlaup í Þjórsá ⁹	< 10 ⁻³	-	-	-	-
Veidivatnagos: Gjóskustíflur í Tungnaá ¹⁰	10 ⁻² – 10 ⁻³	-	-	-	-
Hraunflóð: Við Neðri-Þjórsá ¹¹	10 ⁻⁴	-	-	-	-
ÍSALÖG	1	Engar skemmdir	Truflanir	Engin	Engin
VENJULEG FLÓÐ: Úrkoma eða leysingar	1 – 1·10 ⁻³	Engar skemmdir	Truflanir	Engin	Engin
JÖKULHLAUP					
Tæming jökullóna	1	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
Tæming katla undir jökli	10 ⁻¹ – 10 ⁻²	Engar skemmdir	Engin	Engin	Engin
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli um 5 000 m ³ /s	2·10 ⁻³	Rof flóðvara	Stöðvun	Hætta	Skemmdir
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli > 10 000 m ³ /s	< 5·10 ⁻⁴	Rof flóðvara eða stíflurof	Stöðvun	Hætta	Skemmdir
Eldgos undir Hofsjökli, rennsli um 5 000 m ³ /s	3·10 ⁻⁴	Rof flóðvara	Stöðvun	Hætta	Skemmdir
BILANIR Stýring á gúmmílokum efri virkjana	< 3·10 ⁻³	Minniháttar eða engar skemmdir	Truflanir	Hætta	Engin
MISTÖK:					
Í rekstri sem valdið geta flóðum ¹²	0	Engar skemmdir.	Engin	Hætta	Engin
Í hönnun og framkvæmd ¹³	0	Innanrof stíflu	Stöðvun	Hætta	Skemmdir
VÁVERK					
Stýriaðgerðir ¹⁴	0	Minniháttar eða engar skemmdir	Truflanir/Stöðvun	Hætta	Engin
Eyðilegging	< 10 ⁻²	Stíflurof	Truflanir/Stöðvun	Hætta	Skemmdir

⁹ Afleiðingar atburðarins hafa ekki verið metnar þar sem breytingar hafa orðið í gosvirkni Heklu síðustu áratugi (Kafli 3.1.4).

¹⁰ Rennsli í stærsta flóði vegna rofs á gjóskustíflu sem þekkt er var líklega minna en 10 000 m³/s, árið 870. Mögulegt flóð v. gjóskustíflu er enn minna þar sem aðstæður til að mynda eins stórt jökulstíflað lón og þá myndaðist eru ekki lengur til staðar. Afleiðingar ekki metnar þar sem stærð flóðs er mjög óljós.

¹¹ Þar sem um afar fátíðan atburð er að ræða hefur ekki verið lagt mat á afleiðingar hans.

¹² Geta tímabundið valdið auknu rennsli í farvegi. Engar upplýsingar um slík tilvik í gagnagrunnum LV eða LN.

¹³ Ekkert tilvik um stíflurof sambærilegra mannvirkja, vegna mistaka, er þekkt hér á landi.

¹⁴ Geta tímabundið valdið auknu rennsli í farvegi. Hefur ekki gerst á rekstrartíma virkjana á Íslandi.

6 Flóð vegna rofs á mannvirkjum

Hér er fjallað um dreifingu flóða vegna mögulegs rofs á fyrirhuguðum mannvirkjum í Þjórsá neðan Búrfells. Vert er að taka fram að mannvirkin eru hönnuð til að þola þá áraun sem vænta má á svæðinu auk þess sem fylgst verður grannt með þeim. Í þessum kafla er því verið að skoða afleiðingar mjög ólíklegra atburða en um er að ræða nýja hættu sem verður til með tilkomu fyrirhugaðra virkjana. Allir flóðaútreikningar miðast við verkhönnun virkjananna þriggja með þeim breytingum sem fyrir liggja þegar þessi skýrsla er gefin út. Þær breytingar sem kunna að vera gerðar á hönnun eftir að þessi skýrsla hefur verið gefin út verða þess eðlis að þær munu ekki auka áhættu fólks á svæðinu frá því sem greint er frá hér.

Við athugun á rofi á mannvirkjum er miðað við norsku vatnalögin (LOV-2000-11-24-82) og reglugerðir og leiðbeiningarrit sem fylgja þeim. Reiknað er með að undirliggjandi flóð í Þjórsá þegar rof á sér stað, sé svokallað meðalársflóð með rennsli 1000 m³/s. Ekki er gert ráð fyrir rennsli um aflvélar og botnrásir virkjunarinnar sem mannvirkið sem rofnar tilheyrir, nema slíkt sé óhagstætt, þ.e. leiði til stærra flóðs, en flóðlokum má stýra. Frá þeirri stundu sem atburður hefst, er hins vegar ekki gert ráð fyrir að stýringum sé breytt á nokkurn hátt.

Afleiðingar stíflurofs eru afar mismunandi eftir því hvar skarð myndast í stíflumannvirki. Sé skarðið staðsett þar sem stíflan er lág, verður flóð frá viðkomandi lóni minna en gæti varað lengur og hugsanlega flæmst yfir annað svæði en flóð vegna skarðs sem myndast þar sem stíflan er há og vatnsdýpi mikið. Fundin eru þau tilfelli sem valda mestri útbreiðslu flóðs fyrir hvert mannvirki fyrir sig. Þannig eru bæði skoðuð til hlítar flóð í kjölfar stíflurofs þar sem stíflan er há en útbreiðsla að mestu í farvegi og á aurum Þjórsár, og flóð þar sem stíflugarðar eða þrýstipípur rofna og vatn flæðir yfir land sem að öllu jöfnu er þurrt.

Farið er yfir mögulegar orsakir og aðdraganda stíflurofs og mat lagt á hvers konar rof hefði mestar afleiðingar. Auk augljósra merkja um stóra jarðskjálfta eða úrkomu, munu berast boð til viðkomandi eftirlitsaðila um óeðlilegan leka, aukinn vatnsþrýsting í stíflum, jarðhræingar, hreyfingar á yfirborði stíflna og háa vatnsstöðu í lónum. Flóðvar getur rofnað ef lón er fullt og yfirfall eða önnur flóðvirki anna ekki innrennsli í lónið af ófyrirséðum orsökum. Flóðvör eru höfð í stíflum til að lágmarka afleiðingar slíkra atburða fyrir mannvirki og umhverfi. Stíflan er lægri þar sem flóðvarið er og því er ætlað að rofna þegar vatn rennur yfir það, þannig myndast skarð með mikla flutningsgetu, vatnsborð í lóni lækkar og ekki er hætta á að meginstíflan rofni. Slíkur atburður hefði nokkurn aðdraganda sem gæfi færi á fyrirbyggjandi aðgerðum.

Ef flóðvirki og rofið flóðvar flytja ekki innrennsli getur farið að renna yfir stíflu sem í tilfelli jarðvegsstíflu getur valdið rofi. Slíkt á sér töluvert langan aðdraganda, m.a. þar sem viðvaranir um hækkandi vatnsborð bærust til stjórnstöðvar LV. Rofið sjálft tæki síðan nokkurn tíma og allar líkur eru á að koma mætti í veg fyrir slíkan atburð með stýringum á lokum og öðrum aðgerðum.

Innanrof vegna mistaka í gerð stíflu eða í kjölfar jarðhræinga ætti sér líka töluverðan aðdraganda enda gefa mælar sem nema leka og þrýstingsbreytingar í stíflu slíkt til kynna. Því má einnig ætla að hægt væri að fara í fyrirbyggjandi aðgerðir áður en til eiginlegs rofs kæmi. Jarðvegsstíflur eru hannaðar í lögum þannig að myndist vatnsrás í gegnum siulög þeirra, á sú rás að falla saman áður en hún veldur tjóni. Gert er ráð fyrir einhverjum leka í gegnum allar jarðvegsstíflur og eru þær byggðar til að þola ákveðið vatnsstreymi. Aukist vatnsþrýstingur eða lekinn og verði lekinn gruggugur er það merki um að eitthvað óeðlilegt sé að gerast í stíflunni. Merki um vatnsstreymi í gegnum stíflu gæti síðar komið fram sem sig á einhverjum stað í yfirvordi stíflunnar, sem mögulegt er að gera við. Gerist það ekki vegna galla í stíflunni heldur vatnsstreymið áfram að aukast smátt og smátt og aukið magn finefna berst út úr stíflunni þar til hún getur rofnað, beri viðgerðir ekki árangur.

Aðdragandi flóðvarsrofs eða stíflurofs af völdum innanrofs eða yfirstreymis getur tekið klukkustundir, daga, vikur eða jafnvel mánuði, með eins og að framan greinir augljósum merkjum um aðdraganda.

Skyndileg og mikil opnun sprungu í jarðskjálfta, sem lægi þvert á eða skáhallt undir stíflumannvirki, gæti valdið stíflurofi með tiltölulega skömmum fyrirvara. Afleiðingar slíks tilviks eru því skoðaðar nánar fyrir stíflumannvirkin. Í Kafla 4 er fjallað um forsendur mannvirkjahönnunar vegna jarðskjálfta og sprunguhreyfinga í kjölfar þeirra.

Ekki er talið mögulegt að steinsteypu hlutar stíflanna rofni í heilu lagi, en opnist sprunga undir lokuvirki gæti komið skarð í það jafn breitt sprungunni og hugsanlegt er, sé sprungan í stærri kantinum, að aðlæg loka losni úr stæði sínu. Í slíku tilfelli myndi rennsli um brotið mannvirkið takmarkast við það sem runnið getur um skarðið sjálft og eitt lokubil. Í öllum tilfellum reiknaðist flóðtoppur í slíku broti mun minni en við flóðvarsrof eða rof jarðvegsstíflu upp við steypa mannvirkið. Ekki flæðir að húsum eða öðrum mannvirkjum í slíku flóði.

Settar hafa verið fram reynslujöfnur sem lýsa þróun rofskarðs í stíflu, s.s. roftíma og lengd skarðs (Johansen o.fl., 1998 og Fread o.fl., 1998). Tími og lengd eru háð lónrýmd og vatnshæð við stífluna. Það tilfelli sem hér er miðað við er að allt að eins metra breið sprunga opnist þvert undir stíflunni/stíflugarðinum sem veldur því að rof hefst. Samkvæmt álitni stíflusérfræðings (Pálmi Ragnar Pálmason, samtal 2007) er ein klukkustund talin stysti mögulegi tími sem það gæti tekið rofskarð í þessum jarðvegsstíflum að fullþróast, og því er reiknað með að skarðið þróaðist í fulla dýpt og lengd á einni klukkustund nema annað sé tekið fram í umfjöllun um einstök rof tilfelli. Í flestum tilfellum reiknast brottími hins vegar mun lengri eða allt að níu klukkustundir. Með þessu móti er flóðtoppur frekar ofmetinn.

Við rof á jarðvegsstíflu af völdum sprunguopnunar undir stíflu má ljóst vera að töluvert vatn ætti að renna ofan í sprunguna. Samkvæmt Páli Einarssyni hafa tjarnir á svæðinu horfið við það að sprungur opnuðust undir þeim eins er algengt að svelgir myndist í sprungunum og því líklegt að mikið vatn muni hverfa ofan í sprunguna (VST hf., 2007). Þar sem hér er verið að skoða versta mögulega flóðatilfelli í kjölfar stíflurofs hefur verið miðað við að ekkert vatn fari ofan í sprunguna heldur renni allt um skarðið. Í öllum tilfellum er einnig gert ráð fyrir því að landið sé þétt og vatn tapist ekki niður í hraunið, með öðrum orðum vatn sem rennur út um skarð á stíflu rennur allt ofanjarðar.

6.1 Hvammsvirkjun

Hvammsvirkjun er efsta virkjun af þremur sem fyrirhugaðar eru í Þjórsá neðan Búrfells. Nánari umfjöllun um virkjunina er að finna í Kafla 2.1.

Fyrir Hvammsvirkjun voru nokkur tilfelli stíflu- og garðarofs skoðuð. Í fyrsta lagi rof á flóðvari en það rof myndi valda stærstu flóði frá Hagalóni. Í öðru lagi rof á garðinum sem liggur upp með ánni á eystri bakka árinna. Rof á garðinum var skoðað alls á sjö stöðum. Fjallað er um þessi tilfelli hér að neðan.

Til viðbótar var rof á þrýstipípunni neðan við landmótun á milli stöðvarhúss og inntaksmannvirkis skoðað. Þessi landmótun takmarkar útbreiðslu vatns ef garðurinn gefur sig og beinir því til baka í ána ofan Viðeyjar. Ef þrýstipípan rofnaði ofan við landmótunina myndi vatn frá henni einnig renna beint í farveginn og ekki valda neinu tjóni. Því var það tilfelli ekki skoðað sérstaklega.

Rof flóðvars

Sú tegund stíflurofs sem að óbreyttu ylli stærstu flóði frá Hagalóni er flóðvarsrof. Slíkt flóð yrði að mestu í farvegi Þjórsár og á áraurum. Fyrirhuguð mannvirki virkjananna tveggja neðan Hvammsvirkjunar, þ.e. Holtavirkjunar og Urriðafossvirkjunar, verða hönnuð þ.a. ekki sé hætt á skemmdum í kjölfar flóðvarsrofs við Hvammsvirkjun.

Í öllum tilfellum er gert ráð fyrir að í ánni sé fast rennsli eins og við topp meðalársflóðs, um 1000 m³/s, að ekkert rennsli sé um aflvélar og að flóðlokum sé stýrt á eðlilegan hátt, þ.a.

lónborð sé í yfirfallshæð 116 m y.s. Í upphafi atburðarins væri vatnsborð því 4 m neðar en krónuhæð flóðvars. Jafnframt er gert ráð fyrir að eftir að rof hæfist yrði opnun loka ekki breytt á nokkurn hátt. Reiknað er með að flóðvarið rofni að fullu á einni klukkustund en botn þess er í 105 m y.s. Flóðið yxi eftir því sem rofskarðið vikkar og dýpkar, svo þegar flóðvarið hefur rofnað að fullu næði flóðið hámarki og rennsli úr Hagalóni yrði þá um 3750 m³/s. Eftir það lækkaði hratt í lóninu og innan við sex klukkustundum eftir að flóðvarsrofið hæfist yrði rennsli frá Hagalóni aftur orðið jafnt og í meðalársflóði, 1000 m³/s. Mynd 6.1.1 sýnir mestu útbreiðslu flóðsins á hverjum stað eftir tilkomu allra þriggja fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá.

Sumarbústaður sem stendur á staurum á árbakka Þjórsár, um 1 km undan stíflustæði Hagalóns, yrði í verulegri hættu í svona flóði. Í því flóði sem er undirliggjandi væri vatnsborð árinna um 0,7 m hærra en í meðalrennsli og vatn næði alveg að staurunum. Einni klukkustund eftir að rof hæfist, hefði vatnsborð árinna náð upp í gólfhæð bústaðarins og vatnshraði í ánni á þessum stað náð að meðaltali um 2,7 m/s. Um 15 mínútum síðar yrði vatnsborð um 0,5 m yfir gólfi, rennsli um 3500 m³/s og flóðhraði 2,9 m/s. Flóðið gengi að mestu yfir á um fjórum klukkustundum. Gera má ráð fyrir að undirstöður bústaðarins standist ekki álagið og hann færi með flóðinu.

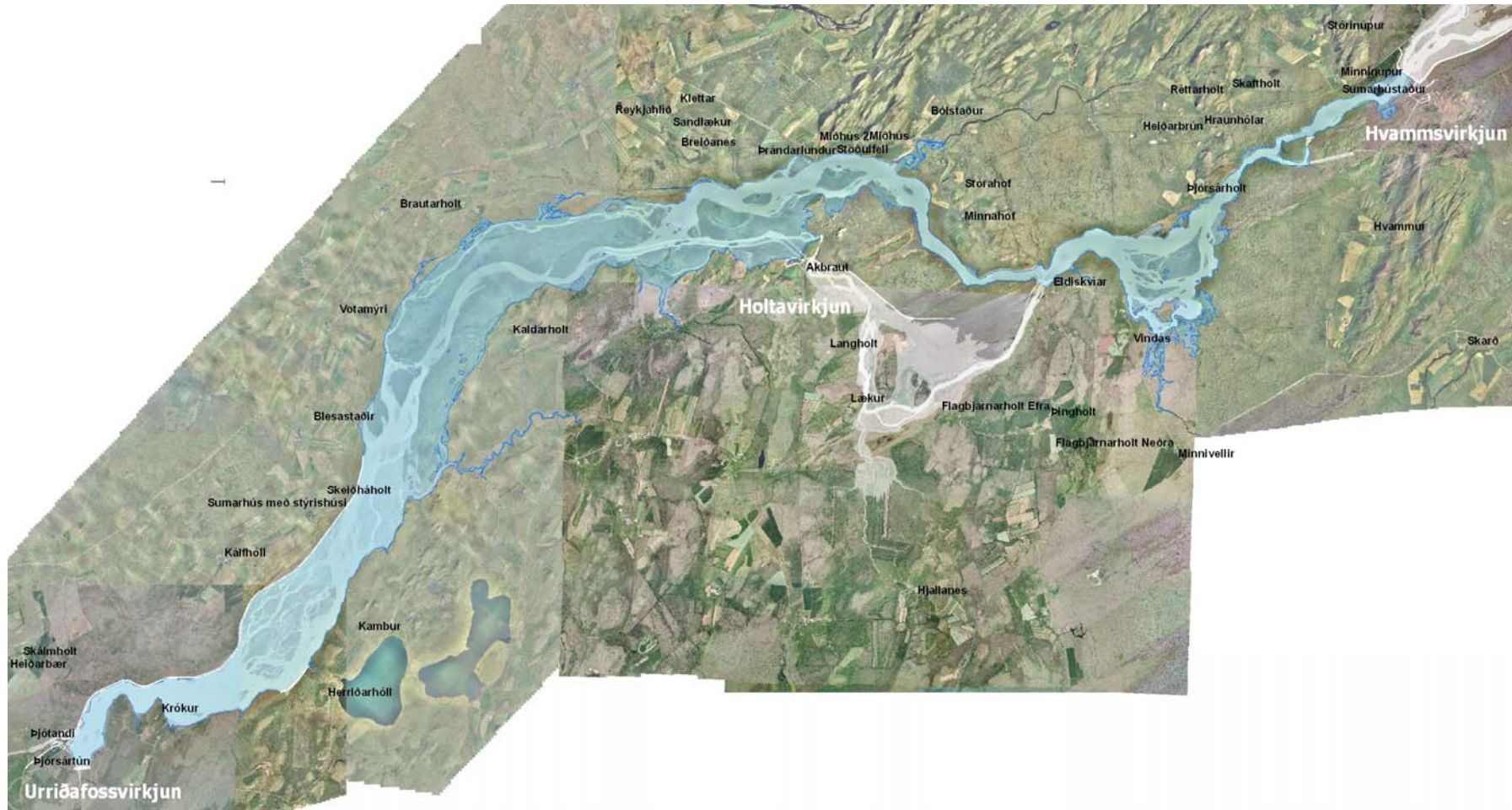
Rennsli að veituvirki ofan Búðafoss yxi upp í hámark 3150 m³/s á tæpum tveimur klukkustundum frá því að rof hæfist við Hagalón og flóðbylgjan við Búðafoss gengi að mestu yfir á innan við sex klukkustundum frá því að rof hæfist. Í upphafi rofs við Hagalón væri vatnsborð ofan Búðafoss 75 m y.s. Tvö tilfelli voru skoðuð vegna áhrifa rofsins á Árneslón; 1) Lokur inn í Árneslón lokaðar, vatnsborð ofan Búðafoss myndi hækka um 1,9 m og allt rennsli færi á yfirfall við Búðafoss og í farveg Þjórsár. 2) Lokur í veituvirki ofan Búðafoss nægilega mikið opnar til að flytja virkjað rennsli Holtavirkjunar inn í Árneslón við vatnsborð sem nemur 75 m y.s. ofan Búðafoss. Vatnsborð í Árneslóni væri 71 m y.s. í upphafi og virkjað rennsli 330 m³/s færi um Holtavirkjun út í Árneskvísl. Vatnsborð ofan Búðafoss hækkaði um 1,6 m og þegar flóð væri í hámarki færu 400 m³/s inn í Árneslón og vatnsborð í lóninu hækkaði um 0,1 m.

Við bæinn Kaldárholt er hitaveituskúr sem flætt gæti að.

Í upphafi atburðarins væri lónborð í Heiðarlóni 50 m y.s. og lokur stilltar þ.a. þær flyttu meðalársflóðið, 1000 m³/s. Um þremur klukkustundum frá því að rof hæfist við Hagalón byrjaði rennsli inn í Heiðarlón að aukast, það yxi úr 1000 m³/s í 2350 m³/s á um tveimur klukkustundum. Þar sem ekki er gert ráð fyrir að lokur verði opnaðar meira til að flytja flóð umfram undirliggjandi meðalársflóð hækkaði lónborð um 1,1 m. Flóðbylgjan inn í Heiðarlón gengi alveg yfir á um sex klukkustundum frá því aukins rennslis yrði vart.

Stíflugarður á vesturbakka Þjórsár við lónstæði Heiðarlóns myndi halda flóðum í farveginum og kæmi þannig í veg fyrir að stór flóð sem að öðrum kosti hefðu getað flætt upp á land valdi skemmdum. Stíflurof hinna fyrirhuguðu mannvirkja í Þjórsá neðan Búrfells myndu ekki valda það stórum flóðum að hætta væri á að þau flæddu út fyrir farveg og aura árinna. Verði hins vegar flóðvarsrof eins og lýst er í þessum kafla fyrir tilkomu stíflugarðsins neðst á Skeiðum og efst í Flóahreppi yrði flóðtoppur við Urriðafoss um 2000 m³/s og skurður á milli Kálfhóls og Skálmholtshrauns barmafullur næst ánni. Eftir tilkomu garðsins myndi slíkt flóð ekki berast í skurðinn.

Til greina kemur að reisa garð við HERRÍÐARHÓL sem myndi halda að lóninu og varna því að vatn flæddi inn á landið við rekstrarvatnsborð Heiðarlóns, við flóð í ánni og af völdum rofs Hvammsstíflu. Ef garðurinn verður ekki reistur myndi lóna inn á land HERRÍÐARHÓLS en ekki er hætta á að flæddi að bænum.



Mynd 6.1.1 Útbreiðsla flóða í kjölfar flóðvarsrofs Hvammsstíflu eftir tilkomu Holta- og Urriðafossvirkjunar með garði við Herlóðarhól. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.

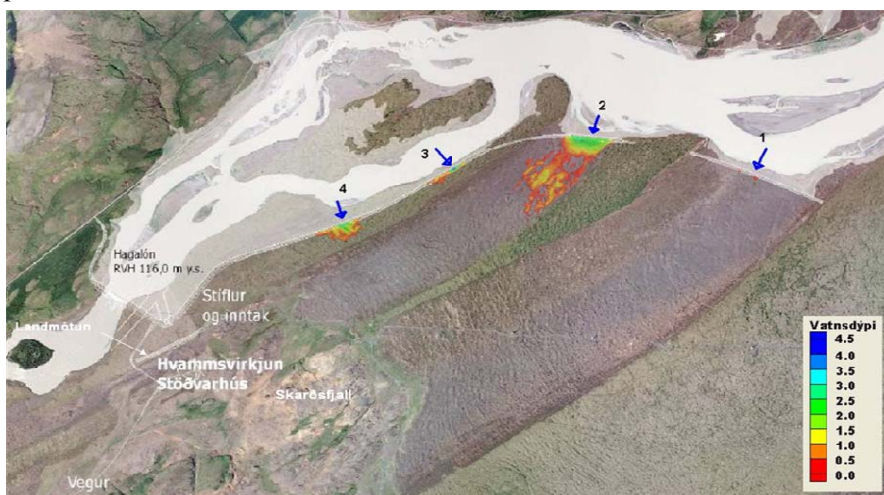
Tafla 6.1.1 sýnir hæð vatnsborðs við flóðvarsrof borna saman við venjulegt vatnsborð á nokkrum viðmiðunarstöðum fyrir tilkomu virkjana í Neðri-Þjórsá.

