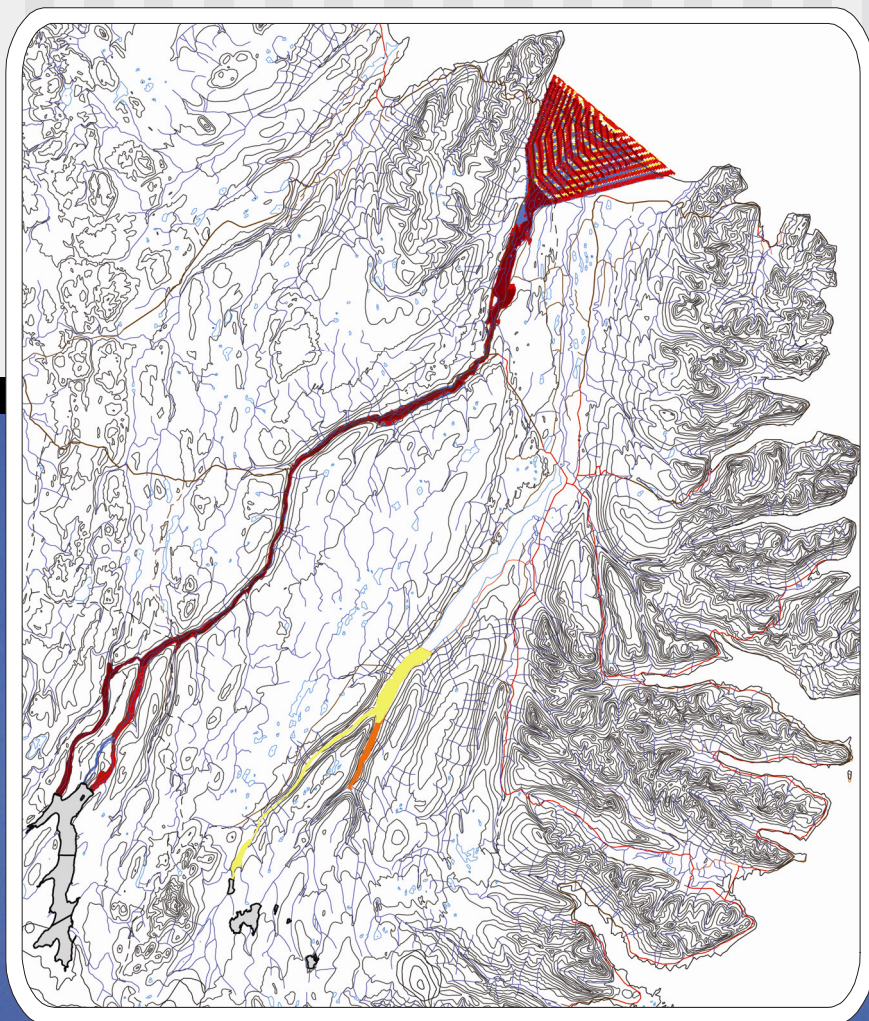


Kárahnjúkavirkjun Flóð vegna stíflurofs Endurskoðun



Landsvirkjun

Ágúst 2006

Kárahnjúkavirkjun

Flóð vegna stíflurofs

Endurskoðun

Skýrsla nr: LV-2006/055

Dags: Ágúst 2006

Fjöldi síðna: 37 Upplag: 30 Dreifing: Opin Lokuð til

Titill: Kárahnjúkavirkjun. Flóð vegna stíflurofs. Endurskoðun.

Höfundar: Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf.

Verkefnisstjóri: Pétur Ingólfsson, Landsvirkjun

Unnið fyrir: Landsvirkjun. Verkfræði- og framkvæmdasvið.

Samvinnuaðilar: _____

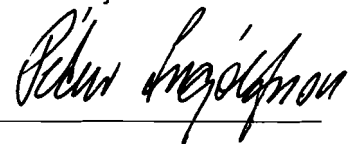
Útdráttur: Endurútgáfa skýrslu um hugsanleg flóð vegna rofs stífla Kárahnjúkavirkjunar, annars vegar við Háslón og hins vegar miðlanirnar Kelduárlón og Ufsarlón. Vegna gerðar viðbragðsáætlunar fyrir Kárahnjúkavirkjun var farið í endurskoðun forsendna úttektar á stíflurofi sem gerð var vegna mats á umhverfisáhrifum árið 2001, vegna breytinga sem orðið höfðu á hönnun mannvirkja. Skoðuð voru fjögur misstór flóð frá Háslóni og áhrif þeirra í farvegi Jökulsár á Dal. Metin voru flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu, Desjarárstíflu og Sauðárdalsstíflu auk yfirstreymis flóðvars í Desjarárstíflu. Einnig voru skoðuð flóð vegna yfirstreymis Kelduárstíflu og Ufsarstíflu og áhrif þeirra í farvegum niður að Lagarfljóti.

Lykilorð: Kárahnjúkavirkjun, stíflurof, flóð.

ISBN nr:

ISSN nr:

Undirskrift verkefnisstjóra
Landsvirkjunar





Landsvirkjun

KÁRAHNJÚKA VIRKJUN
FLÓÐ VEGNA STÍFLUROFS
ENDURSKOÐUN

SKÝRSLA NR: 2000.0304/SK-11	DREIFING:
DAGS: 2006-08-15	<input checked="" type="checkbox"/> Opin
BLADSÍÐUR: 19	<input type="checkbox"/> Lokuð til
UPPLAG: 30	<input type="checkbox"/> Háð leyfi verkkaupa

HEITI SKÝRSLU:

Kárahnjúkavirkjun - Flóð vegna stíflurofs. Endurskoðun.

HÖFUNDAR:

Pórhildur Guðmundsdóttir

VERKEFNISSTJÓRI:

Dóra Hjálmarsdóttir

UNNIÐ FYRIR:

Landsvirkjun

UMSJÓN: Pétur Ingólfsson

SAMSTARFSADILAR:

GERÐ SKÝRSLU/VERKSTIG:

VERKNÚMÉR:

2000.0304

ÚTDRÁTTUR:

Endurútgáfa skýrslu um hugsanleg flóð vegna rofs stífla Kárahnjúkavirkjunar, annars vegar við Háslón og hins vegar miðlanirnar Kelduárlón og Ufsarlón. Vegna gerðar viðbragðsáætlunar fyrir Kárahnjúkavirkjun var farið í endurskoðun forsendna úttektar á stíflurofi sem gerð var vegna mats á umhverfisáhrifum árið 2001, vegna breytinga sem orðið höfðu á hönnun mannvirkja.

Skoðuð voru fjögur misstór flóð frá Háslóni og áhrif þeirra í farvegi Jökulsár á Dal. Metin voru flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu, Desjarárstíflu og Sauðárdalsstíflu auk yfirstreymis flóðvars í Desjarárstíflu. Einnig voru skoðuð flóð vegna yfirstreymis Kelduárstíflu og Ufsarstíflu og áhrif þeirra í farvegum niður að Lagarfljóti.

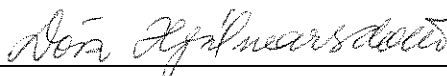
LYKILORÐ ÍSLENSK:

Kárahnjúkavirkjun, stíflurof, flóð.

LYKILORÐ ENSK:

Kárahnjúkar Hydroelectric Project, dambreak, breach, flooding.

UNDIRSKRIFT VERKEFNISSTJÓRA:



YFIRFARIÐ AF:

GGT

Samantekt

Skoðuð hafa verið flóð sem gætu myndast vegna rofs stífla við Háslón auk rofs stífla við tvær stærstu miðlanirnar í veituhluta Kárahnjúkavirkjunar. Fjögur tilvik stíflurofs við Háslón voru valin til nánari athugunar og lagt mat á flóð í farvegum ánnu frá stíflum niður að sjó. Háslón verður um 56 km² að flatarmáli við vatnsborð í yfirfallshæð og um 2300 Gl. Einnig var lagt gróft mat á flóð úr Kelduárlóni og Ufsarlóni niður í Lagarfljót. Veitulónin verða mun minni en Háslón, Kelduárlón verður um 7 km² og Ufsarlón um 1 km² við yfirfallshæðir þeirra.

Skýrsla þessi lýsir endurskoðuðum niðurstöðum frá því að umhverfisáhrif Kárahnjúkavirkjunar voru metin árið 2001. Mat á mesta rennsli flóða vegna innanrofs Desjarárstíflu við Háslón og yfirstreymi Ufsarstíflu hefur hækkað frá fyrri útgáfu skýrslunnar vegna breyttra forsendna varðandi efniseiginleika stíflumannvirkjanna.

Helstu niðurstöður útreikninga eru eftirfarandi:

Innanrof Kárahnjúkastíflu: Mesta hæð stíflu er um 185 m. Mesta rennsli er metið um 150.000 m³/s miðað við að rof stíflu taki um 8 klukkustundir. Toppur flóðsins er innan við 3 klukkustundir að berast frá stíflu niður farveg Jökulsár á Brú að sjó við Héraðsflóa. Alls væru íbúðarhús um 24 bæja í Jökuldal og á Héraði í hættu vegna slíks flóðs og gera má ráð fyrir að allar brýr á farveginum myndu rofna auk vega.

Innanrof Desjarárstíflu: Mesta hæð stíflu er um 55 m. Mesta rennsli er metið um 110.000 m³/s miðað við að rofið taki um 3 klukkustundir. Toppur flóðs yrði um 4,5 klukkustundir að berast frá stíflu niður Desjarárdal og þaðan eftir farvegi Jökulsár á Brú niður að sjó. Alls gætu um 16 íbúðarhús bæja verið í hættu vegna flóðsins auk brúa og vega.

Innanrof Sauðárdalsstíflu: Mesta hæð stíflu er um 25 m. Mesta rennsli er metið um 25.000 m³/s og rofið gæti tekið um 8 klukkustundir. Toppur flóðs yrði um 5 klukkustundir að berast frá stíflu niður Laugarvalladal og þaðan eftir farvegi Jökulsár á Brú niður að strönd Héraðsflóa. Um 5 íbúðarhús bæja gætu verið í hættu vegna slíks flóðs auk minni brúa og vega sem standa lágt yfir farvegi árinna.

Rof flóðvars í Desjarárstíflu: Mesta hæð flóðvars er um 15 m. Mesta rennsli er metið um 14.000 m³/s og rofið tekur um eina klukkustund. Toppur flóðs yrði um 8 klukkustundir að berast niður Desjarárdal og þaðan niður farveg Jökulsár á Brú niður að sjó. Íbúðarhús um fjögurra bæja gætu verið í hættu vegna slíks flóðs auk stakra vegkafla og minni brúa.

Yfirstreymi yfir Kelduárstíflu: Mesta hæð stíflu er um 25 m. Mesta rennsli er metið um 13.000 m³/s, um 1,5 klukkustundum eftir að rof hæfist. Innan 3 klukkustunda frá upphafi rofs myndi flóðið berast inn í Lagarfljótið þar sem vatnsborðshækkun gæti orðið um 1,5 m. Engin íbúðarhús bæja eru talin vera í hættu vegna flóðsins.

Yfirstreymi yfir Ufsarstíflu: Mesta hæð stíflu er um 37 m. Mesta rennsli er metið um 21.000 m³/s, nokkrum mínútum eftir að rof hæfist. Innan 2 klukkustunda frá upphafi rofs myndi flóðið berast inn í Lagarfljótið þar sem vatnsborðshækkun gæti orðið um 25 cm. Íbúðarhús sex bæja í Fljótsdal gætu verið í hættu vegna flóðsins og þar af eru tvö í Norðurdal.

English Summary

A study has been made on dambreak of different dams which are a part of the Kárahnjúkar Hydroelectric Project. Dambreak is a very unlikely event but can not be completely discarded as a possibility. For a dambreak to be initiated there must be some very unusual circumstances which are not within the scope of the design of the dams, for instance catastrophic floods caused by an eruption beneath a glacier, spillways blocked by ice during flooding events, piping caused by mistakes in the building process etc.

Dambreak of each of the three dams, which make the Háslón reservoir at Kárahnjúkar, has been examined and four cases have been chosen for further investigation. When the water surface is at the elevation of the spillway the reservoir has a surface area of 56 km² and a volume of about 2300 Gl. The resulting floods have been routed through the valleys downstream of the dams, all the way to the coast at Héraðsflói bay.

Two different types of dambreak have to be considered, overtopping and piping. Since there will be a fuse plug at the SE-end of the Desjarárstífla dam with a top elevation 1 m lower than the elevation of the crests of the three dams, at 629,5 m a.s.l., only piping cases were considered for the three dams and then overtopping of the fuse plug.

Possible dambreak at the two largest diversions, Kelduá reservoir and Ufsarlón pond, has also been looked at. According to the calculations floods caused by overtopping of the dams will be considerably larger than floods caused by piping, and therefore only the characteristics of floods caused by overtopping have been considered.

This report is a revised edition of a report published in 2001, which was a part of the environmental impact assessment of the Kárahnjúkar Hydroelectric Project. The revision is initiated by work in progress on reaction planning for the whole project and was found necessary due to some changes in the design of the dams since the earlier report was published. The estimate for the maximum flow of two cases, the piping breach of Desjarárstífla dam at Háslón reservoir and overflow of Ufsarstífla dam, is higher than in the previous edition.

Empirical equations as well as the program BOSS BREACH from the company Boss International in the US have been used to estimate the time and magnitude of the floods. The computer programs MIKE11 from the Danish Hydraulic Institute and FLDWAV from the US National Weather Service have been used to route the floods through the valleys downstream of the dams.

The main results of the studies of different cases are as follows:

Piping in the Kárahnjúkastífla dam: The dam will be around 185 m high and 700 m long. It will be a concrete faced rockfill dam and therefore piping will have to start at the bottom of the dam if it is to start at all. The maximum flow is estimated to be around 150.000 m³/s, assuming that the breach is fully developed in about 8 hours. It takes a little less than 3 hours for the peak of the flood to travel from the dam down to the coast at Héraðsflói bay, a distance of about 120 km. Around 24 residential farmhouses could be in danger of being flooded.

Piping in the Desjarárstífla dam: The dam will be around 55 m high and 950 m long. It will be a conventional earthfill dam with a moraine core. The maximum flow is assumed to be 110.000 m³/s and the breach is fully developed in about 3 hours. The water flows around 9 km in the Desjarárdalur valley before it enters the channel of the Jökulsá á Dal river around 9 km downstream of the Kárahnjúkastífla dam. The traveltime of the floodwave from the dam to the coast at Héraðsflói bay is about 4,5 hours. Around 16 residential farmhouses could be in danger of being flooded.

Piping in the Sauðárstífla dam: The dam will be around 25 m high and 1100 m long. It will be a conventional earthfill dam with a moraine core. The maximum flow is assumed to be 25.000 m³/s and the breach is fully developed in about 8 hours. The flood flows around 29 km in Laugarvallardalur valley before it enters the channel of the Jökulsá á Dal river around 19 km

downstream of the Kárahnjúkarstífla dam. The peak of the flood reaches the coast in a little over 5 hours. Around 5 residential farmhouses could be in danger of being flooded.

Overtopping of a fuse plug in Desjarárstífla dam: Calculations are based on a 100 m long fuse plug with a maximum height of around 24 m. Assuming that the 125 m long spillway, located at the north-end of the Kárahnjúkastífla dam, is blocked by ice the water level in the reservoir could rise such that water would start to flow over the top of the fuse plug. The maximum flow is assumed to be 14.000 m³/s and the breach is fully developed in about one hour. The peak of the flood reaches the coast in around 8 hours. Around 4 residential farmhouses could be in danger of being flooded. The fuse plug is now intended to have a maximum height of 14,5 m so the flow peak of 14.000 m³/s is known to be an overestimation.

Overtopping of Kelduárstífla dam: The Kelduá reservoir has a surface area of about 8 km² if the water surface is at the spillway elevation and a volume of 63 Gl. The height of the dam is around 26 m and the length is 1650 m. The maximum flow has been estimated to be around 13.000 m³/s, about 1,5 hours after the breach starts to develop. Within 3 hours from the start the flood would reach the Lagarfljót lake where it could raise the water level by 1,5 m. Outflow from the Lagarfljót lake reaches the shore at Héraðsflói bay. No residential houses in Fljótsdalur valley are considered to be in danger because of the flood.

Overtopping of Ufsarstífla dam: The Ufsarlón pond is just over 1 km² in surface area with water surface at spillway elevation and a volume of 9 Gl. The dam is around 37 m high and 620 m long. The maximum flow will be around 21.000 m³/s, almost instantly after the breach starts to develop and less than 2 hours later it will have reached the Lagarfljót lake. The water surface of the lake could be raised by about 25 cm by the flood. Six residential farmhouses in Fljótsdalur valley are considered to be in danger of being flooded.

The probability of a dambreak is considered to be minimal but it is very hard to make a realistic estimate of it. The consequences of a dambreak at Háslón reservoir on the other hand may be very drastic although the population of the area close to the channel downstream of the dams is sparse. Many farms are at risk of being flooded and the bridges on the channel could be swept away by the floods as well as the adjacent roads. The risk of damages and danger to people is smaller for dambreak at the diversions since the water bodies are so much smaller. Still, few farms are at risk of being flooded. A special report on risk analysis because of the structures of the Kárahnjúkar Hydroelectric Project has been published (LV-2006/054) where these matters are addressed in more detail.

Efnisyfirlit

Samantekt	iii
English Summary	v
Efnisyfirlit	vii
Yfirlit yfir myndir	viii
Yfirlit yfir töflur	viii
1 Inngangur	1
1.1 Ástæður endurskoðunar skýrslu um flóð vegna stíflurofs	1
1.2 Almenn um stíflurof og verkefnið	2
2 Aðstæður við lón og í farvegum neðan við stíflur	3
2.1 Lón	3
2.2 Stíflur	3
2.3 Farvegir flóða	5
3 Aðferðafræði.....	7
3.1 Brot stífla	7
3.2 Útbreiðsla flóða	7
3.3 Kortagrunnur	8
3.4 Forsendur útreikninga	8
4 Niðurstöður.....	10
4.1 Innanrof Kárahnjúkastíflu.....	10
4.2 Innanrof Desjarárstíflu.....	12
4.3 Innanrof Sauðárdalsstíflu.....	12
4.4 Rof flóðvars	13
4.5 Rof Kelduárstíflu	13
4.6 Rof Ufsarstíflu	14
5 Umræða og ályktanir	15
5.1 Byggð í Jökuldal og á Héraði	15
5.2 Byggð í Fljótsdal og við Lagarfljót	17
5.3 Varnaraðgerðir	17
5.4 Áreiðanleiki niðurstaðna.....	18
6 Heimildir	19
Viðaukar.....	21
Viðauki 1 – Útbreiðsla flóða í farvegum neðan stífla	
Viðauki 2 – Niðurstöður útreikninga við bæi við farvegi flóða	
Viðauki 3 – Skýrsla Sweco International	

Yfirlit yfir myndir

Mynd 2.1	Afstaða stífla við Háslón.	4
Mynd 2.2	Þversnið í stíflur við Háslón.	4
Mynd 2.3	Farvegir flóða vegna stíflurofa.	6
Mynd 4.1	Rennsli um rofnar stíflur við Háslón.	10
Mynd 4.2	Hámarksrennsli í farvegum neðan stífla við Háslón.....	11
Mynd 4.3	Hámarksvatnshæðir í farvegum neðan stífla við Háslón.	11
Mynd 4.4	Tími mesta rennslis frá upphafi rofs stífla við Háslón.....	12

Yfirlit yfir töflur

Tafla 1.1	Helstu breytingar á mannvirkjum frá 2001.....	1
Tafla 2.1	Kennistærðir stífla.	5
Tafla 5.1	Bærir sem gætu verið í hættu vegna flóða úr Háslóni.....	16
Tafla 5.2	Bærir sem gætu verið í hættu vegna flóða úr Ufsarlóni og Kelduárlóni.	17

1 Inngangur

1.1 Ástæður endurskoðunar skýrslu um flóð vegna stíflurofs

Eftirfarandi skýrsla er endurgerð skýrslunnar *Kárahnjúkavirkjun – Flóð vegna stíflurofs (LV-2001/010)* og kemur í stað hennar.

Í tengslum við mat á umhverfisáhrifum Kárahnjúkavirkjunar var unnin úttekt og gefin út skýrsla árið 2001 um flóð vegna hugsanlegs stíflurofs. Samhliða var gefin út skýrsla um áhættu vegna mannvirkja sem byggði m.a. á útreikningum á flóðum vegna stíflurofs. Krafa um viðbragðsáætlun vegna neyðaraðstæðna var hluti af forsendum fyrir útgáfu framkvæmdaleyfis fyrir Kárahnjúkavirkjun. Þar sem stíflurof er talið skapa helstu neyðaraðstæður byggir sú áætlun að verulegu leyti á útreikningum á eiginleikum flóða sem fylgja myndu slíkum atburðum. Á þeim tíma sem liðinn er frá því að umhverfisáhrif voru metin hafa orðið breytingar á hönnun stíflumannvirkjanna og af þeim sökum var talin ástæða til að kanna hvort þessar breytingar hefðu áhrif á stærðarmat flóða út um rofnar stíflur, þannig að viðbragðsáætlunin og endurskoðað áhættumat byggðu á nýjustu upplýsingum. Þá var einnig kannað hvort komin væru fram ný tæki (hugbúnaður eða formúlur) til mats á líklegum framgangi rofs stífla og flóðaferlum.

Niðurstaða könnunar á hugbúnaði varð sú að ekki er á þessu stigi aðgengilegur nýr hugbúnaður til að mats á flóðum við stíflurof. Við endurmat á flóðum um rofnar stíflur talið var rétt að miða við hærri flóðtopp við rof Desjarárstíflu vegna breyttra efniseiginleika og sömuleiðis fyrir Ufsarstíflu vegna breyttra efniseiginleika og hæðar stíflu.

Tafla 1.1 Helstu breytingar á mannvirkjum frá 2001.

Mannvirki	Breytingar
Öll mannv. nema Kelduárst.	Stíflukrónur hækkaðar um 0,5 m.
Yfirfall á Háslóni	Fært frá Desjarárstíflu yfir í Hafrahvammagljúfur og hönnun breytt.
Flóðvar á Háslóni	Fært frá vestari enda Desjarárstíflu að þeim eystri þar sem land er hærra.
Allar stíflur	Nánari skilgreiningar á efniseiginleikum eftir því sem hönnun komst lengra á leið.
Desjarárstífla	Kjarna breytt úr malbikskjarna yfir í jökulruðningskjarna.
Sauðárdalsstífla	Metin áhrif lausra og rjúfanlegra jarðlaga undir stíflu.
Ufsarstífla	Skilgreiningu lóns lítillaga breytt.

Verkefnið var á sínum tíma unnið í samstarfi VST og sænska ráðgjafarfyrirtækisins VBB VIAK, sem er hluti af Sweco samsteypunni. VBB VIAK sá um útreikninga á rakningu flóða frá Háslóni, með forritinu MIKE11 frá Dönsku straumfræðistofnuninni. Í viðauka 3 er skýrsla Sweco (áður kennd við VBB VIAK) þar sem nýjum útreikningum á flóðum frá Háslóni og niðurstöðum er lýst. Niðurstöðurnar eru sambærilegar við niðurstöður frá því árið 2001 en þó ekki að öllu leyti nákvæmlega eins.

Vegna vinnu við viðbragðsáætlun var óskað eftir nánari upplýsingum um tímasetningar reiknaðra vatnshæða á ákveðnum stöðum í farvegi flóða en gefnar voru upp í skýrslunni frá 2001 og fengust þessar upplýsingar með útreikningum Sweco, í farvegi Jökulsár á Dal.

Gerð hafa verið kort sem lýsa útbreiðslu flóðvatns við mestu reiknuðu vatnshæðir vegna flóða frá veitustíflunum við Kelduárlón og Ufsarlón en í skýrslunni frá 2001 voru slík kort eingöngu birt fyrir flóð frá Háslóni. Þessi kort eru birt í viðauka 1 ásamt endurgerðum kortum fyrir flóð frá Háslóni.

Nýlega er búið að gefa út í Noregi leiðbeiningarreglur (NVE, 2005) um flóðbylgjuútreikninga vegna stíflubrota en engar slíkar reglur eru í gildi hér á landi. Leiðbeiningarreglurnar fjalla um forsendur útreikninga, aðferðir og framsetningu niðurstaðna. Segja má að í öllum meginatriðum falli sú aðferðarfræði sem beitt var í þessu verkefni að norsku reglunum.

Uppsetning og kaflaskipting skýrslunnar er með sama sniði og var á eldri útgáfu hennar (LV-2001/010). Niðurstöður hafa verið uppfærðar og gerð er grein fyrir helstu breytingum frá fyrri útgáfu í köflum þar sem það á við.

1.2 Almennt um stíflurof og verkefnið

Stíflurof er afar ólíklegur atburður ef rétt er staðið að hönnun stífla og eftirliti með byggingu þeirra. Hins vegar er aldrei hægt að útiloka algjörlega að til slíkra hamfara geti komið og því talið nauðsynlegt að athuga um hvers konar atburði geti orðið að ræða og hverjar geti verið mögulegar afleiðingar þeirra.

Til þess að stíflurof verði þurfa að skapast óvenjulegar eða ófyrirséðar aðstæður sem hönnun stíflunnar er ekki miðuð við, svo sem hamfarafloð vegna eldgoss undir jökli, stíflun yfirfalls vegna íss samfara flóði inn í lónið, innanrof stíflunnar vegna galla í byggingu hennar o.s.frv. Leggja þarf verkfræðilegt mat á hvort og þá hvernig þessar aðstæður geta skapast, en mjög erfitt eða ómögulegt er að segja með nokkurri vissu um líkindi slíkra atburða.

Verkefnið, skoðun á mögulegum stærðum og afleiðingum rofs stífla Kárahnjúkavirkjunar, hefur verið unnið í samvinnu VST og sænska ráðgjafarfyrirtækisins Sweco International (áður kennt við dótturfyrirtækið VBB VIAK), sem hefur alþjóðlega reynslu af verkefnum sem þessum.

Skoðuð hafa verið möguleg brot stíflanna þriggja við Háslón, þ.e. Kárahnjúkastíflu í gljúfri Jökulsár á Dal, Desjarárstíflu í Desjarárdal og Sauðárdalsstíflu í Sauðárdal. Stíflurofum má almennt skipta í tvo flokka. Annars vegar er rof sem verður vegna þess að vatn nær að renna yfir stífluna og rjúfa hana niður og hins vegar rof sem verður vegna þess að leki í gegnum stífluna nær að skola úr henni efni og rjúfa hana innan frá. Við Kárahnjúka er gert ráð fyrir að sett verði flóðvar í Desjarárstíflu. Toppur flóðvarsins verður hafður um 1 m lægri en stíflukrónur stíflanna þriggja þannig að tryggt sé að vatn renni yfir flóðvarið og það rofni áður en vatn nær að renna yfir stíflurnar sjálfar. Með þessu móti er hægt að hafa áhrif á stærð flóðsins sem myndast auk þess að sjálfum stíflumannvirkjunum er að mestu leyti hlíft við skemmdum eða eyðileggingu. Vegna flóðvarsins er einungis gert ráð fyrir að stíflurnar sjálfar geti rofnað vegna innanrofs en ekki yfirstreymis. Því voru skoðuð sérstaklega fjögur tilvik stíflurofs, þ.e. eitt tilvik innanrofs fyrir hverja stíflu auk yfirstreymis yfir flóðvar. Flóð vegna stíflurofs við Háslón enda öll í farvegi Jökulsár á Dal og berast niður í Jökuldalinn og þaðan niður á Hérað út að strönd við Héraðsflóa.

Einnig hefur verið lagt mat á mögulega stærð flóða vegna stíflurofs við tvær vatnsmiðlanir í veituhluta Kárahnjúkavirkjunar, þ.e. við Kelduárlón og Ufsarlón. Þessi lón eru margfalt minni en Háslón, en hugsanleg flóð úr þeim yrðu á öðru svæði en flóð vegna stíflurofs við Háslón og því ástæða til að skoða þau sérstaklega. Flóð úr Kelduárlóni myndi berast eftir farvegi Kelduár niður í Lagarfljót, en flóð úr Ufsarlóni bærisk eftir farvegi Jökulsár í Fljótsdal niður í Lagarfljót. Yfirstreymisflóð og flóð vegna innanrofs eru talin álíka líkleg (eða ólíkleg) þar sem ekki er um flóðvör í veitustíflunum að ræða, en þar sem yfirstreymisflóðin eru talin verða stærri en innanrofsflóðin voru áhrif þeirra í farvegum metin. Farvegur Lagarfljóts endar við strönd Héraðsflóa. Mat á flóðum vegna stíflurofs í veitunum hefur verið gert á grófari máta en mat á flóðum úr Háslóni.

Þó svo að mjög litlar líkur séu taldar á því að stíflurof verði þá yrðu afleiðingar slíks atburðar mjög alvarlegar. Ef til stíflurofs kæmi við Háslón má gera ráð fyrir að margir bæir í Jökuldal og á Héraði yrðu í hættu auk brúa á farveginum og vega sem liggja lágt. Hættan er þó mismikil eftir því hvaða stífla á í hlut en gengið er út frá því að viðbragðsáætlanir hljóti að miðast við að allir bæir við flóðafarvegi verði rýmdir verði hætta á stíflurofi yfirvofandi.

Skýrslan er þannig uppbyggð að í öðrum kafla er aðstæðum lýst; lónum, stíflum og farvegum. Í þriðja kafla er fjallað um aðferðafræði þá sem notuð er; mat á stíflurofi, rakningu flóða, fyrirliggjandi kortagrunni og svo öðrum forsendum. Fjórði kafla fjallar um niðurstöður útreikninga og sá fimmti um ályktanir sem draga má.

2 Aðstæður við lón og í farvegum neðan við stíflur

2.1 Lón

Hálslón, sem myndast við stíflugerð í gljúfri Jökulsár á Dal við Kárahnjúka, í Desjarárdal og í Sauðárdal, verður um 25 km langt og nær inn að Brúarjökli. Við fyrirhugaða yfirfallshæð, 625 m y.s., verður lónið alls um 56 km² að yfirborðsflatarmáli með vatnsdýpi allt að 180 m við stíflu. Heildarrýmd lónsins við þessa hæð verður um 2300 Gl.

Kelduárlón er stærsta lónið í veituhluta Kárahnjúkavirkjunar og verður um 8 km² að yfirborðsflatarmáli með vatnsborð í yfirfallshæð 669 m y.s. Mesta dýpi lónsins verður um 22 m. Lónið verður til við stíflun Kelduár og Folavatn verður hluti lónsins.

Ufsarlón er næststærsta lónið í veituhlutanum, um 1 km² að flatarmáli við vatnsborðshæðina 625 m y.s., sem er væntanleg hæð yfirfalls. Mesta dýpi lónsins verða um 33 m. Lónið myndast við stíflun Jökulsár í Fljótsdal um 2 km neðan við Eyjabakkafoss.

2.2 Stíflur

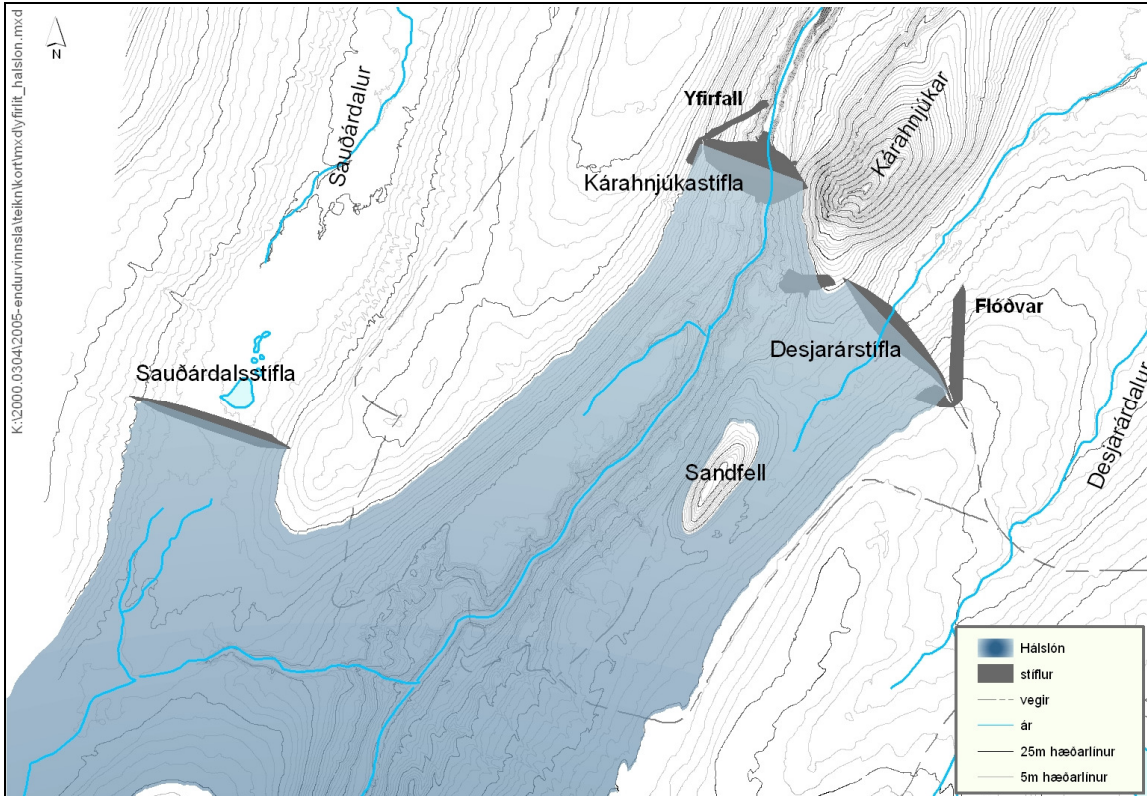
Stíflurnar þrjár við Hálslón eru mjög mismunandi að stærð, en eftir því sem stíflan er hærri og stærri má búast við stærra flóði og meiri hamförum komi til stíflurofs. Hæð stíflukróna allra stíflanna þriggja við Hálslón verður 630,5 m y.s. eða 0,5 m ofar en fyrri áætlanir gerðu ráð fyrir.

