

ISKONTORET  
NVE, Hydr. avd.

Edvigs V. Kanavin

Isproblemer i forbindelse med  
utbyggingen og driften av  
kraftverk i Norge.

og

Olaf Derik z Edvigs V. Kanavin

Forslag til åtgjærder mot isvansker  
ved Nedre Røssåga kraftverk.

1960-61.

NORGES  
ASSURANS. OG ELEKTRISITETSVSNSA  
RIRI II TFK  
HB

67.91  
R

ex1

NVE, Hydrologisk avd.,  
Oslo.

Fremlagt til den 3. nordiske  
hydrologkonferanse i Danmark.

1. ISPROBLEMER i FORBINDELSE med UΤBYGGINGEN  
og DRIFTN av KRAFTVERK i NORGE

Utarbeidet av Edvigs V. Kanavin

2. Forslag til ÅTGJERDER mot ISVANSKER ved  
NEDRE RÖSSÅGA KRAFTVERK

Utarbeidet av dr. Olaf Devik og Edvigs V. Kanavin

Oslo, juli 1961.

ISPROBLEM i FORBINDELSE med  
UTBYGGINGEN og DRIFten av KRAFTVERK

Med hensyn til isforholdene kan en skjelne mellom to grupper av kraftverk i Norge:

- a. Kraftverk som er bygget i vassdrag med meget stabile isforhold, dvs. hvor isleggingen foregår en gang om høsten og isen holder seg gjennom vinteren. Til denne kategorien tilhører de fleste vassdrag på Østlandet og delvis også i de indre strøk av Trøndelag og Nord-Norge.
- b. Kraftverk beliggende i vassdrag med ustabile isforhold, dvs. hvor isen legger seg og tøres eller brytes opp flere ganger i løpet av vinteren. Til denne kategorien hører de fleste vassdrag på Vestlandet og langs kysten i ytre Trøndelag, Nordland og Troms.

Det oppstår hovedsakelig tre slags isvansker ved kraftverkene våre:

1. Isbelegg på varegrinder, luker, i frittliggende rørledninger og på andre anleggskonstruksjoner.
2. Sarr- og drivisansamlinger i inntaksmagasinet og foran selve inntaket.
3. Forstyrrelser av tilløp ved sterk isproduksjon, sarr- og drivisansamlinger eller snøfonner i lange og strie elvepartier mellom regulerings- og inntaksbassenget.

Ingen av disse opptrer vanligvis isolert da de årsaksmessig er nøyde knyttet sammen. Således vil isbelegg på varegrinder, luker og andre deler av et anlegg følges av større eller mindre drivisansamlinger foran inntaket, som igjen avhenger av isproduksjonen i det åpne elvepartiet ovenfor.

### 1. Isbelegg på varegrinder, luker og i selve inntaket.

Mest utsatt for isbelegg er tappeluker fra reguleringsmagasin og grinder foran inntaket til kraftstasjon.

I reguleringsdammer ligger tappeluker ofte i en vik. Hvis stedet ligger utsatt for kalde og tørre vinder fra østlig og nordlig kant, vil disse føre en jevn ström av underkjølt vann mot dammuren. Denne tvinger vannet ned og ved beröring mot fjell eller murens faste deler krystalliseres det ut sarr (isnåler), som lett kittes sammen. Selvfølgelig føres det med vindstrømmene ned også en del sarr dannet i selve vannet og på den måten bygges det opp isforstoppelser foran luker og avløpskanaler.

Faren for isbelegg på avløpsluker og i inntak på varegrind er særlig stor når det oppstår hvirvler. Større mengder underkjølt overflatevann kan da med strømhvirvlene bringes ned til store dyp.

Forholdene blir karakterisert med en del lysbilder fra kraftstasjoner med strømhvirvler ved inntaket.

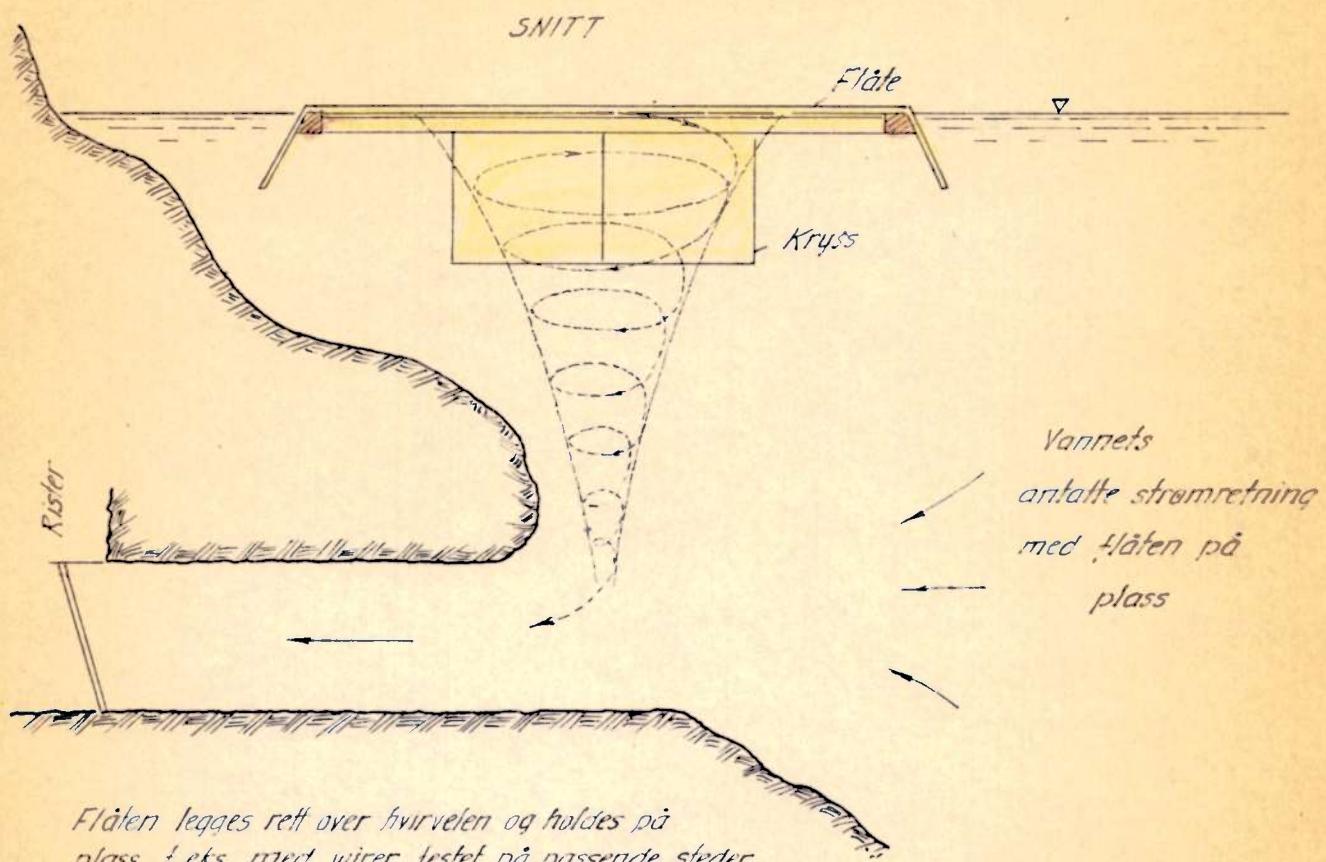
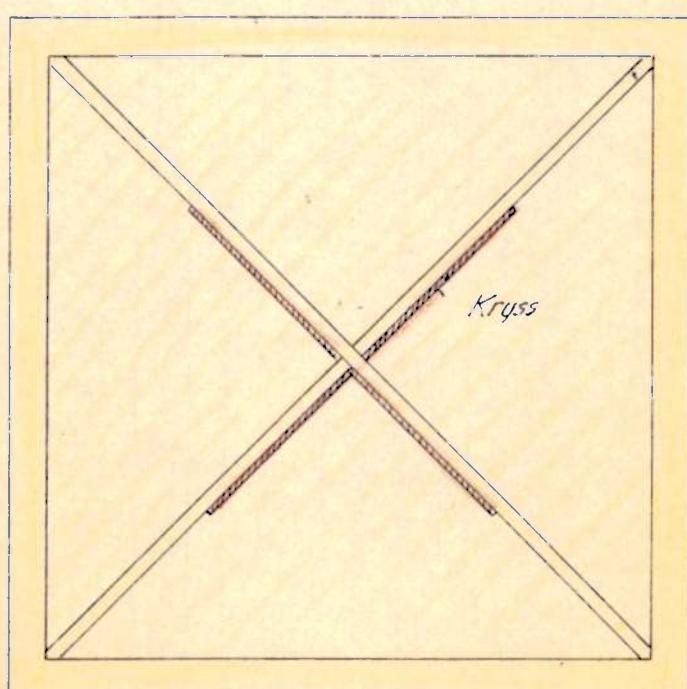
Erfaringer viser at ved anlegg hvor det oppstår isvansker p.g.a. strømhvirvler, kan dette muligens motvirkes med en spesiell flåte med skjermkanter og et kryss i midten som hindrer at underkjølt vann og kald luft suges ned i større dybde. På fig. 1<sup>1</sup> er gitt en skisse av en slik dypflåte eller "flytesopp".

