

NORÐLINGAÖLDUVEITA

GREINARGERÐ UM REKSTRARTRUFLANIR
OG ÍSVARNIR VEGNA ÍSMYNDUNAR Á
NORÐLINGAÖLDULÓNI
Lónhæð 566 - 568 m y.s.

Skýrsla nr: LV-2003/093

Dags: Ágúst 2003

Fjöldi síðna: 18 Upplag: 20 Dreifing: ☒ Opin ☐ Lokuð til

Titill: Norðlingaölduveita. Greinargerð um rekstrartruflanir og ísvarnir vegna ísmyndunar á Norðlingaöldulóni. Lónhæð 566-568 m y.s.

Höfundar: Hönnun hf

Verkefnisstjóri: Eysteinn Hafberg, Landsvirkjun

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Í greinargerðinni er gerð grein fyrir rekstrartruflunum, ísálagi og ísvörnum við Norðlingaölduveitu vegna íss og ísmyndunar á Norðlingaöldulóni og efri hluta Þjórsár.

Talsvert magn krapa getur myndast í Þjórsá sem leiðir af sér ísmyndun og stífluhættu við innrennsli í Norðlingaöldulón. Rekstrartruflanir geta einnig komið upp við rennsli um lónið og við inntak.

Gerð er grein fyrir mögulegri þróun ísmyndunar á lóninu ásamt samsvarandi ísálagi á mannvirki.

Lykilorð: Norðlingaölduveita, Þjórsá, Norðlingaöldulón, ísmyndun, rekstrartruflanir

ISBN nr: _____

ISSN nr: _____

Undirskrift verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

NORÐLINGAÖLDUVEITA

**GREINARGERÐ UM REKSTRARTRUFLANIR
OG ÍSVARNIR VEGNA ÍSMYNDUNAR Á
NORÐLINGAÖLDULÓNI
Lónhæð 566-568 m y.s.**

ÁGÚST 2003

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	2
2	NORÐLINGAÖLDUVEITA	2
2.1	ÁFORMAÐAR FRAMKVÆMDIR	2
3	ÍS OG ÍSMYNDUN.....	3
3.1	ALMENN ATRIÐI	3
3.2	KRAPI OG KRAPAMYNDUN	3
3.3	ÍSMYNDUN Á LÓNI.....	6
3.4	REKSTRARTRUFLANIR	8
4	ÍSÁLAG OG ÍSVARNIR	10
4.1	ÍSÁLAG Á MANNVIRKI.....	10
4.2	ÍSVARNIR.....	11
5	NÍÐURSTÖÐUR.....	12
6	HEIMILDIR OG ÍTAREFNI	15
7	VIÐAUKAR.....	17

1 INNGANGUR

Í greinargerðinni er fjallað um helstu rekstartruflanir við Norðlingaölduveitu sem upp geta komið vegna íss og ísmyndunar í Þjórsá og á Norðlingaöldulóni, annars vegar við lónhæð 566,0 m y.s. og hins vegar við lónhæð 568,0 m y.s., sjá mynd 7. Einnig er fjallað um ísálag og ísvarnir.

Tilhögun framkvæmdarinnar felur í sér að Þjórsá er stífluð við Norðlingaöldu og myndast með því lón, Norðlingaöldulón. Rennsli Þjórsár inn í lónið er mjög árstíðabundið og í lágmarki að vetrarlagi. Samfara vetraraðstæðum getur myndast talsverður ís á Þjórsá og má gera ráð fyrir að slíkt gildi einnig um sjálft lónið. Ísmyndun á Þjórsá og Norðlingaöldulóni getur orðið uppspretta rekstarerfiðleika. Mögulegt er þó að draga verulega úr hættu á slíkum vandamálum með rétttri tilhögun á lónhæð og stýringu hennar.

2 NORÐLINGAÖLDUVEITA

2.1 ÁFORMAÐAR FRAMKVÆMDIR

Þjórsá er stífluð við Norðlingaöldu og við það myndast lón sem nefnt hefur verið Norðlingaöldulón og er það allt að 7,1 km² við lónhæð 568 m y.s. Vatni úr lóninu er dælt um 7 km langa leið um skurði og jarðgöng upp í Illugaver austan við Kjalvötn. Um Illugaver rennur vatn frá Kvíslaveitu og mun vatn frá Norðlingaölduveitu því sameinast Kvíslaveitu í Illugaveri og renna þaðan til Sauðafellslóns sem er hluti Þórisvatnsmiðlunar. Stífla yfir Þjórsá verður í farvegi árinna þar sem myndast þrenging í ánni norður af Kjalvötnum. Gert er ráð fyrir að stíflan verði steipt úr hnoðsteypu með 100 m löngu sambyggðu yfirfalli í farvegi árinna. Flóðvar verður í skarði vestan árinna. Gúmmílokur verða á yfirfallinu og er gert ráð fyrir að þær falli saman í stærri flóðum. Gert er ráð fyrir að aur sem safnast fyrir í lóninu verði skolað út úr því um botnrás undir stífluna. Lónhæðin 568 m y.s. er til athugunar en þegar mikið rennsli er í Þjórsá og umhverfisástæður leyfa er gert ráð fyrir að hæð á lóni verði lækkuð í 566 m y.s. Aurhlutfall er hæst í ánni þegar mikið rennsli er í henni og er þá mikilvægt að lækka vatnsborðið til að aurinn berist sem lengst inn í lónið en þá er auðveldara að skola honum út úr lóninu um botnrásina.

Eins og áður segir er til athugunar að hafa lónhæðina breytilega milli sumars og vetrar, þ.e. í 568 m y.s. á veturna, þegar lónstærð skiptir miklu máli vegna breytilegs rennslis og hugsanlegra ístruflana, en í 566 m y.s. frá vorflóðum og yfir sumarið þegar aurburður er mikill til þess að halda eyrarmyndun sem lengst frá friðlandinu og að aurinn skili sér sem best út í lónið.

Heildarrúmmál lóns er því breytilegt sbr. töflu hér að neðan.

Lónhæð	Flatarmál lóns	Rúmmál lóns	Miðlunarrými lóns
m y.s.	km ²	Gl	Gl
566 (sumar)	3,4	18,3	6,0
568 (vetur)	7,1	30,7	18,4

Af töflunni má sjá að miðlunarrými lónsins er rúmlega þrefalt minna á sumrin við lónhæð 566 m y.s en við lónhæð 568 m y.s. og tuttugufalt minna ef borið er saman við lónhæð 575 m y.s. sem var sú lónhæð sem Landsvirkjun stefndi á sem lágmark.

