



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Erik Montén
Statens Vattenfall, Svíþjóð

Um áhrif virkjunarmannvirkja á göngufisk

OS82024/VOD03
Reykjavík, febrúar 1982



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Erik Montén
Statens Vattenfall, Svíþjóð

Þýtt úr sænsku af
Hákoni Aðalsteinssyni

Um áhrif virkjunarmannvirkja á göngufisk

OS82024/VOD03
Reykjavík, febrúar 1982



FORMÁLI

Árið 1970 var komið á fót starfshópi að forgöngu Iðnaðarráðuneytisins til þess að stuðla að lausn deilunnar um stækkun Laxárvirkjunar.

Árangur rannsókna, sem þessi starfshópur sá um, kom út í bók árið 1979 (Oikos 32, 1-2; og Hið íslenska fræðifélag, Kaupmannahöfn, ritstj. Pétur M. Jónasson). Deilan um virkjunina var leyst með samkomulagi 1973. Ýmislegt hafði verið gert viðvirkjandi deilumálinu, sem ekki þótti ástæða til að setja á prent eftir að deilan var leyst. Sumt af því hefur þó almennt gildi langt út fyrir ramma Laxárvirkjunarmálsins. Þar má nefna greinargerð, sem svíinn Erik Montén samdi um afdrif laxaseiða, sem færu um Laxárvirkjanir á leið til sjávar, og hvernig draga megi úr tjóni á göngufiski í virkjunum með rétttri hönnun mannvirkja. Einnig var þar fjallað um laxastiga eða flutning á laxi upp fyrir virkjun. Þetta efni er birt að höfðu samráði við skrifstofustjóra Iðnaðarráðuneytisins, en hann hafði umsjón með þessu starfi af ráðuneytisins hálfu.

Fyrir tilstilli undirritaðs var Erik Montén fenginn til að líta á aðstæður við Lagarfossvirkjun og Grímsárvirkjun sumarið 1980, og um leið fékk hann gögn um aðstæður við fyrirhugaða Blönduvirkjun. Kom hann hingað á vegum Orkustofnunar, RARIK og Veiðifélags Fljótsdalshéraðs.

Í þessari skýrslu hef ég safnað saman þýðingum mínum á greinargerðum Monténs um áhrif áður nefndra virkjana á göngufisk. Byrjað er á Laxárvirkjun, þar sem aðferðum er lýst, og fjallað almennt um áhrif einstakra hluta virkjana á göngufisk.

Hákon Aðalsteinsson



EFNISYFIRLIT

	Bls.
FORMÁLI	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	7
I LAXÁRVIRKJUN	9
1 Inngangur	9
2 Nokkrar tæknilegar forsendur	9
3 Laxastigar eða flutningur upp ána	10
4 Ganga laxins niður ána eftir hryggningu	13
5 Skipting gönguseiðanna milli yfirfalls og hverfla	14
6 Lögun yfirfallsins	15
7 Almennt um Francis-hverfla	17
8 Áhrif hverflanna í Laxárvirkjun á gönguseiði	21
8.1 Áhrif hverflanna í Laxá I	21
8.2 Áhrif hverfilsins í Laxá II	22
8.3 Áhrif hverfilsins í Laxá III	22
9 Áhrif jarðgangnanna	23
10 Lokaorð	24
II Blönduvirkjun	26
III Grímsárvirkjun	28
IV Lagarfossvirkjun	29
1 Afföll á gönguseiðum við að fara um hverfil og yfirfall ...	29
2 Laxastiginn við Lagarfoss, virkni hans og áhrif hans á laxastofninn á Lagarfljótssvæðinu	30
2.1 Hönnun laxastigans	30
2.2 Mögulegar breytingar á stiganum	33
2.2.1 Aðferðir til að auðvelda göngu um stigann þegar engu vatni er hleypt um yfirfallið	33
2.2.2 Aðferðir til að tryggja uppgöngu á þeim tíma sem hleypt er framhá um yfirfall	33
2.3 Lýsing á því hvernig svipað vandamál var leyst í sænsku fljóti	34
2.4 Lokaorð um Lagarfoss	37



MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Einfölduð yfirlitsmynd af virkjununum í Laxá	11
2 Einfölduð mynd af orkuveri með Francis-hverfil	16
3 Myndin sýnir í megindrátum Francis-hverfil og tvö seiði sem nálgast hann	20
4 Afstöðumyndir af stöðvarhúsi Lagarfossvirkjunar, hverflinum, stigaendanum með breyttri legu utan stöðvarveggs, og straumfar utan stöðvarhúss	32
5 Afstöðumyndir af virkjunarstöðunum í Ume-fljóti og Lagarfljóti	36



I LAXÁRVIRKJUN

1. Inngangur

Á fundi með iðnaðarráðherra Magnúsi Kjartanssyni í Iðnaðarráðuneytinu 27. ágúst 1971 voru ræddir möguleikar á því að nota efri hluta Laxár, þ.e. Laxá ofan Brúa, til eðlilegrar laxatímgunar og laxveiða. Fallið í Laxá við Brúar mun hafa haldið laxi frá efri hluta árinna áður en mannvirkin voru gerð. Til að ná þessu marki verður að gera hinum kynþroska göngulaxi kleift að komast framhá orkuverunum annaðhvort af sjálfsdáðum eða með aðstoð. Ennfremur verða gönguseiðin sem hafa vaxið upp á svæðinu ofan orkuveranna að komast framhá þeim á leið sinni til sjávar, án þess að alltof mikið glatist.

Iðnaðarráðherra, Magnús Kjartansson, óskaði eftirfarandi spurningum svarað skriflega:

1. Hvert verður hugsanlegt tjón á seiðum gegnum hverfla og göng Laxár III (tjónaprósentan)?
2. Hvernig má draga úr hugsanlegu tjóni á seiðum?
3. Hvernig má beina seiðunum frekar á yfirfallið en í göngin?
4. Ýmis vandamál varðandi laxastiga og laxaflutning.

Að ósk iðnaðarráðherra tók ég að mér að láta í té umsögn varðandi áhrif orkuveranna og þá sérstaklega hverflanna á umræddar áætlanir og það sem hugsanlega mætti gera, til að auðvelda eðlilegar ferðir laxins. Þessi umsögn er byggð á upplýsingum, sem eru fyrir hendi og á eigin reynslu.

2. Nokkrar tæknilegar forsendur

Möguleikar fiska til þess að komast framhá orkuveri, eða eins og í þessu tilviki, tveim orkuverum og því þriðja, sem er í byggingu, er mjög háð hönnun þeirra og rekstrarfyrirkomulagi (rennsli o.fl.), eins og gera má ráð fyrir, að það sé á þeim tíma, sem vænta má að fiskurinn vilji framhá svæðinu. Gengið er út frá eftirfarandi forsendum:

Efri hluti tréstokksins á milli lóns og orkuversins Laxá I hverfi og í staðinn komi jarðgöng og tengileiðsla frá þeim til miðhluta tréstokksins. Ég hef skilið aðstæður svo, að þar séu nánast í samræmi við stig 1 af Gljúfurversáætlun, samkvæmt teikningum, "Plan, Waterways of Power station, Stage I, Nr. 0703401". Þessi hluti jarðganganna, tengileiðslurnar og tréstokkurinn eru einnig sýnd í grófum dráttum á mynd 1A.

Umsögn um Laxá III gengur út frá því, að þar verði notaður einn Francis-hverfill, hannaður fyrir rennslið $36 \text{ m}^3/\text{s}$ og $61,1 \text{ m}$ fall. Vatnsmagnið samsvarar nokkurn veginn öllu virkjuðu rennsli í Laxá, og fallhæðin þýðir að hækka verður efri stífluna um $23,1 \text{ m}$ (sjá sniðið á mynd 1B, sem sýnir þetta í stórum dráttum).

Í töflu á næstu síðu eru dregnar saman mikilvægar tæknilegar upplýsingar um byggingu hverflanna, staðsetningu þeirra, rennsli, fallhæð, snúningshraða o.s.frv., sem notaðar eru við útreikninga á tjóni á gönguseiðum. Á mynd 2 er venjulegt orkuver með Francis-hverfli sýnt, og þau nöfn, sem notuð eru hér ættu að skýrast af myndinni.

3. Laxastigar eða flutningur upp ána

Til þess að lax geti gengið í Laxá ofan Brúa, verður hann að fá aðstoð við að fara fram hjá virkjununum. Eins og kemur fram á mynd 1, er hér um að ræða u.þ.b. $1,5 \text{ km}$ vegalengd og hæðarmunurinn við núgildandi aðstæður (Laxá I + Laxá II) er 67 m . Það er tæknilega mögulegt að byggja laxastiga meðfram virkjununum, en verður að teljast fjárhagslega óeðlilegt. Aftur á móti eru tvær raunhæfar leiðir mögulegar til að koma laxi upp fyrir.

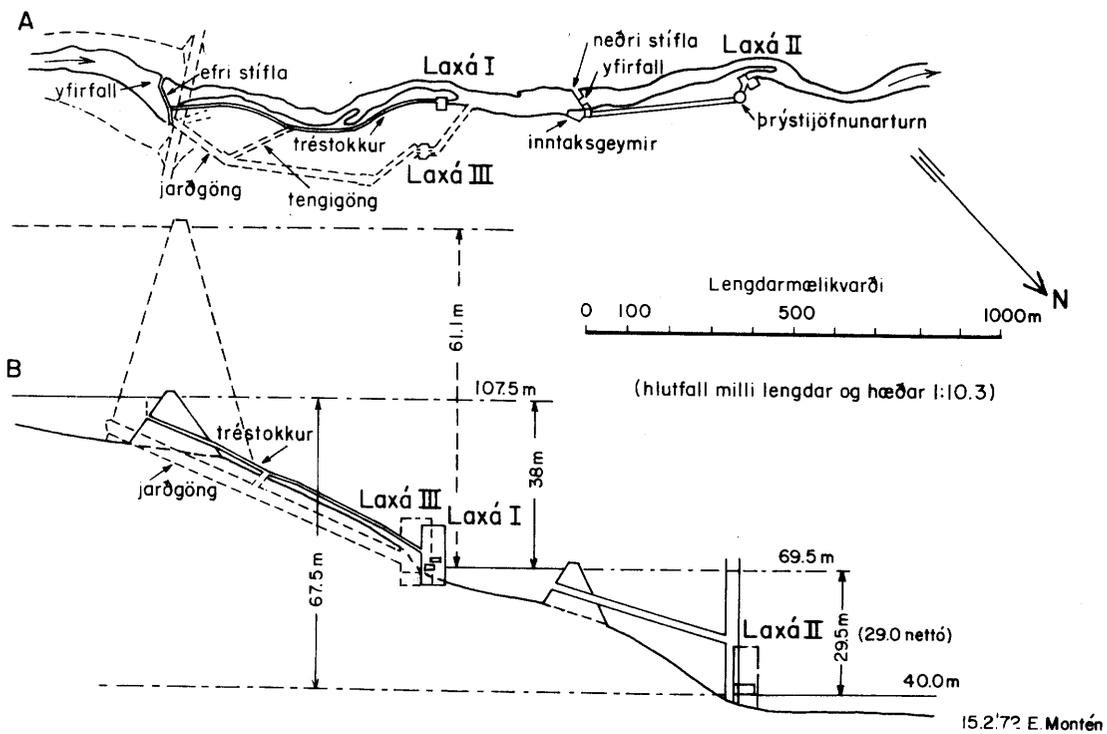
Önnur byggir á göngueðli laxins til hrygningastöðvanna, og notkun gamla farvegarins ásamt lóni Laxár II sem gönguleið, og tveim tiltölulega stuttum laxastigum, sínum við hvora stíflu.

naúðsynlegt að jafna halla farvegarins og tryggja hæfilegan straumhraða, t.d. með því að gera nokkrar stíflur og þrengja farveginn á nokkrum stöðum. Þessi aðferð hefur sannað notagildi sitt annarsstaðar, jafnvel þar sem um langan veg er að fara, en það er þó háð því að nægilegu vatni sé hleypt á gönguleiðina. Notagildi aðferðarinnar er þannig háð því

Upplýsingar um Francishverfla í Laxá.

