

O - 115/64

UNDERSØKELSE AV FEMSJØEN OG  
LILLE ERTEVATN  
SOM DRIKKEVANNSKILDER  
FOR HALDEN VANNVERK

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN

O - 115/64

Undersøkelse av Femsjøen og Lille Ertevatn  
som drikkevannskilder for Halden vannverk.

Utført i tidsrommet mai 1965 - aug. 1966.

Saksbehandler: Cand.real. Hans Holtan.

Rapporten avsluttet mars 1967.

INNHALDSFORTEGNELSE:

Side:

1.	INNLEDNING	4
2.	BESKRIVELSE AV NEDBØRFELTET	5
3.	BESKRIVELSE AV INNSJØEN	5
4.	HYDROLOGI	6
	4.1. Femsjøen	6
	4.2. Lille Ertevatn	6
5.	OBSERVASJONS- OG ANALYSEMETODER	6
	5.1. Feltobservasjoner	6
	5.2. Analysemetoder	7
6.	HYDROGRAFI	8
	6.1. Temperaturforhold	8
	6.2. Oksygenforhold	9
	6.3. Kjemiske forhold	10
	6.3.1. pH og spesifikk ledningsevne	10
	6.3.2. Total hårdhet	11
	6.3.3. Vannets innhold av organisk og partikulært materiale	11
	6.3.4. Jern og mangan	11
	6.3.5. Næringssalter	11
	6.3.6. Lille Ertevatn - Kjemiske forhold	12
7.	OM PLANKTONVEGETASJONEN I FEMSJØEN	12
8.	BAKTERIOLOGISKE FORHOLD	14
9.	KOAGULERINGSFORSØK I LABORATORIEFLOKKULATOR MED VANN FRA FEMSJØEN	17
	9.1. Innledning	17
	9.2. Undersøkellesmetodikk	17
	9.3. Resultater	17

## INNHOLDSFORTEGNELSE:

Side:

10.	SAMMENFATTENDE DISKUSJON	20
11.	PRAKTISKE KONKLUSJONER	21

## TABELLFORTEGNELSE:

1.	Morfometriske og hydrologiske data	5
2.	Fysisk-kjemiske analyseresultater. Middelerverdier	10
3.	Skala for subjektiv vurdering av kvantitativ forekomst av organismer	12
4.	Forekomst av arter i håvtrekkmateriale fra Femsjøen	13
5.	Femsjøen. Bakteriologiske analyseresultater	16
6.	Resultater av fellingsforsøk på vann fra Femsjøen	19
7.	Fysisk-kjemiske analyseresultater 20/5 1965	22
8.	- " - - " - 9/11 1965	23
9.	- " - - " - 16/3 1966	24
10.	- " - - " - 12/5 1966	25
11.	- " - - " - 24/8 1966	26

## FIGURFORTEGNELSE:

1.	Femsjøen. Nedbørfelt	27
2.	Femsjøen. Dybdekart	28
3.	Femsjøen. Areal- og magasinkurve	29

## 1. INNLEDNING

I brev av 31. mars 1965 fra byingeniøren i Halden ble vi bedt om å utarbeide et program med kostnadsoverslag for en undersøkelse av drikkevannskildene til Halden: Femsjøen og Lille Ertevatn.

Følgende undersøkelsesprogram ble oversendt Halden kommune v/byingeniør Christiansen i brev av 10. juni 1965:

1. Opplodding og utarbeidelse av dybdekart over Femsjøen.
2. Limnologisk undersøkelse:
  - a) I det dypeste område av søndre del av Femsjøen samler NIVA inn vannprøver for kjemisk og bakteriologisk analyse i august og november 1965, samt i mars og april/mai 1966. Samtidig blir det tatt med prøver fra Lille Ertevatn.
  - b) Halden kommune samler hver måned inn prøver for oksygenbestemmelser og kjemiske analyser fra inntakskammer Lille Ertevatn, Femsjøens overflate og Femsjøens bunnvann. Samtidig måles temperaturen i følgende dyp: 1, 4, 8, 12, 16, 20, 30 meter osv. Apparaturl og flasker utlånas av NIVA.
3. Koaguleringsforsøk. Vannprøver fra aktuelle inntaksdyp, som bestemmes omtrentlig etter prøvetaking i august 1965, tas i august 1965 og februar 1966 og transporteres til NIVA for koaguleringsforsøk.

I brev av 28. oktober 1965 fra kommuneingeniøren i Halden, ble det opplyst at Halden kommune hadde godtatt NIVA's program.

NIVA utførte stort sett sin del av undersøkelsen etter programmet. P.g.a. visse vanskeligheter har Halden kommune ikke fått gjennomført sin del av oppgaven. Følgende rapport bygger således bare på de observasjoner NIVA selv har utført.

## 2. BESKRIVELSE AV NEDBØRFELTET

Femsjøens nedbørfelt (fig. 1) ligger i det sør-øst-norske grunnfjellsområde. Berggrunnen består i det vesentligste av gneis og gneisgranitter. Store deler av området ligger under den marine grense, og langs vassdraget er løsavsetningene av marin opprinnelse. I nedbørfeltet forøvrig er berggrunnen i stor utstrekning dekket med et tynt lag bregrus, forvittringsgrus og lynghumus.

I områder med marine avsetninger og ellers hvor jordsmonnet er fordelaktig, drives det et relativt intensivt jordbruk. Store deler av nedbørfeltet er dekket med produktiv skog (vesentlig barskog). Enkelte steder er det forholdsvis store myrområder. Befolkningen er stort sett konsentrert langs Haldenvassdraget.

## 3. BESKRIVELSE AV INNSJØEN

Sommeren 1966 foretok NIVA en opplodding av Femsjø. Vertikale luftfotografier i målestokken 1 : 17.500 dannet kartgrunnlag for opploddingen. Det ble stukket ut kurser mellom karakteristiske punkter ved strendene. Disse ble plottet ned på kartet og avmerket på ekkogrammet. Profilene ble tegnet ved å kjøre mellom de avmerkede punkter med jevn fart. Disse profiler har tjent som grunnlag for opptegning av dybdekart. Dybdekartet er gjengitt i fig. 2. Areal- og volumkurve er tegnet inn på fig. 3.