3 ÍS OG ÍSMYNDUN

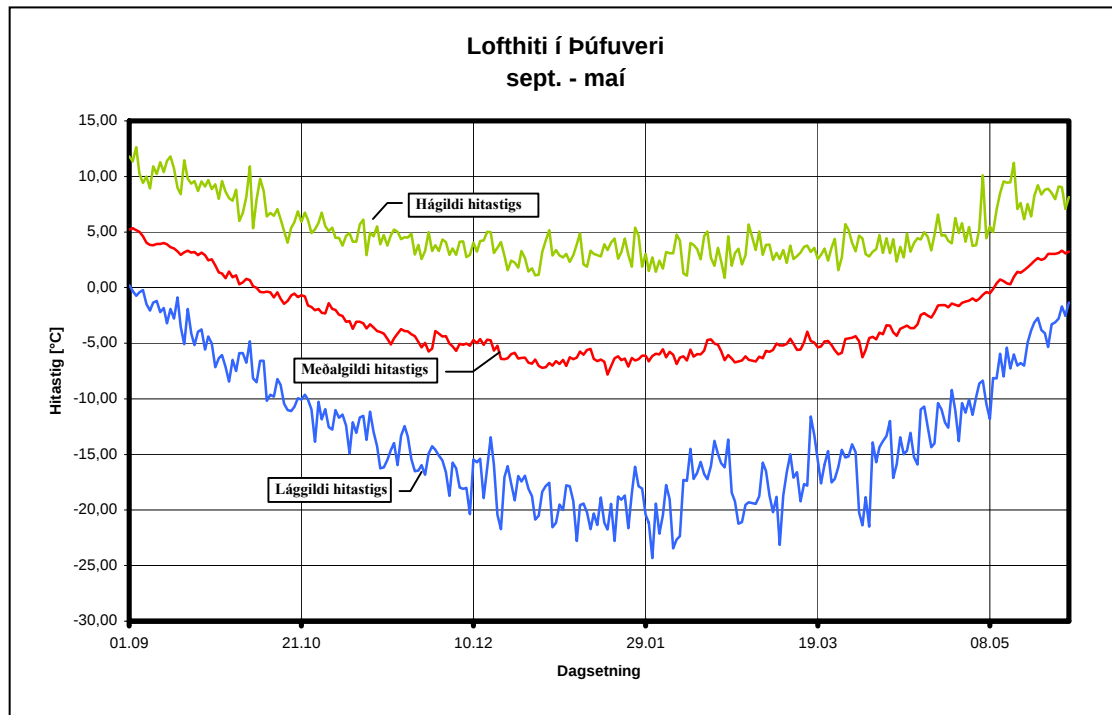
3.1 ALMENN ATRÍÐI

Vötnum og lónum er gjarnan skipt upp í þrjú svæði með tilliti til straumfræðilegra eiginleika. Þar er um að ræða meginhluta lóns (vatns) sem er eins konar forðageymsla, innrennissvæði þar sem uppblöndun lóns og vatnsfalls á sér stað og útrennissvæðis þar sem stjórnun útrennslis er ríkjandi þáttur. Hegðun vatnsfalls á innrennissvæði ræðst talsvert af formi ármynnis, rennsli (m³/s) og rúmþyngdarmun innrennslis og lónvatns (kg/m³). Uppblöndun vatns massa á innrennissvæði getur átt þátt í að veikja íspekjur og jafnvel mynda vakir. Rekstrartruflanir vegna ísmyndunar á Norðlingaöldulóni varða bæði innrennsli í lónið, rennsli milli hluta þess og dælingu úr því.

Einkum er um að ræða tvenns konar almenn ferli ísmyndunar, annars vegar “statíska” ísmyndun sem er dæmigerð fyrir vötn og hægt streymandi ár og hins vegar “dýnamíska” ísmyndun sem einkennist að mestu af svifis og krapí. Við ákveðnar aðstæður getur íspekja brotnað upp og myndað hrönn. Þessi gerð ísmyndunar getur orðið mjög varasöm og orsakast gjarnan af því að rennsli undir ísinn er hindrað sökum uppsöfnunar krapa undir íspekjunni.

3.2 KRAPI OG KRAPAMYNDUN

Krapamyndun er mikilvægt ferli í flestum ám á köldum svæðum og þá ekki síst með tilliti til myndunar íspekju. Þar sem íspekja nær ekki að myndast á straumvötnum vegna mikils straumhraða má gjarnan búast við verulegri krapamyndun. Ferli krapamyndunar er ekki þekkt í smáatriðum og því gjarnan stuðst við nálganir sem hafa gefið niðurstöður með viðunandi nákvæmni.



Mynd 1 Lofthiti í Þúfuveri skv. mælingum 1994-2002.

Hægt er að leggja mat á magn krapamyndunar vegna varmataps frá yfirborði straumvatns með einföldu varmajafnvægi [4,5]:

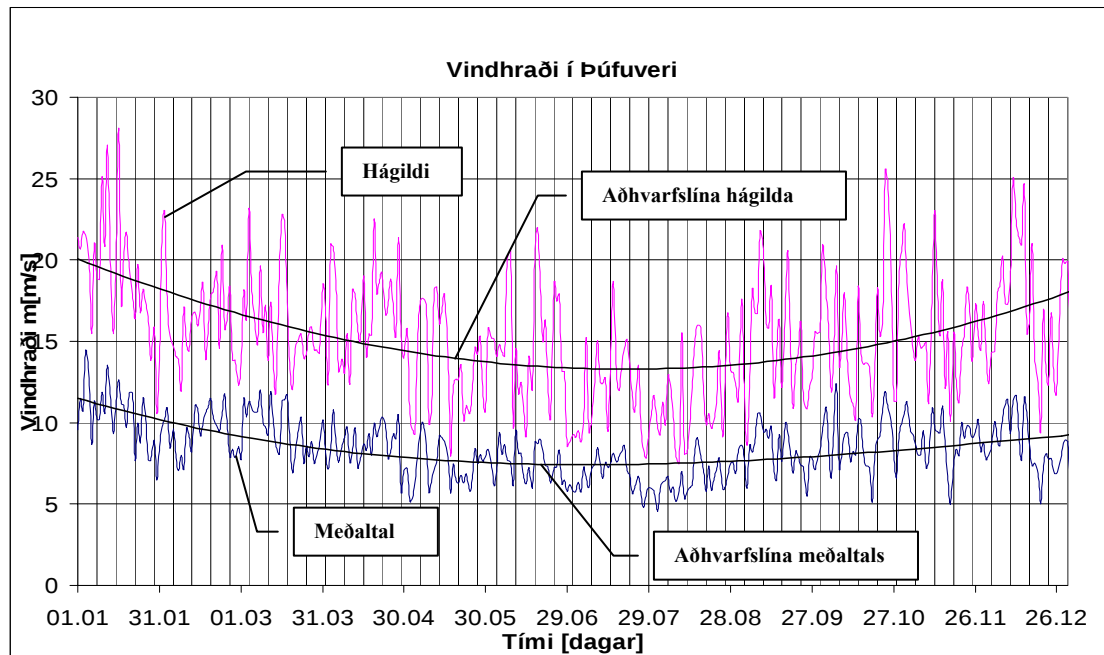
$$I = Q_{is} \rho - \Delta I = \frac{qbl}{\lambda} - \Delta I \quad (1)$$

þar sem **I** er krapamagn (kg/s); **q** er varmatap frá yfirborði (W/m²); **bl** er stærð kæliflatar (m²); **λ** er bræðsluvarmi íss (J/kg) og **ΔI** (kg/s) er leiðrétting vegna upphitunar vatns sökum grunnvatnsinnstreymis og núnings. Til að meta umfang krapamyndunar í Þjórsá ofan Norðlingaöldu hefur verið stuðst við veðurfræðileg gögn frá sjálfvirkri mælistöð Landsvirkjunar í Þúfuveri ásamt vísbendingum frá öðrum nærliggjandi stöðvum.