Upplýsingar	Laxá I (gamla orkuverið)		Laxá II (Neðra orkuverið)	Laxá III (Ráðgert orkuver)
	Hverfill 1 (Sá minni)	Hverfill 2 (Sá stærri)	Hverfill 3	Hverfill 4
Þvermál hverfilhjóls (m)	0,835	1,236	2,13	1,84
Skófla við ferilinn (m)	0,3	0,4	0,8	0,6
Fjöldi skóflna	20	14	14	13
Snúningar á mín.	500	300	187,5	333 1/3
Fall (m)	38	38	29	61,1
Soghæð (m)	+4	+4	+2,5	-6,0
Vatnsrennsli við fullt álag (m ³ /sek.)	5,5	11,0	35	36,0
	16,5 ¹⁾			

1) Summan 16,5 er gefin. Skipting á hverfi 1 og 2 er miðuð við gegnstreymisflatarmál þeirra.



24. 1. '75 B-241 Tnr. 293 J-Ým. Tnr. 437 Fnr. 12362

MYND 1 Einfölduð yfirlitsmynd af byggingasvæðinu við Laxá

hversu miklu vatni orkuframleiðandinn er tilbúinn að fórna, þegar á þarf að halda.

Sé gönguleiðarkosturinn valinn, verður að reikna með því, að laxinn lokkist bæði að sográsarmunna orkuversins og munna laxastigans (sjá mynd 2). Þar sem straumurinn úr sográsinni er oft meiri en straumurinn frá stiganum er mikil hætta á, að yfirgnæfandi meirihluti laxanna leiti til sográsarmunnans. Margar aðferðir hafa verið reyndar til að beina laxinum að stiganum. Þannig hefur verið reynt að setja ýmiskonar lokur fyrir sográsarmunnana og með stjórnun á rennslinu hefur verið reynt að þvinga eða lokka laxinn til að velja stigann.

Girðingarlokur eru venjulega mjög dýrar, og þess vegna hafa rafmagnslokur verið reyndar. Rafmagnslokurnar hafa hinsvegar reynst of viðkvæmar fyrir rafmagnsbilunum og öðrum rekstrartruflunum, og því ekki nægilega áreiðanlegar, til þess að hægt sé að mæla með þeim.

Hinsvegar hefur oft reynst vel að minnka vatnið á hverflunum, og auka helst samtímis við vatnið í laxastiganum. Ef ekki er til staðar auka yfirfallsvatn, væri hægt að nota vélknúinn straummyndara við laxastigann til að lokka laxinn að laxastiganum.

Hin aðferðin til að koma laxinum á hrygningarstöðvar ofan stíflnanna felur í sér, að laxinn er veiddur í gildru við Laxá II og fluttur í vatnstanki, með tilheyrandi loftunarútbúnaði (loft eða súrefni) og honum sleppt á hentugum stöðum.

Þessi aðferð krefst afkastamikillar gildru og akvegur að henni, til að greiðlega gangi að flytja laxinn úr gildru í tank. Staður til að geyma laxinn lifandi við gildruna þarf einnig að vera til.

Þessi aðferð hefur verið notuð við sænskar ár með góðum árangri.

Nauðsynlegt er að athuga betur, hvort velja eigi gönguleiðarkostinn eða flutningskostinn. Eftirfarandi atriði ætti að athuga sérstaklega í því sambandi:

1. Halla, bæði í lang- og þversniðum í öllum gamla árfarveginum, milli lónanna. Einnig eiginleika botnsins á þessu svæði og þörf á aðgerðum til þess að gera sem besta gönguleið fyrir fiskinn.
2. Hversu mikið yfirfallsvatn sé tiltækilegt á þeim árstíma, sem fiskurinn gengur, og þörfin á yfirfallsvatni, til þess að gönguleiðin komi að notum. Best er að dæma um síðasta atriðið með því að hleypa vatni á í tilraunaskyni.
3. Tæknilegar forsendur þess að byggja laxastiga við efri og neðri stífluna og framkvæmdakostnað.
4. Tæknilegar forsendur fyrir byggingu afkastamikillar laxagildru við Laxá II og kostnaður við að reka hana og flutninginn upp ána.

Margt bendir til þess, að flutningur upp ána sé hagkvæmastur fjárhagslega, einkum ef veiðitíminn er stuttur. Kostnaðurinn við gildruna og flutninginn skiptist á vinnuafli og beinan flutningskostnað, en hinsvegar er laxagildran eina mannvirkið, sem þarf að byggja, á móti tveim laxastigum og breytingum á gamla farveginum, ef gönguleiðarkosturinn er valinn. Sú lausn mun einnig krefjast meira vatns en gildran.

4. Ganga laxins niður ána eftir hrygningu

Ef kynþroska laxi verður gert kleift að ganga í Laxá ofan Brúa, mun hluti hans verða veiddur. Veiðina ætti að miða við að nægilega margar hrygnur og hængar verði eftir til hrygningar. Eftir hrygninguna er ástand laxanna bágborið og verulegur hluti þeirra deyr seinni hluta hausts og um veturinn. Þeir sem lifa veturinn (hoplaxinn) fylgja venjulega straumnum til sjávar um vorið. Hoplaxinn er þó aðeins lítill hluti þess, sem hrygnði og er ekki verðmætur þá. Ýmsar athuganir benda til þess, að hoplaxinn fylgi botninum á niðurleið, og þess er því að vænta, að hann berist að inntakinu, sem venjulega liggur djúpt. Af því leiðir að ekki er hægt að varna hoplaxinum frá því að lenda í hverflunum nema með ærnum tilkostnaði og viðamiklum mannvirkjum. Fiskar af stærð hoplaxanna farast langflestir í næstum öllum gerðum hverfla.

Það má reikna með að nærri 100% hoplaxins farist í hverflum Laxárvirkjanna. Í flestum virkjunum eru hlífðargrindur fyrir inntaksopinu til varnar hverflunum gegn reki (ís o.fl.). Hoplaxinn, gagnstætt gönguseiðunum, kemst venjulega ekki gegnum grindurnar heldur festist þar og þrýstist að rimlunum, limlestist og deyr af þrýstingi. Möguleikarnir á að bjarga hoplaxinum eru þannig í rauninni mjög litlir.

5. Skipting gönguseiðanna milli yfirfalls og túrbína

Hrygning laxins á svæðinu leiðir til framleiðslu ungviðis. Við 2-4 ára aldur eru seiðin tilbúin að ganga í sjó fram og á vorin og fyrrihluta sumars yfirgefa þau uppvaxtarsvæði sín í Laxá og leita með straumnum til sjávar. Þegar þau nálgast stíflu eða inntak synda þau með straumnum eða láta strauminn bera sig. Ef allt vatnið er notað til orkuvinnslu, berast öll seiðin að hverflunum. Ef hluti vatnsins er hinsvegar notaður til að snúa hverflunum, en það sem eftir er fer á yfirfallið, má búast við því að gönguseiðin skiptist einnig milli yfirfalls og hverfla. Leiðarval seiðanna er þó ekki aðeins háð vatnsmagninu, heldur fer það eftir vali á umhverfi meðan á göngunni stendur. Í ánni sjálfri eru þau tengd ákveðinni botngerð, en þau fara nærri yfirborðinu, þegar þau fara yfir djúpt vatn. Má þá ráða nokkru um hvar seiðin lenda, með legu inntaksopsins og gerð yfirfallsins. Í Laxá eru allir hverflarnir tiltölulega litlir og fallhæðin við bæði yfirföllin tiltölulega lág. Þetta veldur því að hættan á tjóni á gönguseiðunum er miklu meiri við að fara gegnum hverflana en um yfirfallið. Að þessu kem ég aftur seinna. Það er því nærtækt að reyna að beina gönguseiðunum að yfirfallinu og reyna helst að hindra þau frá að lenda í hverflunum.

Það er hinsvegar erfiðara að hindra gönguseiði frá því að lenda í hverflunum, en að lokka lax frá sográsarmunnum til laxastigans. Viða hafa rafmagnslokur og girðingar með sérstaklega smíðuðum skásettum málmþynnum verið reyndar, en án viðunandi árangurs. Í grunnnum ám með jöfnum og að öðru leyti heppilegum botni og hæfilega jöfnu rennsli, hefur reynst mögulegt að beina gönguseiðunum algerlega frá inntaksopinu og að sérstaklega gerðum gönguleiðum. Þetta er gert með grindum eða neti. Svona hindrun verður að hafa nægilega stórt yfirborð til að gönguseiðin þrýstist ekki að netinu vegna straumbungans. Þetta er því aðeins hægt, að rekið í ánni

og ísinn teppi ekki möskvana. Reynslan sýnir að slíkur útbúnaður er yfirleitt dýr í rekstri ef oft þarf að hreinsa netið meðan á göngu seiðanna stendur, og ef nauðsynlegt reynist að fjarlægja girðinguna yfir veturinn.

