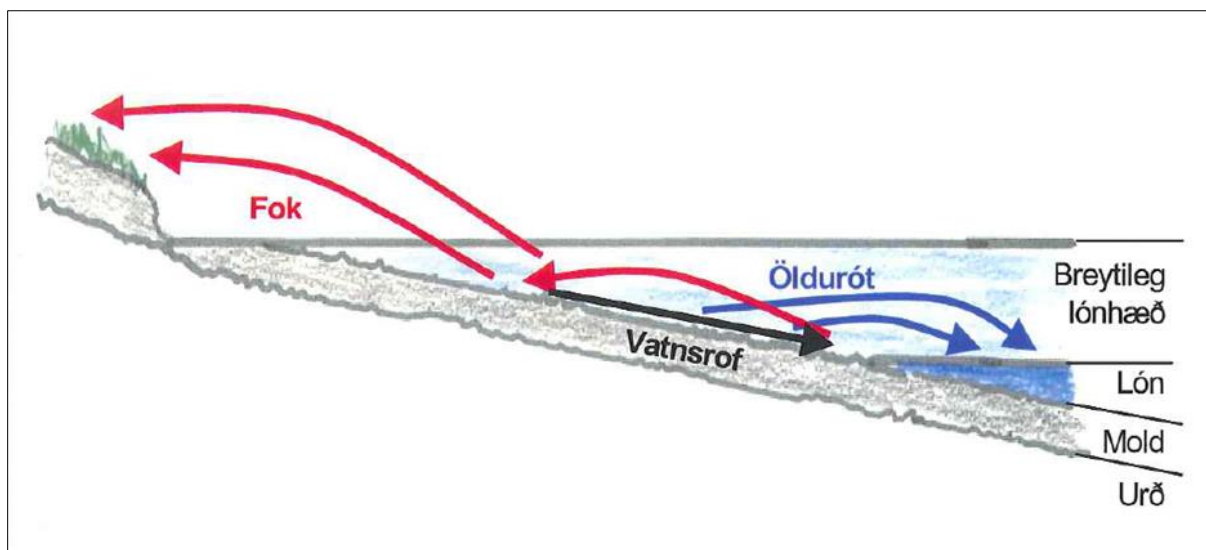


Inngangur

Berggrunnurinn á fyrirhuguðu virkjunarsvæði er að mestu basaltlög, sem talin eru um 7-8 milljón ára gömul. Ofan á berggrunni er jökulruðningur, sem víða er smurður ofan á berggrunninn, ármöl í árfarvegum, skriðuset neðan brattra hlíða og lífrænn jarðvegur efst. Þykkt jarðvegs er breytileg en víðast hvar er jarðvegur frekar þunnur.

Landbrot við miðlunarlón er skipt í öldurof og vindrof, sem skiptist aftur í uppfok og áfok, og setflutninga, sem eru vegna ölduhreyfinga og vatnsrofs. Áhrif og vægi hvers ferils er mismikið frá einum stað til annars. Þessir helstu ferlar eru sýndir á mynd 1. hér undir.



Mynd 1. Ferli rofs við lón¹.

Til að safna upplýsingum um ferli rofs við miðlunarlón hér á landi voru sett á laggirnar rannsóknarverkefni í lok síðasta áratugar síðustu aldar, þar sem fylgst var með landbreytingum við nokkur lón Landsvirkjunar. Tilgangur og markmið athugana var að fylgjast með framvindu öldurofs, setmyndunar og sandfoks við strendur uppistöðulóna og afla þekkingar á þeim rofferlum sem í gangi eru. Athuganir miðuðust við að safna gögnum, sem nýta mætti til að spá fyrir um landbrot við ný miðlunarlón. Við athuganir var einkum horft til Blöndulóns, sem var tiltölulega nýmyndað 1996 og land gróið þar um kring. Þar hafa verið mæld snið í rofbakka, á nokkrum stöðum, til að fylgjast með rofhraða

