



Landsvirkjun

LV-2019-078

# Öldurof í Hagalóni

fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar  
í Neðri Þjórsá



## Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2019-078

Dags: Desember 2019

Fjöldi síðna: 28

Upplag: Rafrænt

Dreifing:

- Birt á vef LV  
 Opin  
 Takmörkuð til

Titill: Öldurof í Hagalóni fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar í Neðri Þjórsá

Höfundar/fyrirtæki: Þórhildur Guðmundsdóttir, Verkís

Verkefnisstjóri: Ólöf Rós Káradóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: \_\_\_\_\_

**Útdráttur:** Farið var yfir forsendur og líklegt öldurof sem metið var og birt í skýrslu Almennu Verkfræðistofunnar fyrir Landsvirkjun árið 2002 var endurmetið. Frá fyrri úttekt hefur fyrirkomulagi stíflugarða og veglagninga verið breytt en stíflustæði og lónhæð eru eins og áður var fyrirhugað. Farið er yfir hvað hefur verið gert á þessu sviði vegna lóna Landsvirkjunar og hvaða aðferðir hafa verið skoðaðar. Aðstæður voru skoðaðar á vettvangi, halli bakka metinn af kortum og aðstæður til öldumyndunar skoðaðar. Sett er fram ný áætlun um mótvægisáðgerðir og fyrirkomulag vöktunar.

**Lykilorð:** Öldurof, strandrof, Hagalón, Hvammsvirkjun, Neðri Þjórsá, vatnsaflsvirkjun

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar

Ólöf Rós Káradóttir





# Öldurof í Hagalóni

fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar  
í Neðri Þjórsá





VERKNÚMÉR: 11034-001	DREIFING:
SKÝRSLA NR.:	<input type="checkbox"/> OPIN
DAGS.: 2019-12-17	<input type="checkbox"/> LOKUÐ TIL
BLAÐSÍÐUR:	<input checked="" type="checkbox"/> HÁÐ LEYFI VERKKAUPA
UPPLAG:	

HEITI SKÝRSLU:

Öldurof í Hagalóni fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar í Neðri Þjórsá

HÖFUNDAR:

Þórhildur Guðmundsdóttir

VERKEFNISSTJÓRI:

Þórhildur Guðmundsdóttir/Helgi Þór Helgason

UNNIÐ FYRIR:

Landsvirkjun

UMSJÓN:

Ólöf Rós Káradóttir

SAMSTARFSADILAR:

Mannvit

GERÐ SKÝRSLU/VERKSTIG:

Útgáfa. (Drög skýrslu gerð í janúar 2017).

ÚTDRÁTTUR:

Farið var yfir forsendur og líklegt öldurof sem metið var og birt í skýrslu Almennu Verkfræðistofunnar fyrir Landsvirkjun árið 2002 var endurmetið. Frá fyrri úttekt hefur fyrirkomulagi stíflugarða og veglagninga verið breytt en stíflustæði og lónhæð eru eins og áður var fyrirhugað. Farið er yfir hvað hefur verið gert á þessu sviði vegna lóna Landsvirkjunar og hvaða aðferðir hafa verið skoðaðar. Aðstæður voru skoðaðar á vettvangi, halli bakka metinn af kortum og aðstæður til öldmyndunar skoðaðar. Sett er fram ný áætlun um mótvægisáðgerðir og fyrirkomulag vöktunar.

LYKILORÐ ÍSLENSK:

Öldurof, strandrof, Hagalón, Hvammsvirkjun, Neðri Þjórsá, vatnsaflsvirkjun.

LYKILORÐ ENSK:

Wave erosion, reservoir, hydroelectric project.

UNDIRSKRIFT VERKEFNISSTJÓRA:



YFIRFARIÐ AF:

PSL



## Efnisyfirlit

Efnisyfirlit.....	ii
Myndaskrá .....	ii
Töfluskrá .....	iii
<b>1 Inngangur.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Aðstæður við Hagalón.....</b>	<b>2</b>
2.1 Fyrirkomulag virkjunar, efnistöku- og efnislosunarsvæði.....	2
2.2 Umhverfi virkjunar.....	4
2.2.1 Veðurfar.....	4
2.2.1.1 Vindur .....	4
2.2.1.2 Hiti .....	6
2.2.1.3 Ís .....	7
2.2.2 Jarðgrunnur.....	7
2.3 Vettvangsferð.....	9
<b>3 Fyrri úttektir og aðferðir.....</b>	<b>10</b>
3.1 Skýrsla Landsvirkjunar um strandrof við Lón í Neðri-Þjórsá .....	10
3.2 Mælt strandrof við önnur Lón Landsvirkjunar .....	11
3.3 Öldurofslíkön.....	11
3.3.1 Líkan kennt við Iowa .....	11
3.3.2 Líkan frá US Corps of Engineers.....	12
3.3.3 Aðferðir úr strandverkfræði.....	13
<b>4 Mat á öldurofi .....</b>	<b>14</b>
4.1 Helstu forsendur.....	14
4.2 Efri hluti Hagalóns austan ár .....	15
4.3 Neðri hluti Lóns vestan ár.....	19
4.4 Hagaey .....	20
4.5 Ölmóðsey.....	21
<b>5 Mótvægisáðgerðir og vöktunaráætlun.....</b>	<b>22</b>
<b>6 Niðurstöður.....</b>	<b>24</b>
<b>7 Heimildir.....</b>	<b>25</b>

## Myndaskrá

Mynd 2.1 Fyrirhuguð Lón virkjana í Neðri Þjórsá.....	2
Mynd 2.2 Fyrirkomulag Hvammsvirkjunar.....	3
Mynd 2.3 Fyrirhuguð efnistöku- og haugsetningarsvæði auk svæða undir aðstöðu verktaka vegna framkvæmda við byggingu Hvammsvirkjunar.....	4
Mynd 2.4 Vindrós gagna (tíðni vindátta) frá Árnosi frá 2003-2016.....	5
Mynd 2.5 Vindatlas Veðurstofu Íslands. Vindrós valins punkts (blár) sem er næstur Hagalóni er sýnd hægra megin. Sýnt er gróft hvar veðurstöðvar kenndar við Hæl og Árnes eru með rauðum punktum og stíflustæðið er merkt með grænu striki.....	6
Mynd 2.6 Meðalhitastig mánaða við Búrfell (1970-1993), á Hæli (1958-2011) og í Árnosi (2003-2016). .....	6
Mynd 2.7 Meðalhitastig mánaða við Búrfell, á Hæli og í Árnosi yfir allt mælitímabilið. Hitastig á Hæli og við Árnes virðist vera svipað á meðan mælingar stóðu yfir á báðum stöðum.....	7
Mynd 2.8 Jarðfræðikort af nágrenni Hvammsvirkjunar frá 2001 (klippt út úr upprunalegu korti).....	8
Mynd 2.9 GPS-staðsetningarpunktar úr vettvangsferð 28. sept. 2016. ....	9

Mynd 3.1	Niðurstaða mats á rofi við Hagalón frá 2002 miðað við þáverandi hönnun, klippt úr teikningu 3. <sup>15</sup> .....	10
Mynd 3.2	Iowa-líkanið sem byggir á því að rof eigi sér stað þegar $\tan\gamma > 0,07$ og $\tan\alpha = 0,07$ sem jafngildir 7% halla yfirborðs. ....	12
Mynd 3.3	Líkan frá US Corps of Engineers sem er að mörgu leyti sambærilegt við Iowa-líkanið en byggir á því að efnismagn sem rofni sé í jafnvægi við efni í fyllingu. ....	12
Mynd 4.1	Möguleg rofsvæði (rauð, nr. 1-9), striklengdir (km, appelsínugul strik) og halli bakka (gráar tölur)... ..	16
Mynd 4.2	Rofbakki þar sem Litlilækur rennur út í Þjórsá, vestan við Yrjar. Horft til vesturs yfir farveg Þjórsár. ....	17
Mynd 4.3	Brattur og gróinn bakki utan Litlilæks. Á milli hærra bakka kemur lægð með litlum halla upp frá vatnsborði árinna. Horft til vesturs. ....	17
Mynd 4.4	Rofbakki á móts við nyrsta hluta Líknýjarhólma. Horft til suðurs, Skarðsfjall í bakgrunninum. ....	18
Mynd 4.5	Vestasti hluti Bæjarness og Karlsnes fjær, Vaðeyri á milli. Horft til vesturs. ....	18
Mynd 4.6	Karlsnes og hólmi utan þess, Karlinn, sé frá nyrðri (vestari) bakka Þjórsár og horft til suðausturs. ....	18
Mynd 4.7	Vegamót Gnúpverjavegar og Þjórsárdalsvegar austan Þverár, horft til norðvesturs. Tún í forgrunni fer undir lónið. ....	19
Mynd 4.8	Vestari bakki lóns ofan stíflustæðis. Vegtenging að stíflu verður lögð ofan bakkans. ....	19
Mynd 4.9	Hagaey séð frá austari bakka Þjórsár. Núverandi brú á Þjórsárdalsvegi yfir Þverá sést í ljósum lit vinstra megin á mynd. Vegur til norðurs frá brúnni er á bak við efsta hluta Hagaeyjar á miðri mynd. ....	20
Mynd 4.10	Hagaey séð frá vestari bakka Þjórsár, horft til suðurs á móts við nyrðri enda eyjarinnar. Skarðsfjall er í bakgrunninum. ....	20
Mynd 4.11	Hagaey séð frá vegi við Þverá á nyrðri bakka Þjórsár. Skarðsfjall er hægra megin í bakgrunni. ....	21
Mynd 4.12	Syðri endi Ölmóðseyjar séð frá nyrðri bakka Þjórsár. Prenging í farveginum og skörp beygja. ....	21

## Töfluskrá

Tafla 4.1	Útreikningar á dýpi á öldugrunni ( $h_{wb}$ í m) miðað við mismunandi viðmiðunarvindhraða ( $U_{10}$ ) og striklengd (F). ....	14
Tafla 4.2	Útreikningar skv. Iowa-líkani á breidd rofbeltis (m) miðað við mismunandi dýpi á öldugrunn ( $h_{wb}$ , línur) og halla núverandi bakka ( $\tan\gamma$ , dálkar). Uppgefnar stærðir eru einungis til viðmiðunar fyrir áætlaða stærðargráðu rofs. ....	15
Tafla 5.1	Vöktunarpættir. ....	23

## 1 Inngangur

Í úrskurði Skipulagsstofnunar um mat á umhverfisáhrifum fyrirhugaðra virkjana í Neðri Þjórsá frá 2003 og með þeim breytingum sem gerðar voru með úrskurði umhverfisráðuneytisins um sama mál árið 2004, var gert að skilyrði að:

3. *Framkvæmdaraðili vakti öldurof og eyðingu gróðurs á ströndum lóna á meðan virkjunin er starfrækt og hafi samráð við sveitarstjórnir, Umhverfisstofnun og Landgræðslu ríkisins um mótvægisáðgerðir verði þeirra þörf. Áður en framkvæmdir hefjast skal framkvæmdaraðili bera áætlun um vöktun undir Umhverfisstofnun og Landgræðslu ríkisins.*

Að baki mati á umhverfisáhrifum virkjananna lá, meðal annarra gagna, sérfræðiskýrslan *Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá*.<sup>1</sup> Hönnun mannvirkja Hvammsvirkjunar hefur verið endurskoðuð eftir að þessi gögn voru gefin út en breytingarnar sem varða áhrif á strandrof snúa aðallega að breyttri veglínu Þjórsárdalsvegar og varnargarða. Hvammsvirkjun er í orkunýtingarflokki núgildandi rammaáætlunar<sup>2</sup> og Skipulagsstofnun birti í desember 2015 ákvörðun um að endurskoða ætti umhverfismat virkjunarinnar er varðar tvo þætti, annars vegar ásýnd og landslag og hins vegar ferðamennsku og útivist. Matsskýrsla Landsvirkjunar var gefin út í október 2017<sup>3</sup> og álit Skipulagsstofnunar lá fyrir í mars 2018. Í niðurstöðukafla matsskýrslu um mótvægisáðgerðir kemur fram að styrkja eigi strandsvæði, tanga og nes sem standa út í Hagalón, sem hluta af aðgerðum til að fella mannvirki að umhverfi.