Innsjøens viktigste morfometriske og hydrologiske data er satt opp i tabell 1.

Tabell 1. Morfometriske og hydrologiske data

Høyde over havet	79	m
Overflateareal	10,2	km <sup>2</sup>
Maks. lengde	6,8	km
Største dyp	50	m
Middel dyp	19,6	m
Volum	200,5	mill.m <sup>3</sup>
Nedbørfelt	1550	km <sup>2</sup>
Midlere avrenning	15,3	l/sek/km <sup>2</sup>
= ca.	24	m <sup>3</sup> /sek
Teoretisk oppholdstid ca.	3	mndr.

Femsjøen er demmet opp av det store Ra. Bassengets topografi er forholdsvis uregelmessig. I de sentrale områder av innsjøen er dybden vel 40 meter. I innsjøens sydligste områder er dybden 10 - 15 meter.

#### 4. HYDROLOGI

##### 4.1. Femsjøen

På sin vei mot havet passerer elven en rekke større innsjøer hvorav Femsjøen ligger lengst nede i vassdraget. Vassdraget ble i 1850 - 1870-årene regulert av Haldenvassdragets kanalselskap og er senere blitt benyttet for tømmerfløting og som trafikkåre for båter. Senere er vassdraget ytterligere regulert, både av hensyn til tømmerfløting og kraftproduksjon. Femsjøen er regulert 1 meter fra kote 78,5 til kote 79,5.

Innsjøens nedbørfelt er ifølge Hydrologiske undersøkelser i Norge (NVE 1958) 1550 km<sup>2</sup>. Den midlere avrenning er ifølge samme kilde oppgitt til 15,3 l/sek/km<sup>2</sup> dvs. 23,7 m<sup>3</sup>/sek. Vannmassenes teoretiske oppholdstid skulle da bli ca. 3 mndr.

##### 4.2. Lille Ertevatn

Lille Ertevatn blir idag brukt som inntaksmagasin for Halden vannverk. Innsjøen har en overflate på ca. 0,4 km<sup>2</sup> og et nedbørareal på 1,6 km<sup>2</sup>. Innsjøen er grunn og med et antatt middeldyp på 3 meter er volumet ca. 1,2 mill.m<sup>3</sup>. Hvis den midlere avrenning er 15,3 l/sek/km<sup>2</sup> (NVE), blir vannmassenes teoretiske oppholdstid ca. 1,5 år. For å tilfredsstille vannverkets vannbehov blir det pumpet vann fra Femsjøen opp i Lille Ertevatn. Ved et vannforbruk på 450 m<sup>3</sup>/time blir vannmassenes teoretiske oppholdstid i Lille Ertevatn 3 - 4 mndr. De opppumpede vannmasser fra Femsjøen blir imidlertid tilført innsjøen i nærheten av vanninntaket, slik at disse vannmasser ikke får noen vesentlig oppholdstid i Lille Ertevatn.

#### 5. OBSERVASJONS- OG ANALYSEMETODER

##### 5.1. Feltobservasjoner

Alle prøver i Femsjøen ble samlet inn på prøvetakingsstasjonen avmerket på fig. 1. I Ertevatn ble det samlet inn prøver fra overflatelagene i nærheten av vanninntaket samt fra overflatelagene noe lengre inne på vannet. De fysisk-kjemiske og biologiske prøver ble samlet inn med en Ruttner vannhenter. De

bakteriologiske prøver ble samlet inn med NIVA's spesielle bakteriologiske vannhenter. Temperaturen ble målt med et vendetermometer.

## 5.2. Analysemetoder

Oksygen ble bestemt titrimetrisk ved Alsterbergs modifikasjon av Winklers metode (Methods of Chemical Analysis as applied to Sewage Effluents 1956).

pH ble målt med "Radiometer pH-meter 22".

Spesifikk elektrolytisk ledningsevne ble målt med Philips direkteavlesende målebro PR9501.

Farge ble bestemt med "EEL" filter fotometer (Filter 601). Kalibrert mot standard platina-kobolt-klorid oppløsninger.

Turbiditet ble målt på et Sigrist fotometer basert på spredning av lyset i prøven. Instrumentet er kalibrert mot standard suspensjoner av  $\text{SiO}_2$ .

Kaliumpermanganattall ble bestemt med Auto-Analyzer. Prøven ble behandlet med permanganat i svovelsur løsning. Varmebadets temperatur var  $90^\circ\text{C}$ . Fargereduksjon registrert ved 520 nm.

Jern ble bestemt med Auto-Analyzer med 2, 4, 6-tripirydyl-s-triazin som reagens. Før analysetrinnet behandles prøven med syre. (Thioglycolsyre) (Henriksen: Vattenhygien Nr. 1, 1966 s. 2 - 9).

Mangan ble oksydert til permanganat med ammoniumpersulfat. Sølvnitrat benyttes som katalysator. Det dannede permanganat ble bestemt kolorimetrisk (Standard Methods 1960).

Alkalitet. Titrert potensiometrisk til pH 4,0.

Total hårdhet. Titrert med EDTA og Eriocromsvart T som indikator. Vanligvis ble det benyttet boratbuffer. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1965).

Klorid ble bestemt på Auto-Analyzer.

Reagenser:  $\text{Hg}(\text{CNS})_2$  og  $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2$ . Klorid frigjør rhodaminioner som i sur løsning gir farge med  $\text{Fe}^{+++}$ .



Nitrat ble bestemt på Auto-Analyzer. Nitrat reduseres til nitritt i en kolonne pakket med metallisk kadmium. Reduksjonen blir foretatt med hydrazinkobbersulfatopløsning. Nitritt diazoteres med sulfanilsyre og kobles med naftylamin (Henriksen: Analyt 90, 1965, 83 - 88).

Orto-fosfat ble bestemt på Auto-Analyzer. Molybdofosforsyre ekstraheres i svovelsurt miljø med isobutanol og reduseres med tinnklorid løst i isobutanol (Henriksen: Analyt 90, 1965, 29 - 34 og Analyt 91, 1966, 290).

