

# **Kárahnjúkavirkjun**

## **Fylling í Háslón**

### **Rannsóknir á stíflustæði, hönnun og bygging stíflanna**

#### **Inngangur**

Í ljósi þess að brátt verður farið að safna vatni í Háslón telur Landsvirkjun rétt að upplýsa almenning um nokkur tæknileg atriði varðandi stíflurnar. Enn fremur hefur opinber umræða síðustu vikurnar ekki alltaf virst hafa byggt á staðreyndum, en stundum gæti það verið vegna þess að ýtarlegar upplýsingar um Kárahnjúkaverkefnið vantar. Með þessu minnisblaði er ætlunin að skýra nokkur umdeild atriði.

#### **Alþjóðleg aðferðafræði við vettvangsrannsóknir, hönnun og byggingu.**

Verklag við rannsóknir, hönnun og byggingu stíflanna við Kárahnjúka hefur verið í samræmi við venjur á alþjóðamælikvarða. Fyrst er farið í gegnum undirbúningsrannsóknir áður en ákveðið er að halda áfram með verkefnið á næsta stig framhaldsrannsókna og hönnunar. Þegar tími er kominn til að taka endanlega ákvörðun um framhald verða rannsóknir að nægja til að staðfesta öryggi staðarins sem undirstöðu stíflu og áætla fjárfestingarkostnað.

Eftir að ákveðið hefur verið um framhald og fjármögnun fjárfestingarinnar halda rannsóknir áfram meðan á byggingu stendur. Þeim er ætlað að safna upplýsingum fyrir ítarlegri hönnun. Kerfisbundin borun og hreinsun jarðvegs af berginu leiða í ljóð jarðfræði undirstöðunnar í smáatriðum. Vegna stærðar og margbreytileika verkefnis af þessu tagi ganga allar stífluframkvæmdir í gegnum breytingar á byggingarstigi og aðlagast þannig raunverulegum aðstæðum.

Nefnd sérfræðinga (NSF), sem samanstóð af stíflusérfræðingum frá mismunandi löndum, aðstoðaði Landsvirkjun og hönnuðina við upphaflegt mat á stíflukostum árið 2000. NSF hefur sótt framkvæmdirnar fimm sinnum heim síðan þær hófust árið 2003,

til þess að fara yfir gögn sem komið hafa út úr rannsóknum og athuga hvort hönnun taki mið af raunverulegum aðstæðum.

### **Jarðfræði- og verkfræðivinna fram til ársins 2000**

Fyrstu tillögur um stífluframkvæmdir á þessu svæði ná aftur til sjöunda og áttunda áratugar síðustu aldar. Á því tímabili hófst heildarkortlagning á jarðfræði svæðisins norðan Vatnajökuls en þó aðallega í eystri hlutanum. Vestari hlutinn var kortlagður af talsverðri nákvæmni á tíunda áratugnum. Upphaflega stóðu jarðfræðingar Orkustofnunar að rannsóknum eða fram til ársins 1990. Jarðtæknistofan og Jarðfræðistofan Ekra sáu síðan um jarðfræðilegar rannsóknir fyrir Landsvirkjun á árunum 1992 – 2005.

Stíflur nokkurn veginn á núverandi stað stíflanna við Kárahnjúka voru hluti af forhagkvæmniathugunum tengdum Austurlandsvirkjun árið 1978, þar sem rannsakaðar voru leiðir til að virkja allar þrjár jökulárnar í á Norðausturlandi. Í kjölfarið beindust sjónir sérstaklega að Kárahnjúkaverkefninu og Landsvirkjun gaf út frumhönnunarskýrslu árið 1992 sem m.a. gerði ráð fyrir hárri stíflu á þeim stað.

Landsvirkjun hratt af stað ítarlegum jarðfræðirannsóknum á stíflusvæðinu árið 1992 og kjarnaboranir hófust 1995. Árið 1996 voru sprungur sérstaklega kortlagðar og rannsakaðar, aðallega á grundvelli vandaðrar skoðunar á opnum í hinum háu veggjum Hafrahvammagljúfurs, í gljúfri Sauðár og í öðrum nálægum skorningum.

