

GREINARGERÐ

um

NOTKUN ÍSS VIÐ STÍFLUGERÐ Í FALLVÖTNUM

1) Nokkur almenn atriði.

Ís er að ýmsu leyti harla ólikur hinum venjulegu bygg-
ingarefnum. Einkum eru það eftirfarandi eiginleikar, hsem hér skipta
máli.

Ís getur vart talizt til hinna föstu efna. Hann er
hneigur (plasiskur), þ.e. hann lætur undan stöðugri áraun, og rennur
á sama hátt og mjög seigfljóttandi vöki. Kemur þessi eiginleiki hans
bezt fram í skriðjöklum.

Bræðslumark íss hækkar með vaxandi þrýstingi. Með nægilegu flatarþrýstingi má því framkalla bræðslu í þeim fleti, sem þrýst er á. Ísinn hefur því einnig af þessum orsökum tilhneigingum, til þess að láta undan áraun. En bræðslan hefur ~~síning~~^{auk þess} þá afleiðingu, að allir fletir, sem þrýst er á eru rakir, og fá því að vissu leyti smurningu. Afleiðing þessa er hinn mjög lági núningsstuðull, sem einkennir alla snertingu við ís. Án þessa fyrirbærис væri skiða- og skautaþróttin ekki möguleg. Allar sprungur, sem myndatz í ís eru því sérstaklega hættulegar fyrir burðarþol hans. Núningsstuðullinn milli veggjanna er nær hverfandi, og geta ~~prungur~~^{þær} misgengizt án þess, að nokkur fyrirstaða sé fyrir hendi.

Með venjulegum frystiaðferðum er mjög erfitt að mynda nægilega " hómogenan " ís; hann er því ætið mjög sprunginn og brotinn, en það hefur samkvæmt framansögðu mjög slæm áhrif á burðarþolið.

Hneigjan og bræðslumarksskekkjan hafa því þær afleiðingar, að ekki er hægt að ganga út frá neinu burðarþoli í venjulegum skilningi.

Þá er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir því, að ís er um 10 o/o léttari en vatn, og hefur það því tilhneigingu að lyfta ísstiflum.

Loks ber að hafa í huga að samfara storknun vatns er um 10 % rúmmálsaukning.

2) Stíflugerð úr ís.

Samkvæmt framansögðu er ógerlegt að ganga út frá því, að ís hafi neitt reikningslegt tog- eða klippþol. Ísbreiður eða ísplötur, sem hvíla á vatni geta að vísu haft talsvert burðarþol, en styrkleikinn er háður slíkri óvissu að ekki verður reiknað með honum. Auk þess er hneigjan atriði, sem taka verður fullt tillit til.

Ísstíflur verður því að byggja á sama hátt og stíflur úr lausum efnum, þ.e. jarðvegsstíflur. Þær verða að vera mjög breiðar neðst og hafa stóran toppvinkil.

Hér skal gert ráð fyrir, að grunnbreiddin sé fjórfold hæðin. Sé meðalgrunnbreiddin nefnd B, meðalhæðin H og meðallengdin L verður rúmmálið samkvæmt upplætti áætlunardeildarinnar:

Tilhögun	Öll lengdin	L	B	H	Rúmmál
1)	1,300	1,100	80	20	900,000 m ³
2)	1,800	1,300	160	40	4,000,000 "

Við tilhögun 1) er yfirborðið um 100,000 m³ en um 250,000 m³ við tilhögun 2).

Varmatapið frá berum ís er það mikið að ekki kemur til mála að hafa stífluna þeinangraða. Með því að einangra hana með um 2 m þykku lagi úr sandi og möl má halda mesta varmatapi loftmegin undir 30 kg°/m², klst en undir 60 kg°/m², klst vatnsmegin. Er þá gert ráð fyrir, að mesti loft-hiti sé 30°C en mesti vatnshiti 20°C. Meðaltapið er þá um 40 kg°/m², klst