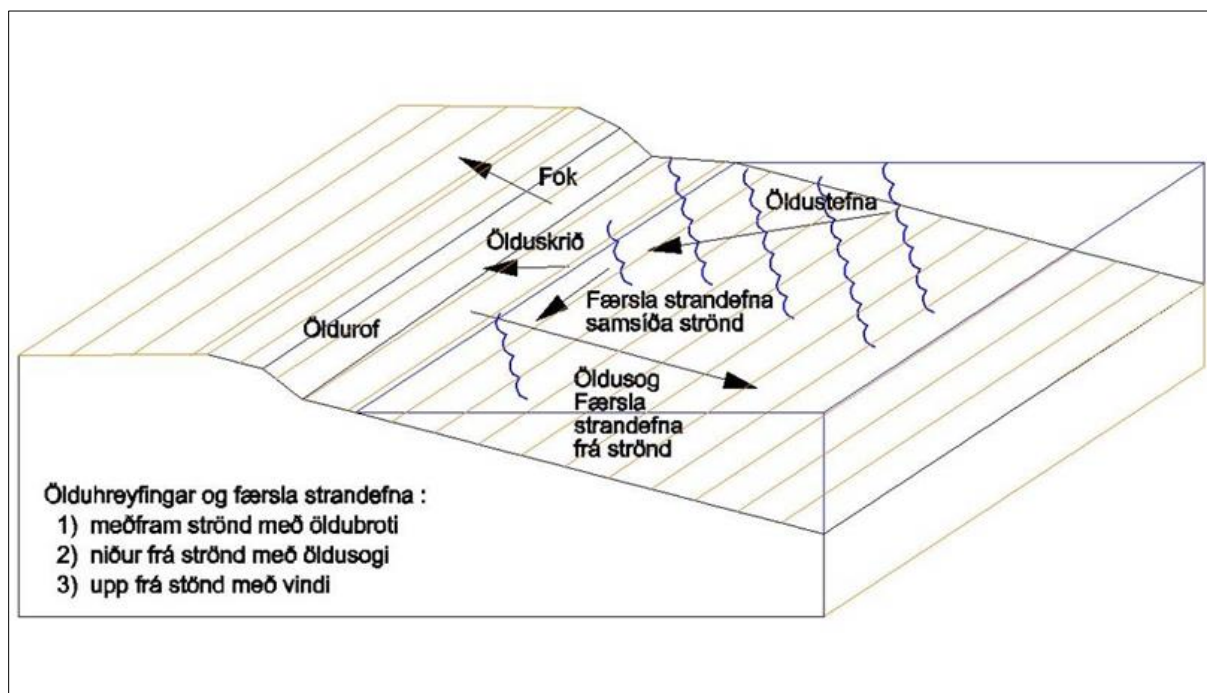
¹ Hálsló. Jarðvegur og jarðvegsrof. Ólafur Arnalds og Fanney Ósk Gísladóttir. Rala, mars 2001.

og mældir sandflákar. Að þessum verkefnum hafa nokkrir aðilar unnið og fjölmargar skýrslur og greinargerðir ritaðar um niðurstöður rannsókna. Nokkrar þeirra er vísað í í þessari greinargerð.^{2,3,4}

Öldurof

Öldurof er háð halla strandar og vatnsbotns út frá ströndinni, öldufari, grófleika efna við strönd, gróðri á ströndinni o.fl. Landslag við lónið hefur áhrif á vindstefnu og vindhraða en vindstefna, veðurhæð, tilhlaup öldu í vindstefnu og vatnsdýpi við ströndina ræður ölduhæð.

Við öldurof verða efnisflutningar og efni skiljast að eftir kornastærð. Flutningur getur verið hornrétt eða samsíða ströndinni eða upp á rofbakka með öldu eða vindi°, sjá mynd 2. Strandrof við mjög stór lón getur orðið mjög umfangsmikið við ákveðnar aðstæður og varað lengi, en almennt gildir að jafnvægisástand skapast fyrr eða síðar milli strandrofs, halla strandar og ölduálags.