Ved inntaket til Glomfjord kraftstasjon i Nedre Næversvatn ble det sommeren 1960 bygget en slik flåte og kraftverket melder at den hadde avverget isbelegg på grindene den siste vinteren.

Som kjent har vannet liten indre friksjon og derfor bøyer det lett av på forsiden av et legeme ved strømningen. Men det hefter seg fast til overflaten av legemet og når det av strømmen blir revet løs på baksiden, oppstår det et tomrom som blir fyllt av vann bakfra. På denne måten oppstår det hvirvler.

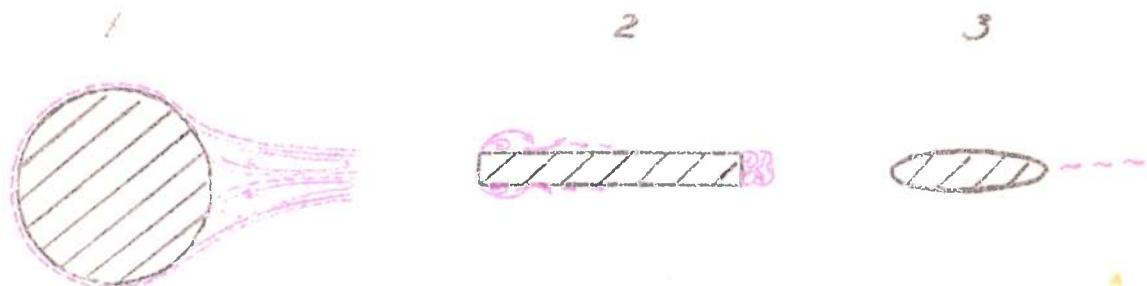
Hvirveldannelsen er i høy grad avhengig av strømhastigheten og legemets form. På fig. 1<sup>2</sup> er vist hvirvelbilder ved 3 forskjellige legemer i vannet.

## DYPFLÅTE (flytesopp) OVER ET INNTAK

**PLAN**

Flåtens størrelse avhenger av vassfløringen, dybden og inntakets form. I hvert tilfelle bør en eksperimentere seg fram til en passende størrelse.

På inntaket til Glomfjord kraftstasjon (vassfløring  $25\text{ m}^3/\text{sek}$ , dybde foran inntaket ved høyeste og red laveste reg. vst er henholdsvis 14 og 6 m), flåtens størrelse er  $5 \times 5\text{ m}$ . Materialer:  $2 \times 6"$  impregnerte planke



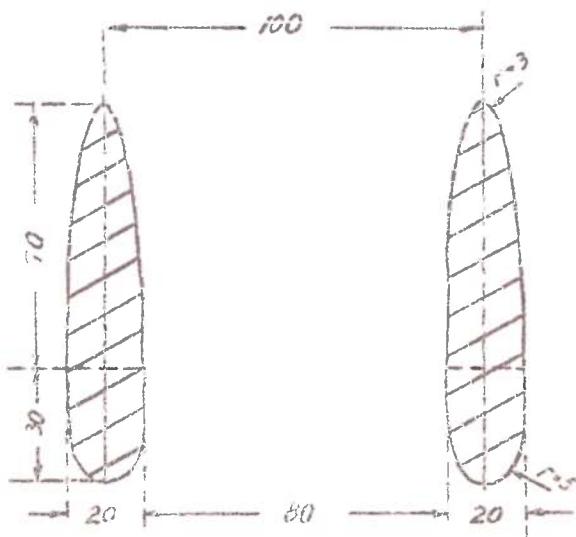
En sylinder med ström-hvirvler med middels sterk turbulens.

Strömhvirvler om en stav.

Ved et strömlinjeformet legeme er hvirveldannelsen minimal.

Som grindstaver brukes oftest flatt stål av 60-80 mm bredde i strömretningen. Stavene stilles ved siden av hverandre helt vertikalt eller i et plan som skråner litt bakover. Åpningen mellom stavene (lysåpning) er oftest 20-60 mm. Erfaringer viser at det er meget fordelaktig å bruke strömlinjeformete grindstaver. Videre er risikoen for isbelegg mindre hvis avstanden mellom stavene økes.

På følgende skisse fig. 1<sup>3</sup> er vist tverrsnittet av og avstanden mellom grindstaver som brukes mest ved russiske kraftverk.



Allt mål i cm

Det er interessant å nevne at grinder med staver av tre er langt mindre utsatt for isbelegg enn de vanligvis brukte stålstaver. Undersøkelser viser at isen ikke kleber seg like lett på alle slags materialer. Et russisk laboratorieforsök gir følgende resultater vedrørende isbelegg i gram pr. fl.enhet på forskjellige materialer:

Jern og stål	27
Aluminium	23
Glass	18
Tre (furu)	4
Ebonitt	2

Foruten tre og ebonitt danner disse stoffer gode isbeskyttende lag: kautsjuk, naturlig og kunstig vokz, stenkultjære, naftabitum, asfalt blandet med stenkultjære. Undersøkelser under naturlige forhold viser også at et tynt gummibelegg (t.eks. 3 mm tykt) på stavene reduserer isbelegget betydelig.

For å få et frosthindrende skikt på grindene anbefales brukt en vokskautsjukmaling, mens derimot malinger som inneholder metalloksyder på det mest bestemte frarådes.

Det bør nevnes at i faglitteratur er oppgitt at en etter en tids eksperimentering i Russland er kommet fram til en mer universal framgangsmåte til beskyttelse mot isbelegg i inntaket, nemlig å bruke polymere-kisel-organiske forbindelser.

Ved utbygging av inntaket blir det ofte vesentlig lagt vekt på å varme opp varegrindene for å unngå tilstopping med is. Dette skjer enten ved å lede elektrisk ström gjennom grindstavene eller med varmt vann.

Erfaringer fra de fleste kraftverk i Norge og i utlandet viser at det kan ledes elektrisk ström gjennom stavene så meget at isen hindres i å feste seg på selve grindene. Men det kan aldri bli tale om å tilføre så mye energi at en får varmet opp hele vannstrømmen som passerer varegrindene til over frysepunktet og ennå mindre få smeltet isen som allerede er dannet i vannet som følger med vannstrømmen eller har samlet seg opp foran grindene. Et overslag vil raskt vise at det ville kreves veldig varmemengder. T.eks. til å varme opp vann som er underkjølt til  $-0,05^{\circ}\text{C}$  så temperaturen kunne stige til  $0,0^{\circ}\text{C}$ , ville det kreves like stor effekt som den samme vassföring gir ved et fall på 21 m.

Ved anvendelse av oppvarmede varegrinder kan en bare delvis forhindre isdannelsen på stavene. Sarr og drivis som legger seg på grindene må hurtigst mulig fjernes av vaktmannskapet med t.eks. river.

Det beste forebyggende middel for å unngå isvansker er å bygge inntaket slik at underkjølt vann ikke kommer til, t.eks. et rommelig inntaksmagasin som kan legges med fast isdekke forholdsvis tidlig. Isdekket reduserer avkjøling av vannmassene og forebygger, eller i det minste minsker risikoen for at underkjølt vann kommer til inntaket.

Selv inntaket må bygges slik at det oppstår minst mulig hvirvling. Lengre inntakskanaler kan overdekkes for å minske avkjøling av vannmassene, særlig ved utstråling. Det må understrekkes at omrent halvparten av avkjølingen skjer ved utstråling. Etter vår mening vil effekten av en slik overdekking være større enn en sterk oppvarming av varegrindene. En slik overbygging er bygget over inntaket til Nedre Røssåga kraftverk hösten 1960.

## 2. Sarr- og drivisansamlinger i inntaksmagasinet og foran selve inntaket.

En elvs transportevne for grus og sand er som bekjent desto større jo større strømhastigheten er, og det samme gjelder for sarr og drivis.

Isansamlinger foran inntaket kan forårsake store vanskeligheter for kraftverkene våre da driften må reduseres betydelig eller stoppes helt. Særlig kraftverk med korte og grunne inntaksmagasin er sterkt utsatt for slike ulemper.

Noen eksempler fra Røssåga, Namsen og Glomma blir vist ledet med lysbilder.

