

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN

O - 64/62

En kjemisk undersøkelse av
regulerte og uregulerte innsjøer
i Mandalselvas nedslagsfelt.

Saksbehandlere: Cand.real. E. Gjessing.
Cand.real. J.E. Samdal.

Rapporten avsluttet 15. oktober 1964.

I N N H O L D :

	Side:
1. INNLEDNING	3
2. PROBLEMSTILLING OG MÅLSETTING	4
3. VALG AV INNSJØER FOR UNDERSØKELSENE	5
4. METODIKK	5
5. RESULTATER	7
5.1. Hydrografiske undersøkelser i Langevatn, Ljoslandsvatn, Breidlandsvatn og Juvatn	7
5.2. Sammenlikning av pH målt i laboratoriet og pH målt på stedet	8
5.3. Statistiske resultater	9
5.4. Vannets innhold av elektrolytter og organisk materiale	10
6. KONKLUSJON	10

T A B E L L E R :

	Side:
1. Prinsipp og enhet for forskjellige analysekomponenter	12
2. Oversikt over feltobservasjoner under prøvetakingene	13
3. Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Langevatn	14
4. Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Juvatn	15
5. Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Breidlandsvatn og Ljoslandsvatn	16
6. Aritmetisk middel (\bar{x}) og Standardavvik (S) for pH, ledningsevne, farge og turbiditet av 28 enkeltbestemmelser fra samme prøveunivers	17
7. Statistisk sammenlikning av middeltallene fra de forskjellige stasjoner	18
8. Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner Langevatn - Skjerkevatnsystemet	19
9. Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner i Ljoslandsvatn	20
10. Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner i Juvatn	21
11. Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner i Breidlandsvatn	22
12. Ionsammensetningen i Mandalselva og Topdalselva	23
13. Oversikt over elektrolyttsammensetning (mikroekvivalenter) ved alle stasjoner	24
14. Asiditet, alkalitet, permanganattall og filtrerbar substans ved forskjellige stasjoner	25

F I G U R E R :

1. Oversiktskart over Mandalsvassdraget	26
---	----

1. INNLEDNING.

Den foreliggende rapport omtaler resultatene av en ren kjemisk korttidsundersøkelse av regulerte og uregulerte innsjøer i Mandalselvas nedbørfelt. Undersøkelsene er kommet istand med opprinnelig initiativ fra Inspektøren for ferskvannsfisket, den vitenskapelige avdeling, i brev av 29. november 1961 til Norsk institutt for vannforskning. I sin henvendelse redegjør vitenskapelig konsulent Kjell W. Jensen for hvorledes man tenker seg at regulering av innsjøer i Mandalselva fører til at vannet blir mer surt med derav følgende skadevirkninger på laksefisket. I vårt svarbrev av 3/5-62 redegjør vi generelt for vannkjemiske forhold i forbindelse med regulering. I møte 31/1-63 ba konsulentene L. Rosseland og Kjell W. Jensen ved Den vitenskapelige avdeling, Inspektøren for ferskvannsfisket, om vårt forslag til undersøkelsesprogram i forbindelse med vassdragsreguleringer. I vårt brev av 4/4-63 foreslår vi et relativt omfattende undersøkelsesprogram med omkostninger. I brev av 23/7-64 fra Sørenskriveren i Mandal ber man om Instituttets overslag og program til undersøkelser, forutsatt at resultater kan foreligge i slutten av oktober 1964. I vårt svarbrev av 24/8-64 foreslår vi et korttidsprogram som beregnes ferdig avsluttet innen skjønnsretten settes i Mandal i oktober 1964. Vårt korttidsprogram av 24/8-64 var ment som en del av de mer omfattende undersøkelser foreslått i vårt brev av 4/4-63.

En korttidsundersøkelse må antas å ha begrenset verdi i forbindelse med de her skisserte problemer, fordi avløp og nedbør i Mandalselvas nedslagsfelt antakelig varierer med årstidene i kjemisk henseende. Undersøkelser av vannets surhet i Mandalselvas nedslagsfelt er gjennomført av konsulentene Rosseland og Jensen, og langtidsundersøkelser av surheten er også foretatt av bestyrer Gunnar Dannevig. Etter vår oppfatning gir undersøkelser av vanns surhet alene et begrenset grunnlag for å påvise om forandringer av vanns kvalitet opptrer i forbindelse med vassdragsregulering. Vi har derfor utført undersøkelse av en rekke kjemiske forhold i vannet ved siden av pH-målinger. Resultatene av vår korttidsundersøkelse kan derfor oppfattes som et kjemisk bidrag til tidligere pH-målinger.

Vi takker Vest-Agder E-verk og personalet ved Skjerka kraftstasjon for opplysninger og praktisk hjelp i forbindelse med prøvetakingene. Konsulent E. Snekvik ved Inspektøren for ferskvannsfisket, Den vitenskapelige avdeling, takker vi for verdifull hjelp i feltarbeidet.

2. PROBLEMSTILLING OG MÅLSETTING.

Oversvømming av vegetasjon, myr, fjellgrunn m.v. i forbindelse med oppdemming av innsjøer kan føre til at vannet forandrer kjemisk sammensetning. Forandringen kan skyldes at organiske og uorganiske forbindelser fra grunnen oppløses i større grad i vannet. Oversvømmet vegetasjon råtner under vannoverflaten, og det dannes komponenter som i første omgang må antas å bestå av ekstraktstoffer fra plantemateriale. Slike ekstraktstoffer kan ha sur karakter, og kan tenkes dels å bestå av svake, organiske syrer. Organiske ekstraktstoffer er gjenstand for dekomponering i vannet, hvorved det oppstår karbondioksyd eller andre sure stoffer. I våre vanntyper er det derfor rimelig å anta at oversvømming av vegetasjon kan redusere vannets surhetsgrad, særlig fordi våre vanntyper ofte har liten buffervirkning, d.v.s. motstand mot å forandre pH. Det er således rimelig å anta at oversvømming av vegetasjon m.v. i våre vanntyper fører til surere vann. Forholdet i innsjøer er imidlertid komplisert, og forskjellige former for utjevning av kvalitetsforandringer i vannet må antas å foregå. Det er rimelig å anta at eventuelle kvalitetsforandringer er mest markante i tiden like etter oppdemmingen. Etter en viss tid vil man vente at mulige kvalitetsforandringer er mindre merkbare. Erfaringen har vist at det er vanskelig i analytisk henseende å påvise forandringer som foregår i vannmassene når vannet passerer innsjøer. Forandringene i kjemisk henseende er ofte så små at de kan være vanskelig å påvise med vanlige, konvensjonelle kjemiske analysemetoder. Hertil kommer at vannet i Mandalselvas nedbørfelt inneholder særlig lite uorganiske komponenter, slik at tilfeldige feil i enkeltmålinger har betydning for resultatene.