Mynd 2. Setflutningar við strönd vegna ölduhreyfinga⁵

Í athugunum á öldurofi hefur verið skoðað hvort nota mætti svokallað lóna öldurofslíkan til að spá fyrir um öldurof við strendur lóna⁶. Þetta líkan er einfalt og gerir, í stuttu máli, ráð fyrir að ef strandhalli er minni en 7% verður ekkert rof en ef hallinn er meiri verður til nýtt yfirborð við strönd sem hefur 7% halla, miðað við fínkornóttar strendur. Grófkornóttari strendur geta verið hallameiri. Líkanið gerir ráð fyrir að öldurofs gæti niður á dýpi sem er jafnt hálfri öldulengd viðmiðunaröldu.

² Miðlunarlón vatnsaflsvirkjana. Athugun á rofi og setburði, áfangaskýrsla, Hönnun, VST og Stuðull, mars 2001

³ Háslón – Landbrot. Samantekt úr sérfræðiskýrslum um áhrif öldu og vinds. Hönnun og VST, mars 2001

⁴ Varnir gegn sandfoki úr strandsvæðum Háslóns. Greinargerð unnin fyrir Landsvirkjun. Hönnun, Stuðull og VSÓ, ágúst 2001

⁵ Blöndulón – rofathugun. Skýrsla um athuganir 2005. LV-2006/015. Hönnun og Stuðull, desember 2005.

⁶ Soil Characterization and Alternate Shoreline Erosion Control Measures for Constructed Lakes in Iowa. ISWRI-111. R.A Lohnes, B.M Berg, October 1981

Þetta er ekki alveg svo einfalt og frávik eru nokkur. Miðað við niðurstöður rannsókna við núverandi miðlunarlón hér á land má draga eftir ályktanir:

- þar sem landi hallar > 7% (réttara að tala um 6-9% halla, vikmörk háð efnisgerð og aðstæðum við strendur lóna) myndast fljótlega rofbakkar við strendur miðlunarlóna. Jarðvegur hverfur, rofbakkinn færir smám saman frá ströndinni og strönd með 6-9% landhalla verður til neðan við rofbakkann. Þar sem jökulruðningur er undir jarðvegi skolest fínefni úr ruðningi og eftir verður sand/malar strönd með stökum grjóthnullungum.
- þar sem landhalli er < 7% er rofmáttur öldu minni. Alda nær ekki að hreyfa grófkornóttari jarðefni en þar sem fínkornóttur jarðvegur er fyrir þarf ekki nema lítilsháttar öldugjálfur til að hreyfa jarðvegsagnir. Þegar gróður rotnar og flýtur burt losnar um jarðveg sem undir er. Vatn og vindur skilur að kornastærðir í jarðvegi og ber burt af strandsvæðum. Hætta á uppfoki jarðefna er því meiri á hallalitlum ströndum.

Vindrof

Til að vindrof geti átt sér stað þarf opna rofbakka eða gróðurlaus svæði þar sem fyrir eru þurr og fínkorna jarðefni. Vindrof er einnig háð raka í jarðvegi, vindátt, vindhraða o.fl. Á áfokssvæðum þykkar jarðvegur smám saman vegna áfoks, þornar og verður viðkvæmari fyrir roföflum vatns og vinds. Sandhluti jarðvegsins verður eftir í jaðri uppblásturssvæðis og sverfur gróður þar en fínkornóttara efni berst lengra. Vindrof er því gjarnan skipt upp í uppfok og áfok. Við uppfok fjúka fínefni út í veður og vind burt af svæðinu, en áfokið leggst á bakka lónsins ofan vatnsborðs. Lítinn vind þarf til að valda uppfoki ef réttar aðstæður eru fyrir hendi eða aðeins um 6 m/s, en fyrir áfok þarf mun meiri vind eða 12-16 m/s⁷.

Helstu niðurstöður rannsókna við núverandi miðlunarlón hér á landi eru:

- Fínsandur hefur, á afmörkuðum svæðum, fokið upp á gróðurlendi ofan hæsta lónborðs, einkum í vikum og vogum þar sem alda ber að efni og vindstrengir myndast.
- Fokefnið virðist aðallega vera ættaður úr jarðvegi. Fokefnið er nær eingöngu einkorna fínsandur og er hlutfall gjósku hátt. Hlutfall jarðvegs, sem myndar áfok, er aðeins brot af þeim jarðvegi sem rofnar við lónið.
- Ekki hefur orðið vart við áframhaldandi jarðvegsrof úr rofbökkum vegna vinds í kjölfar öldurofs. Það er hins vegar ekki hægt að útiloka að það geti gerst.