Landsvirkjun óskaði, í ljósi skilyrða í úrskurðum um mat á umhverfisáhrifum frá 2003 og 2004, eftir að mat á strandrofi sem lýst var í skýrslu frá 2002 yrði endurskoðað, lagðar yrðu til mótvægisáðgerðir byggðar á nýju mati og gerð áætlun um vöktun á rofi.

Skýrslan er byggð upp þannig að fyrst er aðstæðum við Hagalón lýst; fyrirkomulagi fyrirhugaðrar virkjunar auk veðurfars og jarðgrunni. Minnst er á fyrri úttektir; skýrslu um virkjanir í Neðri Þjórsá frá 2003 og úttektir við önnur lón Landsvirkjunar og hvaða öldurofslíkön hafa verið notuð. Fjallað er um nýtt mat á líklegu öldurofi við Hagalón, lögð fram áætlun um vöktun og helstu niðurstöður eru teknar saman í lokin.

---

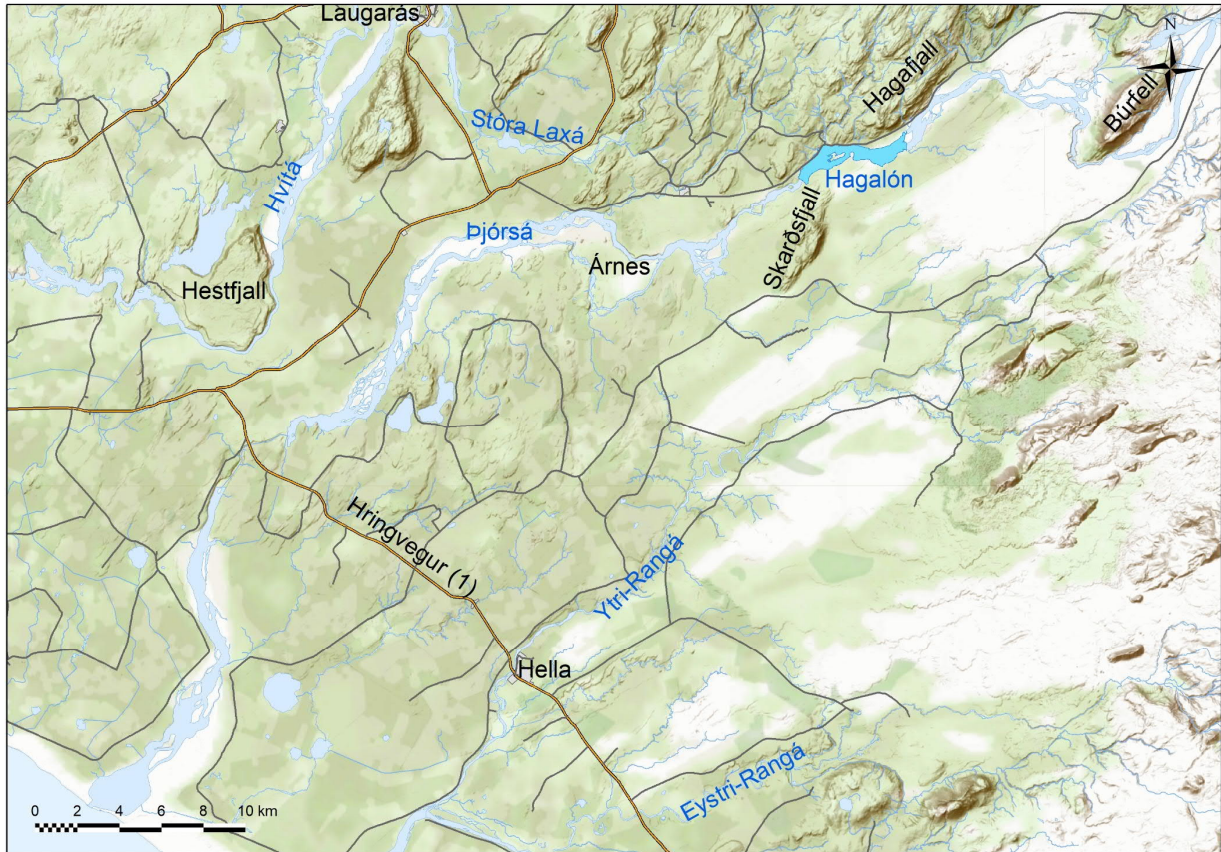
<sup>1</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.

<sup>2</sup> Þingsályktun 1575/144 um breytingu á áætlun um vernd og orkunýtingu landsvæða, nr. 13/141, var samþykkt á Alþingi 1. júlí 2015.

<sup>3</sup> Efla 2017. Hvammsvirkjun. Mat á umhverfisáhrifum: Ferðaþjónusta og útivist og landslag og ásýnd lands. Matsskýrsla. Landsvirkjun og Landsnet, LV-2017-072.

## 2 Aðstæður við Hagalón

Hagalón myndast við gerð stíflu norðan Skarðsfjalls og er hluti af fyrirhugaðri Hvammsvirkjun í Neðri Þjórsá.



Mynd 2.1 Fyrirhuguð lón virkjana í Neðri Þjórsá.

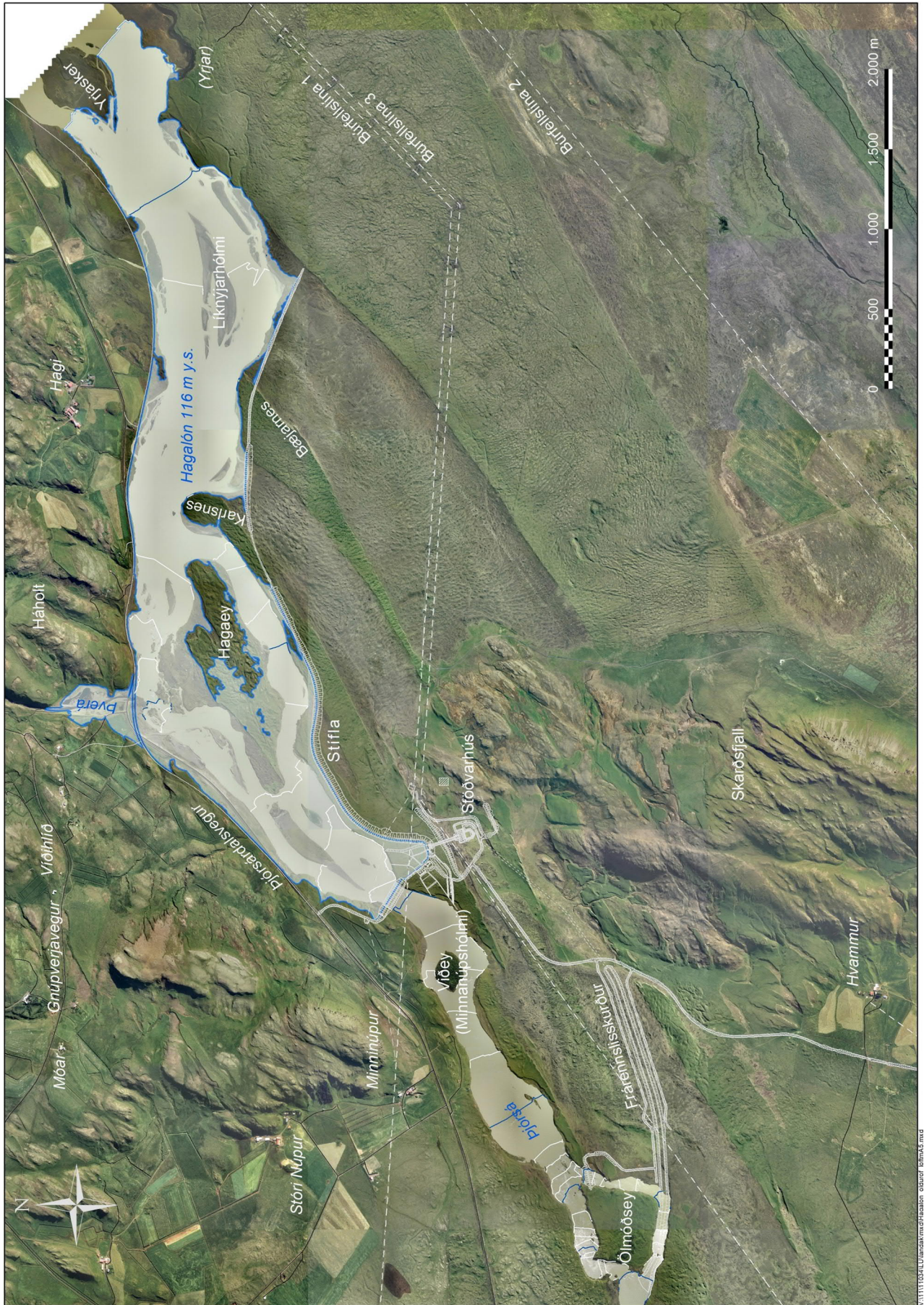
### 2.1 Fyrirkomulag virkjunar, efnistöku- og efnislosunarsvæði

Hvammsvirkjun (93 MW) virkjar fall frá svokölluðu Yrjaskeri og niður fyrir Ölmóðsey, sjá mynd 2.2. Meðalrennsli í Þjórsá er á þessum kafla um  $332 \text{ m}^3/\text{s}$  og virkjað fall er um 32 m. Flatarmál Hagalóns verður um  $4 \text{ km}^2$  og heildarrúmmál um 13,2 GJ, en vatnsborð er fyrirhugað nokkuð stöðugt í 116 m y.s.<sup>4</sup> Mesta hæð stíflu verður 18 m en alls verða stíflur og garðar um 5 km langir.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Sótt af vefsíðu Landsvirkjunar þann 29. nóv. 2016, <http://www.landsvirkjun.is/Rannsoknirogthroun/Virkjunarkostir/Hvammsvirkjun>.

<sup>5</sup> Upplýsingar úr tölvupósti frá Landsvirkjun, dags. 1.10.2019.





Mynd 2.2 Fyrirkomulag Hvammsvirkjunar.



Ráðgert er að nýta í stíflugerð sand- og malarefni úr farveginum vestan og sunnan við Hagaey og fokmold af eystri bakka Hagalóns, ofan meginstíflunnar. Þá er fyrirhugað að haugsetja uppdælt efni á bökkum við efsta hluta lónsins, sjá mynd 2.3.



Mynd 2.3 Fyrirhuguð efnistöku- og haugsetningarsvæði auk svæða undir aðstöðu verktaka vegna framkvæmda við byggingu Hvammsvirkjunar.<sup>6</sup>

## 2.2 Umhverfi virkjunar

Umhverfislegar aðstæður sem hafa áhrif á mögulegt öldurof eru veðurfarshættir eins og vindur og hitastig og svo einnig jarðmyndanir; þykkt jarðvegs og kornastærðir lausra jarðlaga.