Målsettingen i vår undersøkelse har derfor vært bestemmelse av små forskjeller mellom komponenter som forekommer i små mengder i vann. Videre har vi i målsettingen tatt med at bestemmelsene måtte utføres under full kontroll av analysemetodenes tilfeldige feil eller presisjon.

3. VALG AV INNSJØER FOR UNDERSØKELSENE.

Figuren (s. 26) viser i en oversikt regulerte og uregulerte innsjøer i Mandalselvas nedbørfelt, som i geologisk henseende er et granittisk gneisområde av grunnfjell. Bergartene i dette området har sur karakter og er hårde, slik at vannet erroderer lite.

Opprinnelig ble det foreslått fra konsulentene Rosseland og Jensen å undersøke Langevatn og Nåvatn blant regulerte innsjøer, mens Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn skulle undersøkes som eksempler på uregulerte innsjøer. Vannet fra Langevatn overføres i tunnel til Nåvatn, og tilløpet til Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn er derfor mindre enn det naturlige tilløp. Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn er derfor uregulerte, men er muligens indirekte påvirket av regulering ved den nevnte overføring. Under befaringene i forbindelse med prøvetakingene ble det klart at man av praktiske grunner (transport, båtleilighet m.v.) ikke kunne undersøke Nåvatn særlig inngående, og det ble derfor bestemt at en mer inngående undersøkelse istedenfor skulle utføres i Juvatn. Undersøkelsene i Nåvatn-systemet begrenser seg til prøvetaking av avløpsvannet fra Skjerka kraftstasjon. Avløpsvannet må antas å være representativt for utløpet av Skjerkevatt.

4. METODIKK.

Prinsippene for de viktigste anvendte analysemetoder og enhetene for resultatene står oppført i tabell 1. Prøver ble tatt av vannet i innløp og utløp for hver innsjø. Videre ble det tatt prøver av innsjøenes hovedvannmasser. I de tilfeller hvor det var praktisk gjennomførbart ble prøver fra elver tatt som blandprøver over lengre tid, for å utjevne tilfeldige variasjoner som ofte forekommer i elver. I samtlige innsjøer er det utført hydrografiske undersøkelser. I tabell 2 er det anført en del opplysninger om prøvetakingene.

Det fremgår av tabell 2 at det ikke er tatt noen prøve som representerer vannmassene i selve Langevatn. Prøven fra Langevatnets utløp er tatt på 5 til 9 m dyp nær uttapningstunnellen. Prøven fra Topdalselv ved Boen Bruk er tatt i utløp fra kraftstasjonen.

Anrikningen av uorganiske substanser (elektrolytter) i vannet er foretatt på en sterk, sur kationutbytter (Lewatitt S-100) og på

en sterk, basisk anionutbytter (Lewatitt MP 500). Analysene kunne på denne måte utføres på oppløsninger som inneholdt 60 ganger mer elektrolytter enn det som fins i vannet.

Fra hver prøvetakingsstasjon ble det tatt en ca. 100 l vannprøve. Etterat 60 l vann var brukt til den forannevnte behandling på ionebyttere ble den resterende vannmengde overført til 28 prøveflasker. Disse prøveflasker ble analysert i vårt laboratorium i Oslo, men våre analytikere visste ikke at de utførte analyser på prøver som i realiteten var identiske. Mennekelige feil er ofte viktigst blandt tilfeldige feilkilder, og vi har benyttet denne prøvetakings- og analysemetodikk, for ved statistisk databehandling å ha full kontroll med tilfeldige feil.

Vannprøver som lagres forandrer ofte surhetsgrad. Vannets surhetsgrad ble derfor i en viss utstrekning målt på Skjerka kraftstasjon snarest mulig etter prøvetakingen. Målingene på kraftstasjonen ble av kontrollhensyn målt med to forskjellige pH-~~instru-~~
~~metoder~~ **MENTER**. Samtlige pH-målinger er også utført ved vårt laboratorium i Oslo, og det er resultatene av disse målinger som er lagt til grunn ved databehandlingen. Våre undersøkelser av surhetsgrad er utført ved sammenlikning av pH i vann fra innsjøenes til-
løp og utløp. Systematiske forskjeller mellom pH-verdier målt på Skjerka kraftstasjon og i Oslo er derfor uten betydning.

Vi har bearbeidet våre analyseresultater etter statistiske metoder. Tallmaterialets aritmetiske middel eller sentralverdi \bar{x} er da gitt ved uttrykket:

$$(1) \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i$$

der N er antall observasjoner og x_i er enkeltobservasjoner. Videre uttrykker vi den tilfeldige feil ved standardavviket S som er et mål for tallmaterialets spredning omkring sentralverdien:

$$(2) \quad s = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum x_i^2 - \bar{x}^2}$$

Vi har sammenliknet middeltallene for pH, ledningsevne, farge og turbiditet fra forskjellige prøvetakingsstasjoner (universer). Sammenlikningene ble utført ved hjelp av Student's t-test for å fastslå om disse parametre er statistisk like eller forskjell-
lige:

$$(3) \quad t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{N_1 \cdot S_1^2 + N_2 S_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}}$$

der $N_1 + N_2 - 2$ er antall frihetsgrader. Sammenlikningen har bare vært foretatt i de tilfeller der variansene S_1^2 og S_2^2 er av samme størrelsesorden etter verdien av F-testen i:

$$(4) \quad F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 \cdot (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 \cdot (N_1 - 1)}$$

der $N_1 - 1$ og $N_2 - 1$ er frihetsgrader. Vi har forlangt $F < 2,5$ med 27 frihetsgrader fra begge universer for å avgjøre om variansene er av samme størrelsesorden. Videre har vi forlangt $t < 2,2$ for å fastslå om universene er statistisk like. Forskjellenes nominelle verdier må i hvert enkelt tilfelle vurderes i sammenheng med verdien av t .

Behandlingen av tallmaterialet er i en viss utstrekning foretatt med elektronisk regnemaskin.

5. RESULTATER.

5.1. Hydrografiske undersøkelser i Langevatn, Ljoslandsvatn, Breidlandsvatn og Juvatn.

For å få et bilde av de limnologiske forhold i magasiner og innsjøer som skulle undersøkes, ble det foretatt hydrografiske målinger og prøvetakinger i Langevatn, Ljoslandsvatn, Breidlandsvatn og Juvatn. Resultatene av disse undersøkelser står i tabell 3, 4, og 5.

