



O-93124

Undersøkelse av
forurensningstilførsler
fra steinindustrien i
Larvikområdet

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-93124	Undernr.:
Løpenr.: 3164	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Undersøkelse av forurensningstilførsler fra steinindustrien i Larvikområdet	Dato: 10.11.1994	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Vassdrag	
Forfatter(e): Hans Holtan	Geografisk område: Larvikområdet	
	Antall sider: 26	Opplag:

Oppdragsgiver: Johs. Grønseth & Co	Oppdragsg. ref.:
---------------------------------------	------------------

Ekstrakt:

I 1993/1994 ble det foretatt en undersøkelse av forurensningstilførsler til vann fra steinbrudd i Larvikområdet. Det ble spesielt fokusert på vannets surhetsgrad og innhold av aluminium.

Steinbruddsvirksomheten medfører økte tilførsler av partikler og mineralsalter. Bl.a. øker vannets alkalitet og følgelig vannets pH. Konsentrasjonen av labil aluminium er derfor mye lavere i disse bekker enn i referansebekkene. Dette betyr at steinbruddsvirksomheten i de aktuelle bergarter motvirker forsureffekter.

Avrenningsvannet fra steinbruddene inneholder betydelige mengder næringssalter. Nitratene antas å stamme fra bruken av sprengstoff. Fosforet stammer fra mineraler og antas i vesentlig grad å være bundet til partikler og derfor lite biologisk tilgjengelig.

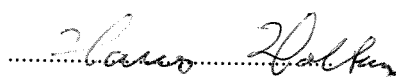
4 emneord, norske

1. Industri
2. Steinbrudd
3. Aluminium
4. Forurensninger

4 emneord, engelske

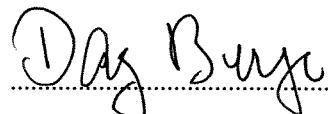
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder



Hans Holtan

For administrasjonen



Dag Berge

ISBN-82-577-2641-9

O 93124

Undersøkelse av forurensningstilførsler

fra

steinindustrien i Larvikområdet

Førord

På møte i Larvik kommune, Teknisk etat den 16. februar 1993, fikk Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i oppdrag å utarbeide et programforslag for undersøkelser og vurderinger av hvilken betydning steinindustrien i Larvikområdet har for vannkvaliteten i berørte vannforkomster. Det skulle legges spesielt vekt på vannets surhetsgrad og eventuelt økt aluminiumkonsentrasjon.

Programmet som ble utarbeidet er datert 16. april 1993.

I brev av 19. mai 1993 fra A/S Johs. Grønseth & Co., som er den formelle oppdragsgiver, fikk NIVA beskjed om at programmet var godtatt og at undersøkelsen kunne ta til.

Næringsmiddelkontrollen i Larvik og Lardal under ledelse av byveterinær Hans Erling Utklev har forestått prøvetakingen. Mesteparten av de kjemiske analyser er også utført ved dette laboratorium. Vi takker laboratoriet og spesielt Hans Erling utklev for godt samarbeide. En takk rettes også til oppdragsgiver for god kontakt ved gjennomføringen av arbeidet.

Innholdsfortegnelse:

1. Sammendrag og konklusjon	4
2. Innledning	6
3. Problemstilling	6
4. Mål	7
5. Undersøkelsesopplegg og metoder	8
5.1. Prøvetakingsfrekvens og stasjoner	8
5.2. Parametre	9
6. Nedbør i undersøkelsesperioden	10
7. Resultater	10
8. Diskusjon	16
8.1. Bekkene	16
8.2. Halle vann	17
8.3. Torpe vann	19

1. Sammendrag og konklusjon

Som oppdrag for Steinindustrien i Larvikområdet, ble det i 1993/1994 gjennomført en undersøkelse med sikte på å påvise effekter først og fremst av aluminium, på vannkvaliteten i berørte vannforekomster.

Undersøkelsen omfattet tre bekker som er sterkt utsatt for avrenningsvann fra steinbrudd. To av disse (st. 1 og 2) munner ut i Hallevannet ved henholdsvis Messingvika og Kryssgardseter, mens den tredje (st. 3, Vardåsen) har avløp mot Torpevann. Både Hallevann og Torpevann inngikk i undersøkelsen. Videre ble det samlet inn prøver fra Mørjetjern (st. 4) like nedstrøms en skrotsteintipp. Fra Malerødbekken ble det samlet inn prøver oppstrøms (st.5) og nedstrøms (st.6) tilsig fra steinbrudd. Endelig ble det samlet inn prøver fra en referansebekk, Vestmoenbekken, st. 7. Det ble samlet inn prøver fire ganger fra hver lokalitet.

I bekkene som er mest utsatt for tilførsler fra steinbrudd (st.1, 2 og 3), hadde vannet et høyt innhold av partikler og mineralsalter. Som følge av dette var vannet godt bufret og surhetsgraden varierte i området rundt nøytralpunktet (pH 7). Vannets innhold av total aluminium var høyt, men forelå i vesentlig grad som partikulært eller organisk bundet. Den biologiske aktive fraksjon, labilt aluminium, var lav og vil neppe ha noen biologisk betydning. Videre var vannets innhold av næringssalter høyt. Det antas at fosforet i vesentlig grad er knyttet til partikler og er derfor lite biologisk tilgjengelig. De høye nitratverdiene antas å ha sammenheng med bruk av sprengstoff. Bekkene ved Messingvika og Kryssgardseter er små - noe som må tas i betraktning ved vurdering av bekkens betydning for forurensning av Hallevann.

Vannet i Mørjetjern, som ligger like nedenfor en skrotsteintipp, var noe forurenset med næringssalter. Dette skyldes sannsynligvis tilførsler fra jordbruk og bebyggelse. Vannet hadde også et relativt høyt innhold av mineralsalter og pH-verdien var relativt høy mens konsentrasjonen av labilt aluminium var lav. Det er vanskelig å påvise at vannkvaliteten på dette sted er vesentlig påvirket av avrenning fra skrotsteintippen.

I Malerødbekken var det til dels store variasjoner i vannets kvalitet, spesielt oppstrøms steinbruddet. Dette skyldes variasjon i nedbør og avrenning. Vannets innhold av mineralsalter var mye lavere enn i bekkene hvor avrenning fra steinbrudd gjorde seg mer gjeldende. Etter snøsmeltingen om våren var vannet meget surt som følge av sur nedbør. Dette førte til at konsentrasjonene av labilt aluminium til dels meget høye i denne bekk.

Vannet i referansebekken hadde lave konsentrasjoner av de fleste komponenter det ble analysert på. Etter snøsmeltingen om våren, var vannet surt (sur nedbør) og konsentrasjonen av labilt aluminium relativt høye.

I Hallevann var konsentrasjonene av mineralsalter i 1993/1994 betydelig høyere enn i 1990. Den vesentligste årsak til dette er sannsynligvis lite nedbør i de senere år og følgelig en oppkonsentrering av mineralsalter i avrenningsvannet. Under slike forhold vil

også det saltrike avrenningsvannet fra steinbruddene gjøre seg mer gjeldende enn ellers. Middelverdien for vannets pH og innhold av næringssalter var av samme størrelsesorden som i 1990. Konsentrasjonen av labilt aluminium var lav og har neppe noen biologisk betydning. Vannets fargetall var av størrelsesorden som i Farisvann. Turbiditetsverdiene var noe høyere enn normene for godt drikkevann.

Vannkvaliteten i Torpevann bar preg av forurensninger fra jordbruk og bebyggelse. Eventuell tilførsel fra steinbrudd lot seg ikke påvise.

Konklusjon

Avrenning fra steinbrudd økte tilførselen av partikulært materiale, mineralsalter og næringssalter. Som følge av at konsentrasjonen av mineralsalter øker, øker også vannets pH. I avrenningsvannet fra steinbruddene varierte surhetsgraden rundt pH 7, mens det i referansebekkene hvor vannets innhold av mineralsalter er mye lavere, ble målt til dels meget lave pH-verdier. Dette som følge av sur nedbør og surt avrenningsvann.

Stor bufferkapasitet og høy pH medfører at den labile eller biologisk aktive aluminiumfraksjonen i vannforekomstene som mottar avrenningsvann fra steinbrudd, er lav selv ved høye konsentrasjoner av totalt aluminium. I referansebekkene økte den labile aluminiumsfraksjonen kraftig når pH avtok.

Fosforkonsentrasjonene i avrenningsvannet fra steinbruddene er høye, men sannsynligvis er fosforet partikulært bundet eller adsorbert til partikler og således lite biologisk tilgjengelig.

2. Innledning

Steinbrudd og anleggsarbeide i fjell f. eks. tunellarbeide, har ofte vist seg å gi vannforurensninger (Hessen m. fl. 1988 og 1989). Ofte er det det partikulære materiale og steinstøv som volder problemer, spesielt for fiskebestanden. Bruken av sprengstoff medfører økt tilførsler av næringsstoffet nitrogen. Åpne bruddflater og pulverisering av fjell innvirker dessuten på de kjemiske forvitningsprosesser og følgelig på vannets kjemiske kvalitet.