Setflutningar

Miklir setflutningar eiga sér stað við landbrot. Ölduhreyfingar bera set meðfram ströndinni og dregur set niður í lónið. Þá berst með jökulám mikill jökulaur inn í miðlunarlón. Auk þess að botnfalla við ósa ána þá berst jökulaurinn lengra út í lónin og sest á strendur þess.

Stundum hefur verið sett sama sem merki milli jarðvegs sem losnar vegna öldurofs og þess sem fýkur upp á rofbakka. Þá vill gleymast sá þáttur rofferils sem er flutningur sets frá strandsvæðum niður í lónið. Athuganir við Blöndulón benda til þess að þáttur setflutnings niður í lónið er sennilega mun meiri en áður hefur verið talið.

⁷ Staða rofvarna við Hálslón. Landsvirkjun. LV-2010/049, apríl 2010

Þegar lónborð stendur hátt rofnar úr óhreyfðu landi, en við lægri lónstöðu rýfur aldan í rofset og færir enn neðar í lónið⁸.

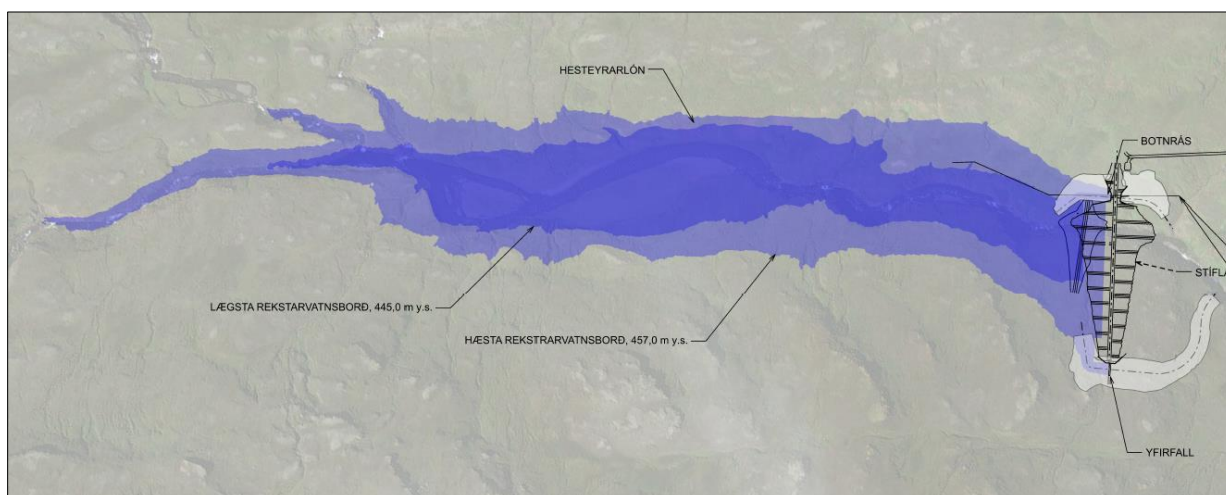
Helstu niðurstöður rannsókna við núverandi miðlunarlón eru :

- Ölduhreyfingar bera sand og fínkornótt efni út í lónið og möl og sand frá rofsvæðum áveðurs meðfram strandlengju lóna inn í víkur og voga.
- Silt sem berst með jökulám inn í miðlunarlón nær ekki að sitja eftir í neinu magni á strönd lóna þar sem ölduhreyfinga gætir, heldur dregst það frá ströndinni og fellur til botns lengra út í lónunum.
- Líklega á vorleysing einnig hlut að máli í tilfærslu fínefna lengra út í lónin. Í vorleysingum vex mjög í ám og lækjum og leysingarvatnið getur borið jökulárset, sem sest til síðla sumars við ósa jökulár, og jarðveg á strandsvæðum lengra út í lónstæði þegar lágt er í lónum.
- Sandfok upp á gróðurlendi ofan efsta lónborðs Blöndulóns er minna en 5 % af jarðvegi sem lá á strandsvæðum þessara svæða. Þá er ótalið strandsvæði út frá víkum að töngum. Með öðrum orðum hafa yfir 90% jarðvegsins flust frá strandsvæðum niður í lónið eða hafa horfið undir möl og sand sem berst meðfram ströndinni.