I Langevatn ble det funnet 24 m dyp. Det ble ikke observert noe sprangsjikt, og temperaturen lå i området fra 9,4 (1 m) til 8,1°C (24 m). I overensstemmelse med temperaturforholdene viste ikke oksygen, spes. ledningsevne, pH, farge eller turbiditet tegn på lagdeling i Langevatn.

I Ljoslandsvatn ble det målt opptil 10 m dyp, og temperaturen viste ikke tegn til lagdeling eller sprangsjikt. I overensstemmelse med dette viste samtlige fysisk-kjemiske parametre praktisk talt samme verdi fra overflaten til bunnen.

I Breidlandsvatn ble det målt 16 m dyp, og temperaturen viste at det ikke forelå lagdeling av vannmassene.

I Juvatn ble det målt 35 m dyp. Vannmassene besto av et relativt varmt vann ned til 27 m. Under denne dybde falt temperaturen fra 9,4 til 6,0°C.

I den følgende tabell har vi sammenstillet noen middeltall for samtlige dyp for de viktigste parametre:

	Aritmetisk middel for:						
	Temp.	Oksygen	% metn.	Ledn.evne	pH	Farge	Turb.
Breidlandsvatn	10,0	9,3	85,4	14,5	5,29	39,5	1,3
Ljoslandsvatn	9,5	9,5	85,3	15,7	5,31	26,5	0,9
Juvatn	9,7	8,6	77,6	13,6	5,25	18,5	0,7
Langevatn	9,0	12,2	109	12,9	5,27	23,4	1,6

Middelverdiene viser flere interessante forhold som kan forklares ut fra særegenheter ved disse fire vannmagasiner. Viktigst er imidlertid forholdene med hensyn til ledningsevne, pH, farge og turbiditet. Mens pH er praktisk talt den samme for alle innsjøer stiger ledningsevnen i rekkefølgen: Langevatn, Juvatn, Breidlandsvatn og Ljoslandsvatn. Farge og turbiditetstallene for Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn kan tyde på at disse innsjøer i en viss utstrekning er påvirket av omliggende, dyrket mark. Sammenliknet med Juvatn har Langevatn relativt høy farge og turbiditet. Dette kan muligens skyldes at vannmassene i Langevatn over et visst tidsrom hadde blitt påvirket av tørrlagte strender.

5.2. Sammenlikning av pH målt i laboratoriet og pH målt på stedet.

For en del prøveserier (se tabell 6) er pH målt både umiddelbart etter prøvetaking og ved vårt laboratorium i Oslo, for å registrere en eventuell lagringspåvirkning.

Ved å sammenlikne statistisk middelerverdier for pH målt i felten ($\bar{x}_{\text{felt}} = 5,03$) med de tilsvarende laboratorietall ($\bar{x}_{\text{lab}} = 5,12$), ble det funnet $F = 2,0$ og $t = 2,2$ (se side 7). Riktignok må

vi derfor strengt tatt konkludere med at felt- og laboratoriemålingene for pH er forskjellige. Men i betraktning av at t-verdien er liten, og på grunnlag av konfidensintervallbetraktninger kan det sies at forskjellen er minimal. Lagringseffekt når det gjelder pH-målingene kan derfor settes ut av betraktning.

5.3. Statistiske resultater.

De statistiske parametre er oppført i tabell 6 og tabell 7.

Surhetsgraden og ledningsevnen varierer gjennomgående lite både i Mons- og Lognavassdraget. Lavest pH er registrert i avløpsvannet fra Skjerka kraftstasjon, og høyest i Ljoslandsvatn. Spredningen for farge og turbiditet er betraktelig større enn for pH.

Mellom innløp og utløp i Ljoslandsvatn har vi ikke påvist pH-forskjell. Sammenlikning mellom pH for innløp og utløp i Breidlandsvatn har ikke vært mulig. Videre har det ikke vært mulig å sammenlikne pH for innløpene i Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn med pH for innsjøenes hovedvannmasser.

I regulerte magasiner er det bare Langevatn som ikke gir pH-forskjell mellom innløp og utløp. For Juvatn er det registrert en svak pH-økning mellom tilløp og hovedvannmasser. Både for Juvatn og Langevatn - Nåvatn - Skjerkevatn-systemene har vi funnet en lavere pH i utløp enn i innløp. Riktignok er pH-reduksjonen i Juvatn minimal.

Surhetsgraden i Mandalselva er avgjort lavere enn i Topdalselva. Vi har funnet god overensstemmelse mellom pH i vannet fra magasinene (2 Ma) og pH i Mandalselva (1 M).

For uregulerte innsjøer er det bare resultatene fra fargemålingene i innløp og selve Ljoslandsvatn som ikke kan sammenliknes. I Ljoslandsvatn har vi funnet at fargen øker mellom innløp og utløp, mens den avtar for tilsvarende stasjoner i Breidlandsvatn. Videre øker fargen fra innløp til hovedvannmasser i Breidlandsvatn.

I regulerte magasiner er sammenlikning på grunnlag av fargemålinger bare mulig for Juvatnets innløp (størst) og utløp (minst). I de tilfeller sammenlikning er mulig både i uregulerte og regulerte innsjøer, viser resultatene av ledningsevne- og turbiditetsmålingene ingen eller bare små forskjeller.

5.4. Vannets innhold av elektrolytter og organisk materiale.

I tabell 12 er oppført samtlige resultater for elektrolyttinnholdet ved forskjellige stasjoner. Tabell 13 er en forenklet sammenstilling av tabell 12. Teoretisk skal mengden kationer være lik mengden anioner. For noen stasjoner dominerer kationene, mens stasjonene i Juvatn, Mandalselva og Topdalselva viser mer anioner enn kationer. Forskjellen mellom mengde kationer og anioner er relativt liten og skyldes analysefeilene. Overensstemmelsen mellom beregnet og målt spesifikk ledningsevne er i relativt god overensstemmelse. Stort sett ligger beregnet ledningsevne lavere enn målt ledningsevne; et forhold som delvis må forklares ved at anioner som humater, bikarbonater og fluorider ikke er tatt med i analyseprogrammet.