Total-fosfat ble analysert for orto-fosfat etter oppslutning med svovelsyre og hydrogenperoksyd.

## 6. HYDROGRAFI

I observasjonsperioden ble det samlet inn hydrografisk materiale fra Femsjø ialt 4 ganger. Resultatene er gjengitt i tabellene 7 - 11.

### 6.1. Temperaturforhold

Femsjø hører til de såkalte tempererte innsjøer og gjennomløper ialt 4 termiske perioder pr. år, nemlig høstsirkulasjonsperioden, vinterstagnasjonsperioden, vårsirkulasjonsperioden og sommerstagnasjonsperioden.

På observasjonsdagen den 9. november 1965 var vannets temperatur ca.  $8,2^{\circ}\text{C}$  fra overflate til under 30 meters dyp. På 40 meters dyp var temperaturen ca.  $1^{\circ}\text{C}$  lavere. Vannmassene befant seg på dette tidspunkt i overgangen fra sommerstagnasjonsperioden til høstfullsirkulasjonsperioden som er karakterisert ved ensartede temperaturforhold gjennom alle lag. Denne periode varte til isleggingen fant sted, og da var vannmassene avkjølt til en temperatur under  $4^{\circ}\text{C}$  (temperaturen for vannets maks. tetthet).

Observasjonsresultatene den 16. mars 1966 viser bl.a. innsjøens termiske forhold under vinterstagnasjonsperioden. På dette tidspunkt var vannets temperatur lavere enn  $2^{\circ}\text{C}$  ned til 10 - 12 meters dyp. Under dette nivå lå temperaturen i intervallet  $2 - 3^{\circ}\text{C}$ . De relativt lave verdier i overflatelagene henger sannsynligvis sammen med at gjennomstrømmingen av det kalde (og lettere) ellevann foregår i innsjøens overflatelag. De lave temperaturer i dyplagene tyder på en langvarig avkjøling før isleggingen fant sted.

Neste observasjon, 12. mai 1966, fant sted straks etter is-løsningen, og temperaturen var på dette tidspunkt ca.  $3,7^{\circ}\text{C}$  gjennom alle dyp. Innsjøens temperaturforhold senere på sommeren tyder på at vårfullsirkulasjonen varte til vannmassene var oppvarmet til  $6 - 7^{\circ}\text{C}$ .

Den 24. august 1966 hadde vannmassene ned til 12 - 15 meters dyp en temperatur på ca.  $15,5^{\circ}\text{C}$ . Sprangsjiktet var lite utpreget og lå i 16 - 25 meters dyp. Under sprangsjiktet avtok temperaturen svakt fra  $7,5^{\circ}\text{C}$  i 30 meters dyp til  $7,13^{\circ}\text{C}$  i 40 meters dyp.

## 6.2. Oksygenforhold

Oksygenforholdene i Femsjøen på de forskjellige observasjonsdager er gjengitt i tabellene 7 - 11.

På prøvetakingsdagen den 9. november 1965 sirkulerte vannmassene ned til vel 30 meter. Oksygenmetningen i disse sirkulerende vannmasser var 82 - 83%. I de dypereliggende vannmasser var oksygenmetningen  $< 70\%$ . Dette viser at det har vært et visst oksygenforbruk i dyplagene under sommerstagnasjonsperioden. Under den fortsatte fullsirkulasjonsperiode ble også disse vannmasser luftet og beriket med oksygen.

Observasjonsverdiene den 16. mars 1966 viser at det under vinterstagnasjonsperioden har vært et visst forbruk av oksygen i alle dyp, og metningsverdiene lå mellom 70 og 80%.

Under vårfullsirkulasjonsperioden ble vannmassene tilført oksygen fra atmosfæren, og på observasjonsdagen den 12. mai varierte oksygenmetningen mellom 88 og 92%.

På prøvetakingsdagen den 24. august var oksygenmetningen i vannmassene over sprangsjiktet mellom 80 og 90%. I de dypereliggende vannmasser var oksygenmetningen noe lavere.

Oksygenforbruket i dyplagene under stagnasjonsperiodene henger sammen med biologisk nedbrytning av organisk materiale i vannet og i mudderet. For den praktiske anvendelse av vannet som råvann i et vannverk har imidlertid dette oksygenforbruket ingen betydning.

### 6.3. Kjemiske forhold

Observasjonsverdiene for vannets kjemiske kvalitet er fremstilt i tabellene 7 - 11. Middelerverdiene for de forskjellige kjemiske komponenter er fremstilt i tabell 2.

Tabell 2. Fysisk-kjemiske analyseresultater - Middelerverdier

Komponent	Sted ->	Femsjøen					Lille Ertevatn	
	Dato ->	9/11 1965	16/3 1966	12/5 1966	24/8 1966	Års- middel	Vann- inntak	Midt på vann- net
Temperatur °C		8,02	2,13	3,73	11,74			
pH		6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,3
Spesifikk ledn.evne 20°C, µS/cm		44,3	42,8	42,0	40,6	42,4	41,2	41,8
Farge mg Pt/l		42	38	57	48	46	36	29
Turbiditet mg SiO <sub>2</sub> /l		2,2	1,5	3,0	1,3	2,0	1,2	0,8
Permanganattall mg O/l		6,3	5,2	7,2	6,0	6,2	5,9	5,1
Orto-fosfat µg P/l		3		5	<2	3		
Total-fosfat µg P/l		27	55	29		37	45	59
Nitrat µg N/l		231	211	228	262	233	201	202
Alkalitet ml N/10 HCl/l		2,18	1,42	1,24	1,58	1,61	1,71	1,33
Total hårdhet mg CaO/l		7,5	6,9	7,5	7,1	7,3	6,7	6,5
Jern µg Fe/l		112	120	192	57	120	79	55
Mangan mg Mn/l		Ikke påvist	<0,05	Ikke påvist		<0,05		
Klorid mg Cl/l		3,39		3,89	3,67	3,65	3,92	3,77
Antall prøver		5	8	8	8	29	4 <sup>x</sup> )	5 <sup>x</sup> )

x) = Forskjellig årstid.