Í stuttu máli hafa niðurstöður þessara rannsókna sýnt að fljótlega eftir myndun lónsins myndast rofbakkar við efsta lónborð. Hæð rofbakka er háð landhalla og jarðvegsþykkt á strandsvæðum og rofbakkar myndast fyrr á hallamiklu landi en hallalitlu. Mikill hluti jarðvegs á strandsvæðum dregst með ölduhreyfingum niður í lónið. Í víkum hefur fokið upp sandur, sem er aðallega einkorna fínsandur oft að uppruna tiltölulega létt gjóska sem finnst í jarðvegi á svæðinu. Lítið af jökulleir nær að safnast á strandsvæðum lóna.

Aðstæður við lónstæði Geitdalsárvirkjunar

Mynd 3 er grunnmynd af inntakslóni virkjunar. Stærð lóns miðað við hæsta vatnsborð er um 0,3 km² 303.000 m² (ytri mörk ljósbláa svæðis) en stærð lóns miðað við lægsta vatnsborð er um 151.000 m². Mismunur er það svæði sem verður fyrir áhrifum vatnsborðsbreytinga í lóninu eða um 152.000 m².



Mynd 3. Inntakslón Geitdalsárvirkjunar, grunnmynd.

⁸ Blöndulón – Rofathugun. Skýrsla um athuganir 2005. Hönnun og Stuðull, LV-2006/15, desember 2005.

Miðlunarlón Geitdalsárvirkjunar er mjög lítið í samanburði við t.d. Blöndulón og Háslón, sem eru nær 57 km² að stærð við fulla lónhæð, aðeins um 0,5% af flatarmáli þessara lóna. Þykkt jarðvegs á lónsvæði Geitdalsárvirkjunar er einnig víðast hvar þynnri en við fyrrnefnd stærri lón.

Næst stíflu er halli lands, þvert á lónið, þar sem lónborð sveiflast um og yfir 10%. Því má gera ráð fyrir nokkru öldurofi á því svæði. Fjær stíflunni er land sums staðar flatara og öldurof því minna. Alda getur aldrei orðið stór á litlu lóni og því er aðallega búist við rofi á jarðvegi vegna öldugjálfs og útskolun á fínefni í undirliggjandi jökulruðningi.

Geitdalsá er dragá og setburður því mun minni en í jökulám og fínkorna silt og leir sest í litlu mæli á strandsvæðum. Uppfok verður því lítið.

Á fyrstu árum eftir tilkomu lónsins brotna niður bakkar við lónið fyrir áhrifa ölduhreyfinga eins og sýnt er á myndum hér undir, sem tekur eru við Blöndulón. Fyrst rofnar jarðvegur, fínefni jarðvegs skolast að mestu niður í lónið, sandur berst með ströndinni og er fram líða stundir verður eftir mól á sandur á strandsvæðum.



Mynd 4. Öldugjálfur við strönd Blöndulóns dregur jarðveg niður í lónið⁹.



Mynd 5. Malarfjara við Blöndulón. Strandsvæði komið í jafnvægi⁹.

Þar sem jarðvegsþekja er víðast hvar þunn verður áfok væntanlega mjög takmarkað við víkur og líklegt að það nái ekki að kæfa jarðveg næst lóninu, sbr. á svæðum við Blöndulón eins og sýnt er á mynd 6.



Mynd 6. Myndir frá strandsvæði Blöndulóns⁹.