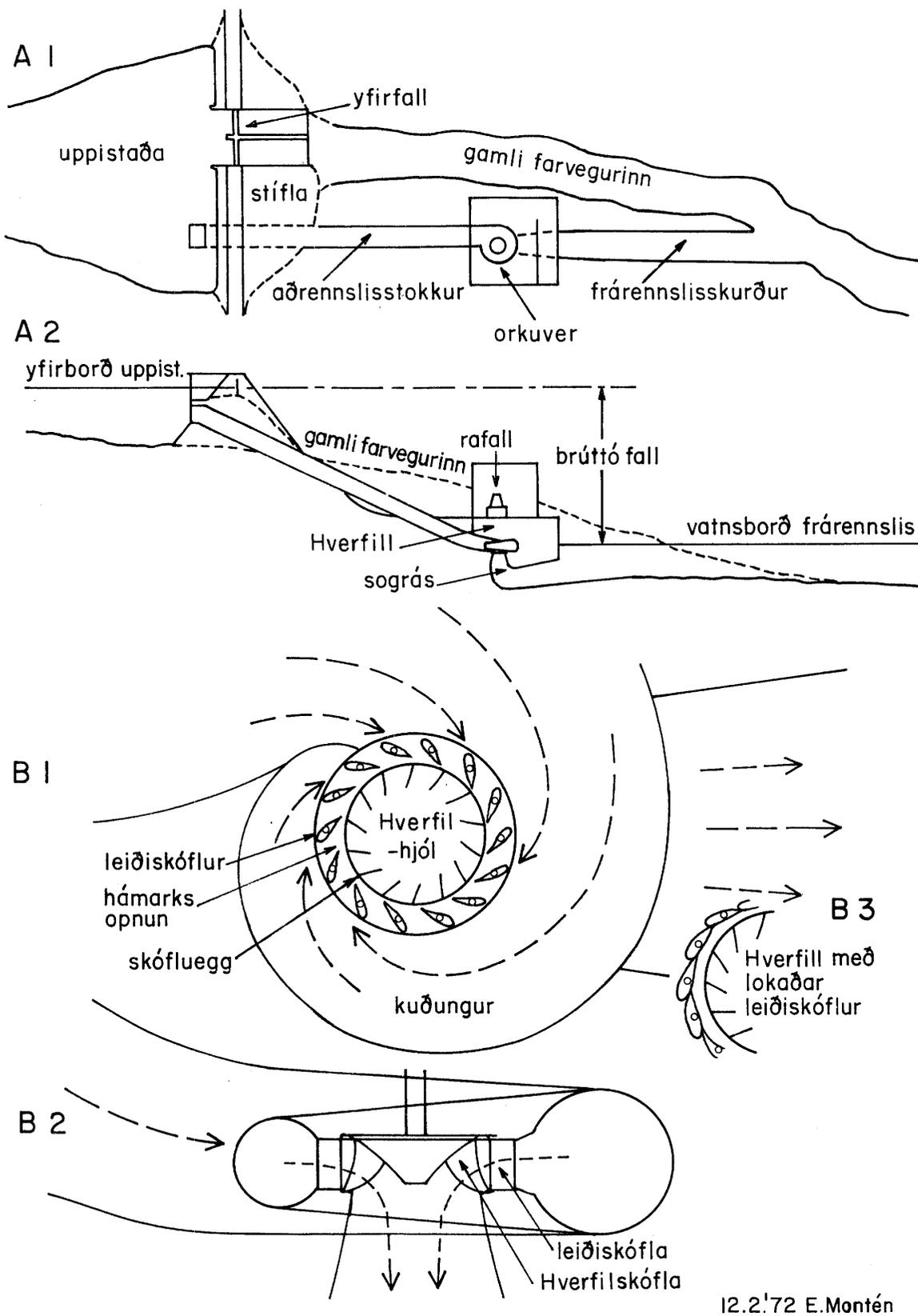
Við efri stífluna virðast aðstæður í óhentugara lagi fyrir svona útbúnað. Það er þó nauðsynlegt að athuga svæðið nánar, með tilliti til gerðar botnsins og ísaaðstæðna o.fl., áður en endanleg afstaða er tekin. Við neðri stífluna ætti að vera hægt að bæta við og lagfæra yfirfallið þannig, að hægt sé að breyta dýpinu niður að inntaksopinu að Laxá II, og kanna þannig, að hve miklu leyti er hægt að forða gönguseiðunum frá því að berast að hverflinum. Magn yfirfallsvatnsins mun þó þrátt fyrir allt hafa mesta þýðingu.

6. Lögun yfirfallsins

Inntak og yfirfall eru hlið við hlið á báðum stíflunum. Þau virðast þó vel aðskilin. Þar sem inntökin eru nær hægri bakkanum, en yfirföllin fyrir miðju eða nær hinum bakkanum (sjá mynd 1). Þetta er kostur með tilliti til gönguseiðanna.

Að mínum dómi eru góð skilyrði til þess að lagfæra yfirföllin, svo að þau verði heppilegri fyrir gönguseiðin og dragi þau frekar að sér.

Yfirföllunum ætti að breyta þannig, að þegar rennslið er lítið, sé því safnað í dýpkaða skoru, sem best væri að staðsetja á móts við gönguleiðina. Með þessu fæst straumstrengur, sem lokkar gönguseiðin. Auk þess yrði vatnið það mikið í skorunni, að ferðin niður af stíflunni verður seiðunum hættuminni. Straumlínulaga yfirföll eru talin fara best með fisk, sem fer um þau, ef ekki eru steypuklumpar eða þ.h. neðan við til að draga úr krafti vatnsins. Ennfremur er óhagstæðara, að fyrir neðan stífluna, séu sléttir berg- eða steypufletir, því að þá breiðist yfirfallsvatnið út í mjög þunnt lag. Neðan yfirfallanna á báðum stíflunum í Laxá þarf að gera litlar stíflur, til þes að seiðin, sem skolast þar yfir komi niður í vatn, sem er að minnsta kosti nokkurra tuga sentimetra djúpt. Ef þannig er farið að álít ég, að ekki þurfi að reikna með að yfirföllin sjálf muni valda tjóni á seiðum þeim, sem velja þá leiðina.



12.2.72 E.Montén

B-24 Tnr.294 J-Ým.Tnr.438 Fnr.12363

MYND 2 Einfölduð mynd af orkuveri með Francis-hverfil.
Prýstijöfnunarpró er ekki sýnd.

7. Almennt um Francis-hverfla

Sá hluti gönguseiðanna, sem berst að inntakinu, þarf líklega að fara í gegnum grófristar. Vegna smæðar sinnar eru miklir möguleikar á að seiðin sleppi ómeidd. Áður en ég útskýri hvers vegna og hvernig gönguseiðin verða fyrir tjóni í Francis-hverflum, ætla ég með nokkrum orðum að fjalla um þrýstinginn, þar sem mikilvægi hans er oft misskilið. Á mynd 2, er venjulegt orkuver sýnt í fleti og þversniði (A1 og A2). Þegar niðurgönguseiðin fylgja vatninu gegnum hallandi aðrennslispípu og nálgast kuðunginn svonefnda (spiral), vex vatnsþrýstingurinn smám saman. Vegna þrýstingsins skreppur sundmaginn saman í lágmarksrúmmál. Þrýstingurinn nær hámarki, þegar fiskurinn fer fram hjá skóflunum (sjá mynd 2, B1-2). Á því augnabliki, sem niðurgönguseiðin fara fram hjá frárennslisliði hverfilhjólans lækkar þrýstingurinn samstundis niður í gildi, sem er lægra en loftþrýstingurinn, en hækkar síðan strax aftur þegar gönguseiðin halda áfram niður sográsina (sjá mynd 2 A2). Þaðan kemur fiskurinn í rólegheitum upp í eðlileg þrýstingsskilyrði neðan við orkuverið. Tilraunir hafa sýnt, að skammvinnur undirþrýstingur, veldur yfirleitt ekki tjóni á gönguseiðunum, þar sem sundmaganum er hlíft af seigju líkamsvefjanna í kring.

Við óeðlilega hátt álag, eða við annað rekstursástand, sem einkennist af vannýtni, getur þrýstingurinn orðið óstöðugur. Af því leiðir, að iðu-hreyfingar (turbulens), kavítasjón (kavitation) og loftmyndun (ångbildning) aukast. Við þvílíkar aðstæður geta gönguseiðin skaðast, t.d. vegna innri blæðinga eða að sundmaginn brestur. Tjón af þessum sökum er frekar sjaldgæft og hefur mest orðið vart við það í Francis-hverflum, með háa jákvæða (positív) soghæð, þ.e. þeim sem eru hátt yfir vatnsborði frárennslis (sjá mynd 2 A2), eða þar sem fallhæðin er breytileg vegna miðlunar í inntakslóni. Hverflarnir í Laxá I hafa nokkuð háa jákvæða soghæð, +4m, (sjá töflu 1). Fallhæðin 38 m er mjög há, en stöðug. Að sögn er ekki um verulega kavítasjón eða loftmyndun að ræða og því tel ég ekki þörf á að reikna með tjóni vegna þrýstingsbreytinga. Sama gildir um Laxá II (og Laxá III) þar sem þrýstingsaðstæður þar eru hagstæðari fiskum.

Árekstur við fasta eða hreyfanlega hluta hverfilsins mun væntanlega valda mestu tjóni á gönguseiðunum. Í Laxá eru einungis Francis-hverflar. Einkennandi fyrir þá er, að hverfilhjólið hefur fjölda (12-20) fastra

skóflna og að vatnið streymir inn í hverfilhjólíð í stefnu ássins. Á mynd 2 B1-3 er í megindráttum sýnt, hvernig Francishverfill er hannaður.

Þegar gönguseiðin hafna í myrkri og iðu inntaksrörsins, eru þau gersamlega á valdi vatnsstraumanna. Hraðar og hraðar nálgast seiðin kuðunginn (mynd 2), sem hefur það hlutverk að jafna vatninu á ysta feril hverfilhjólísins. Í kuðungnum myndar vatnsstraumurinn hvirfil sem snýst umhverfis hverfilhjólíð (mynd 2 B1). Næst hverfilhjólinu er krans af hreyfanlegum samsíða leiðiskóflum. Mót straumstefnunni er kantur þeirra ávalur, en undan straumi mjókka þær eins og dropi. Leiðiskóflunum má snúa annaðhvort þvert á hverfilhjólíð og gefa þær þá hámarksopnun fyrir hámarksvatnsmagn, eða í stefnu hringsins, en við það minnkar opið og vatnsmagnið og loks er hægt að loka þeim alveg, eins og mynd 2 B3 sýnir. Þegar leiðiskóflurnar hafa áþekka stefnu og opnun og mynd 2 B1 sýnir, er hleypt á því vatni, sem þarf til að ná mestu afköstum (við góða nýtni). Við hálft álag er skóflunum snúið þannig, að opin og þar með það vatn sem hleypt er á, er minnkað um helming.