Meðalgildi mælds lofthita í Þúfuveri gefa til kynna að frost leggi að nálægt miðjum október og haldist að jafnaði fram í byrjun maí. Athuganir á lággildum hitastigs gefa til kynna að kuldatímabil geti hafist í byrjun september og staðið fram undir lok maí. Ennfremur benda hágildi hitastigs til að lofthiti geti farið yfir frostmark hvenær sem er á tímabilinu.

Áhugavert er að skoða fyrstu dægur kuldaskiðs m.t.t. krapamyndunar þegar kæliflötur árinna er sem stærstur. Sérstakar athugarnir á breytingum kæliflatar að vetrarlagi hafa ekki verið gerðar á þessu svæði en gert er ráð fyrir að breidd hans sé um 40 - 50 m og lengdin um 20 - 28 km.

Vindhraði er talsvert mikilvægur þáttur í kæliferlinu. Ekki er fjarri lagi að dagsmeðaltal vindhraða í október liggi á bilinu 3-15 m/s með meðaltal nærri 10 m/s.



Mynd 2 Vindhraði í Þúfuveri 1994 – 2002.

Mesti 10 mínútna vindhraði getur verið á bilinu 5-27 m/s og lætur nærri að mánaðarmeðaltalið sé um 15 m/s. Mestu 3 sekúndna hviður hafa mælst yfir 33 m/s. Í fyrirbyggjandi útreikningum á krapamyndun er gert ráð fyrir vindhraðanum 10 m/s í meðalári.

Niðurstöður mælinga á rakaprýstingi benda til dagsmeðalgilda á bilinu 3-10 mb (79-97% R.H.) og meðaltalsgilda nærri 6 mb. Reiknað er með gildinu 6,1 mb nærri vatnsborði og 2,0 mb fyrir hitastig allt að -3°C .

Áhrif sólargeislunar virðast ekki vera afgerandi í kæliferlinu fyrstu vetrarmánuðina. Þegar samband endurskins (albedo) og krapamyndunar er skoðað kemur í ljós að reiknisleg áhrif endurskins eru nánast engin (sjá viðauka). Áhrifa sólargeislunar á krapamyndun gætir í um 9 klst í upphafi októbermánaðar (sjá viðauka) og lætur nærri að sólargeislunin nemi um $120 \text{ cal/cm}^2/\text{dag}$ [14]. Þegar komið er fram undir lok desember er þessi tími kominn niður í 3 klst og heildarsólgeislun yfir daginn svo gott sem engin.

Skýjahula er metin í áttundu hlutum himins (0 - 8). Áhrif hennar eru ekki teljandi fyrir lægstu gildi skýjahulu. Við 50% skýjahulu (4/8) lætur nærri að krapamyndun hafi minnkað um 10-12% og um tæp 50% við alskýjað (8/8). Í neðangreindum útreikningum á krapamyndun er gert ráð fyrir heiðskíru (skýjahula 0).

Til að leggja mat á krapamyndun í vatnsfalli þarf að nálga varmatap, $q = q_1 + q_2 + q_3$, frá kælifleti. Útreikningar á varmatapi eru í þrennu lagi að undanskildum áhrifum úrkomu. Í fyrsta lagi er um að ræða varmatap vegna geislunar, q_1 ; í öðru lagi vegna leiðni, q_2 ; og í þriðja lagi vegna uppgufunar, q_3 . Hægt er að komast nærri um þessar stærðir með nálgunum sem m.a. hefur verið beitt við Búrfell með fullnægjandi árangri [4].

Gert er ráð fyrir að reiknuð sólarhringsgildi fyrir krapamyndun geti gefið nokkuð raunhæfar niðurstöður. Rétt er þó að geta þess að lofthiti skiptir talsverðu máli þegar krapamyndun hefst og því áhugavert að komast nærri um þann tímamark.

Rennslisþversnið árinna hefur þar talsvert að segja sem og hlutfall grunnvatns og yfirborðsvatns í rennslinu. Ljóst þykir að vatnið í Þjórsá er orðið undirkælt skömmu eftir að frost leggur að, jafnvel innan sólarhrings.

Varlega áætlað gefa útreikningar á krapamyndun til kynna að í meðalári geti um 50 – 60 þús. tonn af krapa myndast á sólarhring á því vatnasvæði sem útreikningar ná til. Við slæm NA-áhlauð getur krapamyndun hæglega farið í allt að 350 þús tonn/sólarhr. ($700.000 \text{ m}^3/\text{sólarhr.} = 0,7 \text{ GI}$)

Greint hefur verið frá því að lofthiti við Norðlingaöldulón geti í raun farið yfir frostmark hvenær sem er vetrar. Slíkt gefur vísbendingar um að ísþekja á Þjórsá og Norðlingaöldulóni geti veikst tímabundið og afleiðingar þess geta orðið uppbot á ís með tilheyrandi ísstíflumyndun og undirstrikar enn frekar mikilvægi þess að draga úr öllum rennslisruflunum á innrennslissvæði í lónið.