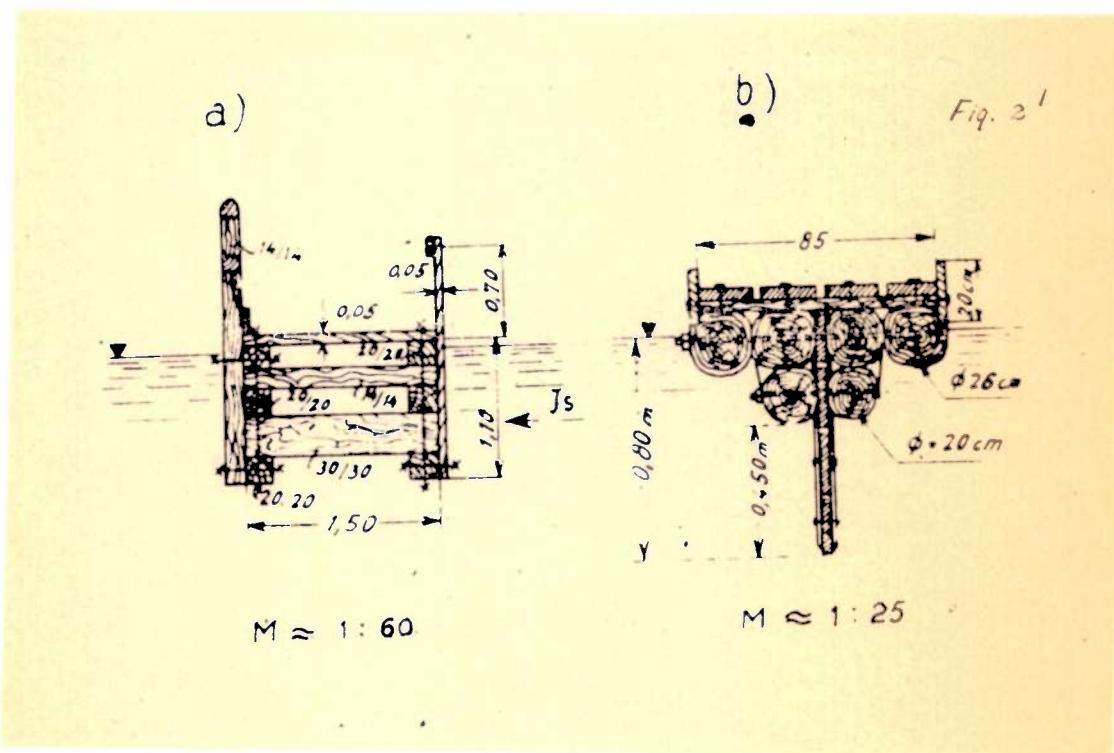
For kampen mot sarransamlinger foran inntaket er det enda ikke funnet noe tilstrekkelig rasjonelt middel. Dersom en i ett eller annet tilfelle har funnet og brukt en metode med godt resultat, kan en ikke gå ut fra at denne metoden vil være egnet i alle tilfeller.

Generelt kan en si at ved drift av kraftverk er det meget viktig å ta følgende forholdsregler mot isvansker.

a. Det er meget viktig at en sørger for at inntakamagasinet islegges snarest mulig. For å oppnå dette er det ofte hensiktsmessig å redusere vannforbruket ved kraftstasjonen i isleggingstida for å minsko ström hastigheten og dermed lette isdannelsen.

b. For å dempe bølgeslagene og for å stanse flykende sark bruker ofte lenser av forskjellige konstruksjoner. Lensene legges ut på passende steder like foran inntaket for å påskynde dannelsen av et sammenhengende isdekk. Er det først dannet en brem av is på 10-15 meters bredde vil faren for isbelegg undervanna være forbi.

På fig. 2<sup>1</sup> er vist noen eksempler på slike lenser.



c. Større isansamlinger i inntaksbassenget forekommer oftest i isleggings- og isløsningstida med isganger. Når ismassene kommer nær selve anlegget må en som regel regne med alvorlige vansker, da større isflak ofte blir presset mot anlegget. I slike tilfeller må anlegget være i stand til å holde tilbake ismassene eller føre dem over dammen.

Det bør nevnes at forskjellige tiltak er benyttet for å unngå slike isvansker t.eks. spesielle isluker eller andre anordninger for å lede isen over til siden. Også spesielle mekaniske grindrønskere må tas i bruk.

For å unngå istrøykhet anbefales å skjære ut en renne foran damanlegget eller å bruke t.eks. pressluft for å holde åpen råk.

### S. Forstyrrelser av avløpet ved sterk isproduksjon, sarr- og drivis- ansamlinger eller snöfonner i elveløpet.

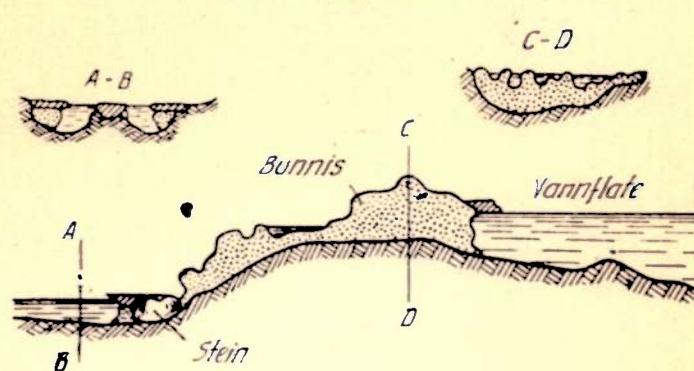
Hvis det ovenfor inntaksbassenget er en lengre åpen og sarrproduserende elvestrekning, t.eks. hvis det er lang avstand mellom regulermagasinet og inntaksbassenget kan isforholdene forverres betydelig etter en sterk regulering. De foretatte isundersøkelsjer i Nea, Hallingdalselva og i flere andre vassdrag viser at reguleringen kan forårsake isproduksjon av betydelig større dimensjoner enn tidligere, selv med en godt utjevnet vintervassföring. Forandringene avhenger i høy grad av elvas topografi og av værforholdene.

Vi har forsøkt å finne noen lokale botemidler mot isvansker i slike sarrförende vassdrag.

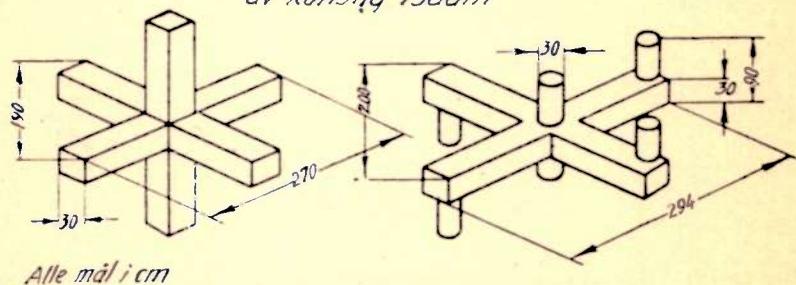
Erfaringer fra flere regulerte vassdrag viser at i sterkt sarrproduserende elver lønner det seg å bygge mer eller mindre solide permanente dammer i betong eller i lettere konstruksjoner. Slike dammer er i stand til å holde tilbake en god del flytende sarr og drivismasser og kan ofte stoppe større vinterisganger. Selvfølgelig kan slike dammer også utnyttes til kraftproduksjon etter behov.

I mindre fjellvassdrag med trangt elveleie kan isattholdsdammer bygges opp av rullestein eller løse ferdigstøpte betongblokker. Slike anordninger slipper vannet igjennom, men tetter om vinteren av is og danner en oppdemming ovenfor. På den oppdemte strekningen dannes da et fast isdekket og ovenfor utvikles det en isfront hvor isleggingen kan fortsette. Prinsippet er det samme som ved islegging under oppbygging av naturlige bunnisdammer. Fordelen ved kunstige dammer er at en selv kan velge plasseringen av dem med hensikt på å få gunstigere fordeling av ismassene og mest mulig unngå skadefirkninger.

På vedlagte skisse fig. 3<sup>1</sup> er vist betongfigurer (3-fötter) til framkalling av kunstig isdam.

Fig. 3<sup>1</sup>

Betongfigurer (3-fötter) til framkalling  
av kunstig isdam



Alle mål i cm

Vekt 1.7 tonn  
Volum 0.7 m<sup>3</sup>

I ismøelveler kan en bruke  
blokker av mindre dimensjoner

Merknad: Betongen som benyttes til stepingen, lages av  
så god kvalitet at den kan motstå frostens  
farende virkninger

Som provisoriske tiltak for å stanse sarr og drivis kan nevnes forskjellige slags sperrer. T.eks. anbefaler russerne å bruke lette nettsperrer eller såkalte "metallpinnsvin".

Noen lysbilder av slike anordninger blir vist.