#### 6.3.1. pH og spesifikk ledningsevne

Vannet i Femsjø er svakt surt og pH-verdiene varierte mellom 5,74 og 6,79. De høyeste verdier ble observert i de sirkulerende vannmasser (de øverste lagene) under sommerstagnasjons-

perioden. Dette henger tildels sammen med planktonets fotosyntese. De relativt lave verdier i dyplagene under den samme periode har sammenheng med den biologiske nedbrytning av organisk materiale. Ellers var pH-verdiene relativt konstante på alle observasjonsdager.

Den spesifikke ledningsevne viser at vannet er relativt saltfattig, og verdiene varierte stort sett mellom 40 og 45  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Den noe lavere verdi på 1 meters dyp den 16. mars 1966 skyldes sannsynligvis gjennomstrømming av noe elektrolyttfattigere smeltevann.

#### 6.3.2. Total hårdhet

Verdiene for vannets totale hårdhet er relativt lave, og de stemmer således overens med vannets spesifikke ledningsevne.

#### 6.3.3. Vannets innhold av organisk og partikulært materiale

Disse forhold er registrert ved farge-, turbiditets- og oksyderbarhetsanalyser. Verdiene for disse komponenter var relativt høye og varierte i intervallene 35 - 60 mg Pt/l, 1,0 - 3,6 mg  $\text{SiO}_2/\text{l}$  og 4,3 - 7,6 mg O/l for henholdsvis farge, turbiditet og kaliumpermanganatforbruk. De høyeste verdier for alle komponenter ble registrert under sirkulasjonsperioden om våren (12. mai 1966). Dette henger sammen med de spesielle forhold med stor transport av partikulært- (leire) og organisk materiale med tilløpselvene under vårflommen. Ellers var det relativt liten variasjon i vannkvaliteten med hensyn til disse komponenter.

#### 6.3.4. Jern og mangan

Vannets jerninnhold varierte mellom 40  $\mu\text{g}$  og 250  $\mu\text{g}$  pr. liter, og middelveien var 120  $\mu\text{g}$  Fe/l. Disse relativt høye jernverdier må sees i sammenheng med vannets humuspåvirkning. I humuspåvirkede innsjøer er nemlig vannets jerninnhold i stor utstrekning komplekst forbundet med humuskomponentene.

Manganinnholdet var på alle observasjonsdager  $< 0,05$  mg pr. liter og har ingen betydning i denne sammenheng.

#### 6.3.5. Næringssalter

Vannets innhold av nitrater og fosfater er blitt undersøkt. Resultatene er gjengitt i tabellene 7 - 11.

### 6.3.6. Lille Ertevatn - Kjemiske forhold

På de forskjellige observasjonsdager ble det også samlet inn prøver fra vannverkets inntaksområde i Lille Ertevatn og fra en stasjon 200-300 meter fra inntaksområdet. Resultatene er gjengitt i tabellene 7 - 11. Vannet i Lille Ertevatn er som drikkevann betraktet av en noe bedre kvalitet enn vannet i Femsjø. Verdiene for farge og organisk stoff er således betydelig lavere, særlig i de prøver som ble tatt i 200-300 meters avstand fra inntaket.

## 7. OM PLANKTONVEGETASJONEN I FEMSJØEN

Kjennskapet til vegetasjonen i de fri vannmasser av Femsjøen skriver seg vesentlig fra bearbeiding av prøver innsamlet med fytoplanktonhåv. Materialet filtrert fra vannet med en håv med møllesilke nr. 25 ble fiksert og konserverert i nøytralisert formalin. Bearbeidingen i laboratoriet har foregått etter den sedvanlige mikroskopiske fremgangsmåte.

Ved vurderingen av den mengdemessige forekomst av artene i prøven er det benyttet en subjektiv metode. Betegnelsene som brukes for dette formål er gjengitt i tabell 3.

Tabell 3. Skala for subjektiv vurdering av kvantitativ forekomst av organismer

Kvantitetsgruppe	Betegnelse	Definisjon for mikroskopering
+	Forekommer	Ett eksemplar funnet.
1	Sjelden	Enkelte eksemplarer funnet.
2	Sparsom	Forekommer ofte, men ikke i hvert synsfelt.
3	Vanlig	Noen eksemplarer i hvert synsfelt.
4	Hyppig	Preger inntrykket av hvert synsfelt.
5	Dominant	Utgjør nærmest hvert synsfelt fullstendig.

Resultatene av den mikroskopiske undersøkelse er gjengitt i tabell 4. Et sammendrag av observasjoner over forekomst av planktonalger i Femsjøen er tidligere publisert (Skulberg, O.: Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning. Nordisk Jordbruksforskning, pp. 180 - 190, Nr. 3, 1965).

Gjennomgående er det blågrønnalger og diatomeer som har størst mengdemessig utvikling i Femsjøens algeplankton. Under høstoppblomstringen er det særlig blågrønnalgen Coelosphaerium Naegelianum og diatomeen Tabellaria fenestrata som setter sitt preg på vannmassene. Den mengdemessige forekomst av planktonorganismer i Femsjøen er av en størrelsesorden som kan ha praktiske konsekvenser for den vannverkstekniske behandling av vannet.

Tabell 4. Forekomst av arter i håvtrekkmateriale fra Femsjøen

Organismer	Dato	/9 1961	4/7 1963	19/9 1963	5/8 1964	27/9 1964
<b>SCHIZOPHYCEAE</b>						
Anabaena flos-aquae		2			1	
Anabaena spiroides (?)		1	1		3	
Anabaena spp.				2	1	2
Aphanizomenon flos-aquae						1
Coelosphaerium Naegelianum		4	3	3	4	4
<b>CHLOROPHYCEAE</b>						
Arthrodesmus Incus		1				
Botryococcus Braunii		2			2	+
Coelastrum cf. cambricum			+			
Dictyosphaerium pulchellum		1				
Pandorina sp. (?)			1			
Pediastrum sp.						1
Spondylosium planum			1		1	
Staurastrum spp.		1	1	1	1	1
Xanthidium sp.		1				
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>						
Attheya Zachariasii			+			1
Asterionella formosa		3	1	2	2	2
Melosira sp.						1
Rhizosolenia longiseta		2	2		1	1
Tabellaria fenestrata		3	1	4	1	3
Tabellaria fenestrata var. asterionelloides			5			
Tabellaria flocculosa						1

Tabell 4. (forts.)