3.3 ÍSMYNDUN Á LÓNI

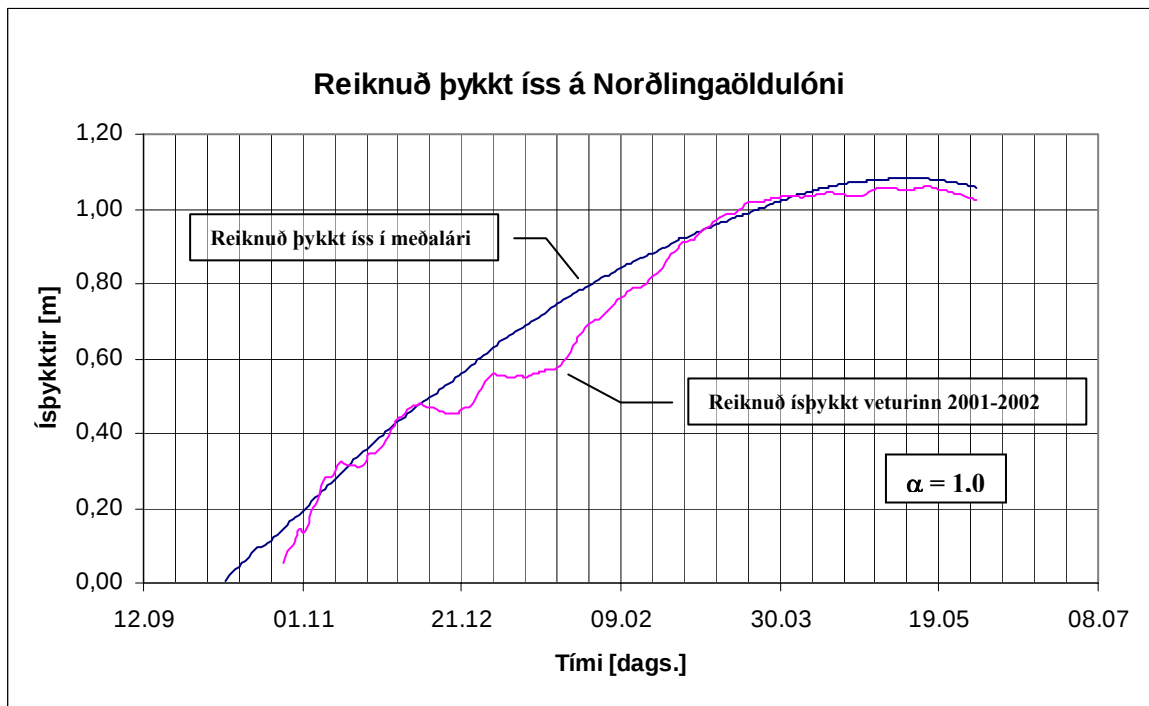
Ísmyndunarlíkön fyrir vötn geta í mörgum tilvikum átt við um uppistöðu- og veitulón s.s. Norðlingaöldulón. Þar ræður nokkru straumhraði um viðkomandi lón og hversu ör vatnsskipti eru í heildina.

Almennt verða ísi þakin vötn og lón fyrir litlum ytri áhrifum. Veikir straumar geta myndast vegna loftþrýstingsbreytinga sem valda hreyfingum á ísþekjunni. Enn veikari straumar geta myndast vegna rúmþyngdarmunar af völdum hitastigs og setmyndunar. Annars konar veikir straumar af óljósum uppruna geta einnig myndast. Sterkir straumar myndast yfirleitt við inn- og útrennsli lóna sem og í þrengslum við rennsli milli lónhluta. Straumfræðilegt eðli þessara staða er um margt ólíkt. Við innrennsli í lón hægir á rennsli samfara iðustreymi, uppblöndun og orkutapi. Við útrennsli staði er hins vegar um að ræða hraðaaukningu rennslis sem einkennist af eðli rennslisstiguls (flow potential). Af ofangreindum ástæðum er vötnum (lónum) gjarnan skipt upp í þrjú svæði m.t.t. straumfræðilegra eiginleika [5]. Um er að ræða innrennslissvæði þar sem uppblöndun innrennslis á sér stað; meginlón sem stendur fyrir meginrýmd lónsins; útrennslissvæði sem einkennist af stýringu útrennslis.

Innrennsli vatnsfalla í lón einkennist m.a. af formi ármynnis, landslagi, rennsli (m^3/s) og rúmþyngdarmun vatns í ánni og lóninu. Leiða má líkur að hegðun innrennslis með leiðréttu (densimetric) Froude gildi:

$$F_d = \frac{Q}{A} \left(g \frac{A}{T} \left| \frac{\Delta \rho}{\rho} \right| \right)^{-1/2} \quad (2)$$

þar sem F_d er leiðrétt Froude gildi; Q er innrennsli; A er rennslisflatarmál vatnsfalls á innrennslisstað; g er þyngdarhröðun; T er yfirborðsbreidd þversniðs; ρ er rúmþyngd vatns í lóni; $\Delta \rho$ er rúmþyngdarmunur lóns og vatnsfalls.



Mynd 3 Reiknuð þykkt íspekju á Norðlingaöldulóni.

Ef $F_d < 1$ má búast við að vatnsfleygur úr lóninu leggist upp í ármynnið. Sé hins vegar $F_d > 1$ má búast við að áin renni inn í lónið sem sterkur straumgeisli.

Vegna uppblöndunar á innrennissvæði getur íspekja þar orðið í veikara lagi og jafnvel hugsanlegt að hún nái ekki að myndast. Í meginhluta lónsins á rennsli sér stað fyrst og fremst í efri hluta þess. Fyrir kemur að botnstraumar í gangstæða átt beri vatnsmassa að innrennissvæði sem blandast þar upp aftur við innrennsli í lónið.

Á útrennissvæði dregst gjarnan að vatn úr lóninu niður á svipað dýpi og útrennissstaðurinn, þ.e.a.s. aðrennsli ræðst að stórum hluta af hugsanlegum rúmþyngdarmun vatnsmassa og formi útrennissstaðar (skurðir, yfirfall, botnrás, inntak)

Blási ekki of sterkir vindar fer íspekja fljótlega að myndast á lónum í kjölfar ísmyndunar. Í straumvatni gerist þetta einungis ef rennlishraði er ekki of mikill og er þá gjarnan miðað við meðalhraða $v = 0,6$ m/s. Hins vegar flýtir krapaburður inn í lónið verulega fyrir myndun íspekju, bæði vegna áhrifa kælingar og minni áhrifa vinds á hreyfingar vatnsyfirborðs.

Kæling kyrrstöðuvatns undir 4°C leiðir gjarnan til lagskiptingar vatnsmassa þannig að ísmyndun getur hafist í örþunnu yfirborðslagi. Umfang undirkælingar sem þarf til að hefja slíka myndun ískristalla er ekki fyllilega þekkt.

Myndun íspekju hefst yfirleitt í kyrrstöðuvatni (víkur og vogar) og með lónbökkum. Hægt er að meta vöxt íspekju með því að leggja mat á gráðudaga. Í sínu einfaldasta formi má nota líkingu kennda við Stefan að því tilskildu að íspekjan sé snjólaus:

$$h = \left(\frac{2k_i}{\rho\lambda} \right)^{1/2} [(T_m - T_a)t]^{1/2} \quad (3)$$

þar sem **h** er þykkt ísþekju [m]; **k_i** er varmaleiðni íss [W/m °C]; **ρ** er rúmþyngd íss [kg/m³]; **λ** er bráðnunarvermi íss [J/kg]; **T_m** er hitastig [°C] snertiflatar íss og vatns (yfirléitt sett 0°C); **T_a** er lofthiti [°C] og **t** tími [dagar]. Með innsetningu á viðeigandi gildum og gráðudögum í ofangreinda líkingu má rita hana sem:

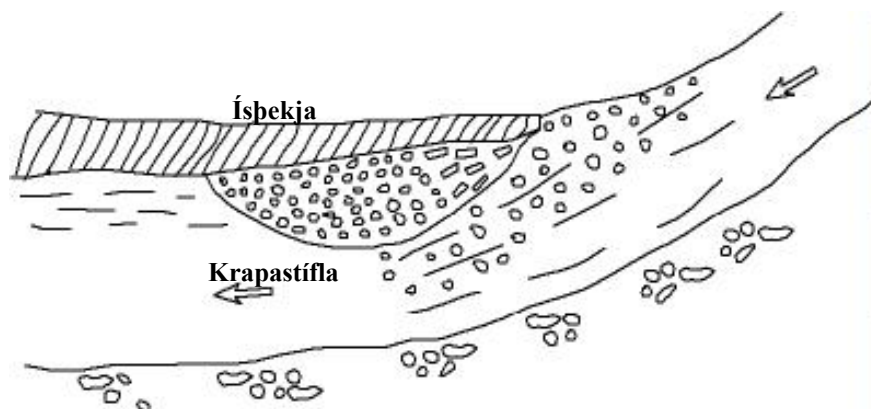
$$h = 0,035 \alpha \sqrt{\sum (T_m - T_a)t} \quad (4)$$

þar sem bætt hefur verið við leiðréttingarstuðlinum **α** til að leiðrétta reiknuð gildi miðað við mælingar. Í reynd er leiðréttingarstuðullinn **α** yfirléitt minni en 1 og ekki ólíklegt að hann geti, eftir aðstæðum, legið á bilinu 0,6 – 0,8.