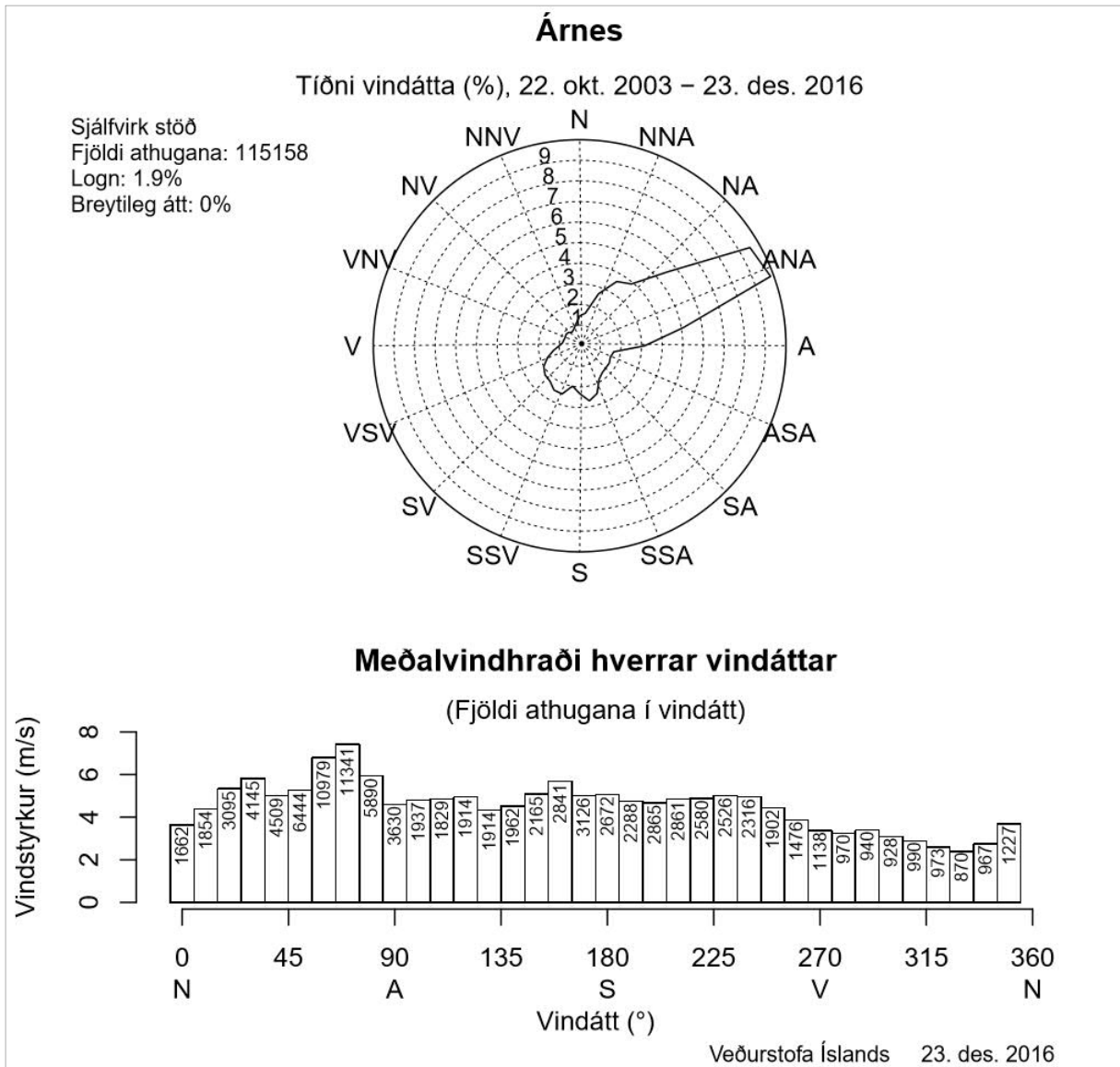
### 2.2.1 Veðurfar

#### 2.2.1.1 Vindur

Næstu veðurstöðvar við Hagalón eru Hæll í Hreppum (123 m y.s., um 5-6 km í VNV frá fyrirhuguðu stíflustæði) en þar var vindur mældur frá 1958-2011, í Árnesi (90 m y.s., um 5-6 km í VSV frá stíflustæði) hafa verið veðurmælingar frá 2003 og á vef Veðurstofunnar liggja gögn frá Búrfelli frá 1971-1993 en Landsvirkjun hefur átt veðurstöð þar (249 m y.s.) frá 1993. Staðsetning veðurstöðva við Hæl og Árnes er merkt gróft inn á mynd 2.5.

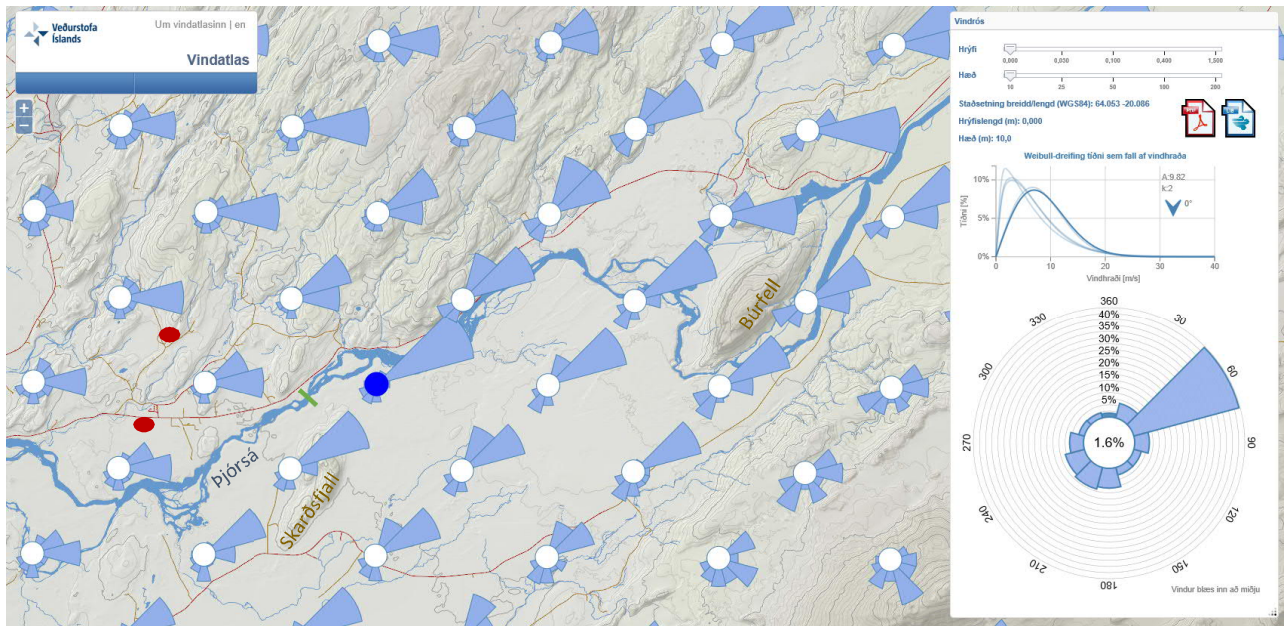
Meðalvindhraði á Hæli í Hreppum var 4,1 m/s á árunum 1958-2011 en við Búrfell mældist meðalvindhraði 6,6 m/s á tímabilinu 1970-1993. Á mynd 2.4 er vindrós úr mælingum í Árnesi frá 2003-2016 og meðalvindhraði hvefrrar vindáttar sem liggur á bilinu frá u.þ.b. 2,5-7,5 m/s. Ríkjandi vindátt í Árnesi er ANA en annars blæs vindur helst úr ANA til NNA og svo úr SSA til VSV.

<sup>6</sup> Efla 2017. Hvammsvirkjun. Mat á umhverfisáhrifum: Ferðaþjónusta og útivist og landslag og ásýnd lands. Matsskýrsla. Landsvirkjun og Landsnet, LV-2017-072.



**Mynd 2.4 Vindrós gagna (tíðni vindáttar) frá Árnesi frá 2003-2016.**

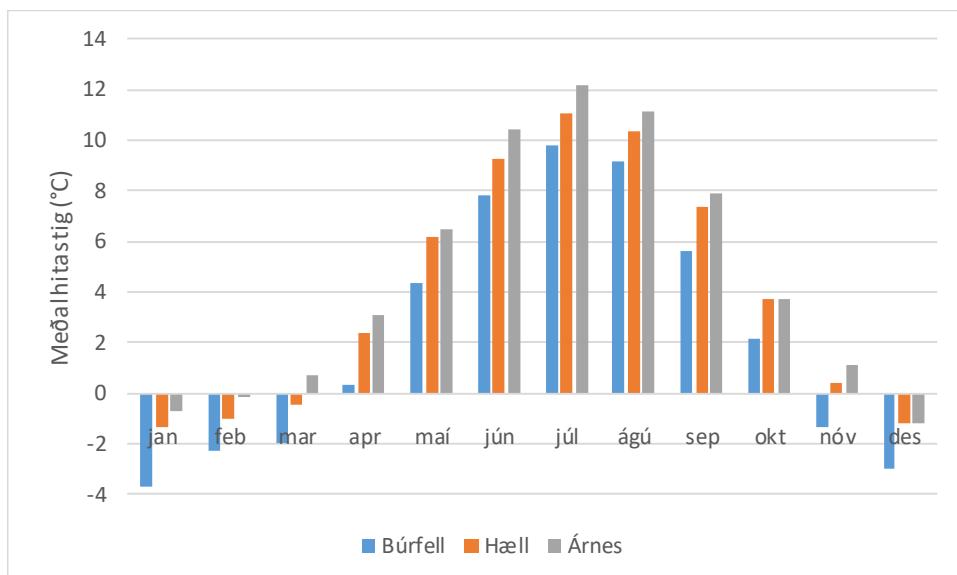
Sjá má hvernig reiknaðar vindáttir breytast með staðsetningu í vindatlas Veðurstofu Íslands en landslag hefur mikil áhrif á ríkjandi vindátt á hverjum stað, sjá mynd 2.5.



**Mynd 2.5** Vindatlas Veðurstofu Íslands.<sup>7</sup> Vindrós valins punkts (blár) sem er næstur Hagalóni er sýnd hægra megin. Sýnt er gróft hvar veðurstöðvar kenndar við Hæll og Árnes eru með rauðum punktum og stíflustæðið er merkt með grænu striki.