I Larvikområdet har vannet fra naturens side en sur karakter og dessuten er området utsatt for tilførsel av sur nedbør. Dette har bl.a. betydning for frigivelse av biologisk aktiv aluminium - labilt aluminium. Derfor er det i denne undersøkelse blitt spesielt fokusert på i hvilken grad steinbruddsvirksomheten innvirker på frigivelse av aluminium, særlig labilt aluminium. Dette er også diskutert i NIVA-rapport O-91119 (Holtan 1992). I henhold til oppdraget er derfor undersøkelsen i hovedsak fokusert på økt konsentrasjon av aluminium i avrenningsvannet, samt vannets bufferkapasitet med hensyn til forsuring som er avgjørende for forekomst av labilt aluminium..

3. Problemstilling

Steinbruddsvirksomhetens betydning i forurensningssammenheng er nøye knyttet til bergartens geokjemi. Larvikittens kjemiske sammensetning er undersøkt av Neumann (1980). Tabellen i Bilag 2, som viser en oversikt over bergartens innhold av hovedelementer, er hentet fra denne publikasjon. Bergartens midlere innhold (vektprosent) av noen av de elementene som er blitt målt i denne undersøkelse, var som følger:

- Aluminium	10.0 %
- Natrium	4.6 %
- Kalium	3.4 %
- Kalsium	2.7 %
- Magnesium	1.0 %
- Jern	4.3 %
- Mangan	0.1 %
- Fosfor	0.3 %

Det antas at disse stoffer ved siden av anionene klorid, sulfat og hydrogenkarbonat/karbonat vil være de mest fremtredene ved forvitring, men små mengder av sporstoffer vil også kunne frigjøres. I henhold til tabellen i bilag 2, er barium, strontium, rubidium, lantan og cesium mest fremtredende av sporstoffene. Vannets innhold av disse elementer er ikke blitt bestemt.

Steinbruddsvirksomheten medfører dannelse av steinstøv, partikulært materiale og åpne bruddflater. Følgelig øker kontaktflaten mellom vann og mineral. Dermed er mulighetene til stede for økt utløsning av kjemiske elementer fra mineralene. Det kan således forventes at vannets ioneinnhold øker og at ionesammensetning endres i henhold til stoffenes løselighetsprodukt. Løselighetsproduktet påvirkes av vannets temperatur og

surhetsgrad.

Vannets bufferkapasitet og surhetsgrad er avgjørende for i hvilken grad vannets innhold av aluminium innvirker på organismelivet i vassdraget. En del av aluminiumet som tilføres foreligger som såkalt reaktivt aluminium (dvs. reagerer med de tilsatte kjemikalier), resten er inert eller partikulert. En del av det reaktive aluminiumet foreligger som ikke-labilt (ilabilt) aluminium. Dette er aluminium som i vesentlig grad er komplekst bundet til organisk stoff. Differansen mellom reaktivt og ilabilt aluminium, labilt aluminium, foreligger som frie ioner og vil således kunne innvirke på de biologiske forhold i vannet. De øvrige aluminiumfraksjoner har liten og ingen betydning i denne sammenheng. Ved lave pH-verdier, surt vann, vil en vesentlig del av den ilabile fraksjon foreligge som labil og det er under slike forhold bl. a. fiskedød forekommer. pH 5.3 anses å være tålegrensen for laksefisk.

I den grad sprengstoff brukes, vil også steinbruddsvirksomheten medføre økt tilførsel av nitrogen til avrenningsvannet.

Vannets innhold av partikler vil selvfølgelig måtte øke.

Anleggsmaskiner parkeres utenfor nedbørfelt til drikkevannskilder når de ikke er i bruk. Drivstofflagre er også plassert utenfor områdene. Dette er gjort med henblikk på å minimalisere oljeforurensninger.

4. Mål

Hovedhensikten med undersøkelsen er å

- avklare eller belyse vannforekomstenes naturlige vannkvalitet, særlig med henblikk på forsurening.
- dokumentere vannkvaliteten nedstrøms steinbrudd.
- vurdere reaksjons- og omsetningsprosesser i vannforekomster som tilføres avrenningsvann fra steinbrudd.

Det skal spesielt fokuseres på vannets surhetsgrad, bufferkapasitet og innhold av ulike aluminiumsfraksjoner.

5. Undersøkelsesopplegg og metoder

5.1. Prøvetakingsfrekvens og stasjoner

Fire ganger i tidsperioden juni 1993 til april 1994 ble det samlet inn prøver fra følgende steder (se bilag 1):

- St. 1 Bekk Messingvika
- St. 2 Bekk Kryssgardseter
- St. 3 Bekk Vardåsen
- St. 4 Bekk Mørjetjern
- St. 5 Malerødbekken oppstrøms steinbrudd
- St. 6 Malerødbekken nedstrøms steinbrudd
- St. 7. Vestmoenbekken
- St. I1o. Hallevann, overflate
- St. I1b. Hallevann, bunn-nære vannmasser
- St. I2o. Torpevann, overflate
- St. I2b. Torpevann, bunn-nære vannmasser

Stasjonene 1, 2 og 3 representerer bekker som får tilførsler fra områder hvor det i dag er aktiv steinbruddsvirksomhet.

Stasjon 4, Mørjetjern, er lokalisert nedstrøms en skrotsteintipp. Det foreligger planer om å tildekke denne tippa med jord og kloakkslam som grunnlag for beplanting. Oppstrøms prøvestedet er det noe dyrket mark og bl. a. en hundegård.

Stasjonene 5 og 6 er plassert i Malerødbekken henholdsvis oppstrøms og nedstrøms et steinbrudd. Stasjon 5 kan således betraktes som en referansestasjon.

I nedbørfeltet til Vestmoenbekken, stasjon 7, finnes ingen steinbruddsvirksomhet. Stasjonen er valgt som referanse.

I Hallevannet (st. I1) er det tatt overflate blandprøver, 0 - 10 m (St. I1o) og dyplagene (St. I1b). Stasjonen ligger i det sydlige område og i nærheten av drikkevannsinntaket. I dette området mottar innsjøen avrenning fra steinbrudd via bekkene som munner ut ved henholdsvis Messingvika (St. 1) og Kryssgardsetra (St. 2). Malerødbekken (St. 5 og 6) munner ut i Vassbotnfjorden og Vestmoenbekken (St. 7) munner ut i Vestmoenfjorden. Begge disse fjordene er en del av de nordlige områder av Hallevann. Europavei E - 18 passerer de nordlige områder av innsjøen og muligheten for tilførsel av veisalt (NaCl), bly og andre forurensninger som følger med biltrafikk er således til stede (Berge og Stene Johansen 1992). Ellers mottar innsjøen noe avrenning fra jordbruk og spredt bebyggelse.

I Torpevann er det som i Hallevann tatt prøver fra overflate- (St. I2o) og dyplagene (St. I2b). Innsjøen mottar avrenning fra steinbrudd via Vardåsbekken (St. 3). Ellers mottar innsjøen avrenning fra jordbruk og spredt bebyggelse.

5.2. Parametre

Prøvene er blitt samlet inn av Næringsmiddelkontrollen i Larvik og Lardal under ledelse av byveterinær Erling Utklev. De kjemiske analyser foregikk delvis på Næringsmiddelkontrollens laboratorium i Larvik og delvis på NIVA.

Følgende parametre ble analysert i Larvik:

- pH, surhetsgrad
- Fargetall
- Kalsium
- Magnesium
- Alkalitet
- Nitrat
- Klorid
- Turbiditet
- Total fosfor

Ved NIVA ble følgende parametre analysert:

- Natrium
- Kalium
- Sulfat
- Totalt aluminium - mål for vannets totale innhold av aluminium (partiukulært (inert), komplekst bundet og løst).
- Reaktivt aluminium er et tilnærmet mål for total monomert aluminium.
- Ikke-labilt (ilabilt) aluminium gir et tilnærmet mål for organisk monomert aluminium.
- Labilt aluminium er differansen mellom den raktive og ilabile fraksjon. Det er denne fraksjon som har biologisk relevans.

-- Jern

- Mangan
- Tungmetallene: kobber, sink, bly, kadmium.

Tungmetallene ble bestemt en gang fra hver stasjon.

Ved begge laboratorier ble prøvene analysert i henhold til Norsk Standard (NS).

6. Nedbør i undersøkelsesperioden

Nedbørforholdene i 1993 ved utløpet av Farrisvann går frem av fig. 1.