Mens stasjonene i Langevatn, Skjerka, Ljoslandsvatn og Breidlandsvatn har omtrent samme elektrolyttinnhold, ligger elektrolyttinnholdet for Juvatn noe lavere. Elektrolyttinnholdet i Mandalselva og Topdalselva er betydelig høyere enn elektrolyttinnholdet i vannmagasinene. Dette betyr at Mandalselvas vannmasser øker i mineralsk sammensetning på strekningen fra Skjerka Kraftstasjon til Finselv.

Det er vanskelig å forklare resultatene av sammenlikningene i avsnitt 5.3. ut fra elektrolyttinnholdet. Vannets innhold av sulfat ligger imidlertid relativt høyt, og det samme er tilfelle med vannets nitratinnhold. Sulfatinnholdet kan skrive seg fra bergarter som inneholder kopperkis eller andre mineralforekomster som kan bidra til vannets surhet. Tabell 14 viser analyseresultatene for asiditet, alkalitet, oksyderbarhet (permanganattall) og svevepartikler. Vannet i Langevatn viser særlig høyt innhold av svevepartikler (se 5.1. og tabell 2).

6. KONKLUSJON.

I våre undersøkelser gir analyseresultatene for pH og vannets elektrolyttinnhold sammen med visse ledningsevнемålinger best grunnlag for å avgjøre om regulering kan føre til nevneverdige forandringer i vannets kjemiske sammensetning.

Fra utløp i Langevatn til utløp i Skjerka kraftstasjon har vi påvist en klar pH-senkning. Av praktiske årsaker har vi imid-

lertid ikke kunnet undersøke Nåvatn med tilhørende nedbørfelt som er av betydelig størrelse. Vi kan derfor ikke avgjøre om pH-senkningen skyldes regulering av Nåvatn eller naturlige forhold ved tilsigsvannet i Nåvatns nedbørfelt.

Hverken i Ljoslandsvatn eller Langevatn har vi påvist pH-forskjell mellom innløp og utløp. I Breidlandsvatn er pH-verdiene usammenliknbare. I Juvatn har vi funnet en sikker, men liten pH-reduksjon fra innløp til utløp. På grunnlag av våre analyse-resultater må vi derfor slutte at regulering i disse magasiner antakelig ikke har medført pH-senkning.

Våre analyseresultater med hensyn til vannets elektrolyttinnhold gir ikke grunn til å anta at regulering medfører forandringer av vannets kjemiske sammensetning i vannmagasiner. Derimot har vi påvist markant økning av vannets elektrolyttinnhold på strekningen fra Skjerka kraftstasjon til Finnselv. Imidlertid er pH tilnærmet konstant på denne strekningen. Riktignok er analyse-resultatene fra Mandalselva basert på en stikkprobe, men resultatene tyder på at Mandalselva **mottar vesentlig mer elektrolytt-rikt tilsigsvann med lav pH** nedenfor Ørrevatn.

Vi kan ikke avgjøre sikkert, på grunnlag av denne korttidsundersøkelse, om regulering forandrer innsjøens kjemiske sammensetning eller ikke. På grunnlag av en langtidsundersøkelse ville det ha vært mulig å avgi en sikrere konklusjon.

Vurderingen og konklusjon av en langtidsundersøkelse ville trolig bli sikrere hvis undersøkelsen kunne omfatte både tiden før og etter oppdemming.

Tabell 1.

Prinsipp og enhet for forskjellige analysekomponenter.

<u>Analysekomponent:</u>	<u>Prinsipp:</u>	<u>Enhet:</u>
Surhetsgrad	Elektrometrisk	pH
Spes. ledn. evne	Wheatstones bro	$\cdot 10^{-6} \text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
Farge	Fotoelektrisk v/lys- absorption	mg Pt/1
Turbiditet	Fotoelektrisk v/ lysrefleksjon	mg SiO ₂ /1
Permanganattall	Titrimetrisk	mg O/1
Kalsium	- " -	mg CaO/1
Magnesium	- " -	mg Mg O/1
Natrium	Flamnefotometrisk	mg Na/1
Kalium	- " -	mg K/1
Jern	Kolorimetrisk	mg Fe/1
Mangan	- " -	mg Mn/1
Kopper	- " -	mg Cu/1
Sink	- " -	mg Zn/1
Klorid	Titrimetrisk	mg Cl/1
Sulfat	Absorptiometrisk	mg SO ₄ /1
Syrehydrolyserbar fosfat	Kolorimetrisk	mg PO ₄ /1
O-fosfat	- " -	- " -
Nitrat	- " -	mg NO ₃ /1
Silisium	- " -	mg SiO ₂ /1
Alkalitet	Titrimetrisk	ml N/10 HCl/1
Asiditet	- " -	ml N/10 NaOH/1
Suspendert stoff	Gravimetrisk	mg/l

Tabell 2.

Oversikt over feltobservasjoner under prøvetakingene.

Sted	Stasjons- beteg- nelse	Prove- type	Vannets temp. °C	Stikk- prøve dato	Blandprøvetaking			Anmerkninger	
					Start		Slutt		
					Dato	Kl.			Dato
Langev. innl.	1 L.	Blandprøve	7,8	-	19/9	14.25	20/9	12.20	
Langev. utl. 5 - 9 m dyp	3 L.	Stikkprøve	-	20/9	-	-	-	-	Ca. 7 m under H.R.V Endel svevepart. i vannet p.G.a. kraf- tif vind.
Utløp Skjerka kraftstasjon	3 S.	" -	9,8	21/9	-	-	-	-	
Ljoslandsv., innløp	1 Lj.	Blandprøve	-	-	20/9	18.20	21/9	12.00	
Ljoslandsv. 6 m u/overfl.	2 Lj.	Stikkprøve	-	20/9	-	-	-	-	
Ljoslandsv. utløp	3 Lj.	Blandprøve	8,2	-	21/9	17.00	23/9	10.20	
Breidlandsv. innl.	1 Lj.	" -	8,0	-	21/9	18.00	23/9	21.00	
Breidlandsv. 6 m u/overfl.	2 Lj.	Stikkprøve	-	-	-	-	-	-	
Breidlandsv. utløp	3 Lj.	Blandprøve	9,7	-	23/9	10.00	23/9	18.00	
Juvatn innløp	1 J.	Blandprøve	8,8	-	22/9	16.30	23/9	15.30	
Juvatn 28 m u/overfl.	2 J.	Stikkprøve	10,7	23/9	-	-	-	-	
Juvatn utløp ca. 21 m u/overfl.	3 J.	" -	10,8	"	-	-	-	-	Ca. 1,5 m under H.R.V.
Mandalselv v/Finnså	1 M.	" -	10,5	24/9	-	-	-	-	
Topdalselv v/Boen Bruk	1 T.	" -	10,7	25/9	-	-	-	-	
Topdalselv v/ Teinefoss	2 T.	" -	12,8	25/9	-	-	-	-	

Tabell 3.

Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Langevata.

Meter dyp	Temp.	Oksygen	Oksygen % metning	Ledningsevne	pH	Farge	Turbiditet	Jern	Mangan	Perm. tall	Kalsium	Magnesium	Silisium	Klorid	Sulfat	Nitrat	Orthofosfat	Syrehydrolyserbar fosfat	Alkalitet	Asiditet	
1	9,4	12,1	108,5	13,0	5,3	20	1,8														
4	9,2	12,4	111,8	12,6	5,4	24	1,6														
8	9,1	12,2	109,5	12,7	5,3	25	1,5	0,07		2,9	0,7	0,72	0,53	0,79	2,6	0,21	0,008	0,029	1,1	0,45	
12	9,1	12,8	114,6	13,2	5,3	27	1,7		Ikke påvist												
16	9,0	12,1	108,2	13,6	5,2	19	1,5														
20	8,9	11,7	104,6	12,7	5,2	25	1,4														
24	8,1	12,2	106,4	12,7	5,2	-	-														

1) Kopper : 0,039 mg Cu/l

Natrium: 0,85 mg Na/l

Kalium : < 5 mg K/l

1) Kopper: 0,025 mg Cu/l
 Na = 0,85 mg/l
 K = <0,5

Tabell 4.

Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Juvatn.

Meter dyp	Temp.	Oksygen	Oksygen % metning	Ledningsevne	pH	Farge	Turbiditet	Jern	Mangan	Perm.tall	Kalsium	Magnesium	Silisium	Klorid	Sulfat	Nitrat	Orthofosfat	Syrehydrolyserbar fosfat	Alkalitet	Asiditet
1	10,9	8,9	83,0	12,9	5,3	11	0,56													
4	10,9	9,0	83,5	13,1	5,2	25	0,68													
8	10,9	9,0	84,0	13,3	5,2	25	0,72													
12	10,9	8,6	80,4	13,2	5,3	19	0,80													
16	10,9	8,8	82,5	13,2	5,4	17	0,88													
20	10,9	8,8	82,3	13,1	5,1	22	0,72													
25	10,6	8,9	82,7	13,2	5,3	17	0,80													
26	10,6	8,2	76,1	13,3	5,2	11	0,50	0,08		2,4	0,80	0,29	0,80	0,59	2,2	0,29	0,003	0,053	1,2	0,54
27	10,5	8,4	77,3	13,5	5,3	14	0,56													
28	9,4	8,0	72,2	13,9	5,3	14	0,80													
29	7,3	8,2	70,0	14,7	5,2	25	0,56													
30	6,7	8,1	68,4	14,7	5,2	24	0,40													
35	6,1	8,0	66,2	14,2	5,2	15	0,68													

Blandprøver: 1)

Tabell 5.

Resultatene av hydrografiske undersøkelser i Breidlandsvatn og Ljoslandsvatn.

Meter dyp	Temp.	Oksygen	Oksygen % metning	Ledningsevne	pH	Farge	Turbiditet	Jern	Mangan	Perm. tall	Kalsium	Magnesium	Silisium	Klorid	Sulfat	Nitrat	Orthofosfat	Syrehydrolyserbar fosfat	Alkalitet	Asiditet	
<u>Breidlandsvatn.</u>																					
1	10,1	9,4	86,4	15,2	5,4	43	1,0														
4	10,1	9,5	86,8	14,7	5,2	36	1,2														
8	10,0	9,3	85,0	14,5	5,4	32	1,3	0,13		4,4	0,8	0,65	0,92	0,55	2,9	0,20		0,039	1,1	0,54	
12	10,0	9,2	84,0	14,0	5,2	41	1,2														
16	10,0	9,3	85,0	14,3	5,2	46	2,1														
<u>Ljoslandsvatn.</u>																					
1	9,7	9,5	85,7	13,9	5,3	30	0,91														
4	9,6	9,5	85,7	13,7	5,2	31	0,88														
8	9,5	9,5	85,4	21,1	5,4	28	0,88	0,09		3,2	0,9	0,50	0,86	0,59	3,1	0,26	0,006	0,055	1,2	0,54	
10	9,0	9,5	84,5	14,1	5,3	17	0,88														

1) Natrium: 1,0 mg Na/l.

2) " : 1,0 " "

1) Kopper: 0,031 mg Cu/l.

2) " : 0,027 " "

1) Kalium: < 0,5 mg K/l

2) " : < 0,5 " "

Tabell 6.

Aritmetisk middel (\bar{x}) og standardavvik (S) for pH, ledningsevne, farge og turbiditet av 28 enkeltbest. fra samme prøveunivers. N=28.

St.	Surhetsgrad, pH										Sp. ledn. evne		Farge		Turbiditet	
	Laboratorie- målinger		Feltmålinger		Radiometer batteri		Metron		\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S								
1Lj.	5,04	,02	5,04	,03	4,98	,04	4,98	,04	14,6	,37	25,7	,7	0,88	,10		
2Lj.	5,32	,16			5,00	,05			13,9	20	22,0	3,5	0,59	06		
3Lj.	5,04	,04	5,01	,01	4,89	,04			15,2	,21	38,5	1,1	1,10	,23		
1B.	5,00	,03							15,3	,31	37,5	1,4	1,44	,27		
2B.	5,07	,05							15,3	,64	42,4	2,2	1,42	,29		
3B.	5,04	,12							15,3	,53	32,3	1,3	1,03	,20		
1L.	5,12	,03	5,08	,03	5,14	,06			13,0	,26	11,0	,9	0,75	,11		
3L.	5,10	,05			5,07	,06			13,0	,29	37,1	4,7	3,18	,53		
3S.	4,80	,01							16,2	,51	26,5	1,6	0,97	,18		
1J.	5,08	,04							13,0	,34	29,5	1,0	1,39	,22		
2J.	5,13	,04							13,2	,26	21,3	1,6	1,55	,41		
3J.	5,06	,03							13,4	,25	20,3	1,1	2,27	,22		
1M.	4,95	,03							20,0	,28	28,5	1,5	1,19	,33		
1T.	5,24	,11							18,5	,30	16,5	,9	0,59	,06		
3T.	5,20	,03							19,6	1,28	17,3	,9	1,42	,13		
1Ma	4,96	,11							16,2	-	27,1	-	1,59	-		
2Ma	4,97	0,04							15,0	-	26,5	-	1,42	-		
To	5,22	,08							19,1	-	17,2	-	1,00	-		

1 Ma = $1/4 \sum (3B, 3S, 3J \text{ og } 1M)$, 2 Ma = $1/3 \sum (3S, 3B, 3J)$; To = $1/2 \sum (1T, 3T)$

Tallene 1,2 og 3 står for henholdsvis hovedtillop, beste egnede dyp i selve vannet og utlop (evt. nær hovedutlop).