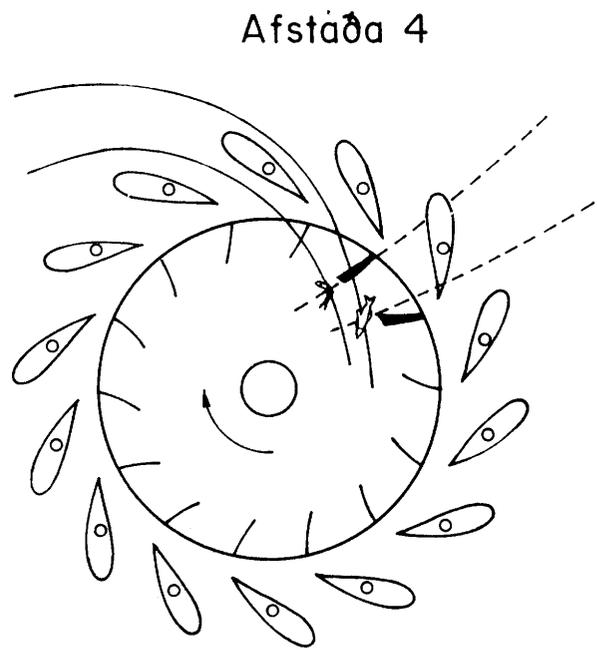
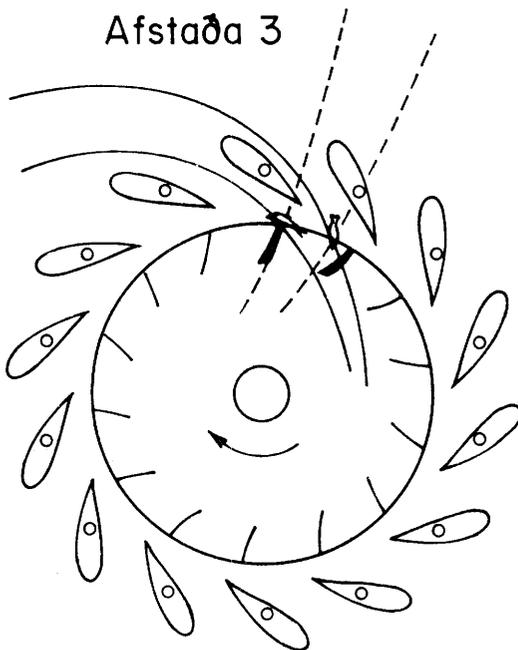
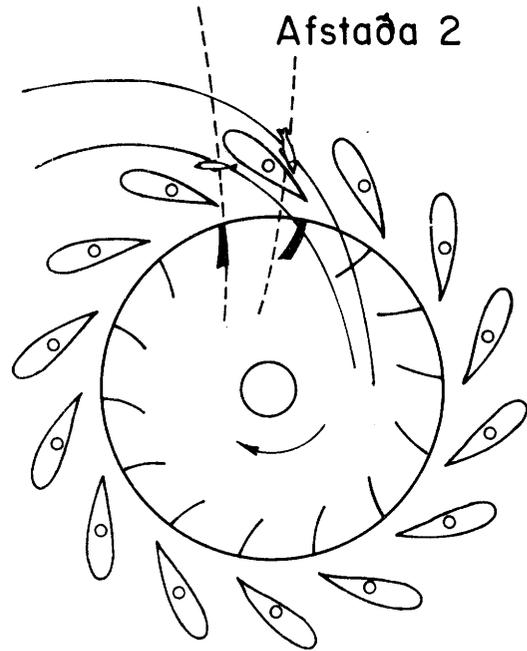
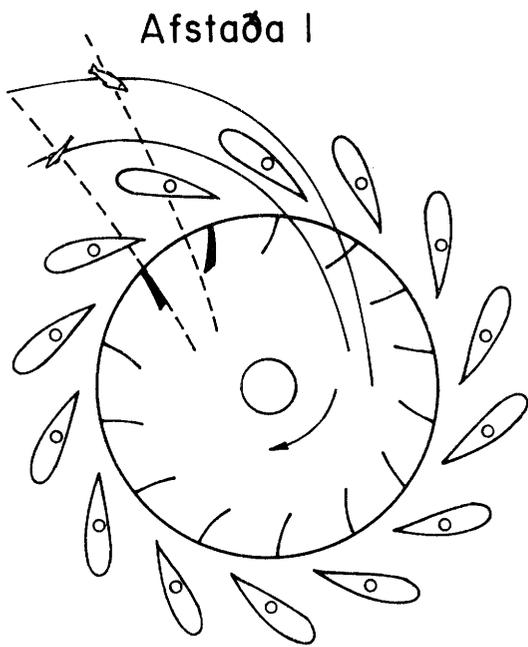
Þegar fiskurinn berst inn að leiðiskóflunum samsíða fleti þeirra er hraði hans mikill. Hinn ávali kantur leiðiskóflanna veldur því, að einungis fá seiði skaðast við árekstur og þá helst þau sem nálgast miðju kantsins með þyngdarpunkti sínum. Tilraunir, sem ég hef gert, sýna, að yfirgnæfandi hluti drepinna seiða hafa skaðast á hverfilskóflunum, sem hafa frekar hvassa egg móti straumnum og sáralítinn möguleika á að stýra hlutum, sem nálgast, framhjá.

Ég álít því heppilegt að finna sambandið milli tjónagilda, sem fundin eru við tilraunir og þeirra sem ég hef reiknað út frá líkum á árekstri. Það er þetta samband, sem ég nota til að segja fyrir um tjón. Sú tjónprósenta sem þannig fæst getur innifalið fleira en aðeins skaða vegna árekstra við hverfilhjólíð, þó að það sé án efa hættulegast. Á mynd 3 hef ég reynt að sýna hvernig nokkur seiði fara í gegnum Francishverfil. Hvort leiðiskóflurnar hafi áhrif á hreyfistefnu þeirra eða ekki, hefur enga þýðingu í þessu tilviki, og ég hef því látið þau fara framhjá leiðiskóflunum án þess að þær hafi haft áhrif á þau. Í kuðungnum, þar sem seiðin eru í "afstöðu 1" til túrbínuhjólísins, beinast straumlínur vatnsins á ská inn að túrbínuhjólnum og þar með einnig brautir seiðanna, sem eru teiknaðar með óbrotnum línunum. Frá "afstöðu 2" til "afstöðu 3" tvöfaldast hraðinn og í "afstöðu 3"

fara seiðin fram hjá ysta ferli hverfilhjólans með hraða af stærðargráðunni 20 m/sek, eða u.þ.b. 70 km/klst. Þau hafa hinsvegar hreyfistefnu í þessari afstöðu, sem er að nokkru leyti sú sama og hreyfistefna hverfilskóflanna, sem veldur því, að þau fara í kring um ás hverfilsins með u.þ.b. sömu snúningshreyfiorku (vridande moment) og hverfilhjólíð, um leið og þau berast inn að ásnum samsíða plani hverfilskóflanna. Þar með halda seiðin u.þ.b. sömu stefnu eða afstöðu til vissrar skóflu eða punkts á hverfilhjólinu, meðan þau nálgast það. Hreyfistefna seiðanna með tilliti til hverfilhjólans kallast afstæð hreyfistefna, og er þá hvorki tekið tillit til snúningshreyfingar seiðanna eða hverfilhjólans. Þetta er sýnt á mynd 3 með brotnum línunum. Myndirnar sýna að lega seiðanna, þegar í "afstöðu 1", er mestu ráðandi um hvar þau fara fram hjá ysta ferli hverfilhjólans. Miðja annars seiðisins liggur við skófluegg þegar frá byrjun og breytist það ekki meðan á snúningnum og ferðinni inn að hverfilhjólinu stendur. Í "afstöðu 3" verður áreksturinn, og í "afstöðu 4" heldur seiðið áfram í tveim hlutum að sogrörinu. Hitt seiðið hafði frá byrjun legu, sem beindi því að punkti milli tveggja skófla og fer því óskaðað gegnum hverfilhjólíð. Sá hraði sem seiðið nálgast ysta feril hverfilhjólans með í hina afstöðu hreyfistefnu, köllum við afstæðan hraða. Hann er talsvert minni en hinn rétti hraði og oft minna en helmingur eða nær þriðjungur hans.

Við minnkun álagsins, með því að minnka opnun leiðiskóflanna minnkar vatnsstraumurinn til hverfilhjólans og vatnsstraumurinn er látinn stefna meira samsíða hjólinu. Hraðinn inn að ásnum minnkar þá, en hraðinn um ásin helst í aðalatriðum sá sami og hraði hverfilhjólans (sem er stöðugur). Afleiðingin af þessu verður að afstæða hreyfistefnan breytist nokkuð samtímis því, sem afstæði hraðinn minnkar verulega. Ef mál hverfilsins eru þekkt, skóflulega, hraði, rekstursstilling og fleira, er hægt að reikna afstæða innfallshornið og nota það til þess að reikna út breidd bilsins milli skóflanna í ljósi afstæðrar hreyfingar seiðisins, á sama hátt og þegar við athugum sniðhallabilið milli rimla í rimlagirðingu. Þessa breidd köllum við hina afstæðu opnun.

Hin afstæða opnun og lengd seiðisins eru mikilvægustu stærðirnar til þess að reikna líkurnar fyrir árekstri, hinar svokölluðu hittnilíkur. Líkindareikningurinn tekur einnig tillit til að lengdarás seiðisins getur haft hvaða stefnu sem er samanborið við straumstefnuna, a.m.k. áður en hann kemur inn á milli leiðiskóflanna.



16.2'72 E.Montén

27.1.'75 B-24I Tnr.295 J-Ým Tnr.439 Fnr.12364

MYND 3 Myndin sýnir í megindráttum Francis-hverfil og tvö seiði sem nálgast hann. Það tekur seiðin 1/20 sek. að fara úr "afstöðu 1" í "afstöðu 4" og á meðan snýst hverfilhjólíð um 1/4 úr hring.

Ennfremur verður að umreikna lengd fisksins í svonefnda næma lengd. Sporðugginn skaðast t.d. mjög sjaldan vegna sveigjanleika síns. Líkurnar fyrir því að rekast á, reiknað á grundvelli ofanefndrar aðferðar, er venjulega í góðu samræmi við dánarhlutfallið, þar sem áreksturinn milli hins næma hluta seiðisins og túrbínuhjólsins, leiðir oftast til dauða seiðisins. Þess vegna gildir almennt, að tjónið verður lítið ef hverfillinn er stór og fiskurinn lítill og öfugt. Í sumum hverflum er ekki samræmi milli dánarhlutfallsins og líkunum á árekstri. Orsakirnar eru venjulega þær, að seiðið, sem rekst á, þolir áreksturinn. Áhrif áreksturs er háð hlutfallslegum hraða seiðis og skóflu. Minnki þessi hraði, minnka áhrifin af árekstrinum um breytingu hraðans í öðru veldi. Sumir Francis-hverflar hafa svo lítinn hlutfallslegan hraða, að árekstrarnir eru á mörkum þess sem seiðin þola. Þegar álagið er minnkað, minnkar hinn hlutfallslegi hraði og þar með áhrifin af árekstrinum og við ákveðinn hraða verða aðeins þau seiði fyrir skaða, sem hitta með mikilvægum líkamshlutum hornrétt á skóflurnar. Í þeim tilvikum verður að minnka dánarhlutfallið, sem reiknað er út frá árekstrarlíkunum.

Með því að nota áður nefndar aðferðir og árangur eigin rannsókna í Svíþjóð (Montén 1964), aðra erlenda reynslu og upplýsingar um hverfla Laxárvirkjana (sjá töflu hér að neðan), hef ég reynt að meta tjónhlutfallið í túrbínunum. Niðurstöðurnar fara hér á eftir.