Við tilhögun 1) verður mesta varmatap þá um 4,000,000 kg°/klst og sé reiknað með venjulegum kælivélum verður afþærfin til viðhalds stíflunnar:

$$4,000,000 / 2,5 \cdot 860 = 1,800 \text{ kw}$$

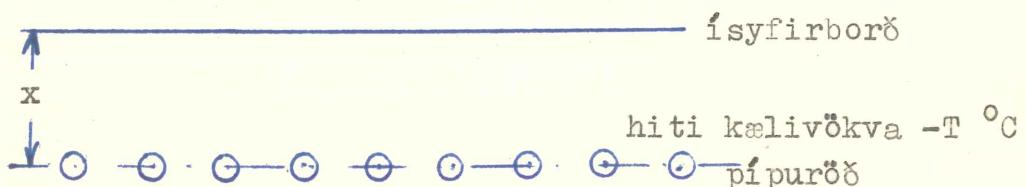
Við tilhögun 2) verður mesta varmatap um $10,000,000 \text{ kg}^0/\text{kl}$ og afþörfin því um 4,500 kw.

Varmatapið við botn stíflunnar er mjög lítið, og hefur því ekki verið reiknað með því.

Alvarlegustu örðugleikarnir koma fram við byggingu stíflunnar. Af ýmsum ástæðum verður ísmyndunin að fara fram á sjálfu stíflustæðinu, og er því ekki um annan möguleika að ræða en að byggja hana upp úr þunnum íslögum, sem lögð eru hvert ofan á annað. Einu kælitækin, sem til mála koma eru pípur, sem lagðar eru eftir stíflustæðinu endilöngu. Leggjá verður þéttar láréttar raðir, og frystir hver röð ákveðna þykkt, en að því loknu tekur næsta pípuröð fyrir ofan við, og frystir næsta íslag. Vatn til ísmyndunarinnar fæst með því að úða yfirborð íssins.

Þykkt hinna einstöku íslaga verður að ákveða út frá varmaleiðslu íssins. Ís er lélegur varmaleiðari, og er varmaleiðslu -stuðull hans aðeins $2 \text{ kg}^0/\text{klst}, {}^\circ\text{C}$.

Athugum nú ísmyndunarhraðan út frá einu láréttu pípu-kerfi samkvæmt eftirfarandi rissi:



Pípurnar séu lagðar það þéttar að reikna má með þeim sem samfeldum láréttum kælifleti. Ef varmaleiðslustuðull íssins er c og hitinn á yfirborði hverrar pípu $-T {}^\circ\text{C}$ verður varmastraumurinn frá yfirborðinu til pípukerfisins cT/x , p.e. á tímabilinu dt streyma $cTdt/x$ varmaeininger. Myndist á sama tíma dx þykkt lag af ís á yfirborðinu er varma ~~þillan~~ ^{rimuskin} þar $sd \cdot dx$ er s er bræðsluvarminn og d eðlisbungi íssins.

Af ástæðum, sem síðar verður drepið á, er ógerlegt að frysta nema í köldu veðri, og skal því ekki reiknað með varmatapi inn í yfirborð ísins. Differentialjafna ísmyndunarnar verður þá:

$$cT/x = sd \cdot dx/dt$$

Aittímanum $t = 0$ er $x = 0$ og lausnir er þá:

$$x = \sqrt{\frac{cTt}{sd}}$$

Ef reiknað er með -20°C á yfirborði hverrar pipu, og settar inn gildin á c, s og d verður:

$$x = \sqrt{t/1,800} \quad \text{m}$$

~~er~~ t er reiknað í klukkustundum.

Það þarf því 1800 klukkustundir að frysta 1 metra þykkt lag af ís. Út frá þessum niðurstöðum má nú reikna þykkt þess lags, sem hvern pipukerfi verður að frysta. Ef gert er ráð fyrir að frysta eigi minni stífluna á einu ári, þ.e. um 8,000 stundum fæst með örliðum útreikningi að þykkt laganna verður 0,22 m og fjöldi þeirra því um 90. Á hvern hæðarmetra þarf því 4 ráðir af pipum. Í hverja röð þarf vart minna en 5 pipur á hvern metra, þ.e. í hvern rúmmetra koma um 20 metrar af pipum.

Það er ekki hægt að taka pipurnar út úr ísinni að lokinni frystingu. Núverður vaðnotá a.m.k. einsþumlungs pipur, rogverðurinn byggingarkostnaður frystikerfisins því ekki undar 200 kr á rúmmetra stíflunnar.

