



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

**NOREGSFERÐ**

Halldór Pétursson  
Haukur Tómasson

OS-92043/VOD-09 B

Nóvember 1992



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 530.953

## **NOREGSFERÐ**

Halldór Pétursson  
Haukur Tómasson

OS-92043/VOD-09 B

Nóvember 1992

## EFNISYFIRLIT

1. TILGANGUR	3
2. RÁÐSTEFNAN	3
3. SKOÐUNARFERÐIN	3
3.1 Tafjord virkjanirnar	5
3.2 Aura virkjunin	6
3.3 Brattset virkjunin	6
3.4 Tækniháskólinn í Þrándheimi	7
3.5 Meráker virkjunin	7
VIÐAUKI: Ljósmyndir	9

## 1. TILGANGUR

Markmiðið með ferðinni var að sækja ráðstefnuna Hydro Power '92 sem haldin var í Lillehammer í Noregi dagana 16.-18. júní. Einnig var áætlað að skoða og safna sem mestum upplýsingum um niðurföll, ófóðruð fallgöng, dælustöðvar, loftpúða og aðra tækni sem er vel þekkt í Noregi en lítið þekkt hér heima. Í þeim tilgangi var farið í sjö daga ferðalag í Noregi til að skoða virkjanir og heimsækja Tækniháskólann í Prándheimi (NTH). Í framhaldi af því var síðan ætlunin að meta efni og niðurstöður ráðstefnunnar og kynnisferðarinnar með tilliti til þess hvort þessar aðferðir og tækninýjungar kynnu að henta hér á landi.

## 2. RÁÐSTEFNAN

Á ráðstefnunni sjálfri var fjallað um nokkur af þeim atriðum er við höfðum áhuga á, en hún var fyrst og fremst áhugaverð til að kynna þá sem aðrir voru að gera í heiminum á sviði virkjana. Þar kom m.a. fram mikill fróðleikur um norskar aðferðir við hönnun svokallaðra loftpúða til sveiflujöfnunnar (air cushion surge chambers). Byggðir hafa verið 10 loftpúðar þar í landi og hafa komið upp lekavandamál í nokkrum þeirra. Þessi vandamál hafa verið leyst með því að setja upp "vatnsregnhlíf", eða þéttitjald úr vatni, með hærri þrýstingi en er á loftpúðanum og hefur það í öllum tilfellum leyst þennan vanda. Allir loftpúðarnir eru nú í rekstri nema einn og hann kynntum við okkur í ferðalaginu eftir ráðstefnuna. Á ráðstefnunni kynntu Norðmenn einnig þær aðferðir sem þeir nota við hönnun steyputappa á háþrýst aðrennslisgöng. Einnig var áhugavert að kynna sér sjónarmið Norðmanna varðandi nýtingu vatnsorkunnar og hvernig þau eru að breytast frá því að nýta hana eingöngu innanlands, í að huga að sölu forgangs- og topporku til annarra Evrópuríkja. Meðan á ráðstefninnu stóð var farið í stutta skoðunarferð til bæjarins Gjøvik en þar er verið að byggja ískokkfléikvang inni í fjalli fyrir Vetrar-Olympíuleikana í Lillehammer '94. Hefur þar verið sprengdur út breiðasti hellir í heimi með um 50 metra hafi. Voru okkur kynntar þær aðferðir sem notaðar voru við mannvirkjagerðina og þær rannsóknir sem gerðar voru á berginu vegna framkvæmdanna.

## 3. SKOÐUNARFERÐIN

Kynnisferðin eftir ráðstefnuna gaf hins vegar tilefni til að skoða þau mannvirki sem við höfðum mestan áhuga á og ræða við sérfræðinga um hönnun og rekstur á slíkum mannvirkjum. Auk okkar Orkustofnunarmanna var með í ferðinni Þorbergur Leifsson, verkfræðingur hjá Almennu verkfræðistofunni. Leiðsögumenn í þessari ferð voru Einar Broch, prófessor í jarðverkfræði við NTH, maður með mikla reynslu í bergtæknivandamálum tengdum virkjunum, og Arthur Teigland sem er í forsvari fyrir vatnshverfladeild Kværner Energy a.s, sem framleiðir alla hverfla í virkjanir í Noregi. Höfðum við því með okkur tvo sérfræðinga sem vissu mikið um þau mannvirki og þá tækni sem áhugi okkar beindist hvað mest að. Hér á eftir fer frásögn af því sem fyrir augu og eyru bar í ferðinni og helstu niðurstöður af viðræðum okkar við ofangreinda tvo leiðsögumenn og aðra þá sérfræðinga, sem við ræddum við. Er í senn blandað saman fróðleik um loftpúða, lækjarinntök, dælustöðvar og öðrum fróðleik sem við öfluðum okkur í ferðinni. Frásögnin er nokkurn vegin í tímaröð til að auðvelt sé að átta sig á því hvar mannvirkin eru sem skoðuð voru. Leiðin sést á meðfylgjandi korti, og ljósmyndir af helstu mannvirkjum fylgja með í viðauka.