8. Áhrif hverflanna í Laxárvirkjun á gönguseiði

8.1 Áhrif hverflanna í Laxá I

Hverfill 1: Á hann má líta sem lítinn hverfil, og hann hefur auk þess óvenju margar skóflur, eða 20 stk. Það gerir að bilið milli skóflanna verður lítið, eða 13 cm, þ.e.a.s. styttri en lengd gönguseiða, sem bendir til mikillar árekstrarhættu. Hlutfallslegi hraðinn (milli seiðis og skóflu) er nokkuð hár við fullt álag. Hverfillinn hlýtur annað hvort að vera keyrður á fullum afköstum eða stöðvaður, þar sem annar stærri og afkastameiri hverfill er til staðar.

Tjón í Laxá I við full afköst er u.þ.b. 70%.

Hverfill 2: Þessi hverfill er stærri og hefur einnig færri skóflur. Bilið milli skóflanna er 27,7 cm. Hann hefur óvenjulega lágan hlutfallslegan hraða. Ef hverfillinn er keyrður á hálfum afköstum, minnkar hlutfallslegi hraðinn það mikið, að dánarhlutfallið verður aðeins 57% af árekstrarlíkunum. Þetta samsvarar, að raunverulegt tjón verður u.þ.b. 18% (við hálf afköst). Í rauninni er ekki líklegt að nokkur af hverflunum í Laxá I sé keyrður á hálfum afköstum. Annaðhvort munu báðir eða annar vera keyrðar með fullum afköstum.

Tjón af Hverfli 2 verður u.þ.b. 31%.

Vegið meðaltal tjóns beggja, ef báðir eru keyrðir á fullum afköstum er u.þ.b. 44%. Hafa verður í huga, að stór hluti vatnsins, sem kemur að orkuverinu, fer um yfirfallið og í gamla árfarveginn.

8.2 Áhrif hverfilsins í Laxá II

Hverfill 3 er stærstur af þessum hverflum. Skóflurnar eru 14 og bilið milli þeirra 47,8 cm, þ.e.a.s. 3 sinnum lengd gönguseiðisins. Hlutfallslegi hraðinn er hér hærri en í hinum tveim.

Tjónið af honum verður 24% við hálf afköst og 32% við full afköst.

8.3 Áhrif hverfilsins í Laxá III

Hverfill 4 er sagður gerður fyrir $36 \text{ m}^3/\text{s}$ og fallið 61,1 m, sem krefst verulegrar hækkunar efri stíflunnar. (Sjá yfirlitsmynd 1). Hverfillinn er hlutfallslega lítill en hefur aðeins 13 skóflur og bilið 44,5 cm. Þar sem hraði vatnsins við hverfilhjólið er hærri og beinist meira inn að ásnum en í hinum þremur, vegna hærri fallhæðar, má reikna með, að tjón af honum verði u.þ.b. það sama og í Laxá II.

Tjónið af hverfli 4, bæði við hálf og full afköst er u.þ.b. 23%. Fyrir alla tjónaútreikninga gildir, að niðurstöðurnar eru fengnar með sömu aðferðum og rúnnað af í næstu heilu hlutfallstölu. Þetta má þó ekki túlka

þannig, að útreikningarnir hafi þessa nákvæmni. Óvissan í reikningum af þessu tagi er það mikil, að frekar mætti rökstyðja afrúnnun til næsta tugs.

9. Áhrif jarðgangnanna

Hér er nánast um að ræða þann hluta jarðgangnanna, sem áætlað er að leysi af hólmi núverandi trépípu. Trépípur hafa hingað til reynst hentugar og jafnvel skaðlausar fyrir fisk, sem berst í gegnum þær með vatnsflaumnum. Það sama gildir um vel gerðar pípur úr steinsteypu og stáli. Hið slétta yfirborð innan á pípunni minnkar viðnám vatnsins og iðu í straumnum, sem gerir pípuuna einnig hentuga frá sjónarhóli orkuvinnslu.

Sprengd jarðgöng eru aftur á móti óslétt. Hinn óslétti flötur eykur viðnámið og skapar iðustrauma sem draga úr vatnsstraumnum. Ef jarðgöng eiga að koma í staðinn fyrir pípur, verður þvermál þeirra að vera stærra, ef sömu not eiga að vera af þeim.

Í Svíþjóð hefur nokkur reynsla fengist af sprengdum frárennslisjarðgöngum við Stornorrforsvirkjunina. Þar hefur tjónið verið reiknað 15-20%. Jarðgöngin má að nokkru bera saman við göngin við Laxá. Sænsku göngin byrja við sográsina, og eru ekki full í efsta hlutanum. Í meir en 2 km af lengd sinni eru göngin full og á 500 m kafla eru þau u.þ.b. 50 m undir vatnsyfirborði frárennslisins. Tjónið, sem verður á seiðunum í göngunum má líklega skýra með því, að þau leita upp á við til að jafna þrýstinginn og lenda þá í iðustraumum við þakið, sem orsakast af hrjúfri áferð þess. Hættan á núningsskaða hlýtur einnig að vera mikil. Það tekur seiðin 20-25 mín. að fara þessa 2 km. Meðal vatnshraðinn er u.þ.b. 1,75 m/sek. Hæðarmunurinn milli vatnsyfirborðsins utan við sográsina og yfirborðsins utan við frárennslismunnan er óverulegur.

Í Laxá eru göngin gerð fyrir 38 m fallhæð. Þau virðast vera mjög rúm fyrir áætlað rennsli ($36 \text{ m}^3/\text{sek}$), þar sem vatnshraðinn verður minni en 1 m/sek við þetta rennsli. Það út af fyrir sig er til hagsbóta fyrir seiðin. Hvað viðvíkur þrýstingi virðast þessi tvenn göng vera sambærileg. Lengdin er það sem mest skilur á milli þeirra. Sé hún reiknuð frá efri stíflunni í Laxá að tengileiðslunni og sé henni bætt við lengd þeirra og

reiknað með, að tréþípan þjóni því sem eftir er af leiðinni verður samanlögð lengd ganga að tengileiðslu 350 m. Með því að vatnshraðinn er áætlaður 1 m/sek, tekur það vatnið (og seiðin) u.þ.b. 6 mín að fara göngin og tengileiðsluna. Ef reiknað er með því að tjónið sé í réttu hlutfalli við þann tíma, sem seiðin eru í göngunum má reikna með dánarhlutfallinu 5%, ef reiknað er út frá reynslunni af sænsku göngunum. Ef göngin verða notuð í fullri lengd að Laxá III, má reikna með að 10% glatist á leiðinni.

Þetta mat er gert án tillits til lögunar tengileiðslunnar, en hana hef ég ekki haft tækifæri til að skoða. Ef til vill getur tengingin valdið auknum iðuhreyfingum, sem auka á hættuna fyrir seiðin. Hinsvegar hvílir matið á þeirri forsendu að ekkert verði gert til að jafna þak og veggjarögangnanna. Ekki hefur heldur verið tekið tillit til þess að vatnshraðinn er mjög lítill. Þess vegna legg ég til að þak og veggir gangnanna svo og tengingarnar verði jafnaðar eins og hægt er, t.d. með steinsteypu eða annarri fyllingu, og höggna af hvassar brúnir. Verði þessar aðgerðir framkvæmdar samviskusamlega álit ég, að lækka megi dánarhlutfallið í 2-3% annarsvegar og 5% hinsvegar.

10. Lokaorð

Framgangur hugmyndarinnar að taka efri hluta Laxár til ræktunar lax er m.a. háður því að nægilega mörg gönguseiði komist klakklaust framhá virkjunarmannvirkjunum í Laxá. Eins og fram kemur hér að ofan, ætti að vera mögulegt að breyta yfirföllunum þannig, að þau skaði ekki seiðin. Hinsvegar verður ekki hjá því komist, að hverflarnir valdi tjóni á þeim hluta gönguseiðanna, sem fer í gegnum þá. Eins og nú háttar til fer aðeins hluti vatnsins um hverflana í Laxá I. Því miður hef ég ekki upplýsingar til að dæma um skiptingu vatnsins á hverfla og yfirfall á því tímabili, sem gönguseiðin fara þar um. Sé gert ráð fyrir því að helmingur vatnsins fari á hvorn stað, og að gönguseiðin skiptins eins, og að seiðin skaðist ekki í yfirfallinu verður tjónið í Laxá I u.þ.b. 20%. Ef gert er ráð fyrir því að í Laxá II fari allt vatnið gegnum hverflana tapast 24% af þeim sem eftir er. Samanlagt verður tjónið þá 39%, þó með því mikilvæga skilyrði að rennslið sé eðlilegt og að virkjunin noti allt vatn, sem hægt er að taka gegnum hverflana.

Af því, sem áður er sagt, má ráða, að hver sú aðgerð, sem miðar að því að beina gönguseiðunum að yfirföllunum og frá hverflunum minnkar tjónið á gönguseiðunum. Til þessarra aðgerða teljast tímabundnar breytingar og stjórnun á vatnsrennslinu og breytingar á yfirföllunum og á gamla farveginum. Til þess að vita, hvar og hvenær á að grípa til aðgerða, hlýtur að vera mikill akkur í því að rannsaka hvernig gönguseiðin skiptast á yfirföll, eins og þau eru nú, og hverflana við mismunandi rennsli um yfirföll.

Laxá II, virðist henta til rannsókna á áhrifum hverflanna. Þar eru aðstæður góðar til að koma gildrum fyrir, bæði neðan við yfirfallið og neðan við sográsina. Þá fást ekki aðeins upplýsingar um hvernig seiðin skiptast, heldur og hversu stór hluti þeirra skaðast í hverflunum.

II BLÖNDUVIRKJUN

Áætlað er að í Blöndu verði 277,5 m fall virkjað. Virkjuðu vatni verður deilt á 3 Francis-hverfla, sem hver um sig nýtir 24,3 m³/s við fullt álag.

Hverflunum virðist ætlaður staður nokkrum metrum undir frárennslisvatnsborðinu eins og það yrði við venjulegar aðstæður. Þannig myndast svokölluð neikvæð soghæð.

Ef fiskur fer í gegnum virkjunina við þessar aðstæður og virkjunin er keyrð með fullum afköstum og við bestu nýtni, er ástæða til að ætla að einungis áverkar geti skaðað fiskinn, þ.e. skakkaföll vegna árekstra við hjólið, en ekki vegna þrýstingsbreytinga. Um þetta er þó ekki hægt að segja neitt með vissu, þar sem hingað til hefur ekki verið gerð tilraun með áhrif fallganga af þessari hæð (200 m), eftir því sem ég best veit.

