

Raforkumálastjóri
Vatnamælingar

DRÖG AÐ ÍSAÞPÁ VIÐ
TUNGNAÁRKRÓK

Reykjavík, 17. des. '5
S. Rist

E f n i s y f i r l i t

1 Það, sem við vitum um ísalög árinna.....	bls.	1
1.1 Einkenni Tungnaár	-	1
1.2 Fyrsta ísmyndun	-	2
1.3 Vatnaöldur - Hófsvað	-	4
1.4 Hófsvað - Tungnaárkrókur	-	5
1.5 Greining verkefnisins	-	6
2 Þekking á ísalögum almennt, erlend reynsla ..	-	6
2.1 Hitastreymi	-	6
2.2 Inngeislun	-	7
2.3 Útgeislun	-	7
2.4 Uppgufun	-	8
2.5 Varmi frá árbotni	-	9
2.6 Legorka, sem breytist í hitaorku	-	10
2.7 Almennt um dynamiska ísmyndun	-	11
3 Drög að ísaspá	-	11
3.1 Inntakslón T-króki, virkjunartölur	-	11
3.2 Ísaspáin, almennt	-	12
3.3 Ísaspáin og lofthitinn	-	12
3.4 Ísaspáin og skafrenningur	-	14
3.5 Ísaspáin og ísþekja inntakslóns	-	15
3.6 Drög að ísaspá	-	16
3.7 Lokaorð	-	16

Fylgiskjal I Þversk. inntakslóns Fnr. 4865

" II Inntaksl. 1:20 000

ÍSALÖG TUNGNAÁR

Skilagrein 167 - Þjórsárísar, hreyfir málið. Hér skal reynt að gera því rækilegri skil og skal fyrst og fremst miða greinina við Ísalög að Tungnaárkróki. Rétt er að skipta því, sem hér verður sagt, í þrjá hluta.

- 1) Það sem vitað er um Ísalög árinna.
- 2) Þekking á Ísalögum almennt, að mestu erlend reynsla, sem að gagni má verða við að gera Ísaspá að Tungnaárkróki.
- 3) Drög að Ísaspá.

1. Það sem við vitum um Ísalög árinna

1.1 Einkenni Tungnaár

Tungnaá er í senn lindá, jökulá og dragá (L + J + D). Samspil þessara ólíku þátta ræður mestu um, hve Ísalög árinna verða sérkennileg og ólík á hinum ýmsu stöðum. Jökullinn leggur til hin fínu korn í vatnið, sem Ísmyndunin á sér stað utan um. Lindavatnið heldur ánni auðri á stórum köflum og heyrir stöðugt stríð við frostið og kælinguna, svo skörin færast til eftir því hvoru veitir betur, varma vatnsins eða kælingu loftsins. Dragárnar setja niður í frostum eins og þeirra er vani, en sprengja svo af sér Íshelluna með gauragangi í hlákum. Má í því sambandi nefna Jökulgilskvísl, sem er dragá og jökulá í senn. Þá er rétt að athuga, að margir góðir og gæflyndir lindastofnar Tungnaár geta á skammri stundu skipt um ham og oltið fram sem dragár. Þetta verður þannig. Regn- og leysingavatnið kemst ekki niður í hinn gljúpa sand, eins og venja þess er, heldur verður að renna fram ofanjarðar, þegar klaki er í jörð, sem gerir efsta lagið vatnshelt. En af þessu leiða stór og umsvifamikil síðvetrarflóð með jakahlaupi. Þau eru sjaldgæf, nálægt fjórða hvert ár, eða svo benda mælingar nú til. Sjaldgæf eru þau vegna þess, að yfirborðsvatn fer fyrst í stað í það að fylla lægðir sandflákanna og hraunanna og v enjulegast nægir regn- og leysingavatnið vart til þess, en eftir að lægðir eru sléttfullar og undir-

staðan enn frosin, skilar viðbótarvatn sér allt út í Tungnaá á skömmum tíma og þá koma fram stórflóð. Hér má segja, að það hafi verið farið aftan að síðunum, er ísalausnum er lýst á undan ísalögnum, en það getur vart talizt saknæmt, því að sýnt skal nú fram á, að af nægum ís er að taka.

Áður en lengra er haldið, er nauðsynlegt að aðgæta farveginn. Þegar litið er á landabréfið, sést, að farvegur Tungnaár allt frá jökulsporði og niður að Vatnaöldum er með líku sniði, breiður og grunnur, sandur í botni og sandur í bökkum. Þarna er Tungnaá "auravatn". Sandeyrar eru hér og hvar út í ánni, lón og lygnir vogar og víkur til beggja hliða. Vatnsdýpi á stórum svæðum er aðeins 5-15 cm og straumur hægur. Flatarmál farvegsins með sandeyrum er um 45 km². Lengd árinna frá jökli og niður að Vatnaöldum er 82 km og fallið á neðstu 50 km er nálægt 0,6 o/oo. Við Vatnaöldur rekst Tungnaá á Þjórsárhraun og flæðir yfir það á nokkrum kafla, og heldur enn mikilli breidd. Neðan við Hófsvað skiptir um. Þar fer áin fram af hraunbrúninni og steypist niður í gljúfur. Þar er farvegurinn þröngur og straumur mikill víðast hvar og botn fastur. Þarna eru skörp skil á ísalögum árinna og setja má fram þessa höfuðreglu:

Á veturnum er Tungnaá undir ísþekju ofan Hófsvaðs, en með straum- og lindavök neðan þess.