Kort af ferðaleiðinni.

### 3.1 Tafjord virkjanirnar

Fyrstu virkjanirnar sem við heimsóttum voru Tafjord virkjanakerfið, sem er innst inni í Tafjord firði. Þessar virkjanir eru reknar af sjálfstæðu fyrirtæki í eigu Rafveitu Haugasunds og annarra smærri rafveitna sveitafélaga í nágrenninu. Þarna eru 5 virkjanir og er á þessu svæði að finna ófóðruð fallgöng, loftpúða til sveiflujöfnunnar og til að halda niðri undirvatni Peltonvéla. Einnig eru þarna lækjarinntök (n. Bekkeintag). Hönnuðir Tafjord virkjananna voru í mörgum tilfellum frumkvöðlar að nýrri tækni, svo sem að ófóðruðum fallgöngum og loftpúðaþrýstijöfnun. Ekki gekk þessi nýja tækni án erfiðleika hjá þeim, en leiðsögumenn okkar voru sammála um það, að þessi dirfska þeirra í notkun nýrrar tækni hefði borgað sig fyrir þá og ennþá frekar fyrir þá sem á eftir kom og nýttu sér reynsluna frá Tafjord.

Skoðaðar voru þrjár af Tafjord virkjununum, þar á meðal sú sem er með loftpúða til sveiflujöfnunar. Þessi loftpúði á að dempa um 500 m fall. Yfir hann hefur verið sett vatnsregnhlíf til að stöðva loftleka úr púðanum og hefur það tekist. Púðinn er hins vegar ekki starfhæfur nú, vegna þess að því leiðsla inn í púðann hefur stíflast svo ekki er hægt að dæla í hann. Því er virkjunin nú rekinn án sveiflujöfnunnar og hefur það gengið ágætlega. Því verður loftpúðinn ekki gerður starfhæfur fyrr en næst þarf að tæma fallgöng virkjunarinnar.

Við ákváðum að skoða eitt lækjarinntak sem var í u.þ.b. 450 m hæð yfir sjó. Leiðsögumaður okkar í þessari gönguferð var Asbjörn Aakre sem er yfirmaður byggingarframkvæmda á svæðinu. Þetta lækjarinntak var byggt með því að nota þylur til flutninga því engir vegir eru á þeim slóðum sem lækjarinntakið var á. Inntakið hefur verið til vandræða vegna yfirmettunar á lofti í vatninu. Við úttak virkjunarinnar er laxeldisstöð og eru því mjög strangar kröfur gerðar til loftmagns í vatninu. Í upphafi var lækjarinntakið byggt á hefðbundin hátt af gerð eitt (sjá norsku skýrsluna "Bekkeinntak på kraftverkstunneller", Vassdragsregulantenens Forening, Teknisk Sektor, 2. utgáfa 1988, 124 bls), þ.e. með vegg þvert yfir farveginn sem vatnið rennur yfir og fellur síðan í gegnum ristar í litla þró sem leiðir það að hallandi göngum. Göngin eru með allt að 100 m falli niður í veitugöng að intakslóni virkjunarinnar, háð vatnsborðhæð í lóninu. Þetta mikla fall, svo og það að vatnið kemur bratt niður að lækjarinntakinu með miklum hraða olli því að of mikið loft hreifst með niður í göngin svo að vatnið yfirmettaðist af lofti. Einnig kom fyrir að lækjarinntakið "gaus" þegar mikið af lofti dróst niður í göngin. Til að bjarga þessu var því veggurinn yfir lækinn brotinn niður og steypdur annar veggur litlu neðan við hinn vegginn. Vatnið er stoppað þar og leitt í 180 gráðu beygju að ristunum. Samtímis var tekin inn lækur í inntakið sem féll í ána litlu neðan við lækjarinntakið. Einnig var sett loka á enda fallganganna sem stýrð var með flotholti í þrónni til að tryggja að ekkert loft kæmist í göngin. Eftir þessar aðgerðir hefur lækjarinntakið virkað vel. Kostnaður við þessar endurbætur nam 20 milljónum íslenskra króna og má reikna með því að stór hluti þess hafi verið þyrlukostnaður. Reiknað er með að orkan úr læknum sem tekin var aukalega inn í inntakið við aðgerðirnar, borgi þennan kostnað upp. Við spurðumst fyrir um ástæður þess að lækjarinntakið virkaði ekki eins og til stóð í upphafi. Tvær skýringar fengum við. Sú fyrri er að vatnið hafi komið á of miklum hraða að lækjarinntakinu og því verið mikið loftblandað er það féll niður í göngin. Seinni skýringin var sú að 100 m fall niður í veitugöng sé fullmikið fyrir venjuleg niðurföll. Vatnið komist á of mikinn hraða og mikil iða myndist þar sem það mætir vatnsfletinum og stöðvast.