Með þessum fyrirvara hef ég áætlað að skakkaföllin við fullt álag verði 23%, ef skóflurnar og hverfilhjólin verða 15, en 27%, ef þær verða 17. Eftir að vatnið hefur farið um virkjunina er því veitt gegnum 2 km löng frárennslisgöng, sem yrðu sprengd gegnum fjallið. U.þ.b. 100 m frá gangamunnanum er þakið á göngunum u.þ.b. 5 m undir vatnsborði utan munnans. Fiskur sem fer með vatninu gegnum hverfil og inn í göngin, virðist hvergi komast í samband við opið vatnsborð til að geta aðlagð þrýstinginn í sundmaganum ráðandi þrýstingi. Þar að auki veldur myrkur og iða því, að fiskurinn á í erfiðleikum með að átta sig. Þess vegna eru miklar líkur á því að fiskurinn komist fyrr eða seinna í snertingu við bergveggi ganganna. Þegar göng eru sprengd í berg er yfirleitt ekki hægt að komast hjá því að yfirborð bergsins verður hrjúft og með sprungum, skúmaskotum og nibbum, sem valda staðbundnum iðustraumum og bakvatnsiðum.

Fiskur sem lendir í slíkum iðum, getur tafist og orðið fyrir áverkum af árekstrum við bergnibbur o.þ.h. Því verður að reikna með vissum skakkaföllum, einnig í göngunum. Frárennsli virkjunarinnar í Ume-fljótinu (Stornorr-foss), sem vitnað er til hér á eftir, er eins og frárennsli Blönduvirkjunar, löng berggöng (mynd 5). Þessi göng eru að því leyti frábrugðin göngum Blöndu, að þau eru helmingi lengri og að loftið í þeim er á 1,5 km kafla, 7 til 8 sinnum lengra undir vatnsborði utan gangnamunnans

en í Blöndugöngunum (sjá kaflann um áhrif jarðganganna í Laxá, bls. 23). Þessar aðstæður eru út af fyrir sig óhagstæðari við Stornorr-foss en við Blönduvirkjun. Hins vegar er vatnsborðið opið í helmingi ganganna við Stornorr-foss og alls staðar er yfirborð bergveggjanna sléttað, sem er fiskinum hagstætt. Tilraunir sem gerðar voru í Stornorr-fossvirkjun, samtímis tilraunum með að sleppa seiðum á yfirfallið og getið er í sambandi við yfirfall Grímsárvirkjunar (næsti kafli), sýndu að u.þ.b. 25% seiða fóru forgörðum í göngunum. Með skírskotun til þessa álit ég að í frárennslisgöngum Blönduvirkjunar muni 10-20% seiðagöngu fara forgörðum. Samanlögð skakkaföll sem seiði yrðu fyrir við að fara í gegnum hverfla og frárennslisgöng yrðu þá milli 35 og 45%, miðað við þær forsendur sem gert er grein fyrir hér að framan.

III GRÍMSÁRVIRKJUN

Virkjunin er í Grímsá, og byggir á fallinu 28,4 m við eðlilegan rekstur. Í virkjuninni er einn svokallaður Francis-hverfill í lóðréttri stöðu. Að ofan er hverfillinn 95 cm í þvermál og að neðan u.þ.b. 145 cm. Leiði-
spaðarnir, sem eru 22 að tölu eru um 49 cm háir. Spaðarnir á kasthjólínu eru 15 að tölu, sem þýðir að bilið (opið) á milli þeirra er tiltölulega lítið, og hættan á árekstri milli seiðanna og spaðanna því samsvarandi mikil. Áreksturinn milli fisks og spaða er hins vegar yfirleitt ekki eins harður í Francis- eins og í Kaplan-hverfli. Í Grímsárvirkjun virðist mér árekstrarnir þó nægja til að deyða seiði. Í Grímsárvirkjun er miðja hverfils-
ins 1,6 m undir yfirborði frárennslisins. Vegna þessarar staðsetningar verður að hafa í huga, að þrýstingurinn þegar vatnið og fiskurinn fer um hverfilinn breytist auðveldlega vegna frávika frá áðurnefndu falli og undirhæð hverfilsins, sem eiga að gilda við fall og álag við bestu nýtni hverfilsins. Við því lík frávik má búast við þrýstingsbylgjum, sem gætu valdið verulegum skaða vegna innvortis blæðinga hjá fiskinum. Þau skakka-
föll sem niðurgönguseiði verða fyrir í hverfli Grímsárvirkjunar eru áætluð u.þ.b. 41%, Þá er miðað við fulla keyrslu og eðlilegt vatnsborð og fall.

Við Grímsárvirkjun verður einnig að hleypha verulegu vatni á yfirfallið á þeim tíma, sem reikna má með að niðurgönguseiðin leiti til sjávar. Svo virðist sem leiðin milli yfirfalls og árinna neðan virkjunar geti orðið seiðunum skeinuhætt, vegna syllna, bergganga og hvassra nibba sem eru þvert á fossinn og fiskurinn verður að komast framhjá.

Við rannsókn sem ég gerði árið 1967 með gönguseiði, sem ég sleppti á yfirfallið við Stornorr-foss í Ume-fljótinu í N-Svíþjóð, kom í ljós að afföllin í gamla farveginum milli yfirfallsins og frárennslis virkjunarinnar voru u.þ.b. 35%. Af þessum afföllum mátti heimfæra um 45% upp á sjálft yfirfallið, sem er minna en 1/10 af yfirborði umrædds farvegar. Mér sýnast aðstæður við Grímsárvirkjun hvað þetta varðar vera verulega verri en við Stornorr-fossinn. Þess vegna má reikna með að við Grímsárvirkjun sé hættan á afföllum í framhjárennslínu svipuð og í hverflinum, þ.e. u.þ.b. 40%,

IV LAGARFOSSVIRKJUN

1. Afföll á gönguseiðum við að fara um hverfil og yfirfall

Sá fiskur sem fer með vatninu í gegnum virkjun, á í mikilli hættu að verða fyrir kárínum við að fara í gegnum hverfilinn. Ég hef í tilraunum með að sleppa fiski í gegnum mismunandi hverfla, fundið út aðferð til að meta afföll á fiski af mismunandi lengd og tegundum, miðað við upplýsingar um hverfilgerð, afstöðu hverfilsins, stærð, snúningshraða, vatnsmagn um hvern hverfil o.s.frv. Aðferðinni er m.a. lýst hér að framan í kaflanum um áhrif hverfla og yfirfalla í Laxárvirkjun á gönguseiði.

Lagarfossvirkjun notar yfirleitt 18,6 m fall. Í virkjuninni er aðeins einn hverfill. Hann er af venjulegri Kaplan-gerð, með 4 spöðum. Við fullt álag notar hverfillinn 51,9 m³ af vatni á sekúndu. Þvermál skrúfunnar er 2,8 m en skrúfunöfin 1,2 m. Miðja hverfilsins er u.þ.b. 1,6 m undir vatnsborði frárennslisvatnsins, en það er haft þannig til að minnka hættu á svokallaðri kavitasjón og óheppilegum þrýstingsbreytingum. Bilið milli brúna spaðanna sem snúa mót straumi er, eins og yfirleitt í Kaplan-hverflum, tiltölulega stórt. Hættan á að gönguseiði, 15 cm langt, lendi á spaða er því hlutfallslega lítil. Hins vegar má reikna með að allir fiskar, sem lenda á brún spaða, drepist.

Ég hef áætlað að u.þ.b. 10% af seiðum sem rata leiðina niður gegnum Lagarfossvirkjun fari forgörðum. Á þeim tíma sem áætlað er að seiði frá efri hluta Lagarfljótssvæðisins, gangi til sjávar, mun að því er mér er tjáð, hlutfallslega mikið vatn fara um yfirfallið. Þegar þannig er má reikna með að svipað hlutfall seiða fari um yfirfallið og fara niður gamla farveginn við nánast náttúrulegar aðstæður. Reikna má með, að þessi seiði verði einnig fyrir skakkaföllum, m.a. þar sem þau verða líklega betur aðgengileg ránfuglum. Þessi skaði er þó líklega mjög lítill, eða minni en 5%.

2. Laxastiginn við Lagarfoss, virkni hans og áhrif hans á laxastofninn á Lagarfljótssvæðinu

2.1 Hönnun laxastigans

Laxastiginn var byggður til að gera laxi kleift að ganga upp á svæðið ofan virkjunarinnar. Með því að leiða stigann frá sogrörinu og upp að yfirfallinu, hefur það vakað fyrir mönnum að vera óháðir framhjärennslinu um gamla farveginn. Vert er að minnast á í þessu samhengi, að flúðin í gamla farveginum endar í fossi, sem gæti hafa gert laxinum erfitt fyrir, að komast upp, fyrir virkjun fallsins. Hér á ég við þann hluta farvegarins, sem ég nefni foss og er skástrikaður á uppdrættinum á mynd 5 B2.

Munni laxastigans er staðsettur í þeirri hlið virkjunarinnar, sem snýr að fljótinu. Stiginn liggur svo meðfram útveggnum að bergveggnum, þar sem 90° hlykkur leiðir hann út úr byggingunni og meðfram hamrinum, og eftir það fylgir hann gamla farveginum hægra megin upp undir yfirfallið, þar sem hann endar í aðrennslisskurði virkjunarinnar rétt neðan við yfirfallið.

Laxastiginn er u.þ.b. 500 m langur. Ef hallinn væri jafn, mundi það samsvara 1 m falli á hverja 26,9 m, sem er minna en algengt er. Í raun og veru er hallinn í efri hluta stigans mun minni, en aftur mun meiri í neðri hlutanum, einkum og sér í lagi í neðsta fimmtungi hans. Af teikningum að dæma er hallinn þar u.þ.b. 1 á móti 6, sem er meira en venjulegt er í stigum af þessari gerð. Yfirleitt er fallið haft minna en 1 m á hverja 10 lengdarmetra. Í samræmi við bratta stigans neðst eru þrepin höfð þétt saman. Hæðin milli þrepa verður þannig jafnvel minni en venjulega, en þetta hefur hins vegar leitt til þess að hólfín hafa verið gerð minni en það sem er talið heppilegt. Þau eru u.þ.b. 2,6 m löng.