Kárahnjúkastífla í gljúfri Jökulsár er um 185 m há og rúmlega 700 m löng. Stíflan verður gerð úr grjótfyllingu með steyptri svuntu vatnsmegin, sem gerir það að verkum að innanrof er einungis talið geta hafist við botn stíflunnar.

Desjarárstífla í Desjarárdal verður um 55 m há og um 950 m löng. Að auki verður um 100 m langt flóðvar við eystri enda stíflunnar með stíflubrún í hæðinni 629,5 m y.s. og botn í hæðinni 615-618 m y.s. Desjarárstífla verður hefðbundin jarðvegsstífla með kjarna úr jökulruðningi en áður var gert ráð fyrir að kjarni stíflunnar yrði úr malbiki. Malbikskjarninn var talinn gera það að verkum að innanrof gæti einungis hafist við botn stíflunnar en með jökulruðningskjarna getur rofið hafist í hvaða hæð sem er.

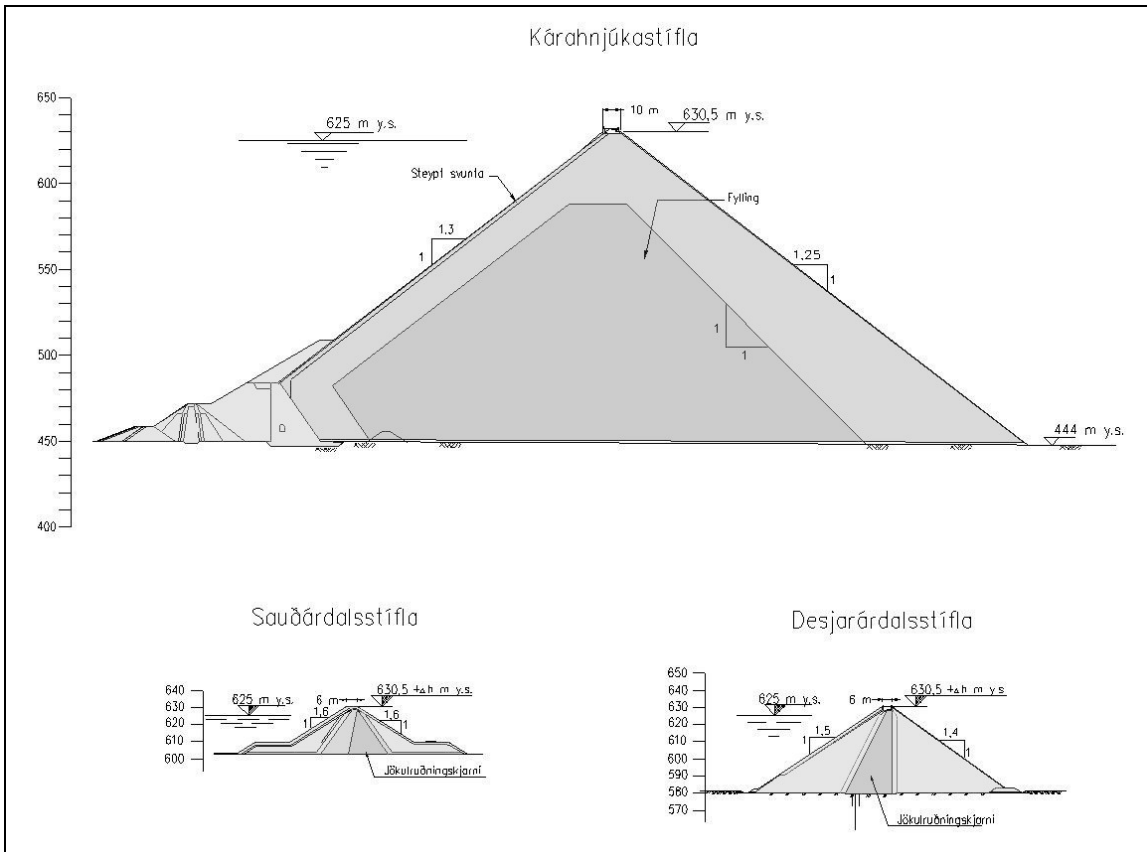
Sauðárdalsstífla í Sauðárdal verður um 25 m há og tæplega 1100 m löng. Gert er ráð fyrir hefðbundinni jarðvegsstíflu með jökulruðningskjarna.

Mynd 2.1 sýnir afstöðu stíflanna þriggja við Hálslón, staðsetningu flóðvars í Desjarárstíflu og yfirfalls við Kárahnjúkastíflu. Áður var fyrirhugað að hafa yfirfallið við eystri enda Desjarárstíflu en í samræmi við niðurstöðu mats á umhverfisáhrifum Kárahnjúkavirkjunar var það fært yfir að Hafrahvammagljúfri.



Mynd 2.1 Afstaða stífla við Háslón.

Á mynd 2.2 eru þversnið stíflanna þriggja við Háslón sýnd þar sem sjá má stærðarmun stíflanna.



Mynd 2.2 Þversnið í stíflur við Háslón.

Stíflur í veitum Kárahnjúkavirkjunar verða allar hefðbundnar jarðvegsstíflur með jökulruðningskjarna. Gert er ráð fyrir að Kelduárstífla verði um 1650 m löng og um 26 m há þar sem hún verður hæst, en Ufsarstífla verði um 620 m löng og hæst um 38 m.

Tafla 2.1 Kennistærðir stífla.

Stífla	Gerð stíflu	Lón	Stíflutoppur (m y.s.)	Mesta hæð (m)	Lengd (m)
Kárahnjúkastífla	Grjótfylling, steipt svunta	Háslón (56 km ²)	630,5	185	700
Desjarárstífla	Jarðvegsfyll, jökulruðnkjarni	Háslón	630,5	55	950
Sauðárdalsstífla	Jarðvegsfyll, jökulruðnkjarni	Háslón	630,5	25	1100
Flóðvar í Desjst.	Jarðvegsfyll, jökulruðnkjarni	Háslón	629,5	14,5	100
Kelduárstífla	Jarðvegsfyll, jökulruðnkjarni	Kelduárlón (8 km ²)	672,5	26	1650
Ufsarstífla	Jarðvegsfyll, jökulruðnkjarni	Ufsarlón (1 km ²)	630,5	38	620

2.3 Farvegir flóða

Frá stíflu í gljúfrum Jökulsár á Dal við Kárahnjúka eru rúmir 120 km niður að strönd við Héraðsflóa. Áin fellur í mjög þröngum gljúfrum (Hafrahvammagljúfrum) fyrstu 9 km neðan við stíflustæðið en þar opnast gljúfrið og áin rennur á aurum í vel afmörkuðum dal næstu 12 km. Um 21 km neðan við stíflustæðið þrengist dalurinn til muna og 2-3 km neðar er fyrsti bærinn í byggð, Brú. Áin rennur þaðan niður Jökuldalinn þar sem nokkuð er um sveitabæi í byggð beggja megin árinna. Þegar komið er niður á Hérað víkkar farvegurinn og áin flæmist svo loks um aurana upp af Héraðsflóa. Á láglandinu á Héraði er nokkuð um bæi sem standa tiltölulega lágt yfir vatnsborði árinna.

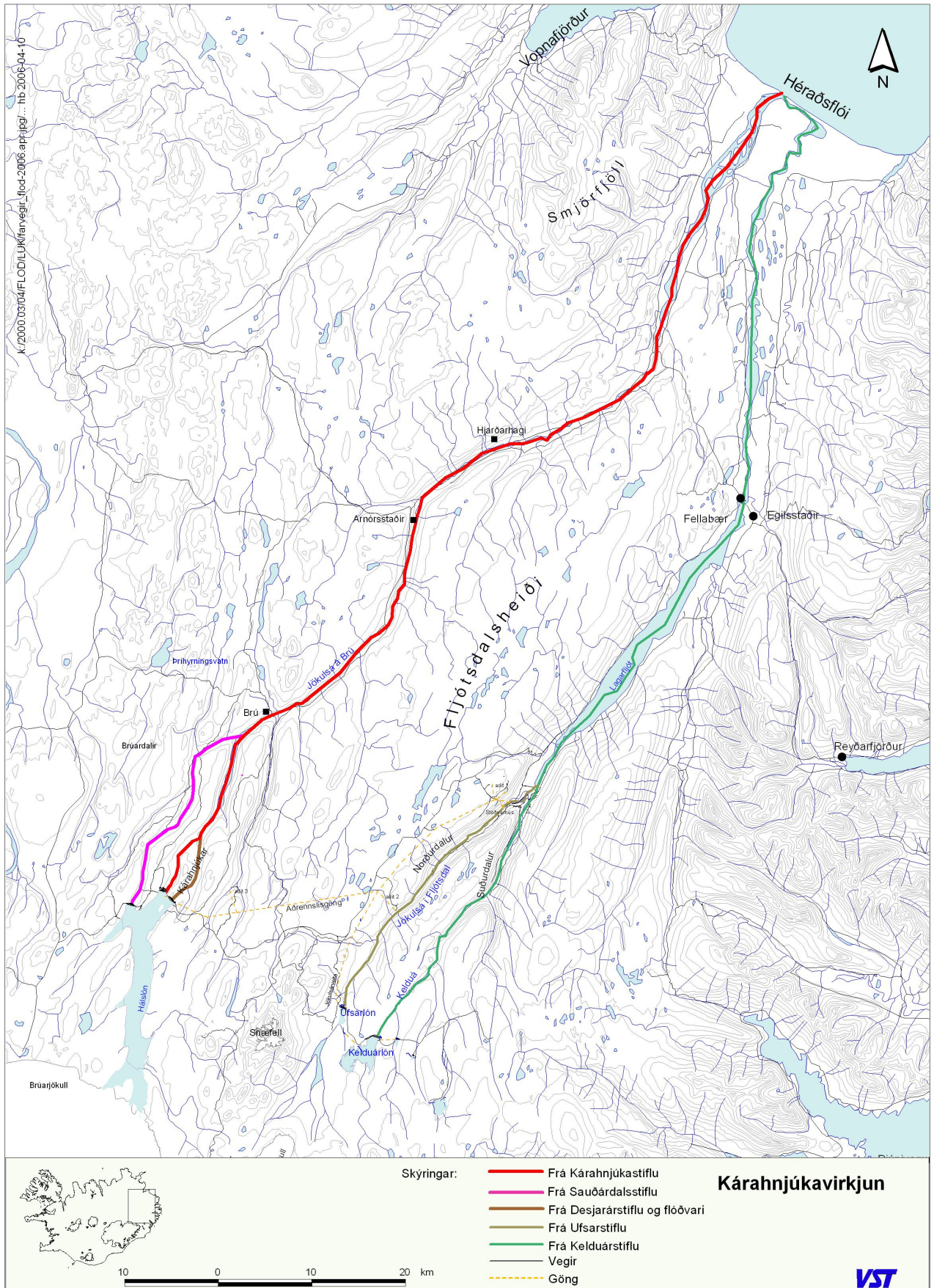
Farvegur flóðs frá Desjarárstíflu liggur um 9 km leið niður Desjarárdal að Hnitasporði, þar sem hann sameinast farvegi Jökulsár skammt neðan við Hafrahvammagljúfur, um 9 km frá Kárahnjúkastíflu.

Frá Sauðárdalsstíflu liggur flóðfarvegurinn niður Laugarvalladal þar til hann sameinast farvegi Reykjarár og fellur niður í farveg Jökulsár um 19 km neðan við stíflustæði við Kárahnjúka. Leiðin frá Sauðárdalsstíflu niður í farveg Jökulsár er um 30 km löng.

Frá Kelduárlóni myndi flóð berast niður Kelduá niður í Þorgerðarstaðadal, þaðan niður í Suðurdal og sameinast loks Jökulsá í Fljótsdal áður en það rynni í Lagarfljótið. Fyrsti kafli þeirrar leiðar er nokkuð aflíðandi og opinn. Síðan tekur við mikill bratti niður í þröngan Þorgerðarstaðardal og niður hann áður en farvegurinn opnast nokkuð í Suðurdal og svo enn frekar við mynni hans, þar sem flóð myndi renna í farveg Jökulsár í Fljótsdal. Rúmir 20 km eru frá stíflu við Kelduárlón niður í botn Suðurdals og þaðan er svipuð vegalengd niður í Lagarfljót. Farvegur Lagarfljóts endar við strönd Héraðsflóa.

Ufsarlón er myndað með stíflu í Jökulsá í Fljótsdal og flóð myndi berast niður í Norðurdal og þaðan inn í Lagarfljót. Farvegurinn er í byrjun nokkuð aflíðandi, en við tekur meiri halli þar sem nokkuð er um fossa í ánni og þröngur dalur. Rúmir 20 km eru frá stíflu að Egilsstöðum, sem er innsti bærinn í byggð í Norðurdal, en alls eru um 40 km niður að Lagarfljóti.

Á mynd 2.3 eru sýndir farvegir flóða frá stíflum við Háslón, Kelduárlón og Ufsarlón niður að ströndu Héraðsflóa.



Mynd 2.3 Farvegir flóða vegna stíflurofa.

3 Aðferðafræði

3.1 Brot stífla

Notaðar hafa verið mismunandi aðferðir til að meta stærð og hegðun flóða sem yrðu vegna brots stíflanna. M.a. hefur verið notað forritið BOSS BREACH frá Boss International í Bandaríkjunum, sem að grunni til hefur verið þróað af Bandarísku veðurstofunni (National Weather Service). Forritið byggir á eðlisfræðilegum grunni og myndun stífluskarðsins er reiknuð út frá stærð lónsins og miðlun í því, innrennsli í lónið, útrennsli úr lóninu um yfirfall, rennsli um stífluskarðið, eiginleikum stífluefnisins og aurburðargetu rennslis um stífluskarðið. Forritið spáir þannig fyrir um stærð skarðsins, lögum þess, hversu hratt það myndast og hve mikið rennsli verður um skarðið.

Þá eru einnig til ýmsar reynslujöfnur eins og t.d. jöfnur Froehlichs, sem nota má til að meta stíflurofstímann, væntanlega breidd skarðs sem myndast í stíflunni og mesta rennsli um skarð. Þessar jöfnur byggja á upplýsingum um þau stíflurof sem þekkt eru í heiminum (Johansen 1998).

Í flóðrakningarforritum eru líka möguleikar á að reikna rennsli út um rofna stíflu ef gefinn er upp mesta breidd skarðs og tími rofs, sem eru upplýsingar sem þurfa þá að koma út úr reynsluformúlum eða stíflurofsforritum.

Forritið BOSS BREACH var notað í fyrra mati á framgangi rofs stífla og tilsvareandi flóðaferlum út úr lónum ásamt reynsluformúlum og innbyggðum reikningum um rof í flóðrakningarforritum (FLDWAV og MIKE11). Kannað var hvort fram hefðu komið ný forrit til þessara útreikninga og í ljós kom að t.d. hefur Evrópusambandið verið að styrkja verkefni síðustu ár sem ætlað var m.a. að að bera saman mismunandi forrit til útreikninga á stíflurofi og stuðla að þróun á þessu sviði. Nokkur forrit virðast hafa komið betur út úr einkunnagjöf í samanburðarprófum en NWS-BREACH. Við nánari athugun kom í ljós að þessi forrit eru ekki tilbúin til sölu en unnið er að þróun. CADAM-verkefnið¹ (EU Concerted Action on Dam Break Modelling) stóð yfir frá 1998-2000 og IMPACT-verkefnið² (Investigation of Extreme Flood Processes & Uncertainty), sem stóð yfir í þrjú ár, lauk í janúar 2005. Búið er að gefa út skýrslur um niðurstöður þessarar vinnu (HR Wallingford, 2000 og Impact, 2005). Í gangi er vinna við verkefni sem standa á í 5 ár á vegum Evrópusambandsins og gengur undir nafninu FLOODsite³. Um er að ræða samþætt verkefni á ýmsum sviðum sem tengjast áhættustjórnun vegna flóða, ýmist frá ám, árósum eða sjó. Búið er að skipta verkefninu niður í 7 flokka og 35 afmarkaða verkþætti og þar á meðal á að fjalla frekar um stíflurof og reiknilíkön. Í Bandaríkjunum er unnið að þróun á þessu sviði, m.a. af Tony Wahl og CEA Technologies, Inc, og væntingar eru um að útkoman úr þeirri vinnu verði nýr hugbúnaður innan fárra ára (VST, 2005).

Eins og staðan er í dag virðist því ekki vera aðgengilegur fullkomnari hugbúnaður til útreikninga á stíflurofi og tilsvareandi flóðaferlum en var notaður við fyrri athugun en vonir standa til að sú mikla vinna sem hefur verið í gangi á síðustu árum á þessu sviði leiði til þess að svo verði innan skamms tíma.

3.2 Útbreiðsla flóða

Forritin FLDWAV frá Bandarísku veðurstofunni (National Weather Service) og MIKE11 frá Dönsku straumfræðistofnuninni (Danish Hydraulic Institute) hafa verið notuð til að reikna útstreymisferla fyrir stíflubrot við Háslón og hvernig flóðbylgjur berast niður farvegina að strönd Héraðsflóa. Forritin byggja á því að leysa svokallaðar Saint-Venant líkingar fyrir rennsli og rennslisflatarmál, sem fall af tíma og fjarlægð eftir farveginum. Inntaksupplýsingar fyrir

¹ <http://www.hrwallingford.co.uk/projects/CADAM/CADAM/index.html>

² <http://www.impact-project.net>

³ <http://www.floodsite.net/default.htm>

forritin eru annað hvort lýsing á löni ofan stíflu, hæð og lengd stíflu, brottími og stærð skarðs sem myndast í stíflu, eða rennslisrit efst í farvegi, og svo einnig þversnið sem lýsa farvegnum neðan stíflanna. Niðurstöður útreikninga eru tímaráðir rennslis og vatnshæðar í sérhverju sniði ána frá stíflu niður að strönd.

Gert var grófara, en um leið varfærið, mat á flóðum vegna stíflurofs við tvö stærstu miðlunarlónin í veituhluta Kárahnjúkavirkjunar. Vegna Kelduárlóns var ferð flóðs úr botni Suðurdals og niður að Lagarfljóti reiknuð með forritinu FLDWAV. Þá var gert ráð fyrir að mjög lítil dempun og seinkun yrði á flóðinu á leið þess frá stíflunni við lönið og niður af hálendinu að dalbotninum. Rennsli um Lagarfljót var reiknað með einföldu miðlunarlíkani. Ráðandi þversnið fyrir útrennsli verður við Lagarfoss, en innrennsli er fengið úr útreikningum með forritinu FLDWAV, eins og lýst var hér að ofan. Ályktanir um ferð flóðs úr Ufsarlóni eru byggðar á reikningum sem gerðir voru árið 1999 vegna stíflurofs Eyjabakkastíflu (VST, 1999) auk rakningar á flóði úr Ufsarstíflu sem gert var vegna vinnu við verkhönnun stíflunnar, eftir að mat á umhverfisáhrifum árið 2001 hafði farið fram.

Við yfirferð á eldri niðurstöðum hefur, vegna breytinga á forsendum varðandi efniseiginleika og hæðir, verið valið að miða við stærri flóð (flóð með meira hámarksrennsli) annars vegar vegna innanrofs Desjarárstíflu og hins vegar vegna rofs Ufsarstíflu. Þessi flóð hafa ekki verið rakin niður farvegi heldur hafa niðurstöður verið byggðar á brúun og mati út frá rakningu annarra flóða.

3.3 Kortagrunnur

Til þess að spá fyrir um ferð flóðbylgja frá stíflunum við Kárahnjúka niður að sjó við Héraðsflóa voru tekin upp þversnið í farvegina með um 1-3 km millibili. Sniðin voru tekin upp af stafrænum kortum með 5 m hæðarlínum, sem Ísgraf ehf. hefur gert eftir loftmyndum sem teknar voru af svæðinu í ágústmánuði 1997 af Loftmyndum ehf. Á um 18 km kafla á milli bæjanna Brúar og Arnórsstaða í Jökuldal vantaði inn í grunn Ísgrafs og fyrir þann kafla voru tekin upp snið af prentuðum kortum úr grunni Orkustofnunar, sem eru í mælikvarðanum 1:20.000 og eru einnig með 5 m hæðarlínum. Sumarið 2000 voru teknar loftmyndir af þeim svæðum sem eftir höfðu orðið í fyrri tókum, en úrvinnslu þeirra korta lauk eftir að snið í farveginn voru unnin. Einnig voru teknar myndir af svæðinu upp af Héraðsflóa til að gera kort með 2 m hæðarlínum upp í 10 m hæð y.s. Niðurstöður útreikninganna eru sýndar á kortum gerðum úr hæðarlínugrunni Ísgrafs og loftmyndum frá Loftmyndum.

Á svæðinu í kringum Kelduármiðlun og Ufsarmiðlun og niður að Lagarfljóti er til stafrænn kortagrunnur með 5 m hæðarlínum frá Orkustofnun, sem reikningar á flóðum úr veitum byggja á. Niðurstöður útreikninga á útbreiðslu flóðvatns eru sýndar á samskonar hæðarlínugrunni frá Ísgraf og loftmyndum og gert er fyrir flóðin frá Háslóni en þessi grunnur var ekki tiltækur við útgáfu skýrslu árið 2001.

Vegna vinnu við viðbragðsáætlun á árinu 2005 var farið yfir kort af öllu svæðinu, með hæðarlínum ofan á loftmyndum, og settar hæðir á öll hús við farvegi, sem voru nokkru nákvæmari en áður hafði verið gert. Áður höfðu hæðarsetningar miðast við ákveðið bil hæðarlína en nú hefur hverju húsi verið gefin ákveðin hæð. Við þetta breyttust nokkuð hæðir húsa sem hefur áhrif á fjölda íbúðarhúsa sem metin eru í hættu við tilkomu einstakra flóða.

3.4 Forsendur útreikninga

Í öllum útreikningum er gert ráð fyrir að upphafshæð vatnsborðs í löni sé í yfirfallshæð. Við innanrof stífla við Háslón er gert ráð fyrir að meðalinnstreymi sé í lönið eða um $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Við yfirstreymi yfir flóðvar við Háslón er gert ráð fyrir að yfirfall hafi stíflast, hugsanlega af völdum íss, án þess að líkur á því séu skoðaðar frekar, og að lón hafi náð að fyllast upp í hæð topps á flóðvari, sem er um 629,5 m y.s. Ekki er gert ráð fyrir neinu hliðarinnstreymi í farvegi neðan stífla. Við mat á flóðum úr veitulónum voru notaðar sömu forsendur, þ.e. að við innanrof væri upphafsvatnsborð í yfirfallshæð og við yfirstreymisbrot næmi það við stíflutopp. Gert var ráð fyrir að meðalinnstreymi í þessi tvö lón væri um $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

Jaðarskilyrði við neðri jaðar streymisins (við Héraðsflóa og Lagarfljót) voru valin þannig að búið var til samband vatnshæðar og rennslis.

Í keyrslum var notaður núningsstuðull á formi Mannings, $n = 0,04$, fyrir alla farvegina, sem samsvarar Manning-tölunni $M = 25$. Næmni niðurstaðna gagnvart vali á núningsstuðlinum var skoðuð og kom í ljós að val stuðulsins hefur nokkur áhrif sem helst má merkja í breyttum hámarkshraða og hámarksvatnshæð ofarlega í farveginum.

4 Niðurstöður

Út frá þeim niðurstöðum sem fengust með því að meta stærð flóða með forritinu BREACH annars vegar og með reynslujöfnum hins vegar voru valin fjögur tilvik flóða fyrir stíflurnar þrjár auk flóðvars við Háslón og afleiðingar þeirra skoðaðar nánar. Við val á tilvikum flóðanna var einnig reynt að taka tillit til stíflugerðanna, en bæði forritið sem notað var og reynslujöfnurnar miðast við hefðbundnar jarðvegsstíflur. Þessi fjögur flóð voru reiknuð niður farvegina frá stíflunum niður að sjó og verða niðurstöður útreikninga kynntar hér á eftir. Einnig verður fjallað um flóð vegna stíflurofs við Kelduárlón og Ufsarlón. Talsverð óvissa er falin í mati á stærð flóða og verður að skoða niðurstöðurnar með hliðsjón af því.

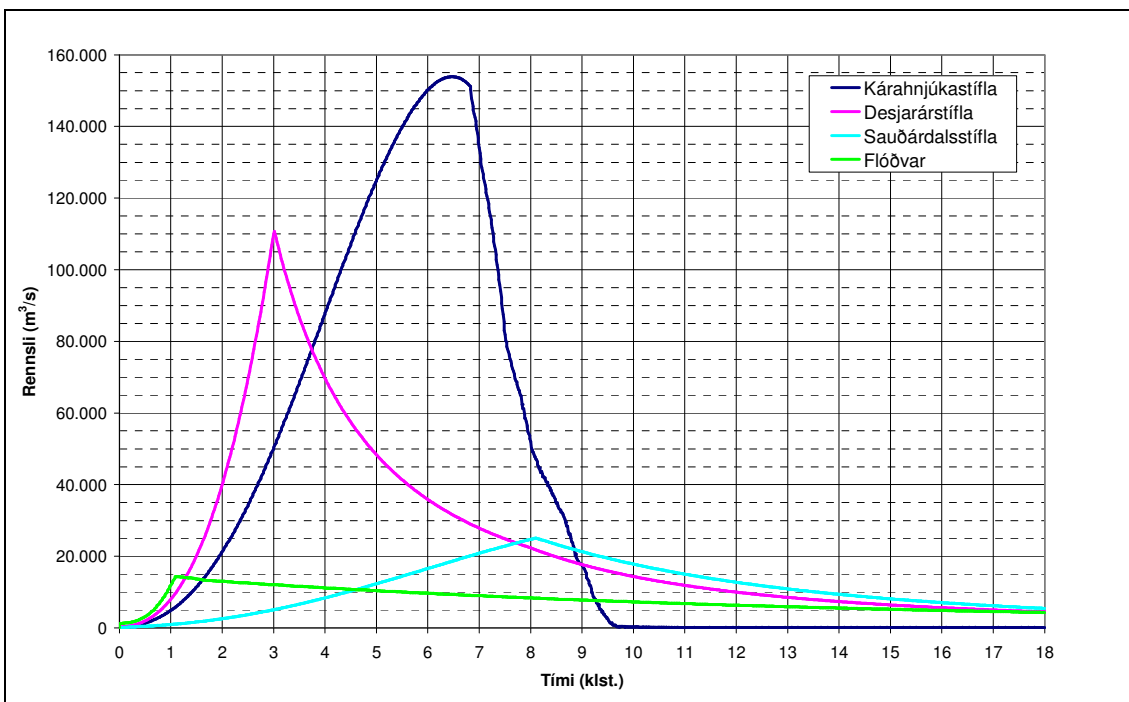
4.1 Innanrof Kárahnjúkastíflu

Þar sem Kárahnjúkastífla er langhæst af stíflunum þremur við Háslón má búast við stærsta flóðinu ef hún rofnar. Gert er ráð fyrir að stíflan verði með steyptri svantu vatnsmegin en mjög ólíklegt er talið og að sumra áliti nær óhugsandi að slík stífla geti brotnað vegna innanrofs. Eini raunhæfi möguleikinn á rofi með þessum hætti er talinn vera ef rofið hæfist við botn stíflunnar eða í raun undir henni.

Rof Kárahnjúkastíflu og mat á flóði hefur ekki verið endurskoðað frá fyrri útgáfu skýrslu enda hafa forsendur lítið eða ekki breyst.

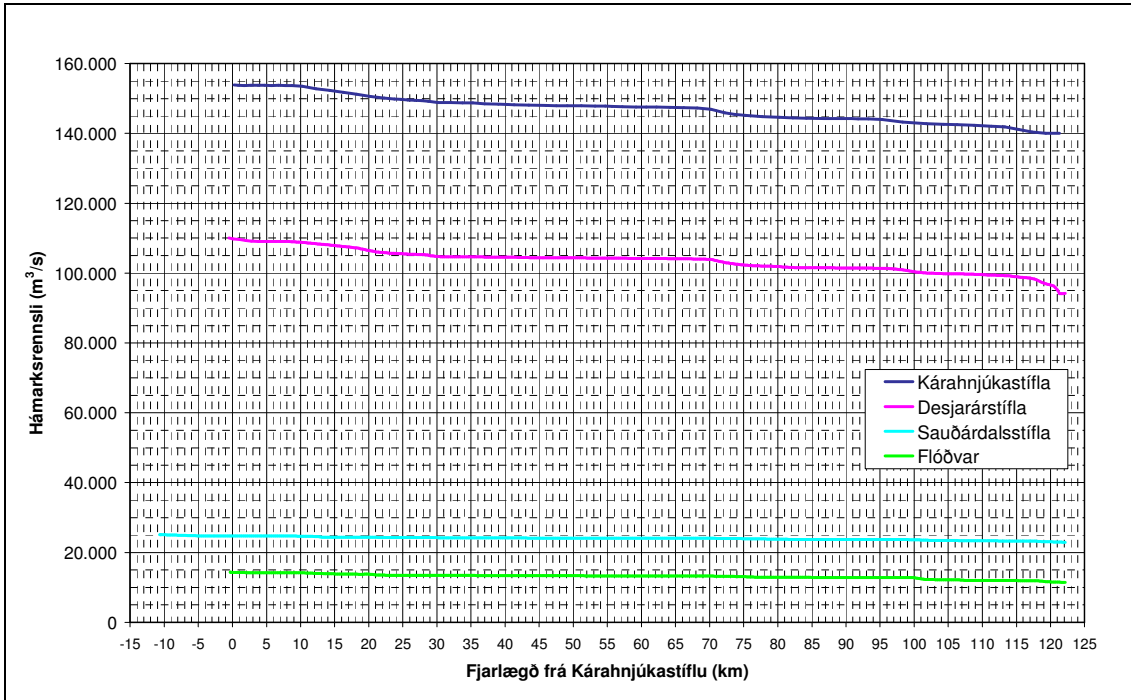
Ef innanrofsbrot hæfist við botn stíflunnar er gert ráð fyrir að rof stíflunnar geti tekið um 8 klukkustundir og að flóðtoppur geti orðið um 150.000 m³/s. Slíkt flóð yrði tæpar 3 klukkustundir að berast frá stíflu niður að strönd við Héraðsflóa. Alls væru um 24 bæir í hættu, þ.e. íbúðarhús þessara bæja, vegna slíks flóðs og búast má við að brýr yfir ána myndu brotna og berast með flóðinu, þ.m.t. brúin á Þjóðvegi nr. 1. Auk þess má gera ráð fyrir að einhverjir kaflar vegarins í Jökuldal og á Héraði myndu rofna. Einnhver dempun verður á toppi flóðsins á leið þess niður farveginn, eins og sjá má á mynd 4.2 en niðurstöður benda til þess að flóðtoppurinn myndi verða kominn niður í um 140.000 m³/s við enda farvegsins við Héraðsflóa.

Á mynd 4.1 er rennsli neðan við rofnar stíflur sýnt fyrir öll þau fjögur tilvik stíflurofs við Háslón sem reiknuð voru.



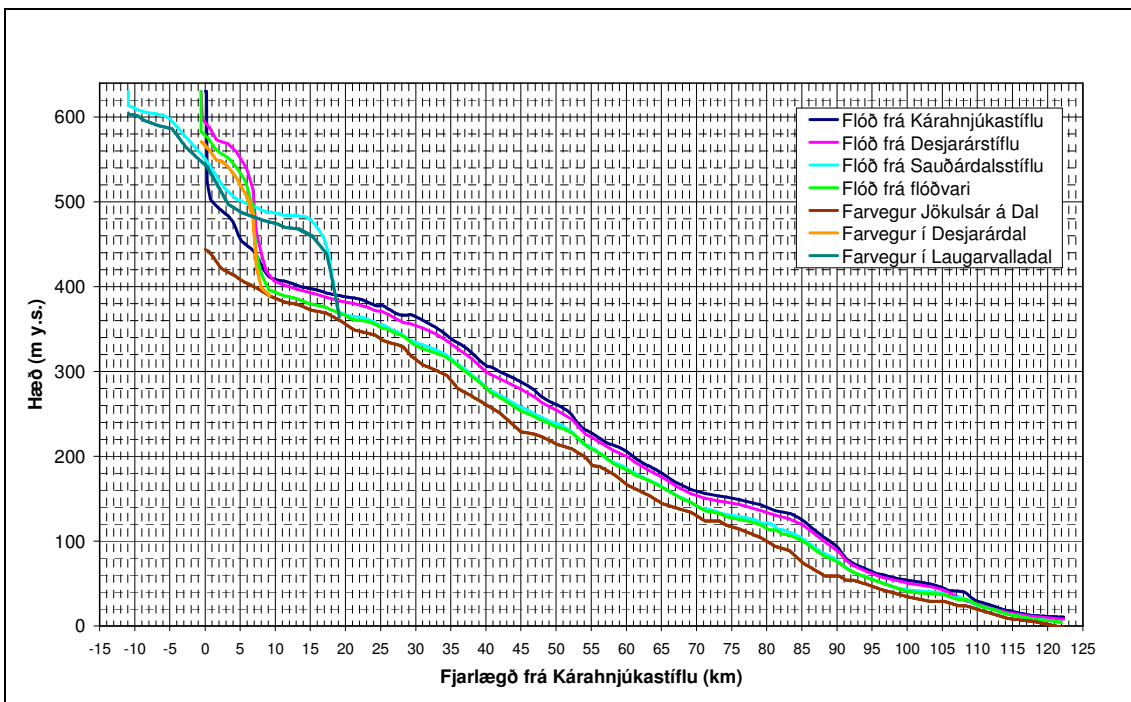
Mynd 4.1 Rennsli um rofnar stíflur við Háslón.