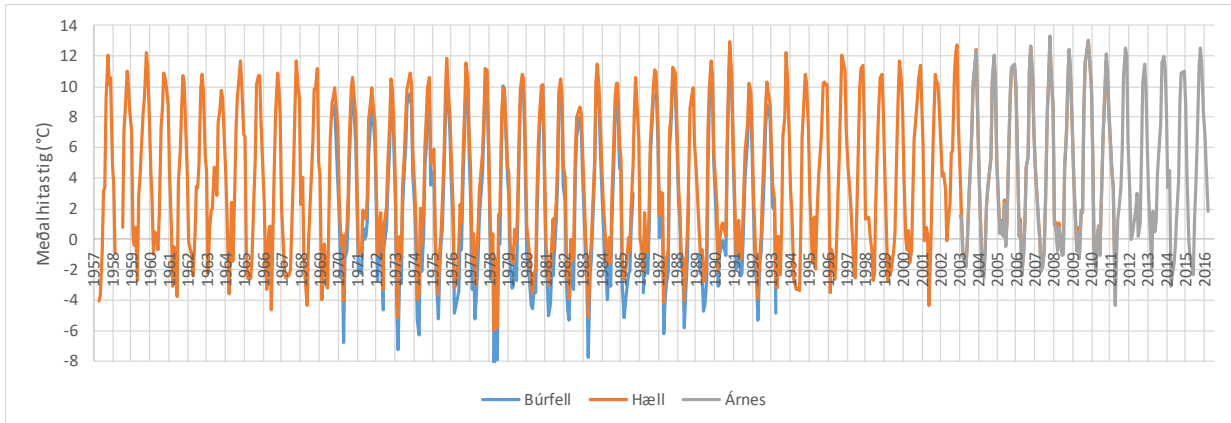
### 2.2.1.2 Hiti

Á mynd 2.6 kemur fram meðalhitastig mánaða á Hæli, við Búrfell og í Árnesi. Stöðin við Hæll er í svipaðri hæð yfir sjávarmáli og lónið verður en stöðin við Búrfell stendur um 120 m hærra og sjá má að meðalhitastigið er þar u.þ.b. 2°C lægra. Gögnin frá Hæli og Búrfelli eru ekki alveg ný og á mynd 2.7 má sjá að heldur minna frost hefur mælst á Hæli eftir aldamótin ef árin 2001 og 2011 eru undanskilin. Gögnin frá Árnesi eru nýleg og þar mælist hæstur meðalhiti.



**Mynd 2.6** Meðalhítastig mánaða við Búrfell (1970-1993), á Hæli (1958-2011) og í Árnesi (2003-2016).

<sup>7</sup> <http://vindatlas.vedur.is/>



**Mynd 2.7** Meðalhítastig mánaða við Búrfell, á Hæli og í Árnesi yfir allt mælitímabilið. Hítastig á Hæli og við Árnes virðist vera svipað á meðan mælingar stóðu yfir á báðum stöðum.

### 2.2.1.3 Ís

Í skýrslu um mat á umhverfisáhrifum virkjana í Neðri Þjórsá frá 2003<sup>8</sup> kemur fram að ekki sé vilji til að lækka lónborði í Hagalóni niður fyrir 116 m y.s. því þá sé dregið úr möguleikum á myndun lagnaðarís sem aftur leiðir til meiri ísmyndunar í lóninu sem er slæmt fyrir rekstur lóns og virkjunar. Öldurofs gætir ekki á meðan lón eru ísilögð en ís getur valdið rofi ef hann er að núast utan í bakka t.d. með ölduhreyfingu. Íshrannir geta einnig valdið rofi. Í skýrslu frá 2006 um setmyndun í Hagalóni<sup>9</sup> er fjallað um að Búrfellshrónnin á áreyrum neðan við Þjófafoss hafi hætt að myndast eftir tilkomu Búrfellsvirkjunar en í skýrslu frá 2009<sup>10</sup> um myndun íshranna kemur fram að tilkoma ísilagðs Hagalóns geti orðið til þess að íshrönn byrji að myndast við efri brún lónsins. Íshrönnin geti svo byggst upp og stækkað upp í farveginn en einnig inn í lónið.

Hækkandi hitastig að vetri til minnkar líkur á að lagnaðarís myndist á Hagalóni en lónið getur mögulega lagt á styttri tímabilum yfir veturinn. Fylgjast þarf með myndun íshrannar á þessum stað og myndun hennar getur haft þau áhrif að þörf verði fyrir grófari rofvarnir við bakka.

### 2.2.2 Jarðgrunnur

Á mynd 2.8 er hluti af jarðfræðikorti frá 2001 en þar má sjá að Þjórsárhraunið er mest útbreidda jarðmyndunin umhverfis fyrirhugað Hagalón. Fossnesjökulberg, Neðra Fossnesþóleið og Núpsmóberg er á yfirborði utan Þjórsárhraunsins norðan lóns og rétt ofan við fyrirhugað stíflustæði er Skarðfjallsbasalt við bakkann á stuttum kafla.

Í skýrslu Almennu Verkfræðistofunnar um strandrof<sup>11</sup> kemur fram að Þjórsáin hafi að nokkru grafið sig í gegnum lausan karga á yfirborði Þjórsárhraunsins að austanverðu og renni víða á þéttara bergi. Undir 1-4 m þykku lagi af fokmold, sem hafi blásið af að hluta, myndi karginn neðri hluta brattra bakka. Vestan ár liggja karginn lægra og lónið muni fljóta yfir hann að mestu leyti. Einnig kemur fram mat á því hvort jarðvegur við bakka lónsins sé talinn þunnur eða þykkur en skilin þarna á milli eru miðuð við 1,5 m þykkt, sjá mynd 3.1. Þetta mat byggðist eingöngu á sjónrænum athugunum og hér er miðað við þetta sama mat.

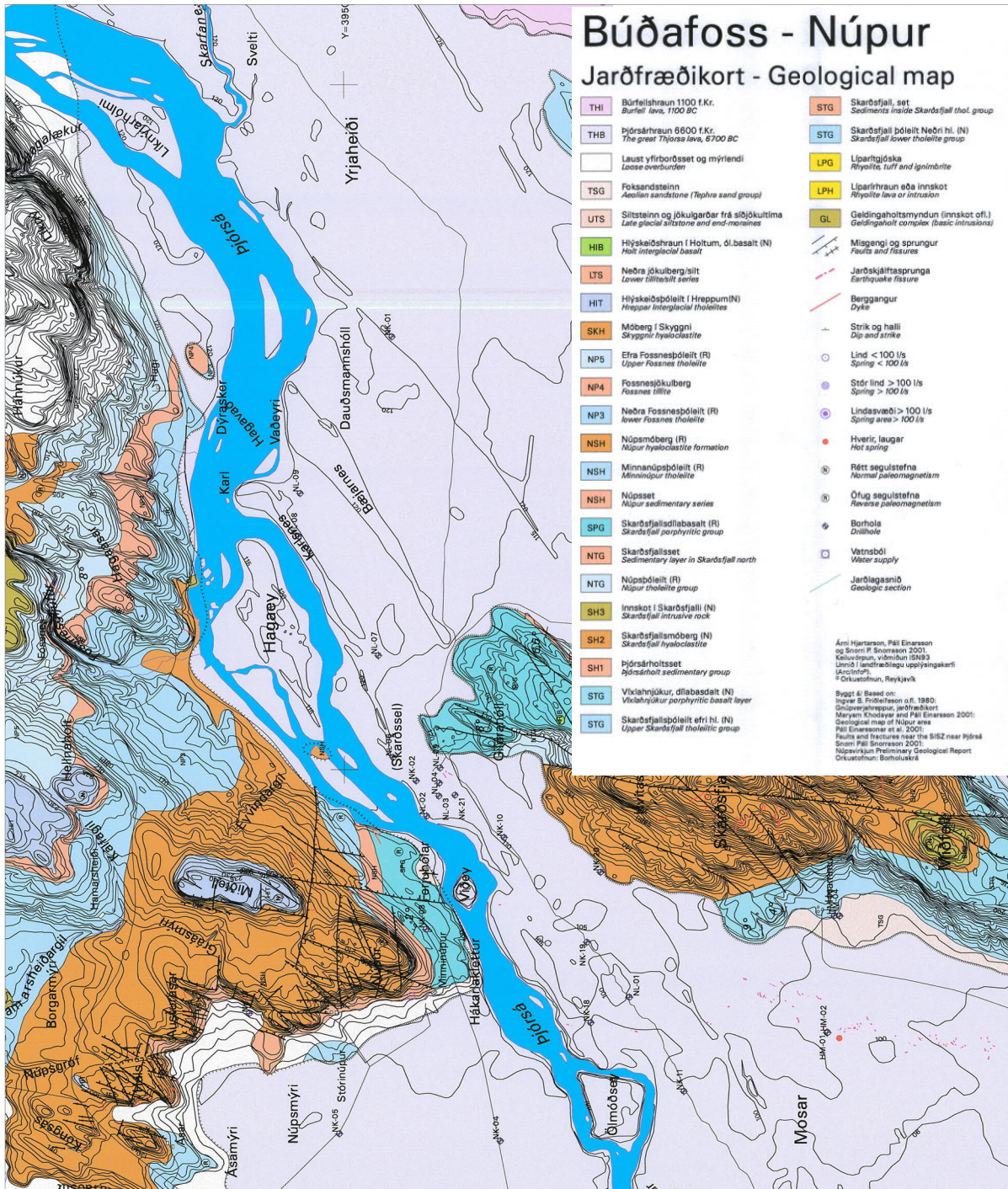
<sup>8</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2003. Virkjun Þjórsár við Núp, allt að 150 MW og breyting á Búrfellslínu 1. Mat á umhverfisáhrifum. Matskýrsla. Landsvirkjun, apríl 2003. LV-2003/032.

<sup>9</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2006. Setmyndun í Hagalóni. Rannsóknir, úrvinnsla og útreikningar. Landsvirkjun, janúar 2006. LV-2006/003.

<sup>10</sup> Verkís og Mannvit 2009. Þjórsá River South Iceland. Hvammur and Urriðafoss Hydroelectric Projects. Ice Jam Evaluation. Landvirkjun, LV-2009/127.

<sup>11</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.





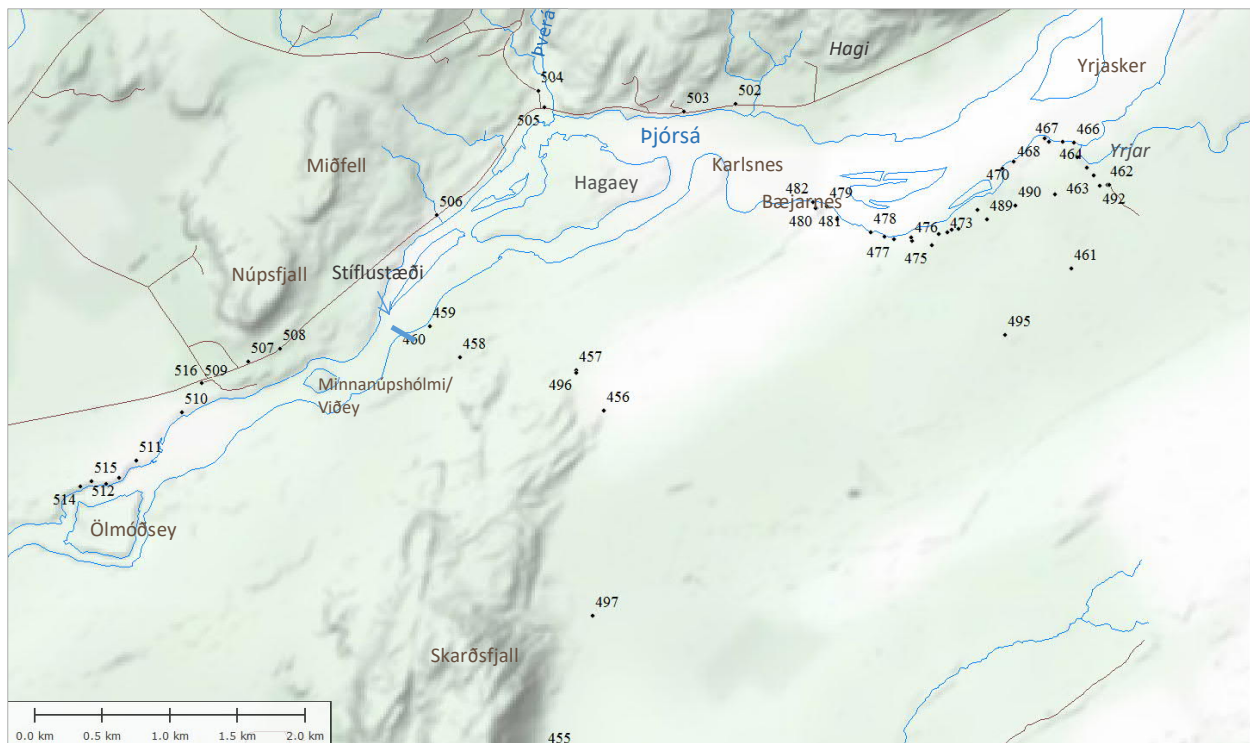
Mynd 2.8 Jarðfræðikort af nágrenni Hvammsvirkjunar frá 2001 (klippt út úr upprunalegu korti).<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Árni Hjartarson, Páll Einarsson og Snorri P. Snorrason 2001. Búðafoss – Núpur. Jarðfræðikort – Geological map. 1:20.000. Orkusstofnun, Reykjavík.

