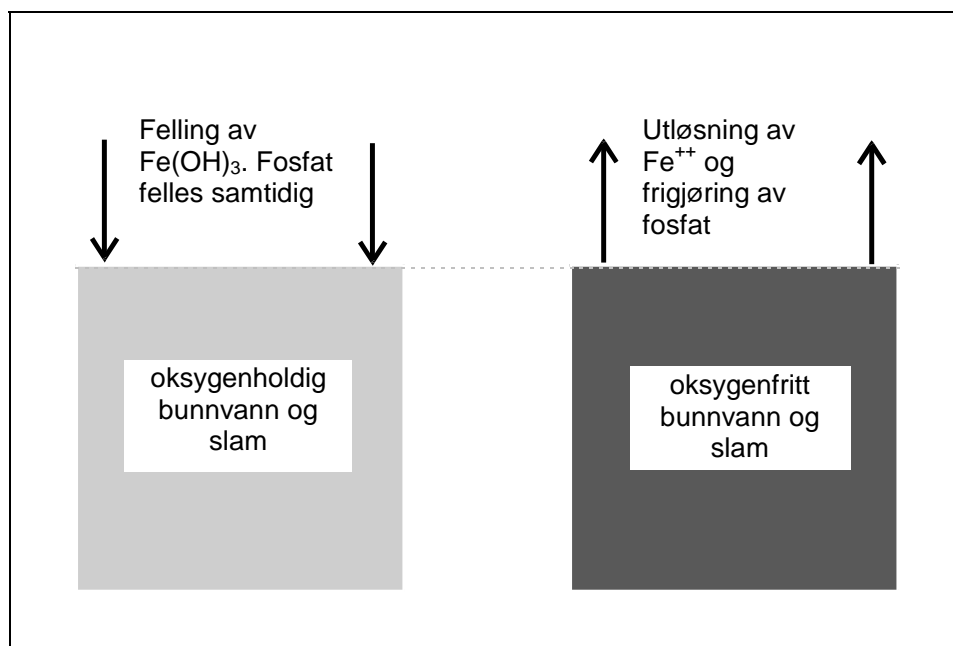


O-94171

## Innsjø-sedimenter i Farstad- og Lilandsvassdragene

Om betydningen av indre gjødsling

for bedring i vannkvaliteten



**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

Tittel  Innsjøsedimenter i Farstad- og Lilandsvassdragene. Om betydningen av indre gjødsling for bedring av vannkvaliteten	Løpenr. (for bestilling) 3387-96	Dato 13. november 1996
	Prosjektnr. Undernr. 94171	Sider Pris
Forfatter(e)  Bjørn Faafeng	Fagområde Eutrofi ferskvann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Vestvågøy kommune Fylkesmannen i Nordland	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag Sedimenter (bunnslam) fra 5 innsjøer i de to vassdragene ble undersøkt for å avklare om indre gjødsling bidrar til å opprettholde høy konsentrasjon av næringsstoffer og planteplankton. Kjemiske analyser og utvekslingsforsøk i laboratoriet tyder ikke på at disse prosessene vil forsinke bedringen når belastningen med næringsstoffer gradvis blir redusert pga. forurensningsbegrensende tiltak i nedbørfeltene.
---

Fire norske emneord 1. eutrofiering 2. sedimenter 3. indre gjødsling 4. algeoppblomstring	Fire engelske emneord 1. eutrophication 2. sediments 3. internal loading 4. algal blooms
---	--

  
Bjørn Faafeng  
Prosjektleder

ISBN 82-577-2917-5

  
Dag Berge  
Forskningsjef

Norsk institutt for vannforskning

O-94171

Innsjø-sedimenter i Farstad- og Lilandsvassdragene

Om betydningen av indre gjødsling  
for bedring i vannkvaliteten

dato: 9. oktober 1995

Prosjektleder: Bjørn Faafeng

for administrasjonen: Dag Berge

## FORORD

NIVA gjennomførte i 1992 en undersøkelse av vassdrag på Vestvågøy: Farstadvassdraget og Lilandsvassdraget, rapportert i: " Farstad- og Lilandsvassdragene i Vestvågøy kommune. Karakterisering av vannkvaliteten og tiltaksplan mot forurensninger" datert 23. juni 1993. Rapporten konkluderte bl.a. med at vannkvaliteten i de undersøkte innsjøene jevnt over var dårlig pga. tilførsler av urensset kloakkvann og avrenning fra punktkilder og arealavrenning fra landbruket. Det ble anbefalt at fosforkonsentrasjonen i innsjøene reduseres til 10-15 µgP/l, avhengig av innsjøenes dybdeforhold, for å hindre oppblomstring av blågrønnalger. Fosforkonsentrasjonen i innsjøene ligger i dag på 15-22 µgP/l. Det ble også anbefalt å kartlegge dybdeforholdene i innsjøene for å kunne vurdere de enkelte innsjøenes fosfortoleranse. Dette siste er gjennomført ved at Vestvågøy Jeger og Fiskerforening ved Knut Nikolaisen, Gunnar Dunvold, Are Andersen og Terje Grüber har målt opp innsjøene med ekkolodd, mens dataene er bearbeidet av NIVA og uttegnet til dybdekart av NVE, Hydrologisk avd. Kartene presenteres i denne rapporten.

Det ble også diskutert nødvendigheten av å gjennomføre tiltak i innsjøene pga. faren for "indre gjødsling", dvs. lekkasje til innsjøene av fosfor lagret i bunnslammet. Vestvågøy kommune ba i brev av 27. april 1994 NIVA om å undersøke faren for "indre gjødsling" i innsjøene. Denne rapporten beskriver resultatene fra undersøkelsen. Undersøkelsen er finansiert av Vestvågøy kommune og Fylkesmannen i Nordland, miljøvernavdelinga.

**INNHOOLD**

	side
FORORD	1
INNHOOLD	2
1. KONKLUSJONER	3
2. INNLEDNING	4
3. BESKRIVELSE AV INNSJØENE	7
4. VANNKVALITET I INNSJØENE 1992	14
5. BEREGNING AV TILFØRSLER TIL FARSTADVATNET	16
6. SEDIMENTKJEMI	19
7. LAGRINGSFORSØK	21
8. LITTERATUR	24

## 1. KONKLUSJONER

*"Indre gjødsling" er neppe et stort problem i de undersøkte innsjøene. Dette betyr at fosforkonsentrasjonen i innsjøene vil reduseres etter hvert som tilførslene reduseres, med en viss forsinkelse.*

*Alle de undersøkte innsjøene har kort oppholdstid, spesielt gjelder dette Lilandsvatnet, Farstadvatnet og Reppvatnet. Innsjøene er derfor i utgangspunktet sterkt preget av kvaliteten av det vannet som tilføres fra nedbørfeltet.*

*En del av det fosforet som tilføres en innsjø vil bli holdt tilbake fordi fosforholdige partikler synker til bunns. Andelen som holdes tilbake i de fem innsjøene varierer mellom 21 og 46% i følge våre beregninger.*

*Fosforkonsentrasjonen i tilløpene til Farstadvatnet var ca. 30% lavere i 1992 enn det en kan beregne fra konsentrasjonen i innsjøen. Selv om datagrunnlaget er noe svakt kan det tyde på at tiltakene i nedbørfeltet har bidratt til noe lavere fosforforurensing i perioden 1988 til 1992. Begge disse forholdene indikerer at fosforkonsentrasjonen i innsjøen ikke var i balanse med tilførslene. Det betyr i så fall at fosforkonsentrasjonen i innsjøene i løpet av et par år vil stabilisere seg på et noe lavere nivå, dersom fosfortilførslene holder seg på dagens nivå - eller reduseres ytterligere.*

*Usikkerheten i disse vurderingen ligger særlig i to forhold: måleresultatene av oksygenkonsentrasjon i dypvannet og fosforkonsentrasjonen i tilløpene. Relativt enkle måleprogrammer kan fjerne denne usikkerheten. Det anbefales at det i tilfelle gjennomføres for Farstadvatnet, siden denne innsjøen synes å være mest utsatt.*

## 2. INNLEDNING

Fosfor er normalt det næringsstoffet som regulerer veksten av planteplankton i innsjøer, og er derfor svært viktig for den generelle vannkvaliteten i vassdrag. Økte tilførsler av fosfor fra landbruksaktiviteter og urensset avløp fra husholdninger bidrar ofte til redusert vannkvalitet. Mye av fosforet som føres til en innsjø synker til bunns og lagres i bunnslammet (sedimentene), mens en stor del av det tilførte nitrogenet spyles ut som nitrat eller reduseres til nitrogengass og tapes via innsjøens overflate.

