

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

O - 68/68

VURDERING AV INDUSTRIVANNFORSYNING  
FOR  
ALUMINIUMSANLEGGET LISTA

Saksbehandler: Cand.real. Jon Knutzen  
Rapporten avsluttet januar 1970

INNHOOLD:

	Side:
FORORD	4
1. INNLEDNING	5
2. KRÅKENESVATNET OG HANANGERVATNET	5
2.1 Generelle forhold	5
2.2 Kjemiske og fysiske forhold	6
2.3 Biologiske forhold	8
2.3.1 Undersøkelse av planktonsamfunnene og strandvegetasjonen	8
2.3.2 Sestonundersøkelse	10
2.3.3 Vekstforsøk	12
2.4 Oppsummering og diskusjon av limnologiske data i relasjon til virkningen av regulering og tilbakeføring av kjølevann	12
2.4.1 Virkninger av vannstandsregulering og fjerning av vann	12
2.4.2 Virkninger av tilbakeføring av kjølevann	14
2.4.3 Beliggenheten av steder for inntak og utslipp av kjølevann	16
3. MULIGHETENE FOR TETTING AV DYSENE I KJØLEVANNSYSTEMET	18
3.1 Vannets partikkelinnhold, silforsøk	18
3.1.1 Teori	18
3.1.2 Metodikk	19
3.1.3 Resultater	20
3.2 Begroing i kjølevannssystemet	23
3.3 Diskusjon	24
4. MULIGHETENE FOR KORROSJON	27
5. VIDERE ARBEID	28
6. KONKLUSJONER	29
7. LITTERATUR	31

TABELLFORTEGNELSE:

	Side
1. Høyere vegetasjon i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet i juli 1969	10
2. Resultater av filtreringsforsøk med duk nr. 74 og 31 (maskeåpning 250, 500 $\mu$ ). Filtreringshastighet 100 m/time	20
3. Fysiske og kjemiske forhold i Kråkenesvatnet 16/4 og 9/7 1969	35
4. Fysiske og kjemiske forhold i Hanangervatnet 16/4 og 9/7 1969	35
5. Plankton i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet 16/4 og 9/7 1969	(36 (37 (38

FIGURFORTEGNELSE:

1. Kråkenesvatnet. Dybdekart. Morfometriske data	32
2. Arealkurve for Kråkenesvatnet	33
3. Prinsippskisse av forsøksapparatet (silforsøk)	34

## FORORD

Etter henvendelse fra Mosjøen Aluminiumsverk, Elektrokjemisk Aluminium A/S & Co. 15. oktober 1968 påtok Norsk institutt for vannforskning seg å vurdere bruken av Kråkenesvatnet som kjølevannsforsyning for Aluminiumsanlegget, Lista.

Bruken av Kråkenesvatnet for kjølevannsførmål vil ha innvirkning på forholdene både i denne innsjøen og i det sammenhengende Hanangervatnet. Ved siden av å vurdere nåværende og fremtidig vannkvalitet i relasjon til bedriftens behov, har det derfor vært aktuelt å skaffe et naturvitenskapelig grunnlag for bedømmelsen av eventuelle konsekvenser for naturforholdene og ulike interesser knyttet til vannforekomsten.

Ved instituttet har sivilingeniør Ole Jacob Johansen stått for gjennomføringen av silforsøkene, mens korrosjonsproblemene er vurdert av cand.real. Hans Kristiansen.

Dybdekartet over Kråkenesvatnet bygger på opploddingsarbeid utført av ingeniør A. Hegelstad ved Aluminiumsanlegget, Lista. Også ved sestonundersøkelsene og silforsøkene har instituttet fått verdifull praktisk hjelp fra byggeledelsen og andre ansatte ved anlegget.

Blindern, 15. januar 1970

Jon Knutzen

## 1. INNLEDNING

I forståelse med oppdragsgiver ble de opprinnelige arbeidsoppgaver definert som:

I. Limnologisk og biologisk undersøkelse av de sammenhengende innsjøer Kråkenesvatnet og Hanangervatnet. Siktemålet for denne delen av arbeidet var:

a) Dokumentere de eksisterende forhold i innsjøene med henblikk på å kunne fastslå eventuelle fremtidige forandringer.

b) Skaffe grunnlag for å bedømme hvor egnet vannforekomsten var for formålet, både hva angikk problemer som kunne oppstå i innsjøene og med hensyn til bedriftens behov. For det sistes vedkommende var det særlig tenkt på faren for begroing i kjølevannsystemet.

II. Vurdering av mulighetene for korrosjon ved nåværende og fremtidig vannkvalitet; dessuten å komme med forslag til egnete materialer og tiltak for å minske korrosjonsfaren.

I tillegg har instituttet foretatt silforsøk i Kråkenesvatnet i forbindelse med vurdering av silanordninger og maskeåpninger for behandling av kjølevannet.

## 2. KRÅKENESVATNET OG HANANGERVATNET

De to innsjøer ligger i den sydøstre del av Lista og er bare adskilt ved det sumpige Stokkesundet. Kråkenesvatnet ligger 3 m over havet og litt høyere enn Hanangervatnet. Deres felles nedbørfelt er på ca. 7 km<sup>2</sup>. Berggrunnen i nedbørfeltet består av grunnfjell med løsavsetninger av sand og morenegrus. Det er noe myr og skog i nedbørfeltet, men en vesentlig del av arealet er dyrket mark.

### 2.1 Generelle forhold

Morfometriske og hydrologiske data foreligger bare for Kråkenesvatnet. (Se fig. 1 med dybdekoter). Overflatearealet er ca. 0,57 km<sup>2</sup>, maksimaldyppet 18-19 m og gjennomsnittsdypet omtrent 4,6 m (se også fig. 2 som viser

arealet i ulike dyp). Volumet av Kråkenesvatnet blir ca. 2,6 mill. m<sup>3</sup>.

I Hanangervatnet er det ikke foretatt opplodding, men det maksimale registrerte dyp er 12 m. Med et overflateareal på ca. 1,4 km<sup>2</sup> og et antatt middeldyp på 4 m kan volumet av Hanangervatnet anslåes til 5,6 mill. m<sup>3</sup>, til sammen for begge innsjøene 8,2 mill. m<sup>3</sup>.

Bedømt ut fra registrert nedbør ved Lista fyr og med visse forutsetninger med hensyn til fordamping, er den midlere årsavrenning beregnet til 25 l/km<sup>2</sup>-sek. Ifølge vannføringsmålingene til Norges vassdrags- og elektrisitetvesen, som riktignok er utført lengre inne i landet, skal avrenningen i området være ca. 40 l/km<sup>2</sup>-sek. Vannets teoretiske gjennomsnittlige oppholdstid i de to innsjøer betraktet under ett, skulle etter dette være i området 12-18 måneder, altså relativt lang. (Grunnen til at innsjøene må sees under ett, er at i forbindelse med utnyttelsen av vassdraget vil Stokkesundet bli gravd ut, slik at det alltid vil være tilnærmet nivålikhet i de to bassengene).

## 2.2 Kjemiske og fysiske forhold

Fra Kråkenesvatnet og Hanangervatnet foreligger det tidligere hydrografiske data fra 1962-63. Disse finnes i de interne rapporter nr. 427/63 og 839/63 til Elektrokjemisk A/S. Verdiene fra 1962-63 stemmer i hovedsaken godt overens med resultatene fra 1969. De siste fremgår av tabellene 3 - 4.

Vannet i begge innsjøer var nøytralt, eller muligens svakt surere i Kråkenesvatnet. Det høye elektrolyttinnholdet har sammenheng med beliggenheten nær sjøen. Det samme gjelder kloridinnholdet og mengden av magnesium. Som følge av disse forhold vil vannet ha en viss bufferkapasitet.

Farge- og turbiditetsverdiene var lave. Sammen med de moderate permanganatverdiene viser dette at vannforekomsten er lite påvirket av organisk stoff. Permanganatverdiene lå litt lavere i Hanangervatnet enn i Kråkenesvatnet.

Konsentrasjonen av plantenærings saltet ortofosfat har vært lav på innsamlingstidspunktene; det samme gjelder totalfosfor. Forholdene med hensyn til forekomsten av fosfor er imidlertid noe uvanlige, og det vil være nødvendig med ytterligere observasjoner før sikrere slutninger kan trekkes. Mengdene av nitrat har vært varierende; fra moderate forekomster i april 1969 til sparsomt i juli samme år, særlig i Hanangervatnet. På tross av de små fosformengdene foreligger det indikasjoner på at vekstbetingelsene i Kråkenesvatnet likevel er relativt gunstige (se pkt. 2.3.1).

Analysene av vannprøver samlet i Kråkenesvatnets eneste betydelige tilløp gav resultater som viser en markert påvirkning med både organisk stoff (kfr. permanganattall) og næringssalter, spesielt nitrogenforbindelser (tabell 3). Det er rimelig å anta at dette først og fremst har sammenheng med jordbruksvirksomheten i nedbørfeltet.

Undersøkelse av temperatur- og oksygenforhold i innsjøene viste de samme trekk som ble registrert i 1962-63. I Hanangervatnet ble det således registrert praktisk talt samme temperatur fra overflaten til bunnen i juli 1969, i likhet med tidligere sommerobservasjoner. Årsaken til at det ikke etablerer seg noen markert lagdeling, må være vindeksponering. Som resultat av den stadige omrøringen er det heller ikke funnet noen vesentlig forskjell mellom oksygenkonsentrasjonene i dyplagene og overflaten (se tabell 4).

I Kråkenesvatnet derimot, er det både i 1962-63 og i 1969 (tabell 3) funnet en utpreget temperaturlagdeling. I juli 1962 var det et forholdsvis dårlig definert sprangsjikt mellom 8 og 11 m, i august 1963 lå det mellom 9 og 10 m, mens beliggenheten i juli 1969 var i 12-14 meters dyp. I alle de nevnte tilfellene var det et utpreget oksygenvinn under sprangsjiktet. I Kråkenesvatnet er det også observert lagdeling og oksygenforbruk mot dypet om vinteren (februar 1963). Lengden av sirkulasjonsperioden er det ikke mulig å fastslå på grunnlag av det foreliggende materiale; men det er konstatert at allerede så tidlig som i slutten av april kan det ha oppstått en viss lagdeling. Full sirkulasjon er ellers registrert i november (1962) og i midten av april (1969).