Veggirnir milli hólfanna eru gerðir til að leyfa bæði yfirfall og gegnumstreymi. Í þrepunum er steypt rör, sem komið er fyrir á miðju þeirra nærri botni. Bergið í sprengdri rásinni myndar botn hólfanna. Vatnsstreymið um rörin ákvarðast m.a. af þvermáli þeirra, sem mér virðist fremur lítið. Reynslan er að lax leitar gjarnan í opið nærri botni í þess háttar stigum. Þess vegna hafa menn, m.a. í Skotlandi og Svíþjóð, reynt að auðvelda laxinum uppgönguna með því að gera gróf í botninn neðan

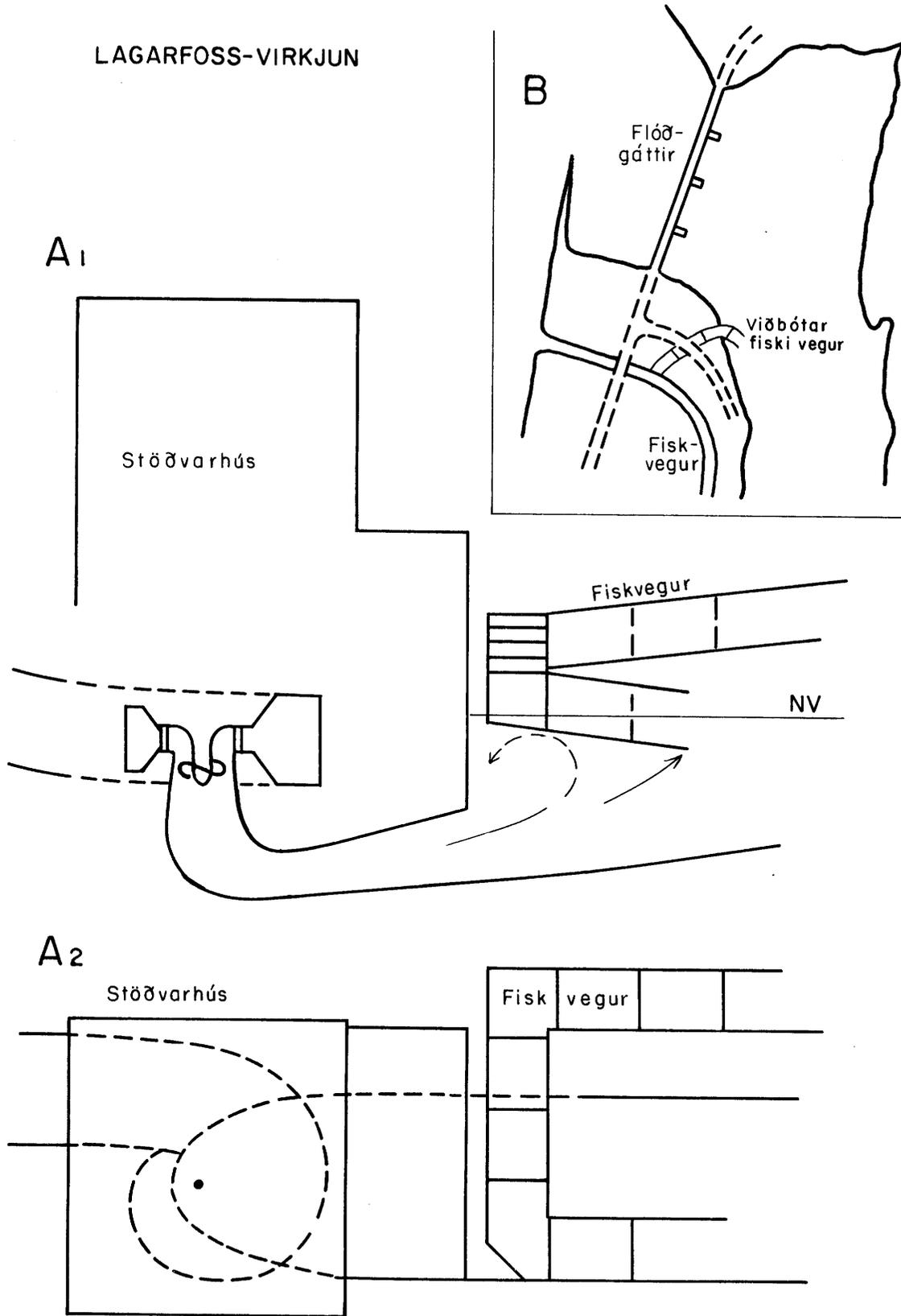
við opið. Þar hefur grófin verið látin enda í fláa neðst, en við það hægist á vatnsstraumnum og iðustraumar myndast, sem er álitnið að auðveldi fiskinum að komast í gegn.

Til þess að laxastigi virki er mjög mikilvægt að munninn sé staðsettur þannig að laxinn finni hann, og að laxinn geti ráðið það af frárennsli stigans, miðað við annað straumkast í nágrenninu, að einmitt þar sé vænlegt að freista uppgöngu. Við virkjanir, þar sem gamli farvegurinn er notaður til að hleypa umframvatni framhjá, hafa menn komist að raun um að laxinn sýnir gömlum uppgönguleiðum ræktarsemi. Það er því ekkert undarlegt að við Lagarfoss hefur lax safnast neðst við gamla farveginn, (þ.e. upp við foss). Þegar þeirri leið er lokað eða hún þornar upp, leitar laxinn annarra uppgönguleiða, og lætur þá lokkast af sogröri virkjunarinnar. Það er ekki fyrr en laxinn hefur komist að raun um að sú leið er ófær, að hann leitar annars staðar fyrir sér, og þá gjarnan til annarrar hvorrar strandarinnar, sem fer þá eftir straumi og botngerð, en það er alltaf erfitt að dæma um fyrirfram hvora ströndina hann velur. Þar er mikið upp úr beinum athugunum að leggja.

Við Lagarfossvirkjun er munnur stigans staðsettur u.þ.b. 4,25 m beint ofan við þak sográsarmunnans. Í Svíþjóð hefur slík staðsetning verið sniðgengin vegna iðustrauma sem myndast venjulega framan við og ofan við sográsina, sjá mynd 4 A1. Straumurinn frá stiganum er hlutfallslega lítill miðað við strauminn frá sográsinni, og hverfur í skuggann af honum. Straumurinn frá stiganum mætir auk þess iðustraumkasti frá sográsinni, sem gerir hann of ónáttúrulegan til þess að laxinn leiti einmitt í átt til stigamunnans.

Við Lagarfoss var mér hins vegar sagt, að lax hafi gengið á stigann, og í gegnum teljarann. Ennfremur hefur orðið vart við að lax sneri við í stiganum og hyrfi í fljótið aftur. Með tilliti til þess sem ég sagði um staðsetningu stigamunnans, álit ég upplýsingar um að lax hafi við nokkur tilfelli sést framan við stöðvarvegg við hægri bakkann mjög mikilsverðar.

LAGARFOSS-VIRKJUN



VOD-UR-750-EM/HA
81.03. 0351 '00

Mynd 4 A1 og A2. Afstöðumyndir af stöðvarhúsi Lagarfossvirkjunar, hverflinum og stigaendanum, eins og hann væri ef hann lægi meðfram stöðvarhúsinu og munnaði út í strauminn við hægri bakkann. B. Tenging við laxastigann, ef gerður yrði nýr fiskvegur um gamla farveginn í Lagarfossi. Sjá frekari upplýsingar í texta.

2.2 Mögulegar breytingar á stiganum

Eins og fram kom hér á undan, leikur vafi á því að hve miklu leyti laxagöngur framhjá Lagarfossi eru háðar gerð stigans. Ekki er heldur vitað hve mikill hluti laxastofnsins leitar í átt til stigans, og uppgötvar hann, og hve mikill hluti hans leitar í gamla farveginn. Ef ekki léki vafi á þessu, þyrfti ekki að fara í grafgötur með hvað þyrfti að gera til að bæta hina tæknilegu hlið á laxagöngunni upp fyrir Lagarfoss.

Ef laxinn leitar í gamla farveginn, getur það átt rót sína að rekja til þess að þar er oft mjög mikið vatnsmagn frá yfirfallinu á göngutímanum. Það leikur einnig vafi á því hvort laxinn leitar þangað vegna þess að þar séu gamlar hrygningarstöðvar, eða hvort hann stöðvast þar vegna fossins á leið sinni upp í fjarlægari hrygningarstöðvar á Lagarfljótssvæðinu.

2.2.1 Aðgerðir til að auðvelda göngu um stigann, þegar engu vatni er hleypt um yfirfallið

- a) Fallið í neðri hluta stigans verði minnkað og hólfín stækkuð, sjá uppdrátt á mynd 4 A1 og A2.
- b) Botnrásirnar á steinsteypuþrepanum verði víkkaðar og að framan við þær verði gerð gróf í botninn.
- c) Stiginn yrði lengdur neðst og látinn liggja framan við stöðvarvegginn að hægri bakkanum, sjá mynd 4 A2. Þessa viðbót mætti hugsanlega gera úr timbri og t.d. mætti koma þrepaopunum fyrir hægra og vinstra megin til skiptis.

2.2.2 Aðgerðir til að tryggja uppgöngu á þeim tíma sem hleypt er framhjá um yfirfall

- a) Sprengt yrði lítilsháttar, annars vegar við fossinn neðst í gamla farveginum, til að auðvelda laxinum að komast upp fossinn, hins vegar í farveginum til að náttúrulegur fiskvegur myndist milli fossins og yfirfallsins lengst til hægri, sjá uppdrátt mynd 5 B2, brotin lína.

- b) Gerður yrði nýr stuttur stigi, sem yrði tengdur núverandi stiga. Munninn yrði staðsettur spölkorn fyrir neðan yfirfallið á hægri bakka gamla farvegarins, við efri enda hinnar nýgerðu rennu, sem áður er lýst. Nýi stubburinn yrði tengdur hinum stiganum með lokubúnaði ("shunt fack"), sem gerði mögulegt að stjórna því hvor gönguleiðin yrði í notkun á hverjum tíma, sjá mynd 4 B.

Það kann að virðast sem þessar nýju tillögur séu fremur lítt rökstuddar. Þær kalla líka á flóknar lausnir og dýrar, og hvað varðar hinn nýja stubb nærri yfirfallinum hefur það enn hvergi verið reynt.

2.3 Lýsing á því hvernig svipað vandamál var leyst í sænsku fljóti

Ume-fljótið er eitt af stóru sænsku fljótunum sem renna í Eystrarsaltið. Það greinist í tvær álíka stórar þverár u.þ.b. 35 km frá sjó. Syðri þveráin og hinn sameiginlegi hluti kallast Ume-fljót, en nyrðri þveráin Vindel-fljótið (Bugða). Laxinn hefur getað komist um Vindel-fljótið allt til fjalla, og enn þann dag í dag er fljótið óvirkjað. Í Ume-fljótinu myndar hár foss Stornorr-foss náttúrulega gönguhindrun um það bil 10 km ofan ármóta. Þetta fall er virkjað núna, og síðan fyrir u.þ.b. 20 árum er fljótið neðan ármóta einnig virkjað. Þarna, u.þ.b. 25 km frá ströndinni er ein af stærstu virkjunum Svía. Virkjað fall er u.þ.b. 75 m og vatnsmagnið um $700 \text{ m}^3/\text{s}$. Það sem gerir samanburðinn við Lagarfoss sérstaklega áhugaverðan, er að það hefur tekist að viðhalda laxastofninum, m.a. með því að tryggja uppgöngu laxsins og niðurgöngu náttúrulegra seiða, og einnig að þetta hefur verið gert við virkjun sem á margt líkt með Lagarfossvirkjun. Til að auðvelda samanburð, hef ég gert uppdrátt af fljótunum, einkum virkjunarsvæðunum, og stillt þeim upp hlið við hlið, sjá mynd 5. Það ber að hafa í huga að mælikvarðinn er ekki sá sami.