Tilført fosfor bindes i stor grad til jernforbindelser som felles ut av vannmassene (Figur 2.1) og lagres i bunnslammet under normale forhold. Så lenge innsjøen tilføres tilstrekkelig jern fra grunnvannet og nedbørfeltet forøvrig vil en stor del av det tilførte fosforet kunne felles ut og bindes i bunnslammet. Hvor mye av det tilførte fosforet som lagres i en innsjø er bestemt av vannets oppholdstid i innsjøen. Ved kort oppholdstid spyles mye gjennom og ut av innsjøen, men ved lengre oppholdstid virker innsjøer som en effektiv "fosforfelle". Dette er grunnlaget for den såkalte Vollenweider-modellen som gjør det mulig å beregne hvor stor fosforkonsentrasjon en kan vente i en innsjø når en kjenner fosfortilførslene og vannets gjennomsnittlige oppholdstid.

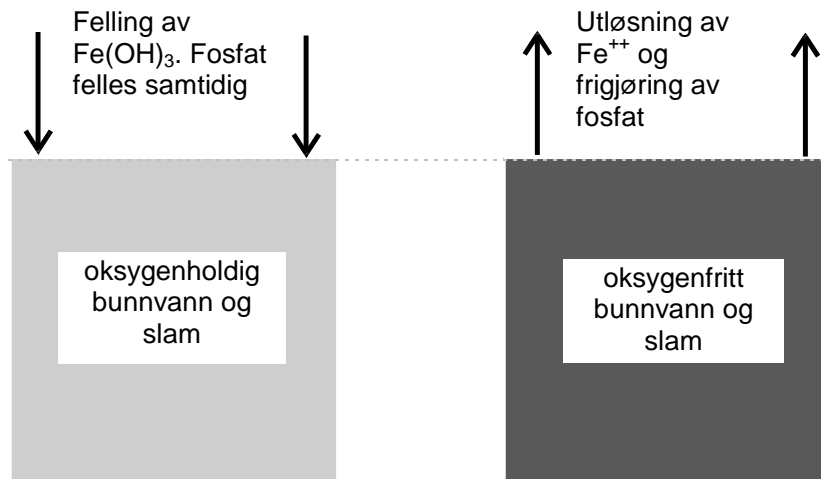
Planteplankton, bunnlevende alger og høyere vegetasjon tar opp fosfat fra vannet, og binder dette i sitt plantematerialet (organisk materiale). Når plantene dør synker de til bunns. Tilsvarende vil bakterier og dyr i vannet også transportere fosfor til bunnen når de dør.

Ved forurensing av en innsjø over mange år kan betydelige mengder fosfor lagres i bunnslammet. Dette fosforet kan tilbakeføres fra bunnslammet til vannmassene ved (minst) fire prosesser:

- kjemisk frigjøring av jernbundet fosfor ved oksygenfrie forhold i bunnvannet
- kjemisk frigjøring ved høy pH i overflatevannet
- mikrobiologisk nedbrytning av organisk stoff (plante- og dyremateriale)
- opphvirvling ved kraftig vind i grunne innsjøer.

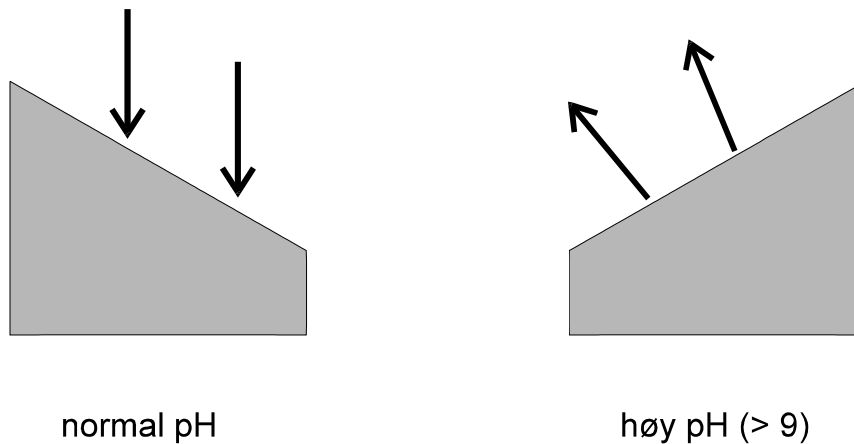
For mer utdypende diskusjon av disse prosessene vises til Håkansson og Matsson (1983) og Bostrøm og medarb. (1988); se litteraturlista bak i rapporten.

Under er vist prinsippet for lagring og utløsning av fosfor under hhv. oksygenrike og oksygenfrie forhold. Slik utlekning kan ha stor betydning i dype innsjøer med stabil temperatursjiktning om sommeren og høyt oksygenforbruk i dypvannet.



Figur 2.1 Felling av fosfat i oksygenrikt miljø og utlekking av fosfat i oksygenfritt miljø

Frigjøring av fosfor ved høy pH foregår gjerne i grunnere innsjøer der store bunnområder er i kontakt med relativt varmt overflatevann, og der det foregår så høy algeproduksjon at pH overstiger 8.5-9.5 over lengre perioder om sommeren. Det er særlig bindingskapasiteten til kalsium og aluminiumsforbindelser som avtar med økende pH (Bostrøm og medarb. 1988).

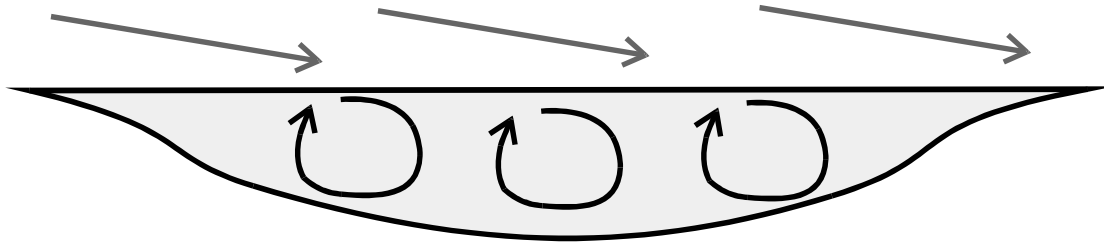


Figur 2.2 Utfelling av fosfor ved normal pH, og utløsning av fosfor ved høy pH i vannet like over sedimentet.

I innsjøer som er utsatt for kraftig vind kan næringsrikt bunnsлам virvles opp (figur 2.3) og fosfor gjøres tilgjengelig påny for algevekst. I grunne innsjøer der temperaturen nær bunnen er relativt høy og bunnvannet stadig tilføres nytt oksygen, brytes også organisk stoff raskere ned og



plantenæringsstoffene som er bundet til dette frigjøres til vannet. Med organisk stoff menes her rester av planter og dyr tilført fra nedbørfeltet eller produsert i innsjøen.



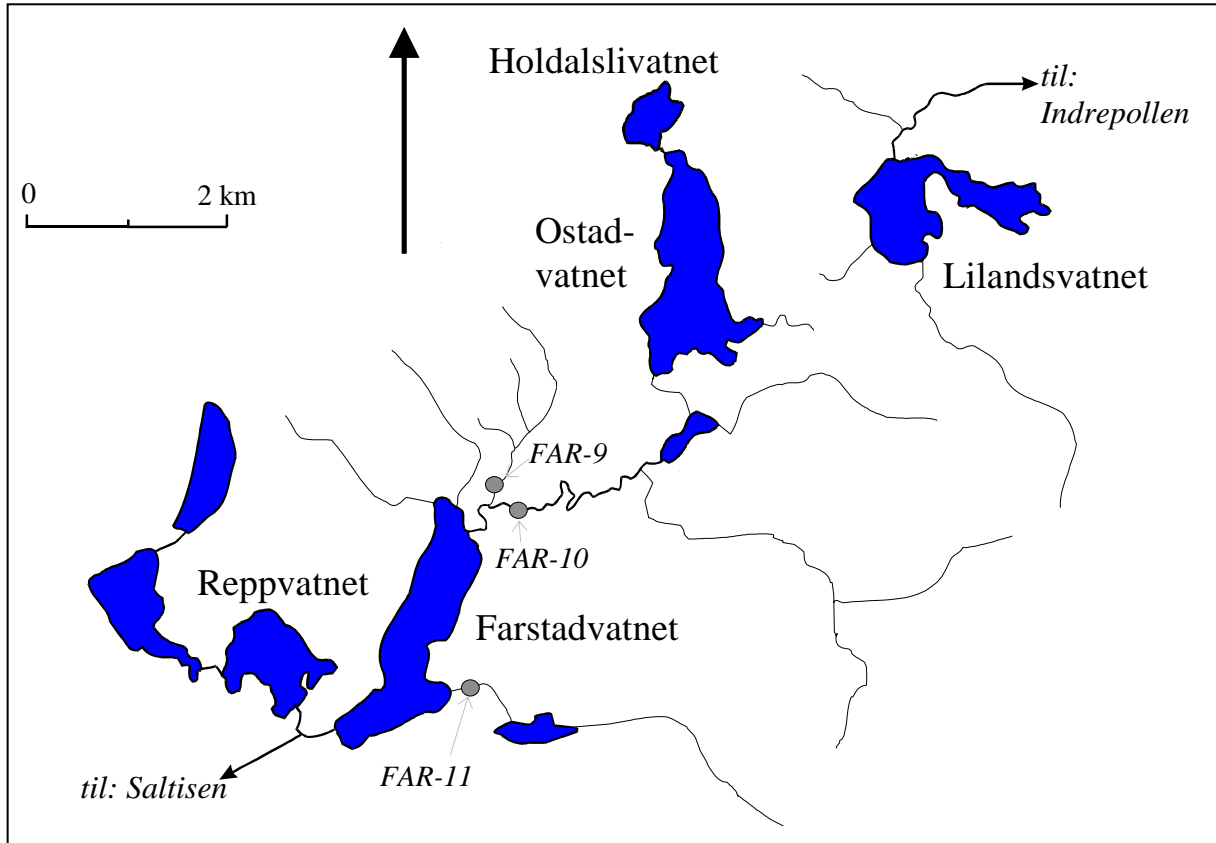
*Figur 2.3 Tverrsnitt av en grunn innsjø. Oppvirvling av bunnslam og næringsstoffer fra bunnen pga. vind.*