Organismer	Dato	1/9/ 1961	14/7/ 1963	19/9/ 1963	5/8/ 1964	27/9/ 1964
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>						
Dinobryon bavaricum		1				
Dinobryon divergens		2	2		3	
Mallomonas cf. candata					1	
Mallomonas sp.		1				1
Synura uvella		3			2	
<b>DINOPHYCEAE</b>						
Ceratium hirundinella		1	+			+
Peridinium cf. Willei						1
Peridinium sp.			1		1	
<b>ROTATORIA</b>						
Asplanchna priodonta					1	
Keratella cochlearis		1	2	1	1	1
Notholca longispina		2				1
Polyarthra platyptera		+	2			
Ubest. rotatorier			1			
<b>CRUSTACEA</b>						
Bosmina sp.		+		1		
Cyclops sp.		1	1		1	1
Daphnia sp.		1			1	
Diaphanosoma brachyura			+			
Holopedium gibberum		1				1
Nauplier		1	1			

## 8. BAKTERIOLOGISKE FORHOLD

På alle observasjonsdager ble det samlet inn prøver for bakteriologisk bearbeiding. Analyseresultatene er gjengitt i tabell 5.

Coliforme bakterier blir benyttet som indikatorer på forurensninger fra menneskers og varmblodige dyrs tarmkanaler. Disse bakterier vil i alminnelighet ikke forårsake sykdommer, og en vannkilde som inneholder disse bakterier, behøver ikke å være smitteførende eller helsefarlig. Men sannsynligheten for

forurensninger, som har uønskede helsemessige konsekvenser, er større når vannkildens innhold av coliforme bakterier er stort. Selv om en vannkilde inneholder lite coliforme bakterier, kan den derfor ikke betraktes som hygienisk sikker. Det er nødvendig spesielt å vurdere hvilken betydning eventuelle forurensningskilder vil ha for vannkildens hygieniske tilstand i sammenheng med vannets bruk. Det er helsemyndighetene som må vurdere og ta endelig standpunkt til disse forhold.

Femsjøens vannmasser er i noen grad påvirket av bakterier, men ikke utover det som er normalt for innsjøer i jordbruksområder.





## 9. KOAGULERINGSFORSØK I LABORATORIEFLOKKULATOR MED VANN FRA FEMSJØEN

### 9.1. Innledning

Koaguleringsforsøkene ble foretatt på en vannporsjon tatt ved hovedstasjonen 9/11 1965 på ca. 30 meters dyp. Vannporsjonens temperatur ved prøvetakingen var  $8,2^{\circ}\text{C}$ .

### 9.2. Undersøkellesmetodikk

Koaguleringsforsøkene ble utført i en laboratorieflokkulator med mulighet for utførelse av ialt 12 forsøk samtidig. Koagulerings-hastigheten var 200 omdreininger pr. minutt, og flokkulerings-hastigheten var 20 omdreininger pr. minutt. Diameteren på om-rørerens propeller var 5 cm. Koaguleringstiden var 3 minutter, mens flokkuleringstiden var 57 minutter. Forsøkene ble gjort i runde begerglass (1 liter). Omstillingen fra koagulering til flokkuleringshastighet foregikk momentant. Kalkhydrat ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ble tilsatt før alun ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16-18 \text{H}_2\text{O}$ ) i alle forsøk. Tiden mellom hver koagulanttilsetning var maksimalt 1 minutt. Tilsetning av koagulantene foregikk momentant og samtidig til alle begerglass i en forsøksserie. Etter flokkuleringen ble vannet i begerglassene filtrert gjennom Schleicher und Schüll foldefilter av papir nr. 597 $\frac{1}{2}$  og analyser ble utført på filtra-tene. Fnokktypen og sedimenteringshastigheten ble bedømt visuelt.

### 9.3. Resultater

Resultatene av fellingsforsøkene fremgår av tabell 6.

I forsøksserienummer 1.1 - 1.6 ble det oppnådd lave verdier for farge og turbiditet på filtrert vann med dosering av 25 mg alun/liter og fra 1 - 7 mg kalkhydrat/liter i pH-området 5,30 - 6,60. Fellingen i forsøksnummer 1.5 og 1.6 foregikk øyensynlig ved for høy pH slik at fnokkdannelsen ikke var optimal og fnokkene var så finfordelt at de passerte foldefilteret. Fargen og turbiditeten på filtrert vann i forsøksnummer 1.5 og 1.6 var således høy. Permanganattallet etter felling og filtrering var betraktelig redusert i forhold til råvannets permanganattall, samtidig som restaluminiumsmengden var lav (forsøksnr. 1.3 og 1.4).

Fnökkene i forsøksnummer 1.1, 1.2, 1.3 og 1.4 ble dannet etter 10 - 15 minutter, og fnökkene lot seg relativt lett sedimentere.

I forsøksserienummer 2.1 - 2.6 ble det dosert 35 mg alun og fra 1 - 11 mg kalkhydrat/liter, slik at fellingen foregikk i pH-området fra 5,15 - 6,80. Vannets farge og turbiditet var lav etter filtrering, og i forsøksnummer 2.5 og 2.6 ble det oppnådd lavt permanganattall og innhold av restaluminium etter filtrering.

Råvannets innhold av aluminium var relativt høyt, men dette har ingen praktisk betydning, og vi vil ikke legge vekt på analyseresultatet i en enkelt prøve.

I en oppsummering kan man si at vannet fra Femsjøen lar seg koagulere med moderate aluminiums- og kalkdoser til pH-området 5,3 - 6,8. Vannets innhold av humus, partikulært materiale og jern ble redusert til lave verdier ved koagulering og filtrering. Fnokkdannelsen ved de angitte doseringer og pH-området var god.



## 10. SAMMENFATTENDE DISKUSJON

I 1965 - 1966 ble det foretatt en fysisk-kjemisk og bakteriologisk undersøkelse av Femsjøen.