Tafla 6.1.1 Vatnsborð við flóðvarsrof Hvammsstíflu á viðmiðunarstöðum.

Staður	Bæjarhlað / gólfhæð [m y.s.]	Venjulegt vatnsborð [m y.s.]	Flód með 1000 ára endurkomutíma Q_{1000}		Flóðvarsrof Hvammsstíflu	
			[m ³ /s]	[m y.s.]	[m ³ /s]	[m y.s.]
Hagi	141,0	113,8	2200	115,7	--	--
Minni-Núpur	117,4	100,7	2250	102,5	3500	103,4
Sumarbústaður við Minni-Núp	103,0	100,7	2250	102,5	3500	103,4
Hvammur	102,8	95,7	2250	96,8	3500	98,3
Þjórsárholt	91,8	79,3	2250	80,6	3450	81,1
Minna-Hof	84,8	61,3	2350	64,0	3150	64,7
Þrándarlundur	73,7	59,5	2350	31,3	2850	61,7
Breiðanes	61,0	57,0	2350	58,3	2700	58,5
Votamýri	55,8	50,2	2350	51,8	2350	51,9
Kálfhóll	52,5	47,9	2350	50,3	1950	49,9
Heiðarbær	47,2	43,0	2350	45,3	1900	44,8

Rof á stíflugörðum

Stíflugarðinum upp með ánni austanverðri var skipt upp í sjö hluta og versti stíflurofsstaður m.t.t. flóðaútbreiðslu á hverjum stað skoðaður, sjá Mynd 6.1.3. Forsendur eru allar þær sömu og fyrir flóðvarsrofið sem fjallað var um hér að ofan og vatnshæð í lóni því 116 m y.s. Á svæðum 1-4 myndi vatn einungis lóna upp að hæð 116 m y.s. yfirfallshæð og stækka lónið þannig tímabundið eða þar til búið væri að gera við garðinn. Mynd 6.1.2 sýnir þessi tilfelli og dýpið í pollunum, sbr. litakvarða.



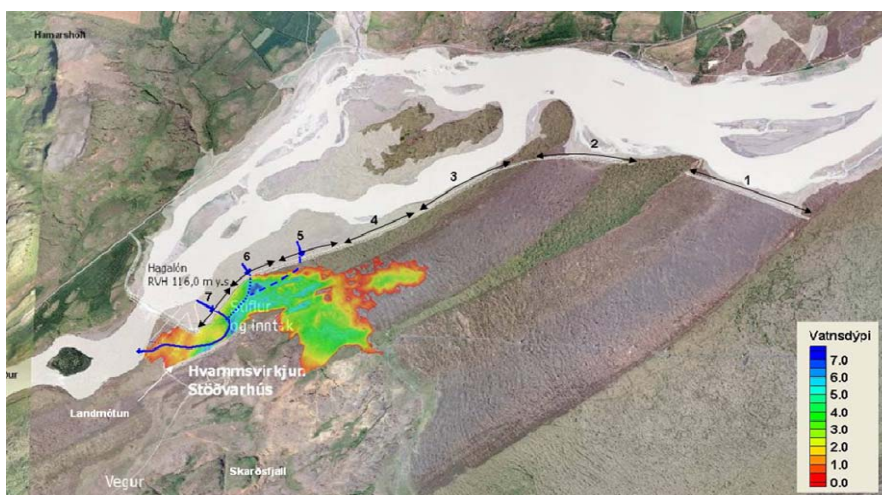
Mynd 6.1.2 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæðum 1-4.

Garðurinn er hæstur við svæði 7 og 6, en þar er landhæð um 112 m y.s., og rof þar mundi því valda mestu flóði. Brotlengd eftir garðinum getur orðið allt að 70 m. Landmótun á milli stöðvarhúss og inntaks, sjá Mynd 6.1.2, myndi beina flóðinu stystu leið aftur í farveg árinna og koma þannig í veg fyrir að flætt gæti að byggð. Mesta rennsli um þennan farveg væri 680 m³/s en rennsli um rofskarðið takmarkast af því að leið þess liggur yfir veg sem liggur hærra en

landhæð við skarðið. Rennsli um rofskarðið eykst hratt og nær hámarki á klukkustund en lækkar svo nokkuð hratt og er fallið niður í um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ eftir 12 klst.

Mynd 6.1.3 sýnir það svæði sem myndi blotna ef garðurinn rofnaði á svæði 6 eða 7. Litirnir sýna vatnsdýpi á svæðinu og bláu línurnar aftan við örvarnar sýna meginrennslisferla vatnsins. Rennslis hraði um skarðið sjálf og allra næst ánni aftan við landmótunina og veginn væri á bilinu 4-6 m/s þegar rennslið væri sem mest. Meðalhraði á miðkaflanum, svæðinu meðfram landmótuninni, væri um 2,5 m/s við mesta rennsli. Á svæðinu sem blotnar norðan Skarðsfjalls utan við hinn eiginlega straum, hækkaði vatnsborð á einni klukkustund upp í 115 m y.s. og lækkaði síðan á öðrum 12 klukkustundum niður í 113 m y.s. og stæði þá í fastri hæð þar til lækkað hefði í Hagalóni og lekinn um garðinn stöðvaður.

Rennsli frá svæði 5 myndi takmarkast við mjóa rennu sem er með landhæð undir 116 m y.s. Rennslið gæti mest orðið u.þ.b. $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Mjó ræma myndi blotna út frá örinni sem sýnd er á Mynd 6.1.3 við svæði 5. Landhæðin við veginn myndi valda pollamyndun svipaðri og sýnd er á sömu mynd fyrir brot á svæðum 6 og 7 nema hvað útbreiðslan væri aðeins minni og vatnsborð í stóra pollinum norðan við Skarðsfjall myndi verða hæst í u.þ.b. 113 m y.s.



Mynd 6.1.3 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 5-7.

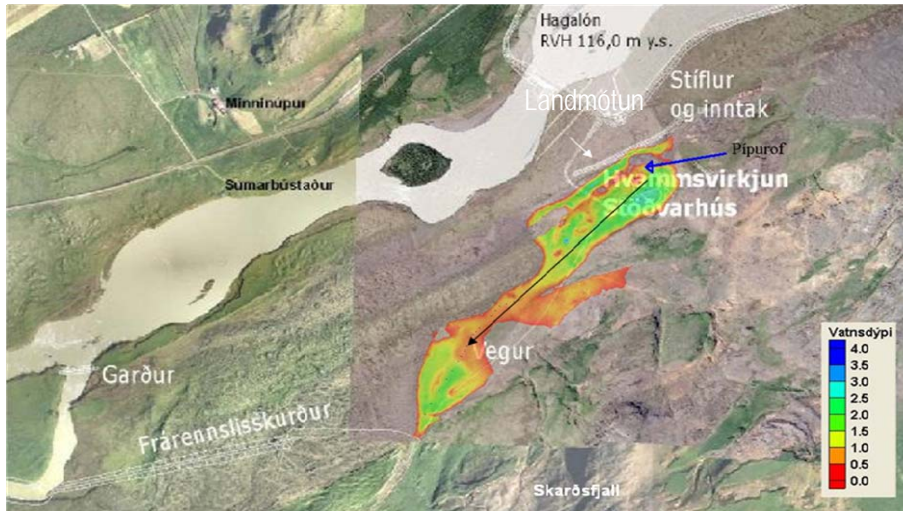
Rof þrýstipípa sunnan við landmótunina á milli stöðvarhúss og inntaks

Þrýstipípurarnar eru stálpípur sem eiga að þola jarðskjálfta og sprunguhreyfingar upp að vissu marki. Í áhættumatinu er skoðað hvað pípurof gæti haft í för með sér. Gert er ráð fyrir óeðlilega slæmu tilfelli þar sem báðar pípurarnar klippast í sundur og 1 m bil myndast á milli pípubrotanna. Við atburðinn stöðvast virkjunin og vatn rennur því einungis út úr pípunum um rifuna. Þetta rennsli, um báðar pípurarnar, reiknast samtals $450 \text{ m}^3/\text{s}$. Í útreikningunum er ekki reiknað með mótstöðunni sem jarðvegurinn sem umlykur pípurarnar mun valda heldur er miðað við að vatnið komist óhindrað út um rifuna allan hringinn. Hér er því um ofmat að ræða á mesta rennsli.

Komið verður fyrir búnaði í inntaki sem lokar inntakslokunum sjálfvirkt við atburð sem þennan á innan við 10 mínútum og miðað er við að á þeim tíma dragi línulega úr rennslinu niður í ekki neitt.

Mynd 6.1.4 sýnir það svæði sem myndi blotna í þessum atburði. Bláa örinn sýnir hvar þrýstipípan rofnar og sú svartá rennslisstefnu vatnsins. Tveir meginpollar yrðu til, sá efri við stöðvarhúsið og sá neðri rétt ofan við veginn sem liggur að frárennsliskurðinum. Í þessu tilfelli hefur tíminn mikið að segja. Í upphafi atburðarins rynni mest út um pípurarnar og það vatn safnaðist fyrir í efri pollinum. Eftir örfáar mínútur færi að renna yfir í neðri pollinn en það rennsli næði hámarki á um það bil 10 mínútum eða um það leyti sem hætti að renna út um pípurarnar. Hámarksrennsli á milli pollanna væri einungis um $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Fyrirhugaður vegur að frárennsliskurðinum myndi takmarka útbreiðslu flóðsins og því mynduðust einungis þessir

tveir pollar. Mesta vatnshæð í efri pollinum, þar sem stöðvarhús virkjunarinnar er staðsett, væri um 107,3 m y.s. og 106,6 m y.s. í þeim neðri, en sú vatnshæð væri einnig lokavatnshæð á öllu því svæði sem blotnaði eftir að vatnsborðið hefði náð jafnvægi á milli pollanna. Litakvarðinn sem sýnir vatnsdýpið sýnir hámarksdýpi í atburðinum.



Mynd 6.1.4 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á þrýstipípunum stöðvarhúss megin við landmótunina.

6.2 Holtavirkjun

Holtavirkjun er staðsett á milli Hvammsvirkjunar og Urriðafossvirkjunar. Nánari umfjöllun um virkjunina er í kafla 2.2. Árneslón er uppistöðulón Holtavirkjunar og er í núverandi farvegi Árneskvíslar. Veituvirki ofan Búðafoss veitir vatni annars vegar um lokuvirki inn í Árneslón og hins vegar á yfirfalli í farvegi Þjórsár. Flóð í Þjórsá fara að mestu um yfirfall við Búðafoss í farvegi Þjórsár en ekki inn í Árneslón.

Við Holtavirkjun voru nokkur tilfelli stíflu- og garðarofs skoðuð nánar. Annars vegar roftilvik mannvirkja við Búða og hins vegar rof Árnesstíflu í farvegi og rof garðs meðfram Árneseyju á nokkrum stöðum.

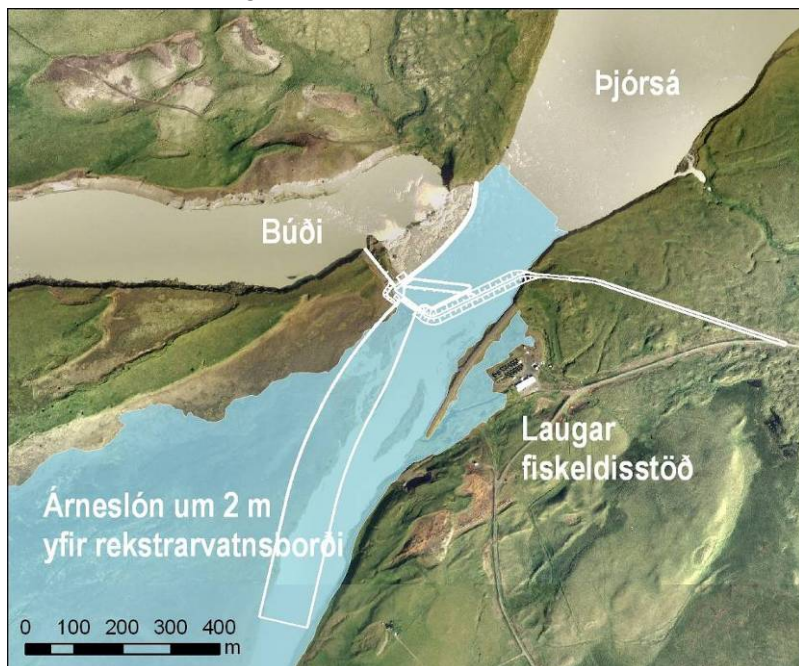
Rof Búðastíflu

Sú hættu sem helst getur stafað af stíflurofi Búðastíflu er ef flóðlokur í Árnesstíflu væru lokaðar og vélar Holtavirkjunar í gangi þegar jarðvegsstífla rofnaði, þ.a. flæddi inn í Árneslón og á sama tíma stöðvuðust vélar Holtavirkjunar. Þannig hefði vatn greiða leið inn í Árneslón en ekki úr því og vatnsborð myndi hækka þar til það næði flóðvarshæð eða gripið yrði til ráðstafana, s.s. neyðaropunar loka.

Við stíflurof Búðastíflu er reiknað með að í Þjórsá sé meðalársflóð 1000 m³/s og vatnsborð ofan við Búðafoss 75 m y.s., þ.e. einum metra yfir yfirfallshæð. Lokur í veituvirki eru opnar þ.a. þær flytja virkjað rennsli Holtavirkjunar 330 m³/s inn í Árneslón. Gert er ráð fyrir að 13 m langt skarð myndist í jarðvegsstíflu austan lokuvirkis með brotbotni í hæð 72 m y.s. Ennfremur er gert ráð fyrir að skarðið sé að fullu rofið á 45 mínútum¹⁵. Um leið og rof hefst stöðvist vélar Holtavirkjunar og því ekkert rennsli úr Árneslóni. Rennsli inn í Árneslón ykist eftir því sem skarðið í jarðvegsstíflunni breikkaði og dýpkaði og þegar það yrði að fullu myndað væri rennsli inn í Árneslón um skarð og opnar lokur samtals um 470 m³/s en um 530 m³/s færu um yfirfall í Þjórsá. Vatnsborð ofan við Búðafoss og veituvirki lækkaði um 0,1 m en vatnsborð í Árneslóni

¹⁵ Vatnsmagn ofan jarðvegsstíflunnar ofan við Búðafoss er lítið og stíflan lág í samanburði við aðrar stíflur. Rofs skarðið er því stutt og grunnt og rennsli um það hefur lítil áhrif á vatnsborð ofan stíflunnar. Sá tími sem tekur skarðið að vikka og dýpka í fulla stærð er því styttri en í öðrum jarðvegsstíflum.

hækkaði jafnt og þétt og verði ekkert aðhafst til að hleypa vatni úr Árnslóni yrdi vatnsborð í 73 m y.s. um átta klukkustundum eftir að rof hæfist, eða um tveimur metrum yfir rekstrarvatnsborði og einum metra undir krónuhæð stíflu.



Mynd 6.2.1 Mannvirki við Búða. Árnslón um 2 m yfir rekstrarvatnsborði.

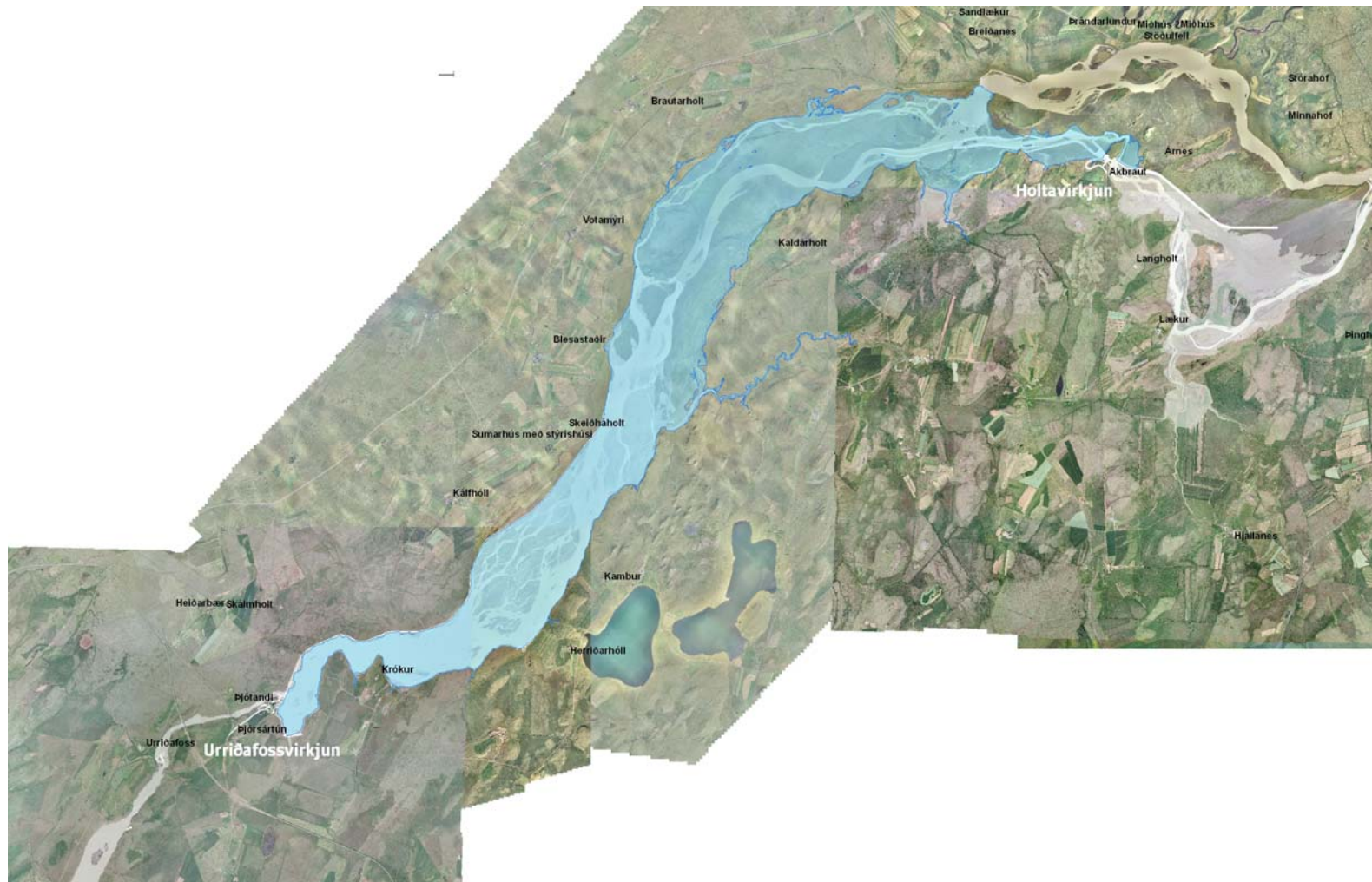
Lægsta núverandi mannvirki við Árnslón er bygging við eldiskvíar fiskeldis við Búða, í hæð 73,9 m y.s. Eldiskvíarnar eru í hæð 74,1 m y.s. Flóðvar verður í Árnslóni, en það hefur ekki verið útfært. Krónuhæð stíflunnar er 74 m y.s. og flóðvar verður þannig hannað að vatnsborð stígi ekki upp í krónuhæð stíflu, enda fyrst og fremst gert til að verja stíflu. Því er ekki gert ráð fyrir að vatn flæði að þeim mannvirkjum sem nú eru á svæðinu í þessu flóði.

Rof Árnestíflu

Sú tegund stíflurofs sem að óbreyttu ylli stærstu flóði frá Árnslóni er rof á jarðvegsstíflu við hlið lokuvirkis austan megin. Slíkt flóð væri bundið við farveg Þjórsár og áraura og ylli engum skemmdum á mannvirkjum neðar í farveginum en þó gæti flætt að hitaveituskúr við bæinn Kaldárholt. Skarðið gæti á þessum stað orðið um 50 m langt og botn þess væri í 64 m y.s.

Við stíflurof er reiknað með meðalársflóði í Þjórsá um $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Ennfremur er reiknað með að lokur í Búðastíflu séu fullopnar og rennsli inn í Árnslón sé því um $360 \text{ m}^3/\text{s}$. Jafnframt er reiknað með að ekkert rennsli sé um aflvélar en að flóðlokum sé stýrt á eðlilegan hátt, þ.a. í upphafi atburðar sé vatnsborð Árnslóns í 71 m y.s. Gert er ráð fyrir að lokur í Árnestíflu séu nánast fullopnar. Í upphafi atburðar væri vatnsborð því 3 m neðar en krónuhæð stíflunnar. Gert er ráð fyrir að eftir að rof hefjist verði opnun loka ekki breytt á nokkurn hátt. Reiknað er með að skarðið sé fullmyndað á einni klukkustund. Rennslið yxi eftir því sem rofskarðið vikkaði og dýpkaði. Þegar flóðvarið væri rofnað að fullu næði flóðið hámarki og rennsli úr Árnslóni yrði þá um $1800 \text{ m}^3/\text{s}$. Eftir það lækkaði hratt í lóninu og innan við sex klukkustundum eftir að flóðvarsrofið hæfist væri rennsli frá Árnslóni aftur orðið um $360 \text{ m}^3/\text{s}$.

Á Mynd 6.2.2 er sýnd mesta útbreiðsla flóðsins á hverjum stað eftir tilkomu allra þriggja fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá.



Mynd 6.2.2 Flóðaútbreiðsla í kjölfar stíflurofs Árnestíflu eftir tilkomu Urriðafossvirkjunar og með garði við Herriðarhól. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.

Rennsli í flóðtoppi í Þjórsá neðan eyjunnar Árness yrði tæplega 2500 m³/s og rennsli inn í Heiðarlón um 1900 m³/s um þremur klukkustundum eftir að rof í jarðvegsstíflu Árnslóns hæfist. Vatnsborð í Heiðarlóni hækkaði um tæpan einn metra. Hvergi væri hætt á að vatn flæddi upp á land. Án Urriðafossvirkjunar og stíflugarðs við Heiðarlón yrði flóðtoppur við skurð á milli Kálfhóls og Skálmholtshrauns um 1600 m³/s og engin hætt á að flæddi inn á land. Í töflu Tafla 6.2.1 er hæð vatnsborðs við rof Árnestsíflu borin saman við venjulegt vatnsborð á nokkrum viðmiðunarstöðum fyrir tilkomu virkjana í Neðri - Þjórsá.

Tafla 6.2.1 Vatnsborð við rof Árnestsíflu á viðmiðunarstöðum.

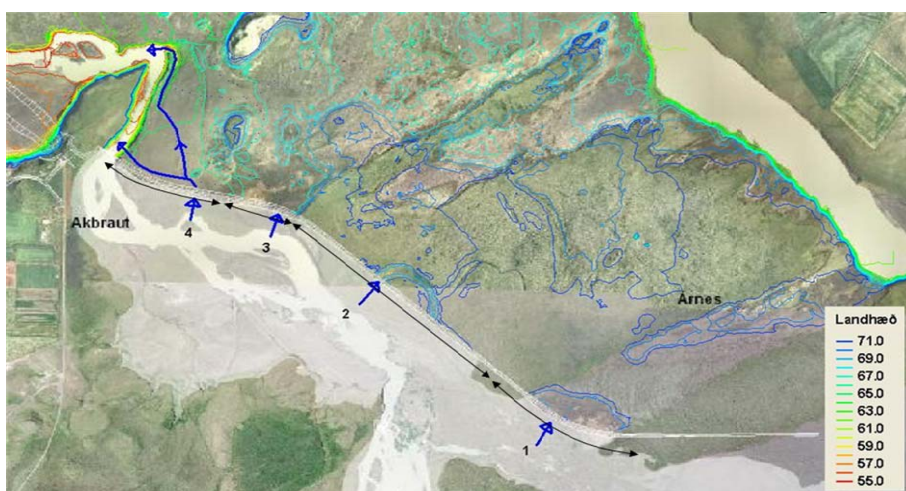
Staður	Bæjarhlað / gólfhæð [m y.s.]	Venjulegt vatnsborð [m y.s.]	Flóð með 1000 ára endurkomutíma Q ₁₀₀₀		Stíflurof Árnestsíflu	
			[m ³ /s]	[m y.s.]	[m ³ /s]	[m y.s.]
Votamýri	55,8	50,2	2350	51,9	1950	51,7
Kálfhóll	52,5	47,9	2350	50,3	1600	49,5
Heiðarbær	47,2	43,0	2350	45,3	1600	44,5

Flóðvarsrof

Flóðvar Árnslóns verður hannað þannig að rof þess hafi ekki meiri afleiðingar en rof Árnestsíflu sem lýst er hér að framan.