Det kan være en vanskelig og tidkrevende oppgave å få et godt mål for størrelsen av den "indre gjødslingen" i innsjøer. I beste fall kan en gjennomføre intensive måleprogrammer av tilførslene fra nedbørfeltet og samtidig måle næringsstoff-konsentrasjonene i innsjøens overflatevann og dypvann. Innsjøens næringsinnhold og tilførsler kan så balanseres mot tap gjennom utløpselva og tilbakeholdelse i innsjøen (dvs. sedimentasjon).

Alternativt kan en nøye seg med enkelte kjemiske analyser av bunnslammet og eventuelt kontrollerte utvekslingsforsøk i laboratoriet. Sistnevnte metode er valgt i dette tilfellet. Selv om resultatet ikke er like nøyaktig og utdypende, vil det ofte gi tilstrekkelig informasjon til å vurdere om lekkasje av fosfor fra bunnslammet er viktig for innsjøens stoffomsetning - eller ikke.

### 3. BESKRIVELSE AV INNSJØENE

Figur 3.1 viser en skisse av Farstadvassdraget og Lilandsvassdraget med aktuelle lokaliteter for denne undersøkelsen.



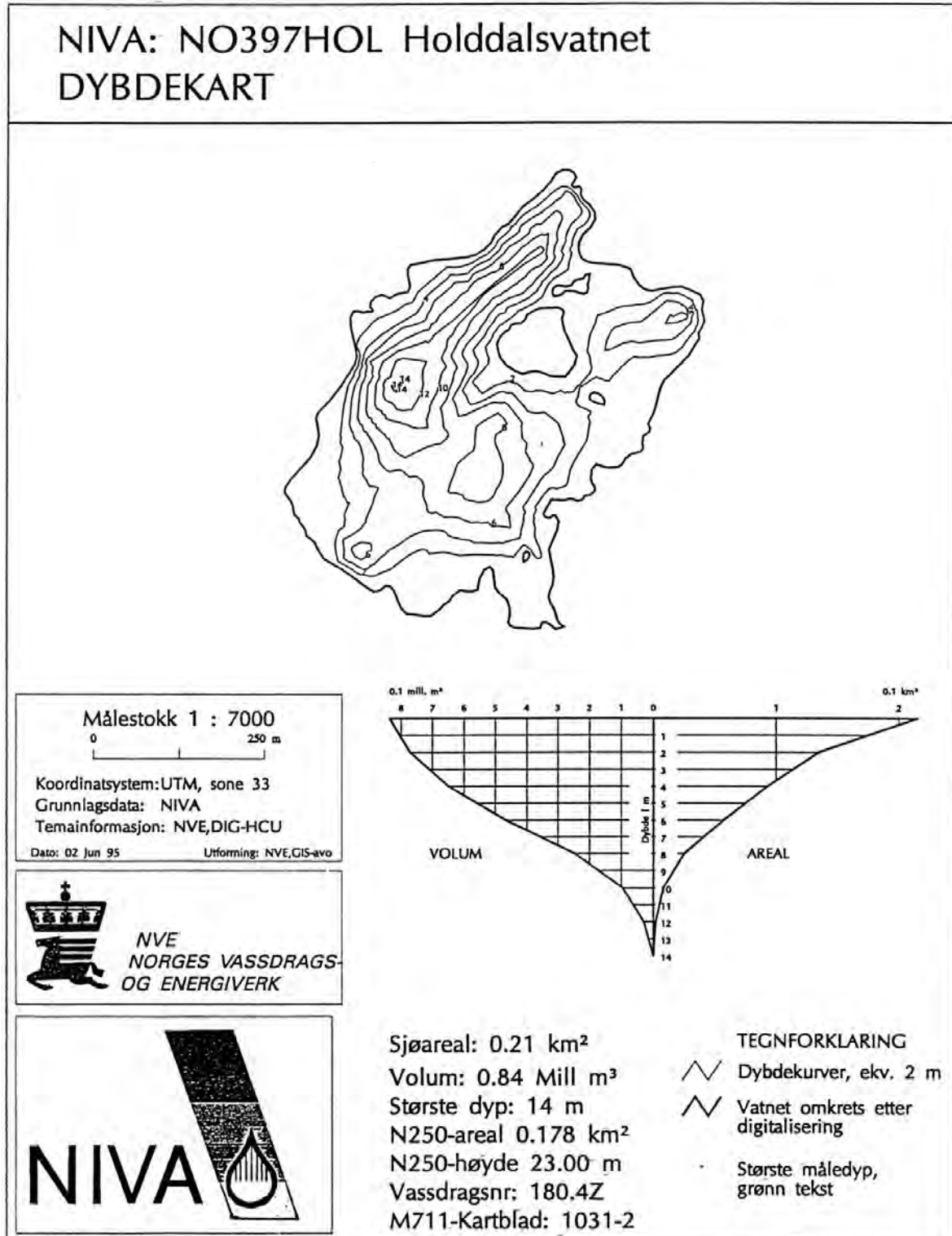
Figur 3.1 Farstadvassdraget og Lilandsvassdraget med angivelse av de innsjøene som ble undersøkt av NIVA i 1992 og der det er tatt sedimentprøver i 1994. Tre elvestasjoner rundt Farstadvatnet er omtalt senere i rapporten: FAR-9 (Riselva), FAR-10 (Storelva) og FAR-11 (Mølnelva). For ytterligere beskrivelse se Faafeng og medarbeidere (1993).

I forbindelse med en "Landsomfattende trofiundersøkelse av norske innsjøer", finansiert av SFT, ble det i 1994 foretatt opplodding av 5 av innsjøene i vassdragene på Vestvågøy. Feltarbeidet ble utført av Vestvågøy Jeger og Fiskerforening. Feltregistreringene ble overført til digitalt format slik at dybdekart kunne konstrueres maskinelt på NVE. I tillegg til konstruksjon av dybdekartet også arealet av nedbørfeltet, innsjøens volum ol. beregnet. Resultatene er vist på de påfølgende sidene (fig. 3.2 - 3.6). Nedbørfeltens arealer og hydrologisk avrenning er vist i tabell 3.1. Vi har også beregnet vannets teoretiske oppholdstid i innsjøene ut fra disse dataene. Vannets teoretiske oppholdstid angir hvor lang tid det ville ta å fylle opp innsjøen hvis den var tom for vann, med gjennomsnittlig vannføring i tilløpene. Dette har også stor betydning for å vurdere evt. fare for indre gjødsling.