Í göngum virkjananna við Tafjord sáum við að víða flísaðist úr berginu, því að við og við rákumst við á þunnar bergflögur liggjandi á botni ganganna. Einar Broch gaf þá skýringu að þetta stafaði af háum innri spennum í berginu. Af þessum sökum eru göng gjarnan sprautusteypt í Noregi. Víða sáum við einnig að bergið hafði verið boltað af þessum sökum. Af þessu drógum

við þann lærdóm að norskt berg er víða ekki betra til jarðgangagerðar en íslenskt berg þó vandamálin séu annars eðlis.

Á leiðinni frá Tafjord ræddum við við Einar Broch um möguleika á ófóðruðum fallgöngum í íslensku bergi. Hann sagði ráðandi atriði í þessu sambandi væri spennurnar í berginu. Lægsta spenna yrði alltaf að vera hærri en vatnsþrýstingurinn, annars væri hætta á "hydraulic jacking". Ef mælingarnar í Fljótsdal væru réttar þá væri ekki óhætt að nota ófóðruð göng þar nema í efsta hlutanum. Ef hins vegar væru hærri bergspennur annars staðar á mögulegum virkjunarsvæðum þá sæi hann ekkert því til fyrirstöðu að nota ófóðruð fallgöng þar. Þannig er það væntanlega Efri-Þjórsá og í Blöndu samkvæmt þeim mælingum sem til eru.

Einnig ræddum við við Arthur Teigland um dælustöðvar því þekking okkar Íslendinga á þeim er af skornum skammti. Spurðum við hann meðal annars um nýtni dæluhverfla í samanburði við venjulega hverfla svo og um kostnaðarsamanburð. Höfðum við þá sérstaklega í huga dælustöðvar í Efri-Þjórsá og í virkjun á Hraunum. Arthur Teigland taldi að nýtni dæluhverfla væri u.þ.b. 3% lakari en venjulegra vatnshverfla. Dæluhverflar væru yfirleitt með meira þvermál en venjulegir hverflar en eitthvað einfaldari. Því mætti gera ráð fyrir að dæluhverfill eins og þyrfti við Norðlingaöldu væri álíka dýr og venjulegur vatnshverfill af sömu stærð. Rafal fyrir dælu taldi hann ódýrari en virkjunarrafal. Á móti kæmi að oft þyrfti flókin startbúnað á dælurafal og jafnaði það kostnaðinn. Tvívirkar dælur eru um 50% dýrari en samsvarandi rafmagnshverflar. Rafall ætti að vera svipaður í verði.