Rof á stíflugörðum

Stíflugarðinum upp með Árnosi var skipt upp í fjóra hluta og versti stíflurofsstaður á hverjum stað skoðaður. Mynd 6.2.3 sýnir eins metra hæðarlínur á svæðinu sem til skoðunar var. Einungis hæðarlínur á bilinu 55 til 71 m y.s. eru sýndar enda hæðir ofan við 71 m y.s. komnar yfir rekstrarvatnsborð Árnslóns og því ekki áhugaverðar í þessu sambandi. Á myndinni eru sýndir meginfarvegir frá rofskarði á svæði 4, en útbreiðsla vatns vegna rofs þar yrði sambærileg við útbreiðslu upp á Árnos austan Árnescvíslar í rofi meginstíflu sem sýnd er á Mynd 6.2.2. Fjallað verður ítarlega um rofstaði 1-3 hér að neðan.



Mynd 6.2.3 Hæðarlínur á bilinu 55 – 71 m y.s. á svæðinu meðfram stíflugarðinum við Árnos og skipting garðsins í rofsvæði 1-4.

Eftir því sem rofið væri fjær aðalstíflunni færir það ofar í landið og minna vatn myndi flæða um rofskarðið.

Við rof á svæði 1 myndi einungis lóna upp að hæð 71 m y.s. og lónið stækka þannig tímabundið eða þar til búið væri að gera við garðinn. Mynd 6.2.4 sýnir þetta tilfelli og dýpið í pollinum, sbr. litakvarða.



Mynd 6.2.4 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 1.

Á svæði 2 er landhæð lægst í skeifulaga dæld, sjá Mynd 6.2.5. Aftan við dældina hækkar landið aftur og takmarkast hámarksrennsli við þversniðið sem strikað er með svörtum boga inná myndina. Landhæð í því er á milli 70,5 og 71 m y.s. Hámarksrennsli um rofskarð á þessu svæði væri um $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Svæðið sem blotnaði takmarkaðist að mestu við uppblástursgeira, en það er sýnt á Mynd 6.2.5. Litirnir tákna vatnsdýpi og bláa línan sýnir farveg vatnsins. Þar sem um lítið rennsli væri að ræða lækkaði hægt í lóninu og því gæti það varað í langan tíma en gengi þó niður á innan við sólarhring.

Rennslis hraði væri almennt innan við 0,6 m/s en þó væru einstaka kaflar með hraðara rennsli, til að mynda þar sem vatnið rennur í Þjórsá handan eyjunnar og á smá kafla þar sem þrengingin er mest rétt ofan við miðja eyjuna.

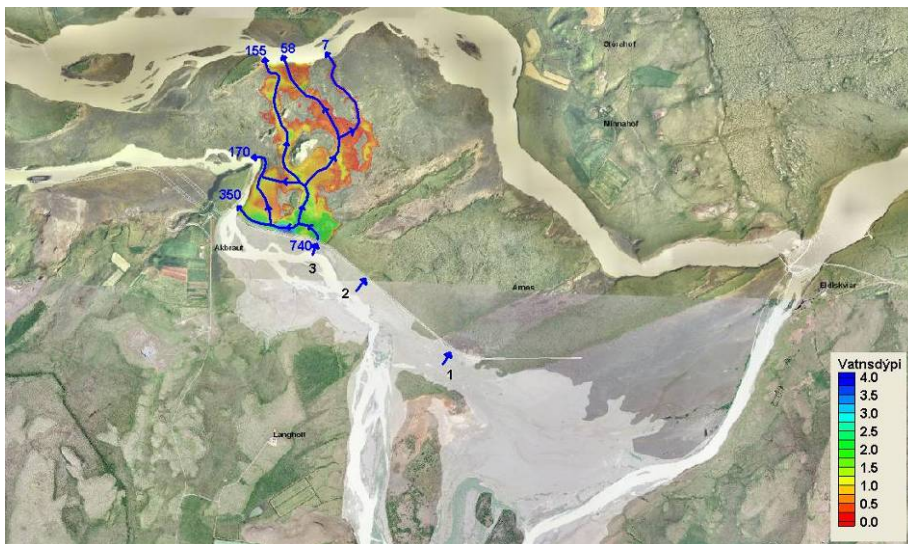


Mynd 6.2.5 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 2.

Á svæði 3 myndi rennslið takmarkast af brotlengd stíflugarðsins sem gæti orðið allt að 60 m langt þar sem landhæðin er um 67 m y.s. Við rof myndi rennslið aukast mjög hratt á þeirri klukkustund sem það tæki garðinn að rofna í fulla lengd. Hámarksrennsli yrði um $740 \text{ m}^3/\text{s}$, það lækkaði hratt í lóninu og vatnsmagnið sem færi um skarðið minnkaði að sama skapi mjög hratt.

Tveimur tímum eftir að hámarksrennsli væri náð væri rennslið dottið niður í $500 \text{ m}^3/\text{s}$ og að fimm tímum liðnum niður í um það bil $140 \text{ m}^3/\text{s}$. Hálfum sólarhring eftir að rof hæfist væri rennsli um skarðið innan við $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Mynd 6.2.6 sýnir það svæði sem myndi blotna í þessum atburði. Litirnir sýna vatnsdýpi, bláu línurnar farvegi vatnsins og bláu tölurnar hámarksrennsli.

Rennslis hraði er almennt frekar hár eða yfir 2 m/s í flestum farvegum enda töluverður hæðarmunur á milli bakka og rennsli frekar mikið. Samhliða minnkandi rennsli myndi rennslis hraðinn minnka og farvegum fækka.



Mynd 6.2.6 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 3.

Bláir ferlar tákna helstu rennslisleiðir og bláar tölur rennsli í m^3/s .

6.3 Urriðafossvirkjun

Í Urriðafossvirkjun er gert ráð fyrir að nýta fall árinna frá Heiðartanga niður fyrir Urriðafoss, sjá nánari lýsingu í Kafla 2.3.

Við mat á útbreiðslu flóða vegna stíflurofs voru skoðuð roftilvik vegna rofs á jarðvegshluta Urriðafossstíflu í farvegi og vegna rofs á nokkrum stöðum á stíflugarði meðfram Heiðarlóni.

Rof Urriðafossstíflu

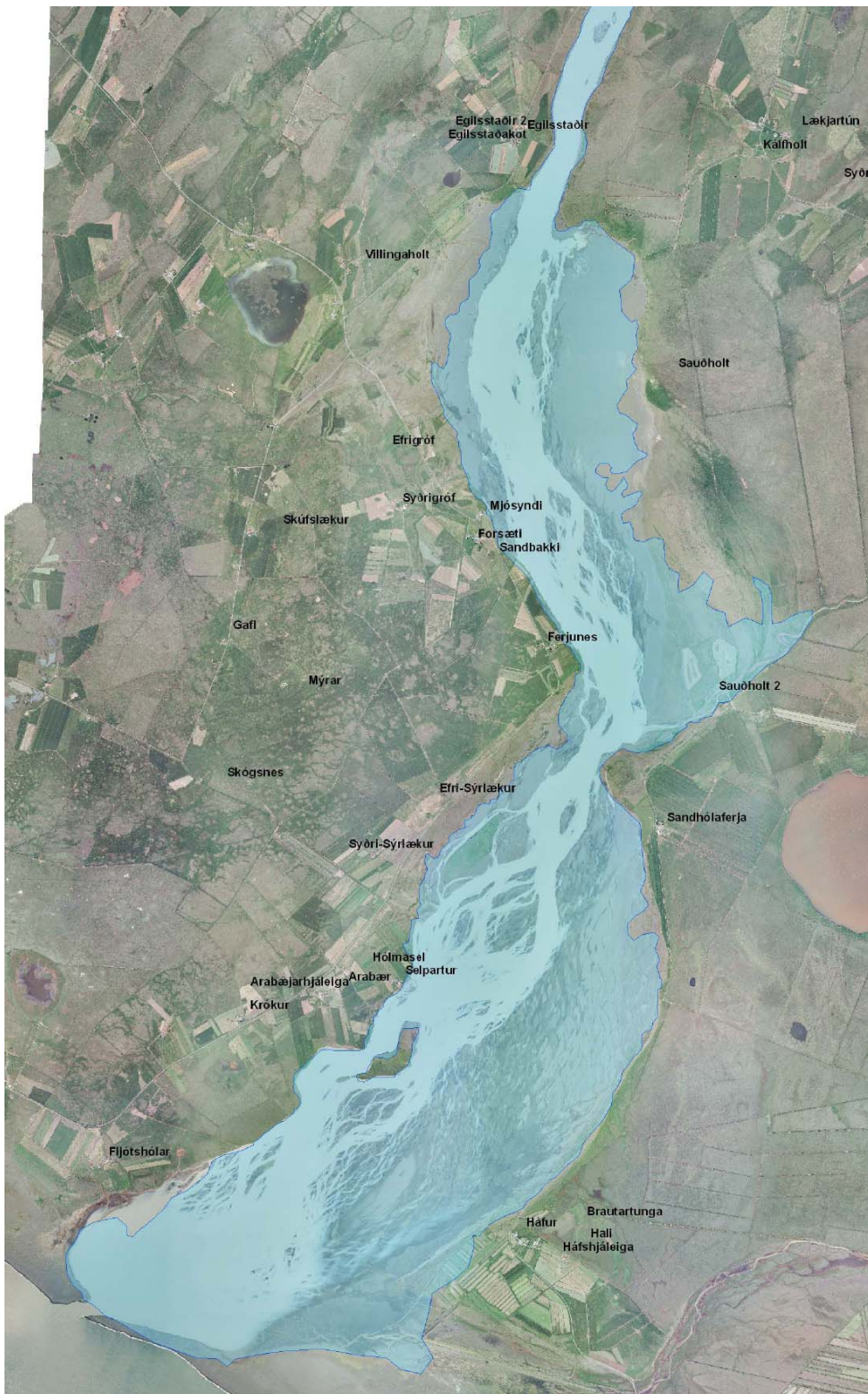
Urriðafossstífla er jarðvegsstífla, hún er hæst um 14 m þar sem hún liggur yfir gilið. Stærsta flóðið vegna rofs stíflunnar hlýst því af broti í giliinu. Við upphaf stíflurofs er gert ráð fyrir rekstrarvatnsborði 50 m y.s. í lóninu, þ.e. vatnsdýpi um 10 m við stíflu, undirliggjandi meðalársflóði $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ og að lokur séu opnar nægilega til að flytja slíkt flóð. Ekki er reiknað með rennsli um aflvélar. Gert er ráð fyrir að 95 m langt skarð gæti myndast í stíflunni á einni klukkustund og eftir að rof hæfist væri engum stýringum breytt. Mynd 6.3.1 sýnir mestu útbreiðslu vatns neðst í giliinu og niður að ósi.

Flóðtoppur næst stíflunni yrði yfir $3700 \text{ m}^3/\text{s}$ en hjaðnaði verulega eftir því sem lengra drægi niður með ánni. Mynd 6.3.2 sýnir hvernig flóðtoppurinn minnkaði úr rúmlega $3700 \text{ m}^3/\text{s}$ niður í rúmlega $2100 \text{ m}^3/\text{s}$ rétt ofan við bæinn Sauðholt I og enn frekar við Ferjunes, eða niður í um $1800 \text{ m}^3/\text{s}$. Samanburður við hönnunarflóð og mældan flóðtopp við Þjórsártún í desember 2006 sýnir að rétt ofan við Sauðholt I væri toppurinn orðinn lægri en flóðtoppur hönnunarflóðs og nálgast flóðtoppinn 2006 eftir því sem nær drægi ósnum.

Enginn bær væri í hættu vegna flóðrofsins en Sauðholt II yrði umflotið. Bærinn er byggður á eyrum árinna og mun áin flæða að honum í venjulegum flóðum árinna.

Engir vegir væru í hættu vegna flóðs af völdum rofs Urriðafossstíflu. Samkvæmt upplýsingum frá Vegagerðinni er talið að nýja brúin yfir Þjórsá væri ekki í hættu í flóði vegna rofs stíflunnar,

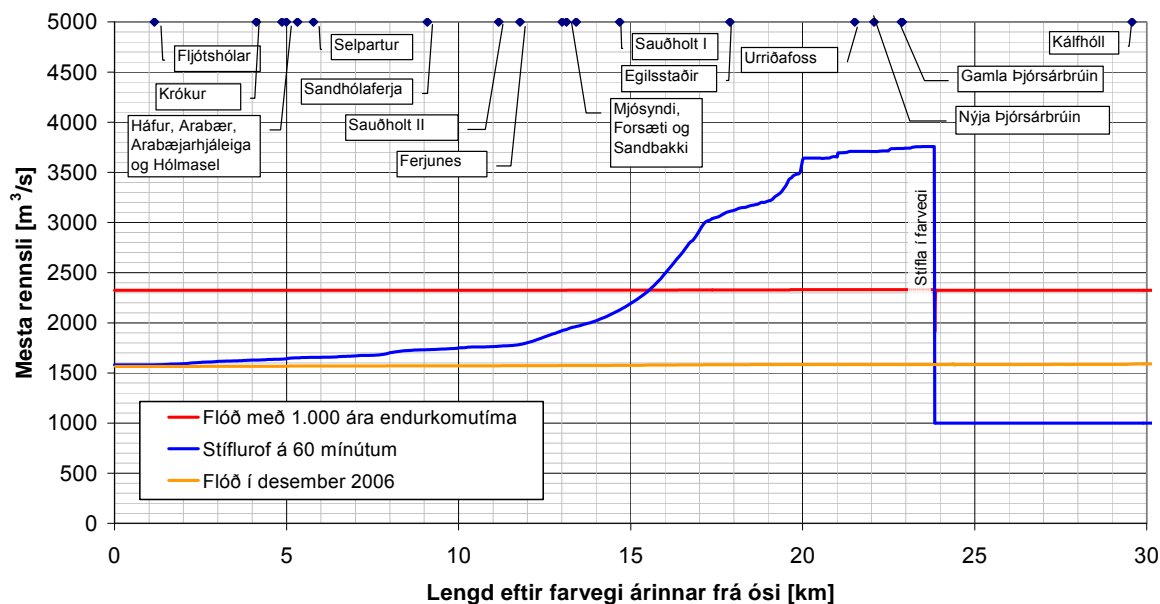
en það gæti grafið undan hraunkantinum vestan árinna við gömlu brúna og það hugsanlega valdið hruni hennar, sjá viðauka 9.



Mynd 6.3.1 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á Urriðafosstíflu. Myndin sýnir mestu útbreiðslu á hverjum stað.

Flöðvatn myndi ekki flæða upp úr gilinu neðan stílfunnar, en gilið er ekki sýnt á myndinni.

Tafla 6.3.1 sýnir vatnsborð við stíflurof borið saman við venjulegt vatnsborð á nokkrum viðmiðunarstöðum.



Mynd 6.3.2 Mesta rennsli í flóðum frá ósum Þjórsár að Kálfhóli. Flóðtoppur í desember 2006 við Þjórsártún og notmarkaflóð við Urriðafoss eru höfð með til samanburðar sem og staðsetning bæja eftir lengd árinna.

Tafla 6.3.1 Vatnsborð við rof Urriðafossstíflu á viðmiðunarstöðum.

Staður	Bæjarhlað / gólfhæð [m y.s.]	Venjulegt vatnsborð [m y.s.]	Flóð við Urriðafoss með 1000 ára endurkomutíma Q_{1000}		Rof Urriðafossstíflu	
			[m³/s]	[m y.s.]	[m³/s]	[m y.s.]
Flóahreppur						
Urriðafoss	37,0		2350	24,6	3700	25,2
Neðan Egilsstaða	37,3	7,7	2350	10,6	3100	10,9
Mjósyndi	9,8	7,2	2350	8,7	1950	8,4
Ferjunes	8,4	6,2	2350	7,9	1800	7,5
Selpartur	5,5	3,5	2350	4,7	1650	4,5
Fljótshólar	5,7	0,9	2350	2,2	1600	1,4
Ásahreppur						
Sauðholt I	12,9	8,0	2350	9,2	2100	9,0
Sauðholt II	6,7	5,8	2350	7,7	1770	7,3
Sandhólaferja	7,7	5,2	2350	5,9	1720	5,7
Háfur	4,2	2,6	2350	4,0	1650	3,8

Á því svæði sem hér um ræðir hefur áin oft flætt töluvert út fyrir þau mörk sem sýnd eru á Mynd 6.3.1. Ástæðan hefur annars vegar verið ágangur árinna vegna íss og eru dæmi um að flætt hafi yfir Villingaholtsveg og runnið báðum megin við Syðri Gróf. Hluti flóðvatnsins

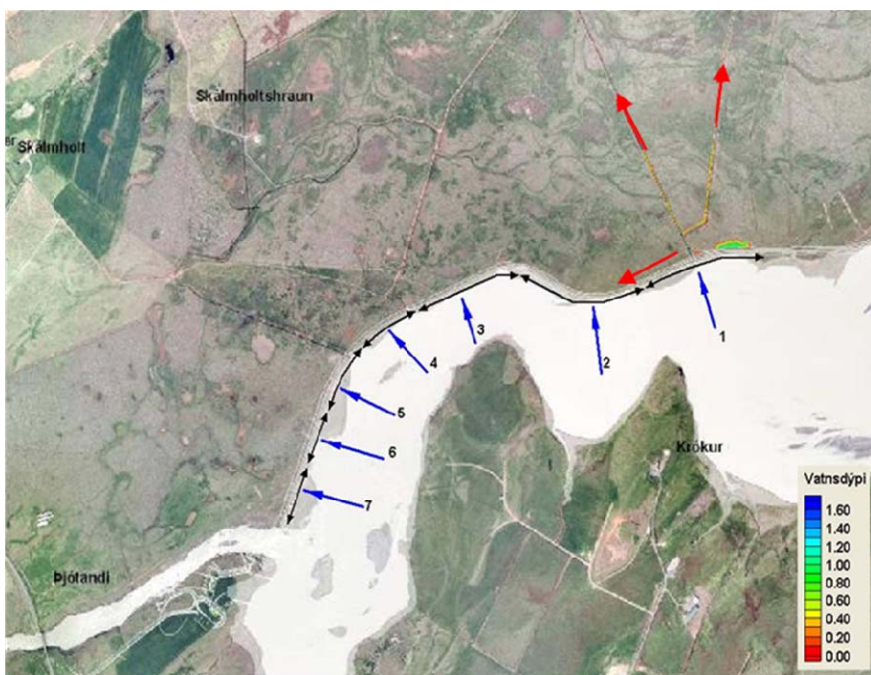
skilaði sér svo aftur í ána um Sýrlæk. Hins vegar hefur flætt vegna samtvinnnaðra áhrif árinna og sjávar í stórstraumsflóði þar sem áhlaðandi vegna slæmrar vindáttar hefur ýtt undir óvenju háa sjávarstöðu. Dæmi eru um að vatn hafi flætt langleiðina að Fljótshólum og upp að Þjóðveginum á milli Ragnheiðarstaða og Fljótshóla. Með tilkomu Urriðafossvirkjunar mun ágangur árinna vegna íss í þeim mæli sem hér um ræðir hætta en ágangur vegna sjávarflóða verður óbreyttur.

Samkvæmt munnlegum heimildum eru dæmi um flóðbylgjur í ánni, þar sem fólk sem státt var við ána átti fótum fjör að launa. Að öllum líkindum er hér um svokölluð þrepahlaup að ræða en þau geta orðið ef ís sem stíflar ána brestur skyndilega. Rof á manngerðum stíflum er annars eðlis þar sem brotið tekur lengri tíma en þegar ísstíflur bresta og vatnsborð neðan brots hækkar því ekki jafn skarpt.

Rof á stíflugörðum

Stíflugarðinum við Heiðarlón var skipt upp í sjö hluta og versti stíflurofsstaður m.t.t. afleiðinga rofs á hverjum stað skoðaður. Landmótun undan stíflugarðinum mun tryggja að uppgröftur og stígar sem til staðar eru beini rofvatni ekki beinustu leið inn á landið heldur meðfram garðinum, t.d. með því að rjúfa skarð í uppgröft úr áveituskurðum ef þurfa þykir. Skurður verður meðfram garðinum sem í venjulegum rekstri flytur leka- og áveituvatn í Þjórsá. Landmótun meðfram skurðinum í landi Þjótanda og Skálmholtshrauns er ætlað að auka flutningsgetu hans í stærri flóðum, s.s. mögulegu rofi á stíflugarði. Að óbreyttu ætti flóðvatn frá stíflugarðinum greiða leið að neðstu túnunum í landi Skálmholts við fyrrum Þjóðveg nr. 1 en frárennsli frá þeim er takmarkað. Landmótun í landi Þjótanda nærri veginum að gömlu Þjórsárbrúnni mun auka rennsli af umræddu svæði.

Mynd 6.3.3 sýnir svæðin sjö sem skoðuð voru, en austar er landhæð meðfram ánni yfir 50 m y.s. og því ofan venjulegs rekstrarvatnsborðs. Við rof á svæði eitt gæti vatn lónað í dæld við garðinn, sbr. Mynd 6.3.3 auk þess sem takmarkað vatn gæti runnið inn í áveituskurðinn sem þar er og um skurðinn meðfram garðinum. Ekki myndi flæða upp úr honum en lónað gæti í áveituskurði sem skera hann. Sökum ónákvæmni í landlíkani við áveituskurði og tengingar þeirra á milli var útbreiðsla vatnsins og rennsli um áveituskurðinn ekki metið enda má búast við að vatnið renni að mestu um skurði á svæðinu en geti á einhverjum stöðum lónað upp í dældir við þá.

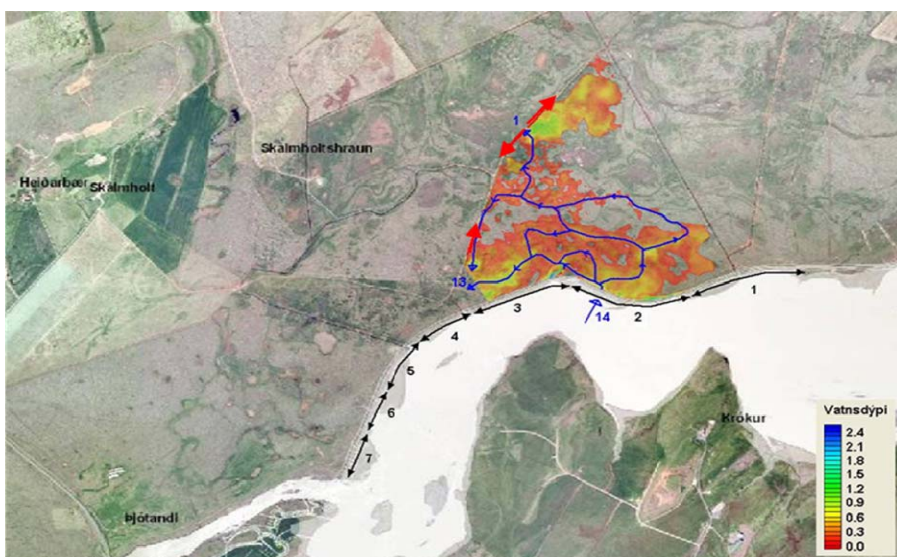


Mynd 6.3.3 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði eitt.