Sammenfattende kan en si at den beste måte å unngå isvansker på er at reguleringen og utbyggingen av et vassdrag foretas i en rasjonell rekkefølge eller helst utbygges helt.

Av økonomiske grunner utnyttes ofte de mest fordelaktige fallstrekninger i et vassdrag først. Dette kan ofte føre til så store isvansker med skadefinninger og ulemper for selve driften av kraftverk og bebyggelsen at en for å bedre forholdene allikevel må gå til videre utbygging av vassdraget som t.eks. i Namsen, i Nea, Glomma og Hallingdalsvassdraget.

En kort orientering om disse blir lagt fram.

FORSLAG til ÅTGJERDER mot ISVANSKER ved  
NEDRE RÖSSÅGA KRAFTSTASJON

Innhold:	Side:
A. OVERSIKT over VASSDRAGET og kort ORIENTERING om UTBYGGINGEN	1
B. LITT GENERELT om ISPRODUKSJON i et VASSDRAG	7
a. Avkjøling av vannmassene og isdannelse	7
b. Sammenheng mellom vanntemperatur og strømhastighet	10
C. BESKRIVELSE av ISFORHOLDENE	11
1. Isforholdene i Rössåga på strekningen mellom Rössvassdam og Fallfossdam under nåværende forhold	11
2. Isforholdene på Stormyra-magasinet etter full utbygging av vassdraget	12
D. Om TILTAK for å HINDRE ISVANSKELIGHETER som OPPSTÅR ved INNTAKET til NEDRE RÖSSÅGA under NÅVÆRENDE FORHOLD. FORSLAG til OVERBYGGING av INNTAKET	14

Oslo, juli 1960.

## A. OVERSIKT over VASSDRAGET og kort ORIENTERING om UTBYGGINGEN

Oversiktskart over Rössåga-vassdraget og lengdeprofil av Rössåga er vist henholdsvis på fig. A-1 og A-2. Dybdekart over Rössvatn se fig. A-3.

Rössågas nedbørfelt er nesten firekantet: Störste lengde er på 68 km og störste bredde ca 50 km. Nedbørfeltet til Rössvatn är på 1415 km<sup>2</sup>, ved utlöpet av Lille Tustervatn ca 1500 km<sup>2</sup> till Rössåga vid Fallfoss ca 1800 km<sup>2</sup>, ved Sjöfoss 1880 km<sup>2</sup> och ved utlöpet i havet ca 2100 km<sup>2</sup>. Sjöarealer utgör ca 13 % och brearealer ca 4 % av hele nedbørfeltet.

De största bielver till Rössåga är: Bleikvassselv (h) med nedbørfelt ca 200 km<sup>2</sup> och Leirelv (h) ca 170 km<sup>2</sup>.

Morfometriske data för Rössvatn är oppgitt på fig. A-3.

Mellan Rössvatn och Tustervatn är det en ström på ca 600 m som kallas Straumen.

Tustervatn har store grunne partier. Djupålen är i övre och nedre del mellan 5 och 6 m dyp. Midtpartiet går ned till 44 m. Fullständig dybdekart mangler.

Den nedersta delen av Tustervatn är mer avstängt genom en innsnevring och kallas Lille Tustervatn.

Efter fallforholdene kan Rössåga i store strekk delas inn i 4 partier:

1. Den övre delen från utlöpet av Lille Tustervatn till foten av Storfossen, en ca 10 km lång streckning med et samlet fall på ca 125 m. Fallet är samlet i flera fallkomplekser med mellanliggande kortare eller längre stilla partier med varierande bredder och dybdeforhold.

2. Stormyra, en ca 6 km lång streckning mellan foten av Storfossen till toppen av Fallfossen. Fallet på denne strekningen är bara ca 25 cm pr. km. Elvelöpet är forholdsvis grunnt och mycket forgrenat.

3. Midterste streckning från toppen av Fallfoss till Korgen är på ca 12 km med samlet fall på ca 245 m. Också på denne strekningen är fallet samlet i flera fallkomplekser med mellanliggande stilla partier. Et av disse fallene, Stabbfoss med 40 m fall, är utbygd.

4. På det nederste ca 13 km lange elvepartiet er fallet bare 20 cm pr. km. Elva renner i en bred og dyp dalbunn og er innenfor tidevannsområdet.

Det er foretatt luftfotografering av hele vassdraget. Fra flyfotoene er bredden av elvesengen målt ut og flaten av Rössåga på strekningen mellom Lille Tustervatn og Fallfossen beregnet. Måleresultatene er samlet i følgende tabell:

**Fallfordeling, elvas bredde og arealer for Rössåga  
på den ca 16 km lange strekningen mellom  
Lille Tustervatn og Fallfossen.**

Sted	Avstand fra havet i km	Høyde i m o.h.	Elve- strekn. i km	Fall m/km	Elvas bredde i m	Flate i dekar
	44	370				
Elvestrekningen mellan Lille Tustervatn og Tuven			1,0	10	70-100	ca 90
Tuven	43	360	2,0		200-600	800
	41					
Elvestrekningen mellan Tuven og Tusten			0,7	75	40-60	35
Tusten	40,3	315	0,3		100-300	60
	40					
Elvestrekningen mellan Tusten og det stille partiet ved Bygdås			1,2	21	40-70	ca 70
	38,8					
Elveparti ved Bygdås		290	2,5		150-200	ca 500
	36,3					
Elvestrekningen fra Bygdås til foten av Storfossen			3,5	13	60-100	280
	32,8					
Stormyra		245	5,0		100-200	ca 800
	27,8					
Elvestrekningen til Fallfossen			1,0	8	60-80	ca 70
	26,8	237				
			17,2			ca 2705

En vil se av tabellen at den utmålte flate for denne strekningen er på ca 2700 dekar.

På den midterste strekningen fra toppen av Fallfoss til Korgen er overflaten ca 1200-1500 og på den nederste strekningen mellom Korgen og havet er elvas overflate ca 2000 - 2500 dekar.