Á Hraunum, þar sem ætlunin er að dæla minna vatni, mætti hins vegar nota fjöldaframleiddar dælur svipaðar þeim sem vatns- og hitaveitur nota. Þær ættu að vera mun ódýrari en vatnshverflar. Slíkar dælur eru ekki framleiddar hjá Kværner en ekki á að vera vandkvæðum bundið að afla sér upplýsinga um verð á þeim. Asbjörn Aakre, sem fór með okkur að lækjarinntakinu við Tafjord, sagði okkur frá dælu, sem þeir væru að setja upp í sínu kerfi. Dæla þarf 10 Gl á ári upp um 150 m. Þessi dæla hefur sjálfsagt átt að dæla þessu upp á 2 eða í mesta lagi 3 mánuðum. Afkastageta hennar hefur því verið 2-3 kl/s og afl hennar að minnsta kosti 3 MW. Þessi dælustöð kostar 150 miljónir íslenskar kr. Þetta er mjög sambærileg dælustöð og áætlaðar eru í Hraunavirkjun.

Teigland sagði okkur einnig frá forriti sem notað er til að skoða dynamísk áhrif rennslisins á virkjunina. Hægt er að nota forritið til að ákvarða hagstæðustu víddir vatnsvega svo að sveifludempun verði sem mest í kerfinu og rekstraröryggi virkjunarinnar betra.

## 3.2 Aura virkjunin

Næst var Aura virkjunin heimsótt. Ekki kynntumst við neinni nýrri tækni þar því þetta er gömul virkjun. Vatnið er tekið til virkjunarinnar í þípum sem eru í göngum án þess að þær séu innsteyptar og er það frekar óvenjuleg lausn, en á sínum tíma var þetta nýjung. Þessi aðferð er núna alveg aflögð. Stöðvarhúsin, sem eru tvö og neðanjarðar, eru byggð eins og hús með þaki og gluggum svo að menn fái á tilfinninguna að þeir séu ekki neðanjarðar. Sett er lýsing bak við gluggana sem á að herma eftir dagsbirtu. Er lýsingin rauðari öðrum megin en blárrí hinum megin. Lýsir þetta vel tíðarandanum á þeim tíma er virkjunin var byggð.

## 3.3 Brattset virkjunin

Næst heimsóttum við Brattset virkjunina sem einnig er með loftpúða til sveiflujöfnunar. Þessi loftpúði hefur virkað eins og best verður á kosið frá upphafi því lítil sem engin leki á lofti hefur

komið fram og einungis er bætt lofti á þúðann tvisvar á ári. Hérna var okkur sagt frá helstu vandkvæðum við rekstur slíkra loftþúða, en það er tæming þeirra ef komast þarf í aðrennslisgöngin til skoðunar. Þegar lofti er hleypt úr þúðanum kólnar það verulega þegar þrýstingnum léttir. Verður frostið í göngunum þar sem aftöppunarstúturinn er margir tugir gráða á Celsfús. Tekur um tvo daga að tæma loftþúðann og á meðan getur engin vistast í göngunum. Veldur þetta því nokkrum tímatöfum í rekstri virkjunarinnar. En tæming á göngum er að sjálfsögðu mjög sjaldgæf.

Framan við vélarnar í virkjuninni eru ristar. Fylgst er með þrýstitapi í gegnum ristarnar með mælum sitt hvorum megin við þær. Ef tapið verður of hátt er dregin skafa yfir ristarnar sem mylur niður óhreinindin á ristunum svo þau fara í gegnum ristina. Notað er þrýstiloft úr loftþúðanum til að draga sköfuna yfir ristina. Með þessu móti er bæði auðvelt og ódýrt að hreinsa ristarnar.

### 3.4 Tækniháskólinn í Þrándheimi

Næsti viðkomustaður okkar var Tækniháskólinn í Þrándheimi. Þar voru heimsóttir fjórir staðir; jarðverkfræðideildin, hverflarannsóknarstöð, vatnsorkudeildin og straumfræðirannsóknarstöðin.

Fyrst var jarðverkfræðideildin heimsótt. Þar er Einar Broch í forsvari. Héldum við fund með nokkrum starfsmönnum stofnunarinnar, þar á meðal Halvor Kjörholt sem hefur unnið að rannsóknnum á hönnun loftþúða. Ræddum við meðal annars möguleika á gerð loftþúða í íslensku bergi. Töldu þeir að miðað við núverandi tækni væri það ekki öruggt. Íslenskt berg væri sennilega víða of lekt til að hægt væri að ná upp nægum þrýstingi í loftþúðanum eða vatnspéttitjaldi yfir honum. Í dag væru þeir hins vegar að rannsaka möguleika á að nota frýstingu til að þétta bergið í kringum loftþúða. Töldu þeir að það væri mun vænlegri leið fyrir íslenskar aðstæður. Af þessum fundi höfðum við með okkur allt það sem þeir hafa skrifað um hönnun loftþúða.