Rennsli um skarð á svæði 2 myndi takmarkast af landhæð undan garðinum og mesta rennsli um rofskarð þar væri um 14 m³/s. Megnið af vatninu rynni yfir sama land og ef garðurinn rofnaði á svæði 3, því er á Mynd 6.3.4 einungis sýnd mesta útbreiðsla vatns ofan svæðis 3. Líklegt er að takmarkað magn af vatni rynni inn í áveituskurðina og er rennsli þar táknað með rauðum örvum.

Rennslis hraði á þessu svæði væri mjög lítill. Það vatn sem rynni stystu leið meðfram garðinum hefði meðalhraða um 0,4 m/s en nær 1 m/s þar sem halli er mestur. Það vatn sem rynni lengst rynni mjög hægt og hefðu þeir farvegir meðalhraða innan við 0,2 m/s.

Rennsli um skarð á svæðum 1 og 2 væri lítið og tæki litlum breytingum með tíma af því að áhrif þess á vatnshæð í lóni væru lítil sem engin. Rennslið myndi því haldast nokkuð svipað þar til rennsli um lokur væri aukið til þess að lækka í lóninu, meðalársflóðið gengi yfir eða þar til fyllt væri í skarðið.



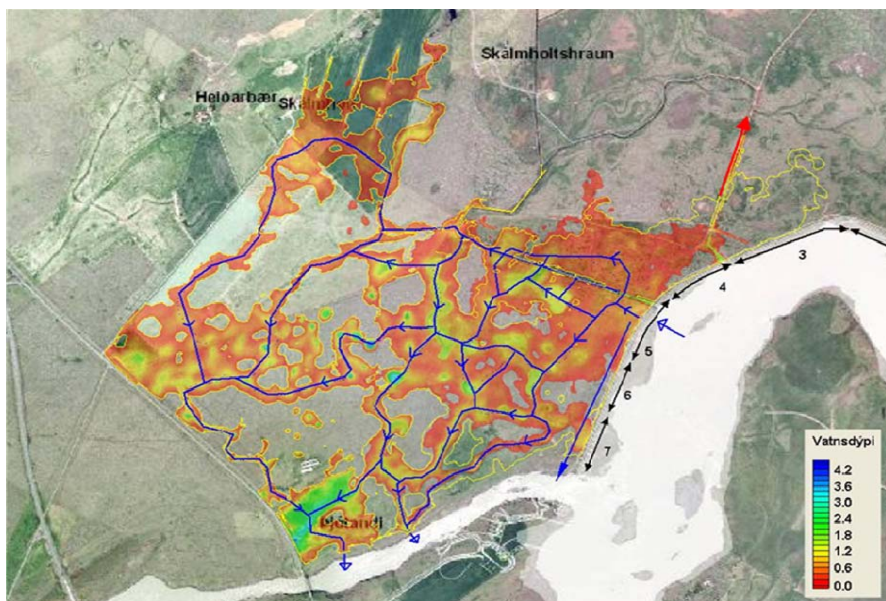
Mynd 6.3.4 Útbreiðsla vatns ofan við og við svæði þrjú í kjölfar rofs á garði á svæði tvö.

Bláir ferlar tákna helstu rennsllísi og bláar tölur rennsli í m³/s. Neðar á svæðinu er dreifingin minni en sýnd er á mynd 6.3.5.

Mynd 6.3.5 sýnir útbreiðslu vatns vegna rofs á stíflugarði á svæðum 3, 4, 5 og 6. Mesta útbreiðsla vegna flóðs frá þeim svæðum væri mjög svipuð þrátt fyrir mismunandi rennsli, sbr. Tafla 6.3.2. Við rof á svæði 6 væri rennslistoppur hár en mikið vatn færi stystu leið aftur í ána þar sem það er tiltölulega nálægt gilinu.

Tafla 6.3.2 Lengd skarðs í garði á svæðum 3-7, mesta rennsli og rennsli eftir 1 sólarhring án breytinga í rennsli Þjórsár og stillinga á lokum.

Svæði	Lengd rofs [m]	Landhæð [m y.s.]	Mesta rennsli [m ³ /s]	Rennsli eftir sólarhring [m ³ /s]
3	40	49	40	25
4	50	48.4	105	45
5	55	48	160	60
6	60	47.5	250	75
7	65	46.8	380	100



Mynd 6.3.5 Útbreiðsla vatns í kjölfar rofs á garði á svæði 3, 4, 5 og 6.

Bláir ferlar tákna helstu rennislíðir. Litir tákna vatnsdýpi við rof á stað 5. Rauða örin sýnir hvar runnið getur út fyrir útbreiðslusvæðið um áveituskurð. Gulu útlínurnar tákna mestu útbreiðslu vatns fyrir rof á svæðum 3 og 6. Efst er svæði 3 með meiri útbreiðslu og neðst svæði 6. Blá ör meðfram garðinum tákna rennsli um skurð og landmótun.

Svæði 7 er næst gilinu og flóð frá skarði þar færir að mestu beint aftur út í farveg Þjórsár og útbreiðslan yrði mun minni en við rof á svæðum 3 – 6.

Rennslis hraði í ofangreindum brotum væri mestur í farvegum næst garðinum. Þar væri hraðinn á bilinu 0,5 - 2 m/s og enn meiri alveg neðst þar sem vatnið rynni um hvílt til baka í gilið. Rennslis hraði væri nær enginn á túnunum í landi Skálmholts, almennt innan við 0,2 m/s, nema á einstaka stöðum þar sem vatnið rynni á milli polla í mjórri farvegum.

Rauða örin á Mynd 6.3.5 sýnir hvar vatn gæti runnið um skurð sem liggur norður frá stíflugarðinum. Rennsli um hann yrði mjög takmarkað og hefur því ekki verið skoðað sérstaklega.

Við rof á garðinum er ekki hætt á að flæði að bæjum á svæðinu enda standa þeir hærra en túnin sem blotna.

6.4 Flóðalíkön

Við útreikninga á útbreiðslu flóða voru notuð reiknilíkön sem sett voru upp í HEC-RAS (USACE, 2002). HEC-RAS er forrit sem leysir á tölulegan hátt orku- og skriðþungajöfnur fyrir einvítt rennsli í opnum farvegum, bæði æstætt og tímaháð. Orkutap vegna hrýfis er reiknað með jöfnu Manning's og eru hrýfistuðlar breytilegir eftir eðli árinna og yfirborðsins sem vatn rennur yfir á hverjum stað. Hægt er að kvarða slík líkön vel að mælingum, en eðli máls samkvæmt er lítið eða ekkert til af mælingum fyrir fátíða atburði, svo sem stórflóð og rennsli yfir land sem að öllu jöfnu er þurr. Líkönin eru því áreiðanlegust þegar skoðað er rennsli sem er nálægt venjulegu rennsli. Stuðlar sem ganga inn í slík líkön byggja m.a. á lögum og eiginleikum lands. Hér er mat á stuðlum sem áhrif hafa á útreikninga varfærið, í þeim skilningi að leitast er við að ofmeta flóð og áhrif þeirra fremur en vanmeta.

Flóð vegna rofs stífla í farvegi við Holta- og Hvammsvirkjun var rakið í HEC-RAS líkani sem sett var upp í tengslum við endurmat flóða á Þjórsár- og Tungnaárvæði (VST o.fl., 2006b). Líkanið nær yfir vatnasviðið fyrir ofan Urriðafoss, og er fyrir flóð í farvegi ána. Flóð vegna rofs á Urriðafossstíflu og rofs á stíflugarðum allra virkjananna, þar sem meginrennislíð er utan farvegs Þjórsár, var rakið í HEC-RAS líkönunum sem sett voru upp sérstaklega fyrir þessa vinnu.

Tvær tegundir flóða eru raktar í farvegi Þjórsár neðan fyrirhugaðra mannvirkja, annars vegar svokallað 1000 ára flóð, og hins vegar stíflurofsflóð. 1000 ára flóð eru fengin úr tíðnigreiningu áratugalangra rennismælinga og úr flóðalíkani sem sett var upp í HEC-HMS (USACE, 2000) í tengslum við endurmat flóða á svæðinu (VST o.fl., 2006). Líkanið rekur úrkomuatburði frá vatnasviði inn í farvegi og þaðan niður eftir farvegum, að teknu tilliti til áhrifa mannvirkja. Í þessum flóðum er ávallt reiknað með óhagstæðum en þó raunhæfum stýringum á mannvirkjum ofar á vatnasviði árinna. Ekki er gert ráð fyrir stórvægilegum mistökum, s.s. að lón séu tæmd fyrir slysi samfara stórum úrkomu- og bráðnunaratburði. Tekið skal fram að reiknað 1000 ára flóð veldur mun stærri flóðtoppi en stærstu flóð sem mælst hafa í Þjórsá, frá því að mælingar hófust um miðja síðustu öld.

Líkangerðinni fylgir ákveðin óvissa sem felst í inntaksgögnum og í þeim nálgunum á eðlisfræði rennslis sem líkönin byggjast á. HEC-RAS og HEC-HMS eru viðurkennd og vel þróuð forrit og ekki verður fjallað um þá óvissu sem felst almennt í þeim líkingum og aðferðum sem notaðar eru í þeim. Hér verður eingöngu fjallað um óvissu í þeim inntaksgögnum sem notuð voru í forritið.

Landlíkanið sem liggur til grundvallar hinum nýju flóðalíkönunum var gert af Hnit hf. verkfræðistofu. Líkanið er unnið úr myndmældum gögnum eftir loftmyndum frá árunum 2001 og 2007, úr flughæð 2000 m og 2400 m. Skekkja í landhæð sem unnin er með þessum hætti er um $\pm 0,20$ m og $\pm 0,25$ m, samkvæmt höfundum landlíkans. Almennt eiga þessar skekkjur að hafa miðgildi nærri 0 og dreifingu þannig að mest sé um litlar skekkjur í báðar áttir og minna um stærri skekkjur. Einnig eiga þær að dreifast nokkuð jafnt svo skekkjumeðaltal á hverju svæði á að vera nokkuð nærri 0. Í landi Skálmholts kom í ljós óviðunandi misræmi á milli mældra punkta og landlíkans. Samanburður sýndi að punktmælingar voru allar að meðaltali um 40 cm lægri en landlíkan. Við frekari athugun kom í ljós að skökk hæð hafði verið notuð á fastpunkti sem notaður var við gerð landlíkansins fyrir þetta svæði. Umrædd skekkja olli staðbundinni skekkju á landhæð í landlíkani við Skálmholt og í nánasta umhverfi. Landlíkan var leiðrétt og flóðalíkan aðlagð að réttum gögnum og keyrt á nýjan leik.

Roflengdir stíflna og garða voru reiknaðar með reynslujöfnu Froelichs (Johansen o.fl., 1998). Þar sem hvorki er beint um innanrof né yfirrennsli að ræða, eins og jöfnur Froelichs miða við, var reiknað með því tilfelli sem gefur meira rennsli.

Roftími var einnig reiknaður með reynslujöfnu Froelichs en þar sem verið er að gera ráð fyrir skyndilega opnun undir stíflu var tíminn í flestum tilfellum stytur töluvert frá niðurstöðum jöfnunnar í samráði við stíflusérfræðing (Pálmi Ragnar Pálmason, samtal 2007). Með því að stytta roftíma eykst mesta rennsli frá rofinni stíflu og afleiðingar rofs eru þar með frekar ofmetnar.

Rennsli um rofið skarð var ýmist reiknað á einfaldan hátt með yfirfallsformúlu, þar sem tekið var tillit til gerðar skarðs, eða í HEC-RAS líkani þar sem landslag beggja vegna skarðsins hefur merkjanleg áhrif á rennsli um það.

Hrýfi árbots eða á landi þar sem vatn rennur yfir, hefur áhrif á rennsli. Fyrir farvegi, þar sem ekki var hægt að kvarða hrýfi að mælingum, s.s. þar sem ekki hefur flætt áður eða rennsli hefur ekki verið mælt, var stuðst við reynslutölur um hrýfi. Val á hrýfisstuðlum miðar að því að vanmeta ekki áhrif og útbreiðslu flóða.

Stór hluti líkangerðarinnar felst í gerð þversniða, þ.e. gögnum sem lýsa dýpi, breidd og almennt landslagi í og við farvegi sem getur flætt um. Í farvegi árinna eru þversniðin vel afmörkuð á landi en neðan vatnsborðs þarf að styðjast við mælingar eða aðrar aðferðir. Ekki eru til mörg mæld þversnið í farvegi Þjórsár neðan Urriðafoss, því var nauðsynlegt að meta dýpi árinna á annan hátt. Til eru tvær vatnsborðsmælingar á ánni, önnur frá því 1951 og hin frá 1995. Rennsli er metið á þessum tíma og dýpi árinna áætlað miðað við vatnsborðsmælingarnar, ákveðna hrýfisstuðla og breidd árinna á hverjum stað. Því er ekki um nákvæmt mat á dýpi að ræða þó vatnsborð við ákveðið rennsli ætti að vera nálægt lagi. Ákveðin óvissa er fólgin í mati á dýpi en við útbreiðslureikninga eru skoðuð í kjölfinn flóð sem flæða upp úr farvegum, og þar sem vatnsborð samkvæmt líkönunum er nálægt mældu vatnsborði, skiptir sjálfst dýpið minna máli.

Fyrir brot stíflugarða, þar sem útbreiðsla á landi var einungis skoðuð, var yfirborðið í landlíkaninu notað til að útbúa þversnið. Óvissan þar felst því í óvissunni í landlíkaninu en einnig í staðsetningu þeirra og tengingum á milli hinna mörgu leiða sem vatnið getur runnið. Á þetta síðast nefnda sérstaklega við aftan við garðinn við Urriðafossvirkjun en þar er landið frekar flatt og því leiðir vatnsins ekki eins ljósar og fyrir rof garðanna við Hvamms- og Holtavirkjun.

Í þeim tilfellum þar sem einungis einn farvegur var fyrir rennslið neðan við rofna stíflu eða garð var flóðið reiknað tímaháð. Sínd útbreiðsla vatns á við hæstu vatnsstöðu á hverjum stað. Í þeim tilfellum þar sem vatnið skipti sér upp í nokkra farvegi neðan við garðarof var notað æstætt rennsli. Þá var hæsti flóðtoppur sem reiknaðist út um skarðið notaður við að finna mestu útbreiðslu vatns. Þessi aðferð gefur hærri vatnshæðir en sú sem tekur tillit til tímaháðara eiginleika og er því varfarin nálgun.

6.5 Niðurstöður

Helstu kennistærðir og niðurstöður flóðagreiningarinnar eru teknar saman í töflu í Viðauka 5.

6.6 Heimildir

Fread D.L. & J.M. Lewis, November 28. 1998. *NWS FLDWAV model: Theoretical description and user documentation*. Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service (NWS), NOAA, Silver Spring, Maryland 20910.

Johansen, P.M. o.fl., 1998. *Brudd i steinfyllingsdam. Utarbeidet for Energiforsyningens Fellesorganisasjon (EnFO)*. 17. apríl 1998. Berdal Strömme.

LOV-2000-11-24-82 (Norge). *Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)*. Olje- og energidepartementet.

Roberson, J.A., Cassidy, J.J., og Chaudhry, M.H. 1988. *Hydraulic Engineering*. Houghton Mifflin Company, Boston.

USACE, 2000. *Hydrologic Modeling System. HEC-HMS. Technical Reference Manual*. CPD-74B.

USACE, 2002. *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Version 3.1. CPD-69.

VST hf. o.fl., 2006. *Flóð á Þjórsár- og Tungnaárvæði. Samantektarskýrsla*. Landsvirkjun LV-2006/027.

VST, 2007. *Fundur um jarðskjálfta og sprungur, NTH-60 neðri Þjórsá, 2007-08-01*. MO-VST/FGS-01. 2007.

Munnleg heimild

Pálmi Ragnar Pálmason, samtal 2007.

7 Áhættumat

Hér að framan hefur verið fjallað um þær hættur sem kunna að steðja að mannvirkjum við Þjórsá. Í þessum kafla verður fjallað um þá áhættu fólks á svæðinu sem kann að skapast með tilkomu nýrra mannvirkja við neðanverða Þjórsá, sér í lagi vegna stíflurofs. Áhætta íbúa á svæðinu er borin saman við þau mörk sem sett eru fram í reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats.

Í úrskurði umhverfissráðherra um mat á umhverfisáhrifum nýrra virkjana við Þjórsá er farið fram á:

„að árleg staðaráhætta fólks á svæðinu eftir byggingu mannvirkjanna verði ekki meiri en talið er ásættanlegt vegna ofanflóða“. (Umhverfissráðuneytið, 2004a og 2004b)

Áhætta í lífi einstaklings skapast vegna ýmissa þátta, s.s. búsetu, lifnaðarháttu og erfða. Áhætta er mælikvarði á afleiðingar þeirrar hættu sem að fólki steðjar við ákveðnar aðstæður eða atburði og hversu líklegt sé að sá atburður gerist. Áhætta vegna búsetu á ákveðnu svæði getur skapast vegna hættu af völdum náttúruvár svo sem jarðskjálfta, eldgosa og náttúrulegra flóða, og hættu af manna völdum, svo sem af mannvirkjum, umferð, mengun og váverkum.

Í umfjöllun hér að framan hefur komið fram að hætta vegna flóða við Þjórsá getur stafað af náttúruhamförum s.s. jökulhlaupum og eldgosum, af stórum úrkomuflóðum eða vegna virkjana í ánni. Hætta vegna virkjananna getur orðið til við rennslisbreytingar í ánni vegna rekstrar þeirra eða af flóðum í kjölfar stíflurofs.

Í þessum kafla er lagt mat á staðaráhættu á svæðinu við neðanverða Þjórsá sem skapast vegna fyrirhugaðra mannvirkja. Í Kafla 7.1 er gerð grein fyrir þeirri aðferðafræði sem notuð er til þess að meta staðaráhættu vegna nýrra mannvirkja í Neðri-Þjórsá, einnig er vísað til viðauka 6. Í kaflanum er fjallað um þann mun sem er á eðli ofanflóða og vatnsflóða á láglandi og þeim reglum sem stuðst er við mat á áhættu vegna þeirra. Í Kafla 7.2 er lagt mat á líkindi stíflurofs. Í Kafla 7.3 er fjallað um áhættu fyrir og eftir byggingu mannvirkjanna og þar gerð grein fyrir og lagt mat á staðaráhættu vegna stíflurofs. Loks er viðbrögðum og viðbúnaði ef hættuástand kynni að skapast lýst í Kafla 7.4. Í viðauka 7 gerð nokkur grein fyrir þróun í öryggi stífla, matsaðferðum og öðrum áhrifum flóða af völdum stíflurofs. Í viðauka 8 er taldar til mismunandi forvarnaraðgerðir sem stuðla að því að draga úr áhættu vegna fyrirhugaðra mannvirkja.

7.1 Aðferðir

7.1.1 Reglugerð nr. 505/2000

Engar opinberar reglur eru í gildi hér á landi sem fjalla um áhættukröfur m.t.t. flóða vegna manngerðrar hættu, s.s. vegna rofs á stíflum eða flóða sem eiga sér langan aðdraganda eins og jökulhlaupa. Aftur á móti er fjallað um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats í reglugerð nr. 505/2000 (Umhverfissráðuneytið, 2000). Í reglugerðinni eru settar fram áhættukröfur m.t.t. ofanflóðahættu í byggð. Þar er svokölluð staðaráhætta skilgreind sem:

„Staðaráhætta: Árlegar dánarlíkur einstaklings af völdum ofanflóða ef dvalið er öllum stundum í óstyrktu einbýlishúsi.“

Við mat á staðaráhættu er lagt beint mat á áhættu fólks í venjulegum íbúðarhúsum sem byggir á mati á líkum á flóðum, stærð þeirra og hraða á hverjum stað innan svæðisins.

Viðmiðunarmörk fyrir ásættanlega staðaráhættu eru einnig sett fram í reglugerðinni:

„Ásættanleg staðaráhætta: Staðaráhætta fólks í íbúðarhúsum telst ásættanleg ef staðaráhætta er minni en 0,3 af 10 000 á ári. Í frístundahúsum telst áhætta ásættanleg ef staðaráhætta er minni en 5 af 10 000 á ári“.

Við ákvörðun þessara marka hefur verið miðað við 75% viðveru fólks í íbúðarhúsi og 5% viðveru í frístundahúsi. Þannig er ásættanleg raunáhætta hvers einstaklings (svokölluð einstaklingsáhætta) talin vera um 0,2 af 10 000 á ári. Þetta gildi er valið með tilliti til þess að sú viðbótar áhætta sem felst í búsetu á hættusvæði auki raunáhættu eintaklingsins óverulega. Hafa ber í huga að á síðustu árum hefur viðvera fólks í frístundahúsum aukist þannig að ef til vill væri ástæða til að endurskoða mörk ásættanlegrar staðaráhættu fyrir frístundahús með tilliti til þess.

Við mat á ásættanlegri staðaráhættu vegna ofanflóða er ekki gert ráð fyrir að fólk hafi tíma til þess að bregðast við flóði með því að rýma hættusvæði. Þetta á við um ofanflóð eins og snjóflóð sem falla án viðvörunar á stuttum tíma, oft á nokkrum sekúndum. Flóð vegna stíflurofs á láglendi hefur aftur á móti lengri aðdraganda, oft talinn í klukkustundum eða jafnvel dögum. Mörk ásættanlegrar staðaráhættu vegna flóða á láglendi þar sem viðvörunartími telst nægur til þess að hægt sé að rýma hættusvæðið ætti því e.t.v. að hækka frá því sem skilgreint er í reglugerðinni.

Ennfremur miðast öryggiskröfur vegna ofanflóða eingöngu við fólk inni í húsum en ekki er tekið tillit til fólks utandyra, sem stafar meiri hættu af slíkum flóðum. Hugsanlega ætti því að miða öryggiskröfur vegna stíflurofs við fólk utandyra jafnt og fólk inni í húsum. Þó ber að hafa í huga að flóð vegna stíflurofs á láglendi stækka í flestum tilvikum það hægt að fólk utandyra ætti að hafa tækifæri til að komast undan því inn í hús eða á svæði sem liggur hærra í landi.

Að lokum ber að hafa hugfast að þegar fjallað er um öryggiskröfur m.t.t. ofanflóða er verið að fjalla um náttúrlega vá en þegar fjallað er um flóð vegna stíflurofs er um manngerða vá að ræða. Því má teljast eðlilegt að öryggiskröfur séu meiri ef um manngerða vá er að ræða. Viðmiðunarmörk fyrir ásættanlega staðaráhættu vegna ofanflóða sem sett eru fram í reglugerð nr. 505/2000 gætu átt við um flóð vegna stíflurofs, þar sem: 1) um manngerða vá er að ræða sem kallar á strangari öryggiskröfur en 2) flóðin vaxa hægt og viðvörunartími er lengri en vegna ofanflóða sem vegur á móti auknum öryggiskröfum vegna manngerðrar vár.

Náttúrleg hamfara- og stórflóð, eins og jökulhlaup sem hafa langan aðdraganda falla aftur á móti illa að þeim viðmiðunarmörkum um ásættanlega staðaráhættu sem settar hafa verið fram hér að ofan vegna langs aðdraganda og þar með mögulegrar rýmingar fólks af hættusvæði.

7.1.2 Mat á áhættu fólks

Niðurstöður hættugreiningar leiða í ljós að einungis þau hættutilvik sem valdið gætu rofi á stíflum fyrirhugaðra mannvirkja við Þjórsá hafa áhrif á staðaráhættu á svæðinu. Þau hættutilvik eru jarðskjálftar, mistök við hönnun og byggingu mannvirkjanna sem valdið gæti innanrofi stíflu og váverk.

Sú hættu sem skapast kann af tímabundinni rennslisaukningu af völdum reksturs mannvirkjanna steðjar að veiðimönnum eða öðrum sem staddir eru í farvegi Þjórsár.

Við mat á áhættu fólks vegna flóða af völdum nýrra mannvirkja við Þjórsá er lagt mat á staðaráhættu einstaklings á flóðasvæði skv. reglugerð nr. 505/2000 og það mat borið saman við gefið viðmið í reglugerðinni. Samkvæmt skilgreiningu á staðaráhættu er ekki tekið tillit til mögulegrar rýmingar, en tekið er tillit til flóðþunga, sem háður er vatnshraða og dýpt (Graham, W. o.fl., 2006). Aðferðafræði við mat á áhættu fólks vegna flóða er nánar lýst í Viðauka 6.