## 2.3 Vettvangsferð

Höfundur skýrslu skoðaði aðstæður við Hagalón í vettvangsferð þann 28. september 2016. Aðstæður voru góðar, bjart veður, lítill vindur og hiti um 4-8°C. Samkvæmt óyfirörnum upplýsingum úr vatnshæðarmæli í Þjórsá við Þjórsártún var rennslið þennan dag rúm 90% af meðalrennsli þar.<sup>13</sup>

Farið var norður Landveg að syðri bakka Þjórsár norðan fyrirhugaðs stíflustæðis og gengið áleiðis með bakkanum nokkur hundruð metra í norður. Þá var keyrt að sumarhúsi í nágrenni við Yrjar og gengið með árbakkanum til suðurs að Bæjarnesi. Aðstæður voru skoðaðar og ljósmyndir teknar, sjá kafla 4. Þá var ekið upp fyrir Búrfell og farið yfir ána við lokuvirkin við inntakið í Bjarnalón og sem leið lá suður Þjórsárdalsveg að efsta hluta Hagalóns. Stoppað var í nágrenni við Haga og við Þverá og myndir teknar af bökkum árinna frá þessum stöðum. Einnig var stoppað í nágrenni við stíflustæðið norðan megin og gengið að bakkanum á móts við Ölmóðsey. Mynd 2.9 sýnir staðsetningu GPS-punkta sem skráðir voru umhverfis lónið.



Mynd 2.9 GPS-staðsetningarpunktar úr vettvangsferð 28. sept. 2016.

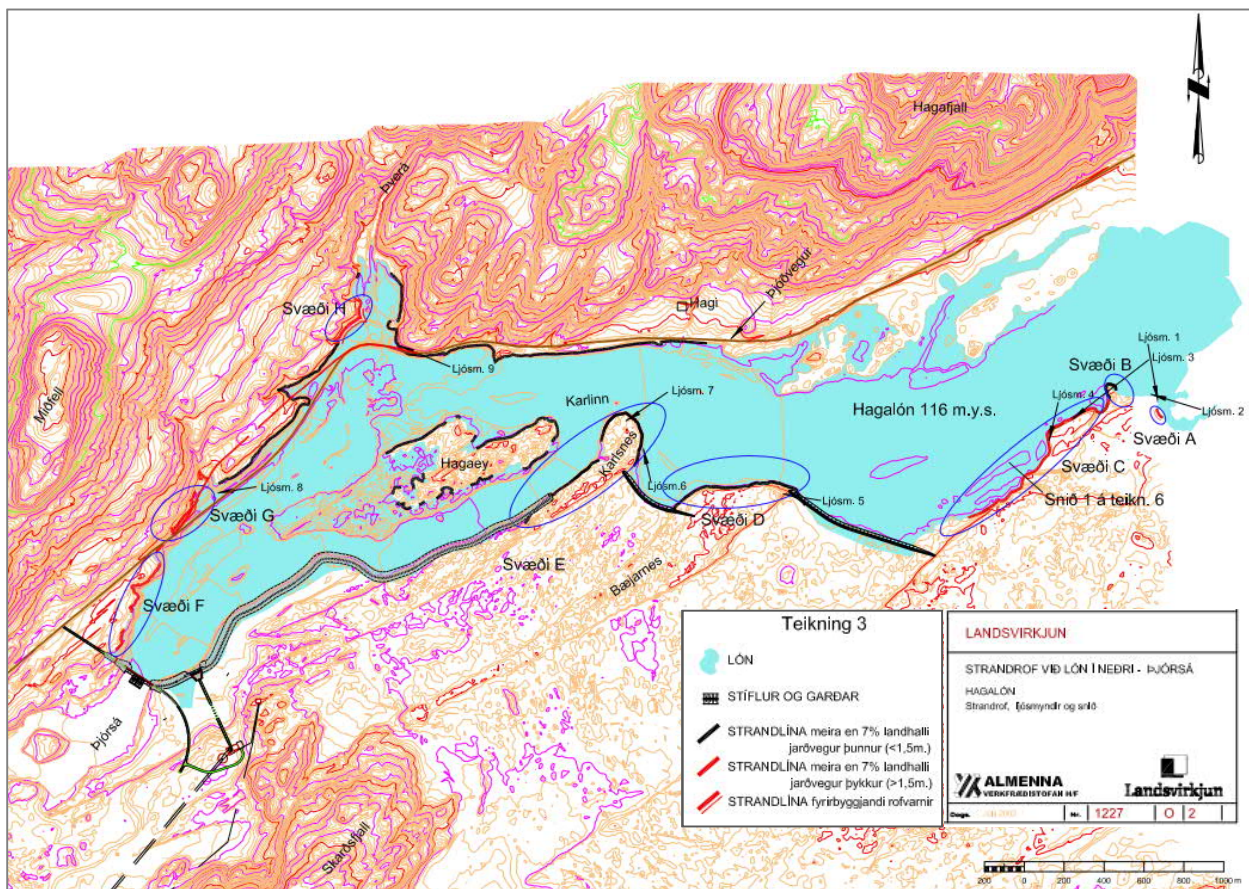
<sup>13</sup> Birt rennsli um 315 m<sup>3</sup>/s skv. <http://vmkerfi.vedur.is/vatn/> og meðalrennsli við Þjórsártún er um 345 m<sup>3</sup>/s.



### 3 Fyrri úttektir og aðferðir

#### 3.1 Skýrsla Landsvirkjunar um strandrof við lón í Neðri-Þjórsá

Landsvirkjun gaf út skýrslu Almennu Verkfræðistofunnar árið 2002 *Strandrof við lón í Neðri Þjórsá*.<sup>14</sup> Þar var fjallað um mat á rofi við Hagalón fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar auk mats fyrir Árneslón Holtavirkjunar og Heiðarlón Urriðafossvirkjunar en ekki verður fjallað um þau tvö síðarnefndu hér. Matið byggðist á öldurofslíkani sem kennt var við Iowa í Bandaríkjunum en þar hafði farið fram samanburður á mældu rofi við tvö tilbúin lón og niðurstöðum úr líkaninu, en líkanið byggir á aðferð sem er ættuð frá US Army Corps of Engineers.<sup>15</sup> Matið byggði einnig á sjónskoðun á aðstæðum við lónin og mati á dýpi lausra yfirborðsjarðlaga við strendur lóna þar sem helst var talið að mætti vænta rofs. Helstu niðurstöður matsins við Hagalón voru gefnar út á teikningu 3 sem fylgdi með skýrslunni, sjá mynd 3.1.



Mynd 3.1 Niðurstaða mats á rofi við Hagalón frá 2002 miðað við þáverandi hönnun, klipt úr teikningu 3.<sup>14</sup>

Á myndinni kemur fram hvort jarðvegsþykkt á bökkum lónsins sé metin meiri eða minni en 1,5 m og hvort halli bakka sé meiri en 7% (Iowa-líkan). Út frá þessum forsendum var svo sett fram mat á því hvar ætti helst að beita fyrirbyggjandi rofvörnum (tvöföld rauð lína) miðað við þá fyrirhugað fyrirkomulag stíflugarða.

Á teikningu 6 sem fylgdi með skýrslunni kom fram að á dæmigerðu sniði við Hagalón, sjá svæði C við efsta hluta austurbakka lónsins á mynd 3.1, væri metið að rof yrði á um 5-10 m breiðu beltí.

<sup>14</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.

<sup>15</sup> Missouri River Diversion, Omaha Nebraska.



### 3.2 Mælt strandrof við önnur lón Landsvirkjunar

Vinna Almennu Verkfræðistofunnar við mat á rofi við fyrirhuguð lón í Neðri-Þjórsá, sem fjallað var um í kafla 3.1, byggði á fyrri athugunum og vinnu vegna mats á rofi við fyrirhugaða Norðlingaölduveitu í Þjórsá.<sup>16,17</sup>

Árið 2001 gaf Landsvirkjun út áfangaskýrslu um athuganir á rofi og setburði við miðlunarlón nokkurra virkjana.<sup>18</sup> Rof við lón Landsvirkjunar var mælt, þ.e. við Þórisvatn, Sultartangalón, Hrauneyjalón, Krókslón, Hágöngulón og Blöndulón. Öldurof og setmyndun var könnuð og einnig fok jarðvegsefna. Snið voru mæld og sýni tekin til kornastærðargreiningar. Meginniðurstaðan varðandi öldurof var þrjúþætt:

- Ferli öldurofs er háð landhalla og kornastærðardreifingu strandefnis.
- Rofbakkar myndast fljótlega við stendur lóna með halla meiri en 6-10%. Jarðvegur skolast burtu og þar sem jökulruðningur er undir jarðvegi hverfa fínefnin og eftir verða sand- og/eða malarstendur með um 6-10% halla neðan rofbakka.
- Ef strandhali er minni en 6% þarf ekki miklar öldur til að skola burt jarðvegi eftir að gróðurþekja hefur drepist. Ferlið tekur þó lengri tíma en við meiri halla.

Árið 2003 var gefin út skýrsla um áframhald á mælingum við lón Landsvirkjunar<sup>19</sup> en þar var ekki farið í túlkun á niðurstöðum.

### 3.3 Öldurofslíkön

#### 3.3.1 Líkan kennt við Iowa

Líkaninu sem vinna Almennu Verkfræðistofunnar byggðist á og fjallað er um í kafla 3.1, var lýst í skýrslu frá 1981<sup>20</sup> en þar var þessi aðferð borin saman við mælingar sem gerðar voru á tveimur tilbúnum og tiltölulegum litlum lónum í Iowa-fylki Bandaríkjanna. Á mynd 3.2 er líkaninu lýst en meginforsenda þess er að strönd úr auðrjúfanlegu efni sem hallar meira en 7% rofni, þannig að yfirborðið sem eftir stendur verði með 7% halla, en strandyfirborð með minni halla muni ekki rofna. Gert er ráð fyrir að rofið nái niður í öldugrunninn ( $h_{wb}$ ), sem er hálf öldulengdin. Öldulengdin er fundin út frá sveiflutíma kenniöldu með hefðbundinni öldufræði fyrir langar öldu og er takmörkuð af striklengd frekar en varanda storms. Aldan sem notuð er til viðmiðunar er fundin út frá algengasta vindhraða í stefnu þvert á viðkomandi strönd.