Næsti viðkomustaður var rannsóknarstöð fyrir vatnshverfla. Þarna eru prófaðir Francis- og Kaplanhverflar. Er þarna metin nýtni hverflanna við mismunandi álag. Þetta var fyrst og fremst fróðlegt að sjá.

Þriðji viðkomustaður okkar við NTH var vatnsaflsvirkjanadeildin þar sem Dagfinn Lysne er prófessor. Vorum við fræddir þar um skipulag og kennslu í virkjanafræðum við NTH. Einnig kynntum við okkur lauslega kennsluefni það sem nota á í virkjanafræðum við skólann. Var það álit okkar að Orkustofnun ætti að kaupa þetta efni til að geta lært af aðferðum Norðmanna við að áætla virkjanir.

Síðasti viðkomustaður okkar á NTH var rannsóknastöð í straumfræði. Skoðuðum við hana undir leiðsögn Einar Tesaker sem er í forsvari fyrir stöðinni. Þarna voru í gangi líkantilraunir með sandgryfjur í göngum í þeim stíl sem notaðar eru í hallandi ófóðruðum aðrennslisgöngum. Einnig sáum við líkan af stíflu þar sem verið var að skoða hvað skeður ef rennur yfir þéttikjarna stíflunnar. Var verið að gera þessa tilraun til að ákvarða nauðsynlega yfirhæð á stíflur. Var það álit okkar eftir þessa skoðunarferð að við myndum hafa mikið gagn af því að fylgjast með skýrslum frá þessari stofnun, því niðurstöður þeirra má jafnframt oft nýta hér á landi.

### 3.5 Meráker virkjunin

Síðasti viðkomustaður okkar í ferðinni var Meráker virkjunin sem nú er í byggingu. Skoðuðum við hana undir leiðsögn Dagfinn Lysne sem hefur verið ráðgjafi við hönnun hennar. Á þessum



stað sáum við fyrst og fremst tvennt sem vakti áhuga okkar. Í fyrsta lagi var það lækjarinntak sem var í byggingu og í öðru lagi voru það 10 km löng vélboruð göng sem verið var að bora.

Lækjarinntakið sem við skoðuðum þarna var hefðbundið af gerð 1 (sjá norsku skýrsluna "Bekkeinntak på kraftverkstunneller", Vassdragsregulantenenes Forening, Teknisk Sektor, 2. utgáfa 1988, 124 bls). Var búið að steypa það að mestu en eftir var að bora göngin frá veitugöngunum að lækjarinntakinu. Það sem enn vakti athygli okkar þarna voru þær miklu kröfur sem gerðar eru um afloftun á vatninu. Er það gert vegna fiskgengdar neðar í ánni. Í þessu skyni verða göngin að lækjarinntakinu ekki togboruð heldur sprengd til að gera þau hrjúfari. Einnig verða sprengdar "tröppur" í þak ganganna til að auka enn afloftunina. Kostnaðurinn við þetta lækjarinntak var áætlaður 4 milljónir króna. Þar sem gera má ráð fyrir að afloftunarkröfur séu minni hér á landi má gera ráð fyrir að hægt sé að byggja niðurföllin eitthvað ódýrari.

Það síðasta sem við skoðuðum var "brautarstöð" fyrir jarðgangaborvél sem boraði 10 km veitugöng við Meráker virkjunina. Göngin eru með lágmarksþvermál, sem þeir telja 3.5 m ef ná á hámarksaköstum. Vélin er af Robbins gerð og á nú þegar flest met í hraða slíkra véla. Brautarstöðin, sem er til að losa mulda efnið frá borvélinni er neðanjarðar á tveim hæðum. Vagnarnir sem koma frá borvélinni sturta efninu af efri hæðinni á þá neðri um trektir, og lendir efnið þar á vörubla og er keyrt út. Við áttum kost á að spjalla við eina áhöfn vélarinnar og spurðum þá m.a. hvort "mixed face" skilyrði minnkuðu ekki borhraða slíkra véla. Ekki töldu þeir svo vera. Þessar nýju vélar sem keyra undir miklum þrýstingi eru að þeirra dómi nánast ónæmar fyrir breytilegum borskilyrðum og sögdust þeir keyra vélin á óháð "mixed face" skilyrðum. Vél þessi hefur afkastað um 1100 m á mánuði og er langt komin með verkið. Kostnaður við þessi göng samkvæmt útboði var 100 milljónir fyrir að koma sér fyrir og 40 000 kr á m. Samtals gerir þetta um 50 000 kr á m. Tilboð verktaka miðaðist við þetta og fékk hann verkið og er að ljúka því. Engar líkur voru taldar á viðbótarkröfum í verkið. Þessi verktaki lýsti áhuga á því að vinna á Íslandi. Verðið sem hann fær er tæplega 65% af því sem jargangaformúla virkjanalíkans Orkustofnunar gefur upp sem kostnað af svona göngum við bestu aðstæður.