OVERSIKTSKART  
over  
**ROSSAGA - VASSDRAGET**

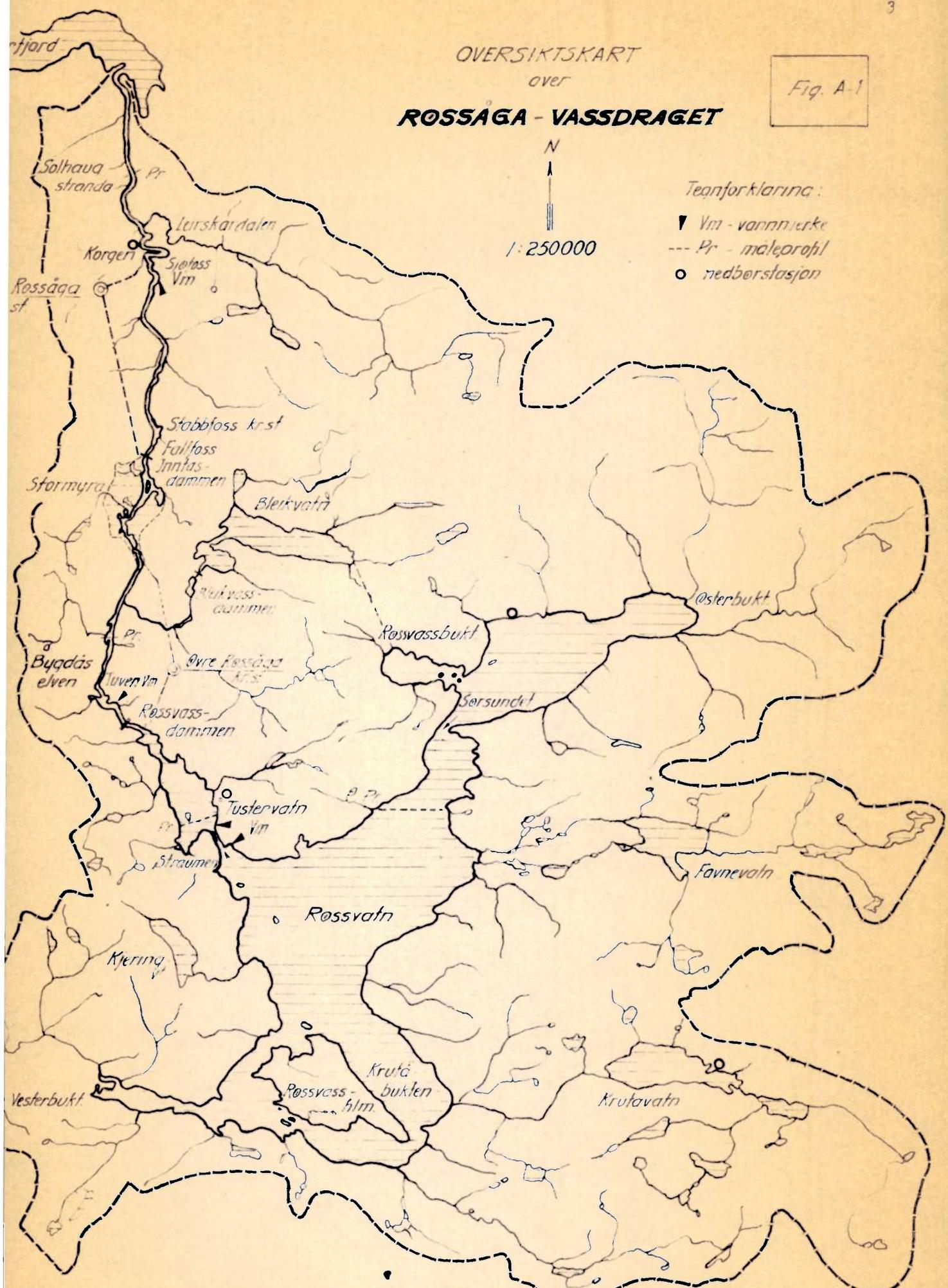
Fig. A-1

N

1:250000

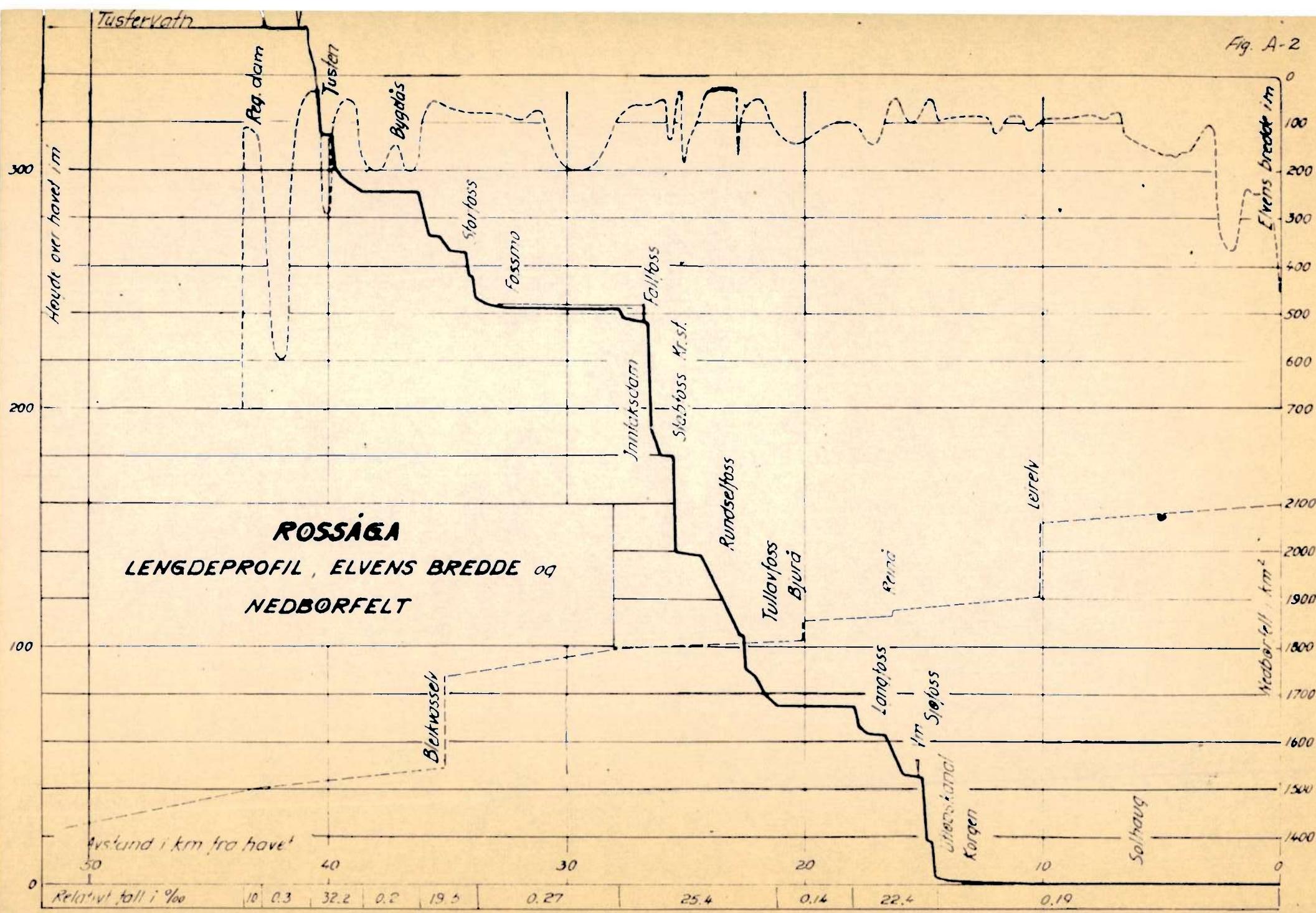
Tegnforklaring:

- ▼ Vm - vannmerke
- Pr - måleprofil
- nedbørstasjon



Tusferkath

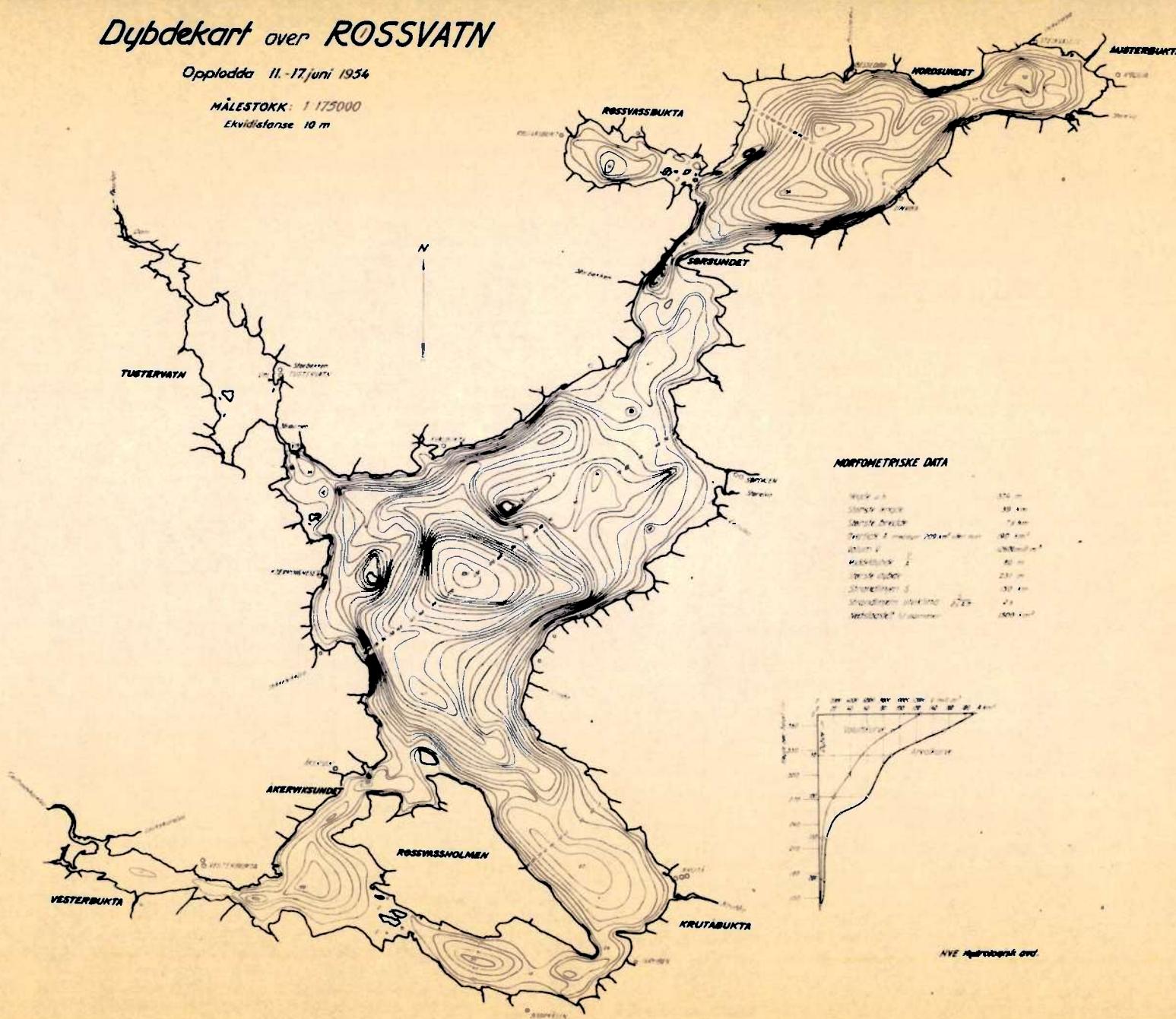
Fig. A-2



# Dybdekart over ROSSVATN

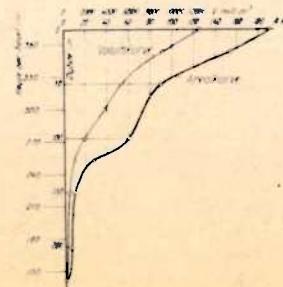
Oppdrødd 11.-17.juni 1954

MÅlestokk: 1:175000  
Ekvidistansse: 10 m



## MORFOMETRISKE DATA

Ytre dybde	374 m
Sjøbunns dybde	39 m
Sjøbunns dybde	79 m
Bredde A, maksimal 200 km², min. 100 km²	107 km²
Areaal A	1000 km²
Ytre dybde	374 m
Bredde B, maksimal 200 km², min. 100 km²	107 km²
Ytre dybde	237 m
Bredde C	37 m
Ytre dybde	27 m
Verdensrekord i dybde	1000 km²