1.2 Fyrsta ísmyndun

Inni hjá Jökulheimum myndast síðla sumars svífis í vatninu eftir aðeins einnar nætur frost. Hvítar, frauðkenndar hrannanefnur myndast meðfram ánni, en þær hverfa skjótt, er líður fram á daginn. Þegar haustar að fyrir alvöru, venjulegast um mánaðamótin sept.-okt., koma krapaför í ána í Tungnaárbotnum.

Þar sem efri hluti farvegsins er svo grunnur og breiður, má vera ljóst, að kæling er mikil. Krapí og grunnstingull fylla hann á stórum svæðum og á þau leggst gráís með hrannarísgröðum hér og hvar. Um leið og þrengir að ánni, hækkar vatnsborðið og áin tekur að flæða upp á ísinn, sem botn-

frosinn er og hrannar flotísnum meira og minna saman. Venjulega hækkar áin austan Snjóöldufjallgarðs og undan Svartakróki, nálægt einum metra, en það jafngildir, að um 60 Gl af vatni bindist í farveginum. Þetta gerist ekki allt í einu, það tekur nokkurn tíma, einn til tvo mánuði og er venjulega slitið sundur af nokkrum þjóviðrisdögum. Áll eða álar haldast auðir nálægt miðri ánni nokkuð fram eftir. Þá leggur ekki fyrr en vatnsborðið hefur hækkað, því að ísþekjumyndunin gengur upp ána í lokin eins og skýrt er frá í Þjórsárísnum. Á meðan álarnir haldast, eru mikil krapaför eftir þeim. Krapinn festist við höfuðísana og skörin sækir á og þrengir álana. Höfuðísarnir fá vaxafellingar, líkt og hornahlaup, því vatnsstaðan er að taka stöðugum breytingum og virkni krapans sömuleiðis, svo vaxtarhraði höfuðísa er breytilegur frá degi til dags. Á meðan álarnir haldast, leggst nokkur hluti af svífisnum í botn og myndar grunnstingul. Þarna er alls staðar sandur í farveginum svo um leið og grunnstingullinn hefur vaxið nokkuð að ráði, megnar uppdrift hans að slíta hann frá botni með neðstu sandkornunum. Er slíkir krapahnausar stíga til yfirborðsins, lenda þeir í stöðugt meiri og meiri straumi. Það verður til þess, að efri hluti þeirra fær aukinn hraða og þeir taka að snúast undan straumi að ofan (líkt og undan coriolis-krafti) og hvolfast gjarna við í vatnsskorpunni, líkt og selshöfðum hafi skotið upp.

Eins og áður er sagt, taka ísalagnir töluverðan tíma og meðan berast krapí eða íshröngl niður ána. Hér og þar brotna skarir, er vatnsstaðan breytist svo úr þessu verður ísskrið, er heldur áfram niður fyrir Hófsvað og þjappast þar inn í vikur og voga sem hrannarís. Í ám með fastan botn eru það aðeins tveir meginþættir, sem ákveða vatnshæðina. Þeir eru:

- 1) rennsli árinna.
- 2) ísaþekjan og krapahrönnin undir henni.

Í efri hluta Tungnaár kemur þriðji þátturinn til greina, en það er útgröftur í botni. Þegar krapahrönn þrengir

farveginn, vex oft straumurinn og þar með máttur vatnsins til að grafa. Þannig var það í desember 1957. Áin var botnfrosin á stórum flákum undan Svartakróki, en á öðrum hlutum árinna lá krapahrönn undir gráís. Á hundruðum metra köflum þvert yfir farveginn, var rennsli aðeins merkjanlegt. Á einum stað var þó renna um 12 metra breið og 180 cm djúp, með 0,5 m/s straumhraða. Þessi renna var fast við sandeyri og stóðu þar stráin upp úr ísþekjunni. Ætla má, að rennan hafi grafið út í þann mund, að ís kom á ána, en nálægt miðri rennunni tærðist ísinn, enda var vatnshitinn 0,2 - 0,3 °C. Eðlilegt virðist, að straumvök komi á slíkum stöðum, en það verður þó ei, sökum þess, að um leið og ísþekjan tærðist ézt krapahrönnin svo að rennslið jafnast og straumurinn minnkar á þessum stað og þá tekur ísþekjan að þykkna á ný, enda er að vetrum venjulegast það mikið frost þarna innfrá. Meðan krapahrönnin er að grotna, hefur hitinn inn við Hófsvað mælt 0,1-0,2°C í Tungnaá en síðar, þegar ætla má, að jafnvægi hafi komið á, hefur hiti árinna undan ísskórinni við Hófsvað reynzt 0,4 °C.

1.3 Vatnaöldur - Hófsvað

Á þessum kafla fer Tungnaá yfir Þjórsárhraun. Fyrir ofan það hefur verið uppistaða, sem nú er sandfyllt. Ef hér yrði gerð stífla, þó hún væri lág, 4-6 m eða svo, mundi hún hafa mikil áhrif á rennsli árinna. Í fyrsta lagi mundi hún koma í veg fyrir, að krapaför og ísskrið bærst niður eftir meðan efri hlutann er að leggja. Á þetta lón, sem myndaðist ofan stíflunnar, kæmi að verulegu leyti lagnarís, hrannarís á efsta hlutann, en íshellumyndunin gengi mjög hratt upp ána frá þessu lóni. Þetta myndi draga úr krapaförum við inntakslón að Tungnaárkróki o.s.frv. Í öðru lagi mun uppistaða þarna hafa veruleg áhrif á aurburð árinna. Aurinn mundi setjast að í lóninu að verulegu leyti og ekki berast niður í inntakslón við Tungnaárkrók og þarna gæfist jafnframt gott tækifæri til að mæla aurburðinn.

1.4 Hófsvað - Tungnaárkrókur

Vegalengdin er 9 km og flatarmál árinna 1,5 km².