⁹ Blöndulón – Rofathugun. Greinargerð um athuganir 2005. Hönnun og Stuðull, september 2005

Mótvægisáðgerðir gegn landbroti

Í ljósi stærðar, minni jarðvegsþekju og minni setburðar verður umfang rofs og setflutningar margfalt minna en við Blöndu og Háslón. Ferli rofs verður þó hið sama, einkum þó öldurof og sandflutningu meðfram strandlengju lónsins. Uppfok verður lítið því lítið sem ekkert silt.

Ef ástæða þykir til verður hægt að grípa til mótvægisáðgerða. Í dag er ekki tímabært að skilgreina hvaða einstakri mótvægisáðgerð eigi að beita á hverjum stað.

Í áðgerðaráætlun má skipta mótvægisáðgerðum upp í eftirfarandi:

1. Vöktun svæðis
2. Lokun rofbakka með efni af strandsvæðum lónsins eða aðfluttu efni
3. Hefting sandfoks og styrking gróðurs á grannsvæðum lóns
4. Sértækar áðgerðir til að loka rofbökkum, sáning, vökvun o.fl.

Vöktun

Gera þarf ráð fyrir vöktun svæðisins þar sem strandsvæði lónsins yrði skoðað árlega fyrstu árin, rofsvæði mælt og merkt á kort, árlegur rofhraði mældur og metið hvort ástæða er til að grípa til varnaraðgerða. Í vöktun gæti því falist grunnmæling svæða, ljósmyndun, loftmyndataka, lýsingar á aðstæðum o.fl. Með virkri vöktun verður hægt að grípa inn í rofferli með viðeigandi mótvægisáðgerðum.

Eftir að lón myndast er mikilvægt að vakta þau svæði þar sem mestar líkur eru á að sandur geti fokið á land. Borin saman kortlagning áhættusvæða fyrir lón og eftir að lón verður til. Einnig haft vakandi auga með allri strandlínu lónsins og þróun hennar, sérstaklega á fyrstu árunum.

Styrking rofbakka með aðfluttu grjóti eða efni á staðnum

Nokkrar mismunandi áðgerðir eru tiltækar og henta við mismunandi aðstæður. Fyrir allra verstu svæðin má verja fláa grjóti en með mól þar sem ölduáhrif eru minni. Þessar áðgerðir munu dreifa eða eyða rofafli öldu er skellur á bökkum lónsins.

Rofvörnum hefur m.a. verið beitt við Háslón og Blöndulón. Grjótið þarf þá að vera af þeirri stærð að það standist ölduáraun þegar lónið er fullt.

Önnur aðferð er að leyfa rofbakka að færast út frá efsta lónborði og fletja þar út rofbakkann og sá í þegar alda hættir að ná til bakkans. Þá er hægt að verja rofbakka fyrir áframhaldandi rofi með smærra grjóti sem stingur þá minna í stúf við landið um kring.

Ef öldurof er enn virkt við rofbakkann þá eykst kostnaður vegna stærri og meiri ölduvarna, en ef öldurof er lokið og aðeins er verið að loka rofbakka fyrir vindrofi og öldugjálfri. Gerð hefur verið tilraun til að verja rofbakka við Blöndulón með efni af strandsvæðum. Reynslan sýnir að það er hægt þar sem landhalla strandsvæða er lítill (<7%) og öldurof að mestu um garð gengið.

Hefting sandfoks

Dæmi eru um myndun sandfjara við strendur miðlunarlóna hér á landi. Þetta virðist helst gerast á landi sem er með nokkrum halla (1-7%), en minni en svo að öldurof og stallamyndun verði í bökkum í kjölfar þess að lón myndast. Sandur sem safnast í fjörur á upptök í jarðvegi sem rofnar við öldurof úr bökkum eða kaffærist og leysist í sundur undan strönd. Framboð slíks sands er mest á fyrstu árum eftir að lón myndast en síðan dregur úr því er rof minnkar og gengur á laust efni.

Ekki eru þekkt dæmi hér á landi um að virkir áfoksgeirar hafi myndast upp frá ströndum miðlunarlóna og valdið stórfelldum spjöllum á grónu landi. Oftast stendur gróður á þúfnakollum upp úr.