Fleira skoðuðum við ekki í þessari ferð.

**VIÐAUKI**

**Ljósmyndir**



**Ljósmynd 1.** Íshokksleikvangurinn í Gjövik sem er verið að byggja fyrir Olympíuleikana í Lillehammer '94. Þetta er breiðasti manngerði hellir í heimi, um 50 m breiður.



**Ljósmynd 2.** Leki úr loftpúða sem notaður er til að halda undirvatni Pelton-hverfla niðri. Loftpúðinn er í K5 vatnsorkuverinu í Tafjord.



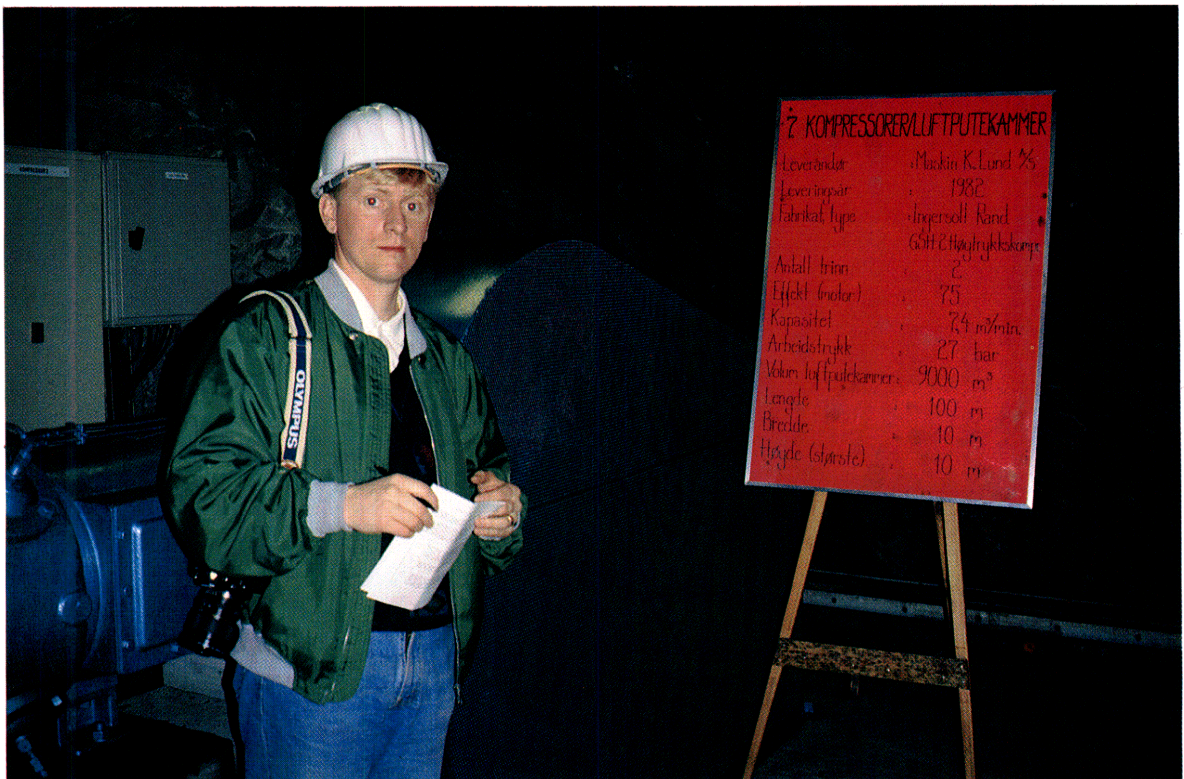
**Ljósmynd 3.** Lækjarinntak við K4 vatnsorkuverið í Muldal í Tafjord. Þetta inntak var upprunalega af gerð eitt með einföldum stífluvegg, en því varð að breyta vegna ofmettunar á lofti.