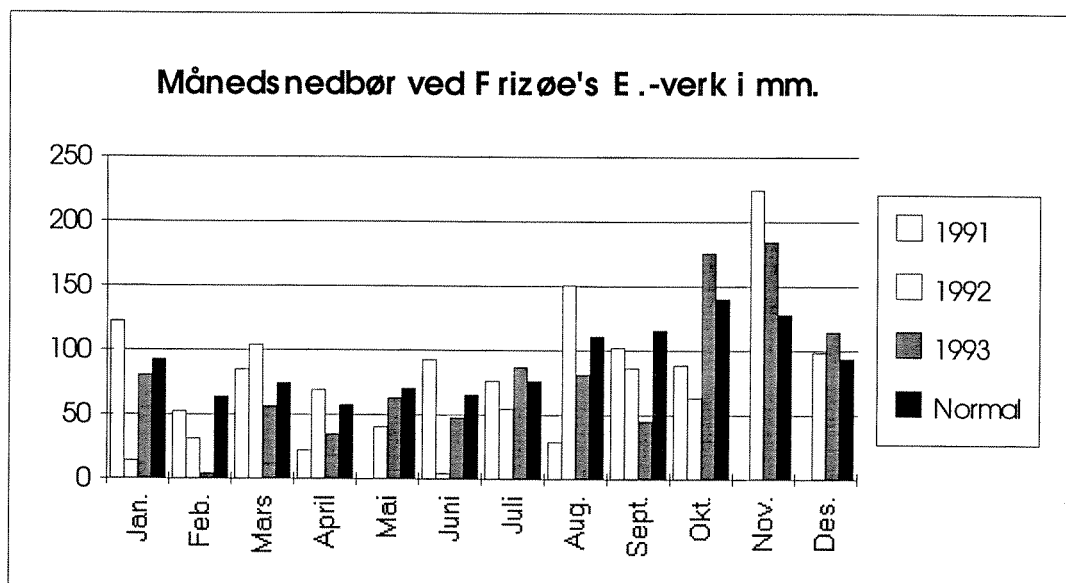


Fig. 1. Månedsnedbør ved utløpet av Farrisvann.

I 1993 var nedbøren i området lavere enn normalt i sommermånedene. Om høsten, spesielt i oktober - november, var det forholdsvis mye nedbør. Det antas derfor at vannføringen i bekkene var relativt stor i denne tidsperiode. Dette har betydning med hensyn til erosjon og transport av partikulært materiale.

Vinteren 1994 var det mye snø, noe som blant annet hindret prøvetaking. Den 26. april da siste prøvetaking fant sted, var snøen smeltet og sannsynligvis var det på dette tidspunkt normal vannføring i bekkene.

7. Resultater

Analyseresultatene er vist i Bilag 3, tabell 1.

Surhetsgrad og alkalitet

Vannets surhetsgrad og alkalitet på de ulike stasjoner er vist i fig 2.

På stasjon 1, 2 og 3 (Messingvika, Kryssgardseter og Vardåsen) varierte surhetsgraden rundt pH 7 (nøytral reaksjon). I de øvrige bekker var vannet noe surere og pH varierte noe fra gang til gang. Den laveste pH-verdi, 5.04, ble målt på stasjon 5, Malerødbekken oppstrøms steinbrudd, i april 1994, men også i Malerødbekken nedstrøms steinbrudd (St. 6) og i Vestmoenbekken (St. 7), var pH lav på dette tidspunkt. I Hallevann og Torpevann varierte pH- verdiene mellom 6 og 7.

I tråd med de høye pH- verdier, var også alkalitetsverdiene høye på stasjonene 1, 2 og 3, mens verdiene var varierende og gjennomgående lavere i de øvrige bekker. Alkaliteten var spesiell lav i bekkene st 5 og st 7 som begge er upåvirket av steinbrudd. Alkaliteten var betydelig lavere i Halle vann enn i Torpe vann.

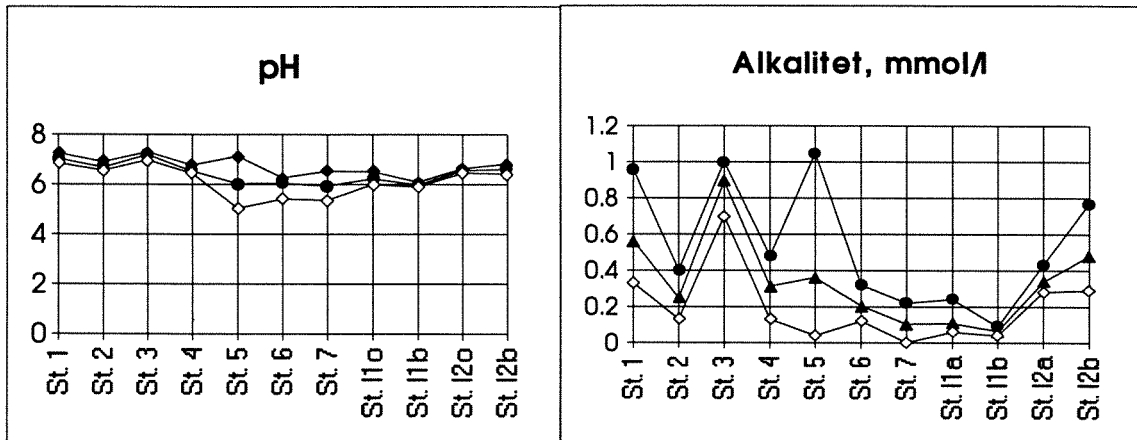


Fig. 2. pH og alkalitet.

◆ = maks., ● = middel, ◇ = min.

Aluminium

Konsentrasjonen av aluminium på de ulike stasjoner er vist i fig. 3.

Den høyeste verdi for total aluminium (6600 µg/l) ble målt på st. 5 (Malerødbekken oppstrøms steinbrudd) i november 1993. Stasjonene 1 (Messingvika) og 2 (Kryssgards.) hadde totalt sett (middelerverdi) de høyeste verdiene. De laveste verdiene ble målt på st. 4 (Mørjetjern) og st. 7 (Vestmoenbekken). I innsjøene var tot. aluminiumsverdiene relativt lave, bortsett fra i dypet av Torpe vann i november 1993 (1044 µg/l).

Verdiene for reaktivt og ilabilt aluminium var inbyrdes av samme størrelsesorden på alle stasjoner (bekker og innsjøer) med unntak av stasjon 5 og 7 (referansestasjonene). På disse stasjoner var den reaktive fraksjon spesiell høy i forhold til den ilabile i november 1993.

Labilt aluminium er differansen mellom reaktivt og ilabilt aluminium og det er denne fraksjon som kan ha konsekvenser for de biologiske forhold i vannet. Bortsett fra på stasjon 5 og 7 (se ovenfor), var verdiene for labilt aluminium lave på alle stasjoner.

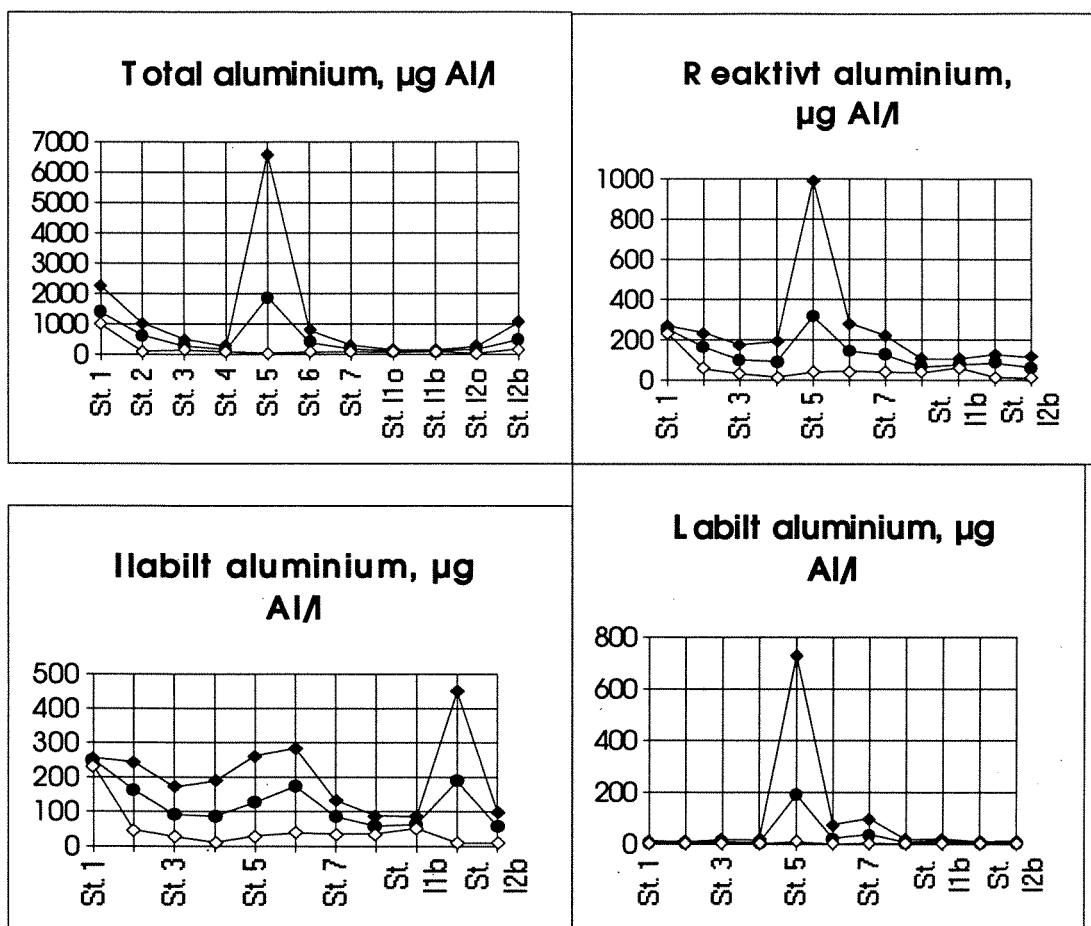


Fig. 3 Aluminium, tot. aluminium, reaktivt aluminium, ilabilt aluminium og labilt aluminium.