Petta er margfalt einingarverð í venjulegum jarðvegsstíflum að og er þá auðséð, ísstíflur eru fjárhagslega óhagstæðar.

Í heitu veðri að sumri til getur varmatapið inn í ís yfirborði orðið allt að $200 \text{ kg}^{\circ}/\text{m}^2$, klst, og er þá auðséð, að frystinguna verður að framkvæma í köldu veðri. Með framangreindum forsendum myndi það taka tvo veturnar að frysta minni stífluna.

Að lokum má minnast á kæliaflið, sem þarf við byggingu minni stíflunnar. Ef gert er ráð fyrir 0,75 notagildi í kælitækjunum (kælielementunum) og gengið út frá því, að stíflan sé gerð á 8,000 stundum verður kæliaflið:

$$\frac{900,000 \cdot 80,000}{0,75 \cdot 8,000} = 12,000,000 \text{ kg}^0/\text{klst}$$

en afþörfirfin verður:

$$\frac{12,000,000}{2,5 \cdot 860} = 5,600 \text{ kw}$$

Kostnaður við kælistöðina yrði að líkindum 12 til 15 milljón kr. Við stíflugerðina ~~grun~~ alls notaðar 50 milljón kwst.

3) Péttинг stíflubotna með frystingu.

Frysting er stöku sinnum notuð við byggingarframkvæmdir, til þess að festa og þéttu jarðveg. Aðferðin getur verið hentug við sérstök skilyrði, en er þó all dýr í framkvæmd.

Við steyptar stíflur kemur þessi aðferð síður til mála, einkum ef lekinn er í þeim hluta undirstöðunnar, sem ber stífluna.

Fyrir þessu eru tvær ástæður.

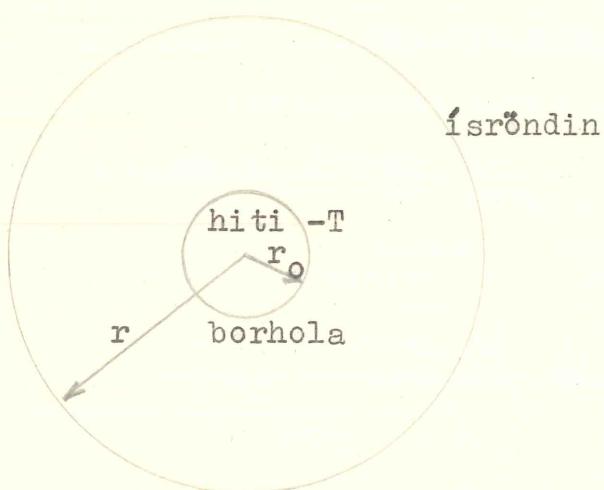
Sökum frostþenslunnar er ekki gerilegt, að frysta undirstöðuna, þegar lokið er við stíflugerðina. Slikt gæti sprengt stífluna. Frystingin yrði því að fara fram áður en hún er byggð.

En sökum hneigju ísins er hin frosna undirstaða mjög varhuga-verð. Hún gettur sigið undan stíflunni, og gæti það haft hinar alvarlegustu afleiðingar. Einnig má benda á það, að bilun í frystikerfinu yrði ekki síður alvarlegt atriði.

Möferðin er því ónothaef við stíflur úr steinsteypu. Við jarðvegsstíflur er öðru mali að gegna. Þær þóla breytingar í undirstöðunni.

Þar sem ekki eru sjáanlegir neinir verulegir tæknilegir örðugleikar við notkun frystingar við jarðvegsstíflur er það eingöngu kostnaðarhliðin, sem sker úr um það, hvort aðferðin sé hagkvæm.