### 2.3 Biologiske forhold

Håvtrekkprøver og kvantitative prøver av planktonet i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet er samlet inn 16/4 og 9/7 1969. Samtidig ble det gjort observasjoner av strandplanter og den høyere vegetasjon på grunt vann. Fra april til og med desember 1969 er det foretatt regelmessig innsamling av vannprøver til undersøkelse av vannets partikkelinnhold. Vannprøver på 100 ml er blitt filtrert på stedet, og filtrene er deretter sendt instituttet for analyse i mikroskop. Vannets vekstegenskaper er testet ved den metode som er utviklet ved instituttet (Skulberg 1962).

#### 2.3.1 Undersøkelse av planktonsamfunnene og strandvegetasjonen

Resultatet av planktonundersøkelsene er stilt sammen i tabell 5. Det er gitt en subjektiv vurdering av det innbyrdes mengdeforhold mellom organismene i prøven. Tallene refererer seg til følgende skala:

- 5: Dominerende
- 4: Hyppig
- 3: Vanlig
- 2: Sparsom
- 1: Sjelden
- +: Forekommer

Med hensyn til artssammensetning er det bare funnet små forskjeller mellom planktonsamfunnene fra de to innsjøene. Den mengdemessige forekomst av de enkelte arter har vært mer varierende. En art som er registrert i store mengder i den ene av innsjøene har imidlertid aldri samtidig manglet i den andre.

Som man ser av tabellen, er det forholdsvis artsrike samfunn som har opptrådt, og det er ingen enkelt art eller gruppe som har dominert. I planteplanktonet har grønnalgene (Chlorophyceae), dinoflagellatene (Dinophyceae), chrysophycéene (Chrysophyceae) og blågrønnalgene (Cyanophyceae) vært mest fremtredende, mens diatoméene (Bacillariophyceae) særlig om sommeren har vært av mer underordnet betydning. For øvrig kan det sies at



flertallet av de funne artene trives under et vidt spekter av næringsforhold; men at de relativt store forekomstene av enkelte coccale grønnalger, og særlig blågrønnalgene Anabaena flos-aquae og Coelosphaerium nägelianum, indikerer forholdsvis gode vekstforhold.

I en vannprøve fra Kråkenesvatnet fra slutten av januar var de viktigste algene: Ankistrodesmus falcatus, Coelosphaerium nägelianum, Oocystis sp., Fragilaria crotonensis, Botryococcus braunii og Dictyosphaerium sp. Flere av disse artene er kjent fra næringsrike lokaliteter karakterisert ved store bestander av planktonalger; men de kan også opptre under mindre gunstige betingelser.

Siktedyp i Kråkenesvatnet er målt til noe under 3 m (16/4) og 4 m (9/7). En såpass liten gjennomsiktighet kan ha sammenheng med relativt store planktonbestander. I Hanangervatnet var siktedypet 9/7 4,5 m.

Zooplanktonet var sammensatt av vanlige former av krepsdyr (Crustacea) og hjuldyr (Rotatoria). Mengdene var ikke særlig store, men på den annen side sier et overflatehåvtrekk lite om bestandens størrelse. I en kvantitativ prøve fra 14 meters dyp i Kråkenesvatnet (9/7 1969) var det f.eks. 3-400 individer pr. liter av en hoppekreps av slekten Cyclops. Dette viser at mengdene av krepsdyr kan være forholdsvis store.

Stranden rundt Kråkenesvatnet og Hanangervatnet består i stor grad av sand, grus, rullestein og fjell med sparsom vegetasjon av høyere planter. Enkelte steder er det likevel bestander av en viss utstrekning, spesielt av Phragmites communis (takrøyr) og Equisetum fluviatile (elvesnelle). I Stokkesundet mellom Kråkenesvatnet og Hanangervatnet er det en sammenhengende vegetasjon som i de grunneste partier er dominert av de to nevnte arter. Litt dypere er det store bestander av Scirpus lacustris (sjøsivaks), Nymphaea alba (hvit nøkkerose), Nuphar lutea (kantnøkkerose) og Ranunculus peltatus (stor-vassoleie). I tabell 1 er det en fortegnelse over de viktigste høyere planter i Hanangervatnet og Kråkenesvatnet. Oversikten pretenderer ikke å være fullstendig. (I tillegg er det funnet en art av kransalgeslekten Nitella på sandgrunnene i den sørlige del av Hanangervatnet).

Tabell 1. Høyere vegetasjon i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet i juli 1969.

Arter	Kråkenes- vatnet	Hananger- vatnet
<i>Equisetum fluviatile</i> L. (Elvesnelle)	x	x
<i>Phragmites communis</i> Trin. (Takrøyr)	x	x
<i>Scirpus lacustris</i> L. (Sjøsivaks)	x	x
<i>Carex rostrata</i> Stokes. (Flaskestarr)	x	
<i>Eleocharis palustris</i> L. s.l. (Sumpsivaks)	x	x
<i>Polygonum amphibium</i> L. (Vass-slirekne)	x	
<i>Lysimachia thyrsoiflora</i> L. (Gulldusk)		x
<i>Nymphaea alba</i> L. (Hvit nøkkerose)		x
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm. (Kantnøkkerose)		x
<i>Sparganium angustifolium</i> Michx. (Flotgras)	x	
<i>Potamogeton natans</i> L. (Vanlig tjønnaks)	x	x
<i>Ranunculus peltatus</i> Schrank. (Stor-vassoleie)	x	x
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L. (Hjertetjønnaks)	x	x
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC. (Vanlig tusenblad)	x	x
<i>Callitriche stagnalis</i> Scop. (Dikevasshår)	x	
<i>Juncus bulbosus</i> L. (Krypsiv)	x	x
<i>Lobelia dortmanna</i> L. (Botnegras)	x	x
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch. (Tjønngras)	x	x
<i>Subularia aquatica</i> L. (Sylblad)	x	
<i>Isoetes lacustris</i> L. (Stivt brasmegras)	x	x

### 2.3.2 Sestonundersøkelse

Mengden av frasilt materiale på filtrene er målt ved hjelp av reflektometer. Dette gir relative verdier for partikkeltettheten i vannet. Resultatene viser at mengden av seston (levende og døde partikler) har vært lite varierende i den tiden undersøkelsen pågikk. Det er således ingen indikasjoner på at det har vært større algeoppblomstringer i perioden. De fleste tilfeller av uvanlig partikkeltetthet har falt sammen med vindpåvirkning og skyldes at prøvene av praktiske grunner er samlet på grunt vann, slik at bølger har kunnet virvle opp partikler fra bunnen.

Den hyppige forekomsten av sopphyfer på filtrerne kan også være forårsaket av at prøvene er samlet nær land, eller representere en sekundær vekst på filteret.

Ved mikroskopering på filtrerne fremgikk det at mesteparten av partikkel-turbiditeten skriver seg fra meget små og til dels submikroskopiske leirpartikler. Bortsett fra de ovennevnte sopphyfer spilte de andre bestanddeler av sestonet liten rolle. Bare ved et par anledninger, og i forbindelse med høye reflektometerverdier, har det vært nevneverdige mengder av humuspartikler.

Når planktonalger holdes tilbake på et filter, vil de fleste av dem deformeres i større eller mindre grad. Noen bevarer imidlertid sin form temmelig godt, og enkelte andre forblir også tilstrekkelig karakteristiske til at de lar seg identifisere. Filtrerne fra Kråkenesvatnet viser som nevnt ingen større algebestander; men enkelte former er funnet igjen over et større eller mindre tidsrom. Arter av blågrønnalgeslektene Anabaena og Coelosphaerium (sannsynligvis A. flos-aquae og C. nägelianum) opptrer på enkelte filtre fra slutten av mai/begynnelsen av juni til slutten av september. Det samme gjør diatoméen Tabellaria flocculosa. En kjededannende representant for diatomé-slekten Cyclotella er funnet i relativt store mengder på filtrerne fra april og mai. Grønnalgen Botryococcus braunii er registrert i september. Gjennom hele perioden er det observert et større eller mindre innslag av pennate diatoméer, for det meste fastsittende former.

Av det ovenstående fremgår at blågrønnalgene Anabaena flos-aquae og Coelosphaerium nägelianum sannsynligvis er til stede i ganske store mengder i det vesentlige av vegetasjonsperioden. Dette kan være en ytterligere antydning om at forholdene i Kråkenesvatnet ligger relativt godt til rette for algevekst.

### 2.3.3 Vekstforsøk

Vekstforsøk under standardbetingelser (Skulberg 1962) er utført med vann fra Kråkenesvatnet. Formålet med en slik undersøkelse er å få et mål for vannets overskudd av plantenæringsstoffer, dvs. det som ikke allerede er brukt opp av alger og andre planter på stedet. Jenvført med kunnskaper om forekomsten av planktonalger og høyere vegetasjon vil resultatene av slike forsøk kunne gi holdepunkter for å bedømme vannforekomstens produksjonspotensial. I enkelte tilfeller kan det være tilstrekkelig med en enkelt test for å få et visst skjønn. I Kråkenesvatnet viste det seg imidlertid at veksten var liten, og i slike tilfeller vil det eventuelt være nødvendig med ytterligere undersøkelser. Når dette ikke er funnet hensiktsmessig, skyldes det at resultatene her neppe ville gitt noe bedre grunnlag for å bedømme vannkvaliteten enn det som er nevnt i de foregående avsnitt.

### 2.4 Oppsummering og diskusjon av limnologiske data i relasjon til virkningen av regulering og tilbakeføring av kjølevann

Innvirkningen på forholdene i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet vil i praksis være forårsaket av et samspill mellom de ulike påvirkningene. Med dette forbehold i minne er det likevel til en viss grad mulig å diskutere virkningene av de forskjellige inngrep isolert.

#### 2.4.1 Virkninger av vannstandsregulering og fjerning av vann

I begge innsjøene er vannet tilnærmet nøytralt og har lite innhold av organisk stoff. Elektrolyttinnholdet er høyt, mens konsentrasjonene av de viktigste plantenæringsstoffene er middels (nitrat) eller forholdsvis lave (ortofosfat). På tross av de moderate mengder næringsalter tyder resultatene av de biologiske undersøkelser på at innsjøene gir relativt gode muligheter for vekst av planktoniske alger. Spørsmålet er hvordan en regulering av vannstanden og tilbakeføring av kjølevann vil virke inn på de biologiske og fysisk/kjemiske forholdene i innsjøene.

Ut fra magasineringsbehovet er reguleringsområdet satt til 100 cm (Mosjøen Aluminiumsverk, intern rapport 42/69). Grunnlaget for konsesjons-søknaden blir en høyeste regulerte vannstand på kote + 3,20 og laveste regulerte vannstand + 2,20. Den naturlige vannstandsveksling er antatt å ligge mellom + 3,50 og + 2,73.