♦ = maks., ● = middel, ◊ = min.

Basekationer, kalsium, magnesium, natrium og kalium.

Konsentrasjoner av basekationer i de ulike vannforekomster går frem av fig. 4.

De høyeste kalsiumverdier ble målt på stasjonene 1, Messingvika, og 3, Vardåsen. Her var verdiene betydelig høyere enn det som er vanlig i norsk overflatevann.

Kalsiumverdiene var relativt høye også på stasjonene 2 og 4 (Kryssgardseter og Mørjetjern). De laveste kalsiumverdier ble målt på st. 5, Malerødbekken oppstrøms steinbrudd og i Hallevann.

Magnesiumverdiene varierte i betydelig grad på alle stasjoner. De høyeste middelverdier ble målt på stasjonene 1, 2, 3 og i Torpevann.

I alle bekkene, men spesielt på stasjonene 1, 2 og 3 (Messingvika, Kryssgardseter, Vardåsen), var natriumverdiene meget høye. Høye natriumkonsentrasjoner ble også målt i Torpevannet.

Også vannets innhold av kalium var høyt på alle stasjoner, men spesielt på stasjonene 1, 2 og 3 samt i Torpevann.

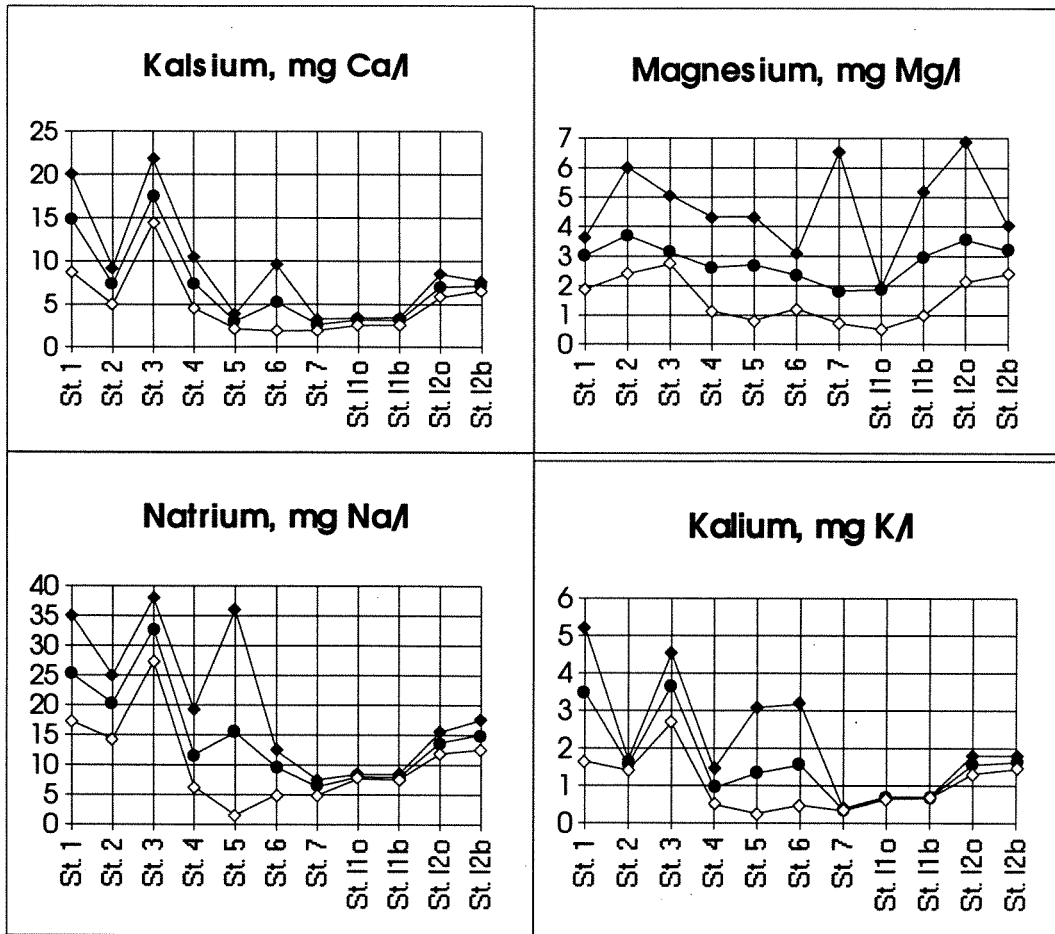


Fig. 4 Basekationer. kalsium, magneslum, natrium, kalium.

◆ = maks., ● = middel, ◇ = min.

Klorid og sulfat

Vannets innhold av klorider var meget høyt på alle stasjoner (fig. 5). Middelerdiene var høyest på stasjonene 1, 2, 3 og i Torpevann hvor verdien var spesiell høy i dypvannet i november.

De høyeste sulfatverdier ble målt på stasjonene 1, 2, 3 og i Torpevannet.

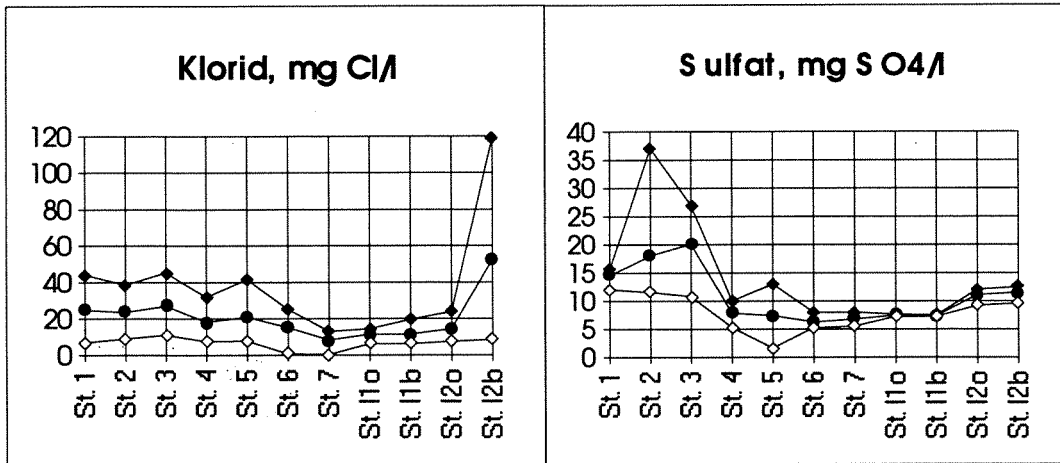


Fig. 5. Klorid og Sulfat

◆ = maks., ● = middel, ◇ = min.

Fargetall og turbiditet

I alle bekker var fargetallet høyt og sterkt varierende (fig. 6). Bortsett fra på st. 7, Vestmoenbekken (middelverdi 28), varierte fargetallene mellom 20 og 100 med middelverdi på omkring 50. I Halle vann var fargetallet av størrelsesorden som i Farrisvannet dvs. 10 - 15. I Torpevannet derimot var fargetallet meget høyt, særlig i dyplagene.

Turbiditeten eller vannets innhold av partikler var til dels meget høyt (fig. 6), særlig på stasjonene 1, 2 og 3 (Messingvika, Kryssgardseter og Vardåsen). I november var partikkelinnholdet spesielt høyt på st. 5 (Malerød oppstrøms). Turbiditeten i Halle vann var lav, men dog høyere enn normene Folkehelsen anvender for godt drikkevann (0.5). Dette gjelder spesielt dypvannet. I Torpevann var turbiditetsverdiene høye.