Heppilegast virðist að láta kælitækin niður í borholur, sem gerðar eru við hina leku staði. Bezt væri að fóðra holurnar þannig, að tækin megi taka upp eftir því, sem þörf krefur. Þéttleika holanna má ákveða reikningslega, og þarf þá að athuga ísmyndunina út frá holunum. Gerum ráð fyrir einni holu samkvæmt eftirfarandi skissu:



Radius holunnar sé r_o , en radius ísins, sem myndast hefur eftir tíman t er r . Hiti á yfirborði holunnar sé $-T^{\circ}\text{C}$. Varmastraumurinn frá ísröndinni til holunnar ártímabilinu dt er þá:

$$\frac{2\pi c T \cdot dt}{\ln(r/r_o)} \quad \text{kg}^0/\text{metra holunnar}$$

Á sama tíma myndast dr þykkt lag af ís, þ.e. á tímabilinu dt hafa $2\pi r \cdot dr \cdot \rho_{psd}$ varmaeiningar losnað úr vatninu. Stærðin pierjgljúfleiki (porosity) bergsins, en s braðsluvarminn og d eðlisþungi íss. Differential-jafna ísmyndunarinnar verður þá:

$$\frac{2\pi c T}{\ln(r/r_o)} = 2\pi r \rho_{psd} \cdot dr/dt$$

Varmaleiðslustuðull venjulegs jarðvegs er jafn varmaleiðslustuðli íss.

Lausn jöfnunnar með randskilyrðinu $r = r_0$ við $t = 0$, er :

$$cTt/\text{psd} = r^2 (\ln(r/r_0) - 0,5)/2 + r_0^2/4$$

Nauðsynlegt er að taka fram, að hér hefur verið reiknað með aðstæðum (stationary) varmastraumi í ísnum, en ræunverulega er hann ekki aðstæður. Þetta skiptir þó ekki miklu máli, og er því ekki ástæða að taka tillit til þess hér.

Tökum dæmi, þ.e. jarðveg með 10 % gljúpleika. Ef gert er ráð fyrir -20°C á frystitækinu verður frystitími hinna einstöku radíu: (þvermál holu er 6")

radii	frystitími
0,5 m	31 klst
1,0	190
2,0	1,000
5,0	8,300

Samkvæmt formúlunni er frystitíminn í beinu hlutfalli við gljúpleikan, og er því auðvelt að reikna tímanum fyrir aðra gljúpleika út frá töflunni.

Samkvæmt töflunni má á 1,5 mánuðum frysta h.u.b. 12 m^2 en á 12 mánuðum um 75 m^2 . Nú má áætla kostnaðinn við holu þeg frystitæki um 1,000 kr á hvern metra holunnar. Byggingarkostnaður frystikerfisins verður þá um 83 kr á rúmmetra af frosnum jarðvegi, ef frystingin á að fara fram á 1,5 mánuðum, en hinsvegar um 13 kr á rúmmetra ef frystingin má fara fram á 12 mánuðum. Orkuþörfin mun vera um 6 kwst á rúmmetra, og er ókkukostnaðurinn því hverfandi í samanburði við kostnað frystikerfisins.

Auk framangreindra liða kemur einnig kostnaðurinn við kælistðina, en hann verður áð áætla sérstaklega í hverju tilfelli.

Framangreind kostnaðaráætlun bendir til þess, að frysting til þettingar á undirstöðu jarðvegsstíflna er engan vegin úr hófi fram, og gæti því komið til mála að nota þessa aðferð.

Þó skal á það bent, að nokkrir örðugleikar geta koma fram ef vatnsstraumurinn um bergið er mikill. Þá verður annað hvort að ~~þessi~~ tæma stíflulónið á meðan ~~þessi~~ á frystingunni stendur, eða hafa þéttari holuraðið, en það eykur að sjálfsögðu kostnaðinn.

Loks getur jarðvegur, einkum finn leir, innihaldið kapilarvatn, sem ekki frýs fyrr en við - 10°C eða jafnvel - 20°C, og yrði þá að lækka hitan á frystitækjunum frá því, sem gert var ráð fyrir hér að framan.

4) Niðurstöður.

Samkvæmt framangreindum athugunum viðist ekki koma til mála að byggja stíflur úr ís. Verð ísstíflunnar yrði margfalt verð venjulegrað jarðvegsstíflu.

Þéttig á undirstöðu er ekki framkvæmanleg við steyptar stíflur, en virðist hinsvegar koma til mála við jarðvegsstíflur.

Reykjavík 19 des. 1950

Jónas Þórðarson

Stiflustæði í Koldukvísl

Lengd : 1:10000

Hæð : 1:2000