NVE Hydrografisk avdeling

Om utbyggingen av vassdraget foreligger følgende opplysninger:

Reguleringsdammen ved utløpet av Lille Tustervatn demmer opp Tustervatn og Rössvatn til kote 383,4. Ved regulering mellom kotene 383,4 og 370,7 gir det et magasin på 2100 mill. m<sup>3</sup>. Tappingen foregår gjennom 3 bunnluker 4,7 x 3 m. Dammen ble fullført høsten 1957.

Inntaksdammen til Nedre Rössåga Kraftverk er bygd på toppen av Fallfoss, like nede. Stormyra. Den er en massivdam i betong med en flomluke. Dammen ble tatt i bruk høsten 1957. Vannet ble demt opp til kote 247,9 og ca 5000 mål av Stormyra ble satt under vann. Den gir et inntaksmagasin på ca 20 mill. m<sup>3</sup>.

Som inntak ble sprengt en ca 120 m lang, 20 m bred og ca 6 m dyp kanal. Varegrind er bygd i enden av kanalen.

Tillöpstunnelen er ca 7500 m lang og har et tverrsnitt på 65 m<sup>2</sup>. Tunnelen i fordelingsbassenget deler seg i to til hver lukesjakt og avslagskammer. Venstre lukesjakt har luker for to, høyre for en rørledning. Etter lukene følger finvaregrind og i ventilkammeret en automatisk ventil på hvert rør.

Kraftstasjonen med 6 aggregater er bygd inne i fjellet. 1. og 2. aggregat ble satt i gang i mai 1955 og den 3. maskin i oktober 1955. Våren 1958 var kraftstasjonen fullstendig utbygd og alle 6 aggregatene i drift.

Fra undervannskammeret føres vannet gjennom en 67 m<sup>2</sup> og 2,7 km lang tunnel og en ca 400 m lang kanal ut i Rössåga igjen.

Elvestrekningen mellom Fallfossen og Korgen er nærmest törrlagt.

Övre Rössåga Kraftverk er under bygging. Det skal utnytte fallet fra Tustervatn til Stormyra. Brutto fallhøyde for anlegget er 125 - 139 m.

Inntaket er lagt i Tustervatn i en bukt som utdypes med en kanal. Tillöpstunnelen blir ca 2780 m lang med tverrsnitt 65 m<sup>2</sup>.

Også denne kraftstasjonen er lagt inne i fjellet.

Avlöpstunnelen er ca 4600 m lang og den munner ut i Stormyra like nedenfor foten av Storfossen.

Med utbyggingen av Övre Rössåga blir også elvestrekningen mellom Rössvassdammen og Stormyra nærmest törrlagt. Til full utbygging av anlegget hører også overføring av Bleikvatn til Rössvatn.

## B. Litt GENERELT om ISPRODUKSJON i et VASSDRAG.

Det er to ting som er avgjørende for isproduksjonen, nemlig vanntemperaturen og vannhastigheten. Isdannelse kan først finne sted når vannet er avkjølt til null grader, og når det er oppnådd vil arten av isproduksjonen avhenge av vannhastigheten.

### a. Avkjøling av vannmassene og isdannelse.

Erfaringer viser at temperaturen til magasinvannet hovedsakelig avhenger av vind og værforhold i tida før isen legger seg. Wind og bølger skaper ström og omröring i vannet. Jo mer vind det er før isen legger seg desto lavere blir vannets temperatur. Et det derimot rolige værforhold i tida før isleggingen begynner, vil vanntemperaturen i magasinet bli höyere. När isen har lagt seg blir vannmassene beskyttet mot omröringen og temperaturen forandres praktisk talt ikke mer før innstrålingen etter hvert begynner å bli merkbar i mars - april.

Selve isleggingen er et resultat av en sammensatt varmeutveksling mellom vann og luft.

Varmetapet foregår fra vannoverflaten og hovedsakelig ved:

1. Varmeutsstråling (usynlig) mot atmosfæren, skyene og verdensrommet.

2. Fordunsting og varmeutveksling med luften (konveksjon).

Varmeförsel til et vassdrag kommer hovedsakelig ved:

3. Innstråling fra sol og dagslys.

4. Oppvarming av vannet i en elv ved omsetting av fallenergien.

5. Tilförsel av varmere grunnvann og gjennom varmeledning fra bunnmateriale.

Størrelsen av varmeprosessene kan beregnes ved hjelp av dr. Olaf Devik's formler.<sup>+)</sup>

<sup>+) Jfr. avhandling i Geofysiske Publikasjoner Bd IX nr. 1, Oslo 1931.</sup>

Sammenfattende kan en si, at når kulden setter inn i begynnelsen av vinteren i november-desember, er varmetapet helt dominerende og starter oppsamlingen av is i vassdraget. På ettervinteren i mars-april vil etterhvert varmetapet i isen bli dominerende.

I det følgende er gitt et par typiske tall som er hensiktsmessige for overslagsregninger over totalt varmetap ved sterk og ved middels kulde.

Ved sterk kulde (f.eks. lufttemperatur omkring -20°C, svak bris og klart vær), må en regne med et varmetap fra åpent nullgraders vann eller tynn is på:

Ca 100 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.

Ved middels kulde (f.eks. lufttemperatur omkring 7-8 kuldegrader, stille, klart, eller ved samme temperatur, men overskyet og la er bris), er varmetapet fra åpent nullgraders vann eller tynn is:

Ca. 50 kilokalorier pr. sek. pr. dekar.

For å frysse 1 kg vann til is må det avgis 80 kilokalorier og vi ser av tallene at det ved sterk kulde kan produseres:

$100 : 80 = 1,25 \text{ kg is pr. sek. pr. dekar.}$

Dette er meget betydelige ismengder. Således blir det for døgnet 125000 kg is pr. dekar, når vannet er åpent og holder null grader. På en åpen elvestrekning av 1 km lengde og 100 m bredde vil det da pr. døgn produseres vel 12 mill. kg is. En åpen elvestrekning er derfor en meget effektiv produsent av is i løpet av vinteren.

Fra et isdekket er varmetapet til luften praktisk talt det samme som fra nullgraders vann så lenge isdekket er tynt. Men etter hvert som det vokser i tykkelse vil isens overflate bli kaldere og kaldere og varmetapet vil avta.

Aller sterkest virker et snöfall til å nedsette varmetapet.

I følgende tabell er det oppgitt størrelsen i dekar av den vannflate (kjøleflate) som trengs for å avkjøle en vannström på f.eks. 10 m<sup>3</sup>/sek. så meget at temperaturen synker 1°C (f.eks. fra 1°C til 0°C), for noen få karakteristiske verdier av lufttemperatur, vind og skydekke etter Deviks formler:

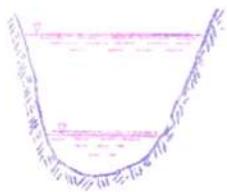
Kjøleflate i dekar som trengs for å senke vann-temperaturen 1 °C ved vassföring 10 m<sup>3</sup>/sek.

Skydekke (0-10)	Vindhast. m/sek.	Lufttemperatur °C			
		0	-10	-20	-30
Klart (0)	1	300	150	100	80
	5	290	110	70	50
Delvis skyet (5)	1	520	190	120	90
	5	470	125	80	60
Overskyet (10)	1	ca 1800	250	145	100
	5	" 1300	150	85	70

For en avkjøling på 1°C av en vannmengde på f.eks. 80 m<sup>3</sup>/sek. trengs det en kjøleflate ved middels sterk kulde ca 900 - 1200 dekar, ved sterk kulde ca halvparten av dette.

Tallene kan også omregnes til en sammensatt flate som består av en åpen vannflate + en isflate. Fra sistnevnte er varmetapet bare en brøkdel av førstnevnte. Dette må en ofte gjøre ved en nøyere vurdering.