Við mat á staðaráhættu er líkindamat á einstökum hættutilvikum lagt til grundvallar. Því næst er sérfræðimat lagt á möguleg áhrif þeirra á mannvirki við Neðri-Þjórsá, sér í lagi stíflur og umfang afleiddra afleiðinga, svo sem stíflurofs metin. Í framhaldi þess er staðaráhætta metin, að teknu tillit til flóðþunga. Niðurstaðan er síðan borin saman við ásættanleg mörk.

Við mat á staðaráhættu er ekki tekið tillit til stórflóða eða hamfaraflóða af efra svæði, en eins og segir hér að framan falla gefin mörk staðaráhættu illa að vatnsflóðum með langan aðdraganda. Fyrirhuguð stíflu mannvirki í Neðri - Þjórsá myndu að öllum líkindum rofna í slíkum flóðum,

en rof þeirra hefði lítil sem enginn áhrif á stærð eða útbreiðslu flóðanna. Óvissa ríkir um stærð og tíðni þessara flóða sem geta verið mun stærrni en þau flóð sem þekkt eru á svæðinu. Eðli og útbreiðsla þessara flóða er ekki þekkt nema að takmörkuðu leyti, en telja má víst að þau myndu flæða að nokkrum fjölda hóbýla á svæðinu og geta skapað hættu væri ekki gripið til ráðstafana, svo sem rýmingar.

7.2 Líkur á stíflurofi

Hönnun og bygging stíflna miðar við að þær standist þá áraun sem þær kunna að verða fyrir þannig að öryggi sé ekki hætt. Í stöðlum er kveðið á um hversu stóran atburð (mikla áraun) beri að hanna mannvirki fyrir. Strangari kröfur eru gerðar um stífluhönnun en hefðbundnar húsbyggingar og þá sérstaklega um áraun eins og t.d. jarðskjálfta, sjá Kafla 4.1 um hönnunarforsendur.

Þar sem töluleg gögn um rof stíflna af þeirri gerð sem hér um ræðir skortir var lagt sérfræðilegt mat á líkur á stíflurofi vegna hugsanlegra hreyfinga á sprungum undir stíflu. Til grundvallar er lagt annars vegar tölfræðilegt mat á tíðni og líkum á hættuáburðinum sjálfum og hins vegar huglægt mat sérfræðinga, mannvirkjahönnuða á því hver áhrif tiltekins hættuáburðar gætu orðið á mannvirkin. Við matið er stuðst við mælikvarða sem umbreytir huglægu mati í tölur, Tafla 7.2.1 hér að neðan. Sá mælikvarði sem valinn var hefur verið notaður við áhættumat á stíflumannvirkjum bæði í Bandaríkjunum og í Noregi (Åmdal, T., 2001; Luehring, R., o.fl., 2000).

Tafla 7.2.1. Hættur í neðri hluta Þjórsár eftir tilkomu nýrra virkjana, tíðni þeirra og hugsanleg áhrif á ný mannvirki.

Hætta	Tíðni hættu 1/ár	Hugsanleg áhrif á ný mannvirki
JARÐSKJÁLFTAR Sprunguhreyfingar og yfirborðshröðun	10^{-2}	Stíflurof
MISTÖK Mistök í hönnun og framkvæmd	0^{16}	Stíflurof (innanrof)
VÁVERK Eyðilegging	$< 10^{-2}$	Stíflurof

Tafla 7.2.2. Töluleg framsetning á huglægu líkindamati.

Lýsing í orðum	Töluleg framsetning
Svo til óhugsandi / Varla mögulegt	0,001
Sérstaklega ólíklegt	0,005
Mjög ólíklegt	0,01
Ólíklegt	0,1
Gæti gerst / Mögulegt	0,5
Líklegt	0,9
Mjög líklegt	0,99
Afskaplega líklegt	0,995
Gerist svo til örugglega	0,999

¹⁶ Innanrof vegna mistaka í hönnun eða byggingu sambærilegra mannvirkja og hér um ræðir hefur ekki gerst hér á landi.

7.2.1 Jarðskjálftar og sprungur

Þrátt fyrir að ný mannvirki við neðanverða Þjórsá verði hönnuð með tilliti til þeirra jarðskjálfta og sprunguhreyfinga sem hugsanlegar eru á svæðinu, samanber hönnunarforsendur, gæti slíkur atburður orsakað stíflurof ef mismunahreyfing yrði mikil á sprungum þvert eða skáhallt undir stíflu í jarðskjálfta. Lagt var mat á áhrif mismunandi jarðskorpuhreyfinga í jarðskjálfta þ.e. gliðnunar, snið- og sikhreyfingar á stíflur og tengd mannvirki. Almennt má segja að snið- og sikhreyfing á sprungu undir stíflu gætu leitt til skemmda en óverulegar líkur eru á því að stífla rofni. Gliðnun sprungu sem lægi þvert eða skáhallt undir stíflu gæti hins vegar leitt til stíflurofs sé gliðnunin umtalsverð.

Í skýrslu Rannsóknarmiðstöðvar Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði á Selfossi eru settir fram váferlar sprunguhreyfinga fyrir fyrirhugaðar virkjanir í Neðri Þjórsá (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008). Váferlarnir eru í Kafla 4.1 um hönnunarforsendur mannvirkja, á myndum 4.1.1 til 4.1.3. Ferlarnir gefa árleg líkindi fyrir sniðgengishreyfingu af tiltekinni stærð á yfirborði fyrir upptakasprungur jarðskjálfta. Váferlarnir eru lagðir til grundvallar í þessu áhættumati. Þannig er gert ráð fyrir að upptakasprungu jarðskjálfta liggja undir stíflum. Þekkt upptakasprungu liggur t.d. um Þjórsárfarveg bæði þar sem fyrirhuguð stífla Hvammsvirkjunar við Hagalón verður og stífla Urriðafossvirkjunar við Heiðarlón. Hins vegar er almennt líklegra að upptakasprungu á svæðinu liggja utan stíflustæða. Í því tilviki væri líkleg hreyfing á sprungu í stíflustæði einni til tveimur stærðargráðum minni en hreyfing á nálægri upptakasprungu (Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal 11. mars 2008), þ.e. verði 1 m hreyfing á upptakasprungu í grennd við stíflu, má gera ráð fyrir um 0,1 til 0,01 m hreyfingu á þeim sprungum sem liggja í stíflustæði. Engu að síður er tekin sú afstaða að gera ráð fyrir upptakasprungu hvar sem er í stíflustæðum en ekki aðeins þar sem þekktar upptakasprungur liggja. Ennfremur er tekin sú íhaldsama afstaða að meta yfirborðsfærslu upptakasprungu sem gefin er á váferlum sem gliðnun fremur en sniðgengishreyfingu, en gliðnun sprungu undir stíflu hefði að öllu jöfnu í för með sér meiri skemmdir á henni en sniðgengishreyfing af sömu stærð. Hreyfingin þyrfti þó að vera umtalsverð ætti hún að leiða til stíflurofs.

Váferlarnir á myndum 4.1.1 til 4.1.3 voru notaðir til að meta líkur á tiltekinni hreyfingu á sprungum í stíflustæðum. Skilgreint var stærðarbil hreyfingar, gliðnunar eða sniðgengishreyfingar, og afleiðingar miðaðar við efri mörk stærðarbilsins (afleiðingar alvarlegri) en líkur lesnar af váferlum miðað við neðri mörk stærðarbilsins (hærri líkur). Árleg líkindi, lesin af váferlum fyrir hvert stærðarbil, koma fram í töflunni hér að neðan.

Tafla 7.2.3. Árlegar líkur á sprunguhreyfingu af ákveðinni stærð. Unnið upp úr skýrslu Rannsóknamiðstöðvar Háskóla Íslands (Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2008).

Hreyfing/ sprungugliðnun	Árleg líkindi <i>Urriðafossvirkjun</i>	Árleg líkindi <i>Holtavirkjun</i>	Árleg líkindi <i>Hvammsvirkjun</i>
0,1-0,3 m	0,005	0,005	0,005
0,4-0,6 m	0,001	0,0015	0,0011
0,75-1,25 m	0,0005	0,0007	0,0005

Mat var lagt á áhrif sprunguhreyfinga, á því stærðarbili sem tiltekið er í töflunni hér að ofan, á jarðvegsstíflur, og tengd mannvirki, þ.e. steyppt lokuvirki og yfirfall. Hverri stíflu var skipt upp í búta eftir lengd hennar, annars vegar út frá stífluhæð og hins vegar meginstefnu sprungukerfis í stíflustæði. Einnig voru áhrif á þrýstipípur hverrar virkjunar metin á sama hátt. Í töflunni hér að neðan koma fram þau tilvik sem metin voru fyrir mannvirki hverrar virkjunar um sig.

Tafla 7.2.4. Matstilvik

Mannvirki	Tilvik
Jarðvegshluti aðalstíflu <i>-allar virkjanir</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sprungugliðnun þvert eða skáhallt á stíflu • Sprungugliðnun nær samsíða en skáhallt í gegn um stíflu • Sniðgengi og siggengi undir mannvirki (þvert og samsíða)
Steyptur hluti aðalstíflu, lokuvirki <i>-allar virkjanir</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sprungugliðnun þvert eða skáhallt á flóðgátt eða undir þenslufúgu • Sprungugliðnun nær samsíða en skáhallt í gegn um stíflu • Siggengi eða sniðgengi undir mannvirki (þvert og samsíða)
Stíflugarðar meðfram lónum <i>-allar virkjanir</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sprungugliðnun þvert eða skáhallt á stíflugarð • Sprungugliðnun nær samsíða en skáhallt í gegn um stíflugarð • Siggengi eða sniðgengi undir mannvirki (þvert og samsíða)
Þrýstipípa <i>-Hvammsvirkjun¹⁷</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sprungugliðnun þvert eða skáhallt á pípu • Sprungugliðnun nær samsíða pípu, en skáhallt í gegn um hana • Siggengi eða sniðgengi undir mannvirki (þvert og samsíða)

7.2.2 Mistök

Þrátt fyrir allar fyrirbyggjandi aðgerðir, sem gerð er grein fyrir í köflum 3.3.8 og 5.3.2 hér að framan eru mistök sem valdið geta stíflurofi möguleg. Ekki er fyrirbyggjandi vitneskja um það að mistök í hönnun og framkvæmd hafi valdið innanrofi stórra stíflna hér á landi. Dæmi er um að smástíflur hafi rofnað vegna innanrofs, en í þeim tilvikum voru stíflurnar ýmist ekki hannaðar eftir viðteknum kröfum eða ráðgjöf ekki fylgt. Almenn er talið að mörk mannlegs áreiðanleika við eðlilegar vinnuáðstæður séu af stærðargráðunni 10^{-5} í vinnuhópi og 10^{-4} í einstaklingsvinnu. Meðallíkur á mannlegum mistökum eru almennt taldar vera 10^{-3} við eðlilegar aðstæður en við mikið álag aukast líkur á mistökum og geta þá verið á bilinu 0,1–0,3 (Kirwan, B. 1994; Lees, F., 1996). Til að mistök geti valdið innanrofi stíflu þarf að koma til röð stórfelldra mistaka, hvort sem er í hönnun, við framkvæmd eða við rekstur mannvirkjana. Vegna eftirlits við alla verkþætti er slíkur atburður mjög ólíklegur. Mögulegt er að rangt efni yrði fyllt í stíflurnar á einhverjum stöðum í miklum mæli, en mjög ólíklegt er að það fari framhjá eftirlitsmönnum. Mjög ólíklegt er að hönnuður taki í grundvallaratriðum ranga ákvörðun varðandi hönnun á stöðugleika mannvirkisins sem leitt gæti til slíkra veikleika að orsakað gæti stíflurof. Því er talið að líkur á innanrofi vegna mistaka séu minni en 10^{-6} .

7.2.3 Váverk

Mögulega getur komið til einhverra hótana, skemmdarverka, spellvirkja eða tilrauna til slíkra verka gagnvart virkjanaframkvæmdum við Neðri-Þjórsá á byggingar- eða rekstartíma mannvirkjana, eins og fjallað er um í kafla 5.3.3. Mjög ólíklegt er talið að slíkar aðgerðir hafi í för með sér stíflurof. Slíkur verknauður er umfangsmikill og þarfnast töluverðrar þekkingar og vegna eftirlits með byggingu mannvirkjana og rekstri og staðsetningu þeirra nærri byggð má telja nánast útilokað að hann gæti farið fram með leynd. Eins og áður greinir hefur einungis einu sinni verið unnið alvarlegt skemmdarverk á stíflumannvirki hér á landi, en um það höfðu skapast miklar deilur. Mjög ólíklegt er talið að sambærilegar aðstæður geti skapast í kringum fyrirhuguð mannvirki. Líkur á váverki sem leitt gæti til stíflurofs eru því metnar minni en 10^{-5} .

¹⁷ Þrýstipípur Holta- og Urriðafossvirkjana eru stuttar og ekki talin þörf á að meta þær sérstaklega.

7.2.4 Niðurstöður

Í töflunum hér á eftir eru líkur á stíflurofi vegna framangreindra atburða teknar saman.

Tafla 7.2.5 Árlegar líkur á stíflurofi nýrra mannvirkja við Þjórsá.

Mannvirki / roftilvik	Árleg líkindi minni en: n af 10 000
Urriðafossvirkjun	n
Aðalstífla. Rof jarðvegsmannvirkis í farvegi.	1,16
Aðalstífla. Rof á steyptu mannvirki með lokuvirki.	0,09
Stíflugarður við Heiðarlón. Rof á jarðvegsmannvirki.	0,18
Holtavirkjun	
Aðalstífla. Rof á jarðvegsmannvirki í farvegi.	6,61
Aðalstífla. Rof á steyptu mannvirki með lokuvirki.	0,09
Stíflugarður meðfram Árneslóni. Rof á jarðvegsmannvirki.	0,89
Búði: Rof á jarðvegsmannvirki.	0,67
Búði: Rof á steyptu mannvirki með lokuvirki.	0,1
Búði: Stíflugarður. Rof á jarðvegsmannvirki austan ár.	0,67
Hvammsvirkjun	
Aðalstífla. Rof á jarðvegsmannvirki, flóðvar.	0,97
Aðalstífla. Rof á steyptu mannvirki með lokuvirki.	0,09
Stíflugarður við Hagalón. Rof á jarðvegsmannvirki.	0,39
Þrýstipípa Hvammsvirkjunar. Rof pípu.	3,18

7.3 Mat á áhættu

7.3.1 Áhætta við núverandi aðstæður

Eins og fram kemur í niðurstöðum hættugreiningar er talið mögulegt að flóð geti orðið á svæðinu við neðanverða Þjórsá af völdum náttúruhamfara eða váverka gegn núverandi mannvirkjum við Efri-Þjórsá og Tungnaá. Áhættu af völdum þessara flóða búa íbúar á svæðinu við í dag. Eins og fram kemur í Kafla 7.1.1 er ekki talið eðlilegt að nota sömu viðmiðunarmörk fyrir ásættanlega staðaráhættu þegar rætt er um flóð með verulegan aðdraganda sem bregðast má við með rýmingum af hættusvæðum og þegar rætt er um fyrirvaralausan atburð eins og ofanflóð eða flóð vegna stíflurofs nálægra stíflna.

Núverandi staðaráhætta á svæðinu verður því ekki sett fram, en mat á tíðni atburðanna kemur fram í töflunni hér að neðan. Í Kafla 3 kemur fram að flóð af efra svæðinu gætu orðið vegna jökulhlaupa með rofi á flóðvörum og e.t.v. stíflurofi í kjölfarið og vegna váverka. Í slíkum flóðum er, eins og fram hefur komið, vatnsmagn úr jökulhlaupi ráðandi þáttur og við núverandi aðstæður gæti flætt að byggðum bólum á láglandinu neðan Búrfells óháð því hvort fyrirhuguð virkjunarmannvirki eru á svæðinu eða ekki.

Tafla 7.3.1 Hættur við núverandi aðstæður og tíðni þeirra

Hætta	Tíðni hættu 1/ár
ELDGOS	
Veiðivatnagos: Gjóskestíflur í Tungnaá ¹⁸	$10^{-2} - 10^{-3}$
JÖKULHLAUP	
Tæming katla undir jökli	$10^{-1} - 10^{-2}$
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli um 5 000 m ³ /s	$2 \cdot 10^{-3}$
Eldgos undir Vatnajökli, rennsli > 10 000 m ³ /s	10^{-4}
Eldgos undir Hofsjökli, rennsli < 5 000 m ³ /s	$3 \cdot 10^{-4}$
VÁVERK	
Eyðilegging	$< 10^{-2}$

7.3.2 Áhætta eftir tilkomu nýrra mannvirkja

Rof á stíflum fyrirhugaðra virkjana við neðri hluta Þjórsár vegna jarðskjálfta, mistaka og váverka geta valdið flóði sem flætt getur að tveimur húsum á svæðinu samkvæmt líkanreikningum. Á öðrum flóðasvæðum er engin byggð. Staðaráhætta við húsin er sett fram í töflu 7.3.2 hér að neðan og er hún innan þeirra viðmiðunarmarka sem sett eru fram í reglugerð nr. 505/2000.

Tafla 7.3.2 Staðaráhætta vegna nýrra mannvirkja við Þjórsá. Mörk ásættanlegrar staðaráhættu miðast við reglugerð nr. 505/2000

Roftilvik	Staðaráhætta í húsum < n af 10.000 á ári	Skýringar
Rof flóðvars Hvammsstíflu	0,78	Frístundahús við Minni Núp
Rof Urriðafossstíflu	0,01	Íbúðarhús Sauðholti II
<i>Mörk ásættanlegrar staðaráhættu</i>	<i>0,3 fyrir íbúðarhús 5 fyrir frístundahús</i>	<i>Reglugerð nr. 505/2000</i>

Af þessum niðurstöðum sést að mat á staðaráhættu er innan þeirra marka sem sett eru í reglugerð.

Í töflu 7.3.3 er reiknuð staðaráhætta á mögulegu byggingarsvæði í nánd við stíflugarða sett fram. Hún er breytileg á svæðinu eftir fjarlægð frá sjálfum rofstaðnum, vegna áhrifa flóðþunga, þ.e. straumþunga og dýptar.

¹⁸ Möguleg stærð á flóði hefur ekki verið metin en rennsli í stærsta slíka flóði sem þekkt er var líklega < 10 000 m³/s

Tafla 7.3.3 Staðaráhætta í húsum á mögulegum byggingarsvæðum. Mörk ásættanlegrar staðaráhættu miðast við reglugerð nr. 505/2000.

Roftilvik	Staðaráhætta í húsum á mögulegu byggingarsvæði < n af 10.00 á ári	Skýringar
Rof garðs við Hagalón	0,004 til 0,31	Eftir fjarlægð frá rofstað á garði
Rof þrýstípípu Hvammsvirkjunar	0,03 til 2,54	Eftir fjarlægð frá rofstað á þrýstípípu
Rof garðs við Árneslón	0,009 til 0,27	Eftir fjarlægð frá rofstað á garði
Rof garðs við Heiðarlón	0,002 til 0,05	Eftir fjarlægð frá rofstað á garði
Mörk ásættanlegrar staðaráhættu	0,3 fyrir íbúðarhús 5 fyrir frístundahús	Reglugerð 505/2000

Ljóst er af þessum niðurstöðum að staðaráhætta á mögulegu byggingarsvæði alveg upp við við þrýstípípu Hvammsvirkjunar eða garða Hagalón og Árneslón er utan eða við þau mörk sem sett eru fyrir íbúðarhús, en innan þeirra marka sem sett eru fyrir frístundabyggð. Ekki liggja fyrir ákveðnar reglur um það hversu nálægt stíflumannvirkjum megi reisa íbúðar- eða frístundahús, en óvíst ser að heimiluð yrði byggð alveg upp við slíkt mannvirki. Með meiri fjarlægð frá rofstað minnkar staðaráhættan vegna minni flóðhraða og dýptar.

7.3.3 Forsendur og óvissa í mati

Mat á staðaráhættu byggir eins og að framan greinir á mati á líkum hættuatburða og mati á líklegum afleiðingum þeirra. Í matinu er byggt á tölulegum upplýsingum um tíðni hættuatburða og huglægu mati sérfræðinga á líkum þess að slíkir atburðir valdi svo alvarlegum skemmdum á fyrirhuguðum mannvirkjum að af hljótist stíflurof og flóð. Matið byggir á reiknilíkönnum og viðurkenndum aðferðum við útreikning á útbreiðslu flóða, þar sem reglur gera m.a. ekki ráð fyrir að unnt sé að grípa til neinna aðgerða til lækkunar í lónum. Sú afstaða er tekin að allt flóðvatn renni ofanjarðar og ekkert hverfi niður um sprungur eða gljúpan jarðveg auk þess sem lesið er af váferlum á myndum 4.1.1 til 4.1.3 þannig að gert er ráð fyrir að upptakamisgengi jarðskjálfta geti verið hvar sem er undir stíflumannvirkjum og að sniðgengishreyfing af völdum þeirra geti einnig verið gliðnun á sprungu á yfirborði. Almennt er miðað við að forsendur sem gengið er út frá séu íhaldsamar.

7.4 Viðbrögð og viðbúnaður

Af framangreindri umfjöllun er ljóst að rof á fyrirhuguðum stíflum við neðanverða Þjórsá er ólíklegur atburður og að flóð vegna stíflurofs skapar hvorki stórfellda hættu fyrir fólk á svæðinu, né veldur stórfelldu tjóni. Í ýmsum þjóðlöndum eru í gildi sérstök lög og reglugerðir varðandi byggingu og rekstur stíflumannvirkja. Alþjóðleg samtök og þjóðarsamtök stíflueigenda setja einnig reglur í því sambandi. Engar opinberar reglur eru í gildi hér á landi er taka sérstaklega til stíflumannvirkja og er því stuðst við alþjóðleg viðmið.

Ennfremur hefur komið hefur fram að í undirbúningi og framkvæmd vegna hönnunar og byggingar mannvirkjana er gripið til ýmiss konar ráðstafana til að draga úr líkum á því að atburðarás og aðstæður skapist þannig að stíflurof hljóti af.

Ekki er síður mikilvægt að tryggja sem bestan rekstur og öryggi þeirra. Mikilvægt er að eftirlitsbúnaður sé virkur, viðbragðsferli séu vel skilgreind og að starfsmenn hafi þjálfun í viðbrögðum gerist þess þörf. Einnig er mikilvægt að upplýsingaflæði sé skilvirkt og að gott samband sé milli rekstraraðila og viðbragðsaðila á svæðinu. Mikilvægt er að kynningar fari fram á svæðinu á viðbrögðum við mögulegum flóðum, viðbrögðum og viðbúnaði rekstraraðila og viðbragðsaðila svæðisins.

Í úrskurðarorðum umhverfisráðherra (Umhverfisráðuneytið, 2004a og 2004b) vegna mats á umhverfisáhrifum mannvirkjana er auk kröfunnar um áhættumat, gerð krafa um uppsetningu girðinga, auk aðvörunarskilta og hljóðmerkja á viðeigandi stöðum. Að auki kemur fram í úrskurðinum að rekstraraðili skuli gera viðbragðsáætlun í samvinnu við Almannavarnir.

Frá því um miðjan níunda áratuginn hefur verið starfandi neyðarstjórn hjá Landsvirkjun. Neyðarstjórn er hópur stjórnenda sem bregst við í vá og tekur að sér stjórnun aðgerða. Verklag neyðarstjórnar hefur verið skilgreint og æfingar haldnar. Válisti hefur verið skilgreindur og viðbragðsáætlanir verið gerðar vegna neyðartilvika, m.a. váverka og flóða vegna stíflurofs. Válisti þessi var m.a. yfirfarinn við úrvinnslu áhættumatsins.