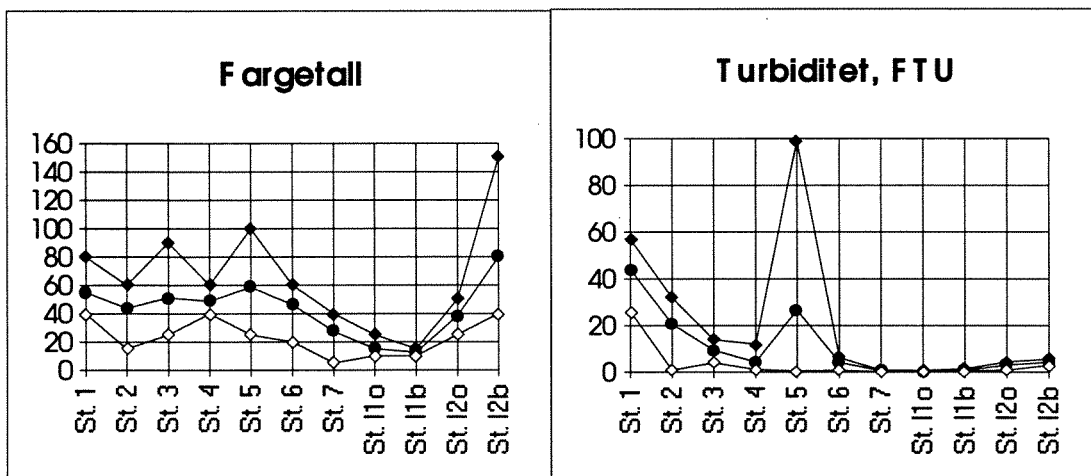


Fig. 6. Fargetall og turbiditet

◆ = maks., ● = middel, ◇ = min.

Næringsalter, fosfor og nitrogen

Vannets innhold av nitrater (fig. 7) var meget høyt på stasjonene 1, 2 og 3 (Messingvika, Kryssgardseter, Vardåsen). Analyseresultater av total nitrogen i april 1994, tyder på at mesteparten av tot nitrogen foreligger som nitrater på disse stasjoner. På de øvrige stasjoner var nitratverdien betydelig lavere og analyseresultatene av total nitrogen i april tyder på at en god del av nitrogenet på disse stasjoner var av organisk karakter. Nitrogenkonsentrasjonene i Hallevann og Torpevann var relativt høye.

Vannets innhold av total fosfor var høyest på stasjonene 1, 2 og 3. Spesielt var fosforkonsentrasjonene høye på st. 1, Messingvika. I november 1993 ble det analysert på ortofosfat. Resultatene av disse målinger viser at på de nevnte stasjoner var også ortofosfater høye på dette tidspunkt. På de øvrige bekkestasjoner og i Torpevann var også fosforverdien relativt høye. I november var fosforinnholdet spesielt høyt på st 5 (denne verdien er ikke tatt med på figuren). Hallevann hadde de laveste fosforverdier.

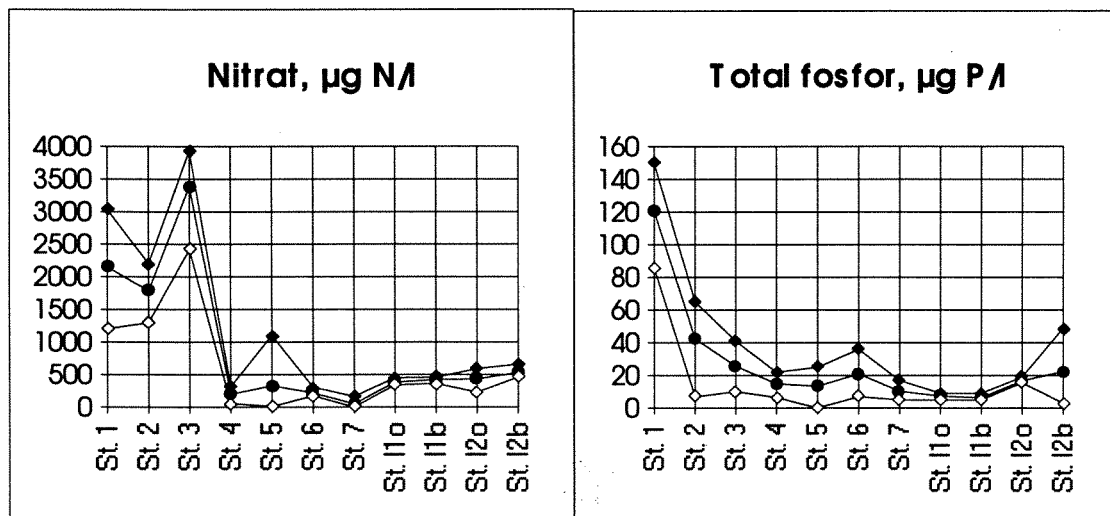


Fig. 7. Næringsalter, nitrater og total fosfor

◆ = maks., ● = middel, ◻ = min.

Jern og mangan

Vannets jerninnhold (fig. 8) var høyt i et flertall av bekkene og i Torpevannet, spesielt kan stasjonene 1, 2, 3, 5 og dypvannet i Torpevannet fremheves. På st. 5 ble det i november målt hele 6600 µg Fe/l. I Hallevannet var verdiene relativt sett lave.

Mangankonsentrasjonene var også høye. Verdiene på st. 5 (november) og i dypvannet i Torpevann var spesielt høye.

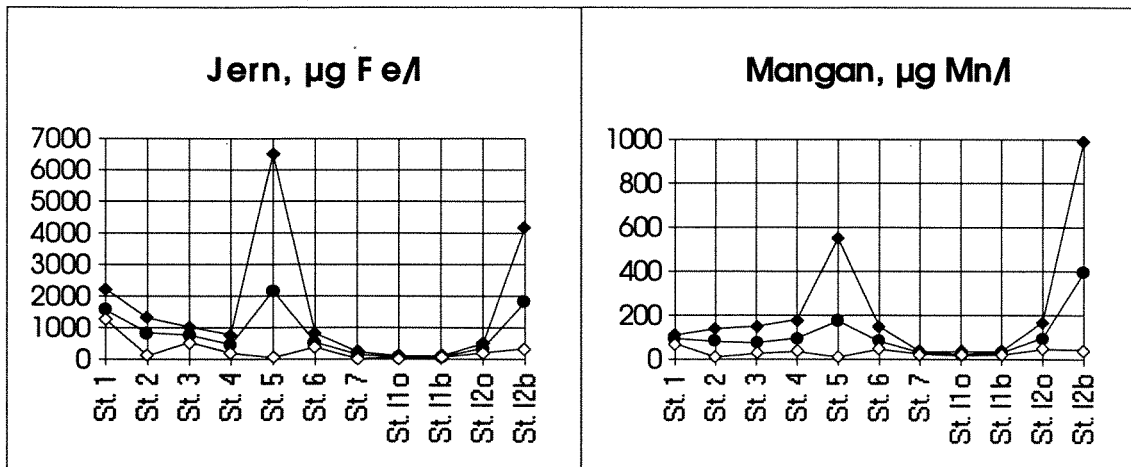


Fig. 8. Jern og mangan

◆ = maks., ● = middel, ◇ = min.

Tungmetaller

Vannets innhold av tungmetallene kobber, sink, bly og kadmium, ble undersøkt den 15. juni 1993 (18. august i Torpevann). Verdiene var lave og det ble derfor besluttet å utelate disse parametre i den videre undersøkelse.

8. Diskusjon

8.1. Bekkene

De tre bekkene ved henholdsvis Messingvika, Kryssgardseter og Vardåsen (stasjonene 1, 2 og 3) er sterkest berørt av tilførsler fra steinbruddsvirksomheten. Analyseresultatene viser at vannkvaliteten i disse bekker er svært forskjelligartet i forhold til vannkvaliteten i referansebekkene (stasjonene 5 og 7).

Avrenningsvannet fra steinbruddene var praktisk talt ved alle prøvetakinger sterkt turbid. Dette medførte også høye fargeverdier. Turbiditetsverdiene ved st. 3 var noe lavere enn ved st. 1 og 2. Prøvestedets avstand fra steinbruddet anses å være årsak til dette. Variasjonene i turbiditet og farge ved de øvrige bekkestasjoner har sannsynligvis sammenheng med variasjoner i vannføringen. I november, etter betydelig nedbør, var således vannet i Malerødbekken oppstrøms steinbruddet sterkt turbid.

I bekkene som drenerer steinbrudd (st. 1, 2 og 3), var konsentrasjonene av basekationer og anioner langt høyere enn i referansebekken (st. 7). Det er liten tvil om at dette har sammenheng med at steinbruddsvirksomheten øker mulighetene for utløsning av slike elementer fra mineralene. Sett i forsureingssammenheng er dette positivt idet vannets bufferkapasitet og pH-verdi øker. I alle de tre bekkene som er sterkest påvirket, var surhetsgraden relativt stabil og pH-verdiene varierte rundt pH 7. Ved prøvestedet Mørjetjern (st. 4), som får tilførsler fra en skrotsteintipp, var også bufferkapasiteten og surhetsgrad (pH ca 6.5) relativt stabil, men var noe lavere og varierte noe mer enn på

stasjonene 1, 2 og 3. Ved de øvrige bekkestasjoner var det større variasjoner. Målingene i april viser at vannet etter snøsmeltingen var meget surt i disse bekker. Dette skyldes sur nedbør. I Malerødbekken (stasjonene 5 og 6) hadde vannet noe mindre bufferkapasitet og var noe surere ovenfor enn nedenfor steinbruddet.