Bakgrunnen for at senkning er valgt fremfor heving av vannstanden, er i første rekke vurderingen av disse to alternativets økonomiske konsekvenser i form av erstatninger til jordbruks- og fiskeinteresser. Virkningen av regulering på de limnologiske forhold og på vannkvaliteten er ikke vurdert i samme grad.

Professor Steinar Skjeseth, NLH, har i brev av 13/12 1968 uttalt at "de geologiske forhold er gunstige med hensyn til regulering". Videre heter det i uttalelsen at "en senkning av vannstanden vil ha gunstig virkning på mange av de lavtliggende jordene og lette dreneringen av disse", og at "en senkning vil ikke medføre geotekniske problemer". Som ulemper ved heving nevnes bl.a. permanent forsumpning av de lavtliggende områder, dreneringsvanskeligheter på flere jorder, oversvømmelse og forsumpning av ny skog syd for Stokkesundet, og at man sannsynligvis vil få en periodisk gjennomgang av vann fra Hanangervatnet til sjøen gjennom grussandryggen ved Oteråna.

Som følge av at vannet blir holdt tilbake ved vannstander under + 3,20, vil avløpet fra Hanangervatnet (Oteråna) bli tørrlagt en vesentlig del av tiden, og et tradisjonelt ålefiske vil bortfalle. Uttalelse fra fiskerisakkyndig konkluderer for øvrig med at en senkning av vannstanden vil gå ut over visse gyteplasser; men at dette kan kompenseres ved utsetting av yngel (Mosjøen Aluminiumsverk, intern rapport 42/69).

Hvilke konsekvenser en senkning vil få for den alminnelige vannkvalitet og dermed for bedriftens bruk av vannet, er vanskelig å bedømme. Generelt kan det sies at en senkning av vannstanden vil kunne øke arealet av de deler av innsjøens strand- og grunnområder der forholdene ligger til rette for vekst av høyere planter, med den følge at produksjonen av disse blir større. Dette vil igjen si at man får en økning i tilførselen av organisk stoff til vannmassene, noe som er uheldig sett ut fra vannforsyningsinteresser. Slik sett vil det derfor være fordelaktig med en så høy vannstand som mulig, især i vekstsesongen.

Etter fullført utbygging vil det til kjølevannsystemet bli tatt ut ca.  $1.060 \text{ m}^3/\text{time}$  og returnert ca.  $790 \text{ m}^3/\text{time}$ . Følgelig blir ca.  $270 \text{ m}^3$  vann fjernet fra innsjøen pr. time, dvs. 75 l/sek. Siden kjølevannet tas ut i Kråkenesvatnet, mens det naturlige avløpet er fra Hanangervatnet, vil strømforholdene forandres, noe som igjen har betydning for vannets oppholdstid i de ulike deler av innsjøene. I noen grad vil også vannmassenes vertikale sirkulasjon bli påvirket. En faktor som er viktig for hvordan forandringene vil arte seg, er tilrenningens variasjon gjennom året. Man må imidlertid forvente en periodevis reversering av strømmen gjennom Stokkesundet i forhold til hva det har vært tidligere. Dette kan muligens lede til at stagnasjonsperiodene i Kråkenesvatnet blir av kortere varighet. Da vannmassene i Hanangervatnet sannsynligvis er i sirkulasjon gjennom mesteparten av tiden fra vår til høst, muligens hele perioden på grunn av vindvirkning, vil eventuell tilførsel av kjøligere overflatevann fra dette bassenget bevirke en svekkelse av temperaturlagdelingen i Kråkenesvatnet i vekstsesongen. Dette vil mest kunne tenkes å gjøre seg gjeldende i begynnelsen og slutten av sommerstagnasjonen, mens man neppe kan vente noen særlig mindre stabil lagdeling i de varmeste månedene. For bruken av vannet har ovennevnte forhold relativt liten betydning. I sin alminnelighet kan imidlertid tilførsel fra Hanangervatnet og økt sirkulasjon ansees som gunstig for vannkvaliteten.

På bakgrunn at det manglende kjennskap man har til hvordan vannstandsvekslingene vil arte seg under innflytelsen av bedriftens vannforbruk, er det for tiden ikke mulig å gi noen mer detaljert vurdering av følgene av den foreslåtte regulering. I tilfelle av at fremtidige problemer skulle oppstå som resultat av bedriftens bruk av vannforekomsten, vil det være viktig å ha observasjoner av nivåvariasjonene i innsjøene. Dette vil også gi et mer pålitelig grunnlag for å beregne størrelsen av tilførselen fra nedbørfeltet enn det man nå har til disposisjon.

#### 2.4.2 Virkninger av tilbakeføring av kjølevann

Også når det gjelder dette problemkomplekset, er vurderingsgrunnlaget usikkert, bl.a. fordi man ikke vet hvor mye høyere temperatur det tilbakeførte kjølevann vil ha i forhold til innsjøvannet. Man regnet imidlertid med at temperaturstigningen i kjølevannsystemet skal bli av størrelsesordenen  $10 - 15 \text{ }^\circ\text{C}$ . En annen usikkerhetsfaktor er hvordan tilbakeføringsvannet vil fordele seg i innsjøene ved forskjellige steder og former for utledning.

Mengden av tilbakeført kjølevann er  $430 \text{ m}^3/\text{time}$  og  $790 \text{ m}^3/\text{time}$ , henholdsvis for de første driftsårene og senere, dvs. ca. 120 og ca. 220 l/sek. Antas den midlere årsavrenning å være  $25 \text{ l/km}^2\text{-sek.}$ , for hele nedbørfeltet  $175 \text{ l/sek.}$ , ser man at i middel vil returvannet representere ca. 70 eller i det siste tilfellet ca. 125 % av den naturlige tilførsel. Man må vente at dette vil få merkbare konsekvenser for temperaturforholdene, særlig i Kråkenesvatnet, dit kjølevannet er tenkt returnert. For å få et bedre skjønn både på de fysiske virkningene og på mulige konsekvenser for kjølevannforsyningen etc. vil det derfor være av betydning å få gjort temperaturobservasjoner i de første driftsårene.

Muligheten for å bedømme temperaturøkningens effekt på biologiske og dermed sammenhengende praktiske forhold, er begrenset så lenge det ikke er mulig å få et tilnærmet eksakt uttrykk for temperaturøkningen, f.eks. i form av gjennomsnittlig stigning på ulike steder og dyp til forskjellige tider av året. Noen av de viktigste ukjente eller utilstrekkelig kjente faktorer som kommer inn ved eventuelle forsøk på teoretiske beregninger er:

- a) Økningen i kjølevannets temperatur og dennes eventuelle variasjon.
- b) Avrenningen fra nedbørfeltet til ulike tider av året.
- c) Vannutskiftningen mellom Kråkenesvatnet og Hanangervatnet etter at reguleringstiltakene er satt i verk.

Særlig den sistnevnte faktor er det vanskelig å ha noen formening om på forhånd.

Generelt kan det sies at en temperaturstigning vil forårsake øket hastighet i biologiske stoffskifteprosesser. Nedbrytningen av organisk materiale vil foregå hurtigere, og likeledes vil primærproduksjonen stimuleres. Hvis næringsforholdene ligger til rette, kan dette lede til en generell forhøyelse i mengdene av levende og døde organiske partikler. På basis av de nåværende kunnskaper om innsjøene, og så vidt det er mulig å bedømme disse forhold, synes det imidlertid ikke særlig sannsynlig at en slik utvikling skal kunne få vesentlige praktiske konsekvenser for vannforsyningen.

Ved forandring av temperaturbetingelsene må man forvente en endring i organismelivets kvalitative sammensetning. Årsaken er at ulike arter be- gunstiges av noe forskjellige temperaturmiljøer, noe som gjelder såvel planteplankton, dyreplankton og fastsittende planter som fisk. Laksefisk er f.eks. stort sett knyttet til kjøligere vann enn abbor, gjedde og kar- pefisk. De praktiske følgene vil ha sammenheng med de ulike interesser for bruk av vannforekomsten, formodentlig i første rekke fiskeinteressene, men muligens vil også andre bruksinteresser bli berørt. Materialet som foreligger i denne rapport vil være av betydning for å dokumentere hvordan forholdene har vært; men det vil også være fordelaktig å følge utviklin- gen i de biologiske forholdene gjennom de første driftsårene, som i denne henseende vil representere en viktig overgangsperiode.

#### 2.4.3 Beliggenheten av steder for inntak og utslipp av kjølevann

Når det gjelder tilbakeføring av kjølevann, er det flere momenter som må tas i betraktning. Man kan regne med at en utledning i overflaten vil medføre den mest effektive avkjøling av returvannet og gi minst kalori- tilførsel til innsjøen. På den annen side vil det kunne fremme lagde- lingen og stagnasjonen i vannmassene, samtidig som det er varmetilførsel til overflatelaget som vil virke mest stimulerende på produksjonen av or- ganisk stoff. Retur til dypereliggende vann, fortrinnsvis under sprang- sjiktet, vil fremme en sirkulasjon av vannmassene; men i hvilken utstrek- ning dette vil skje, er usikkert. Det vil bl.a. bero på utslipparrange- mentets utforming, idet et enkelt utslippsted i så henseende vil være min- dre effektivt enn utledning på flere punkter. Kvantitative beregninger av virkningene på innsjøens temperatur- og sirkulasjonsforhold, ved ut- slipp nær overflaten eller på dypt vann, har det ikke vært mulig å gjen- nomføre. Man kunne tenke seg å angripe problemet på teoretisk grunnlag; men de nødvendige forutsetningene vil ha så usikker gyldighet for Kråke- nesvatnet at det vil være mer hensiktsmessig å innrette seg etter de praktiske erfaringer man vil få. Følgelig vil det være gunstig å kunne regulere utslippsdypet.



Beliggenheten av inntaksted og utledningssted må også avgjøres ut fra risikoen for "kortslutning" mellom de to områdene av innsjøen. I denne forbindelse møter man igjen de teoretiske vanskeligheter med å bedømme konsekvensene av inngrepet på sirkulasjonsforhold, strømforhold og stoffomsetningen i innsjøen. Også av denne grunn bør derfor det praktiske arrangement gi muligheter for regulering av inntaksdyp og utslippsdyp. Hvis det oppstår en slik "kortslutning" mellom inntaket og stedet for utledning av kjølevann, og det blir aktuelt å skifte beliggenhet eller forandre dyp, vil det for å fremme sirkulasjon i vannet, være viktigst å ha utslipp av kjølevann i dypet fremfor å ha inntaket i dypere liggende lag.