Sökum þess, að áin fellur fast upp við hraunbrún er skýlt við farveginn. Þarna er áin venjulegast að mestu auð, eins og segir í höfuðreglunni hér að framan, straum- og lindarák ætíð eftir ánni: Þegar efri hluta Tungnaár tekur að leggja, berst mikið ísskrið þarna niður eftir og þá verður ísbreiðustigið hátt, því áin er víða aðeins 30-150 m á breidd. En ísbreiðustigið stendur í öfugu hlutfalli við breidd farvegsins, þ.e.a.s. í réttu hlutfalli við dýpið. Ísskriðið gliðnar sundur í vaxandi straumi, en hrannast saman, þegar straumur minnkar. Það stendur næfnilega í öfugu hlutfalli við straumhraðann.

Skammt neðan við Hófsvað, nánar tiltekið hjá síritara nr. 96, kemur 1,3 kl/s af lindavatni út í Tungnaá, meðalhiti þess er um 5°, mestur hiti 6,4° að vetri. Einhverjar lindir koma upp í árbotninum að auki þarna í hinum efsta hluta, en ekki hefur verið hægt að finna neinar lindar, þegar lengra kemur niður með ánni, enda er ekki heldur við því að búast, sennilega er grunnvatnið lægra heldur en vatnsborð árinna, þegar kemur lengra niður eftir. Þegar komið er niður undir Tungnaárkrók, koma kvíslar tvær að austan, Blautakvísl og Útkvísl, til samans er rennsli þeirra um 4 kl/s. Venjulegur hiti að vetri mun vera nálægt 2°C. Við Tungnaárkrók koma lindar upp í hæðinni 467 eða því sem næst og rennslið mældist í haust á bilinu 2,5-3,5 kl/s, en ekki er rétt að reikna með þessum lindum í varmabalans Tungnaár við Tungnaárkrók, þegar búið er að stífla upp í hæðina 490.

Rétt er að aðgæta í hvernig ástandi krapaför og ísskrið er sem bezt niður að Tungnaárkróki meðan ísalagnir fara fram hið efra. Ef ísmyndun gengur fremur hægt, þ.e.a.s. það tekur langan tíma, þá er veður ekki hart, svo að krapinn er í óvirku ástandi, þegar hann kemur niður fyrir Hófsvað og lindavatnið tekur að eyða honum. Nokkuð hrannast upp í víkur og voga, en engu að síður mun töluvert magn halda áfram niður eftir. Ef aftur á móti ísmyndunin gengur hratt hið efra, þá re krapinn virkur, og þrátt fyrir áhrif lindanna, hrannast hann upp á leiðinni Hófsvað - Tungnaárkrókur, en

Þá mun tímabilið, sem ísalagnir taka, vera stutt, og heildarmagn ísskriðsins mun verða öllu minna heldur en þegar ísalagnir taka langan tíma. Í þessu sambandi er rétt að athuga stefnu Tungnaár hið efra. Hún tekur tvo mikla króka, hinn fyrri fyrir Snjóöldufjallgarð og hinn síðari fyrir Svartárkrók. Það er því sama hvaðan vindurinn blæs, nema þá helzt af suðaustri, að hann hlýtur alltaf að standa á móti straumi á einhverjum kafla og það flýtir fyrir því, að áin fari saman. Suðaustan áttin er aftur á móti átt hlýju og hláku.

1.5 Greining verkefnisins

Verkefnið verður nú þetta at athuga hvað gerist í inntakslóni við Tungnaárkrók, við eftirfarandi:

- 1) Ísalagnir
 - a) ána leggur hið efra
 - b) ísalög Hófsvað -Tungnaárkrókur eftir að áin er lögð hið efra.
- 2) Ísalausnir.

Áður en gengið er beint að verkefninu er rétt að stilla hér upp þeim líkindum, erlendum, sem ætla má, að að gagna megi verða.

2. Þekking á ísalögum almennt, að mestu erlend reynsla

2.1 Hitastreymi

Hér skal sýnt hvaða þættir það eru, sem þarf að taka tillit til, þegar reikna skal út hitajafnvægi, og verður hér farið eftir kenningum O. Devik.

- 1) Geislun
 - a) útgeislun
 - b) inngeislun
- 2) Uppgufun
- 3) Varmaleiðsla frá árbotni
- 4) Legorka, sem breytist í hitaorku.

Hitastreymið er mælt í $\text{cal/cm}^2/\text{h}$ (grammkalóríur per cm^2 per klukkustund). Þessir fjórir prósessar eru gjörólíkir

og eftir því sem ísinn þykknar og vex, breytir hann hlutfallinu á milli þeirra, þannig að hlutfallið á milli útstreymandi og innstreymandi hita minnkar stöðugt. Þegar jafnvægi er náð, hættir ísinn að vaxa. Nú skal hver þessarar fjögurra þátta athugaður hver um sig.

2.2 Inngeislun

Inngeislun hefur verið mæld víða um heim, ekki er mér kunnugt um mælingar hér á landi. Heildar inngeislun, sem er bein og óbein inngeislun sólarljóssins, eru samkvæmt mælingum í Noregi á 61.8° n.b. sem hér segir:

Inngeislun á 24 klst. ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{d}$)						
% Sólskin	100	80	60	40	20	0
Skýjahula	0	2	4	6	8	10
23. des.	37	32	27	21	16	11
8. des. (8. jan.)	44	38	32	25	19	13
23. nóv. (22. ján.)	60	52	44	35	27	19
8. nóv. (5. febr.)	90	77	65	52	40	27
24. okt. (19. febr.)	134	115	96	77	58	10

Varmamagnið $80 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{d}$ jafngildir hitaorku, sem þarf til að bræða rúmlega 1 cm af ísláginu á dag, en af því má sjá, að inngeislun að vetrinum má sín ekki mikils á móti ísvextinum, sem er oft fyrst í stað 5-10 cm á dag, en þegar ísinn er orðinn þykkur, hefur inngeislun hlutfallslega meira að segja móti öðrum þáttum og þá staðnar vöxturinn.