Konsentrasjonene av total aluminium var til dels høye i alle bekker. Den reaktive andelen var langt lavere, spesielt i bekkene som drenerer steinbrudd. Dette viser at mesteparten av aluminiumet foreligger som inert eller partikulært. Denne fraksjon har ingen betydning i biologisk sammenheng. Den ikke labile fraksjonen, som er et mål for andelen aluminium som er organisk bundet, er heller ikke biologisk aktiv. I bekkene som drenerer steinbrudd, var denne fraksjon av samme størrelsesorden som den reaktive. Differansen eller den labile fraksjon var meget liten og uten betydning i biologisk sammenheng. I Malerødbekken (spesielt st.5) og Vestmoenbekken (st. 7) var den labile fraksjon meget høye i de perioder vannets pH var lav.

Vannets innhold av jern og mangan var høyt i alle bekker bortsett fra i referansebekken (st. 7). Verdiene var gjennomgående høyest i bekkene som drenerte steinbrudd, dette som følge av at jern og mangan i vesentlig grad var bundet til partikulært materiale. I Malerødbekken oppstrøms steinbruddet (st. 5) var konsentrasjonene meget høye i august og spesielt i november dvs. på tidspunkter turbiditeten var meget høy. De høye fargetallene tyder på at partiklene var av organisk karakter (event. jernhydroksider).

Vannets innhold av tungmetallene kobber, sink, bly og kadmium var lave på alle bekkestasjoner.

I de tre bekker som drenerer steinbrudd (stasjonene 1, 2 og 3) var vannets innhold av total fosfor og nitrater meget høyt i forhold til de øvrige bekker. De laveste fosforverdier ble målt i referansebekken (st. 7). Analyseresultatene fra november viser at også ortofosfatverdiene i dreneringsvannet fra steinbruddene var meget høye på dette tidspunkt. De høye fosforverdier må skyldes tilførsler fra steinbrudd og vi antar at mesteparten av fosforet er partikulært eller fosfor adsorbert til partikler og således ikke er umiddelbart biologisk tilgjengelig. De høye verdier for total fosfor og fosfater i Malerødbekken (st. 5) i november må skyldes stor tilførsel av partikulært materiale under flom. De høye nitratverdier i dreneringsvannet fra steinbruddene skyldes sannsynligvis bruk av sprengstoff. Analyseresultatene fra april viser at mesteparten av nitrogenet i avrenningsvannet fra steinbruddene forelå som nitrater. I de øvrige bekker var den organiske nitrogenandel langt mer dominerende.

8.2. Hallevann

Hallevann får tilførsel av avrenningsvann fra steinbrudd via bekkene ved Messingvika (st. 1) og Kryssgardsetra (st. 2). Disse bekker er små og stofftilførselen vil derfor være begrenset. Malerødbekken som også er noe påvirket av avrenningsvann fra steinbrudd, munner ut i de nordlige området. Ellers tilføres innsjøen forurensninger fra jordbruk, spredt bebyggelse og motorvei (Europavei E-18).

Prøvene ble tatt i hovedbasenget i det dypeste område av innsjøen - ikke langt fra vanninntaket.

Overflateprøvene ble tatt som blandprøver (0 - 10 m), mens bunnprøvene ble tatt i god avstand fra bunnsedimentene.

Vannets pH varierte fra fra 5.9 til 6.5 med middelværdi på 6.1. I følge Skulberg (1991) var den midlere pH-verdi i 1990 5.8. Dette kan bero på tilfeldigheter p.g.a. forskjell i prøvetakingstidspunkter, prøvetakingsdyp o. l., men det kan også være et resultat av økt alkalitet og bufferkapasitet.

Både midlere fargetall (13) og turbiditet (0.65 FTU) var høyere i 1993/94 enn i 1990 da tilsvarende verdier ble målt til henholdsvis 8 og 0.4 FTU. Vannets innhold av jern og mangan, som ikke ble målt i 1990, var lavt.

Middelværdier for vannets innhold av basekationer og anioner i 1990 og 1993/94 går frem av fig 9. Verdiene for 1990 er hentet fra Johansen m. fl. (1991). Bortsett fra for sulfat, var 1993/94-verdiene for alle stoffer betydelig høyere enn i 1990. Det er mulig forskjellen i sulfatkonsentrasjonene har metodiske årsaker (i 1990 ble analysene utført ved TDH og i 1993/94 i Larvik). Årsaken til de store forskjeller i konsentrasjonene kan ha sammenheng med lite nedbør i de senere år. Kontakttiden mellom vann og jordsmonnets mineraler forlenges slik at utløsning av kjemiske komponenter øker - avrenningsvannets grunnvannsandel øker. Under slike forhold vil også det relativt saltrike vannet fra steinbruddene gjøre seg mere gjeldende. Tilførsel av veisalt (NaCl) fra E - 18 som berører de nordlige områder av Hallevann, kan også ha en viss betydning (Berge og Stene Johansen 1992)

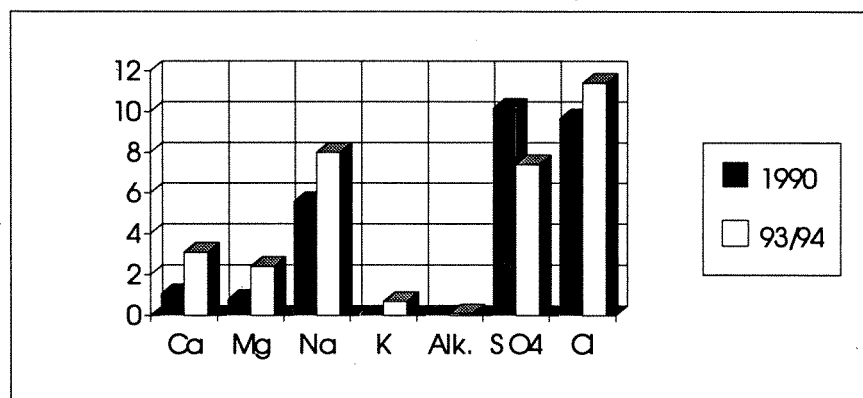


Fig 9. Hallevann. Hovedkomponenter, mg/l, 1990 og 1993/94

Middelværdien for vannets innhold av fosfor var 6.8 µg P/l i 1993/94 mot 7.2 µg P/l i 1990. Tilsvarende verdier for nitrater var henholdsvis 406 og 450 µg N/l. Konsentrasjonene av næringssalter har således i liten grad endret seg i løpet av tidsperioden.

Verdiene for totalt aluminium var 100 µg Al/l i overflaten og 115 µg Al/l i dypet. EU's veiledende norm for godt drikkevann er 50 µg Al/l og tillatt maks. 200 µg Al/l. Middelverdiene for labilt aluminium var 7.5 og 14.3 µg Al/l i henholdsvis overflate og dypvann. Dette er ikke spesielt høye verdier og vil neppe ha noen innflytelse på organismelivet i vannet.

Vannets innhold av tungmetallene kobber, sink, bly og kadmium var lavt.

8.3. Torpevann

Torpevann er et grunt vann som ligger utsatt til for tilførsel av forurensninger fra bl. a. jordbruk. I nedbørfeltet finnes også steinbruddslokalteter.

Prøvene ble tatt som blandprøver fra overflatelagene og som enkeltprøver fra de bunn-nære vannmasser.

Fargetallet (38 og 80 i hhv. overflate og bunn) og turbiditetsverdiene (3 og 4 FTU) viser at vannet er sterkt påvirket av humusstoffer og partikler.

Konsentrasjonene av basekationer og anioner var høye, spesielt gjelder dette natrium og klorid. Følgelig er vannet godt bufret - noe som gjenspeiler seg i vannets pH-verdi som i middel ble målt til pH 6.6.

Konsentrasjonene av fosfor (20 µg P/l) og nitrater (484 µg N/l) viser at innsjøen er betydelig eutrofiert. Årsaken til dette er sannsynligvis tilførsler av næringssalter fra jordbruk og spredt bosetting.

Vannets innhold av totalt aluminium var høyt, men verdiene for den labile fraksjon var lave.

Vannets innhold av tungmetaller var lavt.

Referanser:

Berge, D. og S. Stene Johansen, 1992: Ny E-18 forbi drikkevannskilden HALLEVANNET i Søndre Vestfold. Påvirkninger - Tiltak. NIVA - rapport O - 92182. L.nr. 2820.

Hessen, D., K. J. Aanes og W. Bjerknes, 1988: Miljøvirkninger av slam fra veifylling i Vangsvann; RV 13 ved Bulken, Voss kommune. NIVA - rapport - forundersøkelse og programforslag for overvåking, O - 88028.

Hessen, D., W. Bjerknes, T. Bækken og K. J. Aanes, 1989: Økt slamføring i Vetlefjordelva som følge av anleggsarbeide. Effekter på fisk og bunndyr. NIVA-rapport O - 88016. L.nr. 2226, 36 sider.