Frá 1997 hafa boranir og rannsóknir verið afar umfangsmiklar. Á svæði Kárahnjúkastíflu voru grafin 50 metra löng könnunargöng árið 2000 til að ganga enn frekar úr skugga um eiginleika berggrunnins.

Kárahnjúkahryggurinn, sem liggur meðfram Hafrahvammagljúfri að austanverðu, myndaðist í eldgosí undir jökli fyrir um 250 þúsund árum. Því hefur hryggurinn myndast aðallega úr móbergi. Berggrunnurinn þar undir er myndaður úr gegnheilum lögum eldri basalhrauna sem ís hefur þjappað niður á jökulskeiðum. Eftir síðasta jökulskeiðið myndaðist jökullón í 560 metra hæð yfir sjávarmáli í dalnum frá Kárahnjúkum upp til jökulsins. Árrof hefur síðan skorið út gljúfrið smátt og smátt.

Stíflustæði Kárahnjúkastíflu er hulið lagi jökulruðnings sem er tiltölulega þykkt á vesturbakka gljúfursins. Hægt var að rekja bergsprungur og -ganga þar sem bergið

blasir við í gljúfrinu, í 50 metra löngum könnunargöngum í vesturbakkanum og í nokkrum borholum en þessi einkenni og gangar urðu sýnileg á yfirborði bergsins eftir að þekjan var fjarlægð.

Niðurstaðan á þeim tíma varðandi aldur misgengja var að næsta virka brotabeltið væri ca. 12 til 15 kílómetra til vesturs. Það belti tengist eldvirkni í Kverkfjöllum eins og íslenskir sérfræðingar skilgreindu það og sýnt var á korti sem Náttúrufræðistofnun gaf út árið 1998. Íslensk jarðskjálftakort til ákvörðunar álags á mannvirki skilgreindu jafnframt Austurland allt, þar með talin stíflustæðin við Kárahnjúka, sem svæði með lága skjálftavirkni.

Verkhönnunarskýrsla, unnin af VST og Palmi Associates, var gefin út árið 2000 og uppfærð árið 2001 af samstarfsfélaginu Kárahnjúkar Engineering Joint Venture. Jarðfræðingarnir og hönnunarverkfræðingarnir ályktuðu á því stigi að rannsóknir væru nægjanlegar til að taka ákvörðun um stífluverkefnið. NSF með stíflusérfræðingum frá mismunandi löndum var kölluð saman til ráðgjafar og staðfesti á grundvelli þeirra gagna sem fyrir lágu að hægt væri að byggja án áhættu háa grjótfyllta stíflu á Kárahnjúkasvæðinu.

Á sama tíma var hafið ferli umhverfismats fyrir verkefnið á grundvelli uppdráttar og hönnunar í verkhönnunarskýrslunni.

Hönnunarhópurinn lagði mat á gegnheila steinsteypta stíflu af RCC-gerðinni (roller compacted concrete), grjótfyllta stíflu með miðkjarna úr jökulruðningi eða úr asfaltsteypu og grjótfyllta stíflu með steinsteyptri kápu, CFRD. Síðasti möguleikinn var valinn fyrir háu stífluna yfir gljúfrið, aðallega vegna þess að þessi gerð, þar sem vatn rennur óhindrað úr stíflumassanum öllum, er einn stöðugasti valkostur ef kemur til jarðskjálfta. NSF staðfesti þetta val og tók þá ennfremur tillit til sveigjanleika í byggingaráætluninni og ásættanlegs áætlaðs fjárfestingarkostnaðar. Grjótfyllt stífla með miðkjarna úr jökulruðningi var valin fyrir báðar hliðarstíflur, með tilliti til öryggis, fánlegs fyllingarefnis og kostnaðar. NSF samþykkti einnig þetta val.