Tabell 7

Statistisk sammenlikning av middeltallene fra de forskjellige stasjoner.

	pH		Statistisk konklusjon		Δ	Farge		Statistisk konklusjon
	F	t	Statistisk konklusjon	t		F	t	
1 Lj.-2 Lj.	64		Usammenliknbare		-	23,8	-	Usammenliknbare
1 Lj.-2 Lj.	.00	1,0	Ingen forskjell	0,0	- 12,9	2,4	51,2	Forskjellig
1 B -2 B		2,8	Usammenliknbare	-	- 4,8	2,4	9,5	Forskjellig
1 B -3 B		14,0	Usammenliknbare	-	+ 4,8	1,3	13,0	Forskjellig
1 L -3 L	+02	2,0	Ingen forskjell	1,9	-	25,4	-	Usammenliknbare
1 J -2 J	-05	1,0	Forskjellig	5,6	-	2,6	-	Usammenliknbare
1 J -3 J	+02	1,8	Forskjellig	2,2	+2,3	1,3	32,7	Forskjellig
3 L -3 S	+30	1,0	Forskjellig	31,2	-	8,8	-	Usammenliknbare
2Ma -1 M	+02	1,9	Ingen forskjell	0,8	-	-	-	Usammenliknbare
El. ledn. evne								
1 Lj.-2 Lj.	-	3,3	Usammenliknbare	-	-	2,3	1,3	Ingen forskjell
1 Lj.-3 Lj.	-	3,3	Usammenliknbare	-	-	5,9	-	Usammenliknbare
1 B -2 B	-	4,2	Usammenliknbare	-	-	1,2	0,1	Ingen forskjell
1 B -3 B	-	2,9	Usammenliknbare	-	-	1,7	1,4	Ingen forskjell
1 L -3 L	0,0	1,2	Ingen forskjell	0,0	-	21,9	-	Usammenliknbare
1 J -2 J	-0,2	1,7	Forskjellig	2,4	-	3,4	-	Usammenliknbare
1 J -3 J	-0,4	1,9	Forskjellig	4,9	-0,88	1,0	2,4	Forskjellig
3 L -3 S	-	3,1	Usammenliknbare	-	-	8,9	-	Usammenliknbare
2 Ma -1 M	-	-	Usammenliknbare	-	-	-	-	Usammenliknbare
Turbiditet								
1 Lj.-2 Lj.								
1 Lj.-3 Lj.								
1 B -2 B								
1 B -3 B								
1 L -3 L								
1 J -2 J								
1 J -3 J								
3 L -3 S								
2 Ma -1 M								

Tallene 1,2 og 3 står for henholdsvis hovedtilløp, beste egnede dyp i selve vannet og utløp (evt. nær hovedutløp). 2 Ma = 1/3 (3S, 3B, 3J).

Tabell 8.

Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner.

Komponent	Kjem. bet.	Stasjon 1 L						Stasjon 3 L						Stasjon 3 S							
		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter			
			Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne		Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne		Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne		Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne		Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne		Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne	Mikro-ekvival.	Beregnet ledn.-evne
H ⁺	-	-	7,6	2,46	-	-	7,9	2,46	-	-	-	7,9	2,46	-	-	15,9	5,42	-	-		
Natrium	0,85	0,93	40,4	1,842	-	-	0,75	1,487	-	-	-	32,6	1,487	-	-	33,5	1,528	-	-		
Kalium	<0,5	0,12	3,1	0,209	-	-	0,10	0,176	-	-	-	2,6	0,176	-	-	2,1	0,142	-	-		
Kalsium	0,64	0,81	40,5	2,171	-	-	0,63	1,688	-	-	-	31,5	1,688	-	-	20,5	1,099	-	-		
Magnesium	0,08	0,21	17,5	0,831	-	-	0,18	0,713	-	-	-	15,0	0,713	-	-	13,3	0,632	-	-		
Jern	0,04	0,03	1,6	0,087	-	-	0,06	0,175	-	-	-	3,2	0,175	-	-	2,1	0,115	-	-		
Mangan	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist	-	-	-	ikke påvist	-	-	-	-	ikke påvist	-	-	-	ikke påvist	-	-	-		
Kopper	0,040	-	1,3	-	-	-	0,048	0,027	-	-	0,9	0,048	0,027	-	-	0,080	-	-	-		
Sink	-	-	-	-	-	-	-	0,087	-	-	-	-	0,087	-	-	-	-	-	-		
Klorid	0,4	-	-	0,773	-	-	0,4	0,773	-	-	-	0,4	0,773	-	-	0,4	0,773	-	-		
Sulfat	2,10	2,38	-	3,527	-	-	2,28	1,75	-	-	2,28	1,75	2,28	1,75	1,78	2,00	2,965	-	-		
SH-fosfat	0,038	0,015	-	-	0,5	-	0,047	0,007	-	-	0,047	0,007	0,030	0,013	-	0,030	0,013	-	-		
O.fosfat	0,007	0,003	-	-	0,1	-	0,016	0,002	-	-	0,016	0,002	<0,003	0,005	-	<0,003	0,005	-	-		
Nitrat	0,18	0,12	-	0,122	-	-	0,18	0,12	-	-	0,18	0,12	0,32	0,27	-	0,32	0,27	-	-		
Silisium	0,51	-	-	0,935	-	-	0,54	-	-	-	0,54	-	0,60	-	-	0,60	-	-	-		
Σ			112,0	80,4	13,0		Σ	93,7	68,0	11,2	Σ	89,7	78,0	14,1	Σ	89,7	78,0	14,1			

Tabell 9.

Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner.