Ved den økte vintervassföring som en oppnår ved regulering, kan isproduksjonen tilta betydelig. Dette avhenger i høy grad både av elvas lengdeprofil og tverranitt. Varmeavgivelsen øker proporsjonalt med overflatearealet, mens den dynamiske oppvarming øker med vassföringen. Et viktig spørsmål blir da hva som øker mest, varmetap eller varmetilförsel.



Med et tverrprofil som dette vil elvas overflate endres lite ved økt vassföring og varmeovergangen blir lite påvirket. Den dynamiske oppvarmingen ved fallet vil øke betydelig.

Ved tverrprofil som dette derimot vil en få stor økning av avkjølingsflaten, dvs. stor isproduksjon.

Jo mer islagt elva blir, desto mindre utsatt blir også vannet for avkjølingen. Den første kuldeperioden om høsten bringer derfor som regel de største ulemper p.g.a. stor isproduksjon.

b. Sammenheng mellom vanntemperatur og ström hastighet.

Våre undersøkelser i flere forskjellige, både uregulerte og regulerte vassdrag, viser at strömmens evne til å tære på isen eller til å holde en råk åpen i kaldt vær, avhenger av strömmens hastighet og vann-temperatur, f.eks.:

<u>Ström hastighet m/sek.</u>	<u>Kritisk vanntemperatur °C</u>
0,2-0,3	ca 0,20 °C
ca 0,4	0,06 "
" 0,6	0,02 "
over 0,8	0,01 "

Øker ström hastigheten p.g.a. en regulering til f.eks. 0,6 m/sek, vil strömfaret holde seg åpent, selv om vannet bare har en temperatur på ca 0,02 °C. Ved enda større ström hastighet, f.eks. 1 m/sek. eller mer, er den kritiske overtemperatur ikke mer enn noen tusendels grader. En vintertapping som lokalt øker ström hastigheten over denne kritiske grense vil kunne forårsake at elva der blir gående åpen og dette vil da medføre isproduksjon i form av bunnis og sarr så lenge kulden varer.

Videre viser erfaringen at en har en kritisk overflatehastighet i en åpen elv på ca 0,6 m/sek. Drivende sarr og isflak vil ved større ström hastighet ikke feste seg til strandkantene og heller ikke stoppe mot en isfront, men dukke under isen og fortsette under isdekket til de blir avleiret på nedenforliggende strök hvor ström hastigheten er mindre. Dette fører til store drivis- og sarransamlinger, særlig i de nederste, slakte partiene i et regulert vassdrag.

## C. BESKRIVELSE av ISFORHOLDENE

### 1. Isforholdene i Rössåga på strekningen mellom Rössvassdam og Fallfossdam under nåværende forhold.

De foretatte vanntemperaturmålingene viser at tappevannet fra magasinet i isleggingstida holder bare få tiendels grader over null. På den ca 10 km lange strekningen fra dammen til Stormyra har elva et samlet fall på ca 125 m. Under vannets passasje nedover blir det potensielle energi omsatt til varme og vannmassene vil få en temperaturøkning på ca  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Dette kommer i tillegg til den temperatur vannet har ved utløpet av magasinet.

Som en ser av tabell kap. A i oversikten har denne elvestrekningen en flate på ca 1000 dekar. Denne er tilstrekkelig til å fjerne vannets overflatetemperatur i sterkt og middels sterkt kulde, og en betydelig isproduksjon foregår før isforholdene stabiliserer seg.

Her kommer den andre faktor - øket ström hastighet - inn.

Med full drift ved kraftstasjonen overstiger ström hastigheten på nesten hele denne strekningen den forannevnte kritiske hastighet. Sarr og drivis føres nedover inntil ström hastigheten blir såpass moderat at sarret kan avleires under "istaket".

Alt i alt er isforholdene på denne fallstrekningen ovenfor Stormyra sterkt utsatt for værforandringer, særlig i første del av vinteren. Ved omslag til mildvær av noen varighet kommer varmeproduksjonen i fallene som et effektivt tillegg til den varmemengden vannet har fått overført fra magasinet og den som skyldes luft-innvirkning. Resultatet blir at elva da renskes for is. Senere på vinteren stabiliserer isforholdene seg etter hvert og værforandringene har mindre innvirkning.

Etter oppdemmingen er Stormyra gjort til inntaksmagasin for kraftverket med en overflate på vel 5000 dekar og rominnhold på ca 20 mill.  $\text{m}^3$ . Vanndybden ved fullt magasin er blitt mer enn fordoblet i forhold til før, ström hastigheten er minsket, og betingelsen for normal isvekst skulle være til stede. Men største delen av magasinet er gitt og hovedstrømmen er derfor fremdeles samlet i en del av den gamle elvesengen. Når vassføringen går opp til 90  $\text{m}^3/\text{sek}$ . og magasinet er noe senket, slik som det var tilfelle siste vinteren, går strömdraget for det meste åpent og store ismengder blir ført nedover mot inntaket. Isen legger seg på den måten at flytende sarr og drivis stanses mot nedenforliggende iskant, så isdekket vokser oppover.

Etter de foretatte observasjoner og undersøkelser kan en konstatere følgende:

1. Under langvarig kulde og vind avkjøles vannmassene i Rössvatn i en forholdsvis stor dybde. En vedvarende vind fra østlig og sydøstlig kant fører en jevn ström av det kalde overflatevannet gjennom Straumen inn i Tustervatn og videre gjennom Sundet inn i Lille Tustervatn og rett mot Rössvassdammen. Under slike forhold er tappevannets temperatur i isleggingstida meget lav. (F.eks. viste målinger den 7/12 1959 bare 0,05°C.)

2. Under kuldeperioder foregår det på størsteparten av elvestrekningen nedenfor dammen en betydelig isproduksjon ved kjøring, så elveleiet blir mer eller mindre fullt av sarr og isflak. Ved full regulering ligger ström hastigheten betydelig over den kritiske og sarr og drivis føres nedover i inntaksmagasinet på Stormyra.

Inntaksmagasinet er grunt og gir en meget effektiv avkjøling av vannmassene. Hovedstrømmen er samlet i området langs det gamle elveleiet og fører sarransamlinger lenger nedover mot selve inntaket.

## 2. Isforholdene på Stormyra-magasinet etter full regulering av vassdraget.

Etter at Øvre Rössåga Kraftverk blir satt i drift vil isforholdene i inntaksmagasinet forandres vesentlig, da vannet skal føres i tunnel fra reguleringmagasinet helt til Stormyra. Elvestrekningen fra Rössvassdammen og nedover til foten av Storfossen vil bare få det lokale tilsig.

Det blir temperaturen av avløpsvannet fra turbinene som vil få mest å si for isforholdene på den øverste del av Stormyra-magasinat.

Når vannet passerer turbinene, avgir det ca 90 % av sin energi som nyttbart arbeid, mens omrent 10 % omsettes til varme i vannet. Det vil i dette tilfelle si at vannet får en oppvarming på bare få hundredels grader, og dette vil ikke spille noen merkbar rolle på isforholdene. Videre beregninger må da bygges på at avløpsvannets temperatur fra Øvre Rössåga Kraftverk stort sett blir den samme som avløpsvannet fra Rössvassdammen har under nærværende forhold.

Ved full belastning vil det gå en ström på 80 m<sup>3</sup>/sek. med betydelig fart ut i inntaksmagasinet til Nedre Røssåga Kraftstasjon. Hvis en er oppmerksom på at dette er det samme som at 80 tonn vann kommer ut i sjøen pr. sek, vil en letttere forstå at store vannmasser må settes i bevegelse når den sterke strömmen skal bremses ned. Vannströmmen blir årsak til en betydelig blandings- og bremsesone med strömhvirvler, dvs. strömninger vil strekke seg ikke bare i overflatelaget, men setter også dypere lag i bevegelse og vil føre til en utjevning av temperaturforskjeller. Det fjernes da varme fra selve vannströmmen. Dessuten vil avkjölingsflaten bli betydelig øket.

Av tabellen fra avsnitt B, punkt a kan en se at jo sterkere kulden er desto mindre kjøleflate trengs det for å senke temperaturen til vannet. Det samme gjelder for økende vind, og for avtakende skydekke. F.eks. for det som en regner for streng kulde, vil kjøleflaten i øvre del av Stormyra være omkring 50-100 dekar, og for middels kulde vil den ligge omkring det dobbelte, for en senkning av vanntemperaturen med 1°C. Tabellen er satt opp for en vassföring på 10 m<sup>3</sup>/sek. Til en vassföring på f.eks. 80 m<sup>3</sup>/sek. vil tallene øke tilsvarende.