### **Jarðfræði- og verkfræðivinna árin 2000 - 2003**

Samstarfsfélagið Kárahnjúkar Engineering Joint Venture (KEJV), sem í voru VST, Almenna verkfræðistofan og Rafteikning frá Íslandi, bandaríska fyrirtækið Harza (nú Montgomery Watson Harza) og svissneska fyrirtækið Electrowatt (nú Pöyry Energy),

var valið til að leiða rannsóknir og hönnun fram að næsta áfanga og sjá um útboðshönnun og útboðsgögn fyrir útboð í samkeppni meðal verktaka. Rannsóknir á útboðshönnun voru framkvæmdar árin 2001 og 2002 og útboðsgögn fyrir Kárahnjúkastíflu voru gefin út í ágúst 2002.

Meðan á undirbúningi útboðsgagna stóð héldu jarðfræðirannsóknir áfram til að skilgreina betur undirstöðuna og til að útvega ítarlegar upplýsingar um hvar finna mætti fyllingarefni og um gæði þess. Á vesturbakkanum hófst gerð aðganga að veitugöngunum í nóvember 2002 sem undirbúningsvinna. Þar með var frekar hægt að rannsaka bergið sjálf til að sannreyna eiginleika þess.

Snemma á árinu 2002 var stífluás Kárahnjúkastíflu færður lítillga til norðurs og honum snúið lítillga réttisælis til að koma fyrir yfirfallsmannvirkjum við vesturenda Kárahnjúkstíflu í stað austurenda Desjarárstíflu. Þessi nýja staðsetning yfirfallsins var í samræmi við ákvörðun umhverfisráðherra í úrskurði um umhverfismatið í desember 2001.

Hönnunarforsendur fyrir stíflurnar voru unnar á tímabilinu 2000 til 2002 af hönnunarhópnum. Þær grundvölluðust að hluta til á ráðleggingum um jarðskjálfta sem fengnar voru frá Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Háskóla Íslands og viðræðum við jarðskjálftasérfræðinga hjá Veðurstofu Íslands. Sig jarðskorpunnar sem orsakast af myndun uppistöðulónsins var einnig metið en sig í botni lónsins var áætlað allt að 30 sentimetrar til lengri tíma litið. Athugasemdir frá öðrum jarðfræðingum varðandi skorpuhreyfingar og sprungur voru yfirfarnar og metnar.

Stíflurnar voru hannaðar til að standast stóra jarðskjálfta, jafnvel þótt svæðið sé utan helstu virku jarðskjálftasvæða Íslands. Í hinum upphaflegu, íhaldssömu hönnunarviðmiðum var gert ráð fyrir því að jarðskjálftarnir gætu átt upptök sín á þekktum jarðskjálftasvæðum landsins eða í nálægum misgengjum eða að þeim yrði hrundið af stað við það að uppistöðulónið fylltist. Hönnunarforsendur gerðu ráð fyrir nokkrum sinnum meiri hröðun en íslenskir staðlar um jarðskjálftaálag gefa upp fyrir þetta svæði. Í útboðsgögnunum í ágúst 2002 var tilgreind sérstök meðhöndlun á bergsprungum í undirstöðu stíflunnar.

Áður en endanleg ákvörðun var tekin um framhald sá bandaríska verkfræðifyrirtækið Framatome um óháða úttekt á verkefninu fyrir hönd Alcoa. Sérstök áhersla var lögð á hina háu Kárahnjúkastíflu. Allar fánlegar jarðfræðiupplýsingar voru yfirfarnar, ásamt

athugasemdom frá jarðfræðingum sem tjáðu áhyggjur sínar. Niðurstaðan var sú að undirbúningur verkefnisins hefði verið vandaður og í samræmi við nýjasta verklag á alþjóðamælikvarða. Verkefnið var talið traust.

Endanleg ákvörðun um framhald var tekin í mars 2003, þegar búið var að undirrita orkusölusamning við Alcoa. Móttaka tilboða vegna byggingar Kárahnjúkastíflu hafði farið fram og hægt var að velja verktaka. Lægsta tilboðið í byggingu Kárahnjúkastíflu átti alþjóðlega verktakafyrirtækið Impregilo sem er ítalskt og hefur áður byggt margar háar stíflur annarsstaðar í heiminum. Það hefur orð á sér fyrir að skila gæðavinnu.