Komponent	Kjem. bet.	Stasjon 1 Lj.						Stasjon 2 Lj.						Stasjon 3 Lj.					
		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter		Bland. prøve mg/l	Ionebytter				
			Mikro-ekvival.	An.		Mikro-ekvival.	An.		Mikro-ekvival.	An.		Mikro-ekvival.	An.						
															Kat.	evne	Kat.	evne	Kat.
H ⁺		-	9,1	2,96	-	4,8	-	1,56	-	9,1	-	9,1	-	2,96	-	9,1	-	2,96	
Natrium	Na	1,0	29,1	1,327	-	36,1	-	1,646	-	1,0	0,83	36,1	-	1,646	-	0,82	35,6	1,624	
Kalium	K	<0,5	2,1	0,142	-	3,3	-	0,223	-	<0,5	0,13	3,3	-	0,223	-	0,11	2,8	0,189	
Kalsium	Ca	0,64	24,5	1,313	-	28,0	-	1,501	-	0,64	0,56	28,0	-	1,501	-	0,56	28,0	1,501	
Magnesium	Mg	0,17	15,8	0,751	-	17,5	-	0,831	-	0,22	0,21	17,5	-	0,831	-	0,23	19,2	0,912	
Jern	Fe	0,10	4,3	0,235	-	2,7	-	0,147	-	0,08	0,05	2,7	-	0,147	-	0,07	3,8	0,207	
Mangan	Mn	ikke påvist	-	-	-	ikke påvist	-	-	-	ikke påvist	-	ikke påvist	-	-	-	ikke påvist	-	-	
Kopper	Cu	0,053	-	-	-	-	-	0,030	-	0,030	-	-	-	0,026	0,005	0,005	0,2	-	
Sink	Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,085	-	-	-	
Klorid	Cl	0,2	-	5,6	0,383	-	-	0,59	16,6	0,4	-	-	16,6	0,4	-	-	-	11,3	
Sulfat	SO ₄	3,30	-	42,7	3,036	-	-	2,88	41,0	2,30	1,97	-	41,0	2,30	1,95	-	-	40,6	
SH-fosfat	PO ₄	0,044	-	0,3	-	-	-	0,042	0,3	0,053	0,011	-	0,3	0,053	0,011	-	-	0,3	
O.fosfat	PO ₄	<0,003	-	0,1	-	-	-	0,012	0,2	0,006	0,005	-	0,2	0,006	0,003	-	-	0,1	
Nitrat	NO ₃	0,24	-	1,5	0,096	-	-	0,24	2,2	0,18	0,136	-	2,2	0,18	0,104	-	-	1,7	
Silisium	SiO ₂	0,94	-	31,3	1,722	-	-	0,84	28,0	0,88	-	-	28,0	0,88	-	-	-	29,3	
Σ			84,9	81,5	11,97		92,4	Σ	88,3	Σ		98,7	Σ	Σ		98,7	83,3	12,77	

Tabell 12.

Ionsammensetningen ved forskjellige prøvetakingsstasjoner.

Komponent	Kjem. bet.	Stasjon 1 T						Stasjon 3 T						Stasjon 1 M				
		Bland. prøve mg/l	Ionebytter			Bland. prøve mg/l	Ionebytter			Bland. prøve mg/l	Ionebytter			mg/l	Mikro-ekvival.		Beregnet ledn. evne	
			mg/l	Mikro-ekvival.	An.		Beregnet ledn. evne	mg/l	Mikro-ekvival.		An.	Beregnet ledn. evne	Kat.		An.	Kat.		An.
H ⁺		-	-	5,8	1,88	-	-	6,3	-	2,34	-	-	11,2	-	-	3,64		
Natrium	Na	1,35	1,10	47,8	2,180	-	-	52,2	-	2,380	-	-	56,5	-	-	2,576		
Kalium	K	<0,5	0,24	6,2	0,419	<0,5	<0,5	6,4	-	0,432	-	-	4,6	-	-	0,311		
Kalsium	Ca	0,86	0,82	41,0	2,198	0,79	0,89	44,5	-	2,385	-	-	38	-	-	2,037		
Magnesium	Mg	0,28	0,33	27,5	1,306	0,50	0,32	26,7	-	1,268	-	-	22,5	-	-	1,069		
Jern	Fe	0,11	0,02	1,1	0,060	0,11	-	5,9	-	0,322	-	-	2,2	-	-	0,120		
Mangan	Mn	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist	-	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist	-	-	-	-	ikke påvist	-	-	-		
Kopper	Cu	0,012	0,003	0,1	-	0,029	-	0,9	-	-	-	-	0,010	0,3	-	-		
Sink	Zn	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	-	-	-		
Klorid	Cl	1,29	-	-	36,4	1,29	-	-	-	2,490	-	-	-	-	27,9	1,908		
Sulfat	SO ₄	3,30	3,38	-	70,4	3,70	3,18	-	-	4,707	-	-	-	-	69,2	4,920		
SH-fosfat	PO ₄	0,054	0,014	-	0,4	0,047	0,099	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-		
O.fosfat	PO ₄	0,009	0,006	-	0,2	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-		
Nitrat	NO ₃	0,27	0,22	-	3,6	0,29	-	-	-	0,302	-	-	-	-	5,2	0,334		
Silisium	SiO ₂	1,10	-	-	36,7	1,14	-	-	-	2,090	-	-	-	-	36,3	1,997		
Σ				129,5	147,7	Σ	Σ	142,9	150,6	18,4	Σ	Σ	135,3	139,3	18,9			

Tabell 13.

Oversikt over elektrolytt sammensetning (mikroekvivalenter) ved alle stasjoner.

	1L.	3L.	3S.	1Lj.	2Lj.	3Lj.	1J.	2J.	3J.	1B.	2B.	3B.	1M.	1F.	3T.
Natrium	40,4	32,6	33,5	29,1	36,1	35,6	31,3	31,7	31,7	34,8	34,8	36,1	56,5	47,8	52,2
Kalium	3,1	2,6	2,1	2,1	3,3	2,8	2,1	2,8	2,6	2,8	2,8	3,1	4,6	6,2	6,4
Kalsium	40,5	31,5	20,5	24,5	28,0	28,0	24,5	23,0	22,0	29,5	31,0	30,5	38	41,0	44,5
Magnesium	17,5	15,0	13,3	15,8	17,5	19,2	15,0	15,0	15,8	17,5	16,7	18,3	22,5	27,5	26,7
Jern	1,6	3,2	2,1	4,3	2,7	3,8	4,3	2,7	3,2	2,2	2,7	2,7	2,2	1,1	5,9
Klorid	11,3	11,3	11,3	5,6	16,6	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	27,9	36,4	36,4
Sulfat	49,6	36,5	41,7	42,7	41,0	40,6	43,8	43,9	-	38,9	43,8	45,2	69,2	70,4	66,2
Nitrat	1,9	1,9	4,4	1,5	2,2	1,7	1,0	4,1	0,5	1,6	3,4	2,6	5,2	3,6	4,7
Silikat	17,0	18,0	20,0	31,3	28,0	29,3	29,3	28,7	29,2	31,3	30,0	32,0	36,3	36,7	38,0
Ledn. bereg.	13,0	11,2	14,1	12,0	11,7	12,8	12,1	11,9	13,4	12,9	12,9	13,4	18,9	17,8	18,4
evne målt	13,0	13,0	16,2	14,6	13,9	15,2	13,0	13,2	13,4	15,3	15,3	15,3	20,0	18,5	19,6
pH	5,12	5,10	4,80	5,04	5,32	5,04	5,08	5,13	5,06	5,00	5,07	5,04	4,95	5,24	5,20

Tabell 14.