Eins og fram hefur komið verður til staðar í og við mannvirkin ýmis mælibúnaður í eigu rekstraraðila, sem gefur m.a. boð um ástand þeirra á hverjum tíma. Einnig eru fyrir hendi mælitæki jarðvísindastofnana sem veita upplýsingar um jarðhræringar á svæðinu.

Landsvirkjun hefur skilgreint ferli við stíflueftirlit fyrir öll stíflumannvirki, sem framfylgt er reglulega ásamt öðru reglulegu eftirliti og viðhaldi á mannvirkjum.

Í viðbragðsáætlun Landsvirkjunar, sem unnin verður í samvinnu við Almannavarnir, munu m.a. koma fram upplýsingar um viðbragðsferli fyrirtækisins, ef boð berast um óeðlilegt ástand við eina af stíflunum við Urriðafoss, Holt eða Hvamm. Einnig verður þar gerð grein fyrir tengslum við viðbragðsaðila, bæði innan fyrirtækisins og utan. Viðbragðsáætlunin verður hluti af skjölum neyðarstjórnar í gæðakerfi Landsvirkjunar. Eftir útgáfu viðbragðsáætlunarinnar verða haldnar æfingar m.a. í samvinnu við Almannavarnir.

Við úrvinnslu áhættumatsins hafa farið fram nokkrar kynningar fyrir íbúa og sveitarstjórnir á svæðinu auk þess sem samráð hefur verið haft við Almannavarnadeild ríkislögreglustjóra. Frekari kynningar eru fyrirhugaðar eftir útgáfu skýrslunnar.

7.5 Heimildir

- Åmdal, T. 2001. *New Norwegian guidelines for risk assessment*. Hydropower & Dams. Statkraft Grøner AS, Norway.
- Luehring, R., o.fl., 2000. *Risk Analysis Report. Issue Evaluation - Baseline Risk Analysis*. U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, February 2000,
- Graham, W., o.fl. 2006. *Dam Failure in the United States and a Procedure for Estimating the Consequences of Future Failures*. DSO-2006-01 Draft, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, 2006.
- Jónas Þór Snæbjörnsson og Ragnar Sigbjörnsson. 2008. *Earthquake hazard and seismic action for proposed power plants in the South Iceland Lowland*. Reykjavík. LV-2008/056.
- Kirwan, B. 1994. *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. Taylor and Francis. London.
- Lees, F., 1996. *Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control*. 2. útgáfa. Butterworth Heinemann, Oxford.
- Umhverfisstofnun, 2004a. *Úrskurður umhverfisstofnunar vegna mats á umhverfisáhrifum allt að 150 MW virkjunar Þjórsár við Núp auk breytingar á Búrfellslínu 1 frá 27. apríl 2004*. Mál 03090121. Tilvísun: UMH03090121/10-02-0703.
- Umhverfisstofnun, 2004b. *Úrskurður umhverfisstofnunar vegna mats á umhverfisáhrifum Urriðafossvirkjunar í Þjórsá allt að 150 MW og breyting á Búrfellslínu 2 frá 27. apríl 2004*. Mál 03080089. Tilvísun: UMH03080089/10-02-0603.
- Umhverfisstofnun. 2000. *Reglugerð um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats*. Reglugerð nr. 505 2000.6. júlí.

Munnlegar heimildir

Páll Einarsson, samtal 31. Mars 2008.

Jónas Þór Snæbjörnsson, samtal 11. Mars 2008.

8 Niðurstöður

Megin niðurstöður áhættumatsins, vegna fyrirhugaðra mannvirkja við neðanverða Þjórsá, eru þær að staðaráhætta fólks vegna flóða af völdum nýrra mannvirkja telst vera innan þeirra marka sem tilskilin eru í úrskurði umhverfisráðherra um mat á umhverfisáhrifum mannvirkjanna.

Flóð af völdum stíflurofs nýrra mannvirkja við neðri hluta Þjórsár geta valdið aukinni hættu á svæðinu. Þeir atburðir sem einna helst eru taldir geta valdið stíflurofi eru; jarðskjálfti sem á sér upptök undir mannvirki, innanrof stíflu vegna mistaka og váverk. Líkur á stíflurofi eru taldar lítlar og flóð af þeirra völdum verða ekki stór. Flóð af völdum rofs meginstífla nýrra mannvirkja í farvegi Þjórsár reynast vera af sambærilegri stærðargráðu og stór úrkomu eða leysingaflóð á vatnasviðinu, t.d. flóð af völdum úrkomu með 1000 ára endurkomutíma, nema alveg við rofstaðinn þar sem flóðið brýst fram. Hugsanlegum flóðum vegna stíflurofs og útbreiðslu þeirra við virkjanirnar þrjár eru gerð skil hér að neðan.

Hvammsvirkjun

Flóð af völdum rofs á stíflugarði meðfram Hagalóni og þrýstipípu Hvammsvirkjunar eru lítil og breiðast yfir óbyggt og óræktað svæði. Ekki er búist við skemmdum á gróðri af þeirra völdum nema alveg við rofstaðinn.

Flóð af völdum rofs flóðvars Hvammsvirkjunar helst að mestu í farvegi Þjórsár og fer framhá Árnslóni við Búðafoss og hefur hvorki áhrif á mannvirki við Búðafoss né til hækkunar vatnsborðs í Árnslóni. Flóðið hefur lítil sem engin áhrif til hækkunar í Heiðarlóni við Urriðafossvirkjun.

Sumarbústaður við Minni Núp í Skeiða- og Gnúpverjahreppi, sem stendur alveg á bakka Þjórsár u.þ.b. 1 km neðan Hvammsstíflu, myndi að öllum líkindum sópast burt í flóði vegna rofs flóðvars. Staðaráhætta telst þó vera innan ásættanlegra marka fyrir frístundahús, þar sem atburðurinn er ólíklegur. Flæða myndi yfir óbyggt ræktað svæði í landi HERRÍÐARHÓLS ef ekki yrði byggður fyrirhugaður varnargarður austan við Heiðarlón. Einnig myndi flæða að dælustöð við hitaveituborholu í landi Kaldárhólts.

Holtavirkjun

Flóð af völdum rofs á stíflugarði meðfram Árnslóni eru lítil og myndu breiðast yfir takmarkað óbyggt og óræktað svæði á Árneseysju. Ekki er búist við skemmdum á gróðri af þeirra völdum nema alveg við rofstaðinn.

Flóð af völdum stíflurofs Árnestíflu myndi haldast að mestu í farvegi Þjórsár og hafa lítil sem engin áhrif til hækkunar í Heiðarlóni eða við Urriðafossvirkjun. Flæða myndi yfir óbyggt ræktað svæði í landi HERRÍÐARHÓLS ef ekki yrði byggður fyrirhugaður varnargarður austan við Heiðarlón. Einnig myndi flæða að dælustöð við hitaveituborholu í landi Kaldárhólts.

Urriðafossvirkjun

Flóð af völdum rofs á stíflugarði meðfram Heiðarlóni myndu breiðast yfir óbyggt svæði, en að hluta til ræktað land jarðanna Skálmhólts og Skálmholtshrauns í ofanverðum Flóahreppi. Ekki er búist við skemmdum á gróðri á ræktuðu landi, nema alveg við rofstaðinn.

Flóð af völdum rofs Urriðafossstíflu myndi fylla gilið neðan stíflunnar og haldast í farvegi árinna út í sjó. Íbúðarhúsið Sauðholt II í Ásahreppi, sem stendur ofan í farvegi árinna myndi verða umflotið við rof stíflunnar. Staðaráhætta í Sauðholti II telst vera innan settra marka fyrir íbúðarhús. Venjuleg flóð af völdum úrkomu og leysinga hafa einnig náð að íbúðarhúsinu að Sauðholti II.

Staðaráhætta á óbyggðum svæðum sem flæðir yfir af völdum rofs á görðum er alls staðar metin innan þeirra marka sem sett eru fyrir frístundabyggð. Einungis næst brotstöðunum, alveg við

garðana og þrýstipípuna í Hvammssvirkjun, er hún metin yfir þeim mörkum sem sett eru fyrir íbúðarhús samkvæmt kröfum reglugerðar nr. 505/2000.

Sú áhætta sem íbúar á Þjórsársvæðinu búa við í dag vegna hamfaraflóða eða stórflóða í kjölfar jökulhlaupa og flóða af völdum rofs stórra stífla á svæðinu ofan Búrfells helst óbreytt þrátt fyrir tilkomu nýrra virkjana í Þjórsá. Nýjar virkjanir í Þjórsá hafa hvorki áhrif á dreifingu né stærð slíkra flóða. Slík flóð hafa aðdraganda sem mælist í klukkustundum og jafnvel sólarhringum, en ofanflóð svo sem snjóflóð og skriðuföll gera ekki boð á undan sér. Mörk staðaráhættu vegna slíkra flóða hafa ekki verið skilgreind, en telja má óeðlilegt að setja sömu viðmiðunarmörk um ásættanlega staðaráhættu vegna slíkra flóða og um ofanflóð, þar sem nægur tími gefst til viðvarana og rýmingar svæðis. Staðaráhætta vegna þessara flóða hefur því ekki verið metin en fram koma upplýsingar um tíðni hættuáburða. Ekki skal þó dregið úr þeirri staðreynd að um stórfloð er að ræða sem skapa myndu hættu á svæðinu væri ekki gripið til rýmingaraðgerða. Í áhættumatinu er ekki tekin afstaða til staðaráhættu af völdum afleiðinga jarðskjálfta á svæðinu, t.d. skemmda á byggingum, að öðru leyti en því sem lýtur að hættu á flóðum vegna stíflurofs, eins og fram kemur hér að ofan.

Landsvirkjun mun vinna viðbragðsáætlun vegna stíflurofs á svæðinu og verður hún unnin í samráði við almannavarnayfirvöld svæðisins. Að auki verður komið upp viðbúnaði á svæðinu, girðingum og merkingum þar sem við á. Viss hættu kann að skapast í árfarveginum á rekstrartíma virkjananna vegna ótímabærrar opunar flóðgátta, sem veldur tímabundið auknu rennsli í farveginum. Lögð er áhersla á að upplýsingar um slíkar aðgerðir séu gefnar hlutaðeigandi aðilum með eðlilegum fyrirvara.

Mat á staðaráhættu telst íhaldssamt þar sem gert er ráð fyrir verstu aðstæðum á svæðinu, þ.e. ekki er gert ráð fyrir að gripið verði til neinna aðgerða til að draga úr umfangi flóða t.d. með opnun botnrása og lækkun vatnsborðs í lónum, ekki er gert ráð fyrir því að flóðvatn hverfi ofan í sprungur sem opnast, heldur breiðist allt vatn úr lónunum yfir farveginn eða landið og ekki er gert ráð fyrir því að rýming geti farið fram.

Viðaukar

Viðauki 1 – Skilgreiningar

Viðauki 2 – Helstu kennistærðir virkjana og stíflumannvirkja

Viðauki 3 – Sprungukort

Viðauki 4 – Áhrif mannvirkja á flóð

Viðauki 5 – Kennistærðir flóða vegna stíflurofs

Viðauki 6 – Áhætta fólks vegna stíflurofs

Viðauki 7 – Önnur áhrif stíflurofs

Viðauki 8 – Varnaraðgerðir

Viðauki 9 – Þjórsárbrýr

Viðauki 1 – Skilgreiningar

Hér á eftir fara skilgreiningar á ýmsum hugtökum sem notuð eru í skýrslunni.

Áhætta og áhættumat

Hugtök úr reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats.

<i>Áhætta:</i>	Mælikvarði sem tekur til þess hve líklegt er að atburður eigi sér stað og þess hversu víðtækar og afdrifaríkar afleiðingar eru (e. risk).
<i>Ásættanleg áhætta:</i>	Ákvörðuð mörk ásættanlegrar árlegrar staðaráhættu að teknu tilliti til viðveru 0,3 af 10.000 í einbýlishúsi, en 5 af 10.000 í frístundahúsi.
<i>Hætta:</i>	Hugsanlegur atburður sem leiðir til tjóns á mönnum eða eignum (e. hazard).
<i>Óstyrkt hús:</i>	Hús sem ekki hefur verið styrkt sérstaklega vegna álags frá hugsanlegu ofanflóði.
<i>Staðaráhætta:</i>	Árlegar dánarlíkur einstaklings af völdum ofanflóða ef dvalið er öllum stundum í óstyrktu einbýlishúsi.
<i>Viðvera:</i>	Líkur þess að einstaklingur sé staddur á hættusvæði þegar ofanflóð fellur, án tillits til aðgerða sem auka öryggi, t.d. rýmingar og eftirlits.
<i>Þéttbýli:</i>	Þyrping húsa þar sem búa a.m.k. 50 manns og fjarlægð milli húsa fer að jafnaði ekki yfir 200 metra.

Flóð

1000 ára flóð: Flóð með 1000 ára endurkomutíma. Líkur á að flóðtoppur hvers árs verði hærri en 1000 ára flóð eru 1/T. Í þessar skýrslu er 1000 ára flóð skilgreint sem flóðtoppur í úrkomu- og leysingaflóði með 1000 ára endurkomutíma, að teknu tilliti til áhrifa núverandi mannvirkja.

Hjöðnun flóðtopps í lónum: Flutningsgeta flóðvirkja (s.s. flóðloka og yfirfalla) sem veita vatni frá lónum er takmörkuð og í mörgum tilfellum er henni stýrt með mismikilli opnun slíkra virkja. Hjöðnun flóða verður þegar útrennsli um flóðvirki er minna en flóðtoppur í innrennsli í lón. Umfram vatnsmagn í flóði hækkar vatnsborð lónsins. Það umframvatn sem hægt er að stöðva í lóni með þessum hætti er háð því hvert vatnsborðið er í upphafi atburðar og hversu stórt yfirborð lónsins er, m.ö.o. geymslurými þess. Þannig hafa flóðtoppar í sögulegum úrkomu- og leysingaflóðum minnkað til muna eftir tilkomu miðlunarlóna. Hægt er að minnka flóðtoppa meira í stórum lónum en litlum.

Hjöðnun flóðtopps í farvegum: Flóðtoppar í úrkomu- og leysingaflóðum stækka almennt eftir því sem neðar dregur á vatnasvið árinna þar sem aukið vatn rennur inn í farveginn allt frá upptökum að ósi. Flóð vegna skyndilegrar opnunar loka eða stíflurofs eru annars eðlis þar sem hið aukna rennsli er staðbundið í farveginum. Toppar þessara flóða hjaðna eftir því sem neðar dregur vegna þess að hrýfi í farveginum og farvegsbreytingar valda orkutapi sem veldur því að flóðtoppurinn nær ekki að haldast eins skarpur og í upphafi atburðarins auk þess sem farvegurinn sjálfur hefur ákveðið geymslurými sem er almennt ekki fullt og veldur því að flóðtoppurinn lækkar.

Flóðasvæði: Það land sem fer undir vatn eða blotnar í flóði.

Hamfaraflóð: Flóð með rennsli um og yfir 100 000 m³/s.

Hönnunarflóð: Hönnunarflóð skiptast í notmarka- og brotmarkaflóð. Mannvirki skulu standast notmarkaflóð með fullu öryggi, en takmarkaðar skemmdir eru

viðunandi í brotmarkaflóði. Stíflur eru settar í flokka eftir afleiðingum stíflubrests og eru hönnunarflóð háð þeim flokki sem viðkomandi stífla er í, sjá kafla 5.3.

- Jökulhlaup:* Hlaup sem rekja má til: 1) vatna undir jökli á jarðhitasvæðum, s.s. Skaftárhlaup, 2) hlaup sem myndast við bráðnun jökuls við eldgos undir jökli s.s. Kötluhlaup og 3) jökulstífluð vötn sem myndast úr bráðunarvatni við jökuljaðar, s.k. jökullón t.d. Grænalón.
- Náttúrulegt flóð:* Flóð vegna úrkomu, leysinga eða annarra náttúrulegra orsaka án áhrifa nokkurra mannvirkja.
- Ofanflóð:* Snjóflóð, skriðufall, berghlaup eða grjóthrun. Skilgreint í reglugerð nr. 505/2000.

Stíflur og lokur

- Botnrásarloka:* Í sumum stíflum er komið fyrir lokum neðarlega í stíflunni þannig að hægt er að hleypa niður úr lóninu.
- Flóðgátt:* Hluti stíflu sem ætlað er að hleypa flóðum í gegn um stíflumannvirki. Í flóðgátt eru flóðlokur sem eru opnaðar í flóðum.
- Flóðvar:* Hluti stíflu sem ætlað er að rofni við stórflóð til varnar öðrum hlutum stíflunnar.
- Flóðvirki:* Flóðgáttir, flóðlokur og yfirföll. Hluti stíflu sem ætlað er að veita flóði út úr lóni til varnar öðrum hlutum stíflunnar.
- Geiraloka:* Loka úr stáli. Skjöldur geiraloku er formaður sem geiri úr hring. Burðararmar mætast í miðpunkti hringsins og þar er komið fyrir ás, sem lokan snýst um. Lokan er hreyfð með vökvabúnaði. Rennsli um geiraloku er ávallt undir lokuna.
- Grunnvatnsþrýstingur:* Þrýstingur jarðvatns sem er innilokað í jarðlögum.
- Gúmmiloka:* Loka úr gúmmíi sem haldið er uppi af loftþrýstingi. Eru notaðar sem yfirfallslokur t.d. í Sultartangastíflu og við Þórisós.
- Hjólaloka:* Loka úr stáli. Hjólaloka er flöt og í laginu sem hleri, með hjólabúnað á báðum hliðum. Hjólin gera mögulegt að hreyfa lokuna undir mismunandi þrýstingi. Lokan er hreyfð með vökvabúnaði. Rennsli um hjólaloku er ávallt undir lokuna.
- Innanrof:* Þegar óeðlilegur leki kemur að stíflu rog efni fer að berast út úr stíflunni með lekanum.
- Inntaksloka:* Loka við inntak á aðrennslispípu til stöðvarhúss. Lokan er annað hvort geiraloka eða hjólaloka.
- Lokubúnaður:* Hjólalokur, geiralokur, gúmmilokur, varalokur/viðgerðarlokur.
- Lokuvirki:* Lokur sem tilheyra stíflumannvirki geta verið inntakslokur, botnrásarlokur, árlokur eða flóðlokur.
- Meginstífla:* Aðal stíflumannvirki í farvegi ár.
- Mæliyfirfall:* Sérstakt yfirfall sem er fyrir komið til að fylgjast með og mæla leka frá stíflum.
- Stíflukróna:* Allur efsti hluti stíflu.
- Vara- eða viðgerðarloka:* Hleri án hjólabúnaðar sem unnt er að renna í brautir annarra loka ef taka þarf þær úr til viðgerðar.
- Yfirfall:* Sá hluti stíflu sem er hafður lægri en stíflukrónan og er ætlaður til að flytja umframvatn verði vatnsstaða há í lóni.

Ísamál

- Grunnstigull:* Getur myndast í flúðaköflum eða þar sem iðustraumur árinna nær til botns þannig að undirkældar vatnsagnir ná til botns og festast þar á

föstum hlutum svo sem steinum og hraunögnum sem skaga uppí strauminn. Getur einnig myndast á ristum inntaksmannvirkja. Stundum nær grunnstigullinn að vaxa það mikið að hann nær að lyfta ánni töluvert eða jafnvel ýta henni útfyrir farveg sinn, þá er sagt að áin bólgni upp.

Hrönn / íshrönn: Fyrirbæri þegar ísskrið hrannast upp ofan við kafla í ánni sem hafa lokast af ís. Stærð íshrana er háð halla árinna og lögun. Mikill halli þýðir stærri hrönn.

Ísspöng: Þegar yfirborð árinna leggur alveg þvert yfir ána.

Íslummur: Pönnukökulaga ís á ánni kallast íslummur.

Ísskrið: Þegar ís, í hvaða formi sem er, berst með straumnum niður ána.

Virkur vatnsflötur: Vatnsyfirborð sem ekki er hulið ís og getur því tekið þátt í ismyndun í ánni. Þar sem ís hylur ána myndast ekki krapí/ís.

Jarðfræði

l g: Þyngdarhröðun við yfirborð jarðar er $9,8 \text{ m/s}^2$. Prósent af þyngdarhröðun jarðar er notuð til að lýsa hröðunaráhrifum jarðskjálfta (yfirborðshröðun), dæmi 0,3g.

Váverk (skv. LV-2005/032)

Hótun: Framkvæmt af ásetningi. Hvers konar ógn munnleg eða skrifleg, gefin símleiðis, bre'flega eða á staðnum, þar sem starfsmanni eða fyrirtækinu er ógnað með orðum eða athæfi. Ætlað að valda óþægindum og álitstjóni. Afleiðingar geta verið stórfellt líkmas-, eigna- eða álitstjón.

Skemmdarverk: Oft framkvæmt af ásetningi. Ætlað að valda eignatjóni eða skaða á ímynd. Afleiðinga rgeta verið stórfellt líkams-, eigna- eða álitstjón.

Spellvirki: Framkvæmt af ásetningi. Ætlað að valda talsverðu eignatjóni. Afleiðingar geta verið stórfellt líkamstjón.

Hermdarverk: Framkvæmt af ásetningi. Ætlað að valda stórfelldu eignatjóni og / eða minniháttar líkamsskaða. Afleiðingar geta verið stórfellt líkamstjón.

Hryðjuverk: Framkvæmt af ásetningi. Ætlað að valda stórfelldu eignatjóni og / eða skaða á lífi og líkama. Pólitísk markmið.

Önnur hugtök.

m.y.s.: metrar yfir sjó.

Nútími: Nútími í jarðfræðilegu samhengi hófst þegar jökla leysti fyrir um 10 000 árum.

Sögulegur tími: Timinn frá upphafi Íslandsbyggðar ca. 1100 ár.