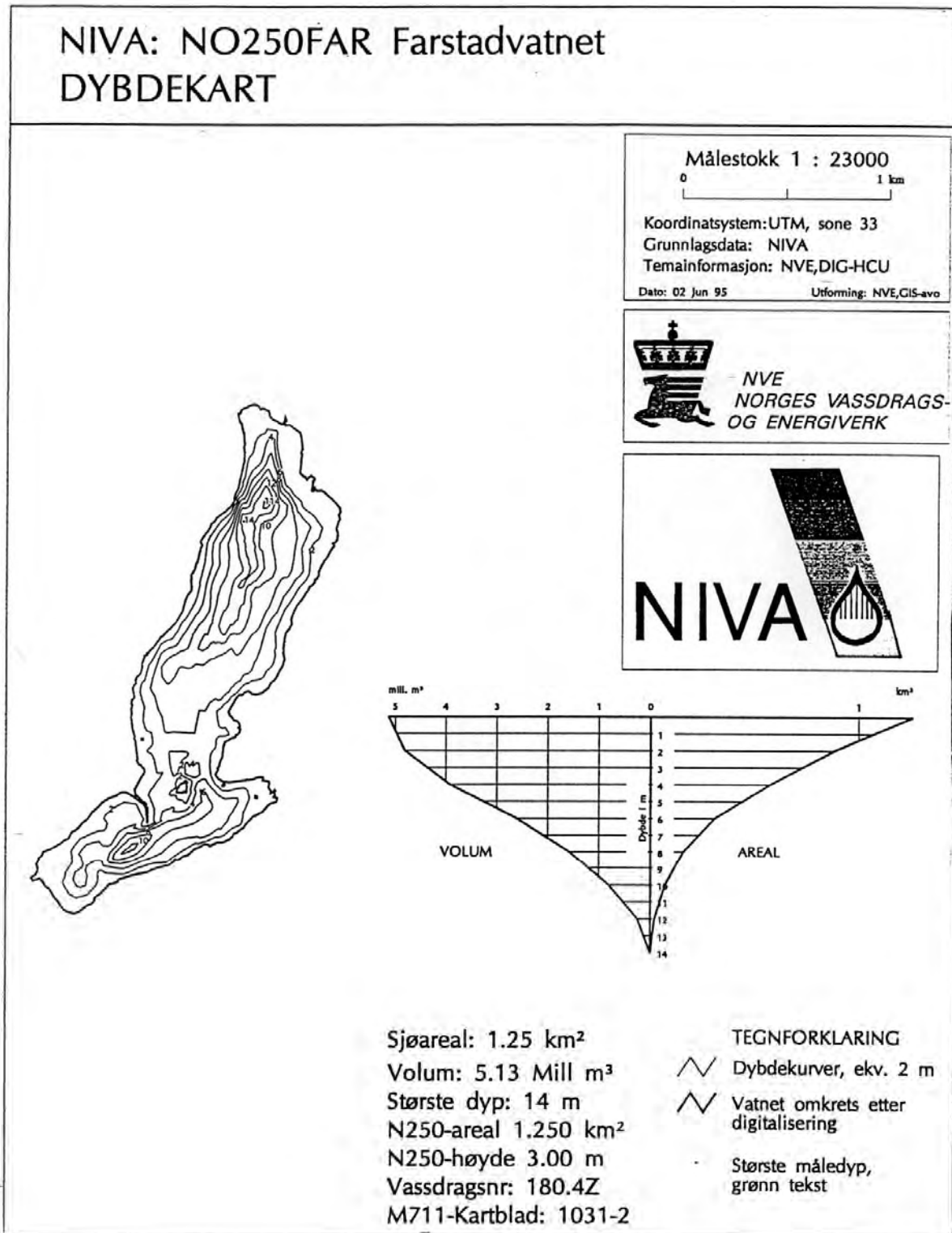
Tabell 3.1 Arealet av innsjøenes nedbørfelter, nedbørfeltenes midlere avrenning, vannets teoretiske oppholdstid og innsjøenes areal.

	<b>Areal av nedbørfelt (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Spesifikk avrenning (l/s.km<sup>2</sup>)</b>	<b>Innsjøvolum (mill. m<sup>3</sup>)</b>	<b>teoretisk oppholdstid (dager)</b>	<b>innsjøareal (km<sup>2</sup>)</b>
Lilandsvatnet	11.0	51.7	3.76	77	0.93
Holdalslivatnet	1.8	45.0	0.84	121	0.21
Ostadvatnet	6.3	45.0	6.24	252	1.23
Reppvatnet	7.8	46.1	2.39	75	0.57
Farstadvatnet	36.7	48.8	5.13	33	1.25

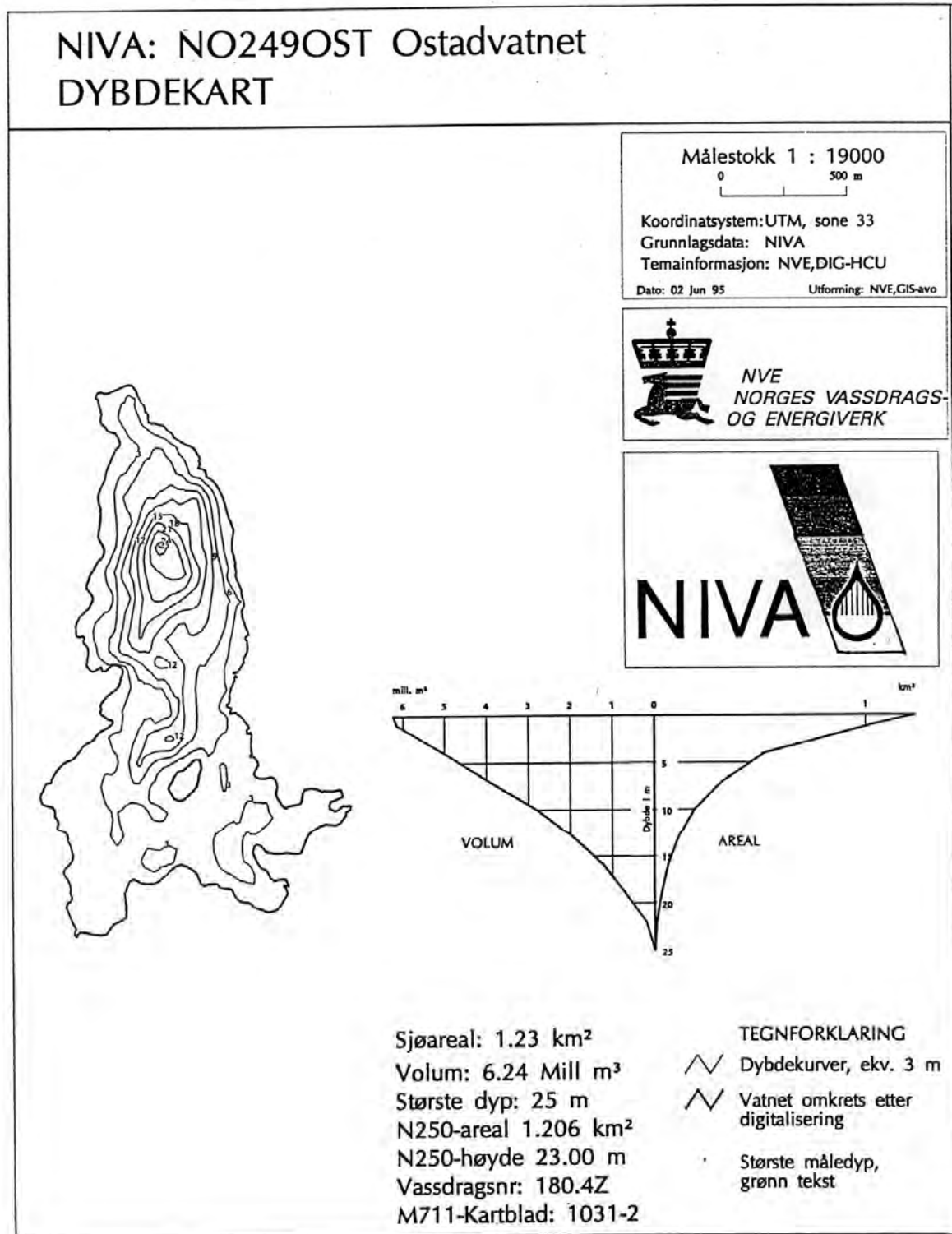
Det går fram av tabellen at i flere av innsjøene har vannet svært kort oppholdstid, spesielt i Lilandsvatnet, Farstadvatnet, og i Reppvatnet, pga. den store nedbørintensiteten i området, relativt store nedbørfelter og beskjedent innsjøvolum. Selv Holdalslivatnet som ligger øverst i vassdraget har relativt kort oppholdstid fordi innsjøens volum er lite. Vannkvaliteten i disse innsjøene vil derfor bli sterkt preget av kvaliteten av det tilførte vannet fra nedbørfeltet - og i mindre grad av indre prosesser i innsjøene.