Mynd 4.2 sýnir mesta streymi í sniðum farvegs fyrir öll tilvikin fjögur. Fjarlægðin sem sýnd er miðast við Kárahnjúkastíflu, þ.a. farvegir frá Desjarár- og Sauðárdalsstíflu, sem sameinast svo aðalfarvegnum, byrja í stöðvum sem eru minni en núll.



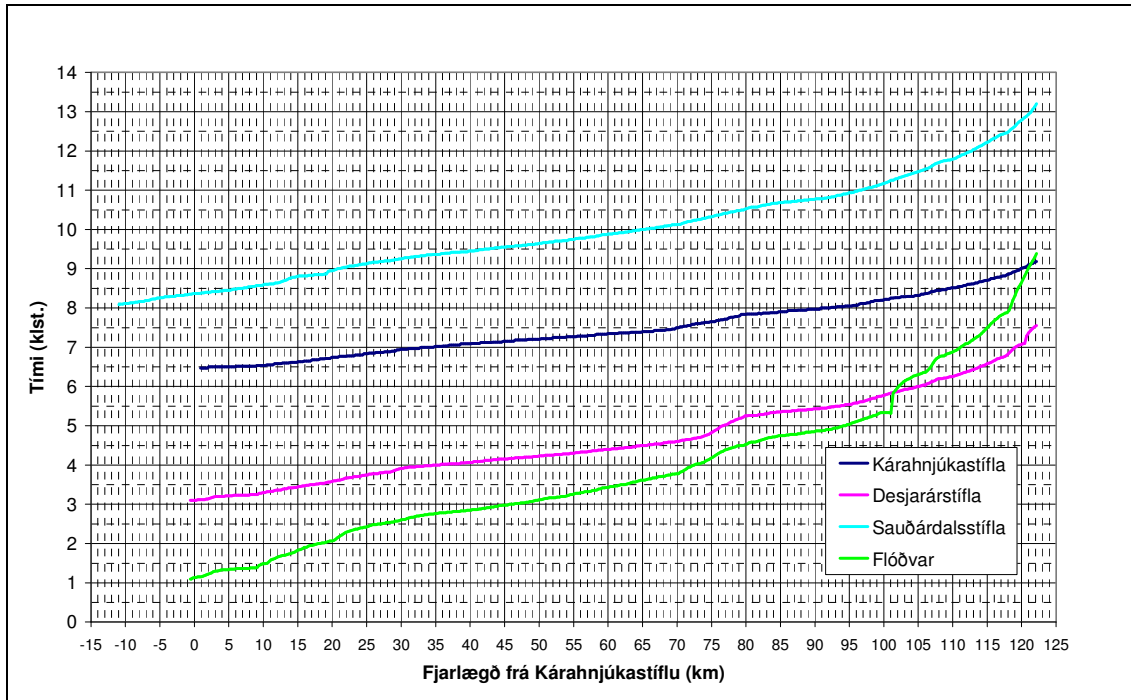
Mynd 4.2 Hámarksrennsli í farvegum neðan stífla við Háslón.

Mynd 4.3 sýnir mestu vatnshæð í sniðum farvegs fyrir öll tilvikin fjögur auk hæðar farvega.



Mynd 4.3 Hámarksvatnshæðir í farvegum neðan stífla við Háslón.

Á mynd 4.4 má sjá hvenær flóðtoppur er í hverju sniði farveganna fyrir tilvikin fjögur. Upphafstími miðast við upphaf rofs í hverri stíflu, en eins og áður hefur komið fram tekur reiknað rof mislangan tíma eftir stíflum.



Mynd 4.4 Tími mesta rennslis frá upphafi rofs stífla við Háslón.

Í töflu V2.1 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ fyrir flóðin fjögur. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

4.2 Innanrof Desjarárstíflu

Áður var gert ráð fyrir að Desjarárstífla yrði með malbikskjarna og gengið út frá því að innanrof myndi hefjast við botn stíflunnar. Fallið var frá þessum hugmyndum og stíflan er byggð með hefðbundnum jökulruðningskjarna. Þessi breyting ásamt breyttum forsendum í sambandi við efniseiginleika stífluefnisins utan þéttikjarnans leiddu til þess að mat á stærð flóðs var nokkuð hækkað frá fyrri niðurstöðum. Innanrof getur því hafist hvar sem er í stíflunni þar sem veikleiki er og útskolun efnis hefst. Mjög litlar líkur eru á að stíflan rofni með þessum hætti en til eru þó dæmi um rof í samskonar stíflum í heiminum.

Flóðtoppur vegna innanrofs í Desjarárstíflu gæti orðið um 110.000 m³/s miðað við að brotið taki um 3 klukkustundir að fullmyndast. Áður var miðað við um 75.000 m³/s þ.a. þarna er um nokkra hækkun að ræða. Miðað er við sama roftíma og áður. Gera má ráð fyrir að flóðtoppurinn verði um 10 mínútur að berast niður Desjarárdalinn og út í farveg Jökulsár á Dal en um 4,5 klukkustundir að berast frá stíflu niður að sjó. Við strönd Héraðsflóa verður flóðtoppurinn kominn niður í um 95.000 m³/s. Niðurstöður benda til þess að 16 bæjum í Jökuldal og á Héraði stafi hætta af slíku flóði og vatnsborð gæti náð upp fyrir brúargólf brúarinnar á þjóðvegi nr. 1, sem er langstærsta brúin yfir farveg Jökulsár á Dal.

Á myndum 4.1-4.4 eru gröf með rennsli sem fall af tíma neðan við stíflu, mesta rennsli í farvegi, hæsta vatnsborð í farvegi og tíma mesta rennslis sem fall af fjarlægð frá stíflu. Í töflu V2.1 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

4.3 Innanrof Sauðárdalsstíflu

Sauðárdalsstífla er lægst af stíflunum þremur við Háslón þannig að við brot hennar tæmist minna úr lóninu en við brot hinna stíflanna tveggja. Gert er ráð fyrir að stíflan verði hefðbundin jarðvegsstífla með jökulruðningskjarna og innanrof getur því hafist hvar sem er í stíflunni þar sem veikleiki er og útskolun efnis hefst.

Gert er ráð fyrir að flóðtoppur vegna innanrofs í Sauðárdalsstíflu verði af stærðargráðunni 25.000 m³/s og skarðið sé um 8 klukkustundir að myndast. Flóðtoppurinn er samkvæmt niðurstöðum útreikninga um 50 mínútur að berast niður Laugarvalladalinn og þaðan niður í farveg Jökulsár á Dal. Það tekur flóðtoppinn rúmar 5 klukkustundir að berast frá stíflu niður að sjó. Á leið flóðsins niður eftir farveginum lækkar flóðtoppurinn einungis um 2.000 m³/s og verður um 23.000 m³/s við ströndina. Flóðið gæti skapað hættu fyrir um 5 bæi í Jökuldal og á Héraði.

Sauðárdalsstífla verður byggð ofan á um 20 m þykk laus jarðlög og því er mögulegt að rof gangi niður fyrir stíflubotninn. Sé gert ráð að stíflan nái um 20 m neðar en hún í raun gerir verða reiknuð flóð nokkuð stærri en áður. Botn dalsins undir Sauðárdalsstíflu er hins vegar mjög flatur og til þess að rjúfa haft dalsins niður þarf rofið að ná yfir nokkurra kílómetra langan kafla. Rof niður fyrir botn stíflu yrði því líklega til þess að lengja hala flóðsins í tíma og auka heildarrúmmál þess, án þess þó að auka við mesta rennsli og flóðhæð.

Ekki þykir vera ástæða til að endurskoða reiknaða flóðbylgju niður farveg en vert er að hafa í huga að komi til þess að jarðlög undir stíflu rofni lengist flóðtíminn og dempun flóðtopps í farvegi verður enn minni en þegar er gert ráð fyrir.

Á myndum 4.1-4.4 eru gröf með rennsli sem fall af tíma neðan við stíflu, mesta rennsli í farvegi, hæsta vatnsborð í farvegi og tíma mesta rennslis sem fall af fjarlægð frá stíflu. Í töflu V2.1 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

4.4 Rof flóðvars

Rof flóðvars er afar ólíklegur atburður, en verður þó að teljast líklegastur af þeim möguleikum sem hér eru settir fram um stíflubrot við Háslón. Flóðvarið er hannað þannig að tryggt á að vera, eins og hægt er, að það rofni ef vatn fer að flæða yfir það, en einnig þarf að tryggja með grófum grjótfyllingum og stoðveggjum að rofið stöðvist þegar endum flóðvarsins og botni er náð. Með þessu móti er hægt að stjórna stærð mögulegs flóðs og lækka vatnsborðshæð í lóni til að léttu álagi af stíflutoppum.

Miðað við stærð og staðsetningu flóðvars, sem miðað var við í fyrri útgáfu skýrslunnar frá 2001, var reiknað flóð með rennslistopp í kringum 14.000 m³/s. Þá var gert ráð fyrir að flóðvarið yrði við vestari enda Desjarárstíflu en nú hefur því verið valinn staður við eystri enda stíflunnar. Botn flóðvarsins verður lægstur um 7-10 m ofar en áður var miðað við og toppur þess hefur hækkað um 0,5 m eins og fyrir stíflurnar. Reiknaður rennslistoppur út um rofið flóðvar hefur því minnkað um allt að helming, frá því sem áður var miðað við, vegna þess að hæð þess hefur minnkað og rúmmál vatns sem hleypt er út um skarðið þá sömuleiðis. Samt sem áður er hér miðað við eldra mat á rennsli um rofið flóðvar, enda er það varfærið mat.

Það tekur flóðtoppinn um 20 mínútur að berast niður eftir Desjarárdalnum niður í farveg Jökulsár á Dal og rúmar 8 klukkustundir að berast niður að sjó. Við ströndina verður reiknaður flóðtoppur orðinn um 11-12.000 m³/s. Gert er ráð fyrir að flóðvarið sé um eina klukkustund að rofna. Flóðið gæti skapað hættu fyrir um 4 bæi sem standa lágt yfir farvegi Jökulsár á Dal.

Á myndum 4.1-4.4 eru gröf með rennsli sem fall af tíma neðan við stíflu, mesta rennsli í farvegi, hæsta vatnsborð í farvegi og tíma mesta rennslis sem fall af fjarlægð frá stíflu. Í töflu V2.1 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

4.5 Rof Kelduárstíflu

Stærsta miðlunarlónið í veituhluta Kárahnjúkavirkjunar er svokallað Kelduárlón. Niðurstöður reikninga forritsins BREACH frá 2001 bentu til að yfirstreymisflóð geti haft tæplega 13.000 m³/s topp, en að innanrofsflóð hafi um 4.000 m³/s flóðtopp. Vegna þess að niðurstöður bentu til að yfirstreymisflóðtoppurinn yrði svo miklu stærri en flóðtoppurinn vegna innanrofs

var útbreiðsla fyrrnefnda flóðsins einungis skoðuð nánar. Gert var ráð fyrir stífluðu yfirfalli við yfirstreymisbrot.

Efniseiginleikar Kelduárstíflu eru mikið breyttir frá því sem áætlað var árið 2001 enda lágu þá ekki fyrir neinar slíkar upplýsingar frá hönnuðum. Stíflan á nú að vera úr nokkuð grófu efni sé borið saman við efnislýsingu stífla við Háslón. Vegna grófleika stífluefnis nær BREACH ekki að reikna innanrof í stíflunni. Flóðtoppur vegna yfirstreymis reiknast nú með BREACH $4.300 \text{ m}^3/\text{s}$. Rofið tekur um 0,2 klst. en reiknað skarð er mjög mjótt. Reynslujöfnur benda til að flóðið verði svipað og áður var miðað við enda taka þær ekkert tillit til efniseiginleika stíflna. Hér á eftir verður miðað við flóð frá 2001 enda er það varfærið mat.

Gert var ráð fyrir mjög lítilli dempun flóðsins niður að botni Suðurdals og að flóðtoppurinn næði þangað rúmum 2 klukkustundum eftir að rof stíflunnar við Kelduárlón hæfist. Útrennsli úr lóninu nær hámarki um 1,5 klukkustundum eftir að rofið hefst. Innan við 3 klukkustundum frá upphafi rofs bærast flóðtoppurinn í Lagarfljót en gera má ráð fyrir um 1,5 m vatnshæðaraukningu í fljótinu miðað við að upphafsvatnsborð þess væri um 21 m y.s. Niðurstöður benda til að enginn bær í Suðurdal eða Fljótsdal yrði í hættu vegna slíks flóðs og er þá sem fyrr eingöngu miðað við hæð íbúðarhúsa með skráða íbúa. Í töflu V2.2 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

4.6 Rof Ufsarstíflu

Ufsarlón verður mun minna en Kelduárlón, en niðurstöður frá 2001 úr BREACH bentu til að yfirstreymisflóð gæti haft rúmlega $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$ topp, en innanrofsflóð rúmlega $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ rennslistopp. Þessir toppar yrðu þó skarpari en flóðtoppar úr Kelduárlóni, þar sem lónið myndi tæmast fyrr. Eins og fyrir Kelduárstíflu var einungis skoðuð útbreiðsla stærra flóðsins sem verður vegna yfirstreymisrofs. Gert var ráð fyrir stífluðu yfirfalli við yfirstreymisbrot.

Efniseiginleikar stíflu eru mikið breyttir frá því í fyrri yfirferð frá 2001 og einnig hefur stíflubrún hækkað um 1,5 m og viðmiðun fyrir botn lóns verið lækkuð um 2 m sem leiðir til að rúmmál lóns hefur aukist. Stíflan nú á að vera úr grófu efni sé borið saman við efnislýsingu stífla við Háslón. Vegna grófleika stífluefnis nær BREACH ekki að reikna innanrof í stíflunni.

Reiknað flóð vegna yfirstreymis nú með BREACH er með topp í kringum $21.000 \text{ m}^3/\text{s}$ og rof tekur aðeins örfáar mínútur. Reynslujöfnur benda til flóðs af svipaðri stærðargráðu og áður var miðað við.

Frá því að rof Eyjabakkastíflu var til skoðunar árið 1999 eru til útreikningar á framgangi tveggja mismunandi flóða niður farveg Jökulsár í Fljótsdal. Einnig var yfirstreymisflóð fyrir Ufsarstíflu rakið niður farveginn við verkhönnun stíflunnar eftir að skýrslan frá 2001 kom út. Út frá þessum tveimur flóðum er hægt að áætla vatnshæðir við bæi fyrir stærra flóð en skoðað var árið 2001 í mati á umhverfisáhrifum Kárahnjúkavirkjunar. Ekki er mikill munur á fjölda bæja sem kynnu að verða í hættu við reiknuð flóð og gera má ráð fyrir að allir bæir við farveginn verði rýmdir komi fram merki um að stíflurof kunni að vera í vændum við Ufsarlón.

Gert er ráð fyrir lítilli dempun flóðs á leið þess frá stíflu við Ufsarlón niður í Norðurdal og er þá byggt á eldri niðurstöðum um vatnshæðir og tíma flóðs (VST 1999). Þessar niðurstöður byggðu þó á flóði með mun meira vatnsmagni en hér er fjallað um og ætla má að dempun ætti að vera nokkur við þann skarpa flóðtopp sem reiknaður er við rof Ufsarstíflu. Hér er því um varfærið mat að ræða. Flóðtoppurinn er rúma hálf klukkustund að berast frá stíflu að innsta bænum sem er í byggð í Norðurdal. Tæpum 2 klukkustundum eftir að rof hefst í Ufsarstíflu berst flóðið inn í Lagarfljót, en gera má ráð fyrir að vatnsborðshækkun í fljótinu geti orðið um 25 cm miðað við 21 m y.s. upphafshæð vatnsborðs. Sex bæjum í Fljótsdal, og þar af tveimur bæjum í Norðurdal, gæti stafað hætta af slíku flóði. Í töflu V2.2 í viðauka 2 er yfirlit yfir niðurstöður reikninga í sniðum farvegar við hvern bæ. Þar kemur fram mesta vatnshæð, mesti vatnshraði, mesta vatnsdýpi og tími mestu vatnshæðar frá upphafi rofs stíflu.

5 Umræða og ályktanir

5.1 Byggð í Jökuldal og á Héraði

Hæðarlega íbúðarhúsa bæja sem standa nálægt farvegi Jökulsár á Dal hefur verið metin út frá loftmyndum og hæðarlínugrunni frá Ísgrafi bæði í Jökuldalnum og á Héraði. Í fyrri útgáfu skýrslu frá 2001 var miðað við bil hæðarlína sem hús bæja lentu á milli og ekki alltaf greint á milli íbúðar- og útihúsa. Nú er sett ákveðin hæð á hvert íbúðarhús sem verður til þess í langflestum tilfellum að viðmiðunarhæð hættuástands hækkar lítillega og færri bæir eru því greindir á hættusvæði en áður.

Samkvæmt niðurstöðum þessarar athugunar gætu alls um 24 bæir í Jökuldal (voru 28 í skýrslu frá 2001) og á Héraði verið í hættu vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu, 16 vegna innanrofs Desjarárstíflu (voru 21), 5 vegna innanrofs Sauðárdalsstíflu (voru 12) og 4 vegna rofs flóðvars í Desjarárstíflu (voru 8). Í töflu 5.1 eru bæirnir taldir upp, fjarlægð þeirra frá stíflu og hæð sem miðað hefur verið við. Þar kemur einnig fram hvort vatnshæð vegna tiltekins flóðs skapar hættu fyrir hvern einstakan bæ og er þá miðað við að reiknuð flóðhæð sé jöfn eða hærri en uppgefin hæð við hús.

Hér er, eins og áður hefur komið fram, eingöngu miðað við hæð íbúðarhúsa bæjanna, en ekki tekið sérstakt tillit til gripahúsa og annarra útihúsa, sem standa í sumum tilfellum mjög lágt yfir vatnsborði Jökulsár á Dal. Nokkuð er um eyðibýli á svæðinu en ætla má að einhver þeirra séu notuð til frístundadvalar, sérstaklega á sumrin, og einnig er eitthvað af öðrum frístundahúsum á svæðinu. Einungis hefur verið tekið tillit til húsa með skráða íbúa, samkvæmt upplýsingum frá Hagstofu Íslands í júlí 2006, í skoðun á fjölda bæja sem gætu verið í hættu. Í viðbragðsáætlun (LV-2006/056) er fjallað frekar um útihús og dvalarstaði, s.s. frístundahús og samkomustaði. Einnig er tillit til þessara bygginga í skýrslu um mat á áhættu vegna mannvirkja (LV-2006/054).

Hætta er á að brúin yfir Jökulsá á Dal á þjóðvegi nr. 1, sem mun vera sú brú á Íslandi sem stendur hæst yfir vatnsfarvegi sínum, rofni í tveimur stærstu flóðunum sem skoðuð voru. Að auki eru fjórar smærri brýr yfir farveginn í Jökuldal, en þær standa allar tiltölulega lágt yfir venjulegu vatnsborði árinna og líklegt að þær fari verði flóð úr Háslóni. Einnig má gera ráð fyrir að það flæði yfir vegi á nokkrum stöðum meðfram ánni.

Í viðauka I eru myndir af reiknaðri útbreiðslu flóða fyrir þau fjögur tilfelli stíflurofs við Háslón sem fjallað hefur verið um. Næst ströndu Héraðsflóa eru mörk flóðanna óviss og því er útbreiðsla þeirra þar sýnd með brotnum línunum á myndunum. Á myndum KS-1 til KS-6 er sýnd útbreiðsla flóða vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu og Sauðárdalsstíflu og á myndum D-1 til D-6 vegna innanrofs Desjarárstíflu og yfirstreymis flóðvars í Desjarárstíflu.

Tafla 5.1 Bæir sem gætu verið í hættu vegna flóða úr Háslóni. Ekki er búið á Arnórsstöðum á Jökuldal en þeir hafðir með í töflum til viðmiðunar fyrir þann hluta farvegjar.

Staður	Íbúðarhús/mannvirki	Fjarlægð frá Kárahnjúka-		Tilvik 1:	Tilvik 2:	Tilvik 3:	Tilvik 4:
		stíflu (km)	Hæð bæjar (m y.s.)	Innanrof Kárahnjúka-stíflu	Innanrof Desjarár-stíflu	Innanrof Sauðárdals-stíflu	Rof flóðvars
Jökuldalur	Brú 1	23,4	378	●			
	Brú 2	23,4	376	●			
	Eiríksstaðir 1	29,0	344	●	●		
	Grund	36,8	341				
	Klaustursel	40,9	284	●	●		
	Hákonarstaðir I-III	40,9	320				
	Merki (Arnórsstaðir)	47,0	288				
	Skjöldólfstaðir II	56,0	235				
	Skjöldólfstaðir I	57,2	203	●	●		
	Skjöldólfstaðaskóli	57,2	206	●	●		
	Hjarðarhagi	65,3	190				
	Hjarðargrund	67,6	180				
	Mælivellir	68,7	180				
	Hnefilsdalur	68,7	191				
	Hofteigur	70,7	145	●	●		
	Smáragrund	71,2	168				
	Hvanná II	73,8	153	●			
	Hvanná I	74,8	129	●	●	●	
	Teigasel I	78,8	142	●			
	Teigasel II	80,5	134	●			
	Hauksstaðir	81,1	136	●			
	Hrólfstaðir	83,3	120	●	●		
	Gil	83,7	104	●	●	●	●
Hérað	Selland	88,4	128				
	Brú á Þjóðvegi nr. 1	88,6	93	●	●		
	Brúarásskóli	89,4	122				
	Brúarás	89,4	122				
	Blöndugerði	91,0	79	●	●		
	Fossvellir I	91,1	79	●	●		
	Fossvellir II	91,4	84				
	Blöndubakki	91,9	77				
	Hrafnabjörg I	93,3	79				
	Hrafnabjörg II	93,8	71				
	Hrafnabjörg IV	94,8	67				
	Litli-Bakki	98,3	55	●			
	Hallfreðarstaðir 1 & 2	98,7	65				
	Hallfreðarstaðahjáleiga	98,9	75				
	Vörðubrún	99,9	64				
	Hallgeirsstaðir	100,1	71				
	Surtsstaðir	101,9	56				
	Breiðamörk 1 & 2	101,9	45	●	●		
	Sleðbrjótur	107,0	44				
	Ytri-Galtarstaðir	107,0	47				
	Hlíðarhús	113,9	17	●	●		
	Fagrahlíð	116,5	22				
	Torfastaðir	118,3	21				
Skriðufell	119,1	12	●				
Hólmatunga	120,0	4	●	●	●	●	
Húsey 1	120,6	5	●	●	●	●	
Bakkagerði	121,0	4	●	●	●	●	
Ketilsstaðir	121,0	7	●	●			

5.2 Byggð í Fljótsdal og við Lagarfljót

Flóð úr veituhluta Kárahnjúkavirkjunar eru mun minni en flóð vegna stíflurofs við Háslón, enda er stærð miðlunarlóna veitnanna ekki nema brot af stærð Háslóns. Flóð vegna yfirstreymisbrota í Kelduárlóni og Ufsarlóni hafa þó rennslistoppa sem eru svipaðir að stærð og rennslistoppur flóðs vegna rofs flóðvars við Háslón, þótt rúmmál flóðanna verði mun minna.

Eins og sjá má í töflu 5.2 gætu tveir bæir verið í hættu í Norðurdal (voru áður þrír) og fjórir neðar í Fljótsdal vegna yfirstreymisflóðs úr Ufsarlóni, en enginn í Suðurdal (var einn áður) eða neðar í Fljótsdal vegna flóðs úr Kelduárlóni. Í fyrri útgáfu skýrslu voru ekki skoðuð sérstaklega áhrif á bæi neðst í Fljótsdal og hefur þeim nú verið bætt við.

Sama á við um hæðarsetningu bæja við farvegi flóða úr veitulónum eins og kemur fram í kafla 5.1 um bæi við farveg Jökulsár á Dal.

Tafla 5.2 Bæir sem gætu verið í hættu vegna flóða úr Ufsarlóni og Kelduárlóni.

Staður	Íbúðarhús/mannvirki	Fjarlægð frá stíflu (km)	Hæð bæjar (m y.s.)	Tilvik 5:	Tilvik 6:
				Yfirstreymis-flóð úr Ufsarlóni	Yfirstreymis-flóð úr Kelduárlóni
Norðurdalur	Egilsstaðir	20,6	126		
	Þuríðarstaðir	23,6	79	●	
	Glúmsstaðir II	24,7	79		
	Glúmsstaðir I	26,2	69		
	Langhús	30,0	39	●	
	Valbjófsstaður	31,6	38		
Suðurdalur	Sturluf্লöt	20,3	113		
	(Arnaldsstaðir)	25,0	65		
	Víðivellir - fremri	28,6	56		
	Klúka	30,2	47		
	Víðivellir - ytri II	30,8	43		
	Víðivellir - ytri I	32,1	42		
Fljótsdalur	Skriðuklaustur	34,4	63		
	Bessastaðir	36,7	29	●	
	Eyrarland	36,7	29	●	
	Hrafnkellsstaðir	37,4	38		
	Litla-grund	37,4	29	●	
	Bessastaðagerði	37,9	30	●	
	Vallholt	38,0	55		
	Melar	38,8	64		
Hjarðaból	39,6	70			

Í tilviki yfirstreymisflóðs úr Kelduárlóni gæti vatnsborð Lagarfljóts hækkað um 1,5 m en við yfirstreymisflóð úr Ufsarlóni gæti það hækkað um 25 cm. Byggð við Lagarfljót á ekki að vera í neinni hættu vegna slíkra vatnsborðsbreytinga

Í viðauka I eru myndir af reiknaðri útbreiðslu flóða fyrir þau tvö tilfelli stíflurofs við veitustíflur sem fjallað hefur verið um, annars vegar myndir S-1 til S-3 fyrir flóð úr Kelduárlóni frá botni Suðurdals að Lagarfljóti og hins vegar myndir N-1 til N-6 fyrir flóð frá Ufsarstíflu niður að Lagarfljóti.

5.3 Varnaraðgerðir

Stíflurof er afar ólíklegur atburður eins og áður hefur komið fram. Vegna stærðar Háslóns og hæðar stífla þar er þó nauðsynlegt að hafa búnað og áætlanir til eftirlits með leka í gegnum stíflur og vatnsborðshæðum þannig að fljótt verði hægt að bregðast við ef vísbendingar um hugsanlegt stíflurof koma fram.

Gert er ráð fyrir að í stíflunum við Háslón verði komið fyrir vatnsþrýstingsmælum og neðan við stíflurnar verði komið fyrir rennslis- og gruggmælum. Einnig verður hæð vatnsborðs í lóninu

mæld. Með því að hafa aflestur af mælunum sjálfvirkan og senda niðurstöðurnar til stjórnborðs til eftirlits auk reglulegs eftirlits við sjálfar stíflurnar á að vera hægt að nema óeðlilegan leka snemma í ferlinu og gera viðeigandi ráðstafanir. Greinist merki þess að rof sé að hefjast verður almannavörnum gert viðvart samkvæmt viðbragðsáætlun sem unnin hefur verið og er gert er ráð fyrir að aðdragandi slíks atburðar sem greindur er sem óeðlilegur vatnsþrýstingur og/eða leki í stíflum vari í einhverjar klukkustundir eða jafnvel daga áður en eiginlegt rof hefst. Í þeim tilvikum flóða sem hér hafa verið skoðuð er tíminn sem það tekur skarð í stíflurnar að fullmyndast, eftir að eiginlegt rof er hafið, mismunandi og tíminn sem gefst til viðbragða er því mislangur.

Einungis líða tæpar 4 klukkustundir frá því að innanrof hefst í Desjarárstíflu þar til mestu vatnsborðshæð er náð við bæinn Brú í Jökuldal. Við innanrof Kárahnjúkastíflu líða hins vegar tæpar 7 klukkustundir þar til mestu vatnshæð er náð við Brú. Mesta vatnshæð í þessu tilviki er þó um 5 m hærri en skilgreind hættumörk fyrir bæinn sem þýðir að vatnshæð sem setur bæinn og íbúa hans í hættu er náð nokkru fyrr. Reiknað flóð vegna rofs Kárahnjúkastíflu er eina tilfellið sem setur íbúðarhús Brúar 2 í hættu. Við innanrof Sauðárdalsstíflu líða rúmar 9 klukkustundir frá upphafi rofs þar til mestu vatnshæð við bæinn Brú er náð, en við rof flóðvars líða einungis um 2,4 klukkustundir þar til mestu vatnshæð er náð á sama stað. Til þess að til rofs flóðvars komi þarf þó að koma flóð inn í Háslón þannig að það fyllist 4,5 m upp fyrir yfirfallshæð, en það getur aðeins gerst ef yfirfallið stíflast af einhverjum orsökum, miðað við að flóð verði ekki stærra en svokallað aftakaflóð (PMF) sem metið hefur verið fyrir Háslón. Stíflun yfirfalls og óeðlileg hækkun í lóni mun koma fram á vatnshæðarmælum í lóni og við yfirfall og tími til að bregðast við ástandinu ætti því að vera mun lengri en reikningslegur tími rofs og flóðs segir til um.

Stærra flóð en aftakaflóð, svokallað hamfaraflóð, gæti fræðilega orðið við atburð eins og gos undir jökli og lónið þá fyllist upp að brún flóðvars þó að yfirfallið væri virkt. Merki um þvílíka atburði munu koma fram á skjálftamælum sem gefa þá aukinn tíma til viðbragða.

Sama má segja um tímann sem gefst til viðbragðs við flóðum úr veitum. Bæði flóðin sem skoðuð voru nánar eru yfirstreymisflóð og miðast við stífluð yfirföll og að lónin fyllist upp að stíflutoppum. Vatnshæðarmælar í lónunum ættu því að vera búnir að gefa til kynna í hvað stefnir nokkru áður en til rofs kemur.

Reiknuð flóð úr Háslóni ganga yfir á einum til þremur sólarhringum, minnsta flóðið varir lengst og það stærsta styst. Reiknað flóð úr Kelduárlóni er rénað við innrennsli í Lagarfljót um hálfum sólarhring eftir að það hefst og flóð úr Ufsarlóni um 6 klst. eftir upphaf.

Nánari greiningu á þessum atriðum er að finna í skýrslu um viðbragsáætlun vegna rofs stífla Kárahnjúkavirkjunar (LV-2006/056).

5.4 Áreiðanleiki niðurstaðna

Talsverð óvissa er fólgin í mati á þróun stíflurofs, sem hefur aftur mikil áhrif á mesta rennsli og lengd flóðs í tíma. Stíflurof eru mjög sjaldgæfir atburðir og því takmörkuð reynsla fyrir hendi af raunverulegum atburðum. Einnig er erfitt að segja fyrir um með nokkurri vissu hvaða núningsstuðlar eigi við um farvegi sem þessa. Því má ekki líta á þær niðurstöður sem hér hafa verið kynntar sem nákvæma spá um framgang slíkra flóða. Þær eru þó taldar gefa góða vísbendingu um það sem kynni að vera í vændum ef stíflurof verður af einhverjum orsökum.

6 Heimildir

- BOSS International, 1995: *BOSS BREACH User's Manual*.
- Fread, D.L, Lewis, J.M., 1998: *NWS FLDWAV Model*. National Weather Service, NOAA, Hydrologic Research Laboratory.
- HR Wallingford, 2000: *CADAM. Concerted Action on Dambreak Modelling. Final Report*. Umsjón M.W. Morris. Report SR 571. EC Contract number ENV4-CT97-0555. Janúar 2000.
- Impact, 2005: Final Technical Report. Umsjón M.W. Morris, HR Wallingford. EVG1-CT-2001-00037. Janúar 2005.
- Johansen, Per Magnus (ritstj.), 1998: *Brudd i steinfyllingsdam*. Berdal Strømme
- Landsvirkjun, 2001: *Kárahnjúkar Hydroelectric Project. Summary Report*. Kárahnjúkar Engineering Joint Venture. Reykjavík, LV 2001 03.
- Landsvirkjun, 2006: *Mat á áhættu vegna mannvirkja. Endurskoðun*. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. Reykjavík, LV-2006/054.
- Landsvirkjun, 2006: *Neyðarstjórnun Landsvirkjunar. Skýrsla vinnuhóps um viðbragðsáætlun vegna rofs stíflna við Kárahnjúka*. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. Reykjavík, LV-2006/056.
- NVE, 2005: *Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger til § 2-4 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg*. Norges vassdrags- og energidirektorat, útgáfa 2, október 2005.
- VST, 1999: *Fljótsdalsvirkjun. Flóðbylgja vegna stíflurofs við Eyjabakka*. Reykjavík, Landsvirkjun.
- VST, 2001: *Kárahnjúkavirkjun. Flóð vegna stíflurofs*. Reykjavík, Landsvirkjun, LV-2001/010.
- VST, 2005: *Innanhúss minnisblað VST: Flóð vegna stíflurofs - 2005 - endurvinnsla*. Höf. Ólöf Rós Káradóttir, dags. 2005-11-15.