Viðauki 2 – Helstu kennistærðir virkjana og stíflumannvirkja

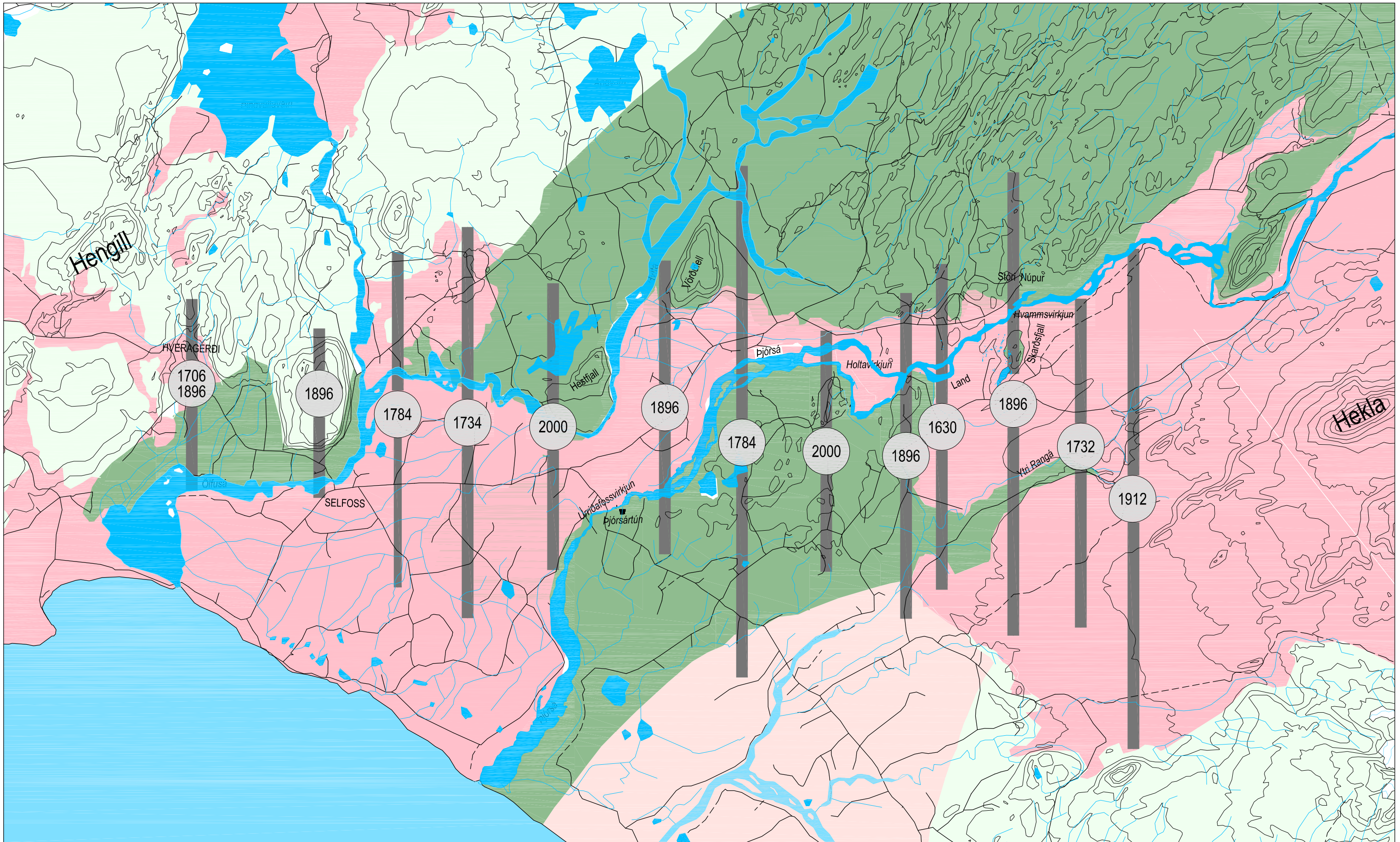
	Hvammsvirkjun	Holtavirkjun		Urriðafossvirkjun
	Hagalón	Búði	Árneslón	Heiðarlón
Virkjuð fallhæð	32 m	-	19 m	40 m
Vatnsborð við enda frárennisskurðar	84 m y.s.	-	52 m y.s.	9 m y.s.
Yfirborð lóns	116,0 m y.s.	74 m y.s.	71 m y.s.	50 m y.s.
Yfirfallsbrún	116,0 m y.s.	74 m y.s.	72 m y.s.	--
Lónrýmmd	15,5 Gl	--	13,6 Gl	17 Gl
Flatarmál lóns	4,6 km ²	--	4,8 km ²	9 km ²
Mesta dýpt	11 m	--	12 m	8,0 m
Meðaldýpt	3,4 m	--	2,8 m	1,9 m
Virkjað rennsli	310 m ³ /s	--	330 m ³ /s	370 m ³ /s
Hönnunarflóð Q ₁₀₀₀	2200 m ³ /s	2250 m ³ /s		2350 m ³ /s
Brotmarkaflóð 1,5 · Q ₁₀₀₀	3300 m ³ /s	3375 m ³ /s		3525 m ³ /s
Uppsett afl	82 MW	-	53 MW	130 MW





	Hvammstífla	Veituvirki við Búða	Árnesstífla	Urriðafosstífla
Krónuhæð stíflu	121,0 m y.s.	78,5 m y.s.	75,0 m y.s.	53,5 m y.s.
Mesta stífluhæð	um 16 m	um 8 m	um 15 m	um 14 m
Krónuhæð stíflugarðs	121,0 m y.s.	78,5 m	75,0 m y.s.	53,5 m y.s.
Lengd stíflugarðs	um 3,5 km	um 260 m	um 3 km	um 7 km
Flóðvar: Botnhæð hæð / lengd	105 m y.s. 15 m / 50 m	--	Verður hannað	48 m y.s. 4,7 m / 100 m
Yfirfall: hæð / lengd	116 m y.s. / 50 m	74 m y.s. / 285 m	72 m y.s. / 36 m	--
Gerð	Jarðstífla með kjarna, síum, stoðfyllingum og ölduvörn			
Við stíflu eru:	Flóðgátt, yfirfall, flóðvar	Flóðgátt, yfirfall	Flóðgátt, flóðvar	Flóðgátt, flóðvar
Mælingar í eða við stíflu	Grunnvatnsborð, sig, vatnsþrýstingur, leki, vatnshæð í lóni, færsla á sprungum, hallabreyting um sprungur			

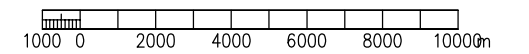
Viðauki 3 – Sprungukort

Mynd 3.1.5: Megin sprungur/misgengi (Ragnar Stefánsson o.fl, 2006a; Páll Einarsson, 2008) og yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) á Suðurlandsbrotabeltinu.

Mynd 3.1.6: Virkjanamannvirki, yfirborðsjarðfræði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1998) og yfirborðssprungur (Páll Einarsson, 2008; ÍSOR, 2006) við Neðri-Þjórsá.

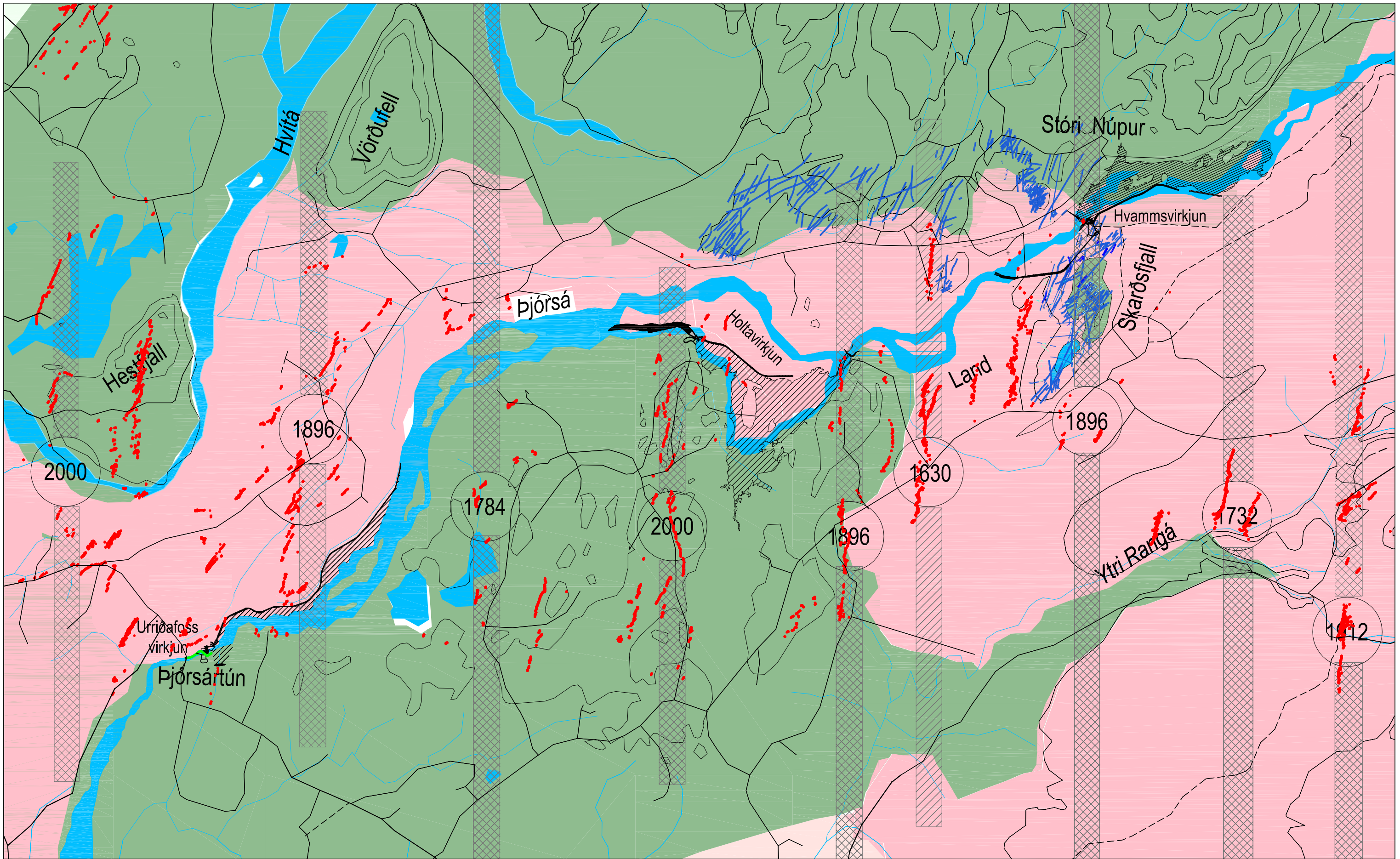


- | | |
|--|---|
|  Berglög frá síð-míðmósen |  Nútímahraun yngra en 11.000 ára |
|  Berglög frá síð- og mið-míðmósen |  Berglög frá fyrri hluta ísaldar |



VST Verktæðistofa
 Sígurðar Thoroddsen hf.
 Armúgá 4, 108 Reykjavík - Rt: 611276-0289
 Sími: 569 5000 - Fax: 569 5010 - Vefbengi: www.vst.is

Mynd 3.1.5



Lón

Berglög frá síð-mímósen

Berglög frá síð- og mið-míósen

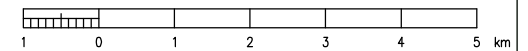
Nútímahraun yngra en 11.000 ára

Berglög frá fyrri hluta ísaldar

SPRUNGUR

Rauðar = Virkar sprungur
Páll Einarsson 2008

Bláar = Aðrar sprungur ISOR 2006



VST Verktæðistofa
Sígurðar Thoróðsson hf.
Armáa 4, 108 Reykjavík - Sími: 611276-0289
Sími: 569 5000 - Fax: 569 5010 - Vefbong: www.vst.is

Mynd 3.1.6

Viðauki 4 – Áhrif mannvirkja á flóð

Yfirlit yfir framkvæmdir á Þjórsár- Tungnaárvæðinu með tímasetningum og áhrifum á flóð.¹⁹

Framkvæmd	Lýsing	Tekin í notkun	Áhrif framkvæmdar á stór flóð
Búrfellsvirkjun	210 MW virkjun	1969 - 1972	Hverfandi
Vatnsfellsveita	Þórisvatn stíflað við Þórisós og veitt til Tungnaár	1. des 1971	Hverfandi
Köldukvíslarveita	Köldukvísl veitt til Þórisvatns	15. ágúst 1972	Flóð í Köldukvísl minnka verulega
Krókslón og Sigölduvirkjun	150 MW virkjun og lón í Tungnaá	Ágúst 1977	Flóð minnka í Tungnaá neðan lóns
Hrauneyjalón og virkjun	210 MW virkjun og lón í Tungnaá	Október 1981	Vatnsborð lóns nær alltaf í sömu hæð - lítil áhrif á flóð
Sultartangalón	Lón á mótum Tungnaár og Efri-Þjórsár	Nóvember 1983	Flóð minnka í Neðri-Þjórsá
Kvíslaveita 1-4	Vatni veitt frá Efri-Þjórsá til Köldukvíslar og þaðan í Þórisvatn	Lokið október 1985	Flóð minnka mikið í Efri-Þjórsá en aukast lítillega í Köldukvísl
Kvíslaveita 5	Meira vatni veitt frá Efri-Þjórsá til Köldukvíslar	Haustið 1997	Flóð minnka mikið í Efri-Þjórsá en aukast lítillega í Köldukvísl
Hágöngulón	Lón í Köldukvísl	Sumar 1998	Flóð minnka í Köldukvísl
Sultartangavirkjun og hækkun Sultartangalóns	130 MW virkjun og hækkun stíflu	Byrjun árs 2000	Afkastamiklar gúmmílokur geta haft mikil áhrif á flóð í Neðri-Þjórsá
Vatnsfellsvirkjun	90 MW virkjun milli Þórisvatns og Krókslóns	Nóvember 2001	Hverfandi
Stækkun Þórisvatnsmiðlunar	Vatnsborð hækkað frá 577 í 579 m y.s. Nýr veituskurður og gúmmílokur	Haust 2003	Getur bæði aukið (gúmmílokur) og minnkað flóð í Köldukvísl
Hvammsvirkjun	80 MW virkjun		Hverfandi
Holtavirkjun	50 MW virkjun		Hverfandi
Urriðafossvirkjun	125 MW virkjun		Hverfandi

¹⁹ Tafla að mestu unnin úr: VST hf. o.fl., 2006. Flóð á Þjórsár- Tungnaárvæði. Samantektarskýrsla. Landsvirkjun LV-2006/027.

Viðauki 5 – Kennistærðir flóða vegna stíflurofs

Stíflurof	Hvammsvirkjun					Holtavirkjun					Urriðafossvirkjun							
	Flóðvar Hagalóns	Stíflugarður Hagalóns			Pípurof	Búðastífla	Jarðvegsstífla við Árnslón	Stíflugarður Árnslóns			Aðalstífla Heiðarlón	Stíflugarður Heiðarlóns						
		Tilfelli						Tilfelli:				Tilfelli						
		1-4	5	6-7			1	2	3		1	2	3	4	5	6	7	
Roftími [klst]*	1	--	--	1	Skyndilegt	3/4	1	--	1	1	1	--	1	1	1	1	1	1
Flóðtoppur [m ³ /s]	3750	--	20	680	450	140	1800	--	25	740	3700	--	14	40	105	160	250	380
Lengd skarðs [m]**	50	--	--	66	--	13	50	--	--	60	95	--	--	40	50	55	60	65
Mesta vatnsdýpi við skarð [m]	11	--	--	4	--	3	7	--	--	4	10	--	--	1	1,6	2	2,5	3,2
Búðafoss	flóðtoppur	3150 m ³ /s		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	hækkun vatnsborðs	1,6 m	1,9 m	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Árnslón	flóðtoppur	400 m ³ /s	--	--	--	--	470 m ³ /s	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	hækkun vatnsborðs	0,1 m	--	--	--	--	2 m á tæpum 8 klst.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Heiðarlón	flóðtoppur	2350 m ³ /s		--	--	--	--	1900 m ³ /s	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	hækkun vatnsborðs	1,1 m		--	--	--	--	1,0 m	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Dvalarstaður sem flæðir að	Sumarhús við Minni Núp		--	--	--	--	--	--	--	--	Sauðholt II	--	--	--	--	--	--	
Staðaráhætta	0,9 af 10 000		--	--	--	--	--	--	--	--	0,01 af 10 000	--	--	--	--	--	--	

* Roftími er sá tími sem líður frá því að rof hefst í stíflu þar til skarð hefur náð fullri dýpt og lengd. Roftími jarðvegsstíflna er hér áætlaður 1 klst., sem talinn er lágmarkstími fyrir rof á öllum stöðum nema í Búðastíflu þar sem hann er styttri. Roftími reiknaður með reynslujöfnu fyrir innan- eða yfirstreymisrof reiknast í flestum tilfellum mun lengri, allt að 9 klst.

** Roflengd í stíflu er vídd skarðsins þegar það er fullþróað. Reiknað er með að 1 m breið sprunga opnast þvert á stífluna í jarðskjálfta og setji þar með af stað rof. Rofsakarð í jarðvegsstíflu héldi áfram að stækka upp í fulla roflengd á ákveðnum roftíma.

Viðauki 6 – Áhætta fólks vegna stíflurofs

Öryggi stíflumannvirkja. Í ýmsum löndum svo sem Bandaríkjunum, Noregi, Kanada, Ástralíu, Hollandi og Þýskalandi er nokkur hefð fyrir áhættumati stíflumannvirkja og sjóvarnargarða og að metin sé áhætta fólks vegna mögulegra flóða. Í þessum löndum eru starfandi samtök um stórar stíflur sem stuðla að þróun aðferðafræði og reglna varðandi öryggi stíflna (USCOLD, NNCOLD, CANCOLD, ANCOLD, Talsperren komitee²⁰), slík samtök eru einnig starfandi hér á landi (ISCOLD). Alþjóðlegu regnhlífasamtökin ICOLD²¹ hafa með virkum hætti komið að þróun aðferða við áhættumat stífla (CIBG/ICOLD, 2005), hafa tekið saman tölfræði um bilanir og skemmdir í stíflum (ICOLD, 1995) og lagt fram leiðbeinandi reglur um öryggi stíflumannvirkja og eftirlit. Mörg lönd hafa sett reglur (USBR²², NVE²³) sem eigendum er skylt að fara eftir við hönnun, byggingu, viðhald og rekstur stíflumannvirkja. Ýmsir eigendur stórra stíflna hafa sett sér leiðbeinandi reglur þar að lútandi (BC-Hydro). Engar opinberar íslenskar reglur eru til enn sem komið er, en íslenskum hönnuðum og eigendum stórra stíflna er umhugað um öryggi mannvirkjana og fara í megin atriðum eftir alþjóðlega viðurkenndum reglum, m.a. frá Noregi og Bandaríkjunum, við hönnun, byggingu og eftirlit stíflumannvirkja. Stíflur hannaðar og byggðar á Íslandi skv. viðurkenndum aðferðum hafa enda staðist ágætlega þá áraun sem þær hafa orðið fyrir. Á síðari árum hefur meðvitund vaxið um að ýmis mannanna verk feli mögulega í sér aukna áhættu í samfélaginu. Í kjölfar aukinnar umræðu er farið að gera kröfu um formlegt áhættumat vegna ýmissa framkvæmda, sem hluta af hönnun og byggingu þeirra. Fram að þessu hafa flest stíflumannvirki á landinu verið í eigu opinberra eða hálfopinberra fyrirtækja; Landsvirkjunar, RARIK og Orkubús Vestfjarða. Smærri stíflur hafa verið í eigu einkaaðila. Með tilkomu raforkulaga 2003 mun það líklega færast í vöxt að einkaaðilar og fyrirtæki reisi virkjanir og byggi stíflur hér á landi. Af því tilefni hefur, á vegum Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands, verið unnið verkefni um Öryggi vatnavirkja í þeim tilgangi að kortleggja áhættu (Atli Gunnar Arnórsson, o.fl., 2005).

Áhætta fólks. Vísindamenn í Bandaríkjunum (Graham, W. 1999; McClelland o.fl., 2002; Aboelata o.fl., 2004; Graham, W. o.fl., 2006), Kanada (Hartford, o.fl., 2004) og í Hollandi (Jonkman, S.N., 2007) hafa undanfarin ár unnið að þróun aðferða og hugbúnaðar til notkunar við mat á áhættu (einstaklingsáhættu²⁴ og samfélagslegri áhættu²⁵) fólks og skipulagningu viðbragðsáætla vegna flóða af völdum stíflurofs og rofs varnargarða í strandhéruðum. Í þessum löndum geta hundruð, þúsundir eða jafnvel tugþúsundir manna verið í hættu við rof stíflna eða sjóvarnargarða og skiptir því mjög miklu máli að rýnt sé nákvæmlega í þá þætti sem lúta að viðvörunum og rýmingu svæða, auk þess að lagt sé mat á stærð og umfang flóða. Aðferðirnar byggjast m.a. á rannsókum á og reynslutölum úr fjölmörgum flóðum sem orðið hafa ásamt huglægu mati á því hversu margt fólk kann að vera í hættu á mögulegum flóðasvæðum, þ.e. mati á því hversu margt fólk sé státt á hættusvæði, hvaða tíma það hafi til viðbragða og hvernig líklegast sé að það muni bregðast við viðvörun um flóð og rýmingu. Við þróun aðferða og hugbúnaðar eru gerð líkön fyrir þekkt flóðatilvik og niðurstöður bornar saman við raunverulegar afleiðingar þekkra flóða. Allar hafa þessar matsaðferðir sínar takmarkanir og eru í stöðugri þróun, en niðurstöður þeirra gefa þó mynd af þeirri áhættu sem fólk á flóðasvæði kann að vera í.

²⁰ Landssamtök um stórar stíflur sem eru aðilar að alþjóðasamtökunum ICOLD.

²¹ ICOLD: International Committee of Large Dams. www.icold-cigb.net

²² US Bureau of Reclamation, hluti af Innanríkisráðuneyti Bandaríkjana. Innan þess starfar Dam Safety Office (DSO) sem hefur það hlutverk að tryggja að stíflur skapi ekki óásættanlega áhættu fyrir fólk, eignir og umhverfi. www.usbr.gov

²³ Norges Vassdrags- og energidirektorat. www.nve.no

²⁴ Einstaklingsáhætta (e. individual risk). Dánarlíkur á ári miðað við 100% viðveru á tilteknum stað, samsvarar staðaráhættu (Jonkman, S.N., 2007).

²⁵ Samfélagsleg áhætta (e. societal risk). Líkurnar á að tiltekið óhapp valdi ákveðnum fjölda dauðsfalla. Mælikvarði á umfang óhapps. Oft sýnt sem F/N-línurit, sem sýnir líkur slysa með N eða fleiri dauðsföll á ári. (Jonkman, S.N., 2007).

Nokkrir þættir hafa grundvallaráhrif á fjölda þess fólks sem lætur lífið í flóðum vegna stíflurofs (Graham, W.o.fl., 2006). Þetta eru:

- Fjöldi fólks sem býr á flóðasvæði²⁶ fyrir rýmingu.
- Viðvörðun sem fólk sem er í hættu vegna flóða fær, metin á grundvelli tímasetningar og áhrifa.
- Fjöldi fólks sem heldur kyrru fyrir á flóðasvæði eftir rýmingu PAR²⁷, hafi hún farið fram.
- Stærð og umfang flóðs, byggt á flóðhraða, flóðdýpt og hraða hækkandi vatnsborðs.

Aðrir þættir sem einnig hafa áhrif á dánarlíkur eru m.a. ástæða og gerð stíflurofs, fjarlægð frá stíflu, merkjanlegar viðvaranir svo sem aukið rennsli, hækkandi vatnsborð, jarðskjálftar, tími sólarhrings, viku eða árs, veðuraðstæður, loft- og vatnshiti, athafnir fólks þegar rof verður, heilsufar fólks á flóðasvæði, hversu greiðlega rýming gengur.

Þau stíflurof sem hafa valdið fjölda dauðsfalla eru án undantekninga atburðir þar sem aðvaranir hafa ekki verið gefnar tímanlega og hýbýli, þ.e. tjöld, tjaldvagnar, bifreiðar, hús o.fl. hafa eyðilagst í flóðinu. Í tengslum við þessar rannsóknir hafa ástæður þess að fólk hlýði ekki rýmingarboðum ef alvarlegir atburðir eru yfirvofandi verið kannaðar. Í þessum aðferðum er mikið lagt upp úr mati á virkni rýmingar, þ.e. mati á því hversu margir einstaklingar sem eru staddir á flóðasvæði þegar flóðbylgjan gengur yfir sinna ekki rýmingu.

Ástæður þess kunna m.a. að liggja í því hvort flóð sé yfirvofandi eða þegar hafið, skilningi fólks á aflvarleika flóðsins, lengd viðvörðunartíma og þess hvort viðvörðunin er nægjanlega skýr og ákveðin. Einnig skiptir miklu máli hvernig fólk hegðar sér á flóðasvæði, þ.e. hvort það fer eftir leiðbeiningum eða hundsar þær. Fjöldi dauðsfalla í flóðum má t.d. rekja til þess að fólk hegðar sér óskynsamlega við flóðaaðstæður og snýr aftur inn á flóðasvæði eftir rýmingu, ekur á yfirflotnum skemmdum vegum og lendir því óvænt í djúpum hyljum. Lýsingar á mati á flóðþunga fela í sér lýsingar á skemmdum á mannvirkjum og umhverfi og gefa til kynna hvort fólk hafi möguleika á að leita skjóls í trjám eða byggingum sem standast flóðið. Fjarlægð frá stíflu hefur einnig mikil áhrif og er almennt talið að fjær stíflu en 25 km séu hverfandi líkur á dauðsföllum af völdum flóða.

Þá hafa niðurstöður sýnt að í þeim tilvikum sem um tiltölulega straumlítill og grunn flóð er að ræða geti rýming svæða jafnvel falið í sér meiri hættu en flóðið sjálft.

Sú aðferð sem í þessari skýrslu er notuð til að meta staðaráhættuna byggist á eftirfarandi tólf skrefum sem Bureau of Reclamation Dam Safety Office undirstofnun Innanríkisráðuneytis Bandaríkjanna, mælir með (Graham, W.o.fl., 2006).