Som før nevnt er Stormyra-magasinet grunt og hovedströmmen er samlet i området langs det gamle elveleiet. Det er da rimelig å anta at det ved vanlig drift av Övre Røssåga Kraftstasjon vil bli et åpent strömdrag i inntaksmagasinet til Nedre Røssåga på en ca 2 til 4 km lang strekning, og muligens større eller mindre råker i strömfaret også lengre nedover, avhengig av kulden og dens varighet og vannforbruket ved kraftstasjonene. En må f.eks. være forberedt på at på det innsnevrete parti ca 1 km ova. Fallfossdammen vil det antekelig bli en råk av varierende størrelse hele vinteren igjennom.

Alt i alt kan en si at det bare vil bli lokal isproduksjon i inntaksmagasinet, men denne vil kunne bli stor under særlig ugunstige værforhold. En kan sammenlikne isforholdene med dem en til nå har hatt ved Bygdås.

D. Om TILTAK for å HINDRE ISVANSKER som OPPSTÅR ved INNTAKET til NEDRE RÖSSÅGA under NÄVÄRENDE FORHOLD

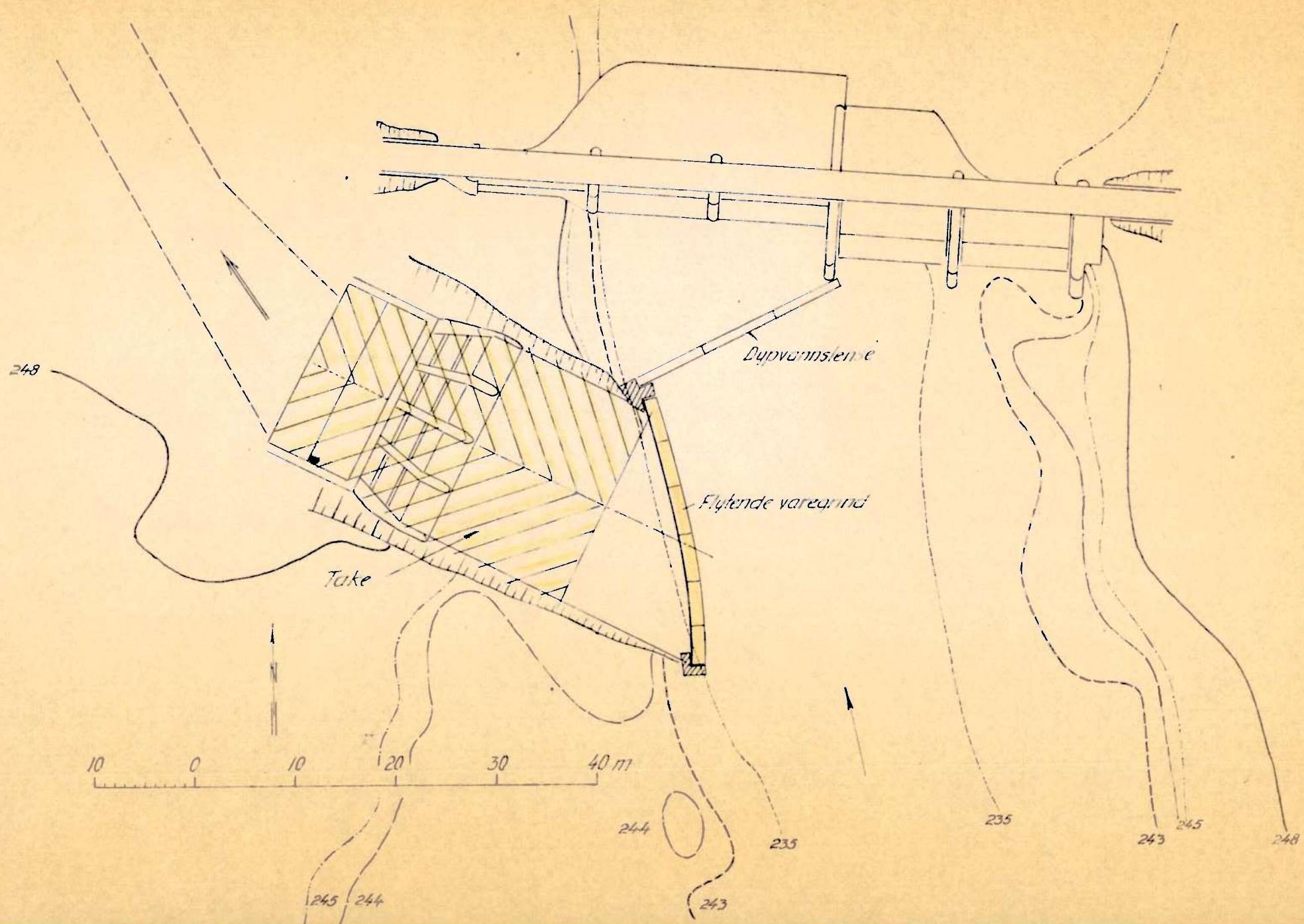
Allerede erfaringene fra den gamle Stabbfoss kraftstasjon, fra isvansker i Ranaelv og fra andre anlegg i Nordland og Troms, viste at en ved prosjekteringen av inntaket til Nedre Rössåga måtte legge stor vekt på å hindre driftsvansker.

Ved utbygging av inntaket ble det vesentlig lagt vekt på å varme opp varegrindene for å unngå tilstopping av isnåler. Erfaringer fra de fleste kraftverk her i landet og i utlandet viser også at det kan ledes elektrisk ström gjennom stavene så meget at isen hindres i å feste seg på selve grindene. Men det kan aldri bli tale om å tilføre så meget energi at en får varmet opp hele vannstrømmen som passerer varegrindene til over frysepunktet og ennå mindre få smeltet isen som allerede er dannet i vannet og følger med vannstrømmen eller har samlet seg opp foran varegrinden. Et overslag vil raskt vise at det ville kreves veldig varmemengder. F.eks. til å varme opp vann som er underkjølt til  $-0,05^{\circ}\text{C}$  så temperaturen blir  $0,0^{\circ}\text{C}$ , ville det kreves like stor effekt som den samme vassföringen gir over et fall på 21 m.

Under de nävärande forhold er faren for isvansker särskilt stor när det kommer stark, kald östavind om hösten för isleggingen i inntaksmagasinet är kommet i gång. Selve inntaket är utbygd med en lång och träng kanal hvor östavinden står inn kanalen. Det är då närmast umulig å unngå att underkjølt vann och sårpartikler strömmar gjennom grindene.

Etter full utbygging av vassdraget vil isforholdene antagelig bli noe lettere i isleggingstida om hösten, men under spesielt ugunstige værforhold vil uvanlig sterkt isproduksjon kunne skaffe isvansker flere ganger i løpet av vinteren. Dette har en erfaring fra flere kraftstasjoner i kystvassdragene i Trøndelag og på Vestlandet.

Etter de foretatte observasjoner i dette vassdraget og erfaringer fra andre vassdrag vil vi få komme med følgende forslag til forebyggende tiltak ved inntaket til Nedre Rössåga kraftstasjon. (Se fig. D-1.)



1. Inntakskanalen overdekkes for å minske avkjølingen av vannmassene, særlig ved utstråling.

Det må understrekkes at omtrent halvparten av avkjølingen skjer ved utstråling. Etter vår mening vil effekten av en slik overdekking være større enn oppvarmingen av varegrindene. Den elektriske strømmen kunne bedre anvendes til glödelamper under taket over kanalen, som ikke må legges for høyt over vannflaten.

2. Av hensyn til sarr- og drivisansamlinger må det bygges en grov varegrund foran inntakskanalen.

Hensikten med en slik varegrund må være først å kunne lede bort drivisen og senere få den til å stanse opp og etter hvert denne et fast isdekke. Det er av stor betydning at vannhastigheten mellom stavene i varegrinden ikke overstiger ca 0,5 m/sek., og flaten på grinden må derfor være størst mulig. Hvis flaten ikke blir stor nok selv om grinden blir lagt sterkt på skrå, kunne den legges i bue utover mot strömretningen. Selve den tekniske utførelsen må knyttes til nærmere undersökelse av lokale forhold.

Grindstavene bør være av tre, da disse vil være mindre utsatt for isbelegg enn tilsvarende av jern, og avstanden mellom dem kan være fra 10 til 20 cm. De bør rekke ca 0,5 m over vannflaten og ca 3 m under, men behöver altså ikke rekke til bunns.

3. Det bør legges ut en dypvannslense.

For å hindre at de ismassene som ikke stanser opp mot grinden skal dukke under denne må en ved en dypvannslense söke å lede en del av ismassene ut fra bassenget inntil isforholdene har stabilisert seg. Lensen må gå på skrå fra varegrinden til overløpet (Fallfossdammen).

Oslo, juli 1960.

Olaf Devik

Edvigs V. Kanavin