Hópi verkfræðifyrirtækja undir stjórn Mott MacDonald frá Bretlandi var falið að hafa umsjón með framkvæmdum fyrir hönd Landsvirkjunar hvað varðar gæði verksins og eftirlit með kostnaði og tímaáætlun. Í þessum umsjónarhópi eru einnig Coyne & Bellier frá Frakklandi, Sweco frá Svíþjóð, Norconsult frá Noregi og Línuhönnun, Hnit og Fjarhitun frá Íslandi.

### **Jarðfræði- og verkfræðivinna á byggingarstigi**

Misgengi þvert yfir grunn Kárahnjúkastíflu og grunn Desjarárstíflu sáust nánar þegar búið var að fjarlægja þekjuna við undirbúning grunnsins. Gripið var til þess ráðs að fínhanna steypa távegginn í gljúfrinu, steypa stíflufótinn á vesturbakkanum og Desjarárstíflu þar sem misgengin þvera og taka tillit til raunaðstæðna. Þessar ráðstafanir taka á misgengishreyfingum jafnvel þótt hreyfingar í misgengjum hafi verið álitnar mjög ólíklegar. Ennfremur eru aðgerðir til þéttingar í steypa táveggsgrunninum og í berggrunninum gerðar mögulegar með eftirlits- og bergþéttigöngum sem byggð hafa verið undir Kárahnjúkastíflu sérstaklega í þeim tilgangi.

Þótt jarðhitavirkni á svæðinu hefði verið athuguð í fyrri rannsóknum fól Landsvirkjun jarðfræðingum frá íslensku rannsóknastofnuninni ISOR í júlí 2004 að rannsaka og kortleggja frekar jarðhitavirkni í stæðum uppistöðulónsins og stíflnanna. Sú rannsókn leiddi í ljós í ágúst 2004 að misgengi í Sauðárdal, 5 km upp frá stíflunni, í vesturhluta uppistöðulónsins og í tiltölulega mikilli hæð hafði færst til eftir síðasta jökulskeið. Einnig kom í ljós að heitar uppsprettur eru algengari á svæðinu en vitað var en þær eru oftast háðar sprungum og misgengjum sem stefna til norðausturs-suðvesturs. Heitar uppsprettur og hitastigull í borholum sýndu hitafrávik á svæði Kárahnjúkastíflu.

Þessi rannsókn var haldið áfram á árinu 2005. Nú er talið að síðasta hreyfing misgengisins í Sauðárdal hafi átt sér stað fyrir um 4000 árum. Haustið 2005 uppgötvaðist nær stíflunni að tvö misgengi til viðbótar hafa hreyfst eftir jökulskeiðið. Þau stefna í átt að vestur- og austurendum Kárahnjúkastíflu.

Almennt er niðurstaðan sú að sprungusveimur sem kenndur er við Kverkfjöll teygi sig lengra til austurs en áður var talið.

Frá því að í ljós kom árið 2004 að skorpuhreyfingar hafa orðið nálægt stíflunum eftir jökulskeiðin hafa íslenskir jarðskjálftafræðingar endurskoðað hugsanlega jarðskjálftavirkni af ýmsum mögulegum orsökum, svo sem eldgosum eða jarðhræringum eða hreyfingum sem uppistöðulónið sjálft gæti komið af stað. Vegna íhaldssamra hönnunarviðmiða í upphafi leiddi þessi endurskoðun ekki til neinna breytinga á tæknilýsingu hönnunarinnar. Hönnunarverkfræðingar hafa einnig metið og tekið tillit til skorpuhreyfinga vegna aukins þrýstings í misgengjum meðan á fyllingu uppistöðulónsins stendur.