Lokalitetens nedbørfelt ( $1550 \text{ km}^2$ ) er i stor utstrekning dekket av skog. Enkelte steder er det store myrområder. I områder med marine avsetninger drives et relativt intensivt gårdsbruk.

Femsjøen har et overflateareal på  $10,2 \text{ km}^2$  og et volum på ca.  $200 \text{ mill.m}^3$ . Den midlere avrenning er ca.  $24 \text{ m}^3/\text{sek}$  og teoretisk oppholdstid ca. 3 mndr.

Femsjøen gjennomløper 4 forskjellige termiske perioder pr. år, nemlig:

Vinterstagnasjonsperioden:	Des. - april,	4 - 5 mndr.
Vårfullsirkulasjonsperioden:	April - mai,	2 - 3 uker
Sommerstagnasjonsperioden:	Mai - okt.,	5 - 6 mndr.
Høstfullsirkulasjonsperioden:	Nov. - des.,	ca. 1 mnd.

Sprangsjiktet lå sommeren 1966 i 16 - 25 meters dyp.

Oksygenmetning:

	<u>Overflatelag</u>		<u>Dyplag</u>	
Vintersituasjon	70	- 80%	70	- 80%
Sommersituasjon	80	- 90%	70	- 80%
Situasjon under sirkulasjonsperioder	80	- 90%	80	- 90%

Vannet er svakt surt, relativt bløtt og noe påvirket av organisk (humus) og partikulært materiale (leire). Vannets innhold av jern er relativt høyt. Manganinnholdet var  $<0,05 \text{ mg/l}$  på alle observasjonsdager.

Innsjøen er noe eutrofiert, og i sommerhalvåret er det betydelig planktonproduksjon i overflatelagene. Dette kan ha praktiske konsekvenser for den vannverkstekniske behandling av vannet. Ved plassering av vannverkets inntak i dypet av innsjøen, antar vi imidlertid av vanskene i forbindelse med algeproduksjonen vil bli mindre. Det er grunn til å regne med at ved fullrensning av vannet vil algeproblemet ikke gjøre seg gjeldende i særlig grad. Imidlertid viser de biologiske forhold i Femsjøen at det er nødvendig å vie den videre påvirkning av vassdraget oppmerksomhet.

Det foreliggende analyse materialet viser at kvaliteten av vannverkets råvann er noe bedre enn vannkvaliteten i Femsjøen. Ved å lede vannet fra Femsjøen inn i et annet område av Lille Ertevatn, ville den forlengede oppholdstid muligens forbedre vannkvaliteten ytterligere. Vi antar imidlertid at denne eventuelle kvalitetsforbedring blir så beskjeden at fullrensning i alle tilfelle vil bli nødvendig. Lille Ertevatn er en grunn innsjø, og om sommeren vil derfor vannet få en relativt høy temperatur. Temperaturmessig er det således en fordel å plassere vannverkets vanninntak i dypet av Femsjøen.

Vannet fra Femsjøen lar seg koagulere med moderate aluminiums- og kalkdoser til pH-området 5,3 - 6,8. Vannets innhold av humus, partikulært materiale og jern ble redusert til lave verdier ved koagulering og filtrering. Fнокkdannelsen ved de angitte doseringer og pH-området var god.

## 11. PRAKTISKE KONKLUSJONER

### 1. Vanninntak i Femsjøen

Den fremre del av innsjøen er relativt grunn og er noe utsatt for forurensningsbelastning. Et vanninntak bør plasseres utenfor vannverkets nåværende vanninntak i ca. 30 meters dyp.

### 2. Rensemetode

Vannet er betydelig påvirket av humusstoffer som bl.a. forårsaker brunfarge på vannet. Dessuten vil et slikt vann kunne skape tekniske problemer ved begroing og korrosjon i rørløsnings. Humusstoffene lar seg ikke fjerne uten ved fullrensning (kjemisk felning).

3. En utbygging av vannverket bør foregå med sikte på at vannet skal fullrenses enten vanninntaket plasseres i Femsjøen eller i Lille Ertevatn, men av temperaturmessige grunner vil vi anbefale at vanninntaket plasseres i dypet av Femsjøen (se ovenfor).

4. I en relativt kortvarig utbyggingsperiode kan vannet brukes etter passering av hurtige sandfiltre.

5. Vannet må steriliseres med klor, men dette er et spørsmål som må forelegges helsemyndighetene til uttalelse.

Tabell 7

Fysisk-kjemiske analyseresultater

Halden vannverk

Prøver tatt: 20/5 1965.

Prøvetakingssted	pH	Spes. ledn. evne, 20°C µS/cm	Farge mg Pt/l	Turb. mg SiO <sub>2</sub> /l	Permanga- nattall mg O/l	Nitrat µg N/l	Total hårdhet mg CaO/l	Jern mg Fe/l	Mangan mg Mn/l
L. Ertev. v/innt.kammer	6,62	40,0	35	0,6	5,5	155	6,3	0,07	Ikke påvist
" innl.fra Femsjø	6,50	41,9	44	1,7	6,0	195	6,7	0,18	"
Femsjø, vann fra pumpest.	6,42	42,5	49	1,2	6,1	208	7,2	0,16	"
" , overfl.v/pumpehus	6,61	42,6	51	1,5	6,3	175	6,9	0,15	"

Tabell 8  
Fysisk-kjemiske analyseresultater

Halden vannverk

Prøver tatt: 9/11 1965.