Johansen, F. P., K. O. Mikkelsen og H. C. Nygaard, 1991: Hallevannet. En limnologisk undersøkelse. Hovedoppgave ved TDH i 1991.

Neumann, E-R., 1980: Petrogenesis of the Oslo Region Larvikites and Associated Rocks. Journal of Petrology, Vo 21, Part 3. pp 499-531.

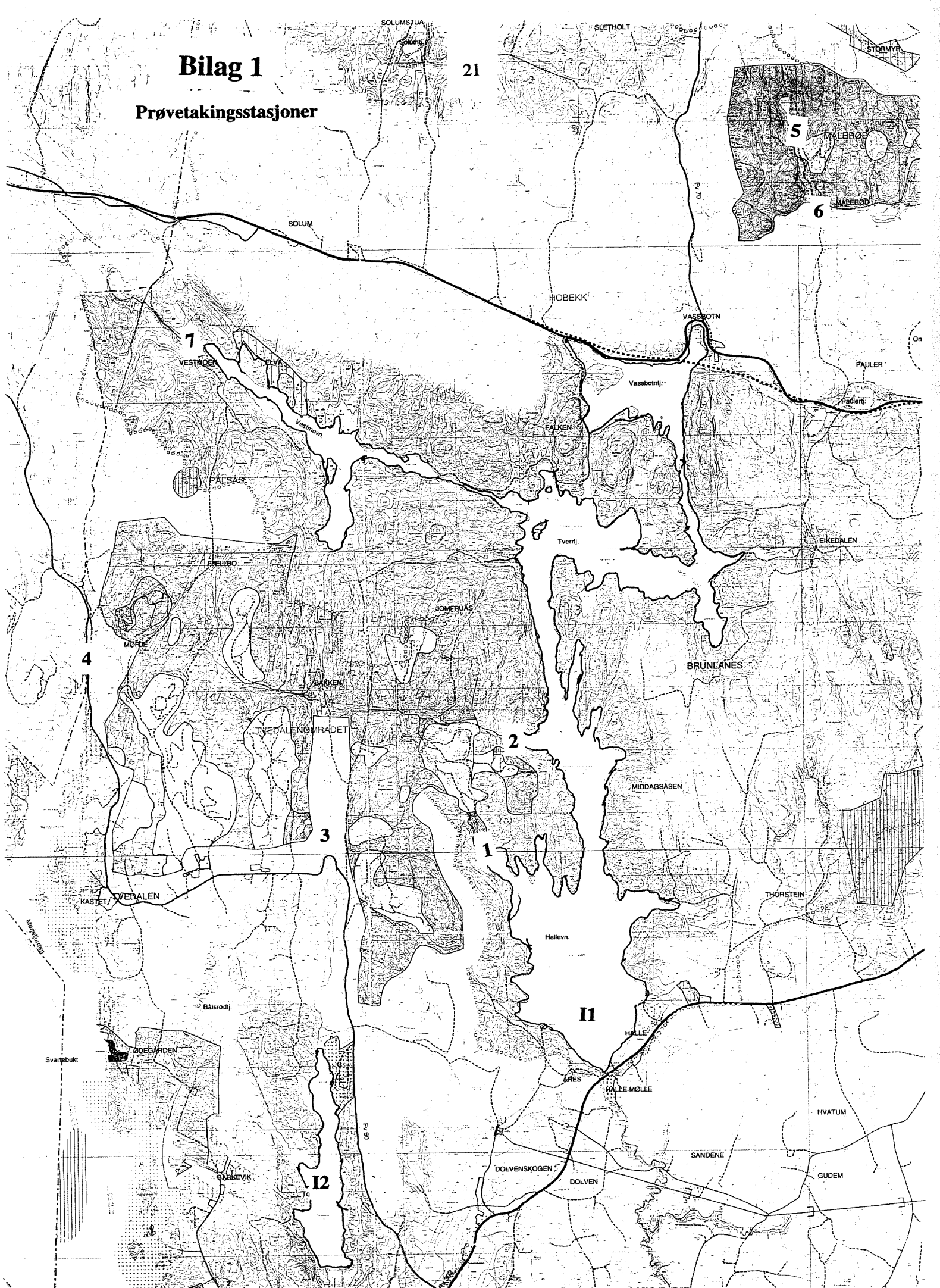
Skulberg, O., 1992: Hallevannet og Ulfsbaktjernet. En hydrobiologisk undersøkelse i 1990. NIVA-rapport O - 90087. L.nr. 2688.

Holtan, H., 1992: Vurdering av eventuelle vannforurensningseffekter av steinbruddsvirksomheten i Larvikområdet. NIVA-rapport O - 91119. L.nr. 2677.

Bilag 1

Prøvetakingsstasjoner

21



Bilag 2

Analyseresultater av hovedkomponenter og sporstoffer i Larvikitt (etter Neumann 1980)

Larvikitt										
	5		6				7		8	
Wt. per cent	448 ¹	480	(358 ²)	9 ¹	4 ¹	29 ¹	364	38	360	B-2 ¹
SiO ₂	58,23	60,01	57,18	56,89	57,33	58,41	50,71	58,60	55,72	55,54
TiO ₂	1,52	0,77	1,21	1,37	1,18	1,29	2,11	1,76	1,21	1,63
Al ₂ O ₃	17,90	18,66	19,77	18,22	19,01	18,89	17,75	16,86	19,45	18,64
Fe ₂ O ₃	2,55	1,97	1,27	2,06	1,66	1,93	4,51	2,75	2,21	2,54
FeO	3,87	1,68	3,70	3,77	3,05	3,06	4,04	3,70	2,89	4,36
MnO	0,20	0,18	0,16	0,18	0,15	0,17	0,22	0,27	0,17	0,21
MgO	1,94	0,60	1,34	1,61	1,49	1,13	3,35	0,90	1,22	2,25
CaO	3,85	1,59	4,37	3,91	3,56	3,22	5,21	2,77	3,98	4,94
Na ₂ O	5,98	6,97	6,24	6,30	6,51	6,92	5,70	5,56	5,48	5,94
K ₂ O	4,05	5,24	3,73	4,07	4,16	4,50	2,71	5,28	4,15	3,54
P ₂ O ₅	0,72	0,21	0,66	0,79	0,58	0,46	1,54	0,48	0,66	1,29
H ₂ O		0,89	0,54		0,55		1,24	1,40	1,46	
Total	100,80	98,77	100,17	99,17	99,23	99,98	99,09	101,52	98,60	100,88
D.I.	76,1	89,6	74,5	77,4	78,8	81,8	74,8	81,5	66,0	71,1
MgO/Fe ₂ O ₃ +FeO	0,232	0,141	0,216	0,216	0,240	0,185	0,193	0,133	0,282	0,246
+ MgO										
Norm Q	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-
Norm Ne	-	5,1	3,5	4,0	5,2	7,3	0,1	-	3,1	2,4
ppm										
Sc	9	7		10	6	5	9	17	6	10
Cr	19			<	42	23				21
Co	10	2		7	7	9	8	4	18	11
Rb	102	178		90	92	131	95	96	52	71
Sr	680	520		970	880	690	1030	290	1230	1220
Cs	1,2	2,4		0,6	1,0	1,6	0,8	0,5	0,3	0,3
Ba	1120	1060		1150	1160	1090	1170	630	1390	1160
La	151	137	111	121	123	117	131	109	145	128
Ce	270	250	220	170	220	240	190	170	210	270
Sm	17,4	9,1	12,6	13,5	11,2	9,6	13,8	12,7	15,0	14,8
Eu	4,8	2,1	4,6	4,2	4,7	3,9	4,1	4,0	4,6	5,4
Tb	2,1	1,4	1,3	1,4	1,1	1,0	1,5	1,7	1,8	1,6
Yb	6	5	4	4	5	4	4	3	2	2
Lu	1,04	0,86	0,56	0,48	0,61	0,63	0,57	0,40	0,66	0,48
Hf	16	30		13	16	18	10	7,5	5,1	5,6
Ta	13,2	15,0		7,9	10,6	12,2	8,0	6,7	5,8	4,6
Th	19,3	30,5	14,2	12,0	20,2	18,7	11,2	6,2	10,4	6,0
U	5,5	11,6	3,8	3,2	5,5	4,6	3,1	1,9	2,4	1,6
Eu/En*	0,88	0,70	1,20	1,05	1,43	1,36	0,97	0,98	0,97	0,92

Bilag 3

Tabell 1. Kjemiske analyseresultater 1993/994..