Et viktig moment å ta hensyn til ved plasseringen av inntaket er at dette ikke kommer så dypt at bunnsedimenter suges inn i systemet. (På grunn av korrosjonsfaren er det likeledes av betydning at inntaket er i et dyp hvor det fremdeles er fritt oksygen til stede.) Et dybderegulerbart inntak vil gjøre det mulig å tilpasse seg de vekslende forhold i vannmassene gjennom året.

For å få mest mulig effektiv kjøling i sommerhalvåret kunne man tenke at det var fordelaktig med plassering av inntaket under sprangsjiktet. Etter temperaturobservasjonene fra juli 1962 (Elektrokjemisk A/S, intern rapport 427/63) og august 1963 (Elektrokjemisk A/S, intern rapport 839/63) er det kalde bunnvannet beliggende under ca. 9-10 m. I begynnelsen av juli 1969 lå sprangsjiktet så dypt som mellom 12 og 14 m. I begge tilfeller vil imidlertid volumet av det kalde vannet være meget lite i forhold til kjølevannsbehovet. Beregnet ut fra arealkurven for Kråkenesvatnet (fig. 2), vil således volumet under 9 m-nivået være omkring 1/10 av denne innsjøens totale volum. I relasjon til et kjølevannsbehov på  $550 \text{ m}^3/\text{time}$  representerer bunnvannet bare vel 20 døgns forbruk, forutsatt helkontinuerlig drift. I praksis vil dette si at for kjøleeffektens skyld har inntaksdypet liten betydning, og det vil være lite å vinne ved å forlenge inntaksledningen ut til det konsentrerte dypområdet fra det nå planlagte inntaket på 7 meters dyp.

### 3. MULIGHETENE FOR TETTING AV DYSENE I KJØLEVANNSSYSTEMET

I kjølevannssystemet vil store deler av vannet passere dyser med diameter mellom 1,5 og 3 mm. På grunn av eksplosjonsfare og andre forhold er det viktig at disse dysene ikke tettes. Dette nødvendiggjør bruk av siler etter inntaket i Kråkenesvatnet. Samtidig er det ønskelig å minimalisere utgiftene og arbeidet med å holde silene rene. Ved siden av direkte innsugning av partikulært materiale vil vekst av dyr eller planter inne i kjølevannanlegget kunne tenkes å forårsake tetting. For å få et skjønn på hvilke typer av silanordninger og hvilke porestørrelser som ville være mest hensiktsmessige, er det utført silforsøk i Kråkenesvatnet. Behovet for klorering for å hindre innvendig begroing er vurdert ut fra kjennskapen til vannkvaliteten i innsjøen.

#### 3.1 Vannets partikkelinnhold, silforsøk

Dette forsøket omfatter filtrering med plansiler. Hensikten har vært å finne renseeffekten, igjentettingshastigheten og filtermotstandens variasjon med tiden ved ulike maskeåpninger og vannhastigheter gjennom filteret.

##### 3.1.1 Teori

Filterprosessens forløp kan best bestemmes ved analyse av trykkforholdene i filteret. Mengde og lokalisering av avsetningene i filteret vil bestemme trykkforandringene. Trykkforholdene måles i praksis ved å registrere trykktapet over filtermediet. Dette trykktapet kan angis grafisk som funksjon av tid eller filtrert volum og vil da fremstille en eksponentialkurve.

Benevnes trykktapet over filtermediet  $h$  og filtrert vannvolum pr. flateenhet  $V$ , kan forholdet mellom de to størrelser uttrykkes ved:

$$\frac{dh}{dV} = k \cdot h$$

$$\text{integrert: } h = h_0 \cdot e^{kV} \quad \text{eller}$$

$$\ln h - \ln h_0 = k \cdot V \quad \text{der}$$

$$h_0 = \text{trykkfall ved begynnelse.}$$

$k$  = konstant som benevnes filtrabilitetsindeks.

Filtrabilitetsindeksen er en funksjon av råvannskvaliteten og sildukens egenskaper. Ved hjelp av filtrabilitetsindeksen kan man finne trykkfallet over duken som funksjon av passert vannmengde eller driftstid. For et gitt hydrostatisk trykk kan man derfor finne når silduken må rengjøres.

### 3.1.2 Metodikk

Forsøksanlegget bestod av en innløpskasse og en beholder med to parallelle kammere med hver sin silanordning (fig. 3). Innløpskassen hadde to V-overløp som sørget for at hvert av silkamrene mottok like store vannmengder. Disse vannmengder ble regulert med et tredje overløp som muliggjorde heving og senkning av nivået i innløpskassen. Fra innløpskassen ble råvannet ledet inn i bunnen av hvert silkammer og passerte gjennom sildukene i vertikal, oppadstigende retning. Deretter passerte vannet ut gjennom et overløp på toppen av beholderen.

Sildukene ble spent fast til rammer med lysåpning  $0,35 \times 0,35$  m. Trykktapet over sildukene ble registrert ved hjelp av røruttak over og under silen. Trykktapet kan da avleses som differansen i vann-nivåene for de to uttak. På grunn av vanskeligheter med fremføring av elektrisk strøm ble det valgt å benytte en dieseldrevet pumpe. Ved en motstand på 10 m vannsøyle hadde denne en kapasitet på 1.000 l/min. For å unngå for stor sugehøyde ble pumpen plassert på en flåte over inntaksstedet.

Forsøksanlegget lå ca. 50 - 100 m øst for det planlagte inntak til aluminiumsverket og ca. 100 - 150 m fra land. Maksimaldypet var ca. 7 m, men vannet ble suget inn på et dyp av ca. 3 m. Denne avstanden til bunnen sikret at materialet fra bunnsedimentene ikke ble suget inn. Inntaksdypet ble ikke variert fordi vannkvaliteten over sprangsjiktet måtte antas å være stabil i den tid forsøket pågikk.

Til forsøket ble det benyttet 3 forskjellige monellduker med maskeåpningene 250, 500 og 750  $\mu$ . Tråddiameteren var henholdsvis 90, 340 og 500  $\mu$ , og duknumrene 74, 31 og 21. I bedriftens prosjekterte silanlegg vil man etter planen få vannhastigheter på 57, 102 eller 130 m/time, alt etter driftsmåten. Under forsøkene ble det brukt hastigheter på henholdsvis 50, 75 og 100 m/time.

100 milliliters blandprøver av råvann og vann som hadde gått igjennom sildukene ble filtrert gjennom membranfilter. Membranfiltrene er undersøkt i reflektometer og mikroskop for å finne eventuelle kvantitative og kvalitative forskjeller i råvannets og det filtrerte vannets innhold av partikler. Prøvene av råvann og filtrert vann ble samlet midtveis i forsøket og på slutten ved at det ble tatt stikkprøver med ca. 5 minutters mellomrom over et tidsrom av 1 time.

For å finne forskjellen i sammensetningen av den frafiltrerbare substans er materialet på sildukene blitt skrapet av og mikroskopert. I denne forbindelse har man også seriekoblet silduken med maskeåpningen 250  $\mu$  med henholdsvis duk nr. 31 (500  $\mu$ ) eller duk nr. 21 (750  $\mu$ ). Ved prøvene med bare en duk har forsøkestiden vært 2 døgn, ved seriekobling 1 døgn.

### 3.1.3 Resultater

Resultatene av de innledende filtreringsforsøk er vist i tabell 2.

Tabell 2. Resultater av filtreringsforsøk med duk nr. 74 og 31  
(Maskeåpning: 250, 500  $\mu$ ). Filtreringshastighet 100 m/time.

Dato	Kl.	Trykkfall i mm	
		$h_{74}$	$h_{31}$
6/9	1415	0	0
"	1600	7	0
"	1930	520	3
7/9	0830		0
"	1200		2
"	1800		0
8/9	0830		0
"	1400		0

Av tabellen fremgår det at det opprinnelige trykkfallet over filterne (0-motstanden) i begge tilfeller var så lave at det ikke lot seg registrere. Videre ser man at det for duk nr. 74 (maskeåpning 250  $\mu$ ) var en hurtig trykkfallsøkning over filteret, dvs. 520 mm etter 5 timer og 15 min. Ut fra dette er filtrabilitetsindeksen for denne duken bestemt til  $12 \cdot 10^{-3} \cdot 1/m$ . Man kan også legge merke til at trykkfallet stiger forholdsvis raskest mot slutten. Dette skyldes at oppsamling av frafiltrerbar substans akkumuleres hurtigere etter hvert som åpningene tettes. For duk nr. 31 (maskeåpning 500  $\mu$ ) ser man at det på to døgn ikke har funnet sted noen trykkfallsøkning. På enkelte tidspunkter ble det registrert små økninger i trykkfallet, men disse var bare midlertidige. Årsaken må være at små partikler som henger seg opp i duken, presses igjennom etter en liten trykkfallstigning.

På grunn av den raske igjentetting av duk nr. 74 ved filtreringshastigheten 100 m/time, ble denne duken ikke testet ved lavere hastigheter. Da mindre materiale vil bli drevet igjennom ved lavere trykk, må man regne med at tettingen vil skje forholdsvis raskere (etter gjennomstrømming av et mindre volum vann) når vannhastigheten minskes.

Både duk nr. 31 og duk nr. 21 (maskeåpning 750  $\mu$ ) ble forsøkt ved filtreringshastighetene 50 og 75 m/time, foruten at også duk nr. 21 ble testet med hastigheten 100 m/time. Alle disse forsøk gav et lignende resultat, idet man i løpet av forsøks tiden bare registrerte midlertidige trykkfallsøkninger over filteret. Ikke i noen tilfeller var trykkfallsøkningen mer enn 2-3 mm. Ved de nevnte forsøksbetingelser synes det derfor som om disse dukene kunne benyttes i ubestemt tid uten renhold. Først når en tilstrekkelig mengde grove partikler er samlet opp, vil det inntre forandringer i trykkforholdene.

Som nevnt ble prøver av råvann og behandlet vann filtrert gjennom membranfilter. Membranfiltrene ble undersøkt i reflekometer. Målingene viste praktisk talt samme verdier for råvann og vann filtrert gjennom de tre duktypene. De verdier som ble funnet for blandprøvene stemte også med reflektometerverdiene for vannprøver tatt et annet sted i innsjøen på samme tid. Resultatene viser følgelig at vannets turbiditet i det alt vesentlige

skyldes partikler som ikke fjernes ved filtrering gjennom de undersøkte silduker. Selv ved en maskeåpning på 250  $\mu$  er dette tilfellet, i hvert fall før det har funnet sted noen vesentlig oppsamling på filteret.