Asiditet, alkalitet, permanganattall og filtrerbar substans vel forskjellige stasjoner.

Stasjon	Asiditet ml N/10 NaOH/l	Alkalitet ml N/10 HCl/l	Permanganattall mg O/l	Filtrerbar substans mg/l
1 Lj.	0,54	1,08	2,9	0,6
2 Lj.	0,49	1,15	-	0,5
3 Lj.	0,58	1,07	4,4	0,5
1 B.	0,58	1,07	4,2	0,8
2 B.	0,54	1,07	4,5	0,7
3 B.	0,49	1,07	3,4	0,6
1 L.	0,45	1,08	2,0	0,7
3 L.	0,47	1,07	2,7	1,5
3 S.	0,60	1,02	2,3	0,5
1 J.	0,49	1,08	4,1	0,5
2 J.	0,49	1,06	2,3	0,8
3 J.	0,47	1,08	2,1	0,7
1 M.	0,53	1,10	4,1	0,7
1 T.	0,52	1,13	2,6	0,5
3 T.	0,54	1,19	2,8	0,6
Ljoslandsv.	0,54	1,16	3,2	1,4
Breidlandsv.	0,54	1,12	4,4	1,2
Langsv.	0,45	1,10	2,9	2,0
Juvatn	0,54	1,18	2,4	0,7

Bl.prove

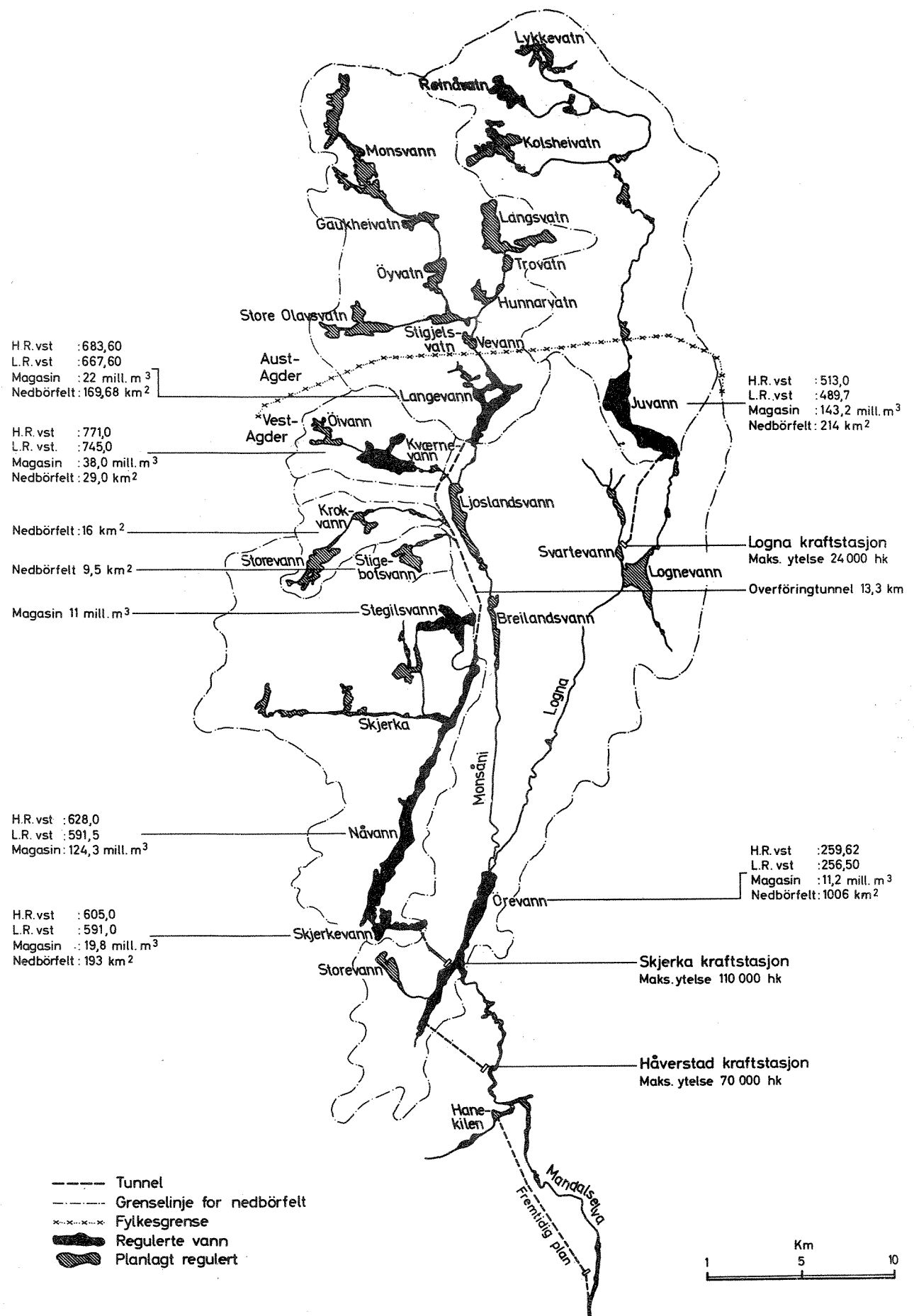
Bl.prove

fra linnol.

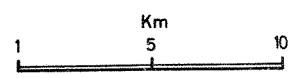
st.

Lj. = Ljoslandsvatn, B. = Breidlandsvatn, L. = Langevatn, J. = Juvatn.

Tallene 1, 2 og 3 står for henholdsvis hovedtillop, best egnede dyp i selve vatnet og utlop (evt. nær hovedutlop).



- Tunnel
- - - Grenselinje for nedbörfelt
- x-x-x-x Fylkesgrense
- Regulerte vann
- ▨ Planlagt regulert



0-64/62-171 Oversiktskart over Mandalsvassdraget