### **Niðurstöður um skorpuhreyfingar**

Hætta á náttúrulegum skorpuhreyfingum af völdum eldgosa eða jarðhræringa undir stíflugrunninum og á Kárahnjúkasvæðinu í heild er álitin mjög lítil á endingartíma virkjunarinnar. Tilfærsla á misgengjum vegna álags frá uppistöðulóninu telst sennileg og taldist alltaf svo en umfang hennar hefur verið áætlað með reiknilíkönunum. Í steypu undirstöðunum eru viðbúnaðarkerfi til að hafa stjórn á leka.

Tá Kárahnjúkastíflu lónsmegin er þakin þykku lagi af jarðfyllingarefni. Það nýtist sem enn ein sjálfvirk ráðstöfun til viðgerðar, skyldi sprunga opnast. Þau eftirlits- og bergþéttigöng sem voru sérstaklega gerð til þess má einnig nota hvenær sem er til að bora og dæla sementsblöndu inn í sprungur og til að þétta enn frekar berggrunninn undir stíflunni ef nauðsyn krefur. Taka skal fram að þótt hugsanlegar hreyfingar geti valdið leka undir og gegnum Kárahnjúkastíflu stofnar það ekki stöðugleika stíflunnar í hættu.

### **Háar CFRD-stíflur í þröngum dölum**

Hugmyndin um grjótfylltar stíflur með steypukápu (Concrete Faced Rockfill Dams) náði vinsældum í heiminum um miðja síðustu öld þegar þungir titringsvaltarar komu til sögunnar. Þeir gáfu góða þjöppun á grjótfyllingu, sem dró stórlega úr hættu á að steypuhúðun spryngi þegar grjótfyllingin settist til.

Vegna þess hve góður árangur hefur verið af þessari gerð stíflna, hafa þær verið byggðar hærrí og hærrí. Nú hafa verið reistar eða eru í byggingu nokkrar stíflur um 200 metra á hæð, þar á meðal við Kárahnjúka. Uppá síðkastið hefur orðið vart við einhverja sprungumyndun í vatnshlið steypukápunnar á þrem mjög háum CFRD-stíflum í þröngum dölum. Þó að það hafi valdið leka hefur öryggi stíflanna ekki verið dregið í efa.

### **Mögulegar sprungur í steypukápu á vatnshlið og viðbrögð við þeim**

Hönnunarhópurinn og sérfræðinganefndin um Kárahnjúkastíflu hafa metið þessi nýlegu tilfelli þar sem steypukápur á vatnshlið springa vegna sígandi grjótfyllingar. Samanburður var gerður við aðstæður hjá Kárahnjúkum. Kárahnjúkafyllingin reynist mjög vel þjöppuð, gæði grjótfyllingarinnar eru mikil og sigið hefur verið tiltölulega lítið og nálægt áætlunum.

Almennt séð er niðurstaðan sú að líkurnar á sprungum í steypukápu á vatnshlið Kárahnjúkastíflunnar séu minni en við hinar stíflunnar. Gripið hefur verið til ráðstafana til að koma í veg fyrir sprungumyndum eða lágmarka leka ef sprungur kynnu að myndast. Það er gert með ýmiskonar aðgerðum á mótum steypuflekanna, með því að þekja samskeytin með sérstökum dúkum og með því að þekja vatnshliðina með jarðfyllingarefni um það bil upp á miðja stíflu.

### **Fylling uppistöðulóns og vöktun**

Byrjað verður að fylla uppistöðulónið í síðari hluta september 2006. Um haustið 2006 fyllist lónið um það bil til hálfis en heldur síðan stöðugri vatnshæð yfir veturinn. Á meðan skapast stöðugleiki og tækifæri til nánari vöktunar á þessum fyrsta áfanga lónsfyllingar. Um sumarið 2007 fyllist svo lónið hægt og sígandi, upp í hæstu stöðu.

Fylgst verður náðið með hreyfingu mannvirkja og lónstæðisins. Upplýsingar sem þannig fást verða greindar jafnóðum af sérfræðingum, hverjum á sínu vísindasviði. Fylgst verður jafnframt með leka, ásamt sigi og hvaða hreyfingum sem verða í stíflufyllingunni og steypukápunni á vatnshlið eða í undirstöðunum, einnig hreyfingum í umhverfi lónsins auk grunnvatnsþrýstings, steypuspennu o.s.frv.