Det materialet som ble skrapet av dukene med de største maskeåpninger (500 og 750  $\mu$ ) var temmelig likt og sammensatt av diverse typer partikler, hovedsakelig forskjellige organismer eller organismefragmenter. Humuspartikler med innleirede planktonalger spilte i de fleste prøvene en relativt underordnet rolle. Gjennomgående dominerende var forskjellige representanter for krepsdyrordenen Cladocera (vannlopper), spesielt en eller flere arter av slekten Daphnia. Størrelsen på disse dyrene var fra 1,25-1,5 x 1,5-2,0 mm, eksklusive antennene. For øvrig ble det funnet enkelte eksemplarer av 1-2 cm lange trepigget stingsild, varierende mengder av plantefragmenter, rester av insekter, insektlarver og vannmidd, foruten ubetydelige forekomster av copepoder (hoppekreps). Vannmiddene var ganske tallrike i enkelte av prøvene. Bortsett fra en meget usikker tendens i retning av et øket antall småfisk ved stigende vannhastighet, var materialets sammensetning det samme ved alle filtreringshastigheter (50, 75 og 100 m/time).

Det må understrekes at sammensetningen vil være avhengig av tiden fordi stadig større mengder mindre partikler vil fanges opp etter hvert som sildukene tettes. Her er materialet som nevnt skrapet av etter 2 døgn.

Hensikten med først å filtrere vannet gjennom en silduk med maskeåpning 750 eller 500  $\mu$  og deretter gjennom silduken med porestørrelse 250  $\mu$  var å finne ut hvilke partikkeltyper som gikk igjennom de førstnevnte sildukene, men som i stor grad ble fanget opp på den siste. Det viste seg at materialet på duk nr. 74 etter ett døgn var dominert av cyclopoide og calanoide copepoder (hoppekreps). For øvrig var det noe Daphnia sp., og noe humuspartikler, etc. Som det fremgår av det ovenstående, var det funnet ubetydelige mengder av denne typen dyr på de andre sildukene. De observerte copepodenes bredde x lengde var ca. 0,25-0,40 x 1,25-1,60 mm, antennene ikke medregnet.

Hovedresultatet av forsøkene med plansiler var følgelig at bare grove partikler ble holdt tilbake av dukene med maskevidde 500 og 750  $\mu$ . Mengdene av slike større partikler var forholdsvis små, slik at man i løpet

av to døgn ikke kunne registrere annet enn små og midlertidige økninger i filtermotstanden. Silduken med maskeåpning 250  $\mu$  fikk derimot relativt hurtig et slimet overtrekk av for det meste copepoder og rester av disse, samtidig som filtermotstanden økte. Hvis det er ønskelig å fjerne denne typen partikler og andre partikler av tilsvarende form og størrelse, må man følgelig benytte en silduk med maskeåpning på noe mellom 500 og 250  $\mu$ . Copepodenes størrelse (bredde) skulle tilsi at porestørrelsen måtte ligge nærmere 250 enn 500  $\mu$  for å bli fullt effektiv.

### 3.2 Begroing i kjølevannsystemet

Begroing kan tenkes å oppstå inne i kjølevannsystemets rørledninger og/eller i trykkbassenget. I det sistnevnte er det bare mulighet for vekst av noe omfang dersom bassenget er åpent eller vannet blir belyst på annen måte. Oppholdstiden i bassenget vil være 18-24 timer, hvilket betinger at det eventuelt vil være fastsittende alger som kommer til å etablere seg. Faren ved dette er at deler av denne begroingen vil kunne løsne og transporteres inn i rørsystemet.

Inne i kjølevannsystemets rørledninger etc. vil det ikke være lys, og eventuell vekst her vil bestå av organismer som lever av organisk stoff i oppløst eller partikulær form.

Risikoen av begroing avhenger av mange forhold. For trykkbassengets vedkommende vil tilgangen på lys og næringssalter være utslagsgivende. Jo mer plantenæringsstoffer vannet inneholder, desto større begroingsvanskeligheter må forventes. Kråkenesvatnet er ikke spesielt rikt på plantenæringsstoffer og er følgelig en forholdsvis gunstig vannkilde i denne sammenheng. I åpne bassenger med stadig tilløp av naturlig vann vil man imidlertid alltid få begroing fordi det skjer en kontinuerlig tilførsel av plantenæringsstoffer.

Inne i kjølesystemet vil under ellers like forhold tilgangen på organisk stoff være avgjørende. For noen organismers vedkommende kan imidlertid en høy vannhastighet kompensere for lav konsentrasjon av næringssemner på grunn av den kontinuerlige tilførsel. Dette kan f.eks. gjelde enkelte

trådformede bakterier, og det samme kan være tilfelle for muslinger og enkelte vårfluelarver. Andre begroingsselementer vil begünstiges av roligere strømforhold og dermed følgende muligheter for slamavsetning i visse avsnitt av et rørsystem. Stort sett kan man imidlertid si at høy vannhastighet er gunstig av to grunner: Etableringen av begroingsorganismer vanskeliggjøres, og muligheten for at begroingen rives løs, blir større. Det siste gjelder særlig for den løse veksten av sopp og bakterier og enkelte flagellater.

### 3.3 Diskusjon

Resultatene av silforsøkene viste at partikler (i dette tilfelle copepoder) med dimensjoner på ca. 0,25-0,40 x 1,25-1,60 mm gikk igjennom sildukene med poreåpninger 500 og 750  $\mu$ , men ble holdt tilbake i stort antall på silduken med maskeåpning 250  $\mu$ . Derimot ble daphnier (vannlopper) av størrelse 1,25-1,50 x 1,50-2,00 mm også fjernet av sildukene med de groveste maskevidder. Denne forskjellen må tilskrives ulikheten i bygning og kroppsform hos de to dyregrupper. Mens copepodene er langstrakte og ledd-delte (bøyelige), har daphniene et mer isodiametrisk omriss, foruten at skallet er i ett stykke. På grunn av disse forhold må man vente at også copepoder med større kroppslengde vil kunne gå igjennom de grove silene, og det kan i denne forbindelse nevnes at flere vanlige arter av copepoder kan være 2-3 mm lange. Enkelte kan være enda lengre; men da vil bredden begynne å bli en begrensende faktor i relasjon til silporene.

For så vidt må man anta at også andre partikler av tilsvarende avlang form vil kunne gå igjennom. Såfremt man har gardert seg mot innsugning fra bunnsedimentene, er det imidlertid mindre sannsynlig at slike partikler vil være til stede i så store mengder i råvannet at de vil skape problemer. Et viktig spørsmål i forbindelse med bestemmelse av sildukens maskeåpning er derfor hvor sikker man kan være på at det ikke blir noen transport fra bunnavløringene og inn i systemet. Det må betraktes som en større fare å få inn partikler fra bunnsedimentene enn de ovennevnte planktoniske krepsdyr. I det store og hele vil slike partikler være stivere, mindre sammenpressbare og dessuten mer motstandsdyktige mot mekaniske påkjenninger og biologisk nedbrytning enn copepodene.



Ut fra det som er opplyst om vannhastigheten gjennom dysenes utløpshull (4 m/sek), synes risikoen for igjentetting relativt liten, i hvert fall med enkelte partikler av den størrelse som går igjennom de groveste filtrene. Imidlertid er det også spørsmål om det noe sted i kjølesystemet kan finne sted opphopning av materiale. Slike aggregater kan med uregelmessige mellomrom løsne og forårsake problemer i trange passasjer. Det er likevel mindre sannsynlig at partikler som skriver seg fra råvannet, skal kunne klumpe seg sammen til så solide aggregater at disse ikke vil fragmenteres når de settes i bevegelse. Alt i alt synes det derfor som om risikoen for igjentetting ved partikler fra vannkilden vil være mindre enn for igjentetting som primært er forårsaket av forskjellige former for vekst inne i kjølevannsystemet.

Vekst av bakterier, sopp og diverse protozoer vil være relativt løs. Begroing med trådformede organismer fra de to førstnevnte gruppene vil imidlertid ofte være seig og ikke så lett fragmenterbar. Karakteristisk for denne typen vekst er at deler av begroingen med mellomrom vil løsne og drive vekk med strømmen. Jo sterkere strømmen er, desto hyppigere vil dette skje, og desto mindre vil de løsrevne stykkene av begroingen være. I denne sammenheng vil derfor så vidt mulig konstant høy vannhastighet være fordelaktig.

"Døde" lommer med liten strøm vil virke uheldig fordi det på slike steder kan bli mer eller mindre tykk vekst som løsner i klumper. På grunn av seigheten vil slike klumper effektivt kunne tette trange åpninger, spesielt hvis vannet kan ta alternative veier.

Andre begroingsorganismer er f.eks. svamp, mosdyr, snegler, muslinger og forskjellige insektlarver. Felles for alle gruppene er at de sitter til dels godt festet til underlaget. Ofte vil disse organismene direkte begunstiges av hurtig strøm fordi dette øker tilførselen av næringsemner (organiske partikler).

Det mest anvendte middel for å begrense og kontrollere utviklingen av de nevnte begroingsorganismer, er tilsetning av giftstoffer til vannet, foruten bestrebelser i retning av å minske næringstilgangen. Det siste vil imidlertid sjelden kunne bli tilstrekkelig effektivt alene. Klorering av vannet

vil virke på begge måter, idet vannets naturlige innhold av organiske næringsstoffer oksyderes, samtidig som klor i tilstrekkelige mengder dreper organismene eller hindrer deres vekst. Bl.a. ut fra resultatene av klorbehovsanalyser av vann fra Kråkenesvatnet anbefales det i foreliggende tilfelle å benytte en klordosering på  $10 \text{ g/m}^3$  over en sammenhengende periode av 1 time pr. døgn. Kloreringen må skje gjennom hele året. Det er mulig at sjokkdosen på  $10 \text{ g/m}^3$  med tiden kan settes ned til f.eks.  $5 \text{ g/m}^3$  i 1 time pr. døgn. Dette vil bero på erfaringene man får ved driften av kjølevannsystemet og doseringsutstyret.

Det er viktig at klordosering finner sted fra første gang vann kommer inn i kjølevannsystemet. Grunnen er at begroingsorganismene vil være vanskelig å få bort hvis de først har etablert seg.

Hvis man velger å ha et trykkbasseng der lys kommer til, vil det oppstå vekst av fastsittende alger. Denne begroing vil løsne i klumper og forårsake lignende problemer i kjøleanleggets rørsystemer som vekst av trådformede sopp og bakterier, foruten at dette algematerialet i seg selv representerer næring fra soppene, bakteriene og dyr. Selv om algebegroing hindres ved klortilsetting, vil det i bassenget etter hvert samles opp avsetninger av det materialet som går igjennom silene. Det vil derfor i alle tilfeller være gunstig med oppsyn og renhold av bassenget.