Skipta má aðgerðum upp í nokkra þætti eftir stærð og magni sands sem berst á gróið land. Í öllum tilvikum er nauðsynlegt að mæla og skrá nákvæmlega útbreiðslu áfoks og mæla þykkt þess og framvindu svæðanna. Eftirfarandi er dæmi um aðgerðir háðar magni sandburðar.

1. Lítið og þunnt sandlag: Lítil sandur berst á land og er hvergi þykkur ($< 2 - 5$ cm) og þúfnakollar standa upp úr. Líklegt er að gróður geti staðist slíkt áfok og ekki ástæða til aðgerða ef gróðurþekja helst á svæðinu og lætur ekki undan.
2. Lítill sandur en nokkrar líkur á myndun áfoksgeira: Nokkuð þykk sandlag ($> 5 - 10$ cm) og þúfnakollar að hluta á kafi í sandi á afmörkuðu svæði. Sandur er hreinsaður sem fyrst af svæðinu og fluttur á stað þar sem hann fýkur ekki frekar. Ef ekki er hægt að beita þungum tækjum vegna hættu á raski á gróðri en á ákveðnum svæðum er hægt að nota léttari tæki svo sem bíl eða traktor með kerru til að flytja sand burt af svæðinu.
3. Talsverður sandur (1 – 2 ha), verulegar líkur á myndun áfoksgeira: Binding sands með sáningum og styrkingu gróðurs. Mestar líkur eru á að hægt sé að stöðva sand með sáningu og áburðargöf. Einnig kæmi til álita að planta víðistiklingum eða víðiplöntum af svæðinu yrði plantað í sáningarnar.
4. Mikill sandur (> 2 ha), miklar líkur á myndun áfoksgeira: Ef mikill sandur tæki að berast upp úr lóninu þyrfti enn víðtækari aðgerðir. Gera þyrfti lágar skjólgirðingar þvert á sandfoksstefnu upp frá lóninu. Girðingar gætu þurft að vera fleiri en ein ef sandtunga nær langt inn á land. Væntanlega yrði að beita stórvirkum tækjum við aðgerðirnar. Hafa þyrfti eftirlit með girðingum og sáningum á næstu árum eftir aðgerðir.

Sértækar lausnir

Grjótfylltir vírkassar, vökvun, færsla jarðvegs, jarðvegsdúkar, rykbinding o.fl. eru dæmi um sértækar lausnir, sem hægt yrði að beita.

Fyrir fínkornótt set má draga úr uppfoki fínefna með vökvun eða rykbindingu, en tilraunir með rykbindingu hafa verið gerðar við Háslón með góðum árangri. Bindiefni er þá dreift á strandlengjuna þegar lágt er í lóninu.

Samantekt og niðurstöður

Öldurof verður væntanlega með strandlengju lónsins. Rofbakkar munu myndast á nokkrum stöðum, en að líkindum verða rofbakkar lágir og rof verður aðallega bundið við losun á jarðvegi. Lónströndin mun á nokkrum stöðum færast eitthvað innar í land frá upphafsstöðu lónsins, háð þykkt jarðvegs.

Vindrof verður væntanlega lítið því lón fyllist hratt og er að jafnaði fullt um mitt sumar. Ekki er því talin mikil hætta á áfoki sands á gróðurlendi næst lóninu. Reynsla frá öðrum lónum sýnir að aðeins lítið magn jarðvegs sem rofnar við lónströnd endar sem áfoksefni og hætta á áfoki er því talin lítil við lón Geitdalsárvirkjunar því lónið fyllist snemma sumars.

Ekki er gert ráð fyrir uppfoki fínefna því lónvatn er ekki jökulvatn og því að mestu án silts. Þá er ströndin sjaldan ber þegar þurrt er.

Lágmarka má áhrif rofs við lónið með skilvirkri vöktun, styrkingu gróðurs á svæðinu og ýmsum sértækum lausnum svo sem að verja rofbakka. Gæta verður þess að aðgerðir sem beitt er stingi ekki of mikið í stúf við umhverfið. Betra getur verið að leyfa öldurofi að ganga fram og verja síðan rofbakka frekari rofi þegar áhrif öldu eru orðið lítil.