Tímasetningar við lónsfyllingu eru mjög mikilvægar. Það er tæknilega hagstætt og öruggara að fylla lónið upp að miðri stöðu og gefa berggrunninum að minnsta kosti hálf t. ár til að mettast smátt og smátt af vatni áður en haldið er áfram næsta vor. Þannig er dregið úr hættu á sprungumyndun í berggrunninum vegna mismunavatnsþrýstings og hreyfinga sem lónið veldur. Áætlað er að stýra því yfir sumarið 2007 að afgangurinn af lóninu verði fylltur mjög hægt.

### **Leki úr uppistöðulóni**

Búið er við leka upp á nokkur hundruð l/sek. gegnum stíflurnar og þéttitjaldið undir stíflunum. Tjöldin eru gerð með því að bora niður á allt að 100 m dýpi og dæla inn sementsblöndu undir háum þrýstingi til að fylla upp í öll tómarúm í berginu. Hins vegar myndu helstu lekaleiðirnar, með áætlað heildarmagn upp á nokkra m<sup>3</sup>/s, fara í gegnum bergið enn dýpra niðri eða gegnum ásana austan og vestan við stíflurnar og stefna til norðurs.

Öll uppistöðulón leka. Magn lekans fer eftir skilyrðum í berginu, þéttingaraðgerðum, þrýstingi og lengd lekaleiðanna. Borið saman við nokkur önnur íslensk lónstæði telst lónstæðið ofan Kárahnjúka ekki sérlega lekt.

Dregið er umtalsvert úr leka við Kárahnjúkastíflu með þéttitjöldunum og öðrum ráðstöfunum til þéttingar, svo sem fyllingu í gljúfrinu ofan stíflu. Varnarstíflan fyrir ofan stífluna, sem hefur þjónað þeim tilgangi að beina ánni inn í hjáveitugöngin, er einnig þétting á gljúfrinu. Að auki hefur allt rýmið milli varnarstíflunnar og táveggs stíflunnar verið fyllt með jarðefni til að þétta það svæði enn frekar.

Með þrívíddarlíkönunum hefur verið áætlað að leki frá uppistöðulóninu geti í byrjun numið um 5 m<sup>3</sup>/s miðað við hæstu stöðu lónsins. Smátt og smátt myndi sjálfþétting vegna botnfalls úr ánni draga úr lekanum, eins og reyndin hefur verið við virkjun annarra jökuláa á Íslandi og víðar. Til samanburðar er hámarksrennsli gegnum hverflana 144 m<sup>3</sup>/s og meðalrennsli inn í Háslón 103 m<sup>3</sup>/s. Slíkt umfang á lekanum

hefur verið tekið með í hagkvæmniathugunum frá því byrjað var að skipuleggja verkefnið.

Lektarstuðlar, sem notaðir eru í líkönum ná yfir sprungur og brot í berggrunninum, án þess að sérstök líkön séu reiknuð fyrir þau. Ef miðað er á hinn bóginn við 100 mm breiða sprungu á mikilvægu svæði í undirstöðunni, t.d. undir Kárahnjúkastíflu, gæti heildarlekinn í upphafi aukist einhversstaðar á bilinu 0,5 til 1 m<sup>3</sup>/s.

### **Endurskoðun sérfræðinganevndar**

Sjötti fundur sérfræðinganevndarinnar fór fram með hönnuðum, staðareftirlitsmönnum, jarðfræðingum og jarðeðlisfræðingum nú um miðjan ágúst 2006.

Verklag við örugga lokun veituganga og fyllingu lónsins hefur verið vandlega rætt og samþykkt af öllum aðilum.

*Í ljósi niðurstaða ráðgjafa og sérfræðinganevndar mun Landsvirkjun byrja að fylla Háslón í næsta mánuði, eins og ráðgert var, í fullri vissu um öryggi þess.*