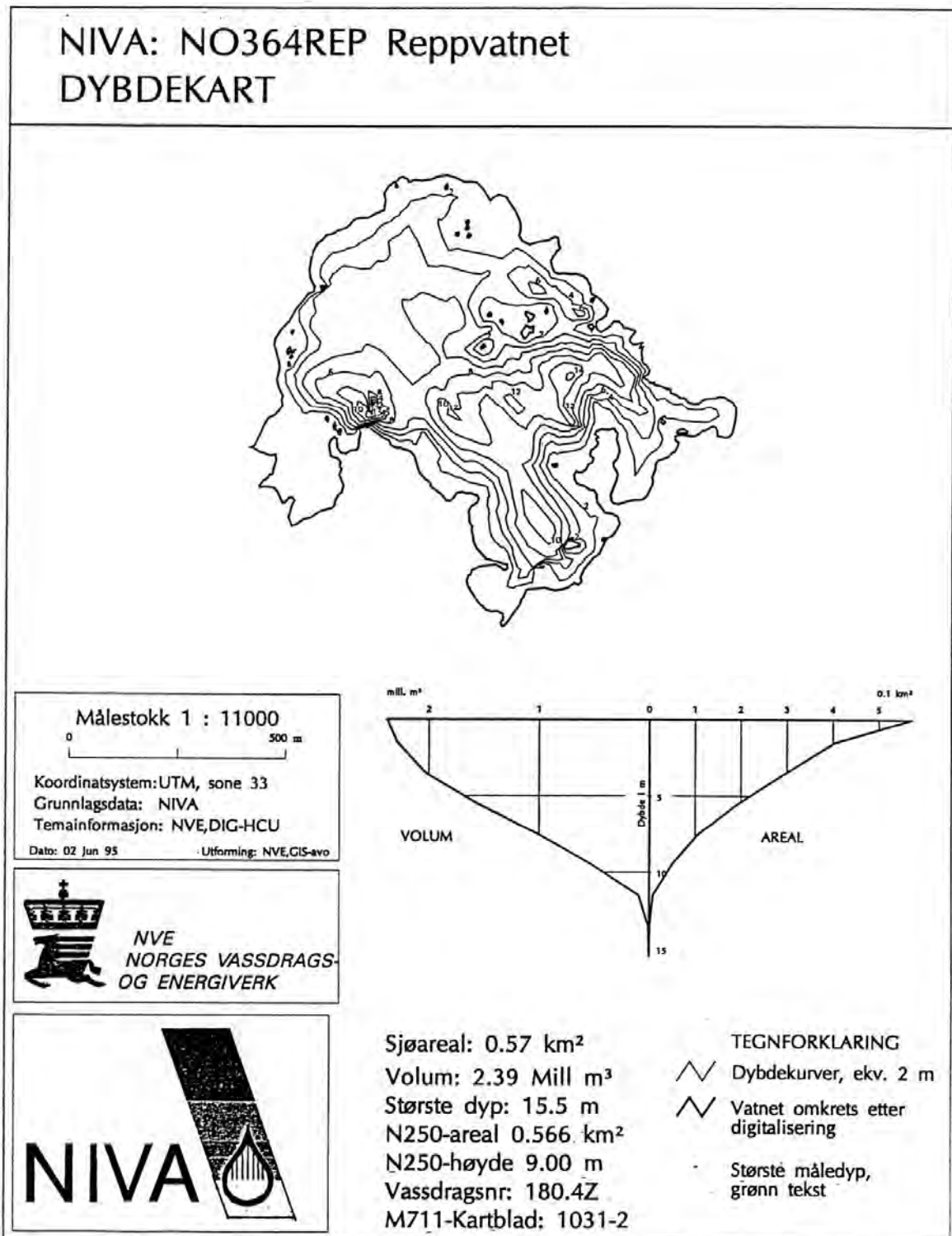
Figur 3.2 Dybdekart av Holdalsvatnet



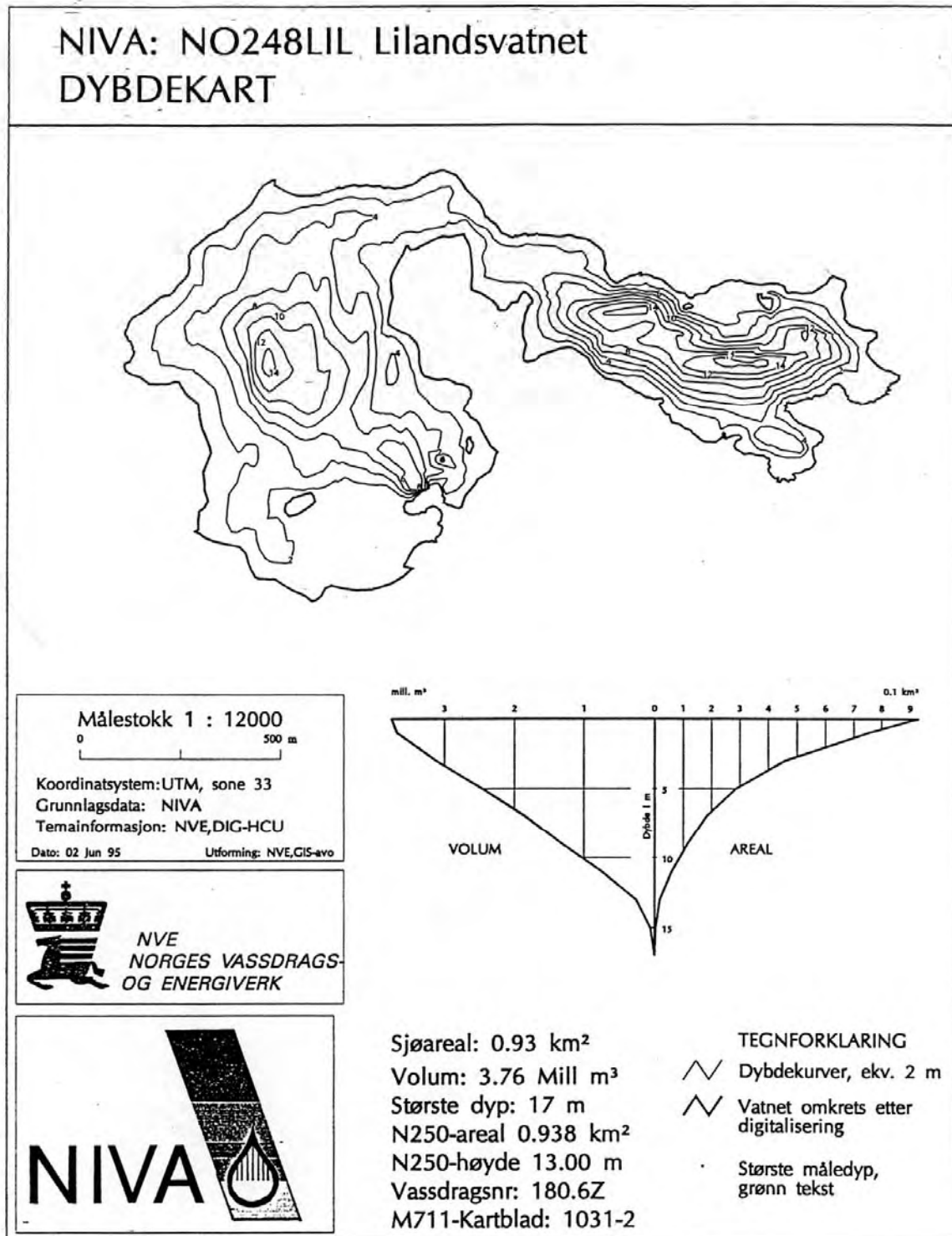
Figur 3.3 Dybdekart av Farstadvatnet



Figur 3.4 Dybdekart av Ostadvatnet



Figur 3.5 Dybdekart av Reppvatnet

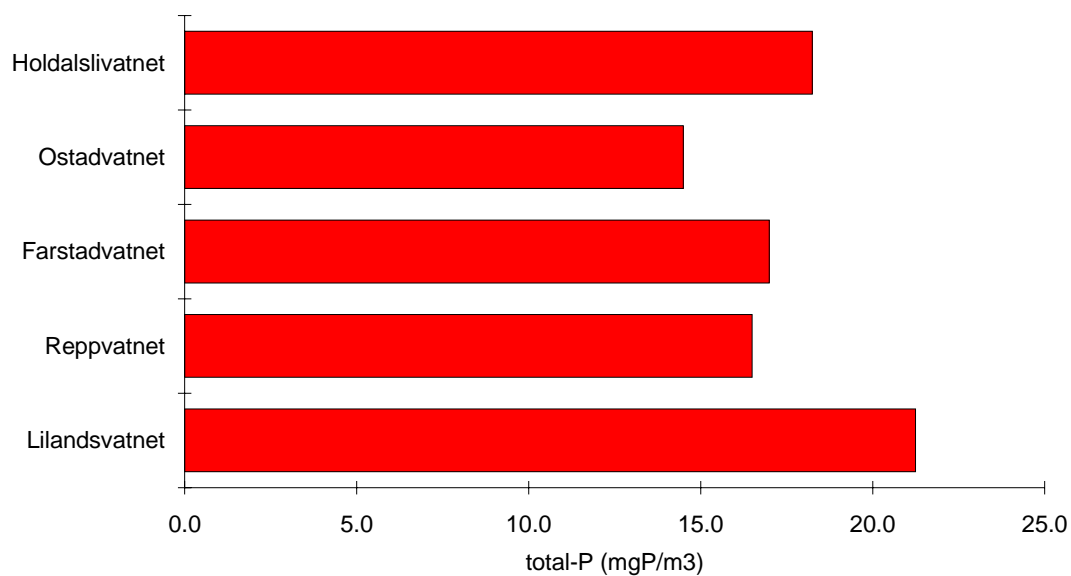


Figur 3.6 Dybdekart av Lilandsvatnet

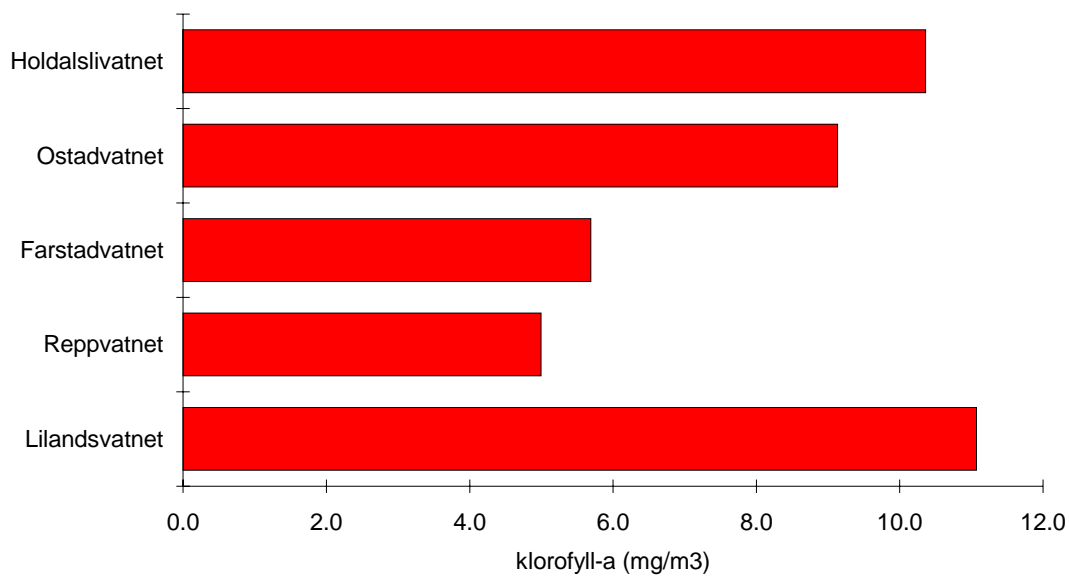


#### 4. VANNKVALITET I INNSJØENE 1992

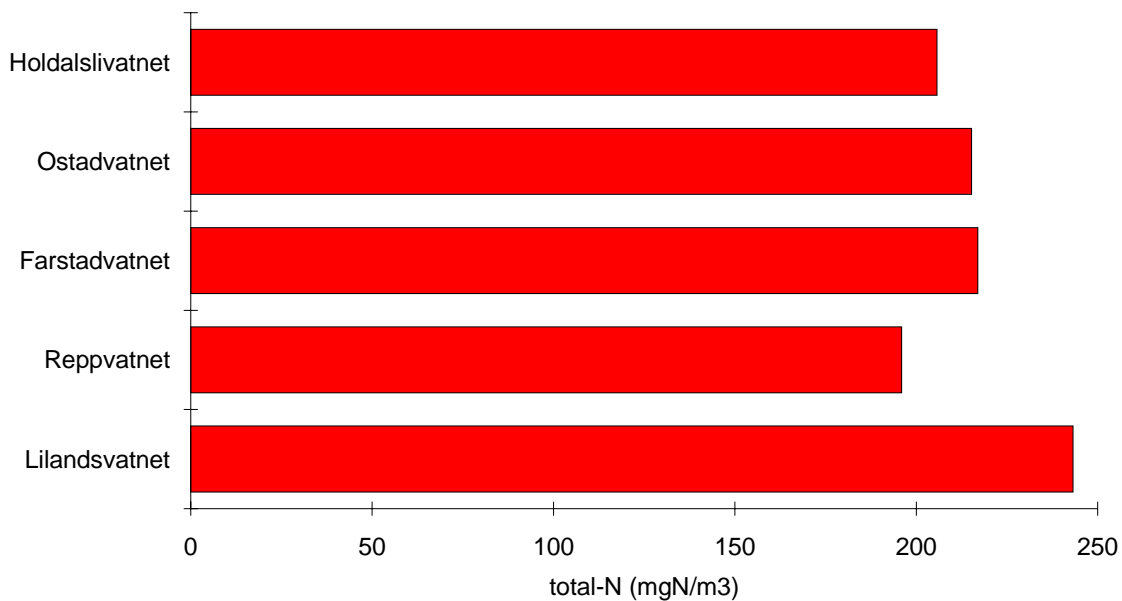
Ved en vurdering av sedimentene, må en se disse i sammenheng med vannkvaliteten i innsjøene. Resultatene er hentet fra NIVAs rapport om vassdragene i Vestvågøy (Faafeng og medarb. 1993). Sesongmiddelerverdi i 1992 av konsentrasjoner av fosfor og nitrogen samt siktedyp er vist under.



*Figur 4.1. Fosforkonsentrasjon i 5 av innsjøene i Farstad- og Lilandsvassdragene 1992 (sesongmiddelerverdi). 4 av innsjøene er i tilstandsklasse III ("nokså dårlig"), mens en innsjø er i klasse IV ("dårlig").*



Figur 4.2 Klorofyllkonsentrasjon i 5 av innsjøene i Farstad- og Lilandsvassdragene 1992 (sesongmiddelverdi). Alle innsjøene er i klasse IV ("dårlig").



Figur 4.3. Nitrogenkonsentrasjon i 5 av innsjøene i Farstad- og Lilandsvassdragene 1992 (sesongmiddelverdi). Alle innsjøene er i tilstandsklasse I ("god").

Konsentrasjonen av nitrogen vil normalt ha liten betydning for vannkvaliteten i vassdrag.

## 5. BEREGNING AV TILFØRSLER TIL FARSTADVATNET

Det foreligger mye erfaringer om hvordan innsjøer virker som "fosforfeller". Andelen fosfor som holdes tilbake i en innsjø, retensjonen, er gitt ved følgende formel:

$$R = \frac{P_{inn} - P_{ut}}{P_{ut}}$$

der  $P_{inn}$  er tilført fosformengde til innsjøen og  $P_{ut}$  er mengden som føres ut via utløpselva.

En mye brukt matematisk sammenheng mellom vannets oppholdstid i en innsjø og retensjonen er utledet av Larsen og Mercier (1976):

$$R = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{1}{T_w}}}$$