2.3 Útgeislun

Útgeislun er aðeins frá yfirborðinu. Engar mælingar benda til þess, að útgeislun eigi sér stað frá hinum dýpri vatnslögum eða frá botninum segir O. Devik; því hinir dimmu, rauðu hitageislar komast ekki upp í gegnum vatnið. Munurinn á milli inn- og útgeislunar er varmatapið við útgeislun. Við það eru allir reikningar miðaðir. Mælingar sýna, segir O. Devik, að slíkt tap er alls staðar til staðar, en að sjálfsögðu getur

inngeislun sólarljóssins á daginn orðið meiri, svo útstreymið verður neikvætt. Um nætur gerir hitatapið greinilega vart við sig, en það er þó verulega háð skýjahulunni. Reglan er þessi:

$$S_N = 10,8(1 - 0,09N) + 0,38(t_v - t_1) \text{ cal/cm}^2/\text{h}$$

N = skýjahula, 0 til 10

t_v = vatnshiti °C

t_1 = lofthiti °C

Hitatap við útgeislun cal/cm²/h

Skýjahula 0-10	Vatnshiti °C	L o f t h i t i °C			
		0	-10	-20	-30
0	0	10,8	14,6	18,4	22,2
5		5,9	9,7	13,5	17,3
10		1,1	4,9	8,7	12,5

Af þessu sést, að ef lofthitinn er t.d. -10°C og hiti árvatnsins 0°C og heiður himinn, þá er útgeislun 14,6 cal/cm²/h, eða 350 cal/cm²/d, sem er álíka mikið og öll inngeislun í desembermánuði. Útgeislun er þáttur, sem veldur miklu hitatapi. Rómantískir menn eiga sjaldnast orð til að dásama hve loftið hér á landi er tært, en ekki er ólíklegt, að útgeislun sé hér þá meiri heldur en er víðast hvar annars staðar.

2.4 Uppgufun

Það er mikið varmamagn, sem binzt við uppgufun. 580 cal. þarf til þess að breyta 1 gr af vatni 0°C í gufu. Það eru einkum tvö atriði, sem ákvarða mikilleik uppgufunarinnar. Það er:

- 1) Hvað loftið er þurrt, þ.e.a.s. hve hlutfallið er stórt á milli gufuþrýstingsins f_0 niður undir vatnsfleti og gufuþrýstingsins f í venjulegri mælingahæð (1,5 m) og í öðru lagi vindhraðinn. Reglan verður þá þessi:

$$S_1 + S_2 = 1,09 V + 0,3 (f_0 - f) + 0,5 V + 0,3 (t_v - T_1) \text{ cal/cm}^2/\text{h}$$

Í töfluformi er hitatap vegna uppgufunar sem hér segir, þegar reiknað er með rakastiginu 85% og $\text{cal/cm}^2/\text{h}$.

Yfir- borðs- hiti °C	Tegund flatar	L O F T H I T I °C											
		0°			-10°			-20°			-30°		
		Vindhraði m/s			Vindhraði m/s			Vindhraði m/s			Vindhraði m/s		
		1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
0°	Autt vatn	0,9	1,4	1,7	9,4	14,5	19,0	16,0	26,0	33,0	23,0	34,0	45
	Ísilagt	1,0	1,5	2,0	9,8	15,1	20,0	17,0	27,0	54,0	25,0	39	50
	Snjór	3,9	6,2	7,9	40,0	63,0	80,0						
-10°	Ís				0,4	0,7	0,8	7,5	12,0	15,0	14	22	28
	Snjór				1,7	2,6	3,4	30,0	48,0	61,0			
-20°	Ís							0,1	0,2	0,3	6,4	10	13
								0,6	1,0	1,3	26,0	41	52

Í töflunni eru aðeins þau tilfelli tekin, að yfirborðið hafi sama eða meiri hita en loftið, en það getur oft komið fyrir, að útgeislun færi hita yfirborðsins niður fyrir hita loftins. Það á einkum við snjóflesjur. Það er sennilega mjög algengt hér inn á hálendinu og vík ég að því síðar í sambandi við útreikninga á hita í 500 m hæð y.s. Þá tekur fyrir uppgufun og það gagnstæða á sér stað, hrím eða dökk myndast og neðsta loftlagið gefur frá sér hita til yfirborðsins.

2.5 Varmi frá árbotni

Þann hluta ársins, sem hlýtt er, leiðist varmi úr vatninu tilárbotnsins, en það gagnstæða á sér stað á vetrar-mánuðum. Við Glommen í Noregi hafa verið gerðar mælingar, sem hafa leitt eftirfarandi í ljós:

Hitastreymi frá árbotni

Mán.	Vatnshiti °C	cal/cm ² /h
Sept.	8,2	0,18
Okt.	2,9	0,40
Nóv.	0,0	0,30
Des.	0,0	0,20
Jan.	0,0	0,14
Febr.	0,0	0,09
Marz	0,0	0,07
Apríl	0,0	0,00
Mai	3,8	-0,27
Júní	9,8	-0,54
Júlí	13,6	-0,46
Ágúst	12,5	-0,17

Þetta er ekki mikið hitastreymi til og frá árbotninum og kemur ekki neitt verulega í ljós fyrr en ísþekjan er orðin þykk og tekið er að mestu fyrir loftkælinguna, þá getur þetta atriði farið að segja til sín. Líklegt er, að þessi hitaleiðni sé áþekk hér á landi, skiptir þetta að vísu ekki miklu máli, því þetta er óverulegur faktor móti kælingu loftins. Sennilegt er, að jarðhitadeildin þekki aðstæður hér eða hefði með höndum mælingar, sem munu skera úr um hvernig ástætt er hér á landi.