Viðaukar

Viðauki 1 - Útbreiðsla flóða í farvegum neðan stífla

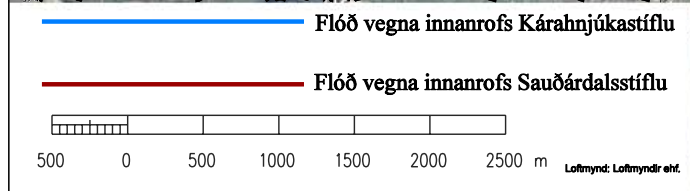
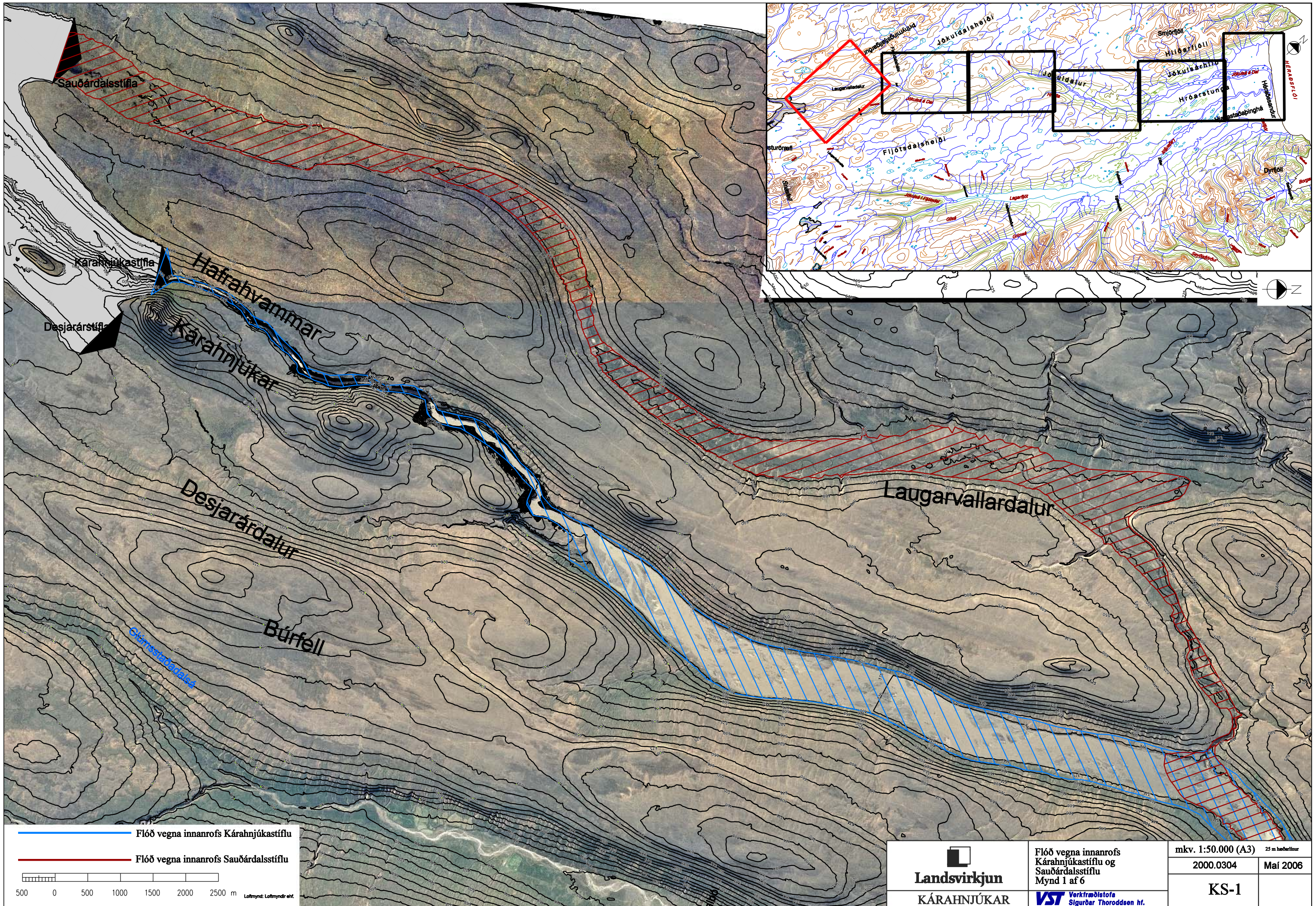
Viðauki 2 - Niðurstöður útreikninga við bæi við farvegi flóða

Viðauki 3 - Skýrsla Sweco International

Viðauki 1 – Útbreiðsla flóða í farvegum neðan stífla

Vatnsborð við mestu vatnshæðir flóða sýndar á loftmyndum

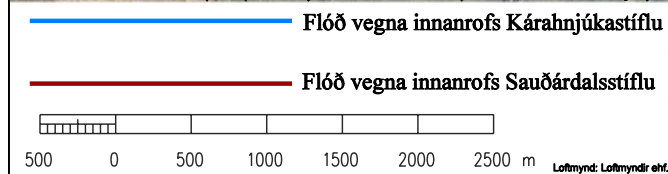
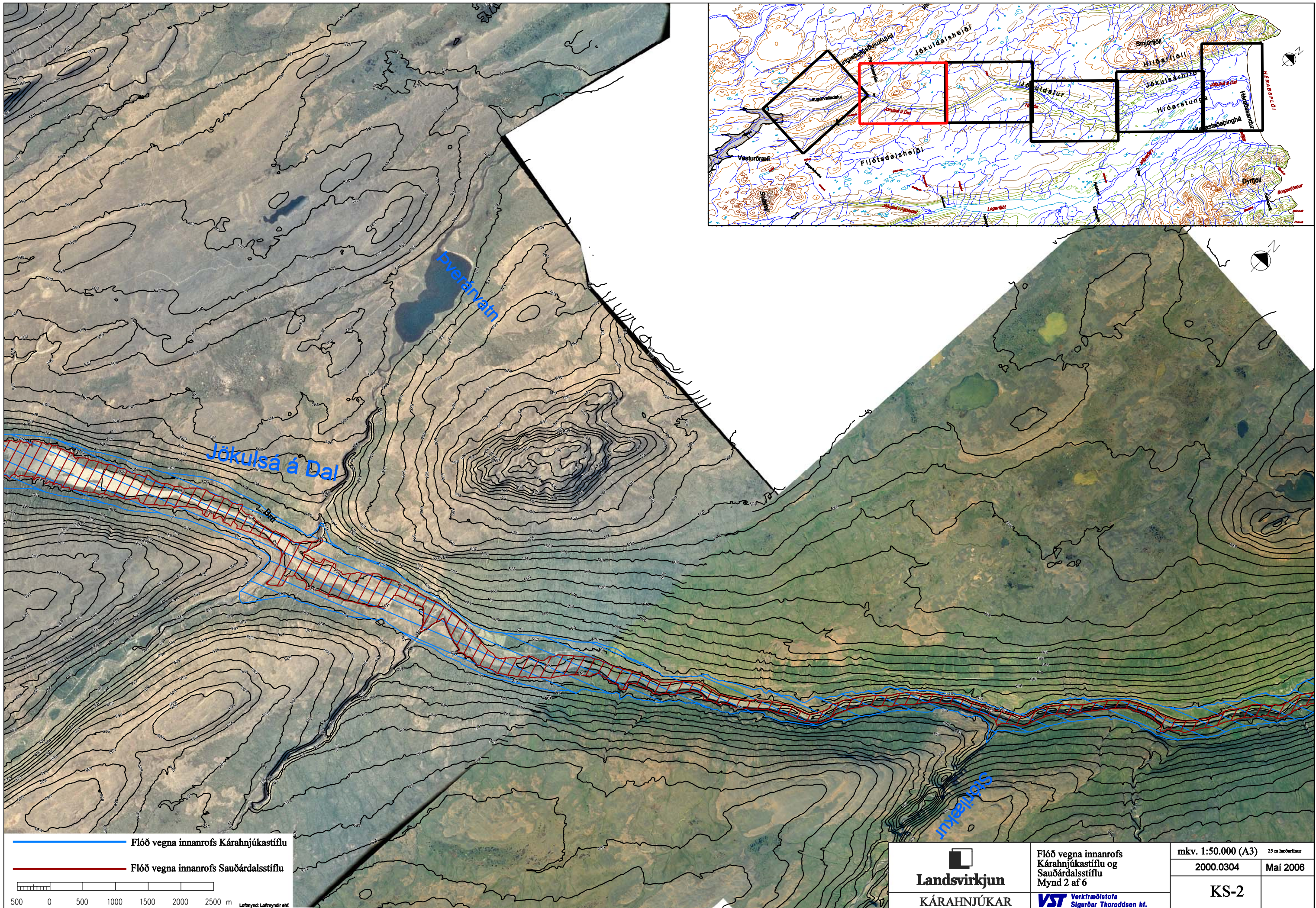
KS-1 til KS-6:	Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu og Sauðárdalsstíflu
D-1 til D-6:	Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu og yfirstreymis flóðvars
S-1 til S-3	Flóð vegna yfirstreymis Kelduárstíflu
N-1 til N-6	Flóð vegna yfirstreymis Ufsarstíflu



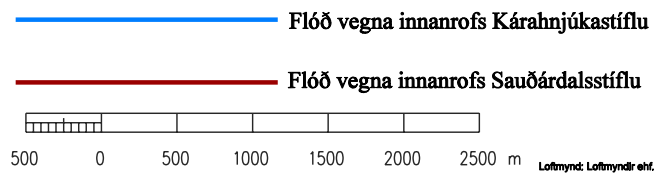
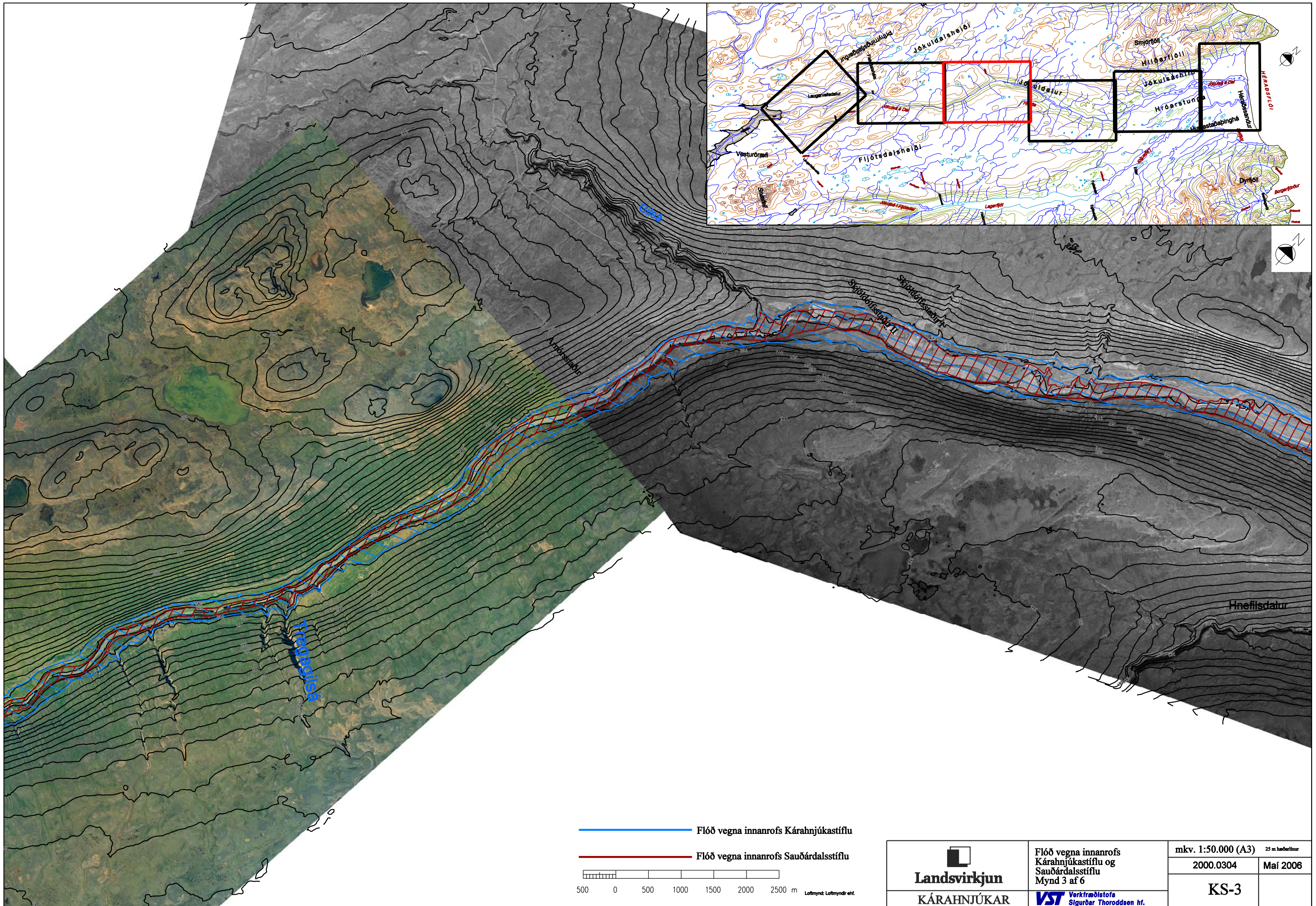

Landsvirkjun
 KÁRAHNJÚKAR

Flóð vegna innanrofs
 Kárahnjúkastafla og
 Sauðárdalsstíflu
 Mynd 1 af 6
VST Verkfræðistofa
 Sigurðar Thoroddsen hf.

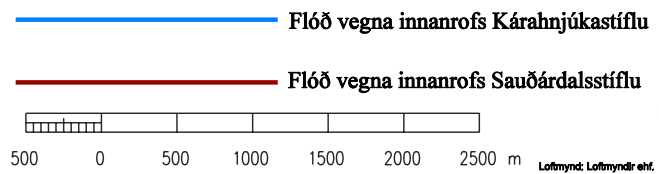
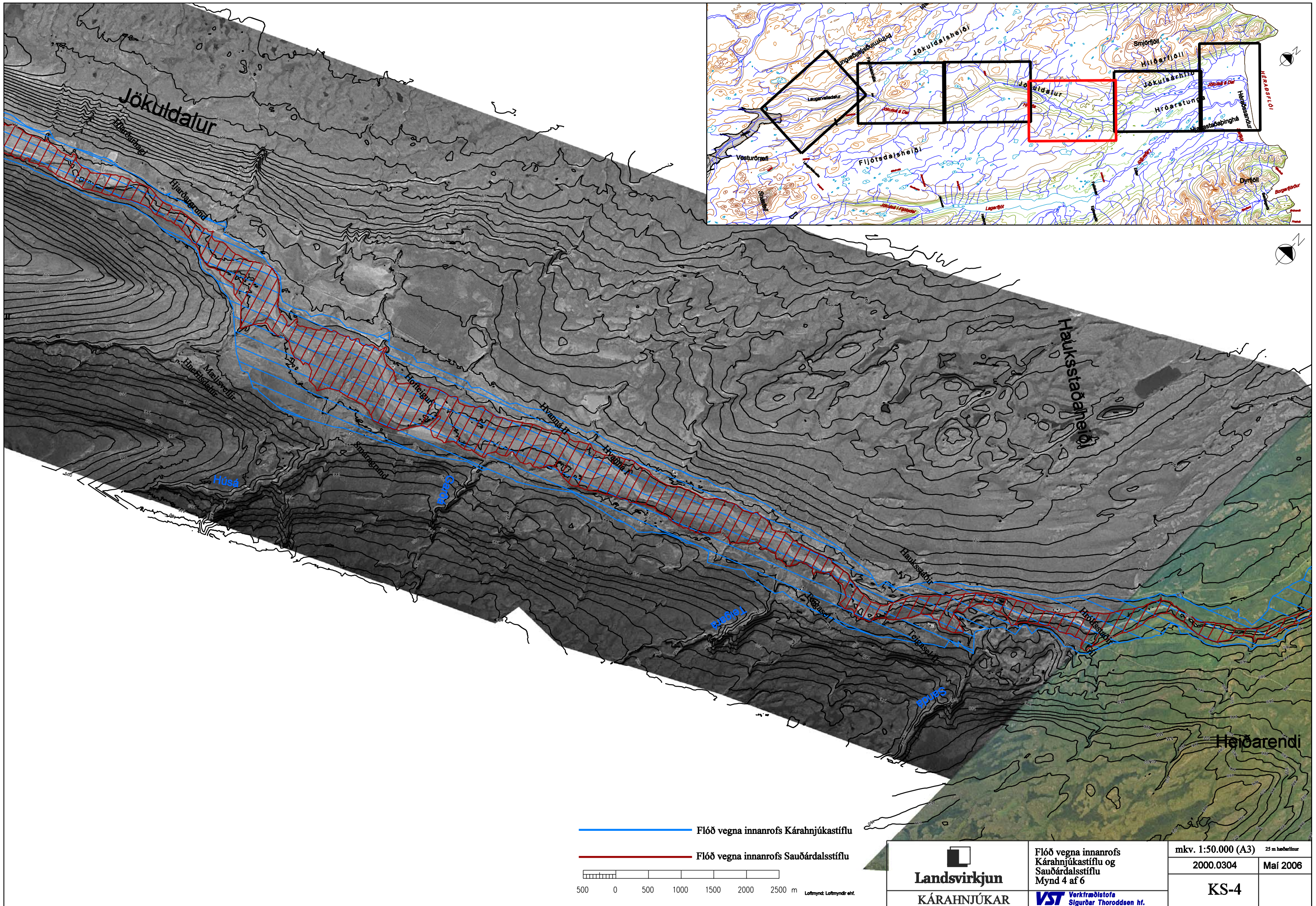
mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðartíttur
 2000.0304 Maí 2006
KS-1



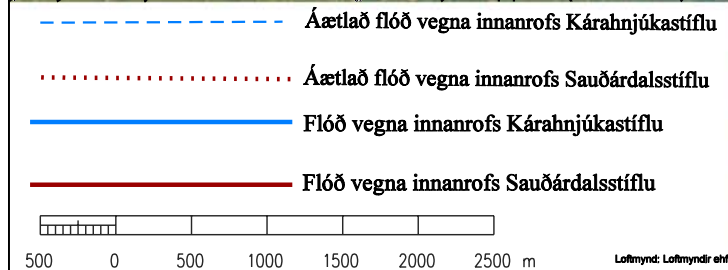
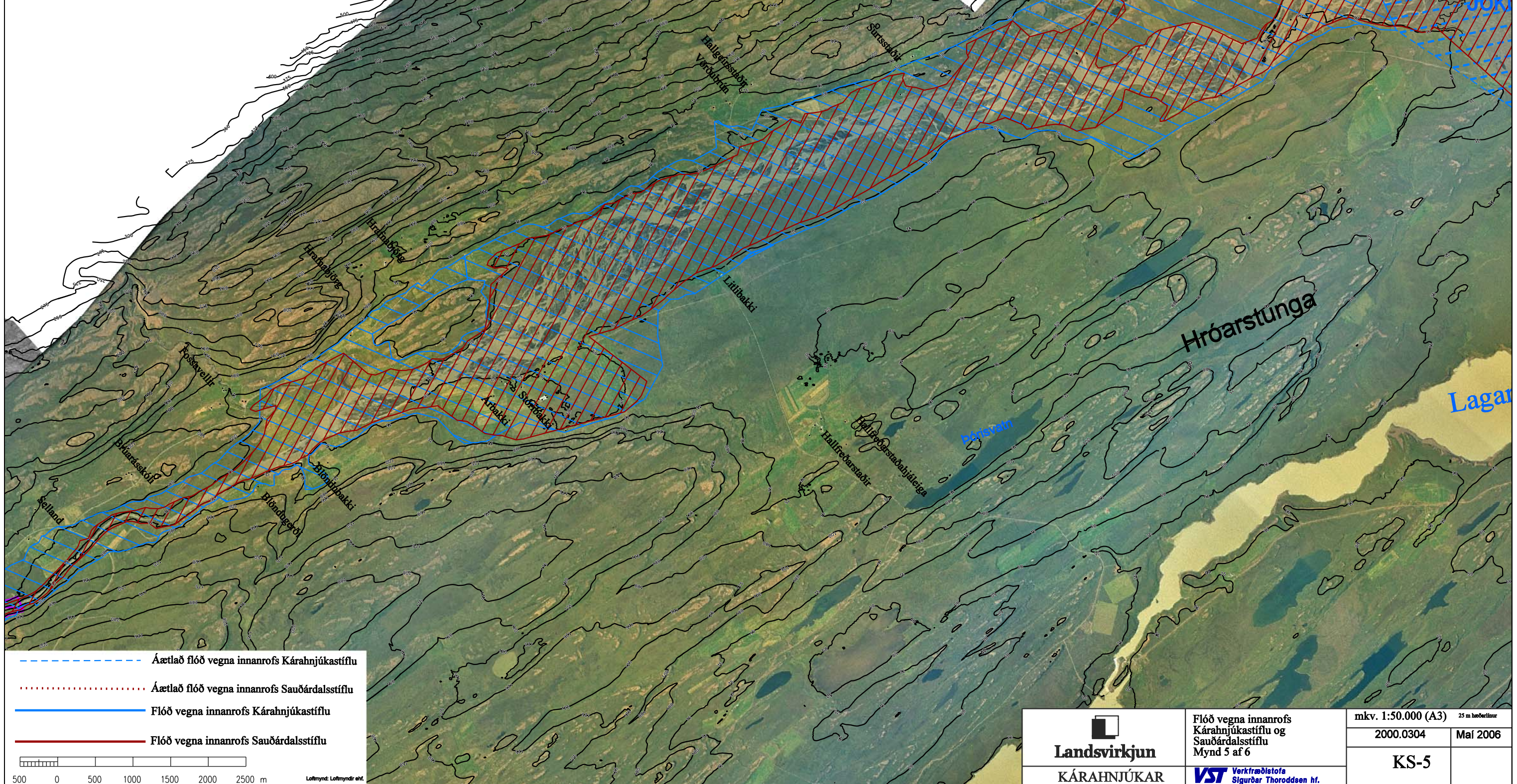
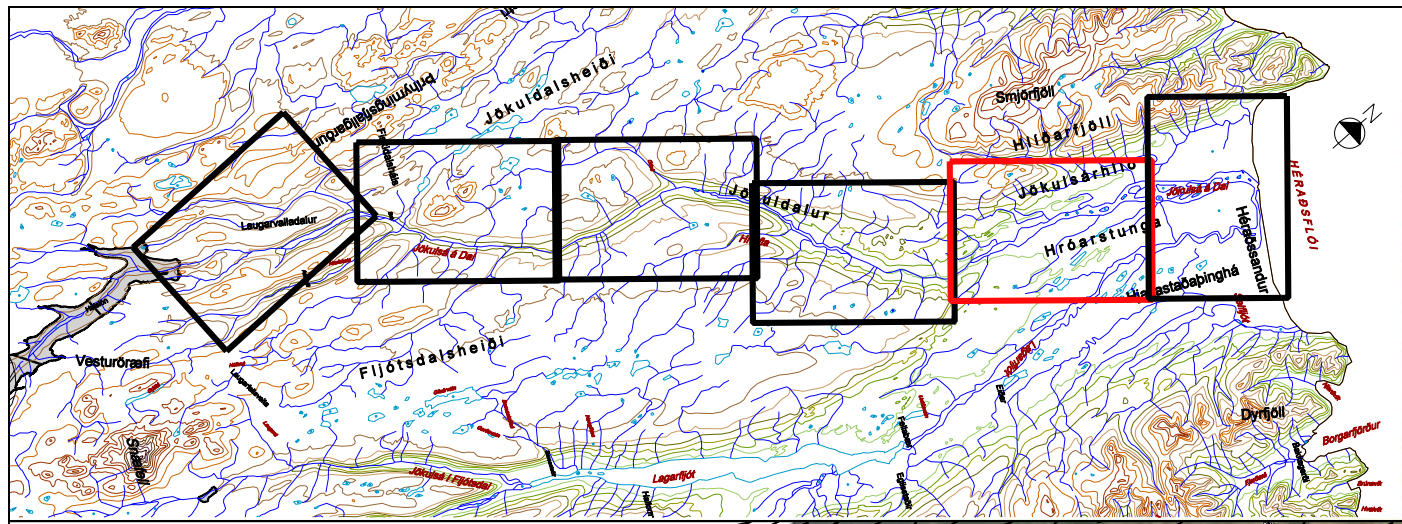
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu og Sauðárdalsstíflu Mynd 2 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðartímur</small>	
		2000.0304	Maí 2006
		KS-2	
		<small>Verkefni Verkefni Verkefni</small>	



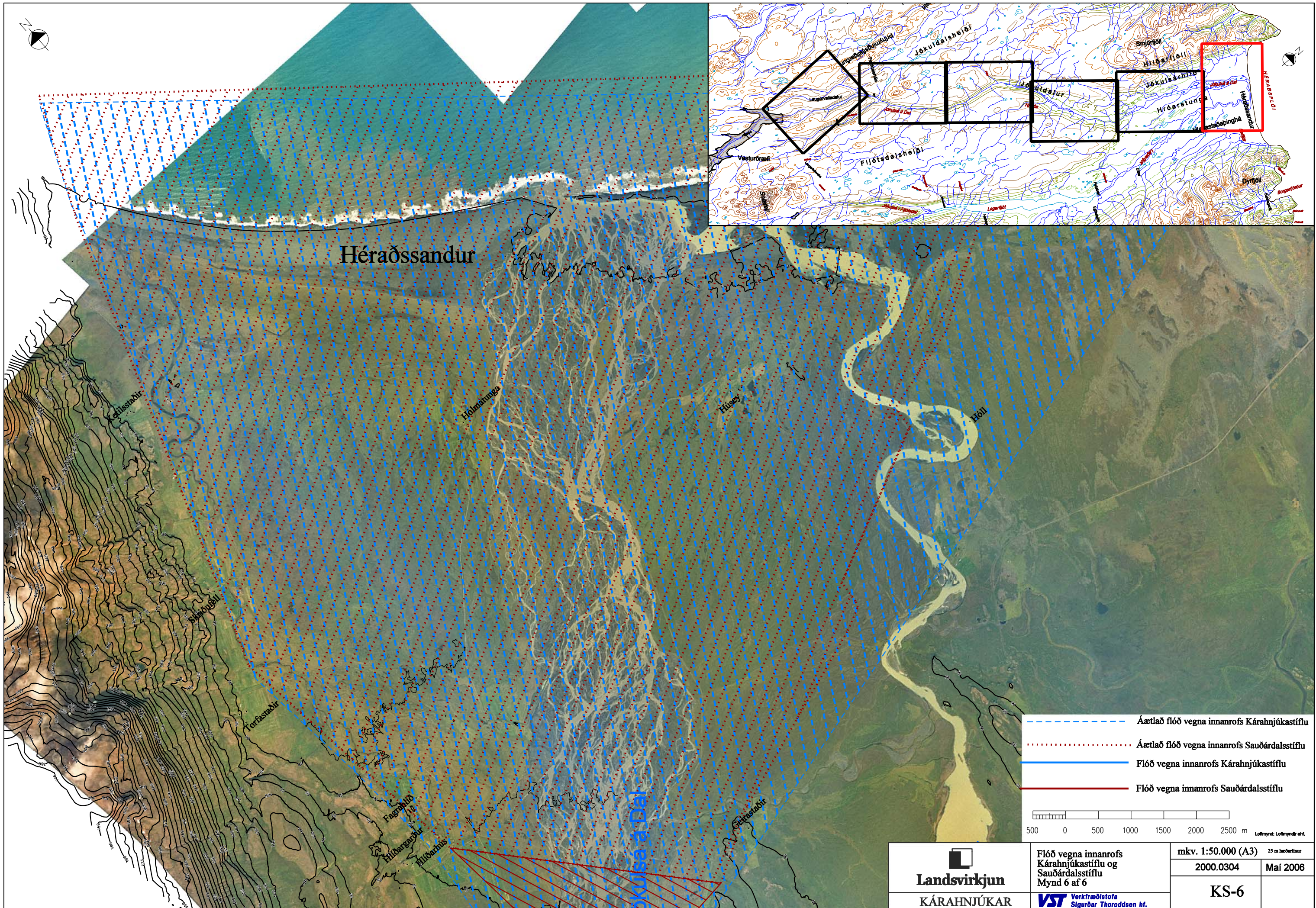
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastafla og Sauðárdalsstafla Mynd 3 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðartímur</small>	
		2000.0304	Maí 2006
		KS-3	
		VST Verkefni- og Sigurðar Thoroddsen hf.	