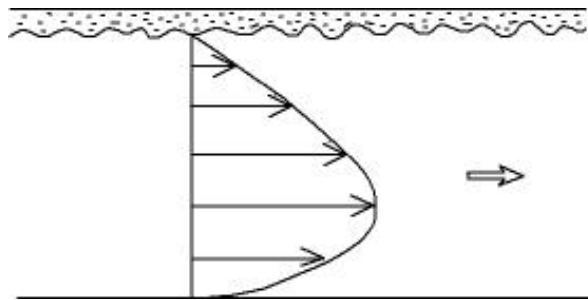
Útreikningar gefa til kynna að ísþykktir á Norðlingaöldulóni geti farið í ríflega 1,0 m í meðalári og er þá reiknað með leiðréttingarstuðlinum **α** = 1,0. Samkvæmt útreikningum má gera ráð fyrir að þykkt íssins sé að jafnaði mest í aprílmánuði. Rétt er að geta þess að ekki er tekið tillit til úrkomu í formi rigningar á tímabilinu sem hefur veruleg áhrif á ísmyndunina sem og bráðnunarferli á vormánuðum.

3.4 REKSTRARTRUFLANIR

Ísþekja á vatnsföllum (ám) veldur talsverðum breytingum á rennsli þeirra. Ýmis konar rekstartruflanir geta komið upp við slíkar aðstæður. Flutningsgeta farvega og skurða breytist. Ísstíflur geta valdið rennslismótstöðu sem orsaka flóð og skyndileg rennslisbreyting inn í ísilagðan farveg getur brotið upp ísþekju og valdið stíflum. Ísþekja á vatnsföllum orsakar m.a. rýrnun á rennslisþversniði, hrýfi neðra borðs ísþekju eykur rennslismótstöðu og stærri ísinnskot og grunnstingull geta valdið verulegri minnkun rennslisþversniðs. Ísþekja getur myndast á skömmum tíma á Norðlingaöldulóni, krapamyndun getur orðið all veruleg í ánni og einnig getur myndast fljótlega á henni ísþekja.



Mynd 4 Myndun ísstíflu.

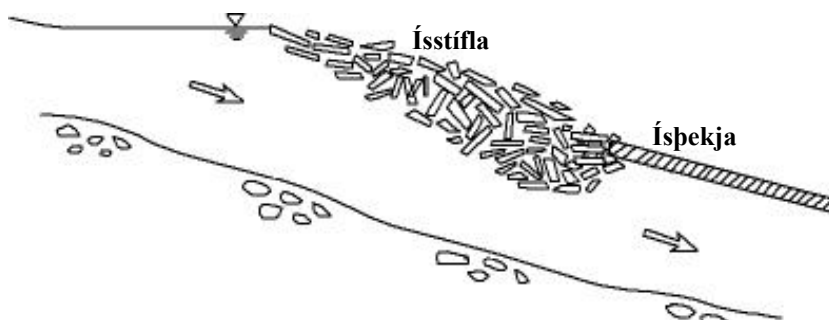


Mynd 5 Rennsli undir ísþekju.

Ferli ísmyndunar getur orðið nokkuð breytilegt eftir veðri (hitastig, úrkoma, vindur) en engu að síður er nokkuð ljóst að íshrannir taka fljótlega að myndast nálægt innrennslisstað. Þar sem dýpi er í minna lagi við innrennsli í lón er hættu á ísstíflum sem geta valdið því að ísinn brotnar upp og áin farið að renna ofan á þeim ís sem er fyrir og orsakað mikla upphleðslu af lagskiptum ís á stóru svæði. Mikilvægt er því að tryggja sem greiðast rennsli undir ís við innrennsli og í gegnum lónið með því m.a. að halda lónhæð stöðugri til að forðast hættu á því að ísþekjan geti brotnað upp.

Ísalagnir við náttúrulegar (núverandi) aðstaður í efri hluta Þjórsár eru þannig að mikil krapamyndun verður og áin lokast fljótt ofan við Eyvafen, en þar eykst fallið í ánni og vakir haldast oft allan veturinn. Með lónhæð 568 m y.s. er efri endi lónsins á hallalitlum kafla og ísmyndunin verður “statísk”, þ.e.a.s. krapað þekur lónið og ísþekjan skríður síðan upp farveginn. Við lónhæð 566 m y.s. er efri endi lónsins þar sem farvegurinn þrengist og fallið eykst. Þar verður “dýnamísk” ísmyndun, krapað berst undir ísþekjuna á lóninu og safnast fyrir og hrannast upp. Þessu fylgir veruleg vatnsborðshækkun og hætt er við að innrennsli í lónið stíflist og vatn safnist saman ofan við ísstífluna sem síðan getur brostið og valdið flóðgusu. Búast má við árlegri endurkomutíðni slíkra atburða en þó getur það gerst að nokkur ár líði á milli. Þessi fyrirbæri eru vel þekkt hér á landi, í N-Ameríku, Síberíu og norður- og miðhluta Evrópu þar sem vatnsborðshækkunarir valda oft usla.

Í norðurhluta lónsins, þar sem það fylgir árfarveginum í s-beygju og er einna þrengst, er mikilvægt að viðhalda sem mestu dýpi til að draga úr hættu á ísstíflum. Búast má við rennslistruflunum á þessum slóðum vegna stefnubreytinga á rennsli í lóninu samfara ís- og krapareki. Lauslegt mat á rennsli gefur til kynna að rennslishraði við 568 m y.s. sé vel undir 0,5 m/s en yfir 0,5 m/s við 566 m y.s. og því aukin hættu á ísvandamálum. Aursöfnun á þessum stað mun auka enn frekar á þessa hættu.



Mynd 6 Ísstífla við jaðar ísþekju.

Mikilvægt er að halda tryggu rennslisþversniði að inntaki. Þegar lónið leggur er gert ráð fyrir að íspekja myndist á aðrennslisskurði. Hætt er við því að talsvert snjófarg geti myndast á íspekjunni í skjóli skurð- og lónbakka og valdið sigi á íspekjunni með þeim afleiðingum að vatn getur brotist upp úr íspekjunni og valdið enn frekari upphleðslu íss. Afleiðingar þessa geta orðið umtalsverðar truflanir á rennsli að inntaki og því meiri sem skurðurinn og lónið eru grynri.