Det er prosjektert med trykkbasseng i enden av ledningen fra inntaket, dvs. at trykkbassenget kommer etter uttaket av kjølevann til fabrikken. Noen ganger vil alt vannet fra pumpene gå til kjølesystemet, mens det ikke kommer noe hverken til eller fra trykkbassenget. Til andre tider vil vannet fra pumpene fordele seg mellom kjølevannsanlegget og trykkbassenget. Den tredje muligheten er underskudd på pumpevann. Da vil det i tillegg til pumpevannet komme vann fra trykkbassenget inn på inntaksledningen for kjølevann. Det som har interesse i denne sammenheng er at det i første og siste tilfelle ikke kommer noe vann fra pumpene til trykkbassenget. Med en sjokkdosering av klor over 1 time pr. døgn vil man følgelig kunne risikere at det vannet som tilføres trykkbassenget, ikke er klorert. Det bør derfor så vidt mulig sikres at klortilsettingen finner sted i en periode da det går vann til trykkbassenget.

Klortilsettingen må skje på hovedledningen fra inntaket. Erfaringsmessig vil organismer og andre partikler ha lettere for å klumpe seg sammen etter at de har vært utsatt for klorering. Følgelig skulle silingen bli mest effektiv etter klorbehandling. Imidlertid er oppholdstiden fra inntaket til silkamrene sannsynligvis så kort at denne effekten ikke får gjort seg gjeldende. Man må imidlertid være oppmerksom på at den økte tendensen til aggregatdannelse vil kunne virke uheldig hvis det inne i kjølevannsanlegget er partier med muligheter for slamavsetning.

Det ventes ikke at klorering i den foreslåtte utstrekning vil ha nevneverdig virkning på biologiske eller andre forhold i Kråkenesvatnet.

Problemet med igjentetting av dyser på punkter i kjølevannssystemet der dette kan forårsake eksplosjonsfare, vil i første rekke være av driftsteknisk art. Såfremt man ikke installerer silduker med meget små maskeåpninger, vil det alltid finne sted en viss transport av partikulært materiale inn i systemet. Et sikkert skjønn på hvordan disse partiklene vil virke, kan man først få ved hyppige kontroller av kritiske punkter i løpet av den første tiden kjølevannssystemet er i ordinær drift.

#### 4. MULIGHETENE FOR KORROSJON

Vannet i Kråkenesvatnet er bløtt og nøytralt eller svakt surt. Det forholdsvis høye elektrolyttinnholdet skyldes beliggenheten nær sjøen. Marmorprøven har vist at vannet er kalkaggressivt.

Bløtt vann løser opp asbestlimet i sementrør slik at godstykkelsen minsker. Forsøk ved instituttet med danske og tyske rør uten innvendig beskyttelse viser at korrosjonshastigheten er ca. 0,1 mm pr. år. Dette gjelder autoklavherdede rør. For asbest-sementrør som ikke er autoklavherdet, vil tæringen være vesentlig større. Asbest-sementrør som er innvendig belagt med asfalt eller plast, er derimot betydelig mer motstandsdyktige mot korrosjon.

Andre aktuelle rørkvaliteter er støpejernrør, galvaniserte jernrør, kobberrør og rør av rustfritt stål. Ved eventuell bruk av støpejernrør anbefales at dette har et innvendig sementbelegg. Bløtt vann fremkaller korrosjon av sinkbelegget i galvaniserte jernrør. Korrosjonshastighet vil tilta med synkende pH. I den aktuelle vanntypen kan varigheten av sinkbelegget anslås til 10-15 år. (Dette gjelder kaldt vann. I vann med temperaturer over 60 °C frarådes bruk av galvaniserte jernrør.) Kobberrør vil være mindre utsatt for korrosjon. Det kan imidlertid pekes på at den aktuelle vanntypen har et visst jerninnhold. Der jern avleires i kobberrør, kan det oppstå groptæringer, spesielt hvis temperaturen er vekslende og stort sett under 60 °C. Kobberrør må ikke anvendes foran rør av uedlere metaller (jern, galvanisert jern, aluminium e.l.). Rør av rustfritt stål vil ikke by på korrosjonsproblemer.

Siden vannet er tilnærmet nøytralt, og under forutsetning av at det ikke er reduserende forhold i inntaksdypet, skulle det ikke være nødvendig med noen behandling av vannet for å hindre korrosjon på kobber eller jern. Det er også usannsynlig at den foreslåtte klordosering (10 g/m<sup>3</sup> i 1 time én gang i døgnet) vil ha noen vesentlig virkning på vannets surhetsgrad. Det vil derfor ikke være nødvendig med kalking eller annen pH-justering for å redusere kjølevannets korrosivitet.

## 5. VIDERE ARBEID

Det er tidligere (2.4) nevnt betydningen av å få bedre kjennskap til de nåværende vannstandsvekslinger i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet for å kunne bedømme virkningen av kjølevannsuttaget. Det anbefales derfor at bedriften sørger for kontinuerlig registrering av vannstanden både før og i de par første årene etter igangsettelsen. Slike observasjoner vil først og fremst ha relasjon til eventuelle fremtidige problemer forårsaket av bedriftens bruk av vannforekomsten.

Av samme grunn vil det være aktuelt å få gjennomført et program for temperaturobservasjoner. Også her ville det være gunstig om innsamlingen av data kunne begynne tidligst mulig og fortsette i de par første driftsårene.

## 6. KONKLUSJONER

1. Både Kråkenesvatnet og Hanangervatnet har tilnærmet nøytralt vann. Det relativt høye elektrolyttinnholdet og vannets ionesammensetning har sammenheng med beliggenheten nær havet. Innholdet av organisk stoff er moderat. Det samme gjelder mengden av plantenæringsstoffer, spesielt fosfor. Kråkenesvatnet har lagdelte vannmasser med oksygen-svinn i dypet både vinter og sommer, mens det i Hanangervatnet er omrøring i vannmassene gjennom hele året. I Kråkenesvatnet er sprang-sjiktet til ulike tider registrert i området 8-14 m.
2. Planktonsamfunnene er tilnærmet de samme i begge innsjøer. De fleste av de registrerte planktonalger kan finnes under ulike næringsvilkår, men forekomsten av enkelte arter av grønnalger og blågrønnalger kan tyde på moderat gode vekstmuligheter for alger. Ved en anledning er det registrert et tett sverm av Copepoder (hoppekreps), og andre observasjoner har også vist at forekomsten av krepsdyr kan være betydelig.
3. Undersøkelse av vannets partikkelinnhold i perioden april - desember 1969 viste liten variasjon i partikkelforekomsten, bortsett fra enkelte topper som hadde sammenheng med vindvirkning. Leirpartikler utgjorde hovedmengden, mens humuspartikler var mindre fremtredende. Det ble ikke funnet indikasjoner på større algeoppblomstringer i observasjonstiden.
4. Den foreslåtte regulering vil stort sett bevirke en senkning av vannstanden. Konsekvensene av dette er vanskelig å forutsi nøyaktig. Ut fra hensynet til vannkvaliteten og bedriftens bruk av vannet er en vesentlig senkning betenkelig fordi dette kan medføre øket produksjon av strandvegetasjon og dermed en stigning i tilførselen av organisk stoff. Generelt kan man si at det vil være en fordel å ha en vannstandsveksling så nær den naturlige som mulig.

5. Ved full produksjon vil det bli tilbakeføring av vel 200 l/sek. av kjølevann som er varmet opp 10-15 °C. Dette tilsvarer omtrent den midlere årlige avrenning innenfor nedbørfeltet. Spesielt for Kråkenesvatnets vedkommende kan man vente endringer i temperaturforholdene. Foreløpig er det imidlertid ikke grunnlag for å bedømme hvilke konsekvenser dette kan få.
6. Ved plasseringen av inntaks- og returledningen må man sikre at ikke tilbakeføringsvannet strømmer mer eller mindre direkte tilbake til inntaket. Inntaket må plasseres så langt fra bunnen at det ikke skjer innsuging av bunnmateriale. Kjøleeffekten vil neppe forbedres ved å ha inntak under sprangsjiktet om sommeren. Noe bestemt sted eller dyp for henholdsvis inntak og utledning av kjølevann er det ikke mulig å angi. For å kunne utnytte praktiske erfaringer bør derfor både inntaksdyp og returdyp kunne reguleres.
7. Forsøk i Kråkenesvatnet med silduker med maskeåpninger 500 og 750  $\mu$  viste at ved filtreringshastighetene 50, 75 og 100 m/sek. fant det ikke sted noen trykkfallsøkning over sildukene i løpet av to døgns forsøksstid. Forsøk med maskeåpning 250  $\mu$  gav derimot en trykkfallsøkning på 520 mm etter vel 5 timer. Filtrering med to og to silduker i serie viste at materialet som gikk igjennom de største maskeåpningene, men som akkumulertes på silduken med maskeåpning 250  $\mu$ , for det vesentlige bestod av copepoder (hoppekreps).
8. Begroing i form av fastsittende algevekst kan oppstå i trykkbasseng med lystilgang. Inne i selve kjølevannsanlegget vil det kunne bli vekst av organismer som lever av vannets innhold av organisk stoff. Det må regnes med en viss risiko for at slik vekst vil kunne tette igjen trange passasjer, selv om den antatte hastighet for vannet gjennom dysene i kjølevannsanlegget er høy (4 m/sek.). For å minske eller hindre begroing foreslås tilsetning av klor i form av en sjokkdose på 10 m/m<sup>3</sup> over 1 time en gang i døgnet.

9. Muligheten for tetting på steder i kjølevannsystemet der dette kan medføre eksplosjonsfare, er et driftsteknisk problem. Man vil kunne få et tilstrekkelig underlag for å bedømme denne fare ved hyppige kontroller på kritiske punkter i den første tiden som kjølevannsanlegget er i drift.
10. Retur av klorert kjølevann vil neppe ha noen påviselig virkning på biologiske eller andre forhold i Kråkenesvatnet/Hanangervatnet.
11. Korrosjonsfaren ved bruk av ulike typer rørmateriale er vurdert. Hvis asbest-sementrør skal benyttes, anbefales at de er autoklavherdet. Det ansees ikke nødvendig med noen behandling av vannet for å minske korrosjonen. Den foreslåtte klordoseringen vil neppe øke vannets korrosivitet i nevneverdig grad.

---o0o---

## 7. LITTERATUR:

Skulberg, O.M. 1962:

Biologiske metoder som grunnlag for behandling av forurensningsproblemer. VATTEN 4: 1-15.

JoK/ofa  
2/2-70.