der  $T_w$  er vannets teoretiske oppholdstid (år) beregnet ved:

$$T_w = \frac{V}{Q}$$

der  $Q$  er årlig tilført vannmengde og  $V$  er innsjøens vannvolum. Disse verdiene er angitt i Tabell 5.1.

Innsjøenes teoretiske tilløpskonsentrasjon kan beregnes ut fra en utledning av definisjonen av retensjon som vist over:

$$P_{inn} = \frac{P \lambda}{1 - R}$$

der  $P$  er innsjøens gjennomsnittlige fosforkonsentrasjon.

I tabell 5.1 er beregnet teoretisk fosforretensjon og beregnet innløpskonsentrasjon av fosfor for alle de undersøkte innsjøene.

Tabell 5.1 Vannets teoretiske oppholdstid i innsjøene, beregnet retensjon av fosfor (%), målt gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i innsjøene i 1992 og beregnet gjennomsnittlig konsentrasjon i tilløpsbekkene.

	<b>Vannets oppholdstid (Tw)</b>  (år)	<b>P-retensjon (R)</b>  (andel holdt tilbake i innsjøen i %)	<b>Målt innsjøkons. (P<sub>●</sub>)</b>  (mgP/m <sup>3</sup> )	<b>Beregnet innløpskons. (P<sub>inn</sub>)</b>  (mgP/m <sup>3</sup> )
Lilandsvatnet	0.210	0.31	35.0	51.0
Holdalslivatnet	0.336	0.37	24.0	37.9
Ostadvatnet	0.701	0.46	18.0	33.1
Reppvatnet	0.205	0.31	19.0	27.7
Farstadvatnet	0.091	0.23	24.0	31.2

Tabellen viser at nesten 50% av tilførselene av fosfor kan forventes å bli holdt tilbake i Ostadvatnet, pga. relativt lang oppholdstid. Det tilsvarende tallet er ca. 35% for Lilandsvatnet, Holdalslivatnet og Reppvatnet, mens vel 20% holdes tilbake i Farstadvatnet. Dette understreker at mye av forurensingen som har foregått over mange år må ligge lagret i innsjøenes bunnslam.

De beregnede tilførselsverdiene i Farstadvatnet kan sammenliknes med målte verdier for tre av tilløpene til denne innsjøen i 1992: stasjonene FAR-9, FAR-10 og FAR-11 (se Figur 3.1 og Tabell 5.2). Tilsvarende tilførselsmålinger finnes ikke for de andre innsjøene i vassdraget. Stasjon FAR-10 er Storelva som dekker en vesentlig del av innsjøens nedbørfelt; bl.a. fra Holdalslivatnet og Ostadvatnet.