4 ÍSÁLAG OG ÍSVARNIR

4.1 ÍSÁLAG Á MANNVIRKI

Ísálag á mannvirki orsakast af láréttum og lóðréttum hreyfingum íss. Megin orsakir álagsins eru vind- og straumálag á íspekju. Ísálag vegna hitaþenslu vex gjarnan mjög hægt þannig að spennuslökun á sér yfirleitt stað sökum “viskóelastískra” eiginleika íssins. Álag af þessu tagi er fyrst og fremst skaðlegt í og við lokuvirki fremur en gagnvart t.d. stíflumannvirkjum í heild. Vitað er um ísálag þessarar gerðar frá 0,22 – 0,30 m þykkum ís (Kanada, Svíþjóð) sem valdið hefur álagi á brúarstólpa nálægt 265 kN/m og jafnvel enn hærra. Óvissa í ákvörðun hitaþensluálags er sérstaklega mikil varðandi sprungumyndun í íspekju og að hvaða marki þær fyllast aftur og frjósa. Ennfremur er álagspól víðra sprungna ekki fyllilega ljóst.

Beinar mælingar á ísálagi eru takmarkaðar að umfangi og í mörgum tilvikum erfitt að draga almennar ályktanir af þeim. Fræðilegar aðferðir við greiningu á ísálagi hafa ekki litið dagsins ljós nema að takmörkuðu leyti og er það ekki síst vegna ólínulegra efniseiginleika íssins. Útreikningar á ísálagi eru því gjarnan byggðir á reynslu og hagnýtum reikniaðferðum [5,28].

Þegar ljóst er hverjar ísþykktir geta orðið á Norðlingaöldulóni er hægt að meta stærðargráðu þeirra krafta sem verkað geta á mannvirki. Ofangreindir útreikningar gefa til kynna að búast megi við ísþykktum nálægt 1,0 m.

Álag vegna vinds og/eða strauma [28] er hægt að meta sem:

$$q = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 L \quad (5)$$

þar sem q er álag (kN/m), C_d er álagsstuðull, ρ (kg/m³) er rúmþyngd lofts/vatns, V er vind- eða straumhraði (m/s) og L er aðdragandi álagssvæðis (m). Á Norðlingaöldulóni gæti þetta þýtt álag á stíflumannvirki sem nemur 3 – 5 kN/m vegna bæði straumálags og vindálags á íspekju. Öllu alvarlegra er brotálag íss gagnvart mannvirkjum sem getur átt sér stað þegar hreyfingar íssins eru hindraðar. Lagt hefur verið mat á þá krafta með margvíslegum hætti og nokkrir aðilar hafa fyrirskrifað slíkt í staðla s.s. API (American Petroleum Institute), CSA (Canadian Standards Association) og AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). CSA og AASHTO hafa komið sér saman um líkinguna:

$$F_h = pbh \quad (6)$$

þar sem F_h er brotálagið (N), p (MPa) er þrýstibrotstyrkur íss, b (mm) er breidd álagssvæðis og h (mm) er þykkt íssins. Samkvæmt því gæti reiknislegt álag af þessu

tagi á mannvirki við Norðlingaöldulón legið á bilinu 700 – 2760 kN/m þar sem gert er ráð fyrir að brotstyrkur íssins sé 0,69-2,76 MPa og ísþykktin um 1,0 m.

Á samsvarandi hátt fæst ísálag á bilinu 400 – 2400 kN/m með aðferð API, þar sem brotálagið F_h er fundið sem:

$$F_h = Cbh\sigma_c \quad (7)$$

Í líkingunni er stærðin C eins konar sambland af formbreytinga- og formstuðli (0,3 – 0,7) og σ_c (1,38 – 3,45 MPa) eru brotspennur íssins.

Á hinn bóginn eru ekki fyrirjáanlegar líkur á því að kraftar af þessari stærðargráðu nái sér upp nema um þvingunarkrafta af einhverju tagi verði að ræða. Helst eru líkur á því að kraftar af þessu tagi geti komið fyrir í og við lokuvirki, brúarstólpa eða annars staðar þar sem mikil staðbundin sprungumyndun á sér stað í ísnum. Fyrir 1,0 m þykka ísþekju þarf um 120 km langan aðdraganda fyrir vind til að nálgast brotþol íssins í vindálagi. Fyrir 0,1 m þykka ísþekju er þessi lágmarks aðdragandi nálægt 12 km. Ísálag vegna vind- og straumálags á ísþekju á Norðlingaöldulóni verður því trúlega alltaf innan við 5 kN/m. Þyki ákvörðun ísálags vegna hitabreytinga ótrygg samkvæmt stöðluðum aðferðum er alltaf fyrir hendi möguleiki á að nálgast álagið enn frekar með ólínulegri greiningu á hegðun íssins á lóninu við hitabreytingar. Ákvörðun álags á hallandi mannvirki getur orðið nokkuð breytileg. Ýmsar þekktar aðferðir gefa allt að því fjórfaldan mun á niðurstöðum.

4.2 ÍSVARNIR

Fyrir kemur að nauðsynlegt reynist að ná stjórn á íssöfnun. Nokkrar þekktar leiðir eru til þess. Ísskolunar mannvirki við Búrfell eru til þess fallin að mynda yfirborðsstrauma sem beina íssöfnun á æskilega staði þar sem hægt er að skola honum á yfirfalli yfir í eldri farveg. Annars staðar þekkist að dæla lofti í vatnsmassa frá botni og mynda með því eins konar tjald (air bubbler curtains). Nauðsynlegt getur reynst að dæla talsverðu magni af lofti með þessum hætti. Tilgangurinn er að mynda yfirborðsstraum, jafnvel í gagnstæða átt við megin rennsli og hindra með því móti að ís berist með straumvatni.

Þekkt er að nota ísbómur til að stöðva eða stjórna ísburði. Talsverð reynsla er komin á fljótandi ísbómur sem hafa m.a. reynst mjög vel við vatnsorkuver þar sem auðvelt er að hafa áhrif á magn og staðsetningu íssins. Ótvíræður kostur er möguleiki fljótandi ísbóma til að fylgja breytingum í lónhæð og styrkjandi áhrif þeirra á neðri ísjaðarinn. Notkun ísbóma af þessu tagi hefur gefið góða raun fyrir rennslishraða allt að 0,7 m/s. Landföst mannvirki eru einnig talsvert notuð fyrir ísvarnir, ýmist ein og sér eða í bland við fljótandi ísbómur. Ísálag á landföst mannvirki einkennist oftast nær af hitabreytingum í ísnum.