2.6 Legorka, sem breytist í hitaorku

Ef vatn fellur um 1 m og orkan breytist öll í hita, hitnar það um 1/427 úr gráðu, þ.e.a.s. hver cm³ fær 1/427 kalóríuvarma. Reynslan er oft sú, að einmitt í fossum og flúðum blandast vatnið lofti svo að kæling verður þar mikil og þá gætir þessa ekki. En þegar fossarnir eru komnir undir klakahjúp, eins og oft á sér stað, þegar líður á vetur, þá gætir hitans verulega, sem þeir fá í fallinu. Neðan við fossinn er áin alauð og landahrein á 100-300 m kafla eða svo T.d. Sandá í Pistilfirði neðan við Sandárfoss, Hvítá neðan við Gullfoss og margar fleiri.

$$S_H = \frac{360\,000 \cdot Q \cdot H}{427 \cdot B \cdot L} \text{ cal/cm}^2/\text{h}$$

Ef athugað er vatnsfall, sem er t.d. 100 m breitt og $Q = 50 \text{ kl/s}$, $H/L = 0,001$, þ.e. fall 1 m á km, þá er varmaorkan $0,42 \text{ cal/cm}^2/\text{h}$, sem er þá af sömu stærðargráðu, og hitastreymið frá botni sbr. lið 2.5,

2.7 Almennt um dýnmiska ísmyndun

O. Devik telur, að við alverstu skilyrði, eða réttara sagt við beztu ísmyndunarskilyrði, geti hitatapið verið $25 \text{ cal/cm}^2/\text{h}$, eða $600 \text{ cal/cm}^2/\text{d}$, en það jafngildir 75 gr á ís á hvern cm^2 , eða 75 kg á m^2 af yfirborði árinna. Á 1000 m langri spildu og 100 m breiðri verður ísmyndunin á sólarhring samkvæmt því um 0,08 Gl. Athugandi er, að á 10 km löngum kafla, 100 m breiðum, er ekki hægt að reikna með slíkri ísmyndun á hverja flatareiningu, sökum þess, að þegar ísinn hefur myndast á ánni, verkar hann mjög einangrandi. Þó er enn meira um vert, að flatarmál hins auða vatns minnkar stöðugt. Höfuðísar vaxa og að lokum myndi hitajafnvægi nást, þ.e.a.s. jafnmikið hitamagn berast að eins og það sem berst í burt. En áður en slíkt ástand hefur skapast, hefur mikið ísskrið flotið fram. Mest verður ísskriðið, sem berst fram í gegnum þversnið árinna, þegar þrepahlaup eiga sér stað. Því að þrepahlaupin ryðja burt þeim ís, sem kominn er, svo ísmyndun hefst á ný og þannig koll af kolli. Reynsla á Norðurlöndum hefur sýnt, að þrepahlaup kom ekki í ár, ef hallinn er minni en 2 o/oo.

3. Drög að ísaspá

3.1 Inntakslón við Tungnaárkrók

Hinn 3. þ.m. hefur Jakob Björnsson, rafmagnsverkfræðingur, tekið saman eftirtalðar tölur varðandi virkjunartilhaganir við Tungnaárkrók og miðast ísaspáin við þessar aðstæður.

1. Ísaspá þarf að gera fyrir eftirtalin gildi á hæstu og lágstu vatnsborðshæð í lóni:

	Hæsta v.b.h.	Lægsta v.b.h.
A	500 m y.s.	480 m y.s.
B	495 " "	480 " "
C	490 " "	480 " "
D	485 " "	480 " "
E	480 " "	475 " "

2. Fyrir hvert ofanskráð gildapar sé gerð ísaspá fyrir hverja af þeim staðsetningum inntaks, sem sýnt er á meðfylgjandi uppdrætti, svo framarlega sem teljandi munur er álitinn vera á þessum staðsetningum í ístruflanatilliti.

3. Ísaspá þarf að gera fyrir eftirtalin gildi á mestu vatnsnotkun og meðalvatnsnotkun í mánuðunum nóvember-apríl.

	Mesta vatnsn. kl/s	Meðalvatnsn. nóv-apr kl/s	Aths.
F	151 (68 MW, 60 m)	65	Tungnaá ein
G	227 (102 MW, 60 m)	93	Tungnaá + Þórisós

4. Grunnvatnsborð í hrauninu suður af væntanlegu uppistöðulóni stendur nú í 475 m hæð yfir sjó.

Lindarnar, sem koma undan hrauninu í gljúfrið neðan við Tungnaárkrók, eru í um 467 m hæð.

5. Flatarmál og rúmmál uppistöðulóns eru eins og sýnt er á meðfylgjandi uppdrætti Sigurðar Thoroddsen af mannvirkjum við Tungnaárkrók.

6. Kort af lónsstæðinu fylgir einnig hér með.

7. Varðandi inntök, þá sé reiknað með vatnshraða gegnum inntökin, 0,6 m/s. Reiknað sé með 8 m hæð á inntaksristum, og að neðri brún þeirra sé við botn.