Tabell 5.2 Beregnet gjennomsnittskonsentrasjon av fosfor (mgP/m<sup>3</sup>) i tilløpene til Farstadvatnet ut fra innsjøens gjennomsnittlige fosforkonsentrasjon (av 4 målinger) og innsjøens teoretiske oppholdstid. Målte gjennomsnittskonsentrasjoner (av 8 målinger) i Farstadvatnets tilløpsbekker

<b>Teoretisk P- konsentrasjon for hele nedbørfeltet</b>	<b>P-konsentrasjon målt i bekk fra delfelt 1 (FAR-10)</b>	<b>P-konsentrasjon målt i bekk fra delfelt 2 (FAR-9)</b>	<b>P-konsentrasjon målt i bekk fra delfelt 3 (FAR-11)</b>
31.2	19.1 (5.7-35.0)	20.6 (9.5-35.7)	16.2 (4.0-39.0)

Tabellen viser at konsentrasjonen i alle disse tre tilløpene var nær 20 mgP/m<sup>3</sup> i 1992, dvs. ca 30% mindre enn det en skulle forvente ut fra innsjøkonsentrasjonen (tabell 5.2).

Avviket er så stort at en kan gjøre seg noen betraktninger om mulige årsaker:

1. Målingene i 1992 var lite representative
2. Store forurensingskilder i nedbørfeltet er ikke målt ( dvs. de ligger utenom de tre målte tilløpsbekkene)
3. Stor oppvirvling av bunnslam i innsjøen (resuspensjon) gir "for høye" innsjøkonsentrasjoner
4. Betydelig indre gjødsling

- ad. 1. Fosforverdiene for hovedtilløpet til Farstadvannet (FAR-3) var betydelig høyere i 1988 enn det som er målt senere (Fylkesmannens overvåkingsrapporter, 1989, 1995). Selv om datagrunnlaget er noe svakt tyder det på at tiltakene i nedbørfeltet har bidratt til lavere fosforforurensing. Innsjøene kan derfor være i en fase der fosforkonsentrasjonen i innsjøen ikke er i balanse med tilførslene pga. at fortynningen vil ta noen år.
- ad. 2. Vi har ingen opplysninger som kan tyde på store enkeltkilder, men vi kan heller ikke se bort i fra det. Forøvrig dekker de tre målte bekkene store deler av innsjøens nedbørfelt, og restfeltet antas å være mindre forurenset enn de målte. Fosfor i nedbør direkte på innsjøoverflaten utgjør bare ca. 1% av målte tilførsler fra bekkene.
- ad.3. Omtrent halve bunnarealet er grunnere enn 4 m (Figur 3.3) og dette indikerer at resuspensjon kan være betydelig i perioder med kraftig vind. Innsjøen er utsatt for vindpåvirkning.
- ad. 4. Se kapittel 7.

## 6. SEDIMENTKJEMI

Da flere alternative prosesser kan bidra til binding av fosfor til og frigjøring fra sedimentet (se kapittel 2) er det av interesse å analysere sedimentenes kjemisk sammensetning. I tabell 6.1 og 6.2 er noen viktige elementer presentert fra overflatesedimentet (øverste 5cm) fra hver av innsjøene. Antatt uforurenset sediment fra 30-35cm dyp i Ostadvannet er tatt med som en referanse.

Tabell 6.1. Sedimentenes innhold av tørrstoff (TTS), gløderest (TGR), nitrogen (N), fosfor (P), organisk karbon (TOC) og jern (Fe). Elementinnholdet er beregnet for tørt sediment (TS: tørrstoff).

	<b>TTS</b> <i>mg/g</i>	<b>TGR</b> <i>mg/g TS</i>	<b>Total-N</b> <i>mg/g TS</i>	<b>Total-P</b> <i>mg/g TS</i>	<b>TOC</b> <i>mg/g TS</i>	<b>Fe</b> <i>mg/g TS</i>
Lilandsvatnet	77.8	670	12.2	3.4	141	61.1
Reppvatnet	80.0	734	13.1	2.7	110	41.0
Farstadvatnet	104.0	727	9.5	2.4	108	65.5
Ostadvatnet	86.2	735	12.2	3.0	103	60.3
Ostadvatnet 30-35cm	114.0	797	8.4	2.2	80	27.0
Holdalsvatnet	69.7	692	13.2	2.3	130	46.3

Tabell 6.2. Vanninnhold, uorganisk tørrstoff (gløderest) og organisk tørrstoff

	vanninnhold %	gløderest %	org.stoff %
Lilandsvatnet	92.2	67.0	33.0
Reppvatnet	92.0	73.4	26.6
Farstadvatnet	89.6	72.7	27.3
Ostadvatnet	91.4	73.5	26.5
Ostadvatnet 30-35cm	88.6	79.7	20.3
Holdalsvatnet	93.0	69.2	30.8

Jensen og medarb. (1992) observerte i danske innsjøer at bunnslammets kapasitet til å binde fosfor avtok med avtakende forhold mellom jern og fosfor (Fe:P) i bunnslammet. Ved Fe:P mindre enn 15 fant de kraftig økt lekkasje fra bunnslammet til vannet, fordi de antok at det ikke var tilstrekkelig jern til å binde all fosfor. Fe:P-forholdet var aldri så lavt som 15 i noen av innsjøene ved denne undersøkelsen, slik at det ikke er noen grunn til å vente høy fosforlekkasje pga. "jernmangel".

Sedimentprøver fra innsjøene ble også undersøkt mhp. fosforinnhold og hvilke forbindelser fosfor var bundet til i hver av innsjøene. Sedimentet ble analysert vha. såkalt trinnvis fraksjonering med forskjellige ekstraksjonsmidler ifølge en metode angitt av Hieltjes og Lijklema (1980).

Det antas at de forskjellige fraksjonene har forskjellig mobilitet ut til vannfasen. Adsorbent fosfor er svært mobilt, jernbundet fosfor frigjøres lett ved oksygenfrie forhold, mens fosfor bundet til kalsium og organisk stoff er hardere bundet til sedimentet (Ostrosky og medarb. 1989).

Tabell 6.3 Sedimentenes innhold av tørrstoff, total fosfor og fosforfraksjoner: ADS-P: adsorbent og løst i interstitialvann/porevann i sedimentet ( $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ ), Fe+AL-P: fosfor bundet til jern og aluminium ( $\text{NaOH-P}$ ), Ca-P: fosfor bundet til kalsium ( $\text{HCl-P}$ ) og ORG-P: fosfor bundet til organisk stoff (beregnet som rest-P).

	tørrstoff %	total-P mgP/g TS	fosfor- fraksjoner			
			ADS-P mgP/g TS	Fe+AL-P mgP/g TS	Ca-P mgP/g TS	org-P mgP/g TS
Lilandsvatnet	7.0	2.3	<0.01	1.22	0.59	0.49
Holdalsvatnet	8.6	3.0	<0.01	1.38	0.36	1.26
Ostadvatnet	11.4	2.2	<0.01	1.31	0.29	0.60
Ostadvatnet 30-35cm	8.0	2.7	<0.01	1.43	0.27	1.00
Reppvnet	10.4	<b>2.4</b>	<0.01	1.78	-	-
Farstadvatnet	7.8	3.4	<0.01	1.82	0.38	1.20

- manglende verdier

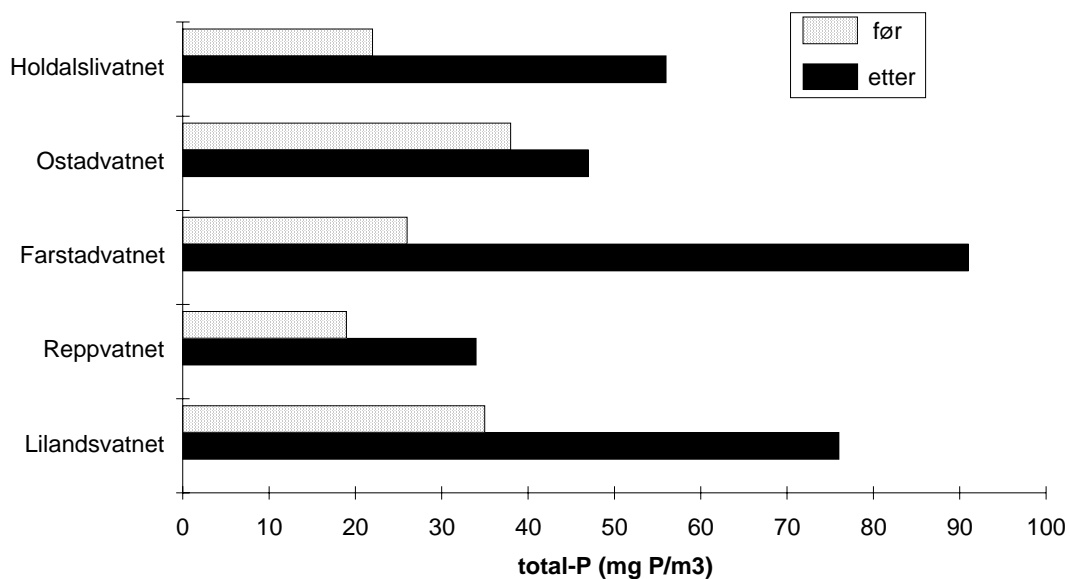
Tabellen viser at det er svært små mengder adsorbent fosfor i sedimentet i alle innsjøene. Det tyder på at denne fosforfraksjonen utveksles effektivt med vannmassene i sirkulasjonsperiodene, slik at det ikke er noe ytterligere "lager" her. Det meste av sedimentfosforet foreligger bundet til jern. Dette vil kunne frigis raskt dersom bunnvannet eller sedimentoverflaten blir oksygenfritt (anaerobt). Det må derfor være spesiell oppmerksomhet rettet mot årsakene til oksygenfrie forhold, dvs. tilførsler av lett nedbrytbart organisk stoff (husdyrgjødsel, silopressaft) og fra algeoppblomstringer (pga. store tilførsler av fosfat og nitrat).