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastiðfla og Sauðárdalsstífla Mynd 4 af 6 <small>Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf.</small>	mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðarlínur</small>	
		2000.0304	Maí 2006
		KS-4	

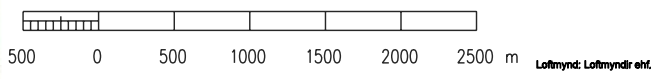



<p>Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR</p>	<p>Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastíflu og Sauðárdalsstíflu Mynd 5 af 6</p> <p>VST Verkefniáseta Sigurðar Thoroddsen hf.</p>	<p>mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðarlínur</small></p>
		<p>2000.0304</p>
<p>KS-5</p>		<p>Mai 2006</p>

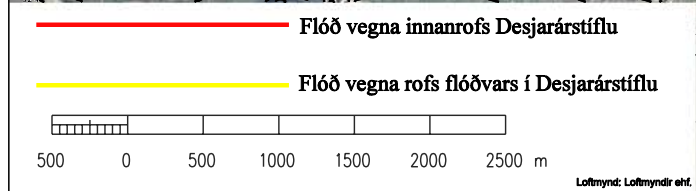
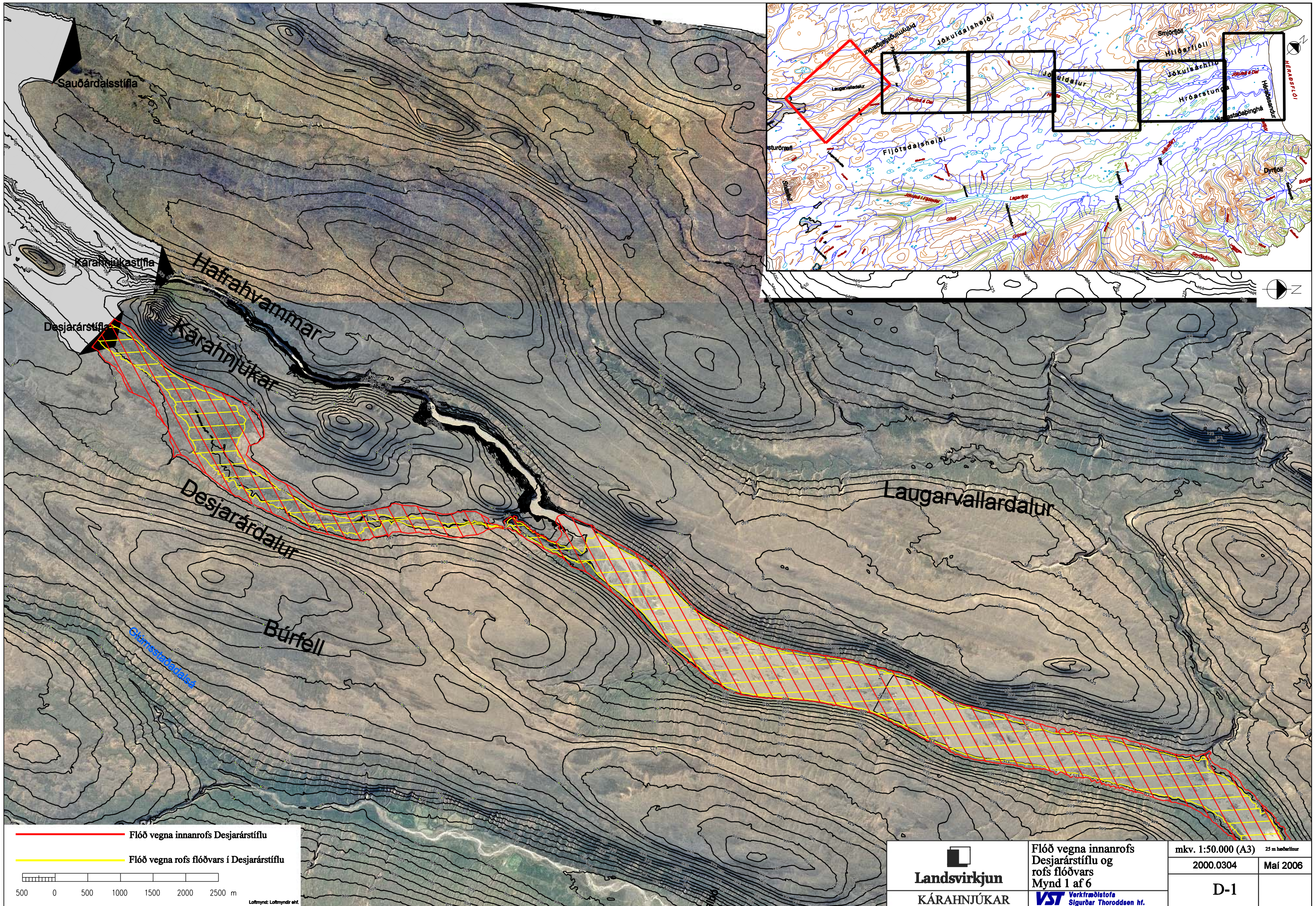


Héraðssandur

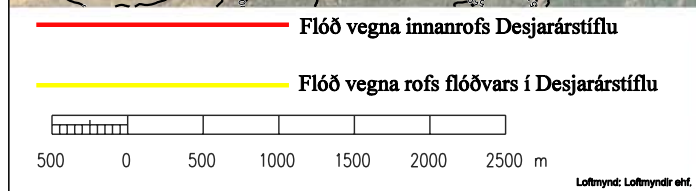
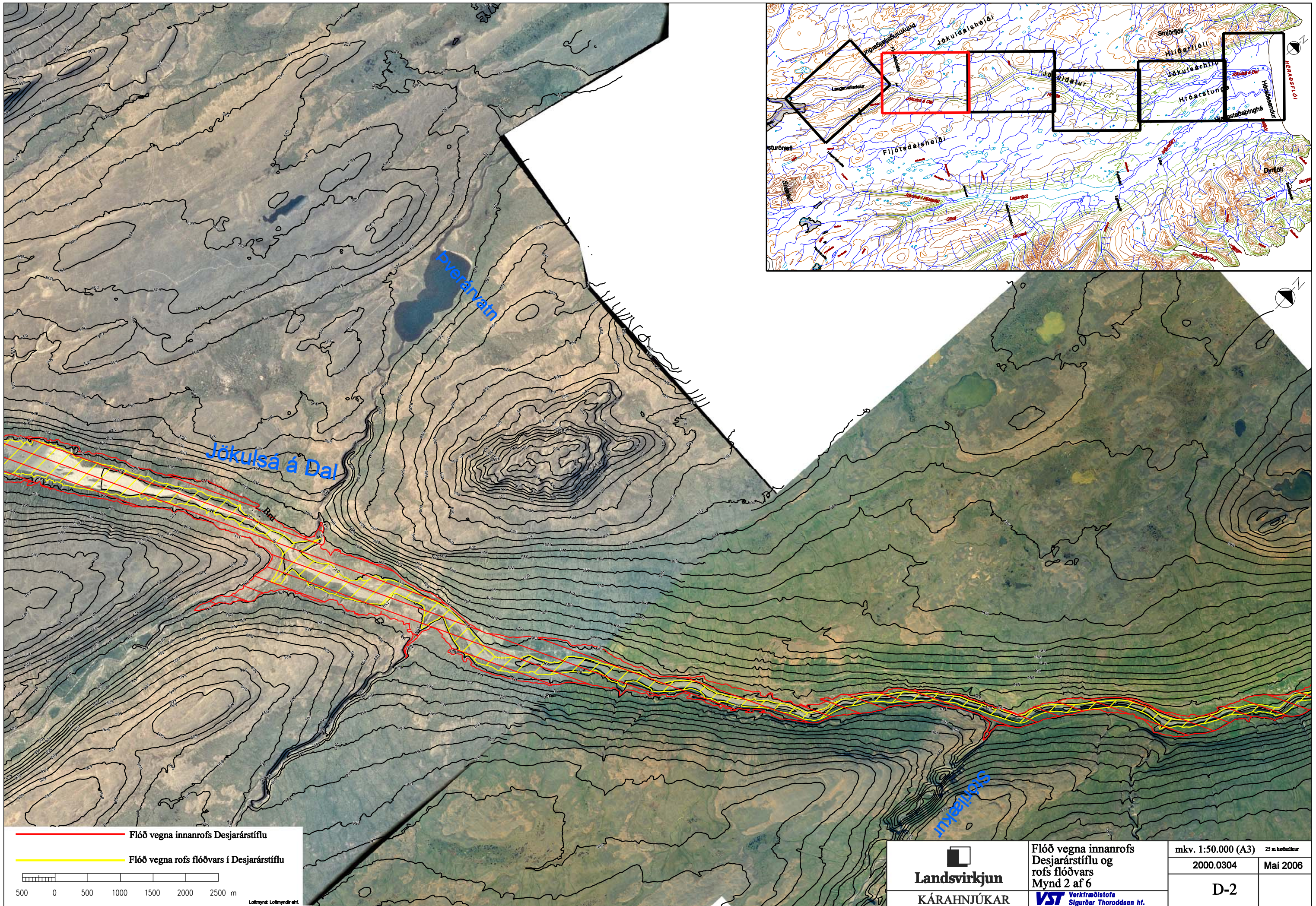
- Áætlað flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastafla
- ... Áætlað flóð vegna innanrofs Sauðárdalsstífla
- Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastafla
- Flóð vegna innanrofs Sauðárdalsstífla



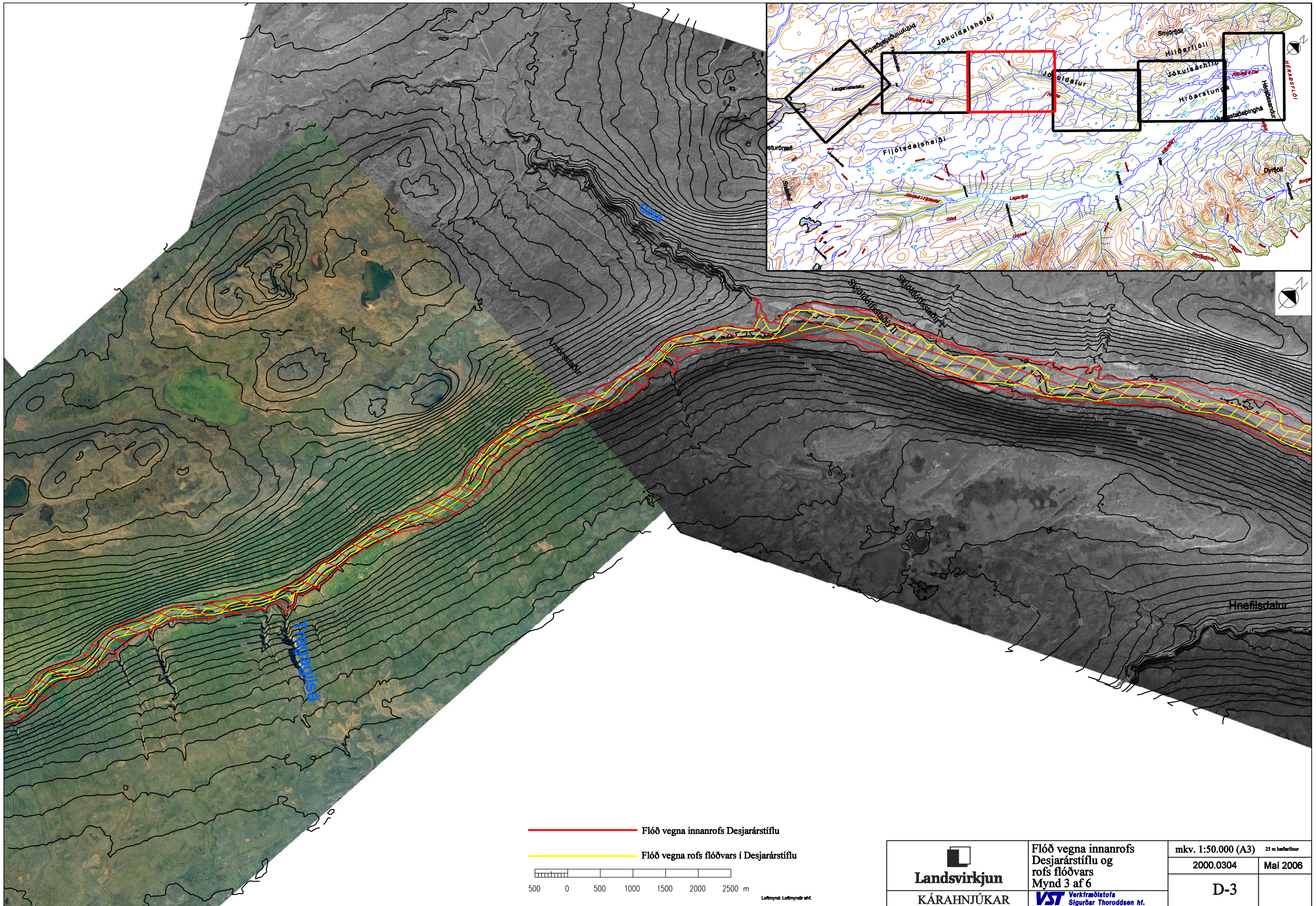
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Kárahnjúkastafla og Sauðárdalsstífla Mynd 6 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðarlínur	
		KS-6	Maí 2006
		VST Verkefni- og Sigurðar Thoroddsen hf.	



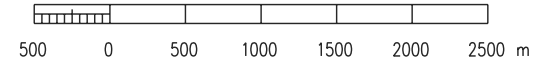
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Desjarárdalsstíflu og rofs flóðvars Mynd 1 af 6 <small>VST Verkefniástoða Sigurðar Thoroddsen hf.</small>	mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðartíttur	
		2000.0304	Maí 2006
D-1			



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu og rofs flóðvars Mynd 2 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðartímur</small> 2000.0304	Maí 2006
	VST <small>Verkefniástoða Sigurðar Thoroddsen hf.</small>	D-2	

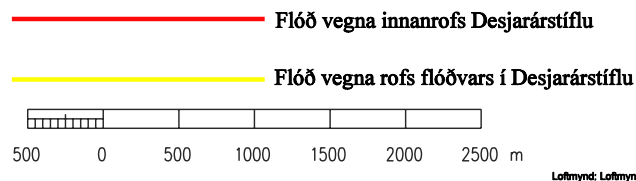
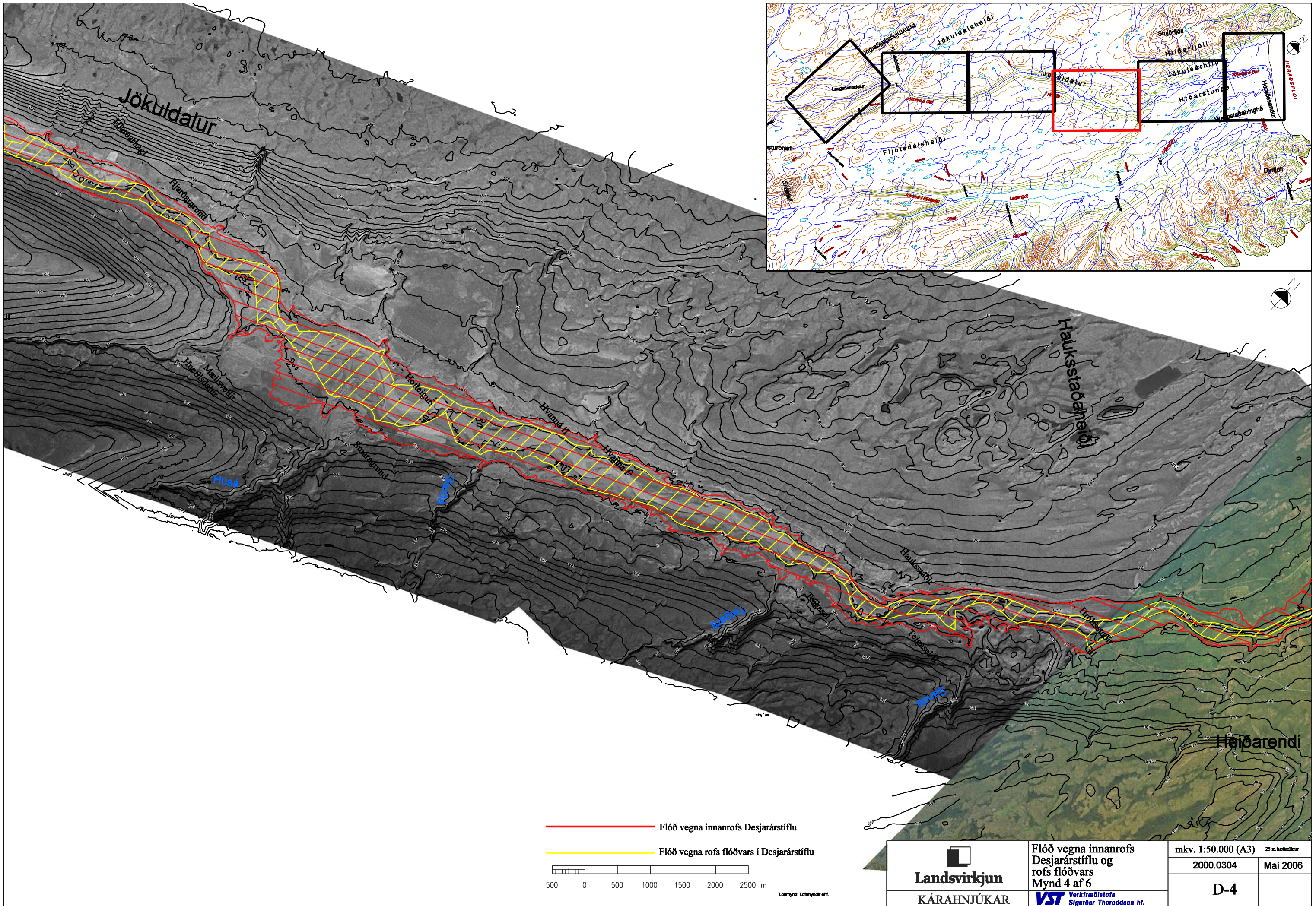


— Flóð vegna innanrofs Desjarástíflu
— Flóð vegna rofs flóðvars í Desjarástíflu

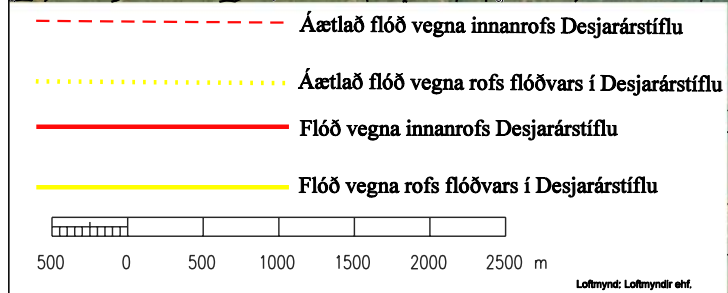
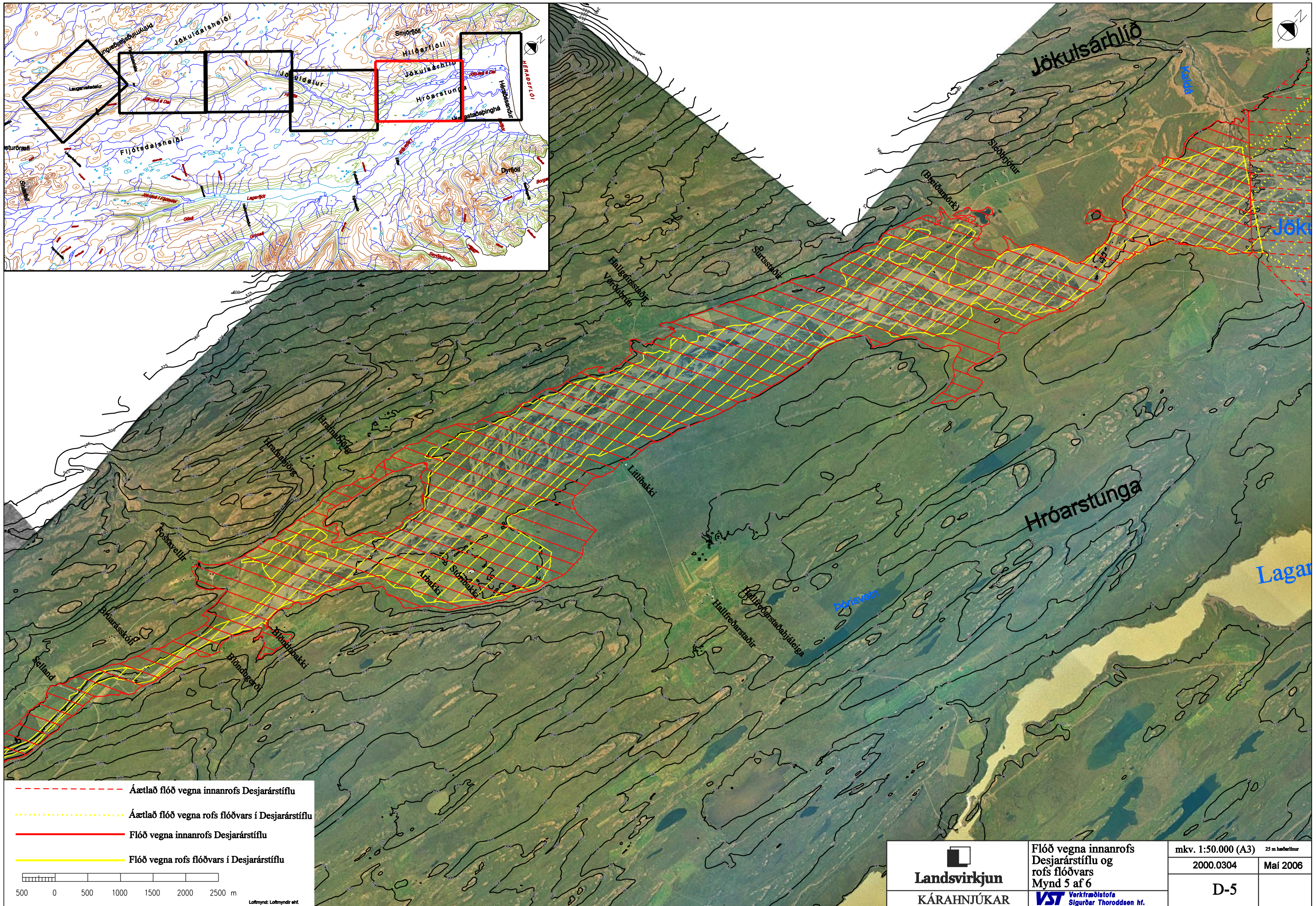
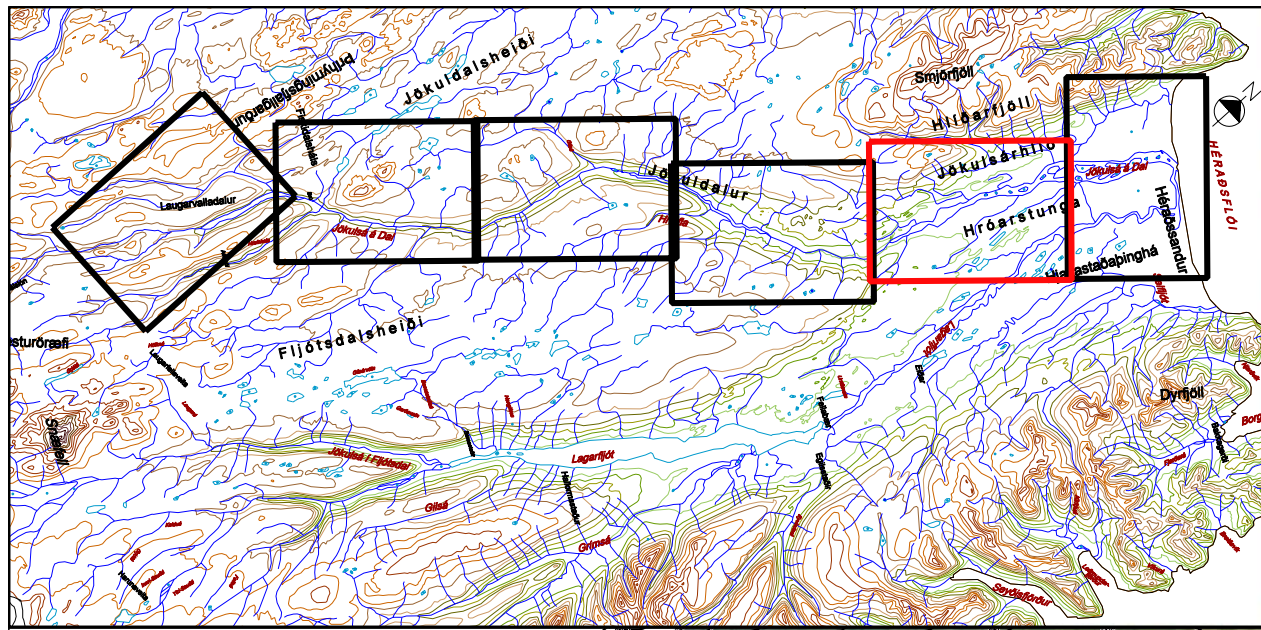



Loftmynd: Loftmyndir ehf.

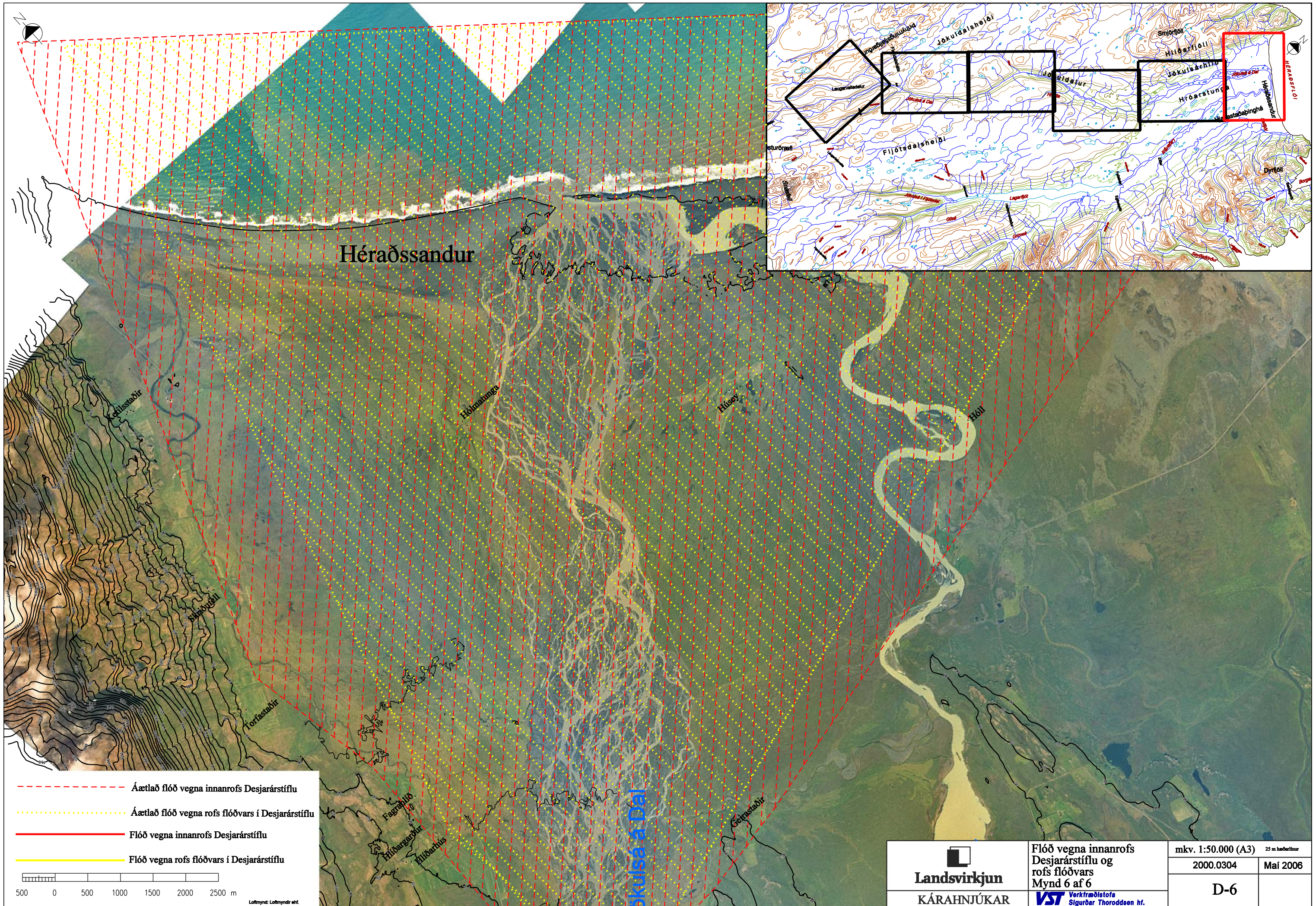
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Desjarástíflu og rofs flóðvars Mynd 3 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðartímur	
	Verkefni VST Verkefni Sigurðar Thoroddsen hf.	2000.0304	Maí 2006
		D-3	



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu og rofs flóðværs Mynd 4 af 6	mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðarlínur 2000.0304 Maí 2006
	Verkframlatafa VST Sigurðar Thoroddsen hf.	D-4



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu og rofs flóðvars Mynd 5 af 6 <small>VST Verkefniástoða Sigurðar Thoroddsen hf.</small>	mkv. 1:50.000 (A3) <small>25 m hæðartímur</small>
		2000.0304 <small>Maí 2006</small>
D-5		

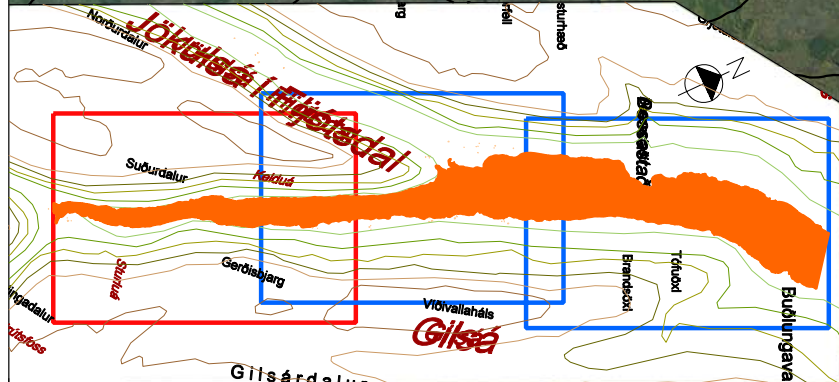
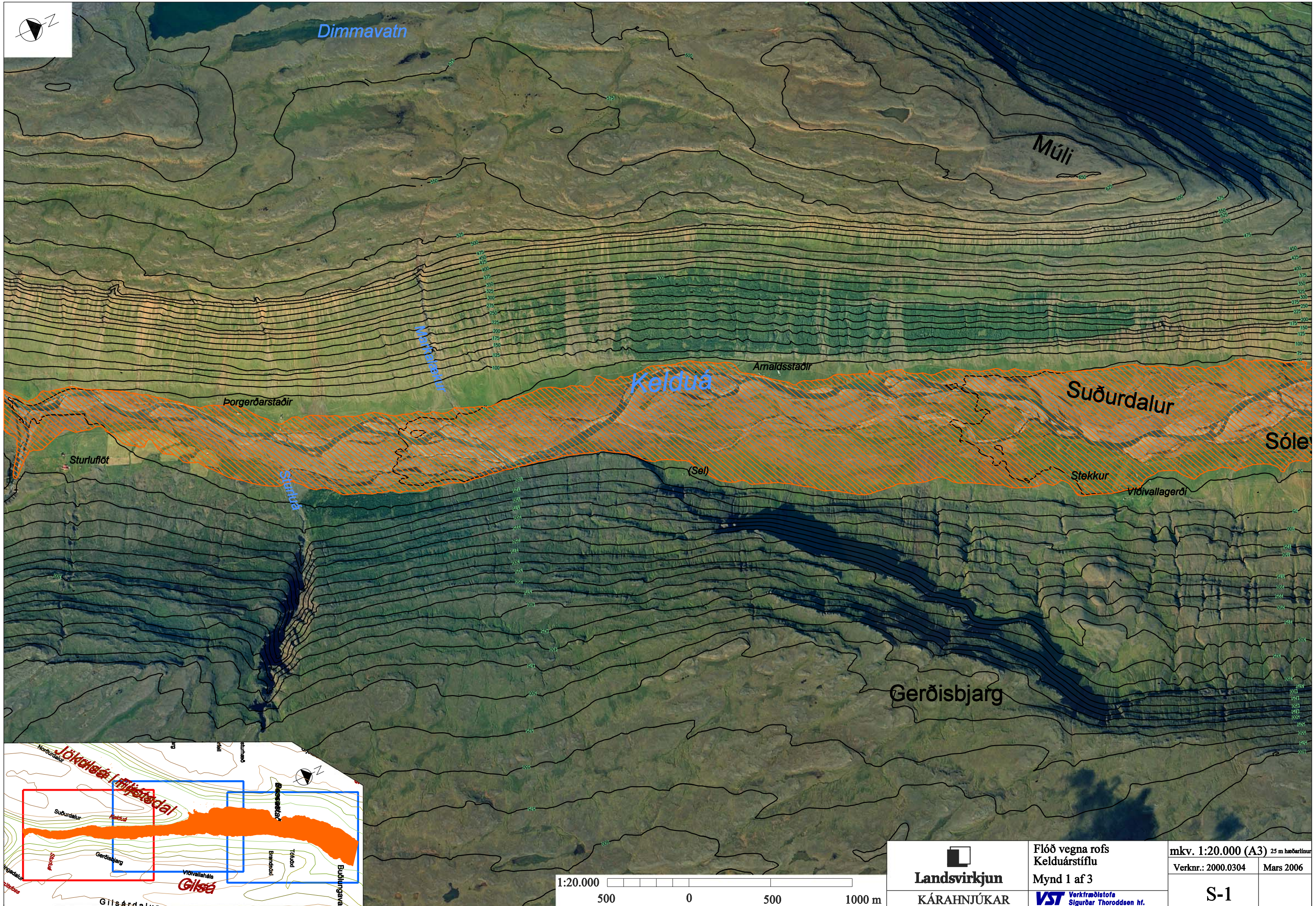




Héraðssandur

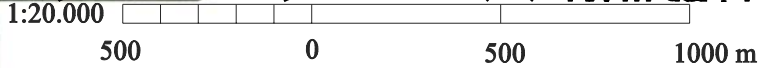
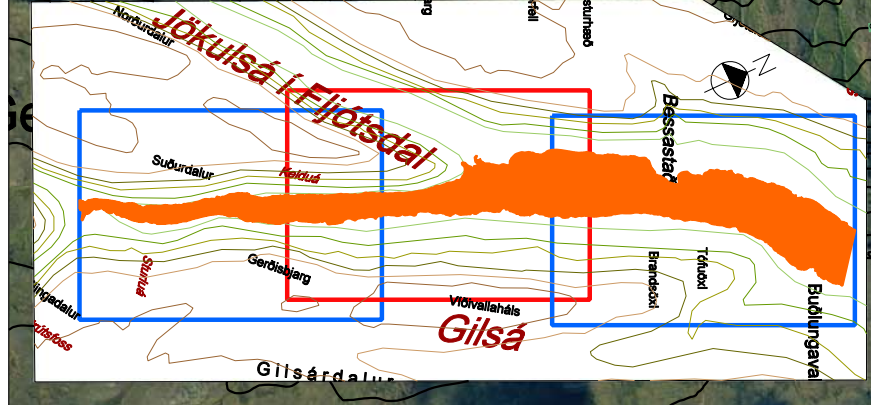
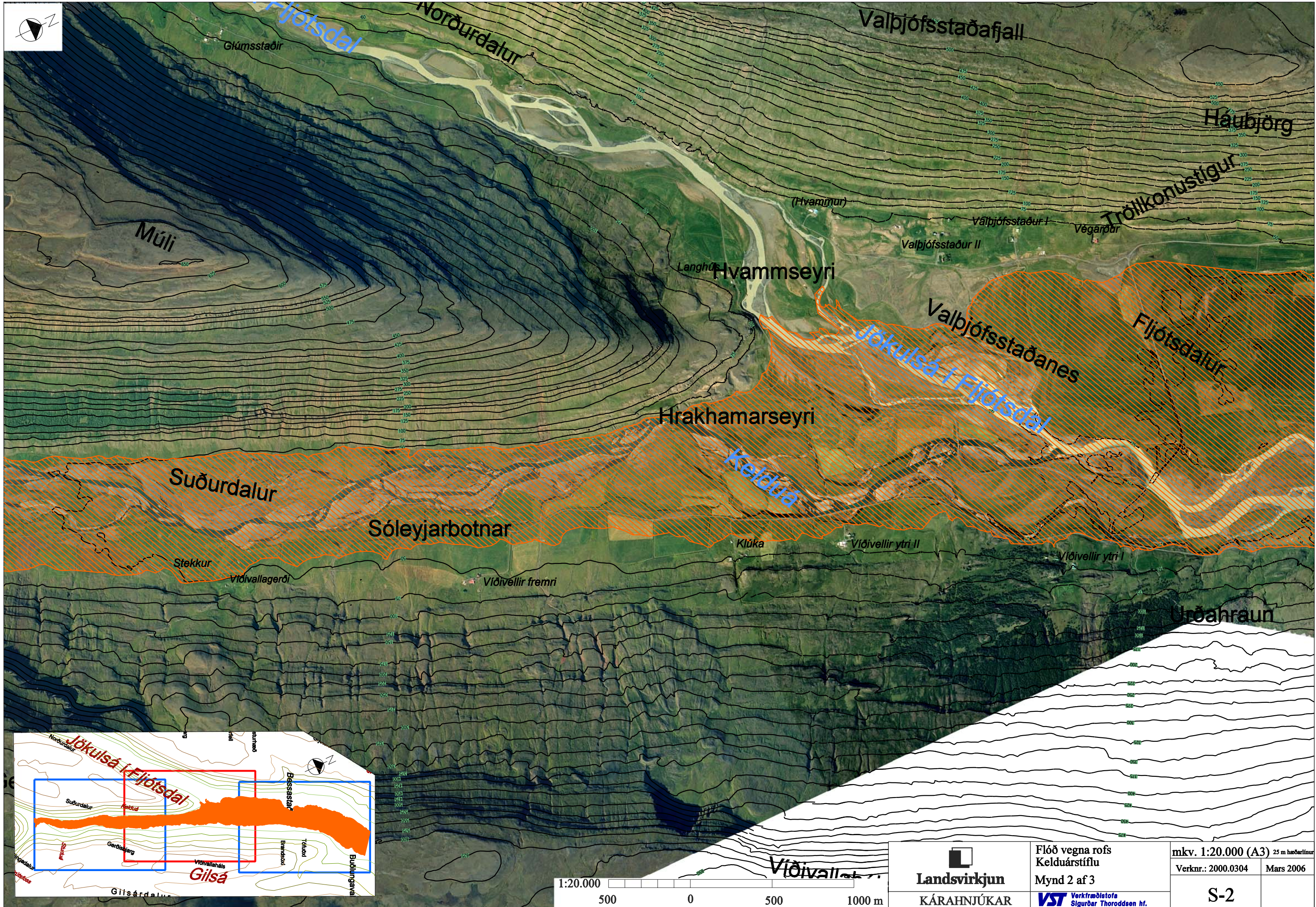
- - - - - Áætlað flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu
 Áætlað flóð vegna rofs flóðvars í Desjarárstíflu
 ————— Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu
 ————— Flóð vegna rofs flóðvars í Desjarárstíflu



500 0 500 1000 1500 2000 2500 m
Loftrmynd: Loftrmyndir ehf.