Meter dyp	Temperatur °C	Oksygen mg O <sub>2</sub> /l	Oksygen % metning	pH	Spes. ledn. evne, 20°C µS/cm	Farge mg Pt/1	Turbiditet mg SiO <sub>2</sub> /1	Permanganat- tall mg O/1	Alkalitet ml N/10 HCl/1	Orto PO <sub>4</sub> µg P/1	Total PO <sub>4</sub> µg P/1	Klorid mg Cl/1	Nitrat µg N/1	Total hårdhet mg CaO/1	Jern µg Fe/1	Mangan mg Mn/1
Femsjøen (st. dyp: 41 m)																
1	8,20	9,58	83,9	6,62	44,5	44	2,5	5,2	2,30	< 2	15	3,25	235	7,7	100	Ikke påvist
8	8,26	9,35	82,1	6,60	44,5	42	1,5	6,9	2,03	< 2	18	3,45	235	7,2	108	"
16	8,24	9,51	83,3	6,60	44,2	41	2,1	6,5	2,20	< 2	39	3,45	235	7,4	108	"
30	8,20	9,45	82,8	6,30	45,2	41	3,1	6,4	2,11	< 2	35	3,45	245	7,6	145	"
40	7,21	7,93	67,5	6,55	43,1	42	1,6	6,4	2,26	7	29	3,35	205	7,4	100	"
St. 1 (Lille Ertevatn) Vanninntak, 2 parallelle prøver																
					42,9	33	1,0	6,1	2,00	3	29	3,35	240	6,9	40	"
Lille Ertevatn - Midt på vannet, 2 parallelle prøver																
					42,0	29	0,7	6,0	2,00	< 2	30	3,35	245	6,4	60	"



Tabell 9

## Fysisk-kjemiske analyseresultater

## Halden vannverk

Prøver tatt: 16/3 1966.

Meter dyp	Temperatur °C	Oksygen mg O <sub>2</sub> /l	Oksygen % metning	pH	Spes. ledn. evne, 20°C µS/cm	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO <sub>2</sub> /l	Permanganat- tall mg O/l	Alkalitet ml N/10 HCl/l	Total PO <sub>4</sub> µg P/l	Nitrat µg N/l	Total hårdhet mg CaO/l	Jern µg Fe/l	Mangan mg Mn/l
<u>Femsjøen</u>														
1	1,07	12,15	88,5	5,74	33,3	39	2,5	4,3	0,78	15	235	4,0	155	0,06
4	1,48	10,70	78,8	6,53	43,7	41	1,7	5,2	1,46	17	240	7,1	158	<0,05
8	1,69	10,42	77,9	6,50	44,2	44	1,9	6,0	1,51	17	240	7,3	158	<0,05
12	2,02	10,62	79,3	6,52	44,5	37	1,4	5,1	1,49	28	200	7,6	113	<0,05
16	2,43	10,65	80,4	6,55	43,5	35	1,0	5,1	1,46	19	190	7,2	110	<0,05
20	2,58	10,38	78,8	6,70	45,2	36	1,4	5,5	1,49	100	190	7,0	115	<0,05
30	2,78	10,24	77,8	6,60	44,0	35	1,1	5,5	1,57	55	190	7,2	103	<0,05
40	2,98	9,40	72,0	6,50	43,9	37	1,3	4,6	1,54	190	200	7,4	148	<0,05
<u>Lille Ertevatn - Vanninntak</u>														
2				6,43	43,6	40	1,8	5,7	1,23	75	200	6,7	100	<0,05
<u>Lille Ertevatn - Midt på vannet</u>														
4	2,82	10,39	79,4	6,35	43,5	25	0,6	4,2	1,21	95	200	6,5	48	<0,05
8	3,43	9,97	77,2	6,41	43,0	25	0,9	4,4	1,23		200	6,3	55	<0,05