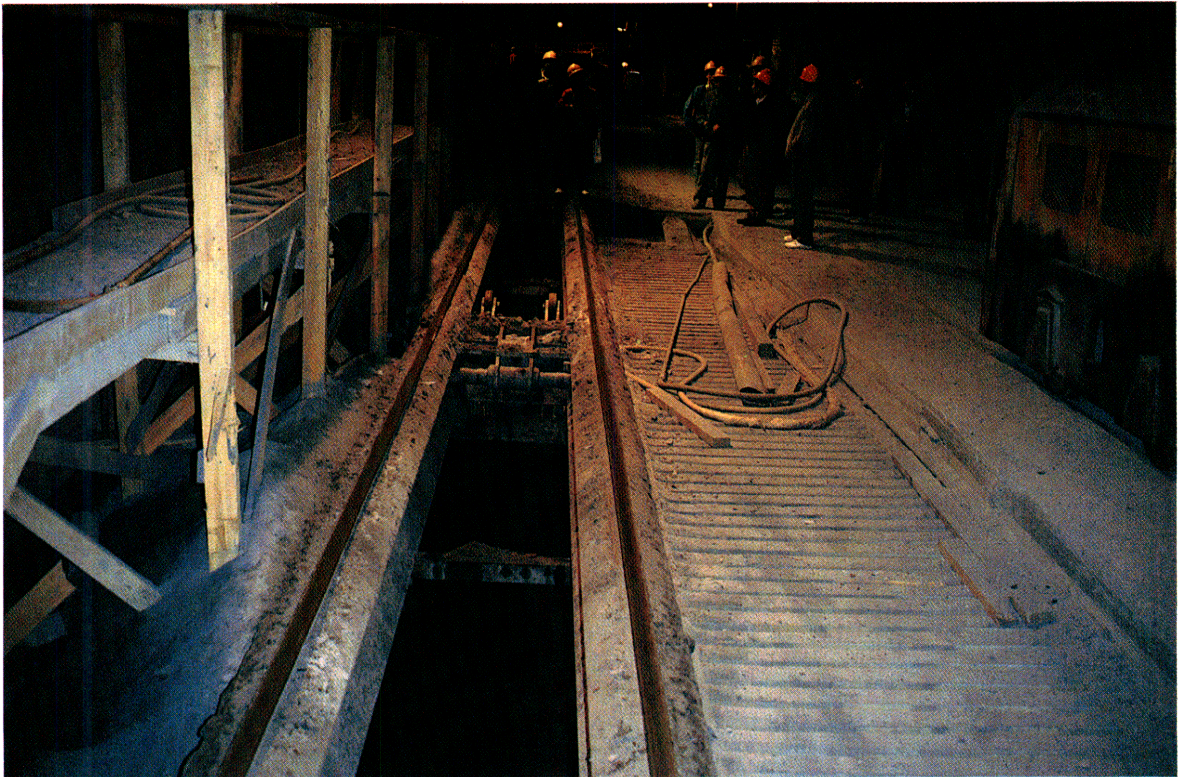
**Ljósmynd 4.** Lækjarinntak við K4 vatnsorkuverið í Muldal í Tafjord. Nýja stíflan er með nýrri lokugerð á botnrás.



Ljósmynd 5. Steyputappi á aðrennslisgöngum K4 virkjunarinnar í Tafjord.



Ljósmynd 6. Loftdæluhellir í Brattset vatnsorkuverinu. Á skiltinu eru upplýsingar um loftpúðann sem notaður er til sveiflujöfnunar.



Ljósmynd 7. "Brautarstöð" fyrir flutningslest jarðgangaborvélar við Meráker virkjunina. Efninu frá borvélinni er sturtað niður um götin í gólfinu á vörubíla sem eru í þvergöngum undir.



Ljósmynd 8. Lækjarinntak í byggingu við Meráker virkjunina. Inntakið er af gerð tvö.