3.2 Ísaspáin, almennt

Inntakslón við Tungnaárkrók mun verða undir ís meiri hluta vetrar. Langtímum saman mun verða auð rák inn í það, þar sem Tungnaá fellur niður í lónið, og ís á því sjálfu, ósléttur með hrannagörðum og á stöku stað lagnaðarís. Vakir munu einnig haldast út frá Útkvísl og Blautukvísl. Það skiptir verulegu máli, hve vatnsstaðan er há, hvort lindanna í gilinu gætir eða ekki. Þegar lækkar í lóninu á veturnum, mun ísbekkur sitja eftir með ströndum fram.

Sökum þess hve bratt er ofan við lónið mun ekki vera um að ræða, að íshellumyndun skriði upp frá því, fyrr yrði ís að hrannast upp í lóninu í stórum stíl.

3.3 Ísaspáin og lofthitinn

Nú, þegar reikna skal út kælingu Tungnaár, rekum við okkur illlilega á, að engin veðurathuganastöð er nálægt ánni.

Háloftshitamælingar hafa verið gerðar yfir Keflavík nokkur hin síðari ár. Jónas Jakobsson, verkfræðingur, hefur dregið upp línurit yfir hitann í 500 m hæð og 1500 m. Hann telur, að ef 2 til 2,5°C eru dregnar frá mældum hita yfir Keflavík, fáist sennilegur hiti við Tungnaá í 500 m hæð. Ég dreg nú 3°C frá og Einar Þorláksson hefur talið saman gráðudagana og skýrslan er þessi:

÷ G r á ð u d a g a r

	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	Meðaltal
Okt.		60	41	55	45	17	44
Nóv.		73	51	61	62	33	56
Des.		156	180	94	142	134	141
Jan.	97	199	246	115	205	218	180
Febr.	144	147	53	162	166	85	126
Marz	123	111	57	150	137	71	108
Apr.	66	26	83	37	42	118	62
Mai	38	61	17	19	69	30	39
Samtals		833	728	693	868	706	756

+ Gr á ð u d a g a r

	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	Meðaltal
Okt.		9	8	28	24	46	23
Nóv.		3	37	37	17	21	23
Des.		0	0	4	5	2	2
Jan.	6	8	5	4	2	3	5
Febr.	1	2	9	6	2	7	5
Marz	4	7	10	6	3	9	7
Apríl	16	24	13	20	10	7	15
Mái	54	32	23	33	11	57	35
Samtals		85	105	138	74	151	115

Í leiðangrinum febr-marz 1958 mældu vatnamælingar loft-hitann, samanber bréf til Veðurstofu Íslands, dags. 19.5.59, ef þær niðurstöður eru bornar saman við línuritíð yfir háloftmælingarnar, virðist munurinn á línuritínu og mældur hiti við Tungnaá sömu daga vera enn meiri en 3°C . En samanburðurinn verður ófullkominn sökum þess, að vatnamælingarnar voru aldrei til lengdar á sama stað. Eitt virðist þó ljóst, að þegar logn er, mældist frostið til muna meira við Tungnaá heldur en línuritíð gefur til kynna.

Ég legg nú þessar gráðudaga skýrslur til grundvallar á útreikningi á varmabalans Tungnaár við Tungnaárkrók. Ef veðurhæð og snjóalög væru þekkt, væri eðlilegast að reikna þetta frá degi til dags, en sökum þess, að þær upplýsingar eru ekki fyrir hendi, verður hér aldrei um neina nákvæmni að ræða, en niðurstöðurnar settu þá að geta gefið til kynna stærðargráðu ísmyndunarinnar, því reikna ég með óbreyttu frosti ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) og vindhraðann 3 m/s yfir allt tímabilið meðan \pm gráðudagar endast. Reikningarnir verða þá þessir fyrir kaldasta mánuðinn á svæðinu Hófsvað -Tungnaárkrókur:

$$1) \text{ Útgeislun } 9,7 \text{ cal/cm}^2/\text{h}$$

$$\text{Uppgufun } 14,5 \text{ " " "}$$

$$\text{Samtals } 24,2 \text{ cal/cm}^2/\text{h}$$

Kæling 1 km² af auðu vatni á 24,6 dögum verður:

$$24,2 \times 24 \times 24,6 \times 10^4 \times 10^6 \times 10^{+3} = 1,43 \times 10^{11} \text{ kcal}$$

Á sama tíma lætur Tungnaá til hita:

$$0,4 \times 50 \times 10^3 \times 2,63 \times 10^6 = 0,53 \times 10^{11} \text{ kcal}$$

Lindir í Lindavík

$$5 \times 1,3 \times 10^3 \times 2,63 \times 10^6 = 0,17 \times 10^{11} \text{ kcal}$$

Fall Hófsvað - Tungnáákrókur

$$0,12 \times 50 \times 2,63 \times 10^6 \times 10^3 = \frac{0,15 \times 10^{11} \text{ kcal}}{0,85 \times 10^{11} \text{ kcal}}$$

$$\begin{array}{r} 1,43 \\ +0,85 \\ \hline \end{array}$$

$$0,58 \times 10^{11} \text{ kcal, sem jafngildir}$$

$$7,25 \times 10^8 \text{ kg af ís eða } \underline{0,8 \text{ Gl}}$$

Sé gert ráð fyrir skekkjum allt að 100% er ísmyndunin þó aðeins 1,6 Gl

Ég reikna nú ísmyndun fyrir kaldasta des., jan., febr., eins og þeir hefðu verið allir sama veturinn og þá fæst:

$$24,2 \times 24 \times 59,2 \times 10^4 \times 10^6 \times 10^{-3} = 3,5 \times 10^{11} \text{ kcal}$$

$$\text{Frá þessu dregst } 0,85 \times 10^{11} \times 3 = 2,55 \times 10^{11} \text{ kcal.}$$

Þá hafa $0,95 \times 10^{11} \text{ kcal}$ farið á ísmyndun, en það svarar til 1,4 Gl af ís. Sé nú reiknað með 100% skekkju eins og áður, er ísmyndunin samt aðeins af stærðargráðunni 2,8 Gl.