Tabellen viser heller ingen stor forskjell mellom referanse-sedimentet i Ostadvatnet på 30-35 cm dyp og overflatesedimentet. Den mest markerte forskjellen er at det organiske innholdet er lavere pga nedbrytning gjennom lang tid og at nitrogenkonsentrasjonen er lavere pga. reduksjon av nitrogenforbindelser til nitrogengass. Konsentrasjonen av jern er også lavere, trolig pga at sedimentet er blitt stadig mer oksygenfritt etterhvert som det er blitt overdekket og jernet er redusert og lekket ut.

## 7. LAGRINGSFORSØK

Sedimentprøver ble hentet fra de fem innsjøene 8. juli 1994. "Intakte" sedimentkjerner, dvs. prøver hentet opp med en rørhenter der ca. halve røret ble fylt med sediment ved å presse røret ned i bunnen ved innsjøens antatt dypeste punkt (før opplodding!). Resten av volumet i røret var fylt bunnvann fra innsjøen. Prøven ble transportert til Oslo og plassert i et termostatert vannbad ved 15°C. Vannprøver for analyse av fosfor ble tatt ut ved forsøkets start (15. juli) og etter 24 dager (8. august). Det ble antatt at oksygenkonsentrasjonen i røret var omtrent slik de ville ha vært innsjøen på samme tid; kanskje noe lavere konsentrasjoner pga. håndteringen av prøvene.

Fosforkonsentrasjonen i vannet over sedimentet økte i alle prøvene, dvs. at fosfor lagret i sedimentet ble frigitt til vannfasen. I prøven fra Farstadvatnet økte konsentrasjonen 3.5 ganger, fra Holdalslivatnet 2.5 ganger, Lilandsvatnet 2.2 ganger . Reppvatnet 1.8 ganger og Ostadvatnet 1.2 ganger. Figur 7.1 viser fosforkonsentrasjonen i vannet før og etter lagringsforsøket.



Figur 7.1. Fosforkonsentrasjon i vannet over sedimentet før og etter utvekslingsforsøk ( 24 dager, 15°C)



Resultatene er også vist i tabell 7.1 der frigivelsen av fosfor er omregnet til mengde fosfor frigitt pr. areal sedimentoverflate og dag.

Tabell 7.1 Beregnet frigjøringsrate fra sedimentforsøket

	<b>P etter</b> (mgP/m <sup>3</sup> )	<b>P før</b> (mgP/m <sup>3</sup> )	<b>differanse</b> (mgP/m <sup>3</sup> )	<b>differanse</b> (mgP)	<b>utlekking</b> (mgP/m <sup>2</sup> /dag)
Lilandsvatnet	76	35	41	0.0232	0.34
Reppvatnet	34	19	15	0.0085	0.13
Farstadvatnet	91	26	65	0.0367	0.54
Ostadvatnet	47	38	9	0.0051	0.08
Holdalslivatnet	56	22	34	0.0192	0.28

Den høyeste frigjøringsraten ble målt i Farstadvatnet med 0.54 mgP/m<sup>2</sup>/dag. Denne raten er vesentlig lavere enn det en kan finne i litteraturen for innsjøer med oksygenfritt bunnvann. Nürnberg (1988) har stilt sammen data fra en lang rekke innsjøer og fant at innsjøsedimenter med Farstadvatnets forsinhold vil kunne ha en utlekking på 5-30 mgP/m<sup>2</sup>/dag i perioder med oksygenfritt bunnvann. De lave målte frigjøringsratene tyder på at oksygenkonsentrasjonen ikke var tilstrekkelig lav i forsøket, og neppe heller i innsjøen, til at frigjøringshastigheten kunne bli særlig høy.

Dersom en antar gjennomsnittskonsentrasjoner i tilførselene og i innsjøen som angitt i tabell 5.2 og et midlere årlig tilsig av vann på 56.5 mill m<sup>3</sup> (NVE 1995, beregnet for uttegning av dybdekart), kan en sette opp et grovt anslag over fosforbudsjettet til Farstadvatnet:

Beregnet tilført via tilløp:	1763kg
Målt innsjøen via tilløp:	1130kg
differanse:	<u>633kg</u>

Dersom en antar at bunnvannet i Farstadvatnet er oksygenfritt i maksimalt 100 dager pr. år og at dette i høyden kan være tilfelle for en tredel av Farstadvatnets bunnareal, kan en ut fra erfaringsverdiene i faglitteraturen beregne at 200-1200 kgP/år kan frigjøres pr. år. Dette er nær de mengdene som er anslått over. De målingene som ble foretatt i 1989 tyder imidlertid ikke på at oksygenforholdene er så dårlige i Farstadvatnet. Utlekningsratene fra laboratorieforsøket tyder heller ikke på at frigivelsen er på langt nær så stor. Vi mener derfor at den indre gjødsling neppe kan utgjøre en stor del av den differansen som er beregnet over. Med andre ord mener vi at den relativt høye fosforkonsentrasjonen i Farstadvatnet for en stor del må forklares av oppvirvling av bunnmateriale ved kraftig vind.

Det er ikke gjennomført eksperimenter ved høy pH fordi det ikke har vært registrert så høy pH i innsjøene at dette kan ha betydning for "indre gjødsling". I Fylkesmannens overvåkingsrapport (1990) presenteres resultater fra sommeren 1989 fra Farstadvatnet, Reppvatnet, Ostadvatnet og Holdalsvatnet der høyeste registrerte pH-verdi ikke overstiger 7.9 og det ble heller ikke registrert overmetning med oksygen i overflatevannet. I 1988 ble det heller ikke registrert pH høyere enn 7.5 i utløpselva fra Farstadvatnet (FAR-1), se Fylkesmannens overvåkingsrapport (1989). Dette indikerer at forholdene ikke har ligget til rette for frigjøring av fosfor ved høy pH.

## 8. LITTERATUR

- Bostrøm, B., J.M. Andersen, S. Fleischer og M. Jansson, 1988. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia* 170: 229-244.
- Faafeng, B., P.Brettum, D.O.Hessen og G.Holtan, 1993. Farstad- og Lilandsvassdragene i Vestvågøy kommune. Karakterisering av vannkvaliteten og tiltaksplan mot forurensninger. Norsk institutt for vannforskning, rapport, l.nr. 2911, 99s.
- Fylkesmannen i Nordland, Miljøvernadv., 1989. Vassdragsovervåking i Nordland 1988. Vedleggsrapport (Hamarsland, A. og K. Nagy). Rapport nr. 7B-89, 207s.
- Fylkesmannen i Nordland, Miljøvernadv., 1990. Vassdragsovervåking 1989. (Hamarsland, A. og K. Nagy). Rapport nr. 5-90, 172s.
- Fylkesmannen i Nordland, Miljøvernadv., 1995. Vassdragsovervåking. Resultater 1994. (K. Nagy). Rapport nr. 13-94, 26s.
- Hieltjes, A.H.M. og L.Lijklema, 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environm. Qual.* 9: 405-407.
- Håkansson, L. og M. Jansson 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin. 316s.
- Jensen, H.S., P. Kristensen, E. Jeppesen og A. Skytthe, 1992. Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235/236: 731-743.
- Nürnberg, G.K., 1988. Prediction of phosphorus release rates from total and reductant-soluble phosphorus in anoxic lake sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 453-462.
- Ostrofsky, M.L., D.A. Osborne og T.J. Zebulski, 1989. Relationship between anaerobic sediment phosphorus release rates and sedimentary phosphorus species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 416-419.