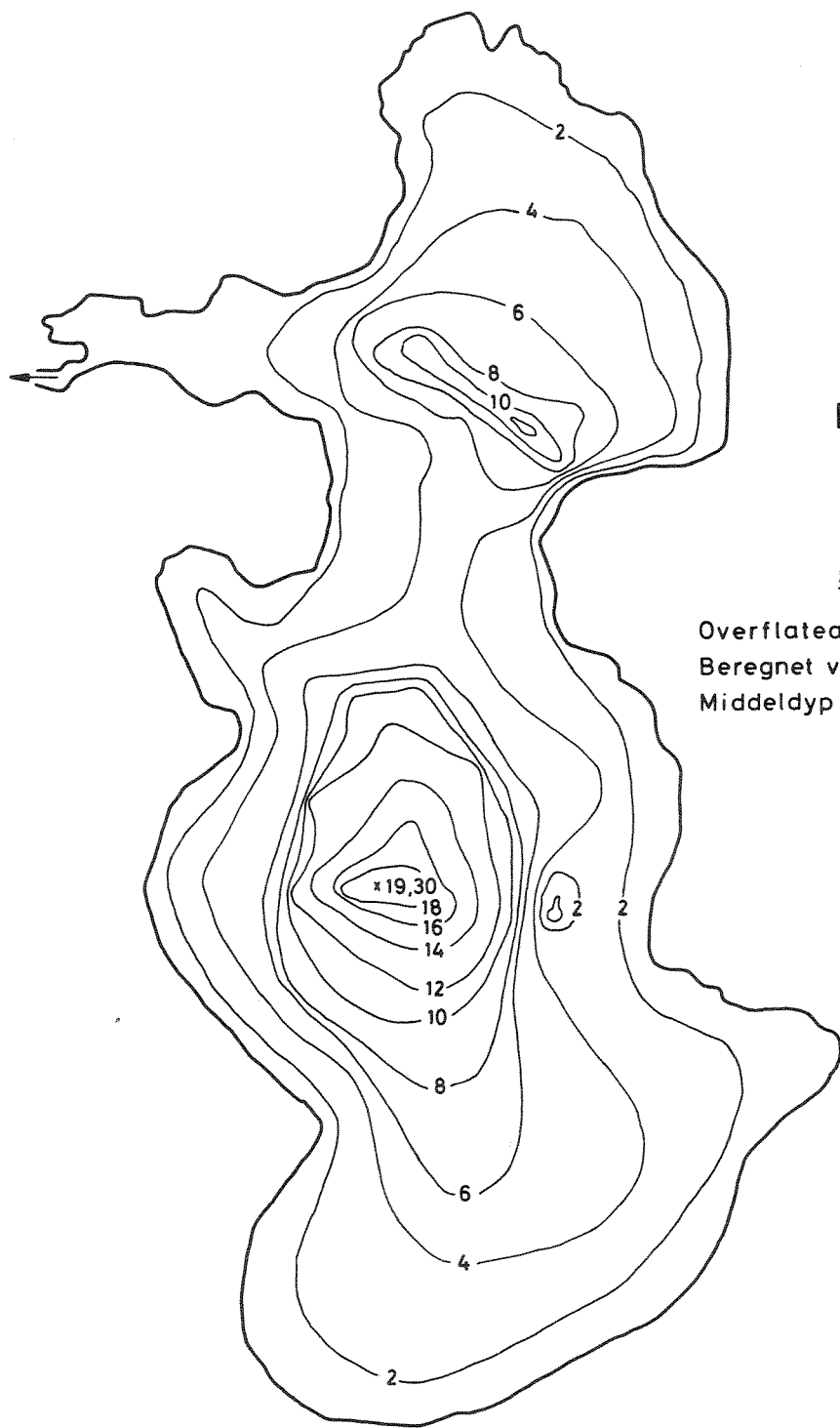
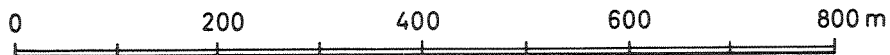
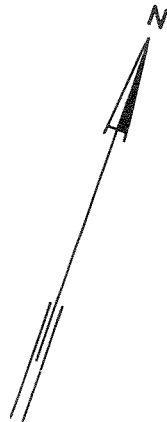


Fig.1  
**Kråkenesvatn**

Dybdekart

Morfometriske data

Overflateareal	0,567 km <sup>2</sup>
Beregnet vannvolum	2,6 millm <sup>3</sup>
Middeldyp	4,6 m





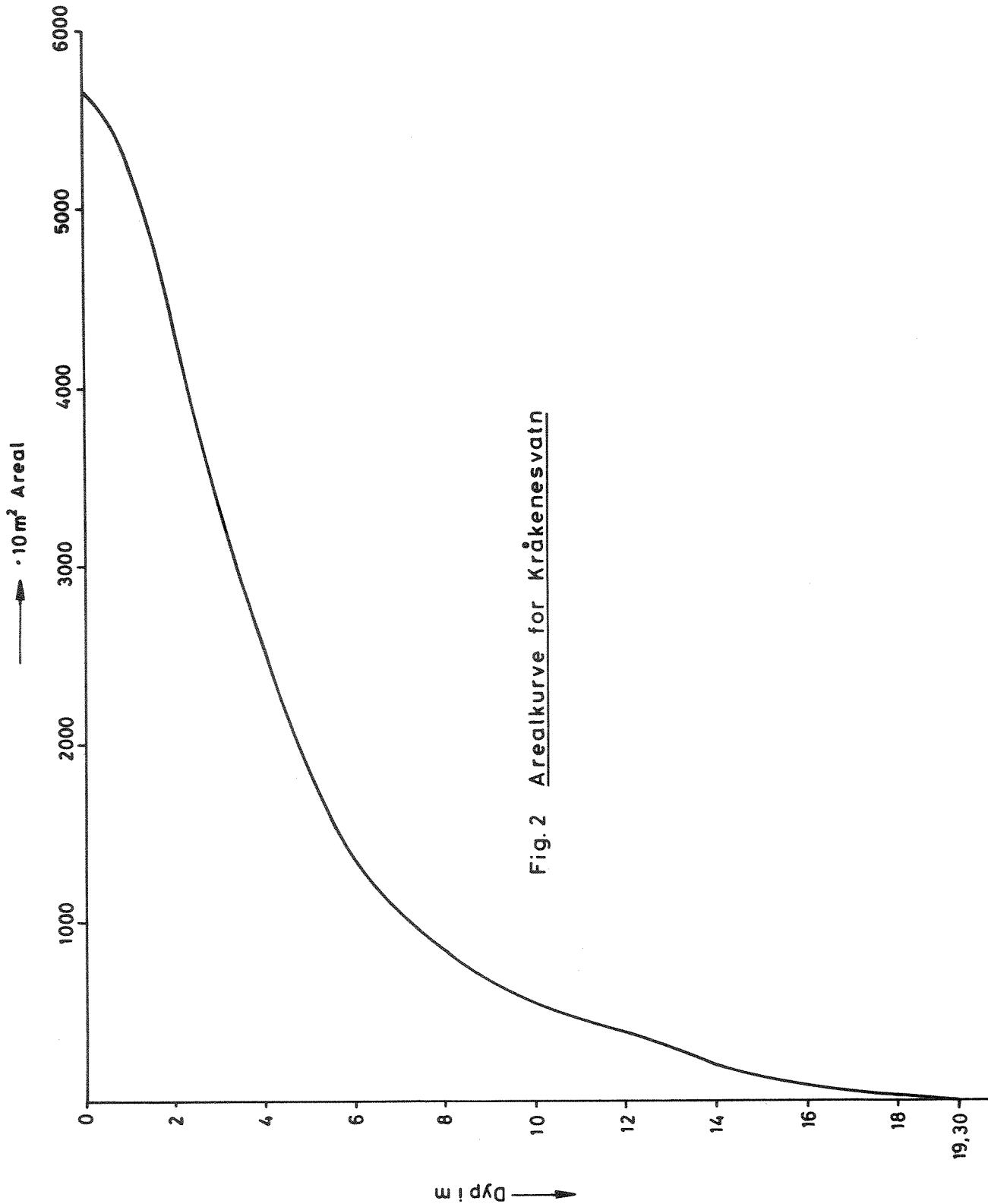
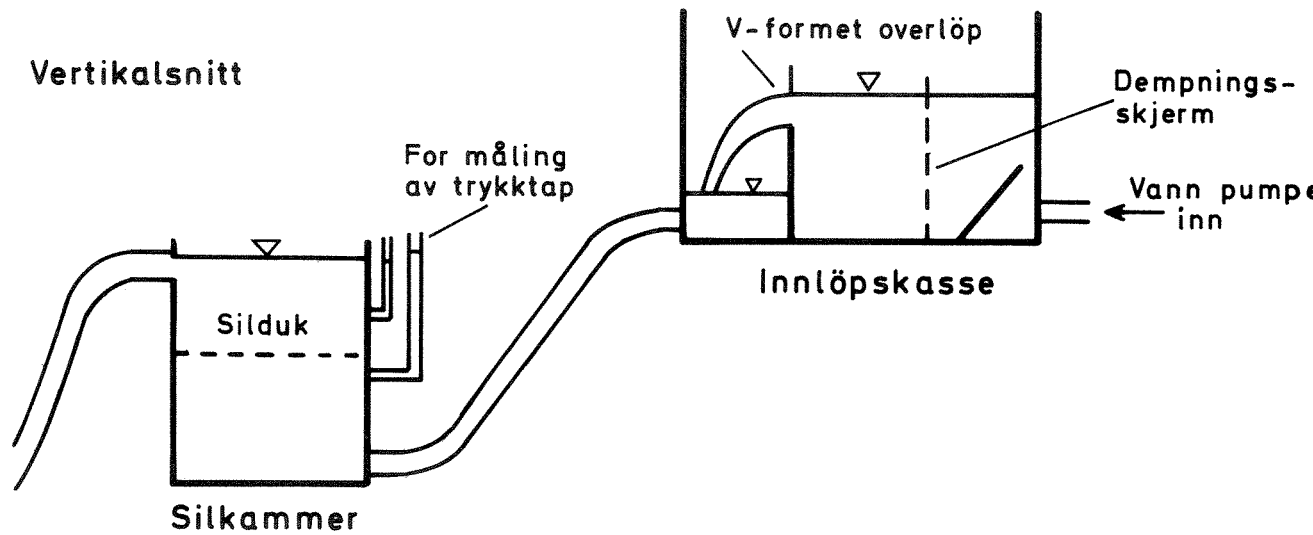
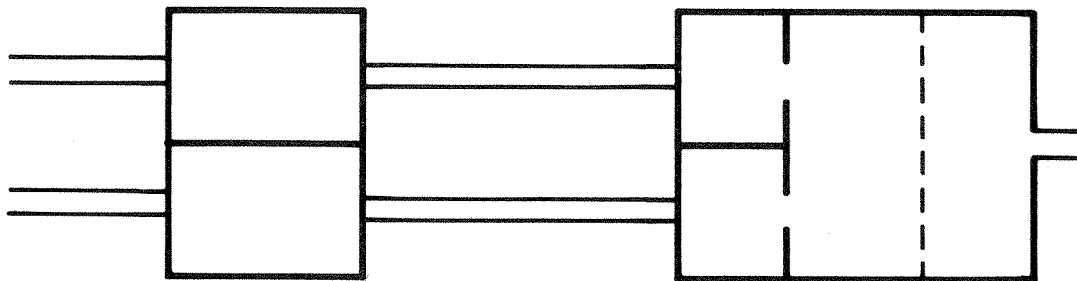