3.4 Ísaspáin og skafrenningur

Vísað skal til kaflans 1.2. Út frá því, sem þar er sagt, er rétt að taka eftirfarandi til athugunar.

Vegalengdin Svartikrókur -Tungnaárkrókur er 15 km. Ef skefur í ána á þessu svæði og reiknað er með, að jafnmikið af krappa verði eftir á þessum 15 km, eins og berst ofan að, má reikna með ísskriði af þessari stærðargráðu:

$$50 \text{ mm úrkoma af } 15 \times 10 \text{ km}^2, \text{ þar sem } 25\% \text{ skefur í ána.}$$

Kæling vatnsins sjálfs færir hita árvatnsins niður að 0°C og myndar auk þess ís, en lítilsháttar þó, aðeins nægjanlegt til þess að ísmyndunin verði virk, þá fást 2 Gl af ís á dag.

Slík hrina mun geta staðið í 4 sólarhringa en vart lengur, þ.e.a.s. þá ættu 8 Gl að geta borizt niður í Tungnaárkrókslónið.

E.t.v. eru einhverjir liðir of lágt áætlaðir, og geri ég nú ráð fyrir 50% skekkjum, þá fæst ísinn af stærðargráðunni 12 Gl og að viðbættum ís, sem myndast í farveginum, þá 15 Gl. Ein hættulegasta kombinasjon er, að strax á eftir slíkri stórhrið fylgi jakagangur, t.d. þrepahlaup, sem ætti þá upptök sín við hornið á Vatnaöldum. Lengra ofan að geta þrepahlaup ekki komið. Það myndi hafa í för með sér, að ísinn í lóninu kæmist upp í 20 Gl + ísþekja, sem myndast hefði á því sjálfu um 1 m á þykkt.

3.5 Ísaspá og ísþekja inntakslóns

Einkennistöölur lónsins skv. teikn. Sig. Th. 11.3.59

<u>Hæð</u>	<u>Flatarmál</u>	<u>Rými alls</u>	<u>Lengd innra innt.</u>	<u>Rými</u>
<u>m.y.s.</u>	<u>km²</u>	<u>Gl</u>	<u>km</u>	<u>Gl</u>
500	17,5	210	4,2	(500-480) = 205
495	13,5	130	3,6	(495-480) = 125
490	11	75	3,5	(490-480) = 70
485	8	35	3,2	(485-480) = 30
480	3	5	3,0	(480-475) = 5

Þegar lónið er athugað, kemur í ljós, að við vatnsborðshæðina 480, gengur nes inn í það frá vestri. Nesið er hinn eiginlegi Tungnaárkrókur. Ef vatnshæðin er 490, er nesið komið í kaf að mestu, en upp úr vatni standa tvær eyjar. Sjá meðf. teikn. 4865.

Áhrif þessa nesi eru í stórum dráttum þessi: Við vatnshæð 480, 485, 490 verður ekkert termoklin í vatninu og ekki heldur við 495, þegar mikið rennsli er í ánni. Ef vatnshæðin er 495, mun hitalagsskipting koma fram og þá mun aðrennslisvatnið stilla sig eftir eðlisþyngd sinni á sína réttu hæð og síga þannig fram að útrennslisopnu án þess að tæra ísþekjuna. Straumhraðinn er svo lítill, þótt lágt sé í lóninu (480-485), að ísinn færir mjög hægt. Þegar frostlína hefur staðið í nokkra daga, mun samt koma vök eftir miðjum álnum.

Að áliðnum vetri munu sandvakir verða áberandi.

Hagkvæmara væri upp á hitabalans í lóninu, að Blautakvísl og Útkvísl féllu saman út í lónið, þ.e.a.s., veita þarf

Blautukvísl til Útkvíslar skammt neðan við hraunröndina. Blautakvísl + Útkvísl munu langtímum saman að vetri vera 1,5 til 2,5°C heitar og rennslið um 4 kl/s.

3.6 Drög að ísaspá

Virkjunartilhögun skv. merkingu í 3.1	Íssöfnun Gl.	Ísþekja	Ístruflanir [*])
A.F	35	stöðug	engar
B.F	30	"	"
C.F	"	"	"
D.F	"	straumvök	krapi, bakv.h. 2 m
E.F	"	"	Miklar truflanir grunnst.krapi, jakagangur bakv.h 2 m
A.G	35	stöðug	engar
B.G	30	óstöðug	"
C.G	"	"	"
D.F	"	lengst af autt	krapi, jakahröngl
E.F	"	autt	krapi, jakagangur

^{*}) Gert er ráð fyrir upphitun 50% inntaksrista og að lón sé fullt, þegar íslagning hefst að haustinu.

3.7 Lokaorð

Undir leiðsögn Þorbjörns Sigurgeirssonar eru vatna-
mælingarnar nú að útbúa síritandi vatnshitamæli, sem ætlaður
er í Tungnaá við Hnubbafoss (innrennslið í væntanlegt lón),
samkv. samþ. fundar í ísmálum. Ef vel tekst með mælinn, ætti
hann að geta skorið úr um það, hvort ályktanir varðandi ís-
myndun á svæðinu Hófsvað-Tungnaárkrókur eru réttar. Um ísskrið
mun hann lítið geta sagt, annað en ef takast mætti að ákvarða
þann tíma, sem ekkert ísskrið er í ánni og í öðru lagi ætti
hann að sýna, hve vænta má að áin tæri ísinn í lóninu.