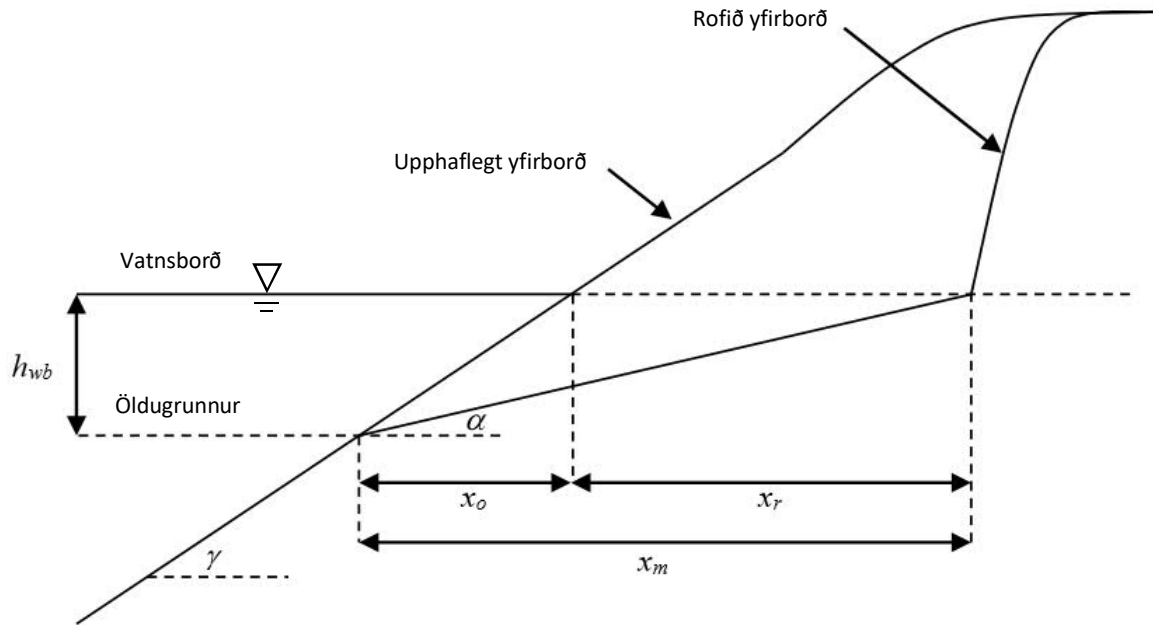
<sup>16</sup> Almenna Verkfræðistofan 1997. Miðlun við Norðlingaöldu - Athugun á öldurofi. Lokaskýrsla. Landsvirkjun.

<sup>17</sup> Almenna Verkfræðistofan 2001. Norðlingaöldulón. Öldurof, aurburður, áhlaðandi, vatnsborðssveiflur. Landsvirkjun.

<sup>18</sup> Hönnun, Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen og Stuðull 2001. Miðlunarlón vatnsaflsvirkjana. Athugun á rofi og setburði. Áfangaskýrsla. Landsvirkjun, LV-2001/016.

<sup>19</sup> Stuðull, Hönnun, VST 2003. Miðlunarlón vatnsaflsvirkjana. Athugun á rofi og setburði. Áfangaskýrsla II. Athuganir árin 2001 og 2002. Landsvirkjun, LV-2003/120.

<sup>20</sup> Lohnes, R.A. og Berg, B.M. 1981. Soil Characterization and Alternate Shoreline Erosion Control Measures for Constructed Lakes in Iowa. Completion Report. ISWRRRI-111. PB83-108282.



**Mynd 3.2** Iova-líkanið sem byggir á því að rof eigi sér stað þegar  $\tan\gamma > 0,07$  og  $\tan\alpha = 0,07$  sem jafngildir 7% halla yfirborðs.<sup>21</sup>

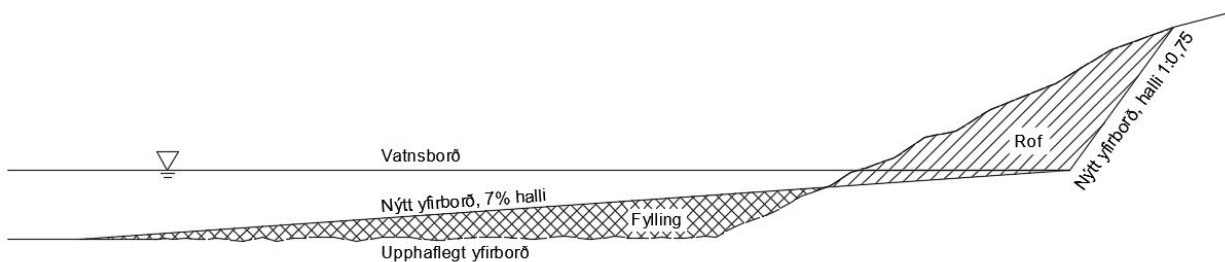
Af þessu leiðir að breidd strandar sem rofnar er samkvæmt þessari aðferð:

$$\begin{aligned} x_r &= x_m - x_0 \\ &= h_{wb} \cdot [\cot\alpha - \cot\gamma] \end{aligned}$$

þar sem Iova-líkanið gengur út frá því að  $\tan\alpha = 1/\cot\alpha = 0,07$ .

### 3.3.2 Líkan frá US Corps of Engineers

Iova-líkanið er skylt líkani frá US Corps of Engineers og er í raun útfærsla á þessu líkani. Líkaninu er lýst á mynd 3.3, en þar er gert ráð fyrir að efnismagn sem rofnar sé í jafnvægi við magn efnis sem byggist upp á vatnsbotni í fyllingu.<sup>22</sup>



**Mynd 3.3** Líkan frá US Corps of Engineers sem er að mörgu leyti sambærilegt við Iova-líkanið en byggir á því að efnismagn sem rofnar sé í jafnvægi við efnis í fyllingu.

<sup>21</sup> Mynd úr skrifum Susan deVries fyrir VST frá árinu 2000 um rof samkvæmt Iova-aðferðinni í tengslum við mat á rofi á strönd Héraðsflóa vegna tilkomu Kárahnjúkavirkjunar. Óútféið.

<sup>22</sup> Aðferð frá Missouri River Division of the Corp of Engineers in Omaha, Nebraska skv. Lohnes og Berg, 1981.

### 3.3.3 Aðferðir úr strandverkfræði

Í skýrslu Stuðuls frá 2001 um mat á væntanlegu rofi úr strönd Háslóns<sup>23</sup> voru notaðar aðferðir úr strandverkfræði til að leggja mat á öldurof. Hraði agna við botn var reiknaður með öldusveigjuforritinu HISWA frá Delft háskólanum í Hollandi. Byggt var á forsendum um hversu mikinn hraða þyrfti til að lyfta ögnum af ákveðinni meðalstærð upp frá botni,<sup>24</sup> viðmiðun um hvort alda bæri fínkornótt efni að eða frá ströndu og við hvaða aðstæður og dýpi viðmiðunarhraðinn gæti myndast við valinn vindhraða 15 m/s. Miðað var við að það þyrfti meira en 0,12 m/s til að lyfta jarðvegskornum en 0,05 m/s til að lyfta kornum silt-efnis. Niðurstaða útreikninga með líkaninu var að á austurströnd Háslóns þar sem miðað var við 5% landhalla og 2,5 m þykkjan jarðveg ætti strandlínán að hörfa um 50 m. Háslón er bæði talsvert stærra og dýpra lón en Hagalón kemur til með að vera.

---

<sup>23</sup> Stuðull 2001. Kárahnjúkavirkjun. Öldurof við Háslón. Skýrsla unnin fyrir Landsvirkjun, LV-2001/017.

<sup>24</sup> Samkvæmt aðferð úr Coastal Engineering Research Centre, 1984: Shore Protection Manual. Volume 1 and 2. Department of the Army. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Vicksburg, Mississippi.

## 4 Mat á öldurofi

### 4.1 Helstu forsendur

Hér verður byggt á mati á jarðvegsþykkt sem fram kom í fyrri skýrslu frá 2002.<sup>25</sup> Þar var sett fram flokkun jarðvegsþykktar í annars vegar þunnan jarðveg, <1,5 m, og hins vegar þykkun, >1,5 m. Valið er að miða áfram við lowa líkanið eins og í fyrri athugun. Rannsóknir við lón Landsvirkjunar sem vísað var til í kafla 3.2 benda til að lowa líkanið eigi að öllu jöfnu vel við þó jafnvægishallinn sem miðað er við sem 7%, geti verið aðeins breytilegur háð gerð botnefnis.

Í töflu 4.1 koma fram gildi fyrir dýpi öldugrunns ( $h_{wb}$ , dýpi sem öldurofs gætir á) miðað við mismunandi viðmiðunargildi vindhraða og striklengd (líka kallað lengd vinddrags) fyrir öldumyndun. Í lowa-líkaninu er notast við algengasta eða meðalvindhraða úr vindátt þvert á ströndu og sýndar eru niðurstöður fyrir vindhraða frá 4 m/s sem er nálægt meðalvindhraða sem mælst hefur á Hæli frá 1958-2011 og upp í 15 m/s til samanburðar en það er gildið sem notað var í fyrri mati.<sup>25</sup> Vindhraði úr fyrri mati telst vera mjög varfærið gildi fyrir venjulegan vind en er sama gildi og notað var fyrir mat á rofi við Norðlingaöldulón.<sup>26</sup> Séu vindmælingar frá Árnesi frá 2003-2016 skoðaðar, sjá mynd 2.4, kemur í ljós að ANA-áttin er langalgengust og meðalvindhraði hennar er einnig hæstur, eða um 7-8 m/s.

Gildi fyrir dýpi öldugrunns eru reiknuð fyrir mælda striklengd í lóninu, á bilinu frá 0,5 km og upp í 3,0 km, sjá mynd 4.1. Striklengd á mynd 4.1 er teiknuð þvert á meginstefnu bakka en þó eru sýnd dæmi um lengstu mögulegu striklengd sem getur átt við styttri hluta strandarinnar.

**Tafla 4.1 Útreikningar á dýpi á öldugrunni ( $h_{wb}$  í m) miðað við mismunandi viðmiðunarvindhraða ( $U_{10}$ ) og striklengd (F).**

F / $U_{10}$ (km) / (m/s)	4	6	8	10	12	15
0.5	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.4
1.0	0.7	1.0	1.3	1.6	1.8	2.2
1.5	1.0	1.3	1.7	2.0	2.4	2.8
2.0	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.4
2.5	1.4	1.9	2.4	2.9	3.3	4.0
3.0	1.5	2.1	2.7	3.2	3.8	4.5

Reiknuð gildi öldugrunns eru frá 0,5 m fyrir minnstu skoðuðu striklengd og meðalvindhraða allra átta og upp í 4,5 m fyrir 3 km striklengd og vindhraða 15 m/s. Fyrir striklengd á bilinu 1-2 km og meðalvindhraða 8 m/s (sem á eingöngu við ANA-áttina en er annars minni) fæst dýpi á öldugrunn u.þ.b. 1,3-2,1 m. Dýpi í Hagalóni verður mest við stífluna en nær um 5 m við efri hluta Hagaeyjar og verður minna þar fyrir ofan.

Á mynd 4.1 sjást 9 möguleg rofsvæði. Halli bakka er metinn af korti með hæðarlínum með 1 m millibili og einnig sjást mældar striklengdir við rofsvæðin. Í töflu 4.2 er reiknuð breidd rofbeltis miðað við útreiknað dýpi öldugrunns úr töflu 4.1, viðmiðunarhalli bakka úr lowa-líkaninu upp á 7% og mismunandi halla bakka við núverandi aðstæður. Reynslan hefur sýnt að viðmiðunarhalli lowa-líkansins er ekki nákvæm stærð og efniseiginleikar strandefnis hafa t.d. áhrif á rofið. Rof á sér einnig stað við minni halla en 7%, allt niður í um 1% halla en við slíkar aðstæður getur það tekið lengri tíma að ná jafnvægi heldur en þegar bakkar eru brattari. Ef miðað er við minni jafnvægishalla en 7% verða reiknaðar breiddir rofbelta meiri en sýnt er í töflu 4.2 og sem dæmi má nefna að ef jafnvægishallinn er settur 5% þá fæst um fjórfalt meiri reiknuð breidd á rofi við minnsta halla núverandi bakka sem sýndur er í töflunni, sem er rétt yfir fyrri jafnvægishalla (8%), en um 1,5 sinnum meiri breidd fyrir mesta hallann á bakka sem var til skoðunar (25%).