Tabell 11

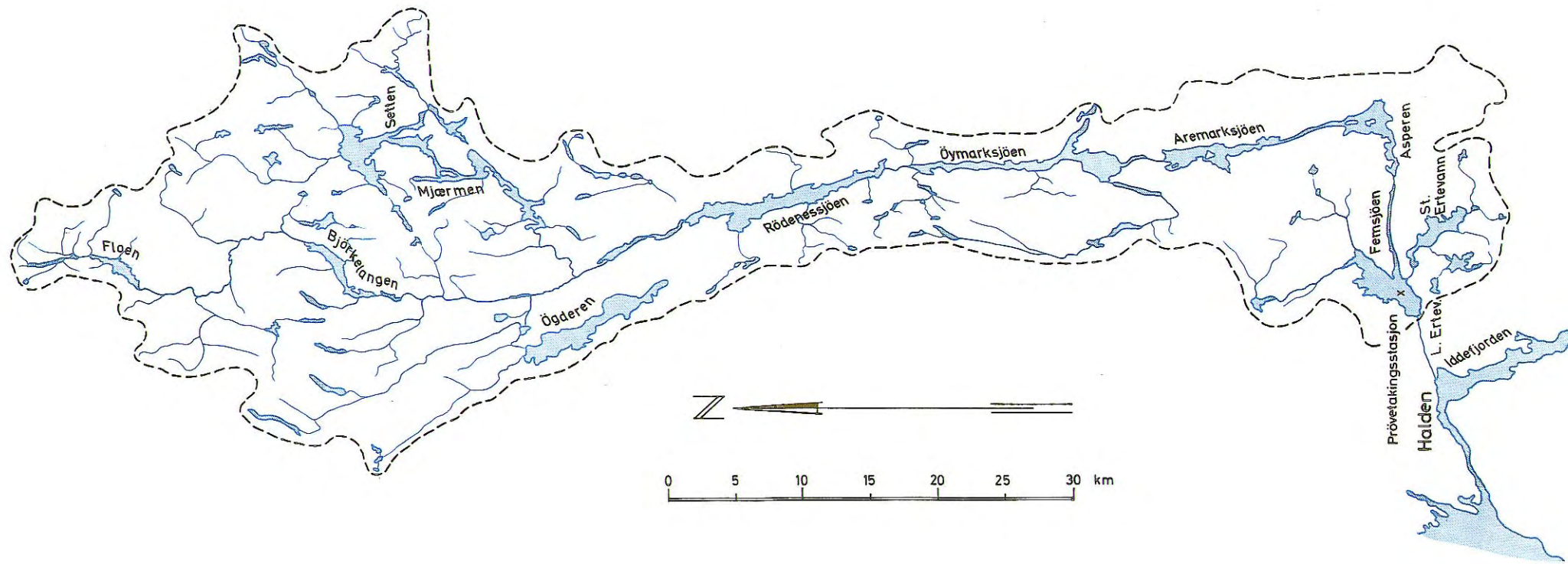
## Fysisk-kjemiske analyseresultater

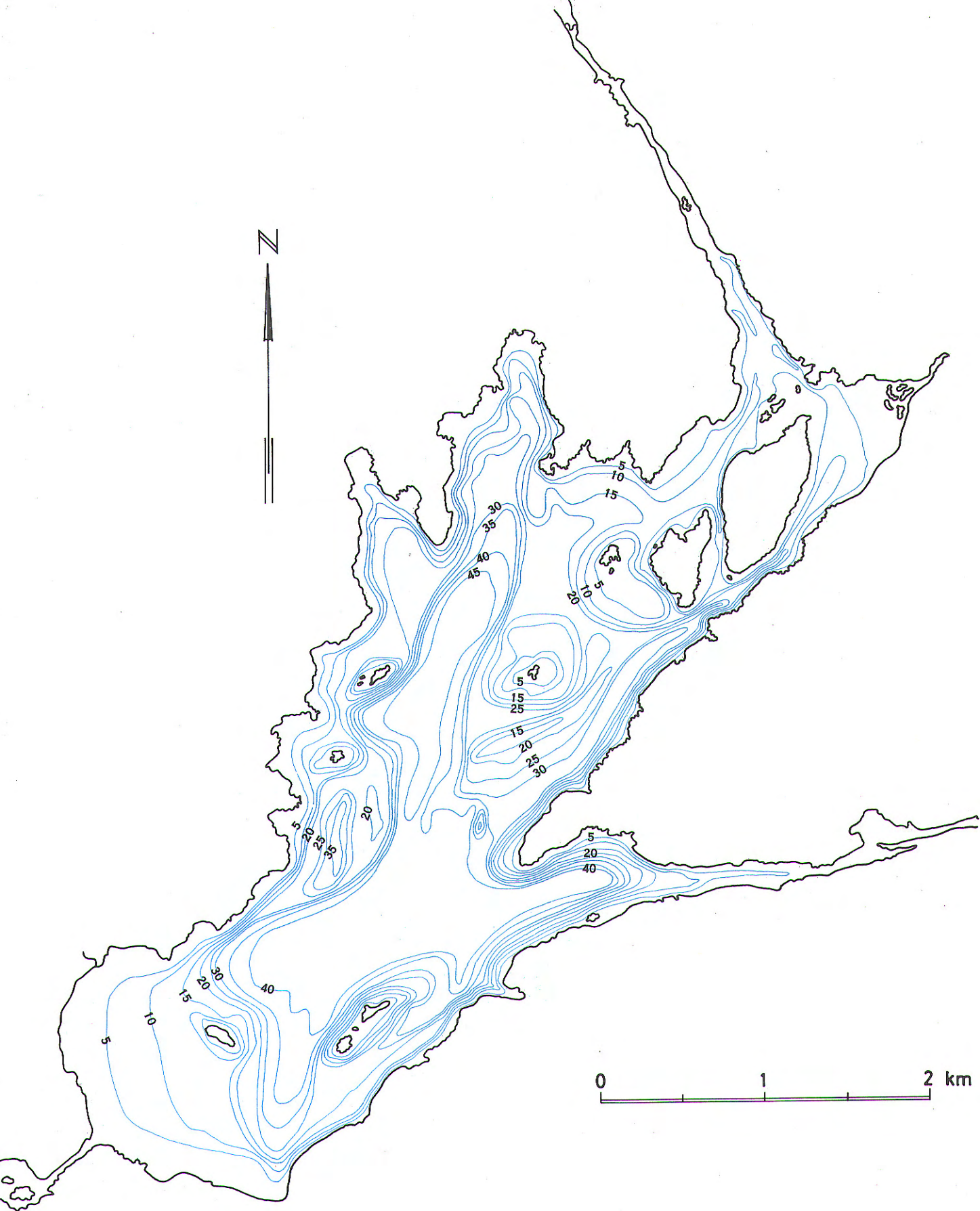
## Halden vannverk

Prøver tatt: 24/3 1966.

Meter dyp	Temperatur °C	Oksygen mg O <sub>2</sub> /l	Oksygen % metning	pH	Spes. ledn. evne, 20°C µS/cm	Farge mg Pt/l	Turbiditet mg SiO <sub>2</sub> /l	Permanganat- tall mg O/l	Alkalitet ml N/10 HCl/l	Orto PO <sub>4</sub> µg P/l	Klorid mg Cl/l	Nitrat µg N/l	Total hårdhet mg CaO/l	Jern µg Fe/l	Mangan mg Mn/l
<u>Femsjøen</u>															
1	15,65	7,80	81,1	6,79	40,5	45	1,4	5,3	1,56	< 2	3,55		7,1	40	Ikke påvist
4	15,55	8,40	87,3	6,76	40,3	44	1,5	5,7	1,61	< 2	3,55		7,1	40	"
8	15,55	8,35	86,5	6,77	40,1	45	1,2	5,8	1,56	< 2	3,45		6,9	40	"
12	15,42	8,30	85,7	6,76	40,1	49	1,3	6,0	1,60	< 2	3,55		7,1	40	"
16	11,40	8,45	80,0	6,31	40,8	49	1,5	6,1	1,54	3	3,55	260	7,1	70	"
20	7,13	8,51	72,5	6,33	40,7	51	1,5	6,0	1,58	< 2	3,94	265	7,1	65	"
30	6,68	9,13	77,0	6,34	41,2	48	1,5	6,8	1,62	< 2	3,84	263	7,2	70	"
40	6,50	9,05	76,2	6,25	41,0	49	1,5	6,5	1,55	< 2	3,94	260	7,1	90	"
<u>Lille Ertevatn - Vanninntak</u>															
	15,50	9,51	98,5	6,78	39,6	34	0,7	5,7	1,39	< 2	4,53	145	6,6	40	"
<u>Lille Ertevatn - Midt på vannet</u>															
		9,52	80,0	5,69	41,2	31	0,8	5,0	1,21	< 2	3,94	150	6,9	35	"

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING BLINDERN	Femsjøen	Fig. 1
	Nedbørsfelt	O-115/64 3334





NORSK INSTITUTT FOR  
VANNFORSKNING  
BLINDERN

Femsjön  
Dybdekart

Fig. 2

O-115/64 4913