Ýmsar leiðir hafa verið reyndar til að draga úr ísmyndun s.s. að sandbera ísþekju í þeim tilgangi að minnka endurskin og auka varmaupptöku íssins. Fyrir ár og lón þar sem rennslishraði er undir 0,4 – 0,6 m/s hefur loftdæling verið notuð með góðum árangri og þá fyrst og fremst í þeim tilgangi að færa hlýrri vatnsmassa upp undir ísþekjuna og hindra með því móti vöxt hennar eða a.m.k. draga úr honum. Í sama tilgangi hefur verið reynt að nota vatnsdælur til að mynda vakir ísþekjum.

Fyrir kemur að gripið er til upphitunar á inntaksristum til að hindra grunnstingulsmýndun á þeim en sennilega er þó algengara að upphitun sé beitt í tengslum við lokuvirki af ýmsu tagi þar sem tryggja þarf endingu þéttinga og hreyfanleika lokubúnaðar. Þekkt er að kælivatni í vatnsorkuverum er dælt að hluta í aðrennslisskurði til að draga úr áhrifum undirkælingar. Einnig hefur grunnvatn verið notað í svipuðum tilgangi.

Í tengslum við Norðlingaölduveitu hefur verið rætt um nauðyn þess að setja ísbómu í aðrennslisskurð að dælunum. Þar gæti vel komið til greina að koma fyrir fljótandi ísbómu. Umræður um þörf á ísbómum hafa fallið á þann veg að eðlilegt þætti að bíða með ísvarnaraðgerðir af því tagi og gera viðeigandi ráðstafanir ef reynslan leiðir í ljós að slíkt sé nauðsynlegt.

5 NIÐURSTÖÐUR

Vatnsborðssveiflur að vetrarlagi í Norðlingaöldulóni eru mjög óheppilegar þar sem hætta er á að ísþekjan brotni upp við land, stíflumannvirki og aðrennslisskurð. Allt þetta getur skapað ófyrirsjáanlega rekstrarerfiðleika og flóðahættu. Vatnsborðssveiflur eru mun meiri í lóni við 566 m y.s. en við 568 m y.s. þar sem rýmd þess fyrirnefnda er mun minni.

Athuganir á svæðinu benda til þess að Þjórsá, Norðlingaöldulón og aðrennslisskurðinn muni leggja snemma vetrar og haldist þannig þar til snjóá tekur að leysa að vori. Þetta þýðir að ef hægt er að halda vatnsborðssveiflum í lóninu niðri og ef komist er hjá hættu á ísstíflu við efri enda lónsins og ísmyndun í inntaksmannvirkjum, þá ættu vandræði vegna íss að vera í lágmarki.

Eins og aðstæðum er háttað við lónhæð 568 m y.s. bendir flest til þess að komast megi hjá ísstíflum eða a.m.k. draga verulega úr þeim við innrennslisstað og ennfreður í beygju við Eyvafen. Við lónhæð 566 m y.s. eru aðstæður á innrennslisstað mun verri og til þess fallnar að valda ísstíflum með tilheyrandi truflunum um lengri eða skemmri tíma og er því lögð áhersla á að lónhæðinni sé haldið sem næst 568 m y.s. yfir vetrarmánuðina.

Draga má saman athuganir á ísvandamálum á Norðlingaöldulóni í þrjú megin viðfangsefni:

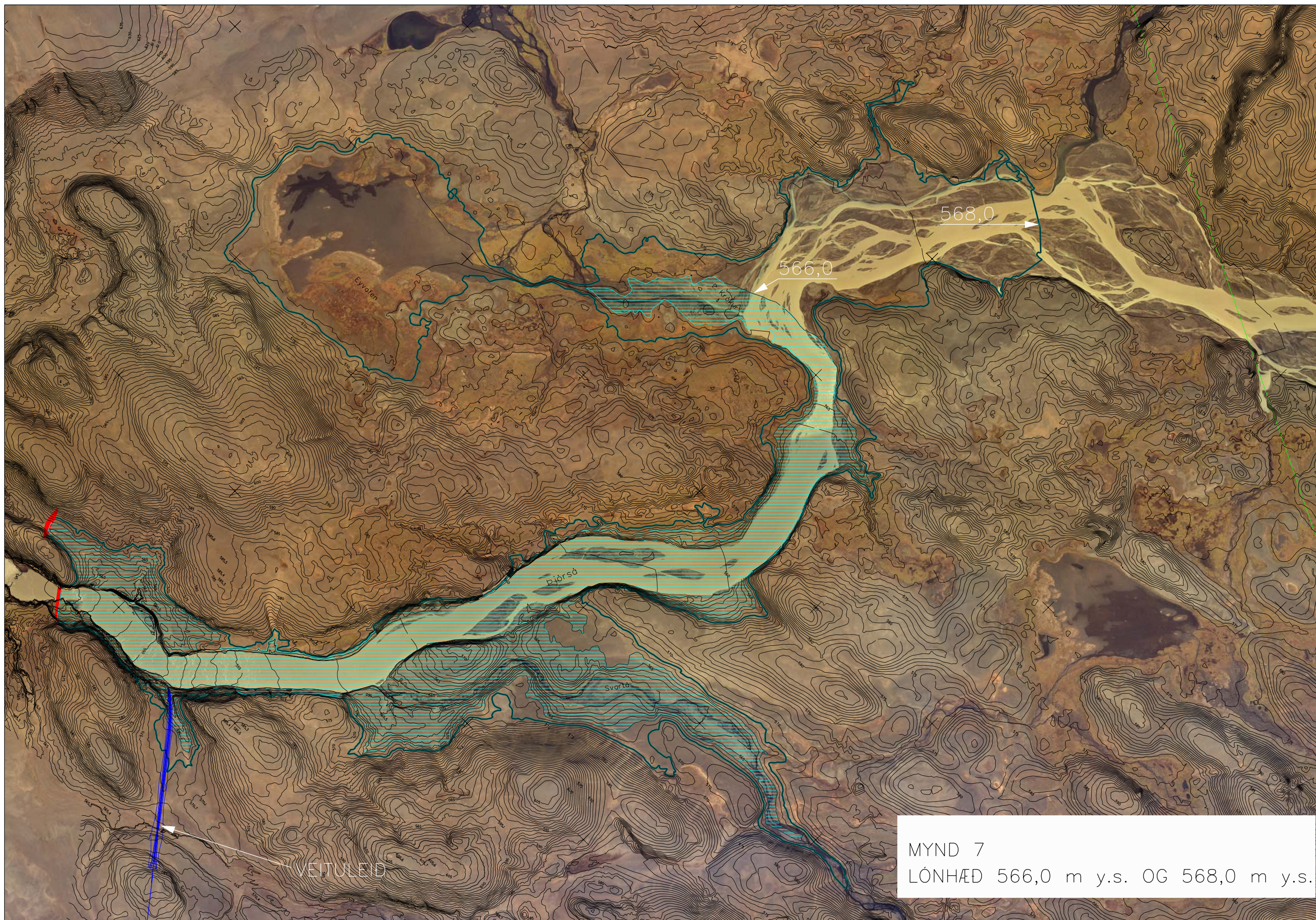
- Innrennsli Þjórsár í Norðlingaöldulón
Ljóst er að heppilegri aðstæður eru fyrir hendi m.t.t. ísstífluhættu við innrennsli í lónið við 568 m y.s. Þar fellur Þjórsá inn í lónið við tiltölulega hentugar aðstæður og rennslistruflanir í farvegi í lágmarki. Ef lónhæðin yrði 566 m y.s. væri Þjórsá að falla inn í lónið í krappri beygju og við meiri straumhraða. Rennslistruflanir af þeim sökum, ásamt ís- og krapareki, eru til þess fallnar að orsaka veruleg, tíð ísvandamál og hættulegar ísstíflur.
- Rennsli úr lóni við inntak
Við inntak aðrennslisskurðar er mikilvægt að viðhalda stöðugri lónhæð og að dýpi vatns sé eins mikið og kostur er til að draga úr hættu á rekstartruflunum vegna íss. Ef dýpi aðrennslis er of lítið eykst hætta á að undirkælt vatn frjósi á inntaksristum og loki þeim. Uppbrot á ís getur orðið vegna breytinga í