<sup>25</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.

<sup>26</sup> Almenna Verkfræðistofan 1997. Miðlun við Norðlingaöldu - Athugun á öldurofi. Lokaskýrsla. Landsvirkjun

**Tafla 4.2** Útreikningar skv. IOWA-líkani á breidd rofbeltis (m) miðað við mismunandi dýpi á öldugrunn ( $h_{wb}$ , línur) og halla núverandi bakka (tany, dálkar). Uppgefnar stærðir eru einungis til viðmiðunar fyrir áætlaða stærðargráðu rofs.

$h_{wb}/tany$ (m) / (%)	8	10	15	20	25
0.5	1	2	4	5	5
1.0	2	4	8	9	10
1.5	3	6	11	14	15
2.0	4	9	15	19	21
2.5	4	11	19	23	26
3.0	5	13	23	28	31
3.5	6	15	27	33	36
4.0	7	17	30	37	41
4.5	8	19	34	42	46

Dýpi á öldugrunn nálægt dæmi sem tekið var upp úr töflu 4.1, 1-2 m, og 15% halli núverandi bakka auk 7% viðmiðunarhalla gefa samkvæmt þessari aðferð um 8-15 m breidd á rofbelti. Þetta gefur hugmynd um dæmigerða en þó frekar varfærna niðurstöðu fyrir bakka lónsins. Sýndir útreikningar í töflu 4.2 eiga við ef breidd bakka með tilgreindum halla er jafn eða meiri en útreiknað rof en rofbreiddin verður minni ef bakkinn er mjórri.

## 4.2 Efri hluti Hagalóns austan ár

Samkvæmt fyrirkomulagi mannvirkja við Hagalónið sem sýnt er á mynd 4.1 þá mun neðri hluti þess austan ár að stórum hluta til leggjast að stíflugörðum og þar þarf því ekki að huga að rofi bakka. Karlsnes og Bæjarnes verða óvarin en á milli þessara nesja og austan Bæjarness verða varnargarðar. Bakkar við efsta hluta lónsins, áður en áin beygir við Líknýjarhólma verða án stíflugarða.

Ef farið er yfir svæðið frá efsta hluta lónsins og niður með ánni er fyrst að nefna svæðið ofan Yrja en þar verður vatnsborðshækkun tiltölulega lítil og land er flatt. Sama má segja um Yrjasker en lítillar vatnsborðshækkunar mun gæta við neðri hluta þess. Utan við Yrjar (svæði 1 á mynd 4.1) liggur brattur bakki í stefnu austur-vestur og vatnsborðshækkun þar verður nálægt 1 m. Á þessu svæði þar sem Litlilækur rennur út í Þjórsá er rof í gangi, sjá mynd 4.2, og þar var í fyrri skýrslu<sup>27</sup> gert ráð fyrir að bakkinn yrði skorinn niður til að stöðva rofið en bakvatn lækjarins mun hækka um u.þ.b. 1 m. Græða má efri hluta bakkans upp og setja rofvörn úr mól á nýja strandlínu.

<sup>27</sup> Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.









**Mynd 4.2** Rofbakki þar sem Litilækur rennur út í Þjórsá, vestan við Yrjar. Horft til vesturs yfir farveg Þjórsár.

Vestar og nær meginfarvegi Þjórsár (svæði 2) er einnig brattur bakki sem er gróinn og að sjá í jafnvægi en jarðvegur virðist vera þar þunnur, sjá mynd 4.3.



**Mynd 4.3** Brattur og gróinn bakki utan Litilæks. Á milli hærri bakka kemur lægð með litlum halla upp frá vatnsborði árinna. Horft til vesturs.

Sunnan við beygju bakkans til suð-suðvesturs (svæði 3) er jarðvegur þykkur og halli lands sem lónborðið mun falla að er víðast hvar á bilinu 10-30%, nema allra syðst og næst því þar sem stíflugarðurinn endar. Á þessu svæði er nokkuð um rofbakka, eins og þann sem sést á mynd 4.4, en vatnsborð lónsins mun falla að þessum bökkum. Vinddrag (strik lengd) er ekki mikið þvert á þessa bakka og vindáttin sjaldgæf en búast má við áframhaldandi rofi á þessu svæði.





**Mynd 4.4** Rofbakki á móts við nyrsta hluta Líknýjarhólma. Horft til suðurs, Skarðsfjall í bakgrunninum.

Talið er jarðvegur ofan á Bæjarnesi sé tiltölulega þunnur en gert er ráð fyrir stíflugarði ofan á nesinu, ofan við lónborð, sjá mynd 4.5. Nokkuð langt vinddrag er til ANA frá Bæjarnesi þaðan sem ríkjandi vindáttir blása. Jarðvegur á Karlsnesi (svæði 5) hefur líka verið metinn þunnur og vinddrag í ríkjandi vindstefnu er mun styttra en við Bæjarnes. Á mynd 4.6 sést vestari hluti bakka Karlsnes og Karlinn, sem er kjarri gróinn hólmi utan þess. Vestari bakki Karlsnes er í vari af nesinu sjálfu og Hagaey.



**Mynd 4.5** Vestasti hluti Bæjarness og Karlsnes fjær, Vaðeyri á milli. Horft til vesturs.



**Mynd 4.6** Karlsnes og hólmi utan þess, Karlinn, sé frá nyrðri (vestari) bakka Þjórsár og horft til suðausturs.



### 4.3 Neðri hluti lóns vestan ár

Ef farið er yfir bakka Hagalóns norðan ár frá norðri til suðurs á mynd 4.1 þá má greina að færsla Þjórsárdalsvegjar út að núverandi bakka árinna niður fyrir bæinn Haga mun afmarka lónið en þar er flatlent næst ánni. Lónborðið mun svo ganga upp að núverandi veglínu niður að Þverá en þar verður sett ný brú eða ræsi í ána. Gert er ráð fyrir að vegfláinn verði grjóttvarinn og því á ekki að koma til öldurofs á þessum kafla. Eitt lítið nes gengur út úr veglínunni rétt vestan við afleggjara að sumarbústöðum í landi Haga en þar er jarðvegur þunnur.

Vatn mun lóna upp ofan við veglínu yfir Þverá og yfir tún sem er vestan við núverandi Gnúpverjaveg, sjá mynd 4.7. Þar fyrir ofan eru brattir bakkar (svæði 6) og upp af þeim önnur tún en lítið vinddrag verður þarna. Ný tenging Gnúpverjavegs við Þjórsárdalsveg hefur verið teiknuð upp á bakkann við efri túnin og mögulega er hægt að nýta þá framkvæmd til að verja bakkann eða að huga að öðrum vörnum ef þarf. Jarðvegur austan við farveg Þverár er metinn þunnur utan í brattri hlíðinni.



**Mynd 4.7** Vegamót Gnúpverjavegar og Þjórsárdalsvegjar austan Þverár, horft til norðvesturs. Tún í forgrunni fer undir lónið.

Ef farið er áfram til suðurs með lónbakkann mun lónborðið liggja að mestu utan í nýrri veglínu Þjórsárdalsvegjar þar til komið er um 1 km ofan við stíflustæðið. Þar eru brattir bakkar niður að lónborðinu (svæði 7), sjá mynd 4.8, og jarðvegur hefur verið metinn þykkur á þessum kafla. Teiknuð hefur verið vegtenging að nyrðri enda stíflu ofan bakkans, um 20-30 m ofan lónborðs, og gert er ráð fyrir að sú vegfylling verði varin.



**Mynd 4.8** Vestari bakki lóns ofan stíflustæðis. Vegtenging að stíflu verður lögð ofan bakkans.

#### 4.4 Hagaey

Efri hluti Hagaeyjar mun standa upp úr lóninu en vatnsborð mun hækka um u.þ.b. 4 m á móts við efri enda hennar og um 8 m við neðri enda eyjarinnar. Hæsti punktur Hagaeyjar er í ríflega 124 m y.s. en lónborð verður í um 116 m y.s. Bakkar eyjarinnar ofan lónborðs eru tiltölulega brattir með meiri halla en 7% og því má vænta þess að rof muni koma þar fram.

Mynd 4.9 sýnir Hagaey frá austari bakka Þjórsár en eyjan fellur að nokkru leyti inn í bakgrunninn handan Þjórsár. Neðri hluti bakka fyrir miðri mynd virðast að mestu vera úr föstu efni en rof á sér stað þar ofan við. Búast má við rofi í jarðvegsþekju við tilkomu lóns.



**Mynd 4.9** Hagaey séð frá austari bakka Þjórsár. Núverandi brú á Þjórsárdalsvegi yfir Þverá sést í ljósum lit vinstra megin á mynd. Vegur til norðurs frá brúnni er á bak við efsta hluta Hagaeyjar á miðri mynd.

Á mynd 4.10 sést Hagaey frá vestari bakka Þjórsár í nágrenni við afleggjara að sumarhúsum sunnan Hagafjalls. Mikill halli er á bökkum (svæði 8).



**Mynd 4.10** Hagaey séð frá vestari bakka Þjórsár, horft til suðurs á móts við nyrðri enda eyjarinnar. Skarðsfjall er í bakgrunninum.

Mynd 4.11 er tekin frá vegi í nálægð við gatnamót Þjórsárdalsvegar og Gnúpverjavegar við Þverá. Fremsti hluta Hagaeyjar frá þessu sjónarhorni (ofan við vatnsborð á myndinni) mun fara á kaf í lónið og bakkar sem vatnið mun leggjast upp að eru nokkuð brattir (svæði 9).





Mynd 4.11 Hagaey séð frá vegi við Þverá á nyrðri bakka Þjórsár. Skarðsfjall er hægra megin í bakgrunni.

## 4.5 Ölmóðsey

Lokað verður fyrir farveginn austan Ölmóðseyjar og frárennsli Hvammsvirkjunar verður leitt í þann farveg, eins og sjá má á mynd 2.2. Þetta leiðir til þess að allt vatn sem ekki fer í gegnum virkjun fer vestan Ölmóðseyjar, sem við venjulegar aðstæður verður einungis það vatn sem hleypt er framhjá virkjun til að farvegurinn neðan stíflu verði ekki þurr. Lágmarksrennsli í farvegi neðan stíflu verður  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  en á niðurgöngutíma seiða verður seiðafleyta opin með um  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  rennsli.<sup>28</sup> Samkvæmt upplýsingum um fyrirkomulag fyrirhugaðrar virkjunar<sup>29</sup> er meðalrennsli Þjórsár á þessum stað um  $332 \text{ m}^3/\text{s}$  en virkjað rennsli verður  $352 \text{ m}^3/\text{s}$ . Þegar rennsli í ánni er meira en virkjað rennsli verður vatni hleypt um flóðlokur og þegar heildarrennslið er orðið u.þ.b.  $550\text{-}600 \text{ m}^3/\text{s}$  eða meira þá verður meira vatn í farveginum vestan Ölmóðseyjar en fyrir tilkomu virkjunar. Þetta þýðir að í flóðum fer vatnsborð hærra í farveginum vestan megin en fyrir virkjun en á árinu 2016 mældist rennsli aðeins einu sinni yfir  $550 \text{ m}^3/\text{s}$  við Þjórsártún í stuttum og snörpum toppi.<sup>30</sup> Samkvæmt langæi fyrir áætlað miðlað rennsli áranna 1950-2004 inn í Hagalón er rennsli meira en  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  um 1% tímans eða að meðaltali 3-4 daga ársins.