Áður hefur verið rætt og ritað um gæzlu inn við Tungnaá,
sbr. skilagrein 180 og fundagerðir ísmála. Sú gæzla og veður-
athugun er nauðsynleg, sem dæmi um um hve línuritið um hita
í hálofti yfir Keflavík er langt frá því rétta, skal nefnt.
Að morgni hins 21. des. 1957 var logn, skafheiðríkt veður og
hiti -30°C, undir Dyngjum, í kvosinni norður af Eskihlíðar-
vatni. Á sama tíma var -8°C í 500 m hæð yfir Keflavík og

samkvæmt framansögu hefði verið ályktað, að frostið væri 11 stig í 500 m hæð við Tungnaá. Þá var snjór á jörðu og ísaþoka lá yfir Tungnaá undan Vestur-Bjöllum, eða réttara sagt frá Hófsvaði og svo langt niður eftir sem séð var. Tveim tímum síðar (þ.e. kl. 10) hafði hitinn hækkað svo, að frostið var þá aðeins 21°C.

Nauðsynlegt er að leggja áherzlu á að fá góð frumgögn og samfelld yfir nokkurn tíma.

Reykjavík, 16. desember 1959,

Sigurður Rist

Raforkumalastjóri
Votnamalinger

13.12.59. S.Rist / P.J.

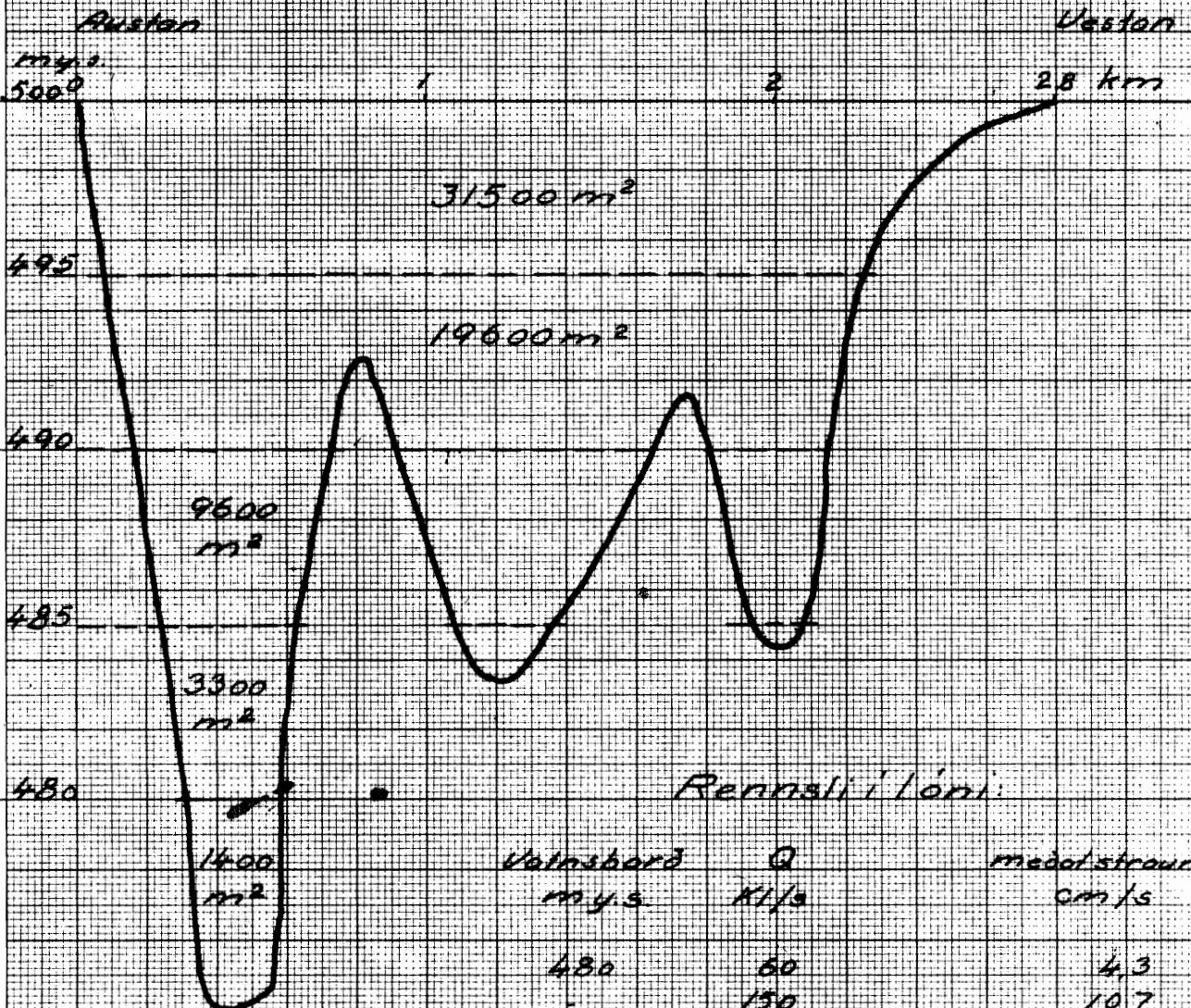
Inntakslön við Tungnaárkrök

Tnr. 207

ströumhr. við hinn eiginl. Tungnaárkrök

B-277 Uhm 98/1

Fnr. 4865



Rennslilóni:

Vatnsborð m y.s.	Q kl/s	meðal ströumhr. cm/s
480	60	4,3
-	150	10,7
-	90	6,4
-	225	16,0
485	60	1,8
-	150	4,5
-	90	2,7
-	225	6,8
490	60	0,6
-	150	1,6
-	90	0,9
-	225	2,4

732501 - 3/5 A4 - 1 x 1 mm