1. Ákvarða bilanatilvik (hættugreining kaflar 3, 4 og 5).
2. Ákvarða tímastuðla (tími dags, tími árs, nótt eða dagur) (á ekki við).
3. Ákvarða flóðasvæði fyrir hvert tilvik (kafla 5).
4. Meta þann fjölda fólks sem gæti verið í hættu, PAR, í hverju tilviki (á ekki við).
5. Ákvarða hvenær viðvaranir yrðu gefnar (á ekki við).
6. Ákvarða lengd viðbragðstíma á flóðasvæði (á ekki við).
7. Ákvarða virkni viðvarana (á ekki við).
8. Ákvarða þann fjölda fólks sem yfirgefur ekki flóðasvæði eftir að viðvörðun hefur verið gefin (á ekki við).
9. Ákvarða þá hættu sem flóðið veldur (kafla 6).
10. Velja viðeigandi dánartíðni út frá eiginleikum flóðsins á hverju svæði (kafla 6).
11. Leggja fram mat á dánarlíkur (kafla 6).
12. Ræða óvissu mismunandi þátta sem geta haft áhrif á mat á dánarlíkur (kafla 6).

²⁶ Það svæði sem fer undir vatn í flóði, e. Floodplain.

²⁷ PAR, Population At Risk. Byggir á áætluðum fjölda fólks á flóðasvæði fyrir rýmingu.

Í sviga er gefið upp í hvaða köflum skýrslunnar er fjallað um viðkomandi þátt. Við mat á staðaráhættu á ekki við að meta þætti 2, 4 – 8, þar sem staðaráhætta gildir fyrir einn einstakling sem dvelur öllum stundum á svæðinu.

Aðstæður á Íslandi. Á Íslandi eru möguleg hættusvæði í flóðum vegna stíflurofs í flestum tilvikum strjálbýl, viðvörunartími langur, viðvörunarkerfi gott, fjarlægð frá stíflumannvirkjum talin í tugum km og skilningur fólks á alvarleika viðvarana góður. Einnig er almannavarnakerfið á Íslandi mjög vel kynnt meðal almennings og vegna fámennis eru fjölmargir Íslendingar virkir í björgunarsveitum eða tengdir einhverjum sem þar starfar. Því má gera ráð fyrir að hinn almenni Íslendingur sé mun meðvitaðri um almannavá, m.a. af völdum flóða og viðbrögð við henni, en almennt gerist meðal fjölmennari þjóða og að viðbrögð við viðvörunum væru skilvirkari. Að því gefnu að nægur tími gefist til viðvörunar og rýmingar má því gera ráð fyrir því að flóðasvæði væri nánast mannlaut þegar flóðbylgjan skylli á. Af þessum sökum er samfélagsleg áhætta vegna stíflurofsflóða á Íslandi almennt mjög lítil í samanburði við áhættu fólks í öðrum löndum.

Mat á samfélagsáhættu á flóðasvæði fæli í sér m.a. að lagt væri mat á viðbragðstíma, þ.e. hvenær viðvaranir yrðu gefnar út, lengd viðvörunartíma þ.e. þess tíma sem fólk hefði til að bregðast við eftir að það fær viðvörun og virkni viðvarana. Einnig að lagt væri mat á þann fjölda fólks sem dvelja kynni á viðkomandi flóðasvæði og hversu mikill hluti þess fólks myndi sinna viðvörunum og rýma svæðið. Þar með taldir væru skráðir íbúar í bústöðum sem lenda í flóðinu og mat á fjölda þess fólks sem kann að vera stadd utandyra á flóðasvæði. Tekið væri þar tillit til starfa fólks utandyra svo sem bústarfa, frístundaiðkunar, veiða o.fl. miðað við árstíma, meðal viðveru í hýbýlum eða utandyra, tíma árs og sólarhrings og niðurstaðan sett fram sem líkur á dauðsfalli á ári. Óvissan í slíku mati fælist helst í mati á lengd viðbragðstíma og því hversu margir væru staddir utandyra við ýmis störf.

Hugbúnaður

LIFESim er hugbúnaður sem þróaður hefur verið í samvinnu Verkfræðideildar Bandaríska hersins (U.S. Army Corps of Engineers), áströlsku stóru stíflu samtakanna (ANCOLD) og Bandaríska innanríkisráðuneytisins (U.S. Bureau of Reclamation). Vísindamenn við Utah State University, M. Aboelata, D.S. Bowles og A. Chen hafa unnið að þróun hans. Hugbúnaðurinn er ætlaður til að meta mögulegt manntjón við flóð af náttúrulegum orsökum og flóð vegna stíflurofs. Hann má nota í áhættumati fyrir stíflur og til að kanna möguleika stíflueigenda og sveitarfélaga til að bæta viðbragðsáætlanir sínar. Hugbúnaðurinn er enn í þróun og er ekki kominn á almennan markað.

Red Kenue og Life Safety Model er hugbúnaður sem spáir fyrir um framgang rýmingar af hættusvæði. Hugbúnaðurinn er niðurstaða þróunarsamvinnu BC Hydro sem leidd var af D. Hartford, Power Authority og vísindastofnunarinnar National Research Council Canadian Hydraulics Centre. Með hugbúnaðinum er unnt að líkja eftir rýmingu hættusvæða vegna náttúrulegra flóða eða stíflurofs flóða og meta þannig mögulegt manntjón. Unnið er að prófun hugbúnaðarins hjá BC-Hydro, HR Wallingford í Bretlandi og tækniháskólanum í Delft TU-Delft í Hollandi. Hugbúnaðurinn er fáanlegur í tilraunaútgáfu (beta-útgáfu) hjá CHC.

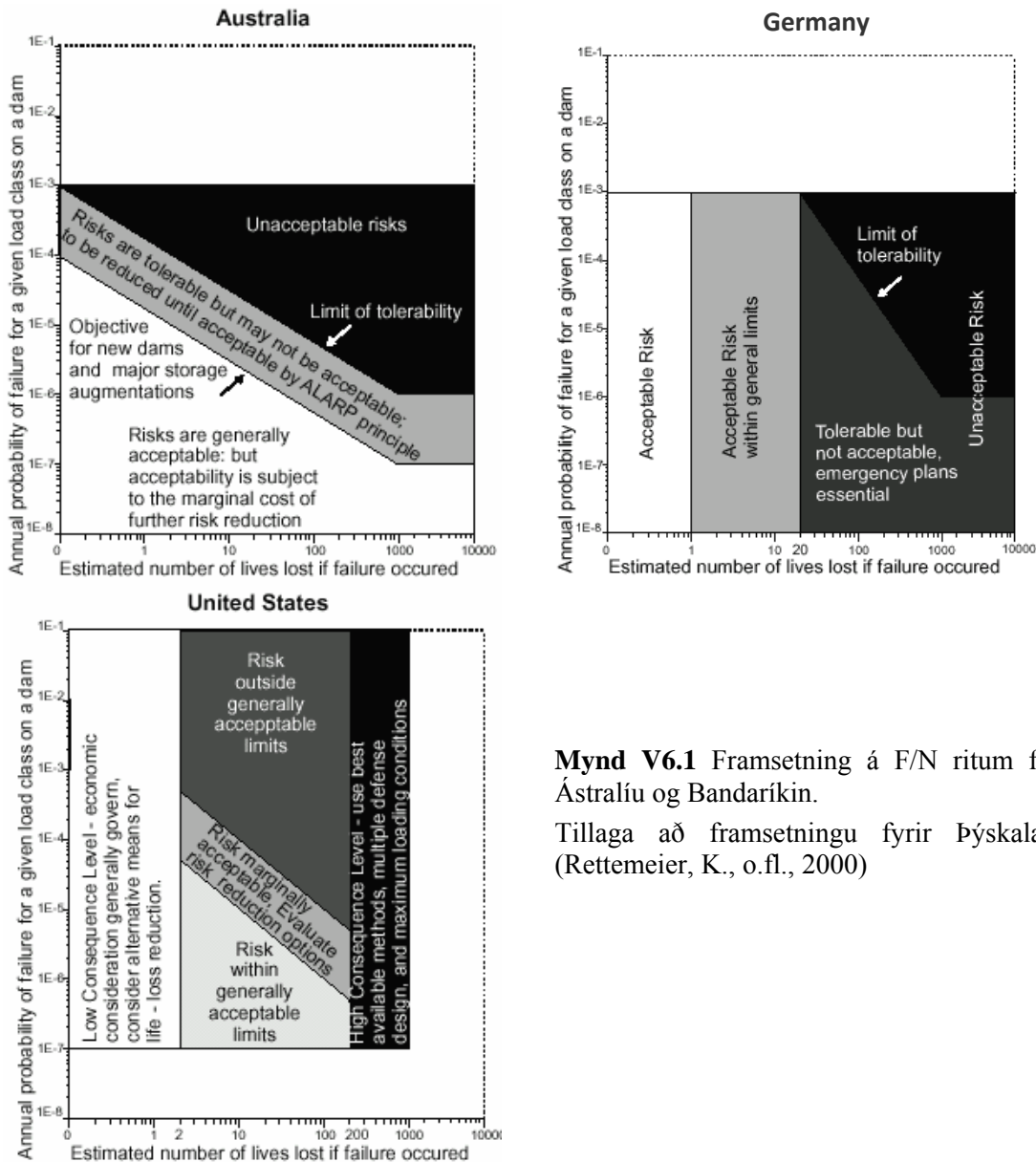
Áhættumörk

Á Íslandi hafa, í reglugerð nr. 505/2000, verið sett ásættanleg mörk á staðaráhættu (einstaklingsáhættu) vegna ofanflóða eins og að framan greinir.

Rettemeier (Rettemeier, o.fl., 2000) ræðir mörk samfélagsáhættu og sýnir sem dæmi áhættumörk á F-N línuriti sem ANCOLD²⁸ (1998) hefur þróað fyrir Ástralíu og USBR (1998) fyrir Bandaríkin. Einnig setur Rettemeier fram tillögu að slíku riti fyrir Þýskaland. Í greininni kemur fram að mjög vandasamt sé að setja mörk á ásættanlega áhættu og að engin ein mörk séu rétt. Áhættan geti verið þolanleg innan tiltekinnar marka, en draga þurfi úr henni skv. ALARP

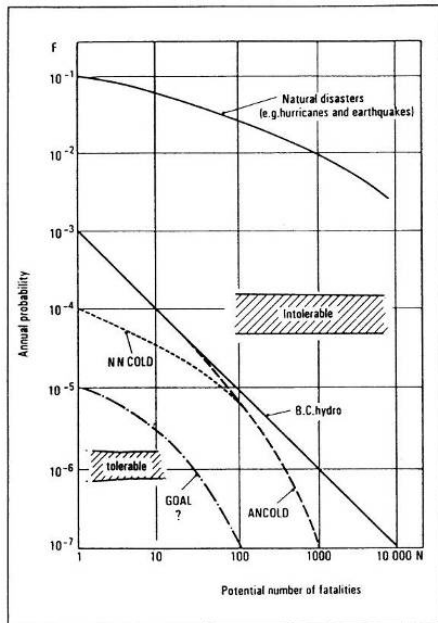
²⁸ Australian National Committee of Large Dams, www.ancold.org.au

reglunni (As Low As Reasonable Practicable) þar til hún þyki ásættanleg. Ýmsir möguleikar séu til þess svo sem endurbætur á mannvirkjum, viðbragðsáætlanir, eftirlit og vöktun. Mat á áhættu fólks sé viðkvæmt mál þar sem mörkin fara mjög eftir samfélagsgerð og íbúafjölda. Eins og sjá má á meðfylgjandi myndum, eru þessi mörk mjög mismunandi eftir löndum. Ástralía er strjálbýlt land og þar hefur stíflurof ekki endilega í för með sér manntjón, aftur á móti er Þýskaland þéttbýlt og þar er manntjón mögulegt vegna rofs svo til hvaða stíflu sem er.



Mynd V6.1 Framsetning á F/N ritum fyrir Ástralíu og Bandaríkin.

Tillaga að framsetningu fyrir Þýskaland. (Rettemeier, K., o.fl., 2000)



Mynd V6.2 Tillaga að F/N riti vegma stíflugerðar (Hoeg, Kaare, 1996).

NNCOLD. Norwegian National Committee for Large Dams.

BC Hydro: British Columbia Hydro Company Kanada.

Heimildir

- Aboelata, Maged, Bowles, David S. og Chen, Anthony. 2004. *Transportation Model for Evacuation in Estimating Dam Failure Life Loss*. Australian Committee on Large Dams (ANCOLD) Bulletin 128, Melbourne, Victoria, Australia.
- Atli Gunnar Arnórsson, Bjarni Bessason, Jónas Eliasson, Sigurður Erlingsson, Sigurður Magnús Garðarsson, 2005. *Öryggi vatnavirkja. Áhættustjórnun fyrir stíflur*. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- CIGB/ICOLD, 1995. *Dam Failure statistical Analysis*. ICOLD Bulletin 99, Paris.
- Graham, Wayne J. 1999. *A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure*. U.S. Department of the Interior, Denver CO. DSO; 99-06.
- Graham, W., o.fl. 2006. *Dam Failure in the United States and a Procedure for Estimating the Consequences of Future Failures*. DSO-2006-01 Draft, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, 2006.
- Hartford, Desmond N.D. og Baecher, Gregory B., 2004. *Risk and Uncertainty in Dam Safety*. CEA technologies dam Safety Interest Group. Thomas Teleford Ltd., London.
- Hoeg, Kaare, 1996. *Performance Evaluation, Safety Assessment and Risk Analysis for Dams*. *International Journal on Hydropower and Dams* 6:551-58.
- ICOLD, 2005. *Risk Assessment in Dam Safety Management. A Reconnaissance of Benefits, Methods and Current Applications*. ICOLD Bulletin 130, Paris.
- Jonkman, S.N. 2007. *Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications*. Proefschrift. Delft Cluster, Delft, 2007.
- McClelland, Duane M. og Bowles, David S. 2002. *Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Assessment – A Review and New Approach*. US Army Corps of Engineers. IWR Report; 02-R-3.
- Rettemeier, K., Falkenhagen, B., Köngeter, J., 2000) *Risk Assessment – new trends in Germany*. 20th ICOLD Congress, Beijing. www.talsperrenkomitee.de

Viðauki 7 – Önnur áhrif stíflurofs

Gróður og náttúrufar.

Amennt er ekki búistvið að rof verði á samfelldri gróðurþekju við flóð vegna rofs á stíflumannvirkjum fyrirhugaðra virkjana við neðanverða Þjórsá vegna takmarkaðrar útbreiðslu flóðanna (rof meginmannvirkja) og tiltölulega lítils straumhraða (rof garða).

Það svæði sem flæðir við rof á meginmannvirkjum er farvegur Þjórsár. Aurarnir hafa að hluta til gróið upp þar sem áin fyllir að öllu jöfnu ekki út í farveginn og má búast við því að sá gróður og það dýra og fuglalíf sem þar er spillist tímabundið eins og í öðrum stórum flóðum (Myndir 6.1.1, 6.2.1, 6.2.2 og 6.3.1).

Það svæði sem flæðir við rof á gördum er að mestu óræktað land (Myndir 6.1.2-6.1.4, 6.2.3-6.2.6, 6.3.3-6.3.5), þó flæðir á tún í ofanverðum Flóahreppi (Mynd 6.3.5). Ekki er búist fyrir rofi á samfelldri gróðurþekju, nema rétt við suma rofstaði á gördum þar sem vatnshraði er mestur (Myndir 6.1.3, 6.2.6). Það svæði er óræktað land eða land sem ræktað hefur verið vegna landmótunar við byggingu mannvirkjanna.

Þrýstipípa Hvammsvirkjunar er grafin í jörð og við rof á henni myndi gróðurþekja rofna yfir rofstaðnum og milli hans og stöðvarhúss (Mynd 6.1.4), þar sem straumhraði er mestur.

Við sjötnun flóðs má gera ráð fyrir að aur úr flóðvatni setjist til á því svæði sem flætt hefur. Líklegt er að búsvæði mófugla og smádýra á því svæði spillist tímabundið.

Í skýrslu um mat á umhverfisáhrifum er ekki getið um neinar sérstæðar dýra, fugla eða gróðurtegundir á svæðinu aðrar en greppumosa.

Samgöngumannvirki.

Almennt er ekki gert ráð fyrir að tjón verði á samgöngumannvirkjum við flóð vegna rofs á meginmannvirkjum, gördum eða þrýstipípu. Flætt getur að vegum við rof garðs við Heiðarlón og við rof þrýstipípu Hvammsvirkjunar. Vegagerðin telur þó að tjón geti orðið á undirstöðum gömlu Þjórsárbrúarinnar við rof Urriðafossstíflu, sem valdi því að brúin hrynji (Viðauki 9).

Byggingar.

Við flóð vegna rofs Hvammsstíflu og Árnestsstíflu má búast við að tjón verði á dæluhúsi hitaveitu við Kaldárholt. Auk þess má búast við því að sumarbústaður við Minni Núp, sem myndi lenda í flóði vegna rofs Hvammsstíflu, eyðileggist.

Við flóð vegna rofs Urriðafossstíflu má búast við einhverju tjóni á íbúðarhúsinu að Sauðholti II þar sem vænta má að húsið verði umflotið.

Við flóð vegna rofs á gördum eða þrýstipípu Hvammsvirkjunar verða engin hús fyrir tjóni.

Þar sem engin útihús blotna í flóðunum og ekki flæðir yfir beitolönd er þess ekki að vænta að búsmali verði fyrir tjóni.

Tjón á virkjunarmannvirkjum og tap á raforkusölu.

Tjón Landsvirkjunar vegna rofs á mannvirkjum og þar af leiðandi tímabundinnar rekstrarstöðvunar viðkomandi virkjunar gæti orðið töluvert. Það fæli í sér endurbyggingarkostnað viðkomandi mannvirkis og tjón vegna tapaðrar raforkusölu vegna rekstrarstöðvunar. Einnig gæti verið um að ræða mögulegar bætur vegna flóða yfir eignarland.

Viðauki 8 – Varnaraðgerðir

Yfirlit yfir forvarnaraðgerðir til að draga úr áhættu vegna nýrra mannvirkja við Neðri-Þjórsá. Yfirlitið er ekki tæmandi.

	Fyrirbyggjandi aðgerðir, varnaraðgerðir	Umsjón
Stíflurof	√ Mælitæki í og við stíflur mæla grunnvatnsþrýsting, leka og hreyfingu (sig) á stíflufyllingu.	√ Landsvirkjun, hönnuðir
	√ Samfelld vöktun mælitækja í og við stíflur (söfnun upplýsinga, úrvinnsla og aðvaranir).	√ Landsvirkjun, stjórnstöð
	√ Reglulegt eftirlit með mannvirkjum, sérstakt eftirlit eftir jarðskjálfta og aðra óvenjulega atburði.	√ Landsvirkjun
	√ Viðbragðsáætlanir (þjálfun og æfingar).	√ Landsvirkjun, neyðarstjórn
	√ Rýmingaráætlanir, hættuviðvaranir á svæði.	√ Almannavarnir
	√ Ritun leiðbeininga og gátlista vegna rekstrar.	√ Landsvirkjun
	√ Kynningar og fræðsla íbúa á svæðinu.	√ Landsvirkjun, Almannavarnir
	√ Viðvörunarbúnaður og merkingar.	√ Landsvirkjun
	√ Eftirlitskerfi.	√ Landsvirkjun
	√ Upplýsingaskilti og girðingar.	√ Landsvirkjun
	√ Neyðar- og hópþjarskiptakerfi.	√ Landsvirkjun
	√ GSM fjarskipti.	√ Fjarskiptafyrirtæki
Jarðskjálftar	√ Jarðskjálftavakt.	√ Veðurstofa
	√ Jarðskjálftahönnun mannvirkja.	√ Hönnuðir
Eldgos	√ Hröðunarmælingar á svæði.	√ Rannsóknarmiðstöð HÍ í jarðskjálftaverkfræði
Jöklar	√ Jöklarannsóknir.	√ Raunvísindastofnun HÍ
Flóð	√ Vatnamælingar.	√ Orkustofnun
Veðurfar	√ Veðurathuganir og veðurspár.	√ Veðurstofa
Váverk	√ Fylgst með stefnum og straumum í þjóðfélaginu.	√ Landsvirkjun neyðarstjórn
	√ Vöktun mannvirkja.	√ Landsvirkjun, stjórnstöð
	√ Viðbragðsáætlanir við váverkum.	√ Landsvirkjun, neyðarstjórn
Mistök	√ Hönnunar-, framkvæmda- og rekstrareftirlit.	√ Landsvirkjun, yfirvöld
	√ Lög og reglugerðir.	√ Yfirvöld
	√ Bestu vinnubrögð, „best practice“.	√ Landsvirkjun, hönnuðir

Viðauki 9 – Þjorsárbrýr

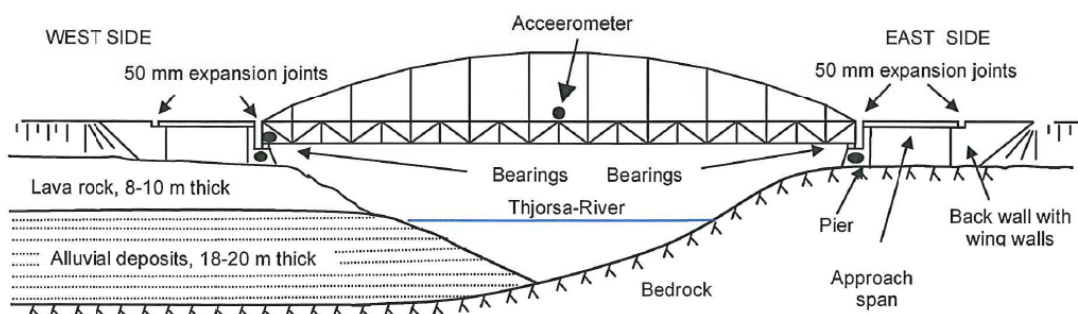
Vegagerð ríkisins var sent erindi og innt eftir því hvort flóð vegna stíflurofs Urriðafossvirkjunar teldist hafa áhrif á brýrnar yfir Þjorsá við þjóðveg 1. Hér á eftir fer svar Vegagerðarinnar.

Reykjavík, 8/5 2008

Hörn Hrafnadóttir
Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen
Ármúla 4
108 RVK

Varðandi brýrnar yfir Þjorsá þá mat Vegagerðin hönnunarflóðið (flóð með 100-ára endurkomutíma) 1800 m³/s. Val á brúargerð (gömlu og nýju brúarinnar) og brúarlengd (gömlu og nýju brúarinnar) réðst hins vegar ekki eingöngu af hönnunarflóðinu heldur ekki síst því að verið var að brúa vel skilgreindan og djúpan farveg.

Við nýju brúna mat Vegagerðin vatnsboð í 100-ára flóði í kóta 28,1 m og vatnshraða rúma 6 m/s. Vegagerðin telur að flóð (3750 m³/s) samfara stíflurofi með vatnborð í kóta 31,9 m og vatnshraða 7 m/s muni ekki skapa hættu við nýju brúna enda er hún grunduð grágrýti beggja vegna árinna og allar milliundirstöður og bogaspyrnur eru með 6-8 m löngum bergfestum.



Varðandi gömlu brúna þá er hún grunduð á grágrýti á austurbakkanum en á 8-10 m þykku hrauni á vesturbakkanum.

Undir hrauninu á vesturbakkanum er 18-20 m þykkt vatnaset með efri brún í hæð ekki fjarri hæð á venjulegu vatnborði. Setið neðan vatnborðs er væntanlega varið með grjóti sem hrúnið hefur úr núverandi hraunkanti. Vegagerðin telur að flóð (3750 m³/s) samfara stíflurofi með vatnborð í kóta 37,2 m og vatnshraða 9,5 m/s geti hugsanlega grafið undan hraunkantinum vestan árinna og þar með valdið hrúni gömlu brúarinnar.

Einar Hafliðason
Forstöðumaður Brúadeildar
Vegagerðin
Borgartúni 7
105 Reykjavík