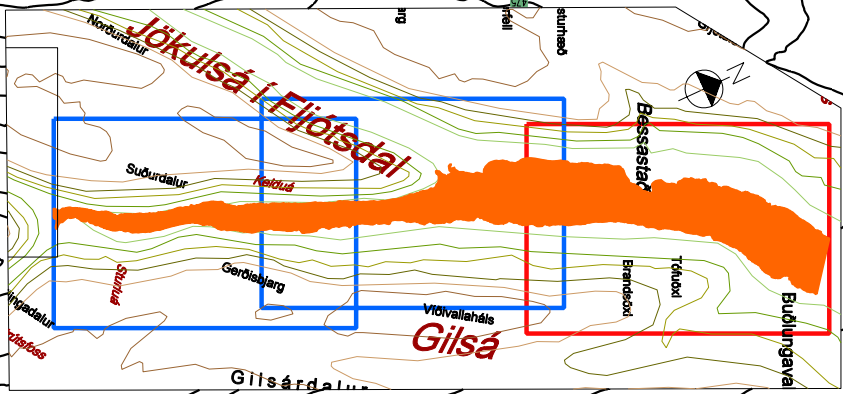
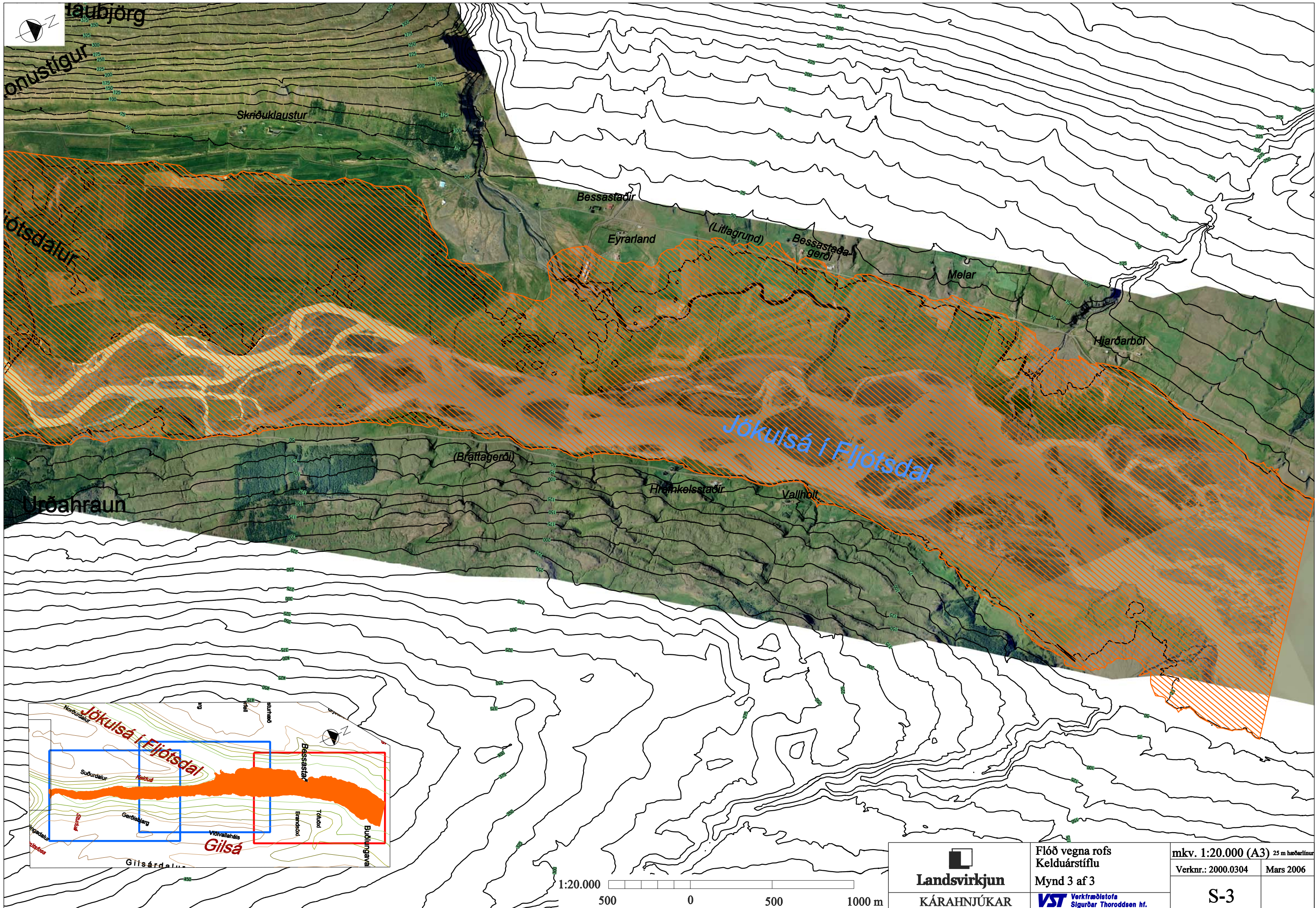
<p>Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR</p>	<p>Flóð vegna innanrofs Desjarárstíflu og rofs flóðvars Mynd 6 af 6</p> <p><small>Verkframlætotofa Sigurðar Thoroddsen hf.</small></p>	<p>mkv. 1:50.000 (A3) 25 m hæðarlínur</p>
		<p>2000.0304 Maí 2006</p>
		<p>D-6</p>





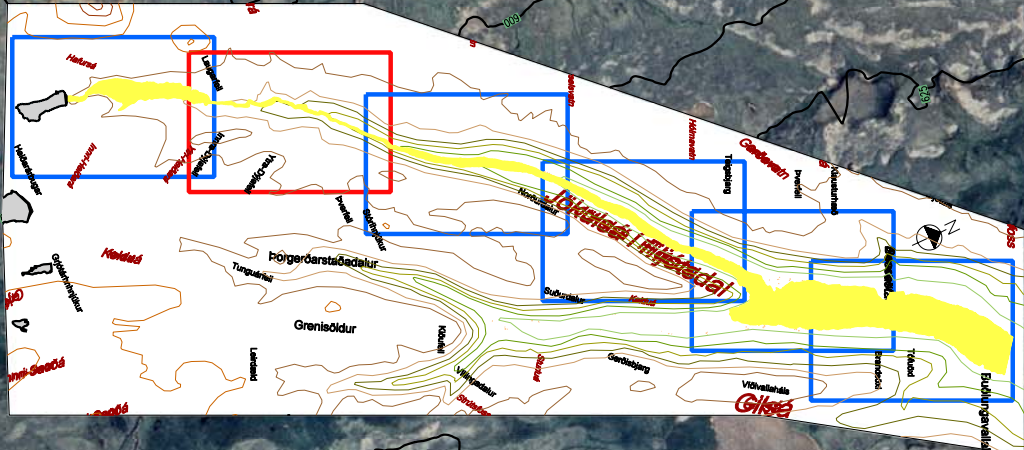
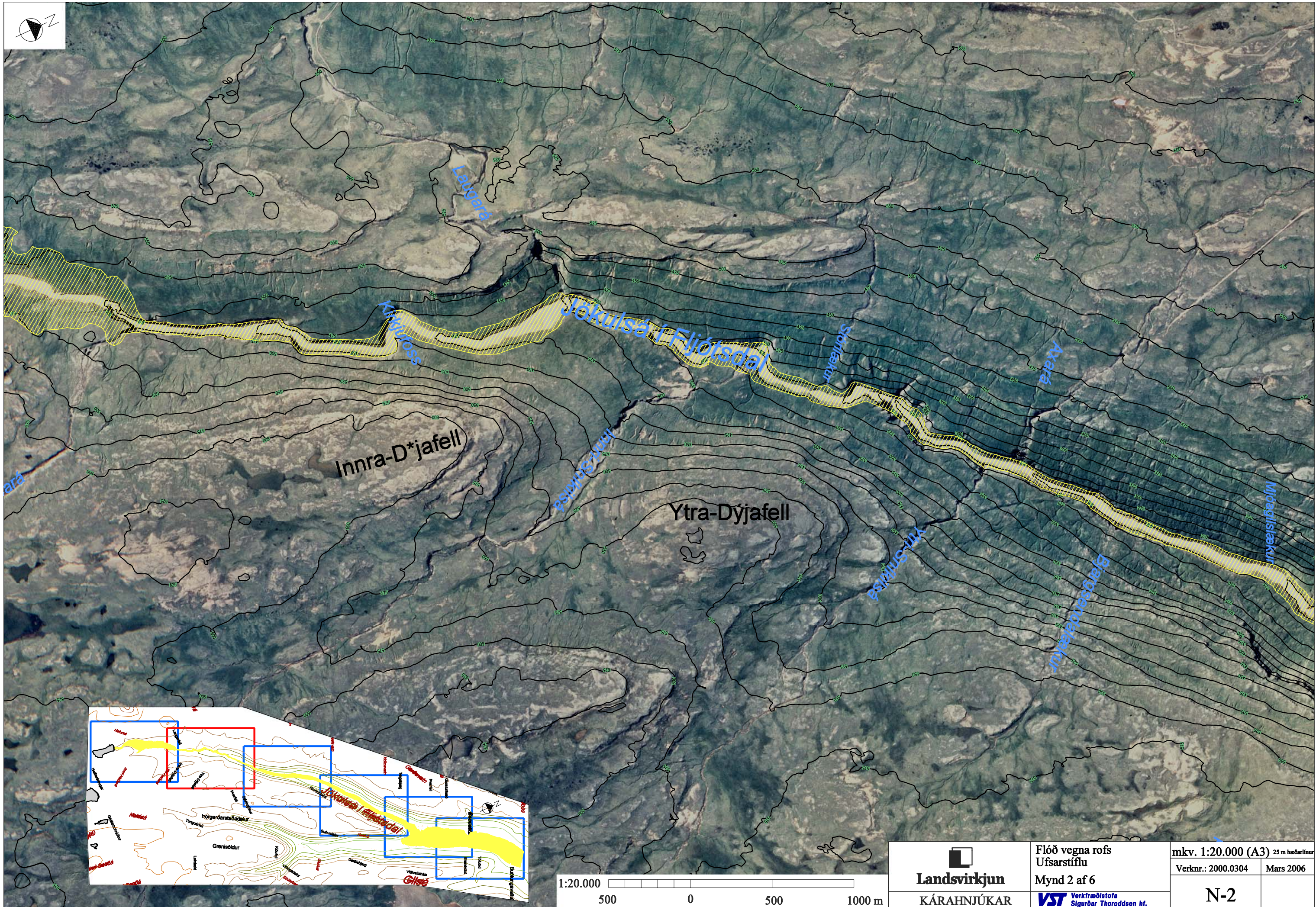
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Kelduárstíflu Mynd 1 af 3	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur	
	 Verkefni Sigurðar Thoroddsen hf.	Verknr.: 2000.0304	Mars 2006
		S-1	





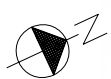
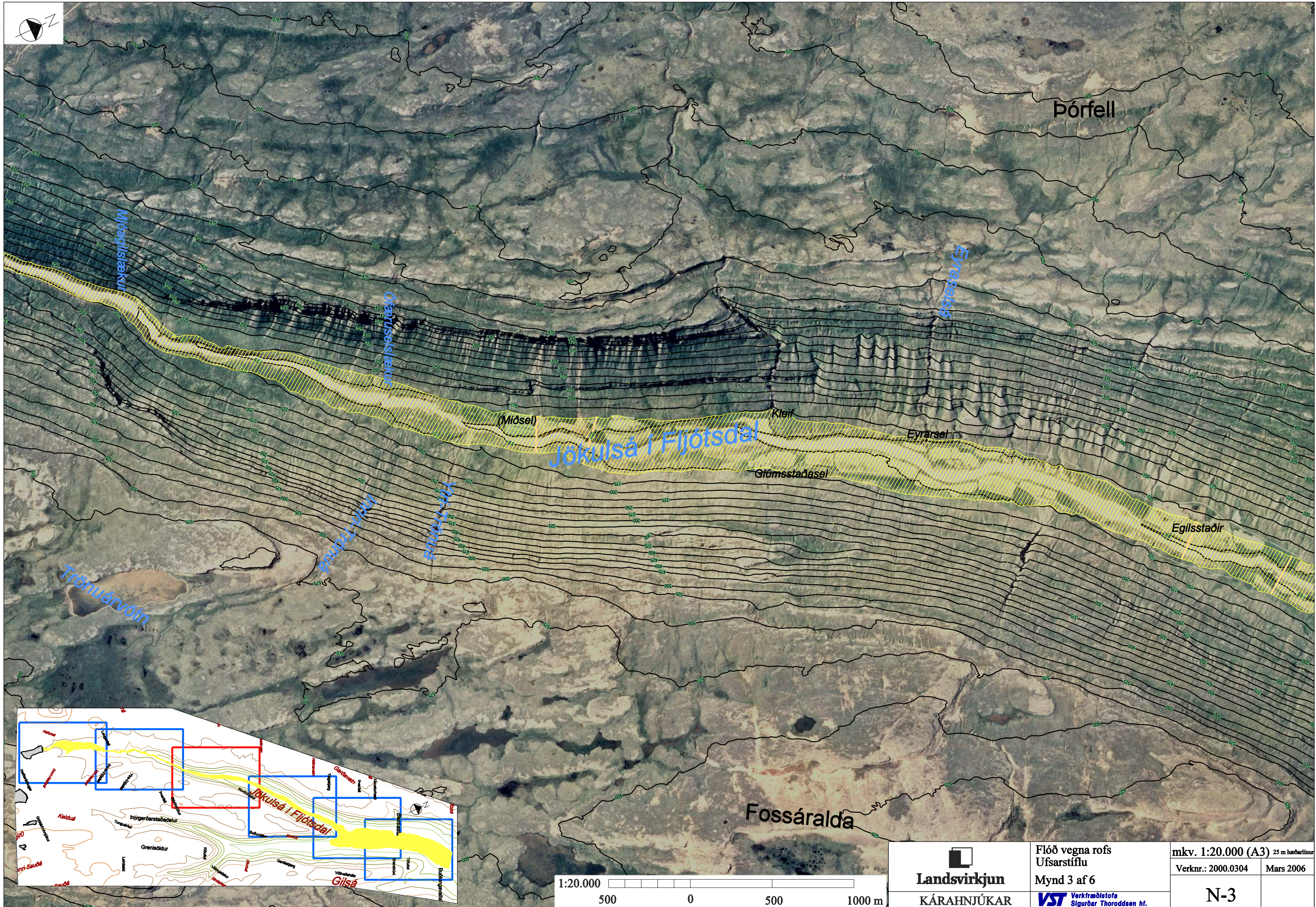
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Kelduárstíflu Mynd 2 af 3	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur Verknr.: 2000.0304 Mars 2006
	 VST Verkefnaástoða Sigurðar Thoroddsen hf.	S-2



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Kelduárstíflu Mynd 3 af 3	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur Verknr.: 2000.0304 Mars 2006
	 Verkefni Sigurðar Thoroddsen hf.	S-3



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Ufsarstíflu Mynd 2 af 6	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur Verknr.: 2000.0304 Mars 2006	
		N-2	

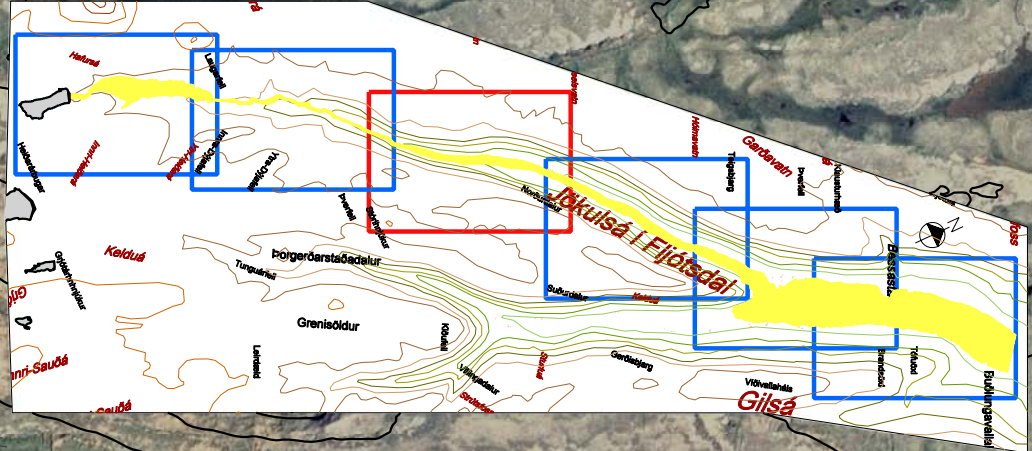




Þórsvell

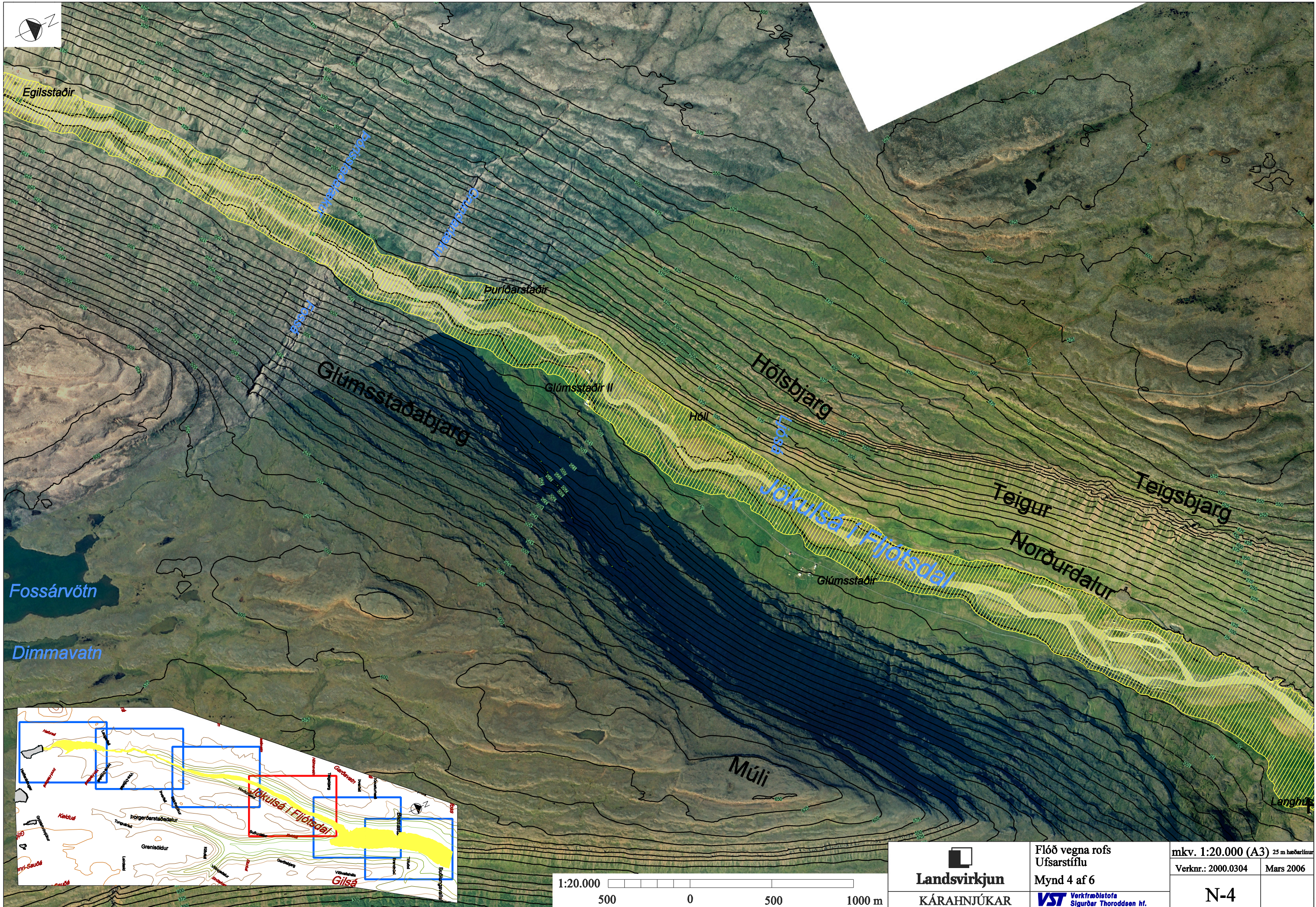
Jökulsá í Fijótsdal

Fossáralda

Egilsstaðir



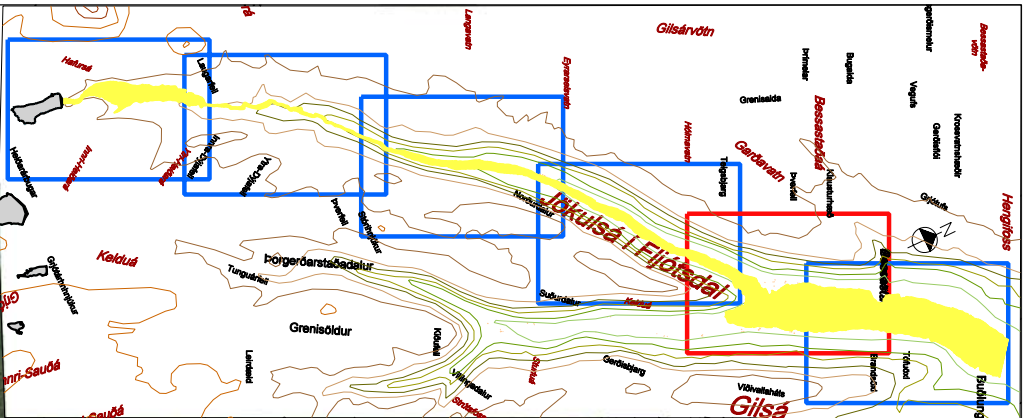
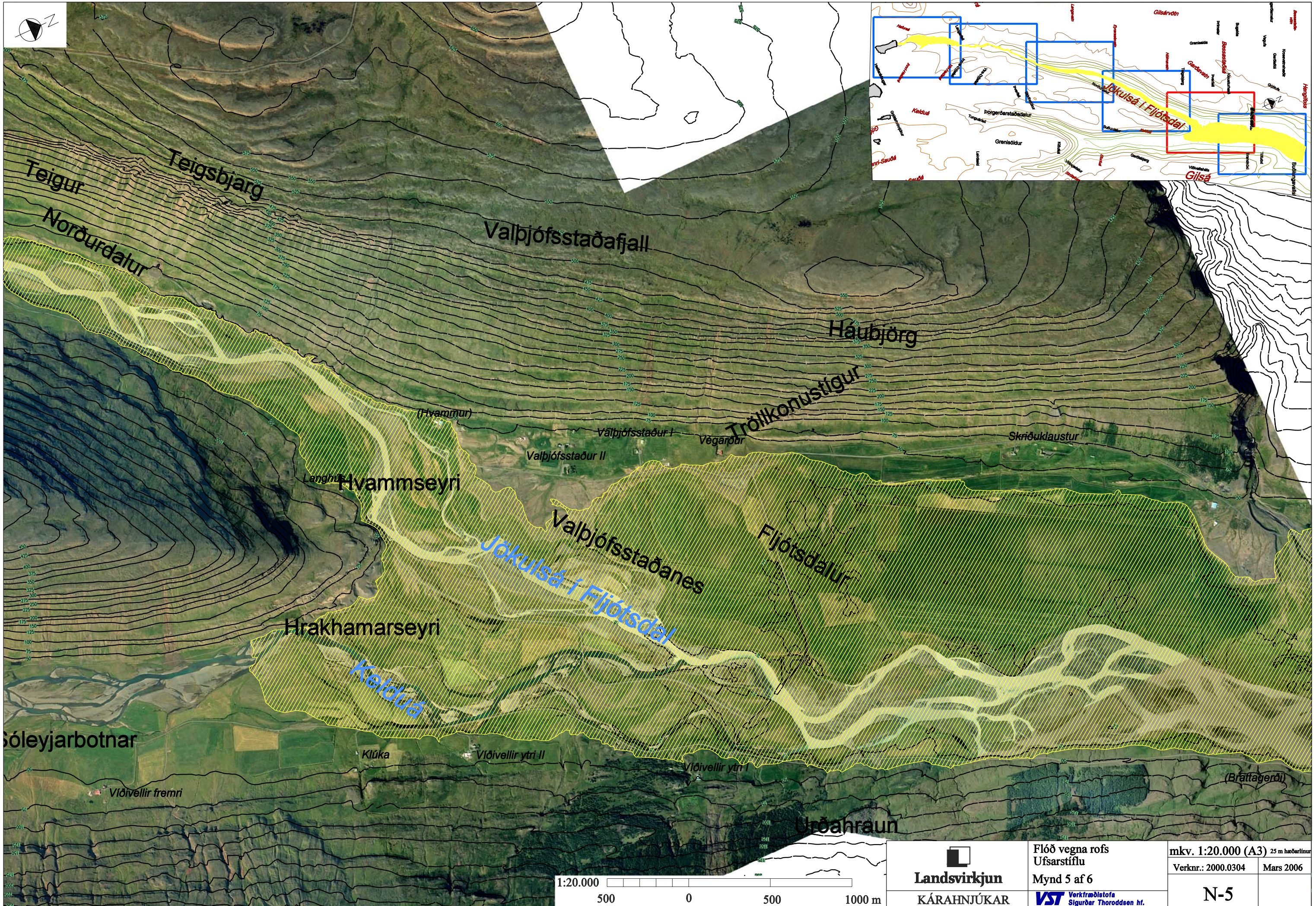
 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Ufsarstíflu Mynd 3 af 6	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur Verknr.: 2000.0304 Mars 2006	
	 VST Verkefnaástoða Sigurðar Thoroddsen hf.	N-3	



Landsvirkjun
KÁRAHNJÚKAR

Flóð vegna rofs
Ufsarstíflu
Mynd 4 af 6
VST Verktæðistöfa
Sigurðar Thoroddsen hf.

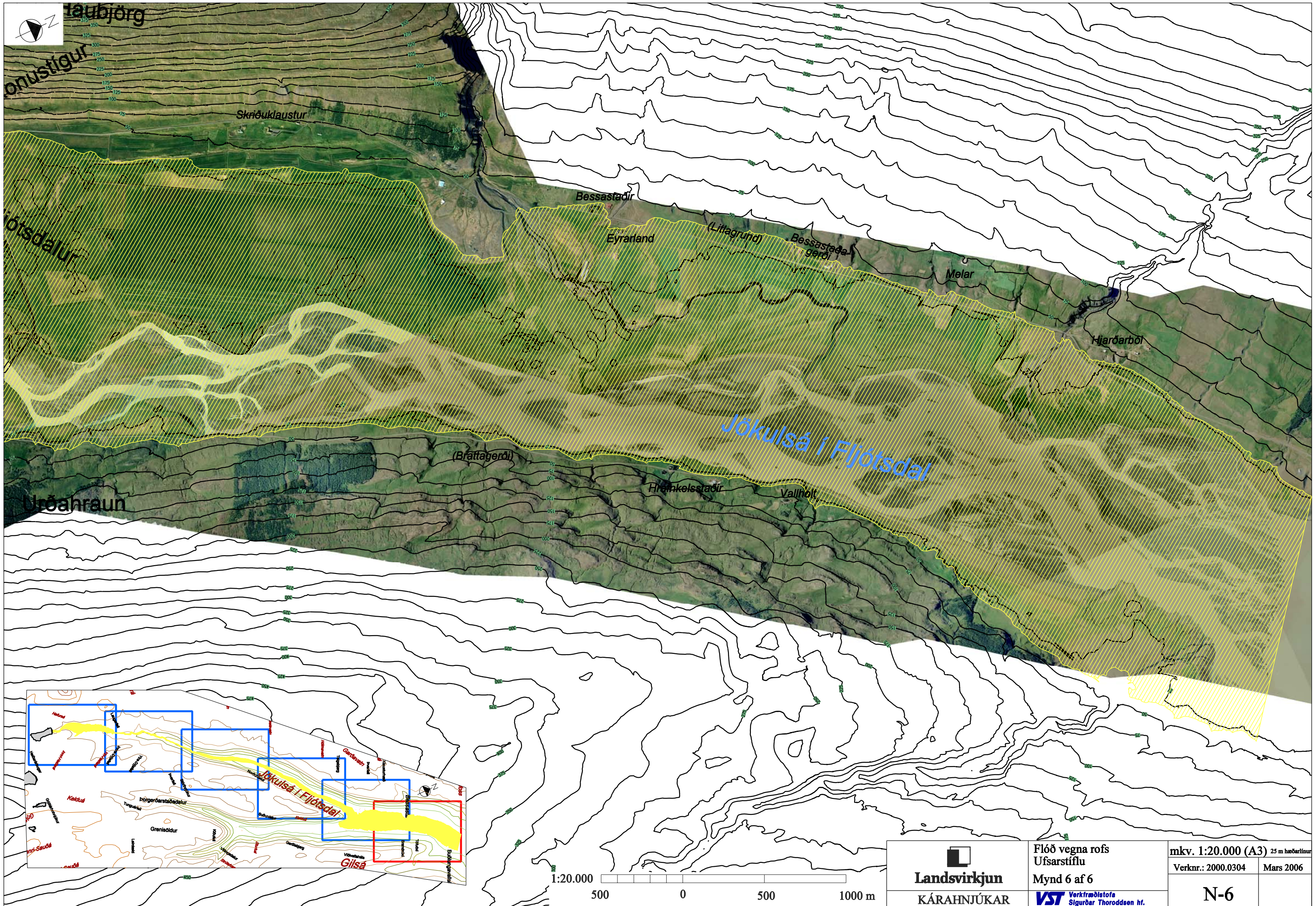
mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur
Verknr.: 2000.0304 Mars 2006
N-4



Landsvirkjun
KÁRAHNJÚKAR

Flóð vegna rofs Ufsarstíflu
Mynd 5 af 6
VST Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf.

mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur
Verknr.: 2000.0304 Mars 2006
N-5



Laubjörg
 Þonustigur

Skriðuklaustur

Bessastadir

Eyrarland

(Litlagrund)

Bessastada-gerdi

Melar

Hjarðarbol

Fjóttsdalur

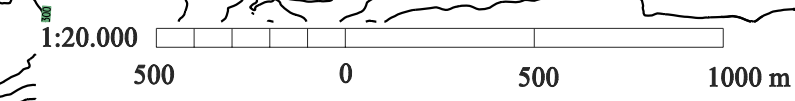
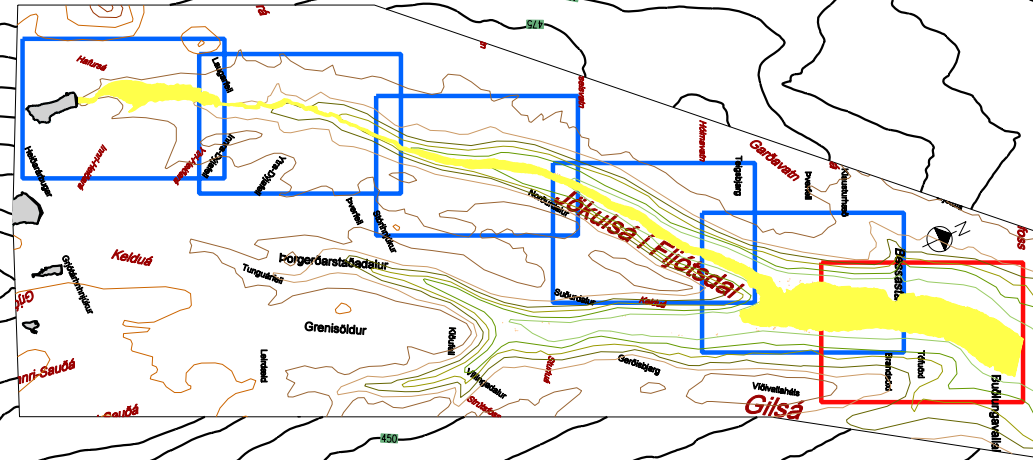
Jökulsá í Fjóttsdal



(Bráttagerði)

Fränkelsstadir

Vallholt

Urðahraun



 Landsvirkjun KÁRAHNJÚKAR	Flóð vegna rofs Ufsarstíflu Mynd 6 af 6	mkv. 1:20.000 (A3) 25 m hæðarlínur Verknr.: 2000.0304 Mars 2006
	 Verkfæðing Sigurðar Thoroddsen hf.	N-6

Viðauki 2 – Niðurstöður útreikninga við bæi við farvegi flóða

Töflur með niðurstöðum útreikninga á eiginleikum flóða við bæi á Jökuldal, Héraði og í Norður- og Suðurdal Fljótisdals.