Fig.2 Arealkurve for Kråkenesvatn

Fig.3 Prinsippskisse av forsøksapparat



Horisontalsnitt



Tabell 3. Fysiske og kjemiske forhold i Kråknesvatnet 16/4 og 9/7 1969

Dato	Dyp i m	Temperatur °C	Oksygen mg O <sub>2</sub> /l	Oksygen % metning	pH	Spes. el. ledg. evne 20 °C µS/cm	Turbiditet J.T.U.	Farge mg Pt/l	Permanentsattall mg O/l	Hårdhet mg CaO/l	Ortofosfat µg P/l	Totalfosfor µg P/l	Nitrat µg N/l	Totalnitrogen µg N/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	Magnesium mg Mg/l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l	Klorid mg Cl/l	
16/4-69	0	-	-	-	6,9	96,4	0,15	12	2,8	-	3	13	300	570	-	-	-	-	-	
	1	6,2	11,9	98,8	7,0	92,4	0,18	10	2,8	-	4	12	300	610	-	-	-	-	-	
	4	6,2	11,8	98,6	7,0	94,2	0,25	9	3,4	11,7	3	11	300	670	80	20	2,4	9,2	18,6	
	8	6,2	11,8	98,0	7,0	93,0	0,22	9	2,6	-	4	16	300	570	-	-	-	-	-	
	12	6,2	11,8	98,6	7,0	93,0	0,20	9	2,9	-	5	13	300	600	-	-	-	-	-	
	16	6,2	11,7	99,5	6,9	94,2	0,19	8	2,9	12,2	3	10	300	620	80	15	2,3	9,4	18,6	
	17	6,2	11,9	97,5	7,0	93,6	0,18	7	2,9	-	3	11	300	585	-	-	-	-	-	
	Tilløp	-	-	-	-	7,5	121	0,39	40	4,9	20,4	9	22	750	1180	-	-	-	11,3	-
	0	-	-	-	-	7,0	96,8	0,11	-	3,1	11,0	1	8	70	310	60	15	-	10,2	15,0
	1	16,3	9,3	98,3	6,9	96,4	0,11	-	2,9	-	11,0	1	7	70	320	90	10	-	9,0	15,0
	4	16,2	9,3	98,1	6,9	96,8	0,31	-	2,5	-	11,3	1	11	70	330	60	10	-	9,3	15,0
	8	16,0	9,0	94,6	6,9	97,0	0,20	-	2,5	-	11,2	1	9	70	360	55	35	-	9,1	15,0
	12	15,8	8,7	90,5	7,0	96,8	0,14	-	2,4	-	11,5	1	10	70	325	55	< 10	-	8,7	15,0
	14	10,8	1,0	9,4	6,5	100	0,16	-	3,2	-	11,3	9	21	145	445	165	140	-	8,7	15,0
	16	9,8	1,1	10,1	6,5	100	0,22	-	2,8	-	11,3	6	15	150	475	170	140	-	9,6	15,0
	Tilløp	-	-	-	-	6,2	118	1,5	-	9,7	17,8	10	23	455	1000	1030	25	-	12,6	15,0

Tabell 4. Fysiske og kjemiske forhold i Hanangervatnet 16/4 og 9/7 1969

Dato	Dyp i m	Temperatur °C	Oksygen mg O <sub>2</sub> /l	Oksygen % metning	pH	Spes. el. ledg. evne 20 °C µS/cm	Turbiditet J.T.U.	Farge mg Pt/l	Permanentsattall mg O/l	Hårdhet mg CaO/l	Ortofosfat µg P/l	Totalfosfor µg P/l	Nitrat µg N/l	Totalnitrogen µg N/l	Jern µg Fe/l	Mangan µg Mn/l	Magnesium mg Mg/l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l	Klorid mg Cl/l
16/4-69	0	-	-	-	7,1	91,8	0,18	18	2,1	-	2	12	230	460	-	-	-	-	-
	1	6,5	11,9	100,0	7,2	92,4	0,87	29	2,4	-	3	11	230	500	-	-	-	-	-
	4	6,5	12,1	101,5	7,0	100,2	0,24	68	2,1	10,8	5	13	230	485	50	5	2,3	8,8	18,6
	8	6,5	12,2	101,7	7,4	91,6	0,33	38	2,4	11,4	2	12	230	455	50	5	2,3	10,1	18,6
	9,5	6,5	11,9	99,6	7,4	130,4	0,21	73	2,5	-	4	10	230	485	-	-	-	-	-
9/7-69	0	-	-	-	7,0	94,8	0,23	-	2,1	10,9	2	8	< 5	245	50	< 10	-	9,1	15,0
	1	15,8	9,4	98,3	7,0	95,4	0,24	-	1,9	11,0	2	8	< 5	275	50	< 10	-	8,6	15,0
	4	15,8	9,4	97,8	7,0	95,6	0,26	-	2,0	11,1	2	7	< 5	250	55	10	-	9,3	15,0
	8	15,8	9,1	95,2	7,0	95,0	0,25	-	1,9	11,0	3	8	< 5	235	50	10	-	9,6	15,0
	9	15,2	9,2	94,6	7,0	96,4	0,30	-	2,1	10,9	2	7	< 5	255	50	< 10	-	9,2	15,0

Tabell 5. Plankton i Kråkenesvatnet og Hanangervatnet 16/4 og 9/7 1969

Organismer	Dato:	Kråkenesvatnet		Hanangervatnet	
		16/4-69	9/7-69	16/4-69	9/7-69
<u>Cyanophyceae</u>					
Anabaena cf. flos-aquae (Lyngb.) Breb.			3-4	1	4-5
Cf. Chroococcus Nägeli sp. (2-3 $\mu$ )			2		
Coelosphaerium cf. kützingianum Nägeli				+	2
Coelosphaerium nägelianum Unger	3		3-4	2	3
Dactylococcopsis cf. irregularis G.M.Smith	+				
Oscillatoria Vaucher sp. (6-7 $\mu$ )			1		1
Oscillatoria Vaucher sp. (10-11 $\mu$ )					1
Ubestemte coccale blågrønnalger			2		2
<u>Chlorophyceae</u>					
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs			+		1
Botryococcus braunii Kütz.	1		3	1	3
Closterium kützingii Breb.				+	
Crucigenia rectangularis (A.Br.) Gay			2		3-4
Elakatothrix gelatinosa Wille			1	2-3	
Euastrum Ehr. sp.			+		
Eudorina elegans Ehr.					+
Cf. Gemellicystis neglecta Teiling em. Skuja	3-4			3	
Cf. Gloeococcus schroeteri (Chod.) Lemm.			4-5		3
Cf. Gloeocystis planctonica (W. & G.S. West) Lemm.	2			3	
Gonatozygon monotaenium De Bary			+		
Oocystis Nägeli sp.			2		
Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh.			+		
Quadrigula pfitzeri (Schroeder) Printz			4		4
Spondylosium planum (Wolle) W. & G.S. West			1		
Staurastrum Meyen sp.			+		
Volvox cf. aureus Ehr.					2-3
Xanthidium antilopaeum (Breb.) Kütz.					1
Div. desmidiacéer			1		
<u>Bacillariophyceae</u>					
Achnanthes Bory sp.		2			
Cyclotella Kütz. sp.(8-9 $\mu$ )		2-3			
Diatoma elongatum Ag.				1	
Melosira cf. varians Ag.					1
					Forts.

Tabell 5 forts.

Organismer	Dato:	Kråkenesvatnet		Hanangervatnet	
		16/4-69	9/7-69	16/4-69	9/7-69
<u>Baccillariophyceae</u> forts.					
Nitzschia Ehr. sp.		2-3			
Pinnularia Ehr. sp.				2	
Surirella robusta Ehr.				1	
Synedra ulna (Nitzsch) Ehr.				2	
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.		3		2	1
Tabellaria flocculosa (Roth) Kütz.		3-4		2	1
Div. pennate diatomeer				2	
<u>Chrysophyceae</u>					
Dinobryon cylindricum Imhof (tomme, løse skall)		4			
Dinobryon cylindricum Imhof				4-5	
Mallomonas caudata Iwanoff		3-4		4	
Synura cf. uvella Ehr.				1	
<u>Dinophyceae</u>					
Ceratium cornutum (Ehr.) Clap. & Lachm.			+		+
Ceratium hirundinella (O.F.M.) Schrank		2	3	1	3-4
Peridinium cf. willei Huitf. Kaas		4		4	
Peridinium Ehr. sp. (ca. 55 x 55 µ)			3-4		3
Peridinium Ehr. sp. (ca. 30 x 35 µ)		1		1	
Cyster			+		
<u>Protozca</u>					
Vorticella (L.) Ehr. sp. (på Anabaena)			3	1	3
<u>Rotatoria</u>					
Conochilus Ehr. sp.					2
Kellicottia longispina (Kell.)		3		3	2
Keratella cochlearis (Gosse)		3	2	3	3
Polyarthra Ehr. sp.		3	2-3	2-3	2-3
Trichocerca Lamarck sp.			3		1
					Forts.

Tabell 5 forts.

Organismer	Kråkenesvatnet		Hanangervatnet	
	Dato: 16/4-69	9/7-69	16/4-69	9/7-69
<u>Crustacea</u>				
Bosmina coregoni Baird	2			
Cyclops O.F. Müller sp.	3	2	2	2
Daphnia O.F. Müller sp.	2-3			
Cf. Diaptomus Westwood sp.	3			
Holopedium gibberum Zadd.		+		
Calanoide copepoder		3		3
Nauplier	3		4	2
<u>Varia</u>				
Pollen av bartrær	2			
Humuspartikler med utfelt jern	3	2-3	3	2

JoK/ofa  
2/2-70