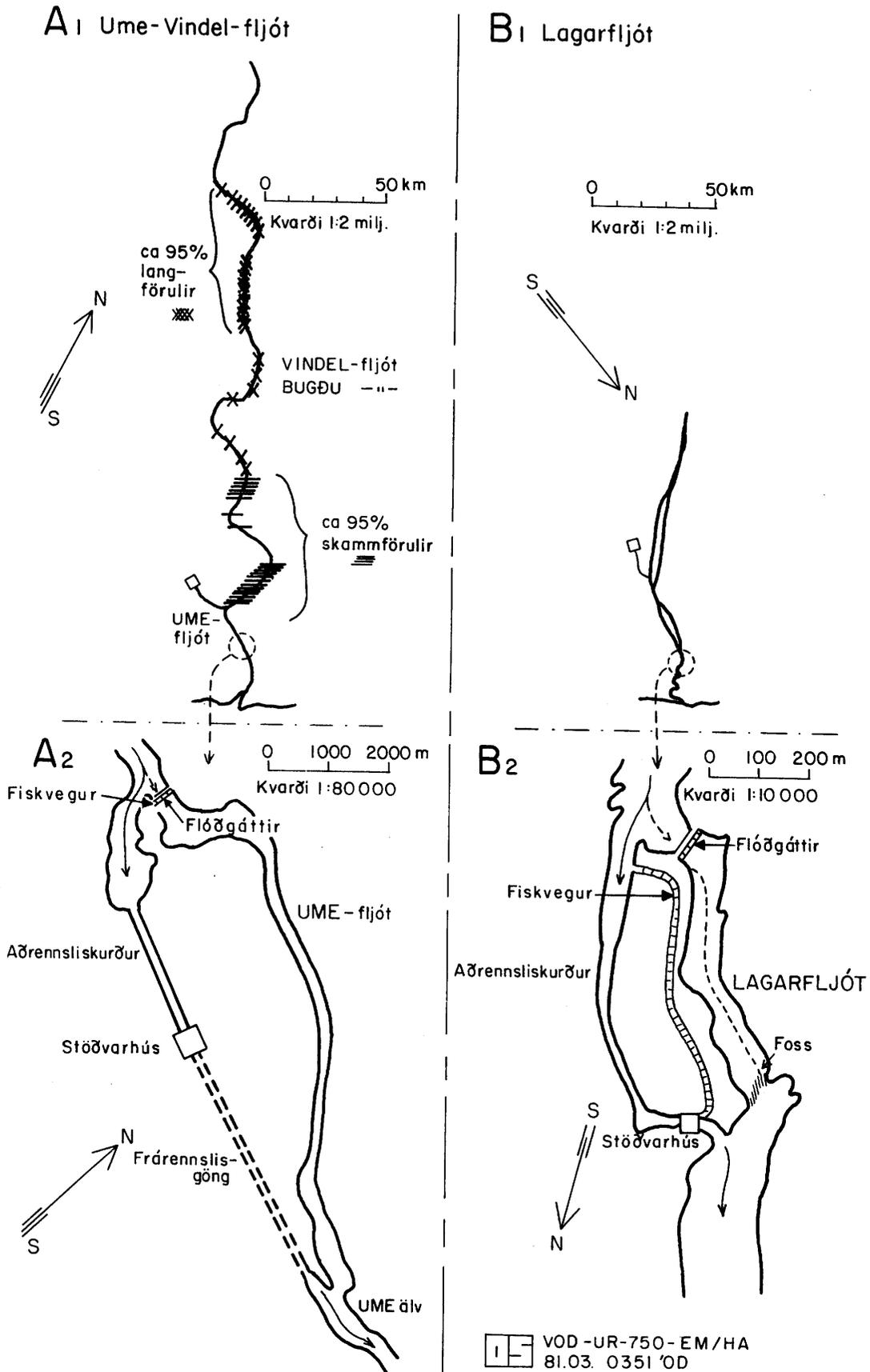
Við Stornorr-foss hafa sænsku ríkisvirkjanirnar (Statens Vattenfall) skuldbundið sig til að sleppa $1-1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ á laxastigann ásamt auka ginningarvatni um yfirfallið næst stiganum, samtals um $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Þrátt fyrir að þetta vatn sé oft aðeins lítið brot af því vatnsmagni sem fer um hverfla virkjunarinnar, virðist laxinn fyrr eða seinna velja gamla farveginn og leita í stigamunnann upp við yfirfallið.

Reynslan hefur einnig sýnt að laxastiginn við Stornorr-foss virkar fullnægjandi í þá veru, að laxinn stöðvast ekki við frárennsli virkjunarinnar, en heldur áfram fram hjá því upp í gamla farveginn og á stigann, upp í gegnum hann og út í fljótið ofan virkjunarinnar.

Samkvæmt fyrirmælum, sem í gildi eru, á að taka hluta af laxinum í efsta hólfinu og flytja hann í tjarnir þar sem hann býður kreistingar. Í þessu augnamiði eru u.þ.b. 10% hrygnanna, eða um 60 teknar frá. Hrognum er klakið og seiði alin í tvö ár í göngustærð. Framleiðslunni, u.þ.b. 90.000 gönguseiðum á ári, er sleppt rétt neðan við yfirfallið til að bæta það tjón, sem virkjunin veldur hinum náttúrulegu gönguseiðum, (afföll í hverflum, við yfirfall og í jarðgöngum, og að nokkru vegna þess að hluti af uppeldissvæðunum hafa lent í uppistöðulónum). Laxastofninn endurnýjast því annars vegar náttúrulega í Vindel-fljótinu, og hins vegar með tilteknum sleppingum við Stornorr-foss.

Í seinni tíð hefur verið rannsakað hversu mikið ræktunin hefur að segja fyrir stærð laxastofnsins eins og hann er um þessar mundir. Í því skyni var veiðiugginn skorinn af öllum eldisseiðunum, en það er mjög handhæg merkingaraðferð, og hefur ekki reynst seiðunum skeinuhætt. Allir laxar á uppleið fara um stigann, þar sem þeir eru athugaðir. Í stiganum má þannig fá upplýsingar um, hversu margir laxar koma frá sleppingum og hversu margir eru náttúrulegir. Fullorðnir laxar hafa síðan verið merktir einstaklingsbundinni merkingu í stiganum, áður en þeim er sleppt áfram. Þar sem veiðar eru leyfðar um alla ána, hefur tekist að fá miklar endurheimtur af öllu vatnasvæðinu, sem gefa til kynna göngu einstakra laxa.

Torsten Andersson, veiðieftirlitsmaður (fiskeriintendent) hefur tekið saman niðurstöður "varðandi göngu lax og sjóbirtings í Ume-, Vindel-fljótinu" (PM 1980-01-21). Rannsóknir hans ná yfir allt vatnakerfi fljótanna og ströndina næst ósunum. Í ljós kom að það voru laxar af hinum náttúrulega stofni, sem gengu á hrygningastöðvar á efri hluta vatnasvæðisins, þar sem hinar náttúrulegu hrygningarstöðvar eru aðallega. Laxinn sem kom úr eldisstöðinni, og nær eingöngu hann, settist hins vegar að á neðri hluta vatnasvæðisins í nágrenni virkjunarinnar.



Mynd 5 Afstöðumyndir af virkjunarstöðum í Ume-fljóti (A) og í Lagarfljóti (B). Ath. mismunandi kvarða á myndum A2 og B2. Brotna línan á B2 táknar nýjan fiskveg um gamla farveginn, sjá frekari skýringar í texta.

Það er löngu vitað, að laxaseiðin leita til árinna, sem þau gengu úr til sjávar, óháð því hvar þau eru ræktuð, vegna þess að á gönguseiðastiginu læra þau að þekkja vatnið, sem þeim er sleppt í. Eðlisávisun laxins, sem ræður göngum hans er arfgeng og sterk, og römmust er sú taug sem dregur hann til baka til uppeldisstöðva sinna. Það hefur í raun í för með sér að laxar úr staðbundnum stofni koma til baka til hrygningastöðva, sem eru nærri þeim stað, þar sem þeir ólust upp sjálfir. Eldislaxinn kemur því til baka til svæða nærri Stornorr-fossi, þar sem honum var sleppt.

2.4 Lokaorð um Lagarfoss

Leyfi maður sér að draga lærdóm af reynslunni frá Ume-Vindel-fljótinu hvað varðar Lagarfljót, mætti túlka samsöfnun laxins fyrir neðan fossinn upp við gamla farveginn og tregðu hans til að halda á stigann þannig, að þarna væru um staðbundinn stofn að ræða, sem að stórum hluta ætti rót sína að rekja til hrygningar og uppvaxtar neðan við foss.

Lax sem ætti ættir að rekja til óðals neðan við foss, mundi líklega að hluta nota stigann, en þá verður að hafa í huga að eðlisávisun til göngunnar gæti verið ónóg til að viðhalda göngunni áfram til fjarlæggra hrygningarstöðva á efri hluta vatnasvæðisins. Til að lax leiti með vissu langt upp efra svæðið; þarf laxinn samkvæmt áður nefndri reynslu frá Ume-Vindel-fljótinu að hafa komið sem gönguseiði af þeim svæðum. Það væri mögulegt að koma upp slíkum stofni með því að sleppa seiðum sem fengju að vaxa þar í göngustærð. Það er einnig mögulegt að sleppa þar seiðum sem fengju göngubúning á staðnum og héldu þaðan til sjávar. Eftir því sem ég best veit, hafa menn byrjað á sleppingum uppi á svæðinu. Hvort slíkar sleppingar leiða til stofns sem viðheldur sér af eigin rammleik, fer eftir því hvort hrogn og seiði komast af og nái göngustærð við ráðandi aðstæður.

Ef gert er ráð fyrir að laxinn hafi getað komist upp Lagarfoss áður en virkjunin var gerð, en þrátt fyrir það ekki náð að mynda náttúrulegan stofn, hlýtur einhver afgerandi þáttur ráðandi aðstæðna að hafa verið ófullnægjandi. Í því tilfelli er ekki við því að búast, að úrbætur á gönguleiðinni fram hjá virkjuninni leiði til neinnar verulegra breytinga á laxastofninum.

Hafi verið stofn með eðlisávisun til langrar göngu í ánum áður en virkjunin var gerð er ástæða til að endurvekja hann og gæta þess að hann komist um stigann. Það gæti því verið öruggast að byrja á því að endurnýja stofneinkenni sem leiða til, að laxastofninn sækir virkilega að komast áfram upp fyrir Lagarfoss og virkjun, því ýmislegt bendir til að stofninn sé staðbundinn og vanti viljann til uppgöngu. Ef seiðasleppingar á efra svæðinu leiða til gönguseiða, sem aftur leiða til þess að meira af laxi sækir á stigann, sýnir það að árgangur sem vill upp fyrir Lagarfoss hefur náð sér á strik. Í því tilfalli er mögulegt að bæta uppgönguskilyrði, að því leyti sem þau eru háð gerð stigans. Þá er einnig hægt að finna út hvort nýi stofninn sé sjálfum sér nógur um endurnýjun eða ekki með því að hætta seiðasleppingunum.