Tafla V2.1 Eiginleikar flóða við bæi á Jökuldal og Héraði.

Staður	Bær	Fjarlægð frá Kárahnjúka-stíflu		Tilvik 1: Innanrof Kárahnjúkastíflu				Tilvik 2: Innanrof Desjarástíflu				Tilvik 3: Innanrof Sauðárdalsstíflu				Tilvik 4: Yfirstreymi yfir flóðvar í Desjarástíflu			
		Hæð bæjar (m y.s.)	(km)	Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)	Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)	Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)	Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)
Jökuldalur	Brú 1	378	23,4	381,0	12	36,3	6,9	375,0	11	30,3	3,8	360,8	7	16,1	9,1	356,8	6	12,1	2,4
	Brú 2	376	23,4	381,0	12	36,3	6,9	375,0	11	30,3	3,8	360,8	7	16,1	9,1	356,8	6	12,1	2,4
	Eiríksstaðir 1	344	29,0	366,9	7	45,4	7,0	356,7	14	35,2	4,0	337,7	9	16,2	9,3	333,2	9	11,7	2,6
	Grund	341	36,8	330,2	14	53,6	7,1	322,0	18	45,4	4,0	304,3	13	27,7	9,4	298,4	12	21,8	2,8
	Klaustursel	284	40,9	304,6	13	47,7	7,1	295,6	13	38,7	4,1	277,0	10	20,1	9,5	272,1	9	15,2	2,9
	Hákonarstaðir I-IV	320	40,9	304,6	13	47,7	7,1	295,6	13	38,7	4,1	277,0	10	20,1	9,5	272,1	9	15,2	2,9
	Merki (Arnórsstaðir)	288	47,0	277,2	25	51,2	7,2	269,6	22	43,6	4,2	249,7	13	23,7	9,6	244,2	10	18,2	3,0
	Skjöldófsstaðir II	260	51,4	255,0	18	44,0	7,2	247,8	16	36,8	4,3	233,5	11	22,5	9,7	228,8	9	17,8	3,2
	Skjöldófsstaðir I	235	56,0	222,9	14	34,6	7,3	217,6	13	29,3	4,3	205,6	10	17,3	9,8	202,2	9	13,9	3,3
	Skjöldófsstaðaskóli	203	57,2	216,4	14	32,7	7,3	211,7	12	28,0	4,4	197,6	9	13,9	9,8	194,3	8	10,6	3,3
	Hjarðarhagi	190	65,3	179,0	14	35,2	7,4	174,5	13	30,7	4,5	163,1	9	19,3	10,0	159,7	8	15,9	3,7
	Hjarðargrund	180	67,6	167,3	11	29,3	7,6	162,7	11	24,7	4,6	152,0	8	14,0	10,1	149,1	7	11,1	3,7
	Mælivellir	180	68,7	163,0	11	30,5	7,8	158,1	10	22,8	4,6	148,1	8	12,8	10,1	145,3	6	10,0	3,8
	Hnefilsdalur	191	68,7	163,0	11	30,5	7,8	158,1	10	22,8	4,6	148,1	8	12,8	10,1	145,3	6	10,0	3,8
	Hofteigur	145	70,7	157,6	7	38,9	7,8	152,0	7	25,5	5,1	138,7	6	12,2	10,2	135,9	5	9,4	4,0
	Smáragrund	168	71,2	156,5	6	41,5	7,8	150,7	5	26,7	5,1	138,1	4	14,1	10,2	135,1	3	11,1	4,0
	Hvanná II	153	73,8	152,6	8	43,1	7,9	146,5	7	25,2	5,3	132,3	8	11,0	10,4	129,0	6	7,7	4,2
	Hvanná I	129	74,8	151,2	8	46,7	7,9	145,2	7	27,6	5,3	130,8	5	13,2	10,4	126,9	4	9,3	4,4
	Teigasel I	142	78,8	143,5	14	57,6	7,9	136,9	13	31,6	5,3	123,6	8	18,3	10,6	118,2	7	12,9	4,5
	Teigasel II	134	80,5	138,4	10	56,5	7,9	132,5	10	35,0	5,3	120,9	5	23,4	10,6	113,2	6	15,7	4,6
	Hauksstaðir	136	81,1	136,4	9	55,2	7,9	130,9	9	36,1	5,3	118,2	5	23,4	10,6	111,8	5	17,0	4,7
Hrófsstaðir	120	83,3	132,5	11	44,2	7,9	126,0	10	37,7	5,4	110,5	7	22,2	10,7	105,1	6	16,8	4,7	
Gil	104	83,7	131,4	11	45,8	7,9	124,5	11	38,9	5,4	109,4	7	23,8	10,7	103,9	6	18,3	4,7	
Hérað	Selland	128	88,4	103,2	15	44,2	8,0	98,6	14	39,6	5,4	84,8	10	25,8	10,8	79,7	9	20,7	4,8
	Brú á Þjóðvegi nr. 1	93	88,6	102,0	15	43,0	8,0	97,4	14	38,4	5,4	83,9	10	24,9	10,8	78,9	9	19,9	4,8
	Brúarásaskóli	122	89,4	97,8	16	38,8	8,0	92,7	16	33,7	5,4	80,7	10	21,7	10,8	76,1	8	17,1	4,9
	Brúarás	122	89,4	97,8	16	38,8	8,0	92,7	16	33,7	5,4	80,7	10	21,7	10,8	76,1	8	17,1	4,9
	Blöndugerði	79	91,0	82,8	17	27,3	8,0	80,4	14	24,9	5,5	70,6	10	15,1	10,8	67,2	9	11,7	4,9
	Fossvellir I	79	91,1	81,8	16	26,8	8,0	79,4	14	24,4	5,5	69,9	10	14,9	10,8	66,6	8	11,6	4,9
	Fossvellir II	84	91,4	79,1	16	25,1	8,0	76,8	12	22,8	5,5	68,0	10	14,0	10,8	65,1	8	11,1	4,9
	Blöndubakki	77	91,9	75,7	20	21,7	8,0	73,7	10	19,7	5,5	65,6	10	11,6	10,8	63,1	7	9,1	4,9
	Hrafnabjörg I	79	93,3	70,0	12	18,5	8,0	67,6	8	16,1	5,5	60,3	5	8,8	10,9	58,3	4	6,8	5,0
	Hrafnabjörg II	71	93,8	68,3	10	18,0	8,1	65,7	8	15,4	5,5	58,8	5	8,5	10,9	56,8	4	6,5	5,0
	Hrafnabjörg IV	67	94,8	65,0	8	17,3	8,1	62,4	7	14,7	5,6	55,9	5	8,2	11,0	54,0	4	6,3	5,1
	Litli-Bakki	55	98,3	56,5	6	18,0	8,2	54,2	6	15,7	5,8	45,8	4	7,3	11,1	43,9	3	5,4	5,3
	Hallfreðarstaðir 1 & 2	65	98,7	55,8	6	18,2	8,3	53,4	6	15,8	5,9	44,8	4	7,2	11,2	42,8	3	5,2	5,3
	Hallfreðarstaðahjáleiga	75	98,9	55,5	6	18,3	8,3	53,0	6	15,8	5,9	44,3	4	7,1	11,2	42,3	3	5,1	5,4
	Vörðubrún	64	99,9	54,1	6	19,2	8,3	51,1	5	16,2	5,9	42,7	3	7,8	11,3	40,3	3	5,4	6,0
	Hallgeirsstaðir	71	100,1	53,9	6	19,3	8,3	50,7	5	16,1	5,9	42,6	3	8,0	11,3	40,1	3	5,5	6,0
	Surtsstaðir	56	101,9	51,6	6	18,3	8,3	48,3	5	15,0	6,0	41,1	3	7,8	11,4	38,5	2	5,2	6,2
	Breiðamörk 1 & 2	45	101,9	51,6	6	18,3	9,3	48,3	5	15,0	6,0	41,1	3	7,8	11,4	38,5	2	5,2	7,2
	Sleðbrjótur	44	107,0	41,2	3	16,4	8,5	35,4	5	10,6	6,2	33,3	2	8,5	11,7	31,3	1	6,5	6,8
	Ytri-Galtarstaðir	47	107,0	41,2	3	16,4	9,5	35,4	5	10,6	6,2	33,3	2	8,5	11,7	31,3	1	6,5	7,8
	Hlíðarhús	17	113,9	19,0	4	9,0	8,7	16,7	3	6,7	6,6	14,8	2	4,8	12,2	13,7	2	3,7	7,4
	Fagrahlíð	22	116,5	14,5	3	7,6	8,9	13,0	3	6,1	6,9	10,6	1	3,7	12,4	9,9	1	3,0	7,8
	Torfastaðir	21	118,3	12,2	1	7,2	9,1	11,1	2	6,1	7,1	7,9	0	2,9	12,7	7,2	0	2,2	8,4
	Skriðufell	12	119,1	11,7	1	8,0	9,1	10,5	2	6,8	7,2	7,5	0	3,8	12,7	6,8	0	3,1	8,6
	Hólmatunga	4	120,0	11,3	1	9,2	9,2	9,9	3	7,8	7,4	6,8	0	4,7	12,8	6,2	0	4,1	8,8
	Húsey	5	120,6	11,1	1	10,0	9,2	9,4	3	8,3	7,5	6,1	1	5,0	12,9	5,5	0	4,4	9,0
	Ketilsstaðir	7	121,0	10,9	1	10,6	9,2	9,2	3	8,9	7,5	5,5	1	5,2	13,0	4,8	1	4,5	8,2
Bakkagerði	4	121,0	10,9	1	10,6	9,2	9,2	3	8,9	7,5	5,5	0	5,2	13,0	4,8	1	4,5	8,2	

Tafla V2.2 Eiginleikar flóða við bæi í Fljótsdal.

Staður	Bær	Fjarlægð frá stíflu (km)	Hæð bæjar (m y.s.)	Tilvik 5: Yfirstreymisflóð úr Ufsarlóni				Tilvik 6: Yfirstreymisflóð úr Kelduárlóni			
				Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)	Mesta vatnshæð (m y.s.)	Mesti vatnshraði (m/s)	Mesta vatnsdýpi í farvegi (m)	Tími mestu vh. frá upphafi rofs (klst.)
Norðurdalur	Egilsstaðir	20,6	126	114,0	10,5	10,6	0,7				
	Þuríðarstaðir	23,6	79	86,6	10,8	12,1	0,8				
	Glúmsstaðir II	24,7	79	73,9	11,1	10,5	0,8				
	Glúmsstaðir I	26,2	69	59,1	8,9	9,8	0,8				
	Langhús	30,0	39	41,3	6,3	4,9	0,9				
	Valþjófsstaður	31,6	38	34,0	3,9	5,9	1,1	31,8	3,0	3,7	2,4
Suðurdalur	Sturluflöt	20,3	113					110,4	11,1	11,4	2,1
	(Arnaldsstaðir)	25,0	65					63,6	4,9	6,5	2,2
	Víðivellir - fremri	28,6	56					42,2	4,5	7,0	2,3
	Klúka	30,2	47					35,0	3,9	5,7	2,4
	Víðivellir - ytri II	30,8	43	36,1	5,2	8,1	1,1	33,1	3,4	5,1	2,4
	Víðivellir - ytri I	32,1	42	33,3	3,3	7,9	1,2	30,0	2,8	4,6	2,5
Fljótsdalur*	Skriðuklaustur	34,4	63	31,2	2,1	9,2	1,4	27,2	2,5	5,2	2,6
	Bessastaðir	36,7	29	30,8	1,5	9,8	1,7	27	1,5	6,0	2,8
	Eyrarland	36,7	29	30,8	1,5	9,8	1,7	27	1,5	6,0	2,8
	Hrafnkellsstaðir	37,4	38	30,7	1,0	10,7	1,8	26,9	1,0	6,9	2,9
	Litla-grund	37,4	29	30,7	1,0	10,7	1,8	26,9	1,0	6,9	2,9
	Bessastaðagerði	37,9	30	30,6	1,0	10,6	1,9	26,9	1,0	6,9	2,9
	Vallholt	38,0	55	30,6	1,0	10,6	1,9	26,8	1,0	6,8	2,9
	Melar	38,8	64	30,5	1,0	10,5	2,0	26,8	1,0	6,8	3,0
	Hjarðaból	39,6	70	30,4	1,0	10,4	2,1	26,7	1,0	6,7	3,1

* Fjarlægð frá stíflu í Fljótsdal á við Ufsarstíflu. Vegalengd frá Kelduárstíflu er um 950 m styttri.

Viðauki 3 – Skýrsla Sweco International

Kárahnjúkar Hydroelectric Project – Dambreak Simulation for Háslón Reservoir, Anders Söderström, Stockholm February 2006.

Landsvirkjun

**Kárahnjúkar Hydroelectric Project -
Dambreak Simulation for Háslón
Reservoir**

**Anders Söderström
Stockholm 6 February 2006**

Project No. 2158015

SWECO INTERNATIONAL
Gjörwellsgatan 22
P.O. Box 34044
SE-100 26 Stockholm, Sweden
Telephone +46 8 695 65 00
Fax +46 8 695 65 10

Project 2158015; ANSD
p:\2118\2158015\10 doc\report karahnjukar dambreak 2006-02-
06.doc



1 Introduction

During the preparation of the report “FLÓÐ VEGNA STÍFLUROFS” (Landsvirkjun, 2001) four dambreak scenarios were considered as part of the risk analysis. The original simulation files have not been possible to find. Thereby, a simulation model has been remade in order to produce the same results as were presented in 2001.

Some additional dambreak simulations have been conducted as new scenarios are identified.

2 Methodology

The dambreak simulations are done with the numerical software MIKE 11, developed by Danish Hydraulic Institute, DHI. The model consists of four different simulation files; river network, cross-sections, boundary conditions and hydrodynamic parameters.

Four versions of the calculation model has been set up, representing the four dambreak scenarios:

1. Dambreak of Kárahnjúkastífla - main dam.
2. Dambreak of Sauðárdalsstífla - west sidedam.
3. Dambreak of Desjarárstífla - east sidedam.
4. Dambreak of fuseplug in the east sidedam.

The only difference between scenarios 3 and 4 is the description of the dambreak breach.

2.1 River network

The river networks are described in Chapter 2.1.1-2.1.2.

2.1.1 Kárahnjúkastífla - main dam

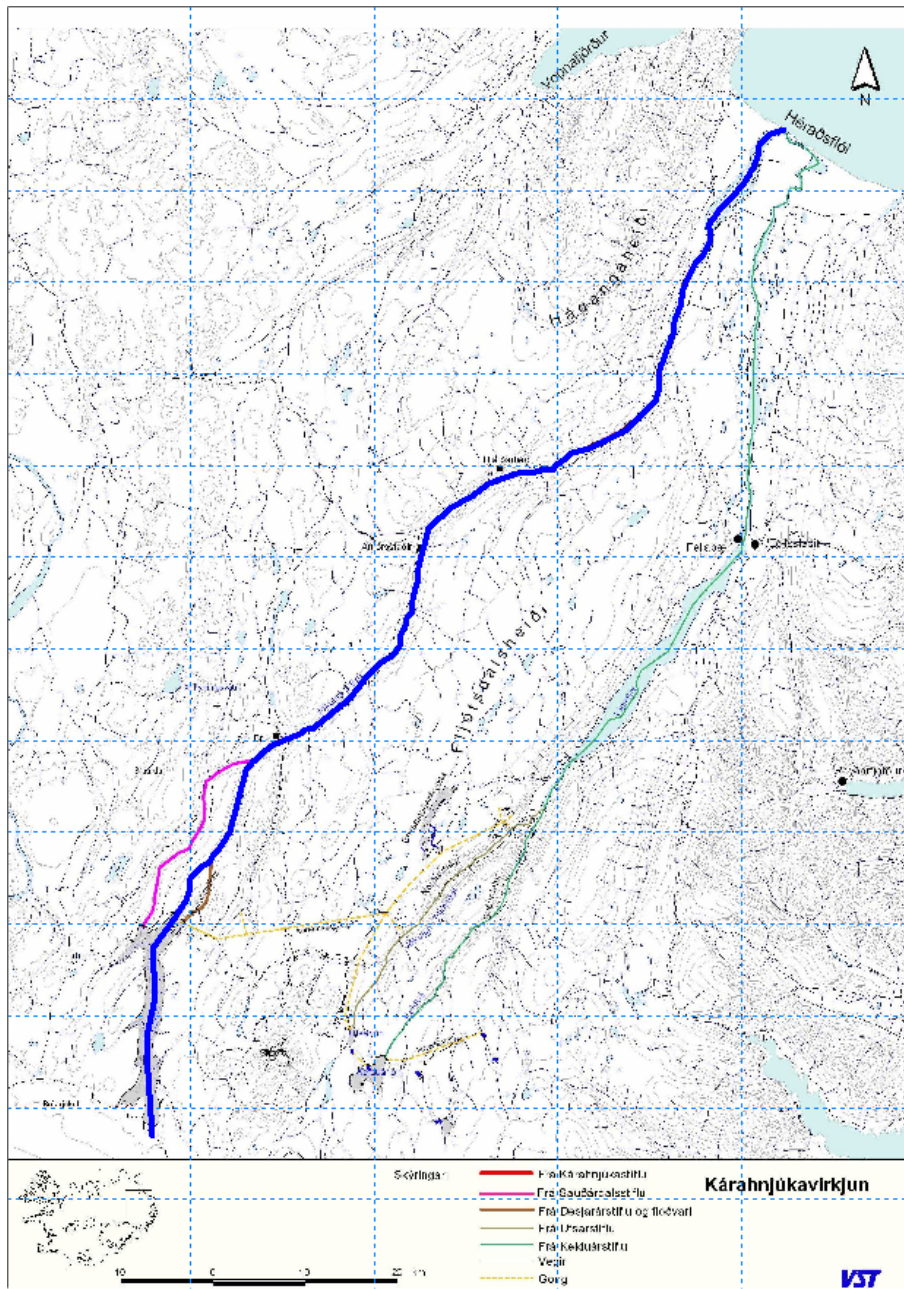


Figure 2.1. The distance from the main dam to the sea is 122.3 km.

ra02e 2005-01-17

2.1.2 Sauðárdalsstífla - west sidedam

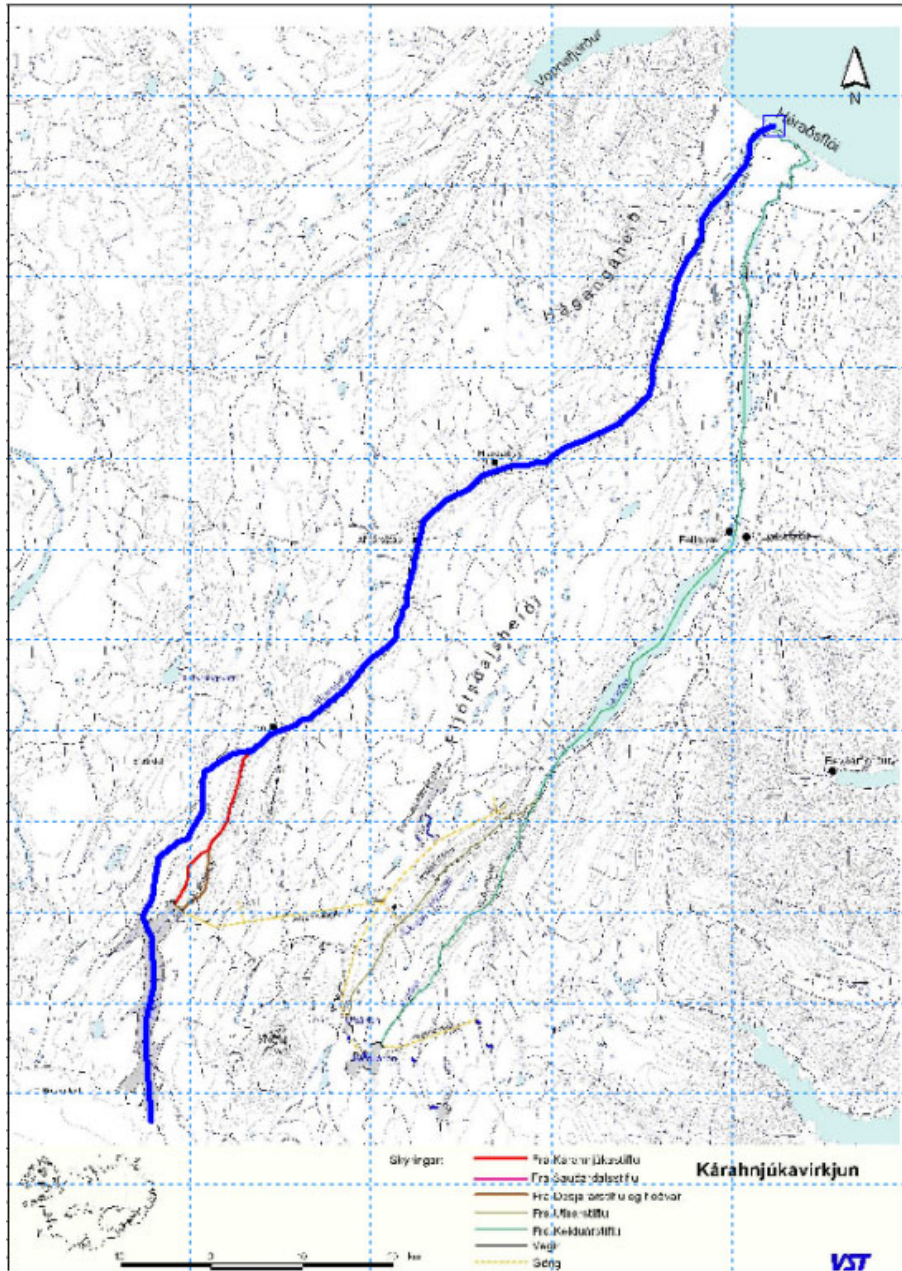


Figure 2.2. The distance from the west dam to the sea is 133.2 km.

ra02e 2005-01-17

2.1.3 Desjarárstífla - east sidedam

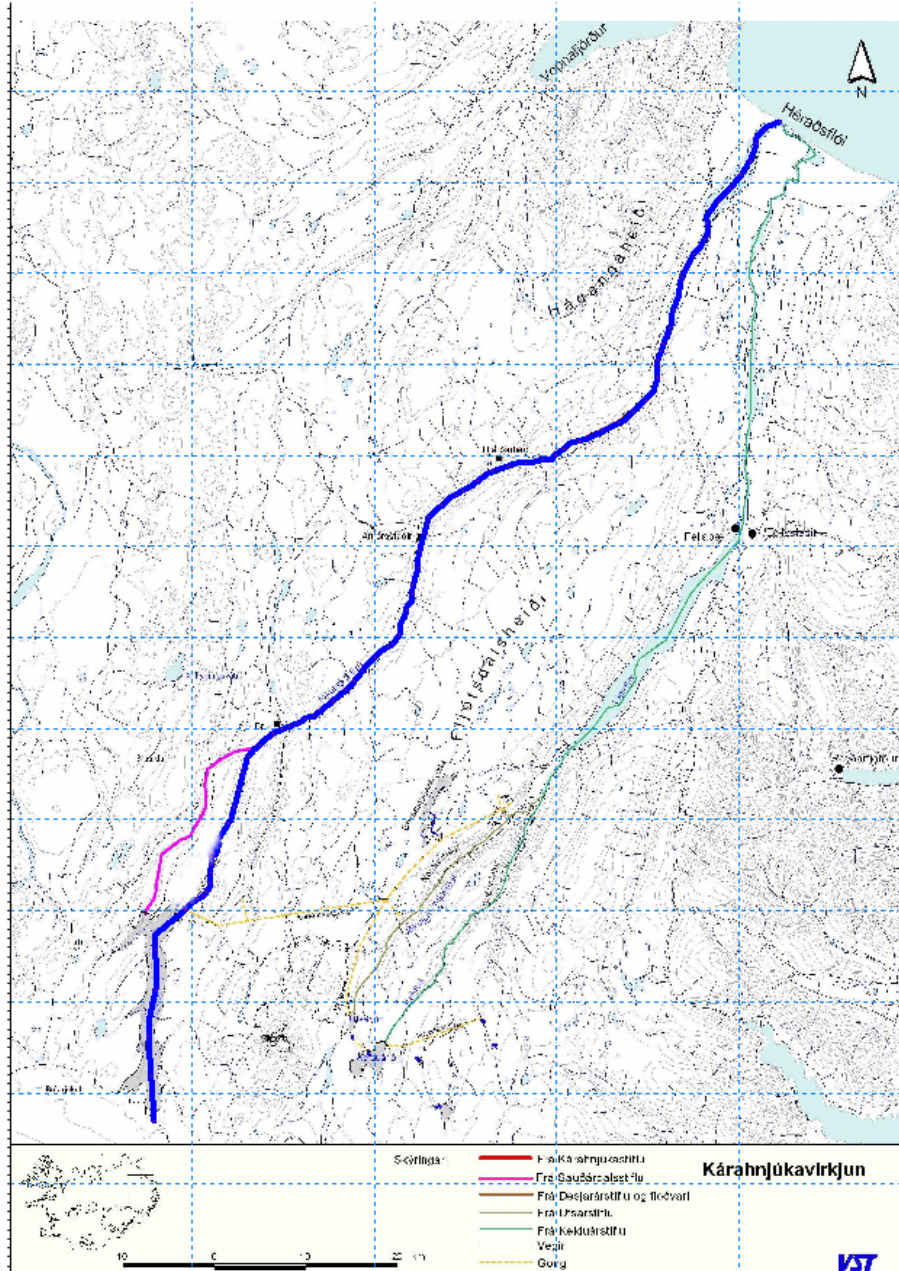


Figure 2.3. The distance from the east dam to the sea is 122.9 km.

2.2 Cross-sections

The topographical data used for the model is river cross-sections derived in year 2000 from 1 and 5 meter contour maps.

ra02e 2005-01-17

2.2.1 Kárahnjúkastífla - main dam

The dambreak model of Kárahnjúkastífla main dam consists of 77 river cross-sections.

2.2.2 Sauðárdalsstífla - west sidedam

The dambreak model of Sauðárdalsstífla west sidedam consists of 77 river cross-sections.

2.2.3 Desjarárstífla - east sidedam

The dambreak model of Desjarárstífla east sidedam consists of 84 river cross-sections.

2.3 Boundary conditions

For all scenarios, only the flood wave due to a dambreak is considered, i.e. no combination of a high flow situation is considered.

For all scenarios the following boundary conditions are equal:

- The inflow discharge (upstream boundary condition) to all models is set to 100 m³/s.
- The downstream boundary condition is a discharge/water level (Q/h) relation curve where Q=0 equals h=0 m.a.s.l. and Q=150 000 m³/s equals h=10.77 m.a.s.l.
- The dams are represented by a structure in the numerical model that maintains the water level in the reservoir at 630 m.a.s.l. (crest level), except for the fuseplug which is designed at +629 m.a.s.l.



Figure 2.4. Explanation of the breach side slope. Presented as 1/SS in Chapter 2.3.1-2.3.4.

2.3.1 Kárahnjúkastífla - main dam

The following dambreak parameters has been used.

Breach bottom level: 445 m.a.s.l.

Breach bottom width: 45 m

Breach side slope: 1/0.19

Breach developing time: 8 h

2.3.2 Sauðárdalsstífla - west sidedam

The following dambreak parameters has been used.

Breach bottom level: 605 m.a.s.l.

Breach bottom width: 200 m (220 m previously used)

Breach side slope: 1/0.001

Breach developing time: 8 h

2.3.3 Desjarárstífla - east sidedam

The following dambreak parameters has been used.

Breach bottom level: 575 m.a.s.l.

Breach bottom width: 130 m

Breach side slope: 1/0.6

Breach developing time: 3 h

2.3.4 Desjarárstífla fuseplug in east sidedam

The following dambreak parameters has been used.

Breach bottom level: 605 m.a.s.l.

Breach bottom width: 80 m (100 m previously used)

Breach side slope: 1/0.5

Breach developing time: 1 h

2.4 Hydrodynamic parameters

All simulations are done with a Manning number of $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

3 Results

The results from the simulations are presented in Appendice 1.

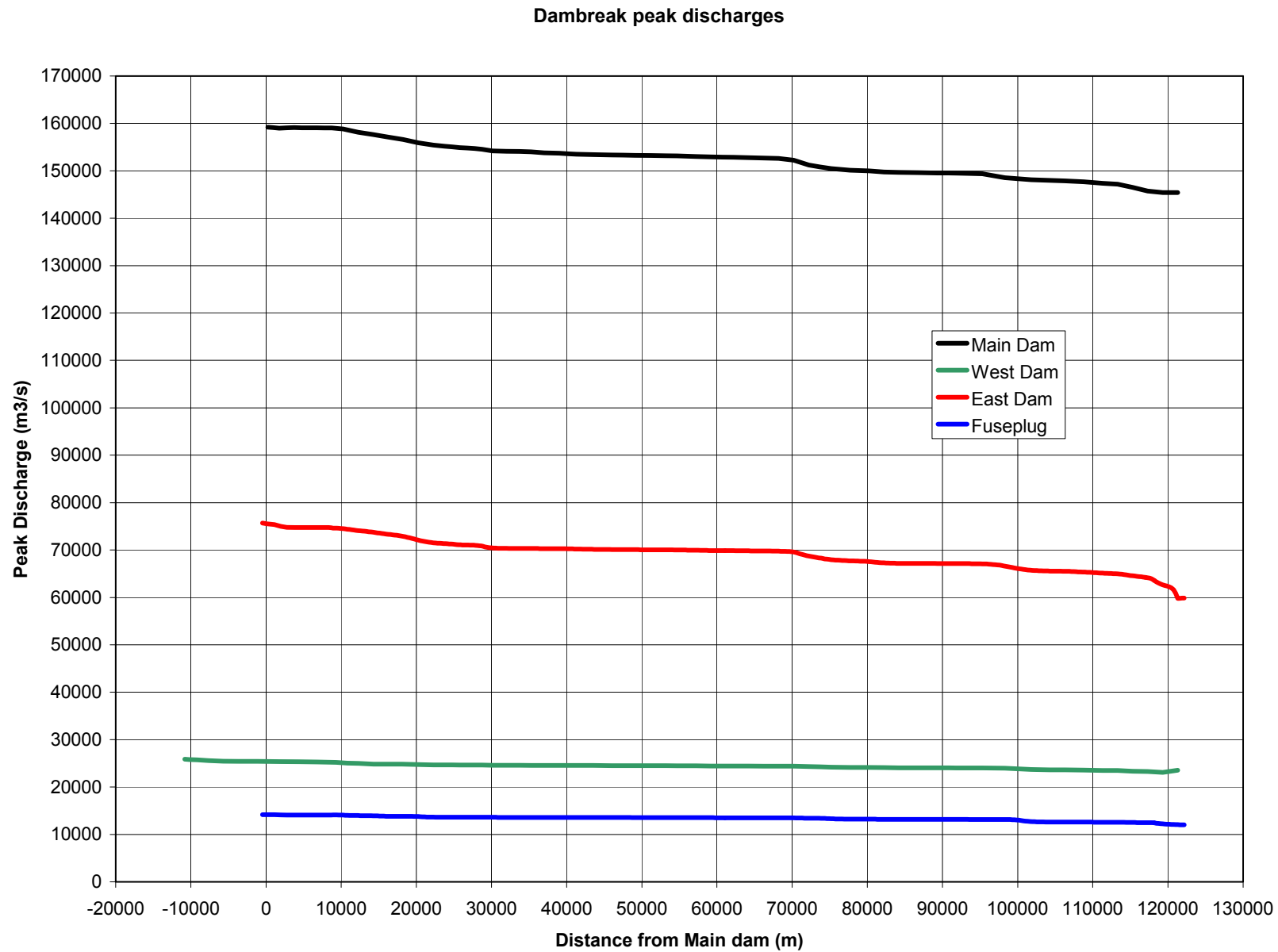


Figure 1. Dambreak peak discharges.