Parametre	Benevn.	Stasjon 1				Stasjon 2				Stasjon 3			
		15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4
pH		7.24	6.85	6.92	7.06	6.55	6.7	6.55	6.9	7.29	6.97	7.26	7.19
Fargetall		50	50	80	40	15	60	60	40	25	50	90	40
Turbiditet	FTU	57	51	26	42	0.89	32	27	23	4	14	14	5.6
Kalsium	mg Ca/l	20.14	20.04	8.74	10.58	8.97	9.22	4.94	6.06	21.76	18.04	15.47	14.4
Magnesium	mg Mg/l	3.62	2.94	1.88	2.02	2.54	2.62	6.02	2.4	3.72	5.06	4.56	2.72
Natrium	mg Na/l	30	35	17.3	18.5	25	22	14.3	20	38	34	32	27.3
Kalium	mg K/l	5.23	3.6		1.65	1.58	1.69		1.41	3.8	4.53		2.67
Alkalitet	mmol/l	0.96	0.48	0.33	0.48	0.18	0.4	0.13	0.28	0.99	1	0.7	0.88
Klorid	mg Cl/l	44	36.7	6.8	11.2	35	38.5	8.9	11.8	39	45.2	11.1	12.6
Sulfat	mg SO ₄ /l	14.8	15.6	15	12	15.6	11.6	11.5	12	37	23	27	19.6
Tot. nitrog.	µg N/l				2360				2270				2850
Nitrat	µg N/l	1200	3030	2100	2260	1300	1730	2200	1910	3500	3930	3700	2420
Orto fosfor	µg P/l			71				55				31	
Tot. fosfor	µg P/l	124	150	86	123	7	48	65	50	10	30	41	22.5
Jern	µg Fe/l	1480	2230	1280	1270	114	1310	1210	730	1020	560	970	530
Mangan	µg Mn/l	110	110	90	70	10.1	100	140	70	150	25.4	90	30.3
Kobber	µg Cu/l	3.5				0.8				2.4			
Sink	µg Zn/l	20				10				10			
Bly	µg Pb/l	0.5				0.5				0.5			
Kadmium	µg Cd/l	0.1				0.1				0.1			
Tot. Al	µg Al/l	978	2250	976	1304	103	820	1032	564	134	236	508	219
Reakt. Al	µg Al/l	259	233	253	269	56	151	235	213	32	61	176	129
Ilab. Al	µg Al/l	253	231	256	255	47	150	243	209	28	54	171	111
Labil Al	µg Al/l	6	2	3	14	9	1	8	4	4	7	5	18

Tabell 1 forts.

Parametre	Benevn.	Stasjon 4				Stasjon 5				Stasjon 6			
		15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4
pH		6.76	6.5	6.43	6.43	5.84	6.06	7.13	5.04	6.24	6.2	6.26	5.41
Fargetall		40	50	60	45	25	70	100	40	20	60	60	45
Turbiditet	FTU	2	2	12	1.2	0.43	5.8	99	1	0.8	5.2	4.3	6.3
Kalsium	mg Ca/l	9.06	10.42	4.57	5.9	2.14	3.01		3.85	6.24	3.32	9.54	1.87
Magnesium	mg Mg/l	2.07	4.33	1.15	1.42	0.81	4.33		4.18	1.22	2.65	2.59	3.09
Natrium	mg Na/l	14.4	19.3	6.74	6.33	7.21	16.9	36	1.56	12.4	11.8	9.37	4.98
Kalium	mg K/l	0.87	1.44		0.5	0.67	3.08		0.25	3.18	1		0.48
Alkalitet	mmol/l	0.44	0.48	0.13	0.2	0.07	0.28	1.05	0.04	0.24	0.32	0.12	0.14
Klorid	mg Cl/l	24	31.7	8.9	7.4	13	20.9	41.5	7.6	25	22.9	12	0.6
Sulfat	mg SO ₄ /l	10.8	10	9.5	6.6	5.3	7.4	13	1.6	7.6	5.7	8	5.2
Tot. nitrog.	µg N/l				525				415				565
Nitrat	µg N/l	60	206	315	218	10	145	1100	67	194	199	175	306
Orto fosfor	µg P/l			6				630				12	
Tot. fosfor	µg P/l	22	18	13	6.5	8	25	975	20.5	7	22	36	19
Jern	µg Fe/l	780	640	189	192	84	1990	6500	51	450	820	470	380
Mangan	µg Mn/l	180	130	41.4	34.8	18.4	120	550	10.8	150	45.3	70	60
Kobber	µg Cu/l	0.7				0.7				0.5			
Sink	µg Zn/l	10				10				20			
Bly	µg Pb/l	0.5				0.5				0.5			
Kadmium	µg Cd/l	0.1				0.1				0.1			
Tot. Al	µg Al/l	88	125	264	191	117	740	6600	39	70	341	784	366
Reakt. Al	µg Al/l	25	15	190	141	93	141	992	40	46	116	283	134
Ilab. Al	µg Al/l	20	11	188	125	81	133	262	30	38	111	283	259
Labil Al	µg Al/l	5	4	2	16	12	8	730	10	8	5	0	76

Tabell 1 forts.

Parametre	Benevn.	Stasjon 7				Hallevann, overfl.				Hallevann, bunn			
		15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4
pH		6.53	6.24	5.36	5.62	6.5	6.21	6.13	6	5.99	5.93	6.08	5.9
Fargetall		30	40	5	35	10	10	15	25	15	10	10	15
Turbiditet	FTU	0.66	0.61	0.18	0.93	0.38	0.48	0.52	0.73	0.56	0.5	0.53	1.5
Kalsium	mg Ca/l	3.25	3	2.26	1.97	3.29	2.55	3.37	3.37	3.15	2.56	3.43	3.41
Magnesium	mg Mg/l	0.78	6.54	0.71	1.24	0.52	1.8	1.08	1.93	0.97	5.18	1	2.35
Natrium	mg Na/l	7.55	7.52	5.48	4.88	7.92	7.7	8.02	8.46	7.71	7.51	7.9	8.46
Kalium	mg K/l	0.39	0.33		0.34	0.67	0.7		0.64	0.68	0.7		0.66
Alkalitet	mmol/l	0.1	0.22	0.003	0.09	0.07	0.24	0.06	0.06	0.07	0.09	0.063	0.04
Klorid	mg Cl/l	13	12.4	6.9	0.4	13	14.4	11.8	6.1	13	19.5	6.9	6.1
Sulfat	mg SO ₄ /l	6.1	5.5	8	6	7.6	7.6	7.5	7.2	7.5	7.4	7.5	7.2
Tot. nitrog.	µg N/l				425				690				695
Nitrat	µg N/l	4	10	30	162	340	383	365	456	434	443	366	460
Orto fosfor	µg P/l			4.5				4.5				4.5	
Tot. fosfor	µg P/l	17	14	5	5	7.5	7.5	5	9	9	5.5	6	5
Jern	µg Fe/l	181	230	16	188	41	30	50	98	82	45	47	100
Mangan	µg Mn/l	29.3	35.5	24.4	35.4	24.8	15.9	19.8	34.3	28.6	31.7	20	34.7
Kobber	µg Cu/l	0.5				0.6				3.8			
Sink	µg Zn/l	20				20				50			
Bly	µg Pb/l	0.5				0.5				1.4			
Kadmium	µg Cd/l	0.1				0.1				0.11			
Tot. Al	µg Al/l	98	87	304	217	70	59	123	149	98	107	107	149
Reakt. Al	µg Al/l	59	40	221	175	56	37	64	106	69	71	62	106
Ilab. Al	µg Al/l	53	36	122	132	50	36	59	88	59	52	55	85
Labil Al	µg Al/l	6	4	99	43	6	1	5	18	10	19	7	21

Tabell 1 forts.

Parametre	Benevn.	Torpevann, overfl.				Torpevann, bunn			
		15/6	18/8	18/11	26/4	15/6	18/8	18/11	26/4
pH			6.58	6.63	6.44		6.4	6.82	6.57
Fargetall			25	50	40		150	50	40
Turbiditet	FTU		0.93	3.7	4.5		3	4.5	5.5
Kalsium	mg Ca/l		8.46	6.7	5.76			7.7	6.57
Magnesium	mg Mg/l		2.39	2.11	6.86			2.38	4.01
Natrium	mg Na/l			15.5	11.9			17.5	12.6
Kalium	mg K/l		1.8		1.31		1.8		1.44
Alkalitet	mmol/l		0.43	0.3	0.28		0.77	0.38	0.29
Klorid	mg Cl/l		23.9	11.8	7.3		29.7	119	8.3
Sulfat	mg SO ₄ /l		12	12	9.2		12.3	12.5	9.6
Tot. nitrog.	µg N/l		510		935		520		1060
Nitrat	µg N/l		228	482	593		465	478	659
Orto fosfor	µg P/l			12				23	
Tot. fosfor	µg P/l		15.5	19	15.5		15.5	49	3
Jern	µg Fe/l		201	480	350		4170	910	330
Mangan	µg Mn/l		170	80	44.5		990	140	43
Kobber	µg Cu/l		1.1				0.8		
Sink	µg Zn/l		<10				<10		
Bly	µg Pb/l		0.5				0.5		
Kadmium	µg Cd/l		<0.1				<0.1		
Tot. Al	µg Al/l		25	267	227		178	1044	227
Reakt. Al	µg Al/l		14	127	115		10	67	113
Ilab. Al	µg Al/l		10	119	105		10	65	100
Labil Al	µg Al/l		4	8	10		0	2	13

NIVA



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2641-9