Bakkar Ölmóðseyjar eru úr föstu bergi og mjög brattir, sjá mynd 4.12. Ekki er gert ráð fyrir að tilkoma virkjunar muni hafa mikil áhrif á rof þó svo að vatnsborð muni ná hærra upp á eyna í stórum flóðum.



Mynd 4.12 Syðri endi Ölmóðseyjar séð frá nyrðri bakka Þjórsár. Prenging er í farveginum og skörp beygja.

<sup>28</sup> Efla 2017. Hvammsvirkjun. Mat á umhverfisáhrifum: Ferðaþjónusta og útivist og landslag og ásýnd lands. Matsskýrsla. Landsvirkjun og Landsnet, LV-2017-072.

<sup>29</sup> Landsvirkjun. Tilhögun fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar í neðanverðri Þjórsá. 2013-586 – 08.01.05, dags. 25.7.2016. Þróunarsvið.

<sup>30</sup> Skv. upplýsingum af <http://vmkerfi.vedur.is/vatn/vdv.php?p=0, V320>.

## 5 Mótvægisáðgerðir og vöktunaráætlun

Ekki er gert ráð fyrir að ráðist verði í miklar mótvægisáðgerðir gegn öldurofi áður en fyllt verður í Hagalón. Einungis er gert ráð fyrir að núverandi rofbakki við Yrjar, þar sem Litlilækur rennur út í Þjórsá, verði skorinn niður, eins og áður var fyrirhugað, og að hugað verði að vörnum fyrir tún ofan bakka, vestan megin og norðan við veglínu Þjórsárdalsvegar yfir Þverá, með því að minnka halla og/eða leggja út grófara efni á bakkann sem mögulega má gera í tengslum við færslu á tengingu Gnúpverjavegar. Ástæða er samt talin til að fylgjast frekar með framvindu rofs á nokkrum stöðum. Fyrirhugaðar mótvægisáðgerðir og mat á stöðum sem lagt er til að fylgst verði með er byggt á mældum halla bakka af kortum og einnig á sjónmati á þykkt jarðvegs úr athugun árið 2002. Ástæða gæti verið til að kanna betur jarðvegsþykktir á nokkrum stöðum með því að grafa gryfjur eða bora áður en fyllt verður í lónið. Einnig er ástæða til að fylgjast með myndun íshrannar sem gæti haft áhrif á rof strandar. Vakta þarf með tilliti til þess hvort og hvar íshrönn myndast hvort þörf sé á grófari bakkavörn á ákveðnum svæðum.

Viðey (Minnanúpshólmi), sem er um 400 m neðan við meginstíflu virkjunarinnar og var friðlýst árið 2011 til verndunar á náttúrulegum, lítt snortnum og gróskumiklum birkiskógi ásamt öðrum gróðri og tengdu lífríki, var ekki skoðuð sérstaklega í vettvangsskoðun. Rennsli umhverfis eyna minnkar umtalsvert miðað við núverandi aðstæður og ekki er gert ráð fyrir að framkvæmdirnar hafi áhrif til aukningar á rofi.

Í töflu 5.1 er samantekt á því sem helst er talin ástæða til að fylgjast með á meðan lónið er í rekstri. Þar er gert ráð fyrir að fylgst verði með strandlínu lóna með reglubundinni myndatöku með dróna. Með því að hafa þekkt fastmerki sem sjást á loftmyndum má fá landlíkan með mjög góðri upplausn sem svo er hægt að nota til að bera saman þróun mögulegs rofs í sniðum í lónbakkana. Talið er að þetta sé hagkvæmari aðferð en að senda mælingamann á staðinn til að mæla upp punkta á yfirborði bakka og með þessu móti má einnig fá mælingu á mun stærra svæði en með því að ganga um svæðið. Eins og á við allar áætlanir um vöktun er æskilegt að taka þessa áætlun til endurskoðunar með reglubundnum hætti og endurmeta þörf á skoðunarstöðum, -aðferðum og tíðni athugana eftir að reynsla fæst og niðurstöður fara að liggja fyrir. Fyrsta mæling verður að fara fram áður en rekstur virkunar hefst og fyllt verður í lónið og gert er ráð fyrir að mælt verði árlega í tvö ár eftir fyllingu en annars á 5 ára fresti. Ef íshrönn myndast er ástæða til að mæla upp líklega álagsstaði, sem ekki hafa þegar verið varðir sérstaklega, á sama ári eftir að ísa leysir. Í töflunni er vísað til staðsetninga með lýsingu og númerum svæða sem koma fram á mynd 4.1.

Tafla 5.1 Vöktunarpættir. Áætlun um mælingu með myndatöku og tíðni mælinga á við öll tölusett svæði í töflu.

Nr.	Vöktunarpáttur	Staður	Mótvægisáðgerð	Hvernig mælt	Tíðni
1	Bakkavörn	Yrjar	Bakki skorinn, græddur upp og rofvörn á strandlínu	Myndataka með dróna, gerð landlíkans og snið tekin úr líkani	Árlega í 2 ár eftir fyllingu, annars á 5 ára fresti
2	Lögun bakka	Austurbakki ofan stíflugarða		-	-
3	Lögun bakka	Austurbakki ofan stíflugarða		-	-
4	Lögun bakka	Bæjarnes		-	-
5	Lögun bakka	Karlsnes		-	-
6	Bakkavörn	Vesturbakki þverár	Bakki skorinn, græddur upp og/eða fóðrun hans með grófara efni	-	-
7	Lögun bakka	Vesturbakki ofan stíflustæðis		-	-
8	Lögun bakka	Hagaey austur		-	-
9	Lögun bakka	Hagaey norður		-	-
	Myndun íshrannar og lögun bakka	Bakkar, sérstaklega við efri hluta lóns		Fylgst með myndun íshrannar í rekstri. Ef íshrönn myndast þá verði bakkar lóns mældir með myndatöku þegar ísa leysir sama ár.	Árlega yfir vetrartímann verði fylgst með myndun íshrannar

## 6 Niðurstöður

Stór hluti bakka Hagalóns verður annað hvort lagður stíflugarði eða myndaður af nýrri veglínu Þjórsárdalsvegjar sem verður með grjótvörðum vegfláa. Aðrir bakkar lónsins eru að langmestu leyti með talsvert mikið hallandi bökkum sem skapar aðstæður fyrir öldurof en þykkt jarðvegs er ekki alls staðar mikil og lengd vinddrags er víðast takmörkuð.

Ekki er gert ráð fyrir að ráðist verði í miklar mótvægisáðgerðir gegn öldurofi áður en fyllt verður í lónið. Einungis er gert ráð fyrir að núverandi rofbakki við Yrjar, þar sem Litlilækur rennur út í Þjórsá, verði skorinn niður og varinn og að hugað verði að vörnum fyrir tún ofan bakka, vestan megin og norðan við veglínu Þjórsárdalsvegjar yfir þverá með því að minnka halla og/eða leggja út grófara efni á bakkann sem mögulega má gera í tengslum við færslu á tengingu Gnúpverjavegjar. Ástæða er samt talin til að fylgjast frekar með mögulegri framvindu rofs á nokkrum stöðum sem getur leitt til að ráðist þurfi í varnaraðgerðir síðar.

Gert er ráð fyrir að fylgst verði með strandlínu lóna með reglubundinni myndatöku með dróna. Slík myndataka gefur möguleika á að búa til landlíkan með mjög góðri upplausn sem svo er hægt að nota til að gera snið í lónbakkana. Þannig verður hægt að fylgjast með mögulegri þróun rofs í bökkum lónsins. Eins og á við allar áætlanir er æskilegt að taka þessa áætlun um vöktun til endurskoðunar með reglubundnum hætti og endurmeta þörf á skoðunarstöðum, -aðferðum og tíðni athugana eftir að reynsla fæst og niðurstöður fara að liggja fyrir. Fyrsta mæling verður að fara fram áður en rekstur virkjunar hefst og fyllt verður í lónið.

## 7 Heimildir

- Almenna Verkfræðistofan 1997. Miðlun við Norðlingaöldu - Athugun á öldurofi. Lokaskýrsla. Landsvirkjun.
- Almenna Verkfræðistofan 2001. Norðlingaöldulón. Öldurof, aurburður, áhlaðandi, vatnsborðssveiflur. Landsvirkjun.
- Almenna Verkfræðistofan hf. 2002. Strandrof við lón í Neðri-Þjórsá. Landsvirkjun, LV-2002/088.
- Almenna Verkfræðistofan hf. 2003. Virkjun Þjórsár við Núp, allt að 150 MW og breyting á Búrfellslínu 1. Mat á umhverfisáhrifum. Matsskýrsla. Landsvirkjun, apríl 2003. LV-2003/032.
- Almenna Verkfræðistofan hf. 2006. Setmyndun í Hagalóni. Rannsóknir, úrvinnsla og útreikningar. Landsvirkjun, janúar 2006. LV-2006/003.
- Árni Hjartarson, Páll Einarsson og Snorri P. Snorrason 2001. Búðafoss – Núpur. Jarðfræðikort – Geological map. 1:20.000. Orkustofnun, Reykjavík.
- Coastal Engineering Research Centre, 1984. Shore Protection Manual. Volume 1 and 2. Department of the Army. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Vicksburg, Mississippi.
- Efla 2016. Hvammsvirkjun. Mat á umhverfisáhrifum: Ferðapjónusta og útivist og landslag og ásýnd lands. Tillaga að matsáætlun. Landsvirkjun, maí 2016. LV-2016-046.
- Efla 2017. Hvammsvirkjun. Mat á umhverfisáhrifum: Ferðapjónusta og útivist og landslag og ásýnd lands. Matsskýrsla. Landsvirkjun og Landsnet, LV-2017-072.
- Hönnun, Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen og Stuðull 2001. Miðlunarlón vatnsaflsvirkjana. Athugun á rof og setburði. Áfangaskýrsla. Landsvirkjun, LV-2001/016.
- Landsvirkjun. Tilhögun fyrirhugaðrar Hvammsvirkjunar í neðanverðri Þjórsá. 2013-586 – 08.01.05, dags. 25.7.2016. Þróunarsvið.
- Lohnes, R.A. og Berg, B.M. 1981. Soil Characterization and Alternate Shoreline Erosion Control Measures for Constructed Lakes in Iowa. Completion Report. ISWRRRI-111. PB83-108282.
- Stuðull 2001. Kárahnjúkavirkjun. Öldurof við Háslón. Skýrsla unnin fyrir Landsvirkjun, LV-2001/017.
- Stuðull, Hönnun, VST 2003. Miðlunarlón vatnsaflsvirkjana. Athugun á rofi og setburði. Áfangaskýrsla II. Athuganir árin 2001 og 2002. Landsvirkjun, LV-2003/120.
- Verkís og Mannvit 2009. Þjórsá River South Iceland. Hvammur and Urriðafoss Hydroelectric Projects. Ice Jam Evaluation. Landvirkjun, LV-2009/127.
- Þingsályktun 1575/144 um breytingu á áætlun um vernd og orkunýtingu landsvæða, nr. 13/141, samþykkt á Alþingi 1. júlí 2015.