lónhæð, sem meiri líkur eru á við lítið lón, og eins getur snjófarg í aðrennslisskurði valdið sigi á ísþekjunni. Ef vatn kemst upp úr ísþekjunni af ofangreindum ástæðum getur orðið um enn frekari upphleðslu íss að ræða og verulegar rennslistruflanir fyrirsjáanlegar.

- Miðlunarrýmd lóns.

Lón með lítið miðlunarrými er erfitt í rekstri þar sem breyting á rennsli árinna krefst þess að bregðast þarf við með breyttri dælingu nær samtímis til að vatnsborðssveiflur í lóninu verði ekki of miklar. Þetta getur reynst mjög erfitt í framkvæmd þar sem stöðin er mannlaus og treysta þarf að öllu leyti á mælitæki fyrir vatnsborðshæðir og fjarstýringu alls dælubúnaðar. Einnig er mjög óheppilegt fyrir rekstur dælanna að breyta sífellt um dælt magn. Rétt er að benda á að við slæmar aðstæður getur sólarhrings kraparennslí inn í lónið numið allt að 11-12 % af miðlunarrýmdinni við lónhæð 566 m.y.s. en einungis 3-4 % við 568 m y.s.

Af ofangreindum ástæðum má draga þá ályktun að mun meiri rekstraráhætta fylgi lónhæð við 566,0 m y.s. en við 568 m y.s. Því er eindregið mælt með lónhæð 568,0 m y.s. yfir vetrarmánuðina og 566,0 m y.s. yfir sumarmánuði.



MYND 7
LÓNHÆÐ 566,0 m y.s. OG 568,0 m y.s.

6 HEIMILDIR OG ÍTAREFNI

- [1] *Norðlingaölduveita, Greinargerð um mannvirki veitunnar - Drög*, maí 2003.
- [2] Rist, S., *Þjórsárísar*, Jökull – Ársrit jöklarannsóknafélags Íslands, Reykjavík, 1962.
- [3] Michel, B., *Ice Mechanics*, Les presses de L'Université Laval, Québec, 1978.
- [4] Freysteinnsson, S., *Calculation of frazil ice production*, IAHR Symposium, Reykjavík, 1970.
- [5] Ashton, G.D., *River and lake ice engineering*, Water Resources Publications, USA 1986.
- [6] Mariússon, J.M., Freysteinnsson, S., Eliásson, E.B., *Ice jam control. Experience from the Burfell power plant Iceland*, Proceedings from the Third International symposium on ice problems, New Hampshire USA, August 1975.
- [7] U.S. Army Corps of Engineers, *Ice Engineering*, USA, October 2002.
- [8] Beltaos, S. (ed.), *River Ice Jams*, Water Resources Publications, USA 1995.
- [9] Hu, X., Pollard, W.H., Lewis, J.E., *Energy exchange during river icing formation in a subarctic environment, Yukon territory*, Géographie physique et Quaternaire, vol 53 no.2 p.223-234, 1999.
- [10] Peake, J.S., Walker, H.J., *Albedo decline in an arctic delta during spring snowmelt*, Proceedings 1976.
- [11] The New Brunswick subcommittee on river ice, *New Brunswick River Ice Manual*, August 1999.
- [12] Liston, G.E., Hall, D.K., *An energy-balance model of lake-ice evolution*, Journal of Glaciology, Vol 41, No.138, 1995.
- [13] Freysteinnsson, S. *Water temperature and heat balance of rivers*, Jökull – 18.árg.
- [14] Einarsson, M.Á., *Global radiation in Iceland*, Veðurstofa Íslands, Reykjavík 1969.
- [15] Einarsson, M.Á., *Evaporation and potential evapotranspiration in Iceland*, Veðurstofa Íslands, Reykjavík 1972.
- [16] Beltaos, S., *Hindsight on River ice jam stability*, Journal of Cold Regions Engineering, September 1996.

- [17] Healy, D., Hicks, F., *Comparison of ICEJAM and RIVJAM ice jam profile models*, Journal of Cold Regions Engineering, September 1996.
- [18] Daly, S.F., *Frazil ice blockage of intake trash racks*. Cold Regions Technical Digest No. 91-1, March 1991.
- [19] Foltyn, E.P., Tuthill, A.M., *Design of ice booms*. Cold Regions Technical Digest No. 96-1, April 1996.
- [20] Tuthill, A.M., *Structural ice control – Review of existing methods*. CRREL Special report 95-18, July 1995.
- [21] Zufelt, J.E., Ettema, R., *Model ice properties*. CRREL report 96-1, February 1996.
- [22] Zufelt, J.E., Ettema, R., *Unsteady ice jam processes*. CRREL report 97-7, December 1997.
- [23] Tuthill, A.M., Wuebben, J.L., Gagnon, J.J., *ICETHK User's Manual Version 1*. CRREL Special report 98-11, September 1998.
- [24] Ettema, R., Muste, M., Kruger, A., *Ice jams in river confluences*. CRREL report 99-6, May 1999.
- [25] Tuthill, A.M., *Flow control to manage river ice*. CRREL Special report 99-8, July 1999.
- [26] White, K.D., *Hydraulic and physical properties affecting ice jams*. CRREL Report 99-11, December 1999.
- [27] Det norske meteorologiske institutt, *Praktiske beregninger av solstråling*, Klima nr. 3, mai 1980.
- [28] Caldwell, S.R., Crissman, R.D., *Design for ice forces*, ASCE, NY 1983.
- [29] Freysteinnsson, S., *Ísaathuganir við Tangafoss*, Raforkumálastjóri, Orkudeild, Maí 1967.
- [30] Freysteinnsson, S., *Ísaathuganir á efra Þjórsársvæðinu veturinn 1966-1967*, Orkustofnun, Mars 1968.
- [31] Freysteinnsson, S., *Ísaathuganir á efra Þjórsársvæðinu veturinn 1967-1968*, Orkustofnun, Júlí 1968.

7 VIÐAUKAR