Dambreak peak water levels

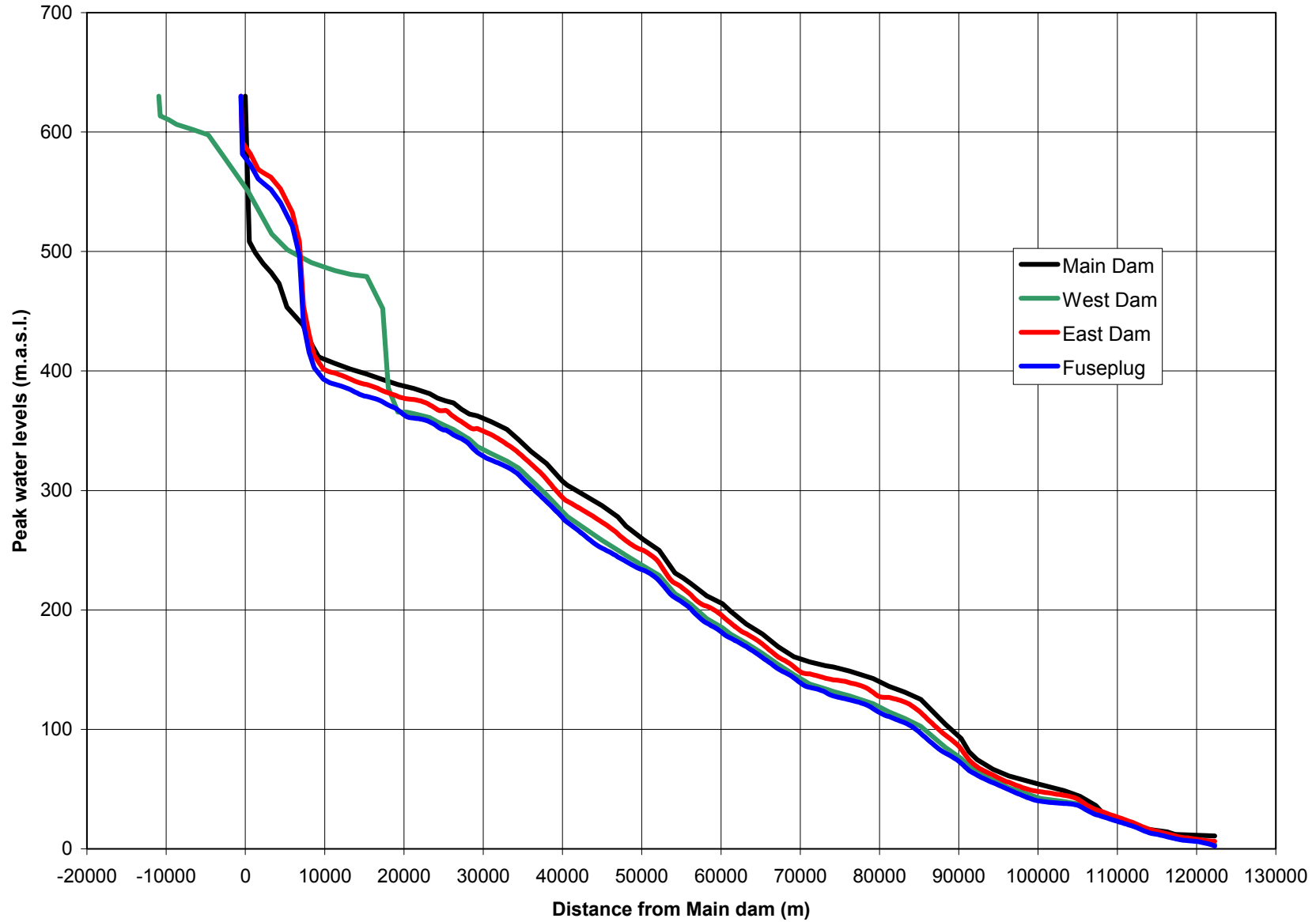


Figure 2. Dambreak peak water levels.

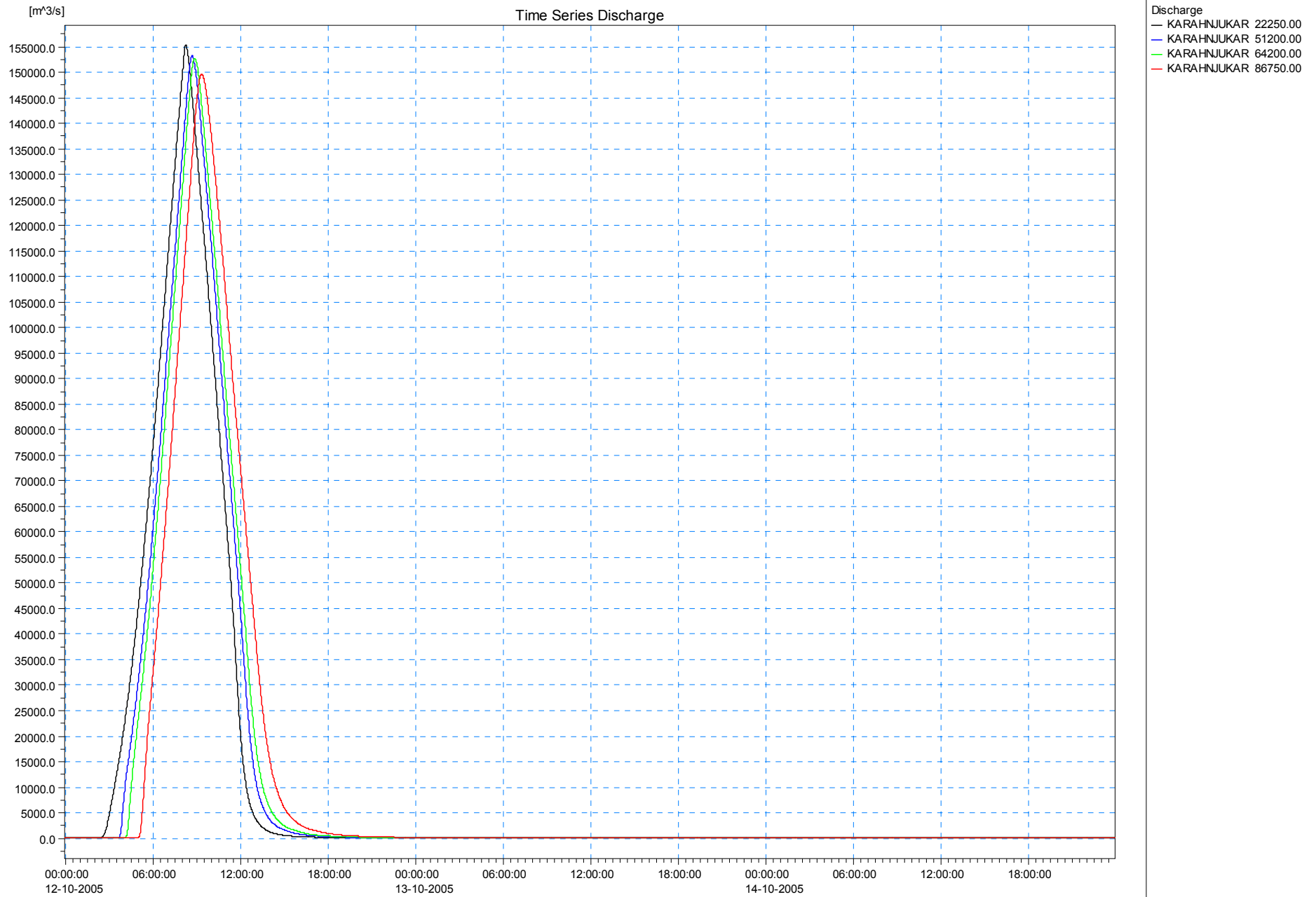


Figure 3. Discharge peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for main dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

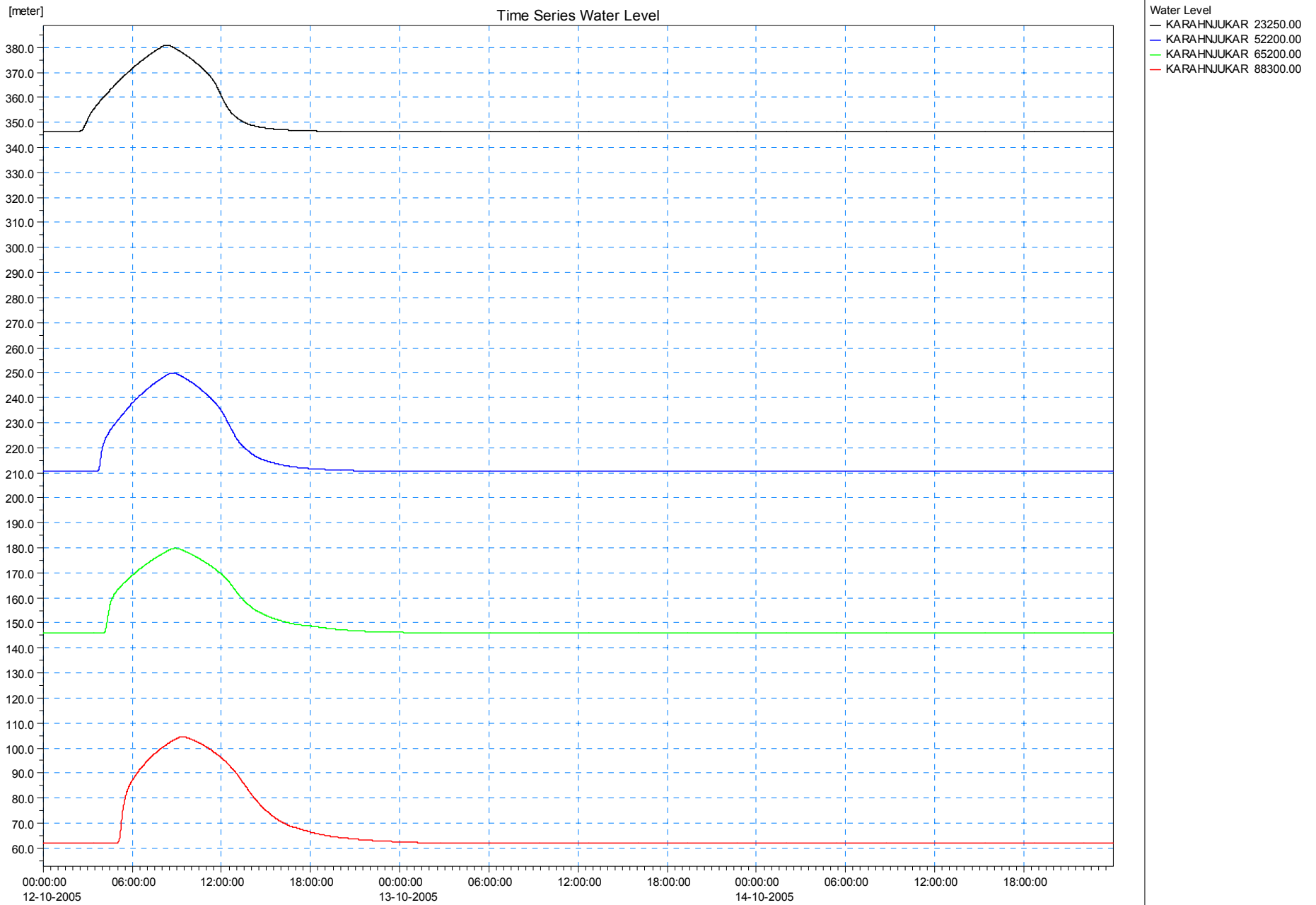


Figure 4. Water level peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for main dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

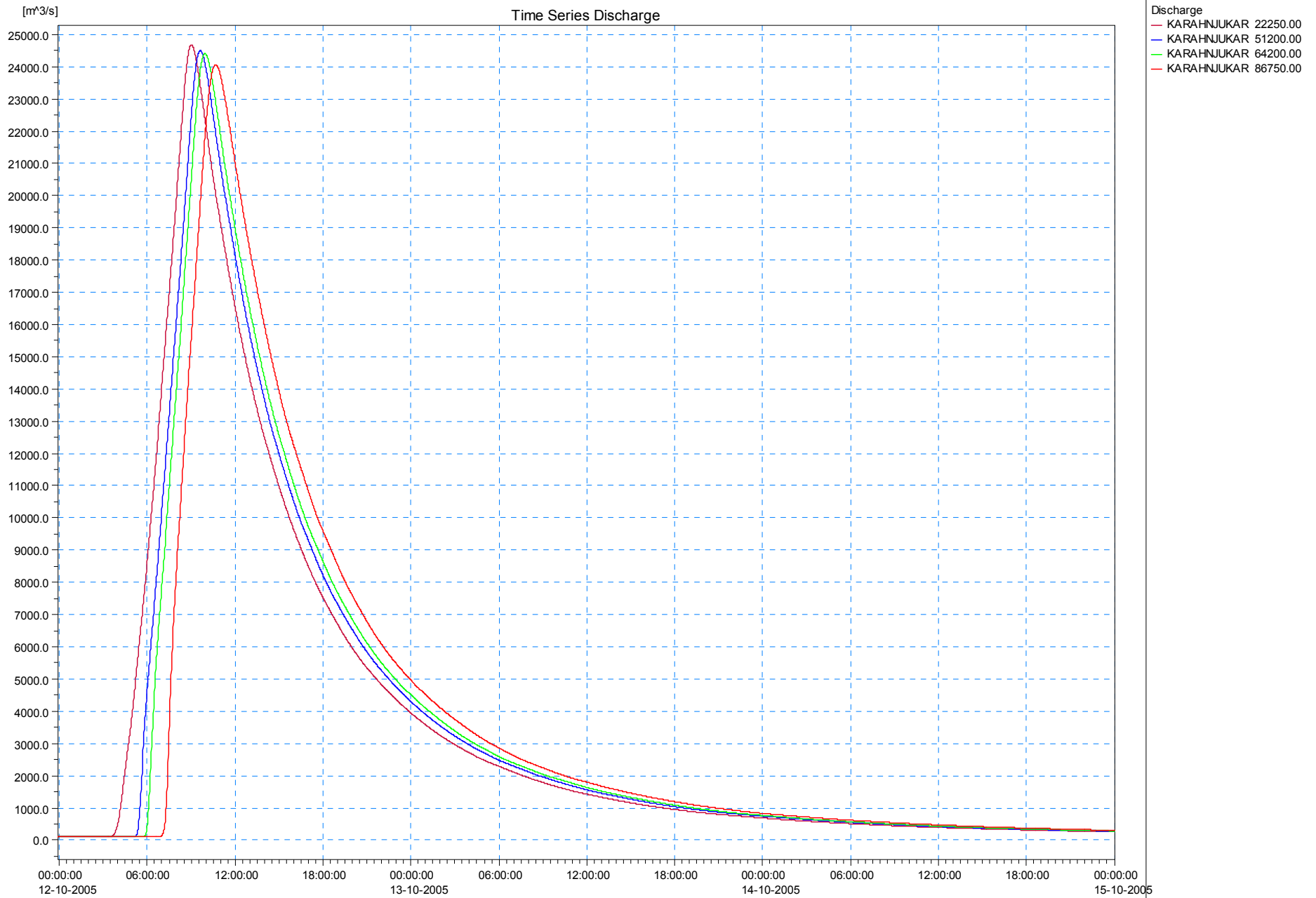


Figure 5. Discharge peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for west dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

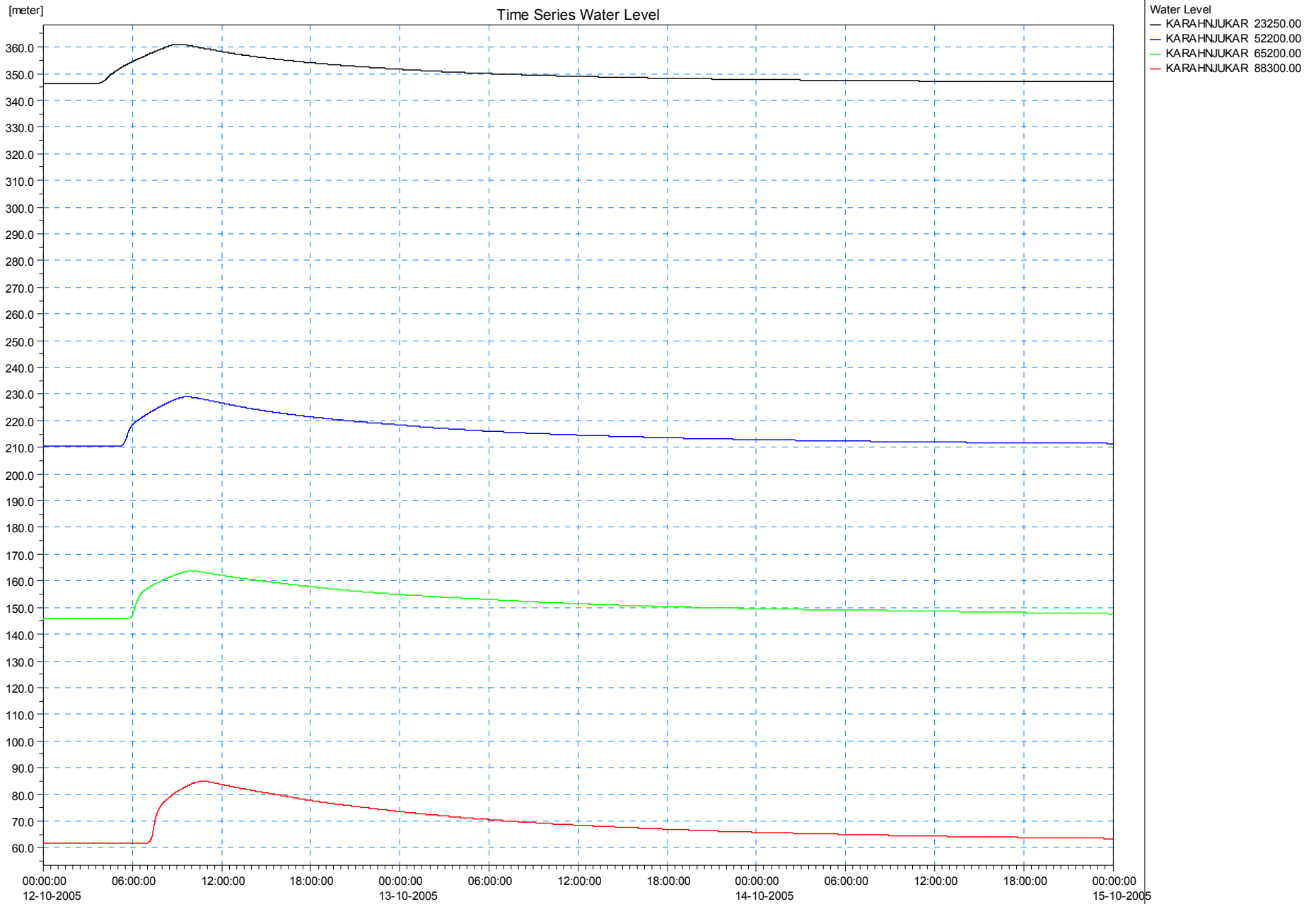


Figure 6. Water level peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for west dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

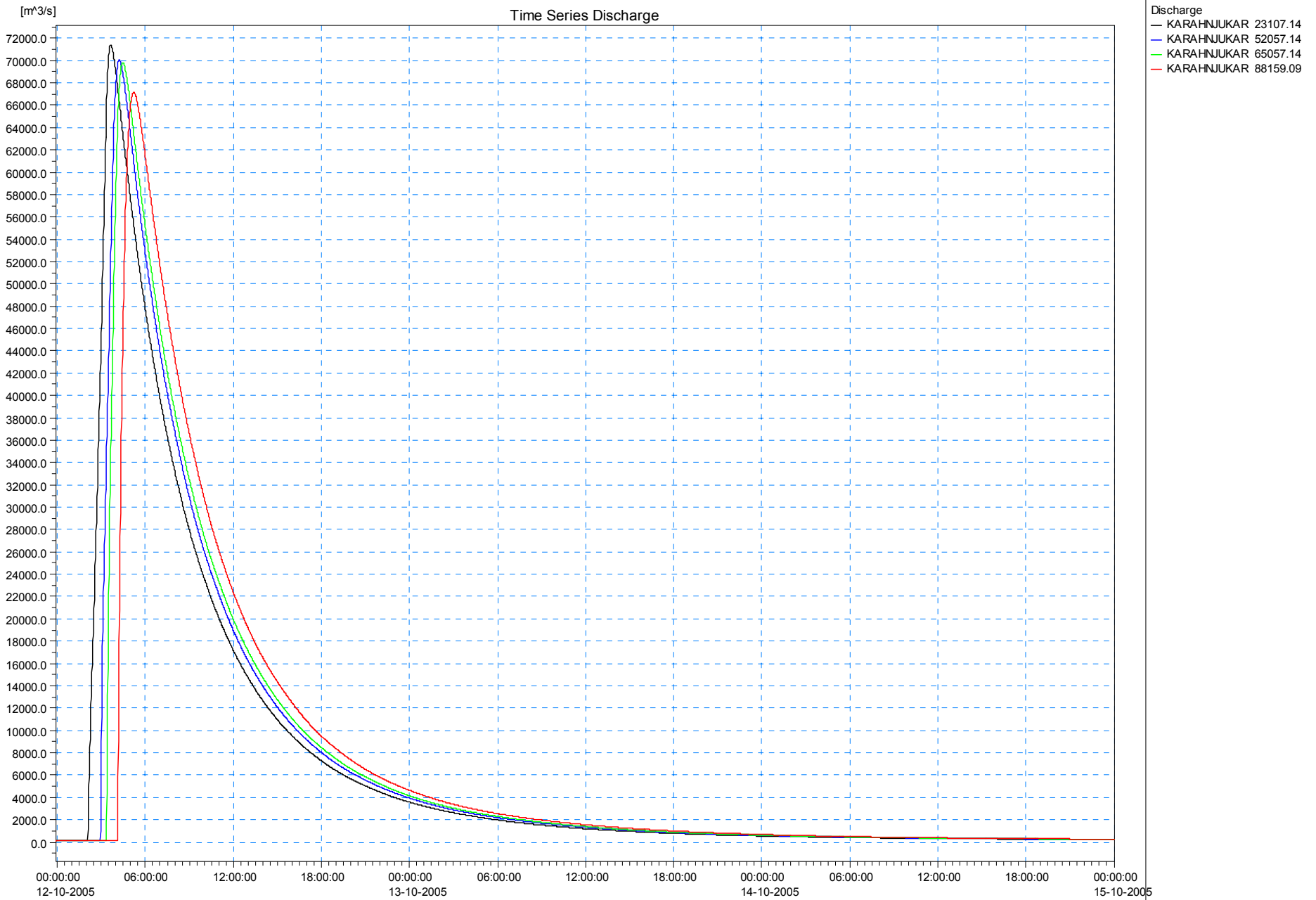


Figure 7. Discharge peaks at Jökuldal (23200), Arnósstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for east dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

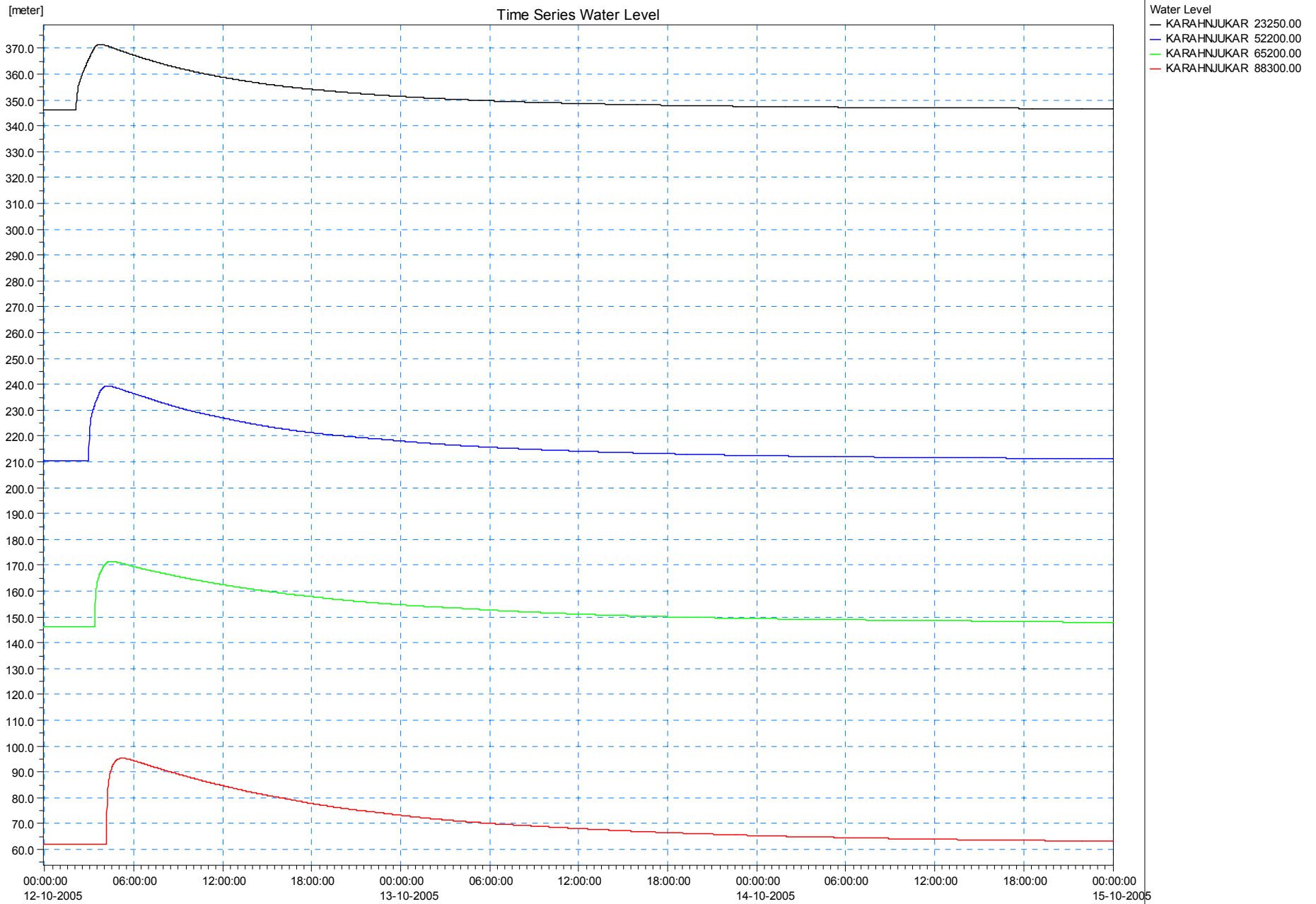


Figure 8. Water level peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for east dam. (Represented by calculation point nearest upstream).

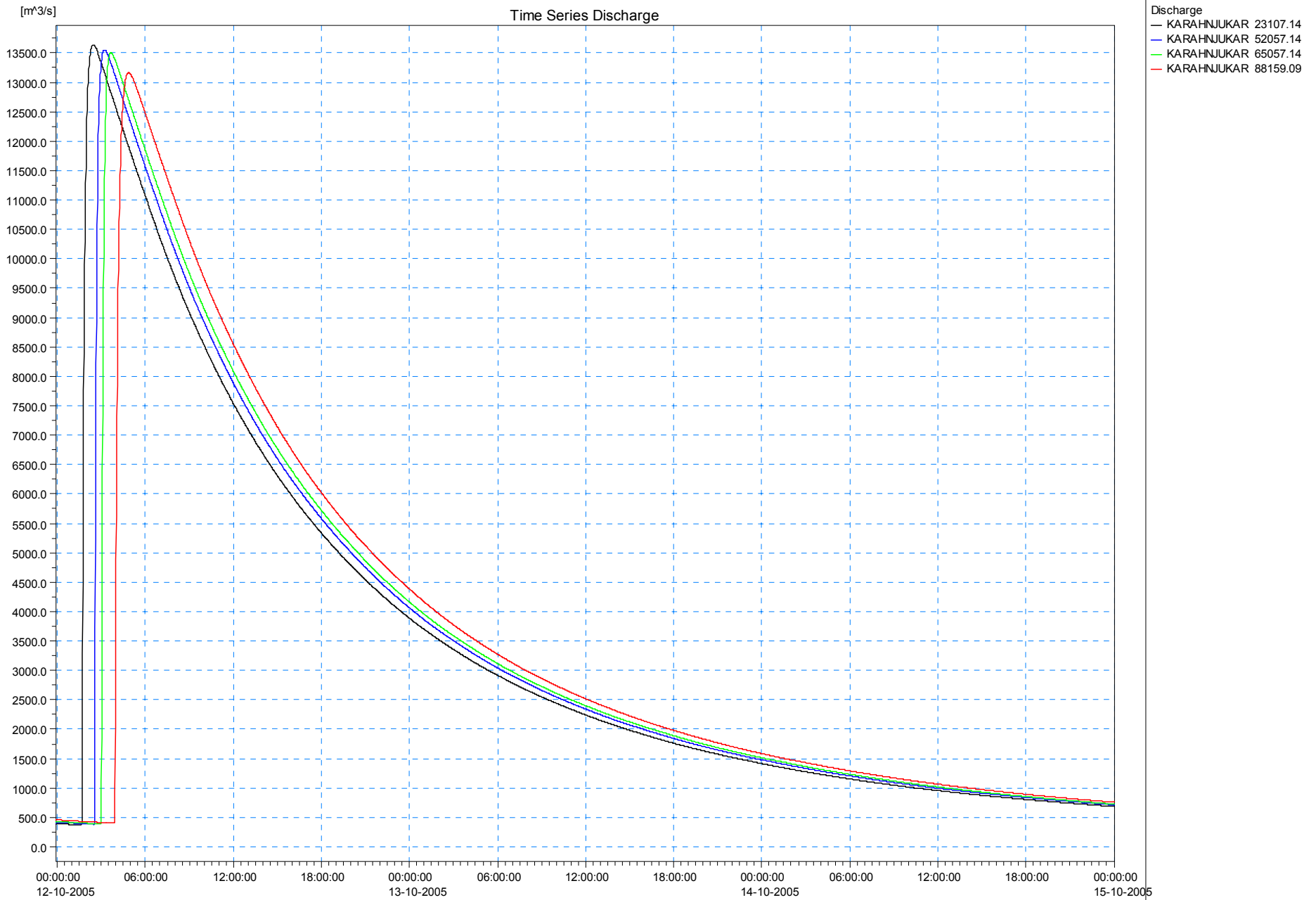


Figure 9. Discharge peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for fuseplug. (Represented by calculation point nearest upstream).

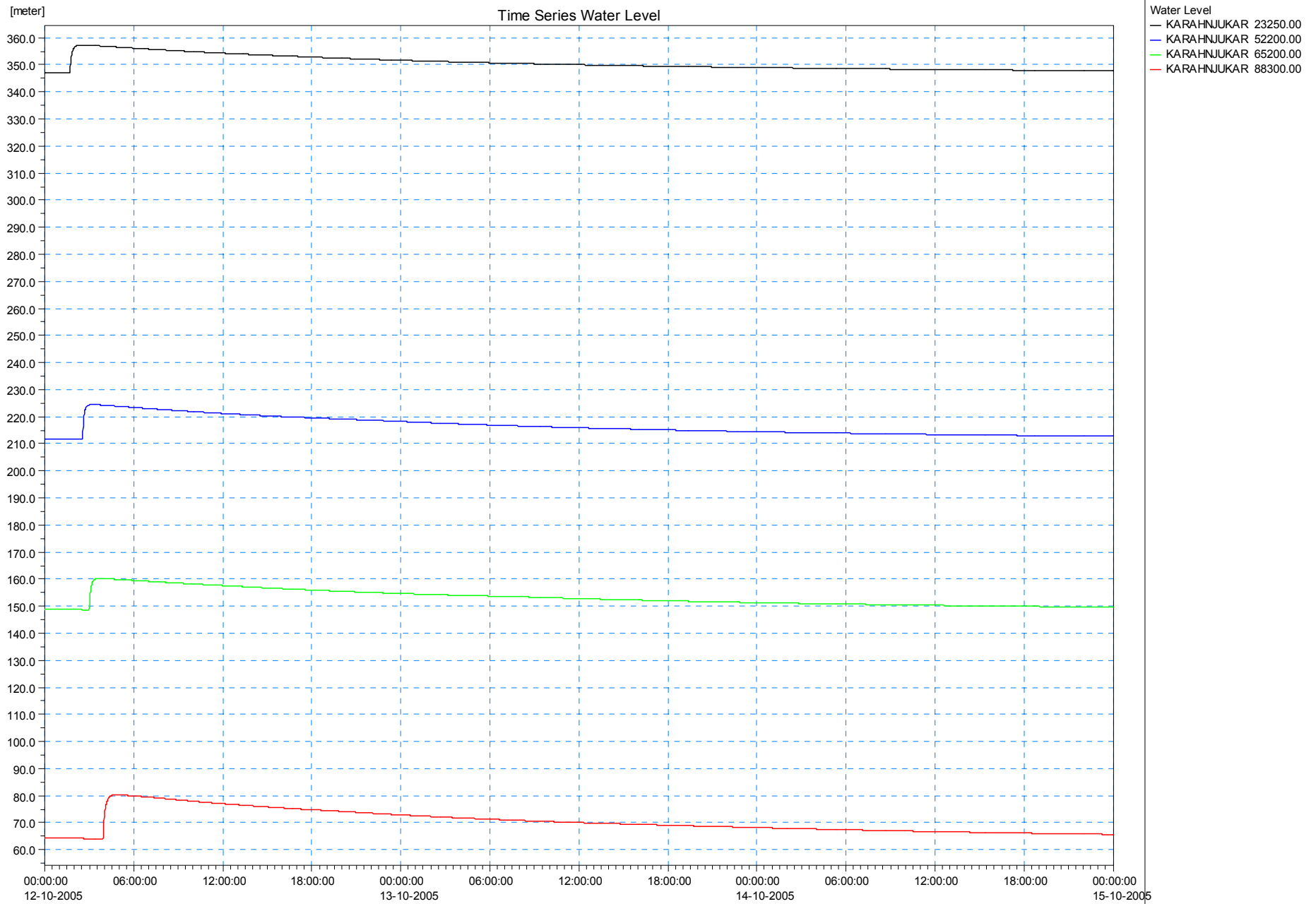


Figure 10. Water level peaks at Jökuldal (23200), Arnórsstaðir (52200), Hjarðarhagi (65200) and Brú by Selland (88300) at dambreak scenario for fuseplug. (Represented by